

Masterarbeit

**Konzeptionierung eines automatischen
Behälterlagers für einen
fleischverarbeitenden Betrieb**

eingereicht an der

Montanuniversität Leoben

erstellt am

Lehrstuhl Industriellistik

Vorgelegt von:

Marjan ROSENZOPF
0935134

Betreuer/Gutachter:

Univ.-Prof. Dr. Helmut Zsifkovits
Dipl.-Ing. Johannes Kapeller

Leoben, 21. 09. 2016

Eidesstattliche Erklärung

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

Marjan Rosenzopf

Leoben, 21. 09. 2016

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen Personen die mich bei der Erstellung dieser Arbeit unterstützt haben recht herzlich bedanken.

In erster Linie gilt mein Dank Herrn Univ. -Prof. Dr. Helmut Zsifkovits und Herrn Dipl. Ing Johannes Kapeller, die mich über den gesamten Verlauf der Masterarbeit unterstützt haben. Besonders als zu Beginn des Projektes Unklarheit über den weiteren Verlauf der Arbeit herrschte konnte ich mich auf Deren Unterstützung verlassen.

Diese Arbeit bietet mir auch die Möglichkeit mich in besonderer Form bei meinen Eltern und meiner Familie für die ununterbrochene Unterstützung während meiner gesamten Studienzeit zu bedanken. Hvala!

Außerdem möchte ich meinen Studienkolleginnen und -kollegen sowie Freundinnen und Freunden meinen Dank aussprechen, denn ohne diese Gemeinschaft wäre es um einiges schwieriger gewesen die gesetzten Ziele zu erreichen.

Kurzfassung

Der enorme Kostendruck in der Lebensmittelindustrie zwingt die Unternehmen Rationalisierungen voranzutreiben und Facharbeiter so effizient wie möglich einzusetzen. Aus diesem Grund wurde auch bei dem hier behandelten Projekt der Entschluss gefasst von einer manuellen Palettierung und Lagerhaltung auf ein automatisiertes System umzusteigen und das Lagerpersonal wertschöpfend einzusetzen.

Diese Arbeit befasst sich mit der Erstellung von verschiedenen Lagerkonzepten für die automatisierte Behälterlagerung eines fleischverarbeitenden Betriebes. Zu Beginn wird die theoretische Basis erarbeitet, welche die Erläuterung diverser geeigneter Lagersysteme, sowie die dazugehörigen Lagerbetriebsstrategien beinhaltet. Da die geforderten Lagerkonzepte auch die Kommissionierung inkludieren, wird im theoretischen Teil der Arbeit auf unterschiedliche Kommissionierkonzepte eingegangen.

Ein großer Teil der theoretischen Basis entfällt auf die Materialflussanalyse und -berechnung, da diese einen wichtigen Punkt beim Vergleich der unterschiedlichen Konzepte darstellt. Es wird unter anderem auf Darstellungs- und Berechnungsmethoden von Materialflusssystemen eingegangen.

Im zweiten (praktischen) Teil der Arbeit werden auf Basis der in der Theorie beschriebenen Lager- und Kommissioniersysteme alternative Lösungskonzepte erstellt. Zu jedem Lösungskonzept wird ein dazugehöriges Layout gezeichnet und eine Durchsatz- und Auslastungsberechnung durchgeführt.

Abschließend wird auf die einzusetzende Palettierertechnik eingegangen. Hierzu werden unterschiedliche Industrieroboter beschrieben und daraufhin die Durchsatzleistung des Palettierroboters bestimmt.

Die erstellten Konzepte dienen als Entscheidungsvorlage für den in dieser Arbeit behandelten fleischverarbeitenden Betrieb.

Abstract

“Conception of an automated container warehouse for a meat plant.”

Due to the high cost pressure in the food industry, companies are forced to focus on rationalization and efficiency related topics. As a reason of that the meat plant, described in the further process of this thesis, decided to switch from a manual palletizing and storage system to an automated storage and retrieval system and employ the warehouse staff in value-added processes instead.

This thesis deals with the preparation of different warehouse concepts for the automated container storage in a meat plant. Initially, a theoretical basis is being elaborated, which includes appropriate storage systems and associated warehouse operating strategies. Order picking concepts are also being examined in the theoretical part of the thesis, as the order picking is included in the warehouse concepts.

The main part of the theoretical basis focuses on the material flow analysis and calculation, as they are important for the comparison of the different concepts. In this part graphical representation models and different calculation models are being explained.

The second (practical) part of the thesis includes the explanation and comparison of different warehouse concepts which have been developed based on the theoretical part of the thesis. Each concept consists of a layout, a through put calculation and the theoretical utilization rate. To simplify the comparability, the explanations of each concept are structured in the same way.

The description of the automated palletizing system is closing the practical part of the thesis. Different types of palletizing robots are being explained as well as the utilization rate and through put are being calculated.

The developed concepts serve as a basis of decision for the meat plant, to choose their favorite concept.

Inhaltsverzeichnis

Eidesstattliche Erklärung	I
Danksagung	II
Kurzfassung	III
Abstract	IV
Inhaltsverzeichnis	V
Tabellen- und Abbildungsverzeichnis	VIII
Formelverzeichnis	X
Abkürzungsverzeichnis	XI
1 Einleitung	1
1.1 Problemstellung und Aufgabeneinschränkung	1
1.2 Prozessdarstellung.....	2
1.3 Forschungsfrage	4
1.4 Aufbau der Arbeit.....	4
2 Lagertechnik und Lagerorganisation	6
2.1 Lagersysteme für die Behälterlagerung.....	6
2.1.1 Bodenblock- und Bodenzeilenlager	7
2.1.2 Hochregallager.....	8
2.1.3 Umlaufregallager	10
2.1.4 Durchlaufregallager	12
2.2 Lagerbetriebsstrategien	13
2.2.1 Belegungsstrategien	14
2.2.2 Bewegungsstrategien	16
2.3 Kommissionier-Konzepte	18
2.3.1 Mann zur Ware.....	18
2.3.2 Ware zum Mann	19
2.3.3 Automatische Kommissionierung.....	20
2.3.4 Logistische Entnahmeprinzipien	21

3	Materialflussanalyse und -berechnung	23
3.1	Materialflussanalyse - Darstellungsmethoden	23
3.2	Durchsatzberechnung	27
3.3	Spielzeitberechnung	30
3.3.1	Einzelspiel	33
3.3.2	Doppelspiel	35
3.3.3	Umlagerungen bei doppeltiefen Lagerregalen	39
3.4	Warteschlangentheorie	47
4	Lagersystemplanung und Konzeptionierung	50
4.1	Planungsgrundlagen	52
4.2	ABC-Analyse	55
4.3	Automatisches Kleinteilelager (AKL)	56
4.3.1	Lagerdimensionierung	56
4.3.2	Lagerlayout	58
4.3.3	Durchsatzberechnung und Systemauslastung	63
4.4	Umlaufregallager	66
4.4.1	Lagerdimensionierung	67
4.4.2	Lagerlayout	68
4.4.3	Durchsatzberechnung und Auslastung	69
4.5	Durchlaufregallager	70
4.5.1	Lagerdimensionierung	70
4.5.2	Lagerlayout	71
4.5.3	Durchsatzberechnung und Auslastung	73
4.6	Automatisches Kleinteilelager und Durchlaufregallager	73
4.6.1	Lagerdimensionierung	74
4.6.2	Lagerlayout	75
4.6.3	Durchsatzberechnung und Auslastung	76
4.7	Kommissionierkonzept	79

4.7.1 Palettierroboter.....	80
4.7.2 Durchsatzberechnung und Auslastung	83
5 Conclusio	85
Literaturverzeichnis	87
Anhang	92

Tabellen- und Abbildungsverzeichnis

Tabelle 1: Differenzierung der Lagersysteme	6
Tabelle 2: Vor- und Nachteile der Bodenlagerung.....	8
Tabelle 3: Vor- und Nachteile des Hochregallagers	9
Tabelle 4: Vor- und Nachteile von Umlaufregallagern	11
Tabelle 5: Vor- und Nachteile von Durchlaufregallagern.....	13
Tabelle 6: Ausgangsdaten.....	53
Tabelle 7: Regaldimensionierung und technische Daten RBG und LAM.....	57
Tabelle 8: Durchsatzmengen pro RBG	63
Tabelle 9: Durchsatzmengen und Auslastung des „AKL mit drei Lagergassen“	64
Tabelle 10: Dimensionierung „AKL mit vier Lagergassen“	65
Tabelle 11: Durchsatzmengen und Auslastung des „AKL mit vier Lagergassen“	66
Tabelle 12: Dimensionierung Karusselllager	67
Tabelle 13: Dimensionierung Durchlaufregallager.....	71
Tabelle 14: Dimensionierung DRL + AKL	74
Tabelle 15: Durchsatz und Auslastung des RBG der kombinierten Variante.....	78
Abbildung 1: Prozessdarstellung - Zwischenlagerung E2-Kisten	3
Abbildung 2: Bodenblocklager vs. Bodenzeilenlager	7
Abbildung 3: Horizontales und vertikales Umlaufregallager	10
Abbildung 4: Darstellung eines Durchlaufregallagers	12
Abbildung 5: Beispiele für ein Einzel- bzw. Doppelspiel eines Regalbediengerätes	16
Abbildung 6: Gerichteter und ungerichteter Graph	24
Abbildung 7: Beispieldarstellung eines Bedienungsmodells	25
Abbildung 8: Schematische Darstellung von stetigen und unstetigen Fördermitteln.....	28
Abbildung 9: Geschwindigkeit-Zeit-Diagramm eines Regalbediengerätes	31
Abbildung 10: Geschwindigkeitsgerade in Abhängigkeit vom Wandparameter w	36
Abbildung 11: Doppeltiefes Lager mit doppel- bzw. einfachtiefer Lagergasse	39

Abbildung 12: Prozessablauf, Doppelspiel inkl. Umlagerung	42
Abbildung 13: Entfernung zum nächsten passenden Lagerplatz in Fachabständen	43
Abbildung 14: Projektphasen.....	50
Abbildung 15: Ablauf der Systemplanung.....	51
Abbildung 16: Grundrissplan.....	54
Abbildung 17: ABC-Analyse.....	55
Abbildung 18: Layoutdarstellung „AKL mit drei Lagergassen“	58
Abbildung 19: Funktionsschema „AKL mit drei Lagergassen“	59
Abbildung 20: Layoutdarstellung „AKL mit vier Lagergassen“	60
Abbildung 21: Funktionsschema „AKL mit vier Lagergassen“	62
Abbildung 22: Layoutdarstellung Umlaufregallager	68
Abbildung 23: Layoutdarstellung Durchlaufregallager	72
Abbildung 24: Layoutdarstellung der kombinierten Lagersystemlösung	75
Abbildung 25: mittlere Arbeitsspielzeit nach Lagergassenlänge	77
Abbildung 26: Industrieroboterarten (I) (II) (III)	81
Abbildung 27: Palettierroboter – Arbeitsplatz	83

Formelverzeichnis

Formel 3-1: Volumensstrom	28
Formel 3-2: Massenstrom.....	29
Formel 3-3: Stückgutstrom von stetigen Fördermitteln	29
Formel 3-4: Stückgutstrom von unstetigen Fördermitteln	30
Formel 3-5: Grenzweg	32
Formel 3-6: Fahrzeit $s > s_g$	32
Formel 3-7: Fahrzeit $s > s_g$	32
Formel 3-8: Fahrzeit $s < s_g$	33
Formel 3-9: Einzelspielzeit	33
Formel 3-10: mittlere Einzelspielzeit.....	34
Formel 3-11: mittlere Einzelspielzeit.....	34
Formel 3-12: Doppelspielzeit	35
Formel 3-13: Wandparameter	37
Formel 3-14: Zeitanteil der Querfahrt	37
Formel 3-15: mittlere Bremsbeschleunigungszeit.....	38
Formel 3-16: Querfahrtzeit.....	38
Formel 3-17: mittlere Doppelspielzeit in Abhängigkeit vom Wandparameter.....	38
Formel 3-18: mittlere Doppelspielzeit für Wandparameter = 1	39
Formel 3-19: mittlere Doppelspielzeit im doppeltiefen Lager	43
Formel 3-20: Zustandswahrscheinlichkeit eines leeren Lagerkanals	44
Formel 3-21: Zustandswahrscheinlichkeit eines einfachbelegten Lagerkanals	44
Formel 3-22: Zustandswahrscheinlichkeit eines doppeltbelegten Lagerkanals.....	44
Formel 3-23: Umlagerwahrscheinlichkeit im Abstand von null Lagerfächern	45
Formel 3-24: Umlagerwahrscheinlichkeit im Abstand von einem Lagerfach	45
Formel 3-25: Umlagerwahrscheinlichkeit im Abstand von zwei Lagerfächern	46
Formel 3-26: mittlere Fahrzeit zum nächsten Nachbarn	46
Formel 4-1 Flächennutzungsgrad.....	54

Abkürzungsverzeichnis

AKL	Automatisches Kleinteilelager
AT	Arbeitstag
bspw.	beispielsweise
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
d. h.	das heißt
DRL	Durchlaufregallager
EDV	Elektronische Datenverarbeitung
ERP	Enterprise Resource Planning
exkl.	exklusive
FEFO	First expired first out
FIFO	First in first out
KLT	Kleinladungsträger
LAM	Lastaufnahmemittel
LIFO	Last in first out
max.	maximal
min.	minimal
RBG	Regalbediengerät
S.	Seite
SCARA	Selective Compliance Assembly Robot Arm
Sek.	Sekunde
usw.	und so weiter
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
vgl.	vergleiche
vs.	versus
WA	Warenausgang
WCS	Warehouse Control System
WE	Wareneingang
WMS	Warehouse Management System
z.B.	zum Beispiel

1 Einleitung

In den vergangenen Jahren hat der Trend zur Automatisierung in der Lebensmittelindustrie stark zugenommen und die Unternehmen haben die Wichtigkeit und das Potenzial des Robotereinsatzes erkannt. Somit steigt auch die Bereitschaft in die Automatisierung von Produktion, Verpackung, Lager und Lebensmittelsicherheit zu investieren.¹

In Unternehmen der Lebensmittelindustrie werden Roboter vor allem zur Erledigung von körperlich belastenden, wenig komplexen und sich wiederholenden Tätigkeiten eingesetzt. Zu diesen Tätigkeiten zählen beispielsweise das Palettieren, Verpacken und Umverpacken. Da das Arbeitsumfeld in der Lebensmittelindustrie vom Tiefkühlager bis zur Arbeit an Öfen reicht, sind Personen, die in diesem Umfeld ihre Arbeit verrichten, sehr oft an der Grenze ihrer körperlichen Belastbarkeit und schädigen eventuell auch ihre Gesundheit.²

Aus eben diesen Gründen zur Humanisierung der Arbeitsplätze und dem vorhandenen Rationalisierungspotenzial erkannte der fleischverarbeitende Betrieb die Sinnhaftigkeit einer Umstellung der Behälterlagerung vom manuellen auf ein automatisiertes System und initiierte die Entwicklung einer automatisierten Lagerlösung.

1.1 Problemstellung und Aufgabeneinschränkung

Ein fleischverarbeitender Betrieb möchte sein Zwischenlager automatisieren. Im Zwischenlager werden E2-Kisten³ die aus der Zerlegung kommen bis zur Kommissionierung gelagert. Das Sortiment des Betriebes zählt 70 unterschiedliche Artikel. Da es sich um leicht verderbliche Güter handelt, werden die Waren nicht länger als 24 Stunden im Zwischenlager gelagert. D. h. (das heißt) das gesamte Lager dreht sich innerhalb eines Tages, was eine leistungsfähige und zuverlässige Lagertechnik voraussetzt.

¹ vgl. Buckenhüskes et al. 2015, 3 f.

² vgl. Buckenhüskes 2015

³ Die E2-Kiste ist ein genormter Eurobehälter aus Kunststoff mit einer Ladekapazität von 30 kg und den Abmessungen 600 x 400 x 200 mm. Der Behälter wird vorwiegend in der Lebensmittelindustrie eingesetzt.

Aktuell werden die Behälter aus der Zerlegung manuell auf sortenreine Paletten absorbiert, bzw. falls bereits ein Kundenauftrag vorliegt umgehend kundengerecht zusammengestellt. Da die einzelnen Behälter ein durchschnittliches Gewicht von ca. 20 kg haben, ist das natürlich eine sehr hohe Belastung für die Mitarbeiter in der Absortierung. Um die Mitarbeiter zu entlasten, bzw. anderweitig einsetzen zu können soll ein automatisches Lager- und Kommissionierkonzept für die Behälterlagerung entwickelt werden.

Die Taktzeit der ankommenden Behälter wird durch eine Anlage zur Erkennung von Fremdkörpern und Messung des Fettgehaltes des Behälterinhaltes bestimmt. Für die Konzepterstellung wird von einer Taktzeit von 5 Sek. ausgegangen.

Die vom Lagersystem zu erzielende Tagesdurchsatzleistung beträgt 8.000 bis 10.000 Behälter pro Tag.

Der Umfang dieser Arbeit bezieht sich auf die Entwicklung unterschiedlicher automatisierte Lagersystemalternativen und deren materialflusstechnische Durchsatzberechnung. Es werden unterschiedliche Lagersysteme für die Lagerung von E2-Kisten miteinander verglichen, maßstabsgetreue Layout-Darstellungen der einzelnen Konzepte visualisiert und die Lagerkapazität sowie die theoretische Durchsatzleistung der einzelnen Alternativkonzepte berechnet. Abschließend werden die Lösungsalternativen beurteilt um eine Entscheidungsvorlage bieten zu können.

Die Software-seitige Realisierung und Umsetzung von WMS (Warehouse Management System - Lagerverwaltungssystem) und WCS (Warehouse Control System) ist nicht Teil der Arbeit. Es wird davon ausgegangen, dass das vorhandene WMS die Lagerverwaltung und Bestandsführung übernehmen kann bzw. beide Systeme zugekauft werden.

1.2 Prozessdarstellung

Für das bessere Systemverständnis ist in Abbildung 1 der betroffene Gesamtprozess grob dargestellt. Der Teilprozess der Zwischenlagerung der E2-Kisten und die Kommissionierung sind ebenfalls in Abbildung 1 in einer etwas höheren Detaillierungsstufe dargestellt.

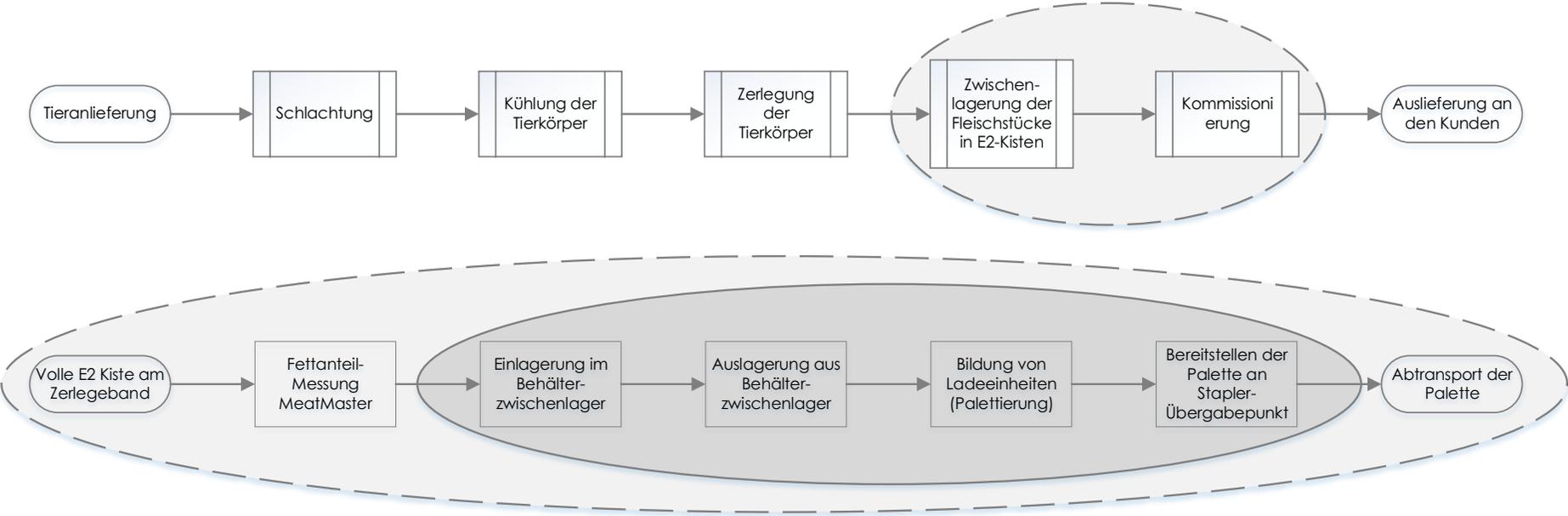


Abbildung 1: Prozessdarstellung - Zwischenlagerung E2-Kisten

1.3 Forschungsfrage

Aus der gegebenen Problemstellung lässt sich folgende Forschungsfrage ableiten:

Wie kann die Behälterzwischenlagerung eines fleischverarbeitenden Betriebes automatisiert werden, um das aktuell eingesetzte Personal in wertschöpfenden Prozessen einsetzen zu können?

Nachfolgende Fragestellungen sind für die Präzisierung der Primärforschungsfrage gedacht und sollen ein Abschweifen in nicht relevante Themenbereiche verhindern.

- Welche Lagersysteme eignen sich für die automatische Behälterlagerung?
- Welche Lagerbetriebsstrategien müssen angewendet werden um die Anforderungen des fleischverarbeitenden Betriebes zu erfüllen?
- Wie groß bzw. leistungsstark soll das Lagerkonzept dimensioniert werden um das Behälteraufkommen aufnehmen und verarbeiten zu können?
- Wie sollen der Materialfluss und das Layout des Lagerkonzeptes gestaltet werden, um den zur Verfügung stehenden Raum optimal auszunutzen?

1.4 Aufbau der Arbeit

Diese Arbeit soll als Entscheidungsgrundlage für die Auswahl eines vollautomatischen Lager- und Kommissionierkonzeptes für einen fleischverarbeitenden Betrieb dienen. Zu Beginn wird die Problemstellung beschrieben und der betrachtete Prozess dargestellt.

Danach wird im theoretischen Teil der Arbeit auf die einzusetzende Lagertechnik und unterschiedliche Lagerorganisationsformen eingegangen. Es werden verschiedenen Lagersysteme für die Behälterlagerung beschrieben und deren Vor- und Nachteile aufgezeigt.

Weiter werden Lagerbetriebsstrategien wie Belegungs- und Bewegungsstrategien, welche starken Einfluss auf die Leistungsfähigkeit der Lagersysteme haben, betrachtet.

Im Unterkapitel der Kommissionier-Konzepte werden gängige Bereitstellungsprinzipien und logistische Entnahmepprinzipien erläutert. Da das Ziel dieser Arbeit die Erstellung eines vollautomatischen Lager- und Kommissionierkonzeptes ist, wird auf die automatische Kommissionierung detaillierter eingegangen.

Um in späterer Folge die Leistungsfähigkeit der erstellten Konzepte bewerten zu können, werden im Kapitel Materialflussanalyse und -berechnung Berechnungsmethoden für den Durchsatz und die Arbeitsspieldauer beschrieben. Weiter wird in diesem Kapitel auf mögliche Materialfluss-Darstellungsmethoden und die Warteschlangentheorie eingegangen.

Im praktischen Teil der Arbeit werden unterschiedliche Lagerkonzepte erstellt. Die Lagerkonzepte unterscheiden sich in der Art des ausgewählten Lagersystems. In jedem Unterkapitel wird ein anderes Lagersystem für die Bewältigung der Lageraufgabe eingesetzt. Um die verschiedenen Lösungsalternativen miteinander vergleichen zu können, sind alle Unterkapitel gleich aufgebaut und bestehen aus der Lagerdimensionierung, der Layout-Darstellung und der Durchsatzberechnung mitsamt Auslastungsbeurteilung.

Für die vollautomatische Bildung der Ladeeinheiten, sollen Palettierroboter eingesetzt werden. Im letzten Unterkapitel wird auf die Dimensionierung der Palettierzone und die Durchsatzberechnung eingegangen. Hier wird auch über die Anzahl der einzusetzenden Roboter entschieden.

Abschließend wird im Conclusio Resümee über die entwickelten Konzepte gezogen und eine Rangreihenfolge erstellt.

2 Lagertechnik und Lagerorganisation

In diesem Kapitel werden unterschiedliche Lagersysteme für die Lagerung von Behältern beschrieben. Weiter wird auf die Lagerorganisation und damit verbunden auch auf Lagerbetriebsstrategien eingegangen. Gegen Ende des Kapitels werden Bereitstellungsprinzipien, logistische Entnahmeprinzipien und die automatische Kommissionierung genauer betrachtet.

2.1 Lagersysteme für die Behälterlagerung

In den folgenden Unterkapiteln werden verschiedene Lagersysteme beschrieben und deren Anwendbarkeit für die zu lösende Problemstellung geprüft. Wie von Ten Hompel und Schmidt (2010) hervorgehoben, können Lagersysteme nach Technik, Form und Ort unterschieden werden. Die Unterscheidungspunkte sind in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1: Differenzierung der Lagersysteme⁴

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

⁴ Ten Hompel und Schmidt 2010, S. 74

2.1.1 Bodenblock- und Bodenzeilenlager

Das Bodenblock- und das Bodenzeilenlager stellen die einfachste Form der Lagerhaltung dar, da nur ein Minimum an Lagertechnik für deren Betrieb notwendig ist. Die Paletten werden im Lagerbereich in Blöcken bzw. Zeilen nebeneinander bzw. sofern es die Tragfähigkeit der Ladehilfsmittel erlaubt übereinander gelagert (siehe Abbildung 2).

Da bei der Blocklagerung immer nur auf die vorderste Reihe zugegriffen werden kann, kann dieses Lagersystem nur nach dem LIFO (Last In First Out) Prinzip bewirtschaftet werden ohne dass Umlagerungen durchgeführt werden müssen. Um die Güterverfügbarkeit zu erhöhen, ist es günstig die Lademittel in Zeilen anzuordnen. Durch die Zeilenlagerung verringert sich der Flächennutzungsgrad im Vergleich zur Blocklagerung, jedoch erhöht sich die Güterverfügbarkeit bei ebenso geringen Kosten für die Lagertechnik. Für die Charakteristik des Zeilenlagers ist ausschlaggebend, dass jede Reihe an einen Bediengang grenzt. Damit dieses Lagersystem für die Behälterlagerung wirtschaftlich betrieben werden kann, müssen die Behälter artikelrein auf Paletten gestapelt werden.⁵

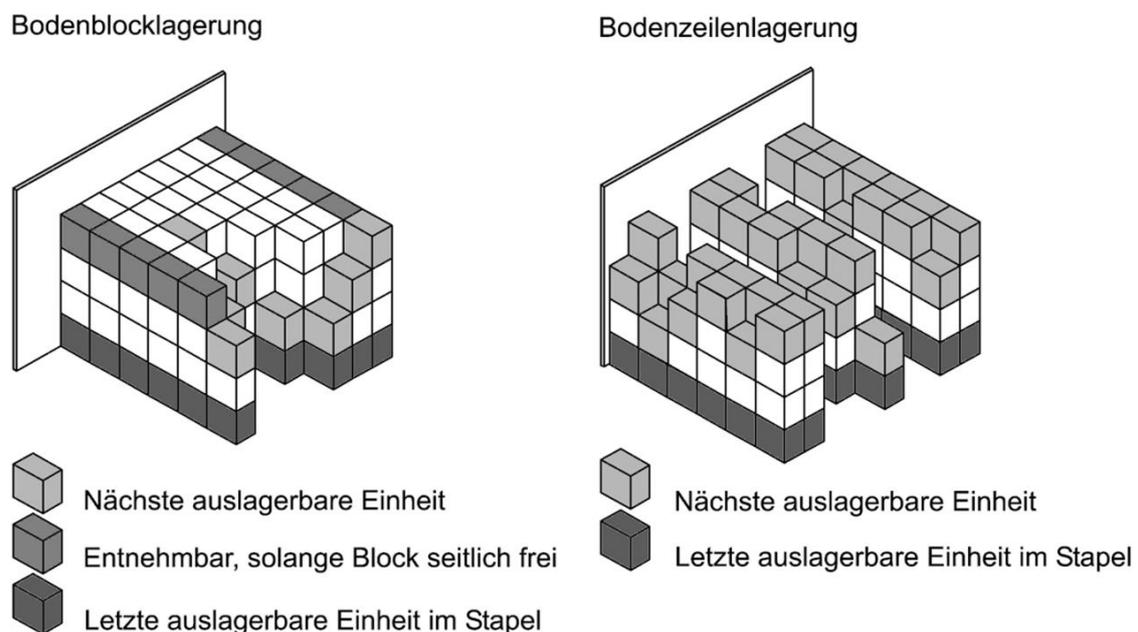


Abbildung 2: Bodenblocklager vs. Bodenzeilenlager⁶

⁵ Vgl. Bichler 2013, S. 27

⁶ Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML 2011 um 14:00

In Tabelle 2 werden die Vor- und Nachteile der Bodenlagerung laut Ehrmann (1997)⁷ und Martin (2006)⁸ zusammengefasst.

Tabelle 2: Vor- und Nachteile der Bodenlagerung

Vorteile	Nachteile
Niedrige Investitionskosten	Keine Transparenz bei größerer Artikelanzahl
In der Regel geringe Lagerkosten	Einschränkungen bei der Produktentnahme
Flexibilität	Viel Umstapelarbeit ⁹ nötig
Geringe Störanfälligkeit	Erschwerte Bestandsführung und -kontrolle
Geringer Personalbedarf	Geringe Automatisierungsmöglichkeiten
Niedrige Anforderungen an Lagergebäude	Beschädigungsgefahr beim Handling
Hohe Raumvolumennutzung	Beschränkte Stapelhöhe
Keine Regalkosten	FIFO-Prinzip nicht möglich

2.1.2 Hochregallager

Hochregallager können sowohl für die Lagerung von Paletten als auch Behältern eingesetzt werden. Paletten-Hochregallager haben meist eine Höhe von 12 m bis 25 m, in Ausnahmefällen können auch Regalhöhen von bis zu 50 m realisiert werden.¹⁰ Bichler (2013) gibt als Faustformel ein Verhältnis von Regalhöhe zu Regallänge von ca. 1:3 an.

Hochregallager können sowohl manuell mit Hochregalstaplern als auch automatisch mit Regalbediengeräten bedient werden. Die Auswahl des Bedienkonzepts hängt vor allem von der zu erzielenden Umschlagsleistung ab. Hochregallager für die Behälterlagerung werden auch als automatische Kleinteilelager (AKL) bezeichnet und werden

⁷ vgl. Ehrmann 1997, S. 363

⁸ vgl. Martin 2006, S. 338

⁹ Umstapelarbeit: Zusätzlicher Arbeitsaufwand um verdeckt stehende Einheiten bzw. Einheiten auf die nicht direkt zugegriffen werden kann auszulagern.

¹⁰ Vgl. Bichler 2013, S. 46

oft als mehrfachtiefe Regallager umgesetzt. Wenn die Regalfächer für eine mehrfach-
tiefe Einlagerung ausgelegt werden, kann die Kapazität des Hochregallagers erhöht
und eine höhere Auslastung der Regalbediengeräte bewerkstelligt werden ohne dass
die Lagerfläche stark vergrößert werden muss und zusätzliche Regalbediengeräte an-
geschafft werden müssen. Unter einem mehrfachtiefen Regalfach versteht man ein
Regalfach in das zwei oder mehr Behälter eingelagert werden können. Bei Hochregal-
lagern mit mehreren tausend Lagerplätzen ist eine Software-unterstützte Lagerplatz-
verwaltung unumgänglich. ¹¹

Wannenwetsch (2010) und Martin (2006) nennen unter anderem die folgenden Vor-
bzw. Nachteile von Hochregallagern:

Tabelle 3: Vor- und Nachteile des Hochregallagers^{12 13}

Vorteile	Nachteile
Gute Flächenausnutzung	Hohe Investitionsausgaben
Gute Höhenausnutzung	Hoher Platzbedarf
Druckfreies Lagern der Güter	Hohe Störanfälligkeit
Kurze Zugriffszeiten	Begrenzte Erweiterungsfähigkeit
Hohe Umschlagsleistung	An bestimmtes Ladehilfsmittel gebunden
Niedriger Personalbedarf	Hoher Organisationsaufwand
Rationelle Organisation	

¹¹ vgl. Ten Hompel und Schmidt 2010, S. 76–79

¹² vgl. Wannenwetsch 2010, S. 324

¹³ vgl. Martin 2006, S. 342

2.1.3 Umlaufregallager

Ten Hompel und Schmidt (2010) beschreiben das Umlaufregal als Stetigfördermittel welches um Ladekapazitäten ergänzt wurde. Diese Lagersysteme werden häufig in Kommissionierlagern eingesetzt und arbeiten nach dem „Ware zum Mann“-Prinzip. Es gibt zwei unterschiedliche Bauformen von Umlaufregalen, vertikale Umlaufregale, auch Paternosterregale genannt und horizontale Umlaufregale die in der Literatur auch als Karusselllager bekannt sind.¹⁴

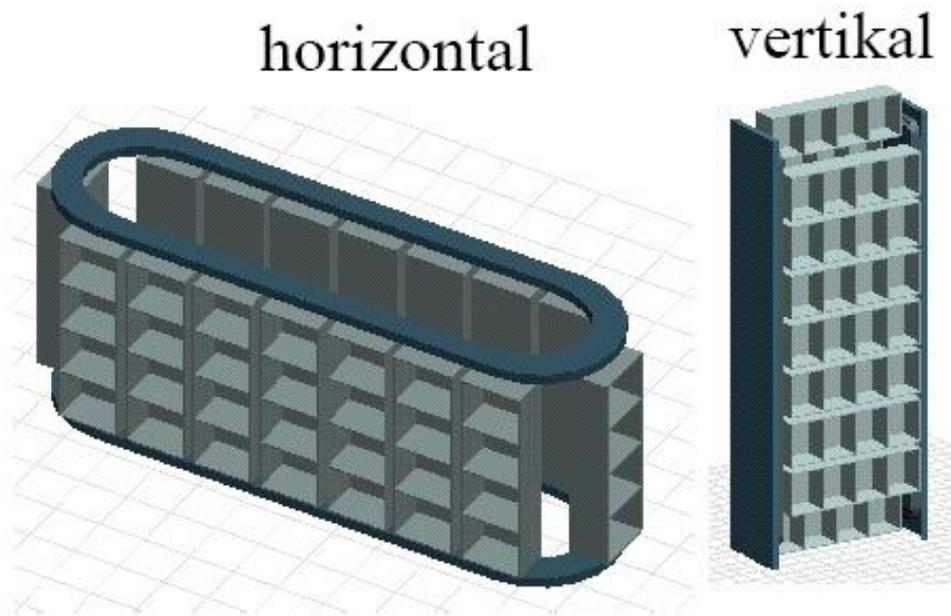


Abbildung 3: Horizontales und vertikales Umlaufregallager¹⁵

Vertikale Umlaufregallager werden vor allem für die Lagerung von Kleinteilen eingesetzt und können bis zu einer Höhe von 12 m und einer Breite von bis zu 4,5 m eingesetzt werden.¹⁶ Der Aufbau eines Paternosterregals besteht aus zwei parallel zu einander umlaufenden Ketten, an denen Lastaufnahmemittel (LAM) z.B. Fachböden angebracht sind die die Waren aufnehmen. Um die Fahrzeiten gering zu halten, sollten gleiche Artikel auf mehreren Ebenen gelagert werden. Durch diese Verteilung können

¹⁴ vgl. Ten Hompel und Schmidt 2010, S. 86

¹⁵ Fischer 2006

¹⁶ vgl. Martin 2006, S. 347

unnötig lange Verfahrzeiten verhindert werden. Die Bedienung erfolgt vorwiegend manuell.¹⁷

Das Grundprinzip der horizontalen Umlaufregale unterscheidet sich nicht von jenem der vertikalen Umlaufregale. Diese Systeme stellen eine gute Alternative für Lager mit einer niedrigen Raumhöhe dar. Die Ein- und Auslagerung erfolgt in der Regel stirnseitig. Durch die engen Umlenkstrahlen können die Gangbreiten reduziert und die Flächenausnutzung erhöht werden. Um die Ein- und Auslagerleistung zu steigern, können die einzelnen Regalebenen auch unabhängig voneinander reversierend verfahren werden. Somit kann im Idealfall auf allen Regalebenen gleichzeitig ein- bzw. ausgelagert werden.¹⁸

Ein Beispiel für die automatisierte Ein- und Auslagerung in und aus einem Umlaufregallager beschreibt Martin (2006). Er verweist auf eine bis zu 10-mal höhere Ein- und Auslagerleistung im Vergleich zu gewöhnlichen Karusselllagern. Durch die Bedienung mittels Aufzug sollen bis zu 700 Doppelspiele pro Stunde erreicht werden.¹⁹

In Tabelle 4 sind die Vor- und Nachteile von Umlaufregallagern laut Ehrmann (1997)²⁰ zusammengefasst.

Tabelle 4: Vor- und Nachteile von Umlaufregallagern

Vorteile	Nachteile
Gute Automatisierbarkeit	Relativ geringe Flexibilität
Gute Rumaussnutzung	Hohe Investitionsaufwendungen
Gewährleistung des FIFO-Prinzips	Hohe Wartungskosten
Gute Organisationsmöglichkeit	Erschwerte Ausbaumöglichkeit
Schutz der gelagerten Güter	Ausfallrisiko
Gute Kommissionierungsmöglichkeit	

¹⁷ vgl. Gleißner und Femerling 2008, S. 96

¹⁸ vgl. Ten Hompel und Schmidt 2010, S. 86

¹⁹ vgl. Martin 2006, 405 f.

²⁰ Ehrmann 1997, S. 365

2.1.4 Durchlaufregallager

Bei einem Durchlaufregal bewegen sich die Ladeeinheiten mittels Schwerkraft, bzw. unter Umständen auch angetrieben, vom Einlagerort zum Auslagerort. Um die Bewegung des Lagerguts gewährleisten zu können, müssen die Kanäle mit einer Neigung von 2° bis 8° montiert werden. Ein- und Auslagerort befinden sich auf den jeweils gegenüberliegenden Enden eines Kanals, somit ist die Einhaltung des FIFO-Prinzips zwingend erfüllt.²¹

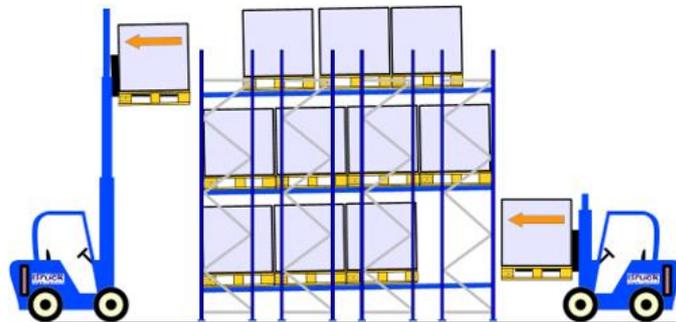


Abbildung 4: Darstellung eines Durchlaufregallagers²²

Bei längeren Kanalausführungen bzw. um dem Druck zwischen den Lagereinheiten zu reduzieren, können in den Kanälen neben normalen Tragrollen auch Bremsrollen eingebaut werden, welche die Durchlaufgeschwindigkeit der Ladeeinheit im Kanal beschränken. Diese Art von Lagersystem kann sowohl für die Lagerung von Paletten, Behältern und Kartonagen verwendet werden. Die Kanalbreiten und die Traglast müssen an die Abmessungen der Ladeeinheiten und das Ladungsgewicht angepasst sein.²³

Die Länge der Lagerkanäle variiert je nach Ladehilfsmittel unterschiedlich. Werden z.B. Paletten im Durchlaufregallager gelagert, dann können Kanallängen von bis zu 40 m realisiert werden. Werden hingegen Behälter bzw. Kleinladungsträger (KLT) im Durchlaufregal gelagert, sollten die Lagerkanäle nicht länger als 20 m sein. Die Umschlagshäufigkeit der Artikel spielt bei der Planung der Kanallänge eine wichtige Rolle. Denn werden in sehr langen Kanälen Artikel mit geringer Umschlagshäufigkeit gelagert, re-

²¹ vgl. Martin 2006, S. 355

²² Rückamp Schulze

²³ vgl. Bichler 2013, S. 38

duziert dies den Volumensnutzungsgrad. Umgekehrt kann es zu Versorgungsengpässen kommen, wenn Artikel mit einer sehr hohen Umschlagshäufigkeit in relativ kurzen Lagerkanälen gelagert werden.²⁴

In Tabelle 5 sind die Vor- und Nachteile von Durchlaufregalen nach Ehrmann (1997)²⁵ und Wannewetsch (2010)²⁶ zusammengefasst.

Tabelle 5: Vor- und Nachteile von Durchlaufregallagern

Vorteile	Nachteile
Möglichkeit der Einhaltung des FIFO-Prinzips	Nicht jeder Ladungsträger uneingeschränkt einsetzbar
Hohe Raumausnutzung	Lagergut kann in Kanal liegen bleiben
Hohe Zugriffs- und Entnahmeleistung	Nur ein Kanal pro Artikel sinnvoll
Gute Automatisierungsmöglichkeit	Hohe Wartungskosten
Trennung von Ein- und Auslagerung	Hohe Investitionskosten je nach Ausstattung
Einfache Organisierbarkeit	Störanfälligkeit
Leichte Bestandsüberwachung	Relativ starr
Anpassungsfähigkeit	Verschiedene technische Sicherungen nötig

2.2 Lagerbetriebsstrategien

Wie von Gudehus (2012) hervorgehoben wird, hängen die Kosten und die Leistung eines Lagersystems stark von der gewählten Lagerbetriebsstrategie ab. Durch eine geeignete Auswahl einer Lagerbetriebsstrategie können bei der Neuplanung Investitions- und zukünftige Betriebskosten reduziert, sowie bei bestehenden Lagern Durchsatz und Platzausnutzung optimiert werden.²⁷

Er unterteilt die Lagerbetriebsstrategien in zwei Kategorien, in Belegungsstrategien und Bewegungsstrategien.

²⁴ vgl. Arnold et al. 2008, S. 652

²⁵ vgl. Ehrmann 1997, S. 365

²⁶ vgl. Wannewetsch 2010, S. 325

²⁷ vgl. Gudehus 2012, S. 646

2.2.1 Belegungsstrategien

Die unterschiedlichen Belegungsstrategien weisen den Artikeln bestimmte Lagerzonen bzw. Lagerplätze zu. Das Ziel dieser Zuweisung ist das Erreichen einer möglichst guten Platzausnutzung und die Einhaltung möglichst kurzer Wege zwischen Ein- und Auslagerung. Gudehus nennt die folgenden Belegungsstrategien²⁸

- Schnellläuferkonzentration
- Feste Lagerplatzordnung
- Freie Lagerplatzordnung
- Zonenweise feste Lagerplatzordnung
- Gleichverteilungsstrategie
- Platzanpassung
- Artikelreine oder Chargenreine Platzbelegung
- Artikelgemischte Platzbelegung
- Minimieren von Anbruchlagerplätzen

Schnellläuferkonzentration

Bei der Schnellläuferkonzentration werden Artikel die eine hohe Umschlagshäufigkeit haben, nahe beim Ein- und Auslagerpunkt eingelagert um die mittleren Fahrwege der Lagerbediengeräte zu reduzieren.²⁹

Feste Lagerplatzordnung

Bei der festen Lagerplatzordnung, werden Lagerplätze für bestimmte Artikel reserviert. Die Anzahl der reservierten Plätze wird durch den maximalen Lagerbestand des jeweiligen Artikels bestimmt. Nachteile dieser Strategie sind ein relativ geringer Lagerfüllgrad, die begrenzte Lagerkapazität pro Position und ein vergleichsweise schwer einzuhaltendes FIFO Prinzip.³⁰

²⁸ Gudehus 2012, S. 646

²⁹ vgl. Gudehus 2012, S. 646

³⁰ vgl. Hartmann 2002, S. 562

Freie Lagerplatzordnung

Bei der freien Lagerplatzordnung kann jeder Artikel auf jedem vorhandenen freien Lagerplatz eingelagert werden. Diese Belegungsstrategie wird häufig auch als chaotische Lagerplatzordnung bezeichnet. Um diese Strategie wirtschaftlich führen zu können, muss ein EDV System für die Informationsverarbeitung und –speicherung installiert sein.³¹

Zonenweise feste Lagerplatzordnung

Einzelnen Artikeln werden feste Lagerplätze innerhalb einer Lagerzone zugewiesen. Oft können aufgrund bestimmter Lagerplatzeigenschaften (Abmessungen) auch nur diese dem Lagerplatz fest zugewiesenen Artikel gelagert werden. Ein weiteres Beispiel für eine zonenweise feste Lagerplatzordnung wäre auch die Beschickung eines Durchlaufregallagers mit zonenweiser Anordnung der Regalkanäle welche nur artikelrein beschickt werden dürfen.³²

Gleichverteilungsstrategie

Die Gleichverteilungsstrategie kommt vor allem bei Lagern mit mehreren Lagergassen zum Einsatz. Um die Artikelverfügbarkeit von allen Artikeln, auch beim Ausfall einzelner Lagergassen, zu gewährleisten, werden alle Artikel gleichmäßig in allen Lagergassen eingelagert. Mit einer zyklischen Gangzuweisung bei der Einlagerung der Artikel kann sehr einfach eine Gleichverteilung aller Artikel im Lager erreicht werden.³³

Artikelgemischte Platzbelegung

Können an einem Lagerplatz mehr als eine Lagereinheit eingelagert werden, dann kann es zu einer artikelgemischten Platzbelegung kommen. Bei dieser Belegungsstrategie sind Umlagerungen unumgänglich. Diese können in betriebsschwachen Zeiten durchgeführt werden um Leistungseinbußen zu vermeiden. Müssen die Umlagerungen hingegen im laufenden Betrieb erledigt werden, die Kosten um einen Faktor 30 höher

³¹ vgl. Hartmann 2002, S. 566

³² vgl. Gudehus 2012, S. 647

³³ vgl. Gudehus 2012, S. 647

sein als die täglichen Lagerplatzkosten pro Ladeinheit. Somit sollte auf die artikelgemischte Platzbelegung nur im Notfall zurückgegriffen werden.³⁴

2.2.2 Bewegungsstrategien

Durch die Bewegungsstrategie wird die Reihenfolge von Ein-, Um- und Auslagerungen definiert. Eine optimierte Reihenfolge dieser drei Tätigkeiten soll die Leistungsfähigkeit des Lagersystems erhöhen und den Durchsatz steigern. Dieses Kapitel basiert auf Gudehus (2012), dieser nennt folgende Bewegungsstrategien:³⁵

- Einzelspielstrategie
- Doppelspielstrategie
- Fahrwegstrategien
- Umlagerstrategien
- Gangwechselstrategie
- Zuförderstrategien
- Abförderstrategien

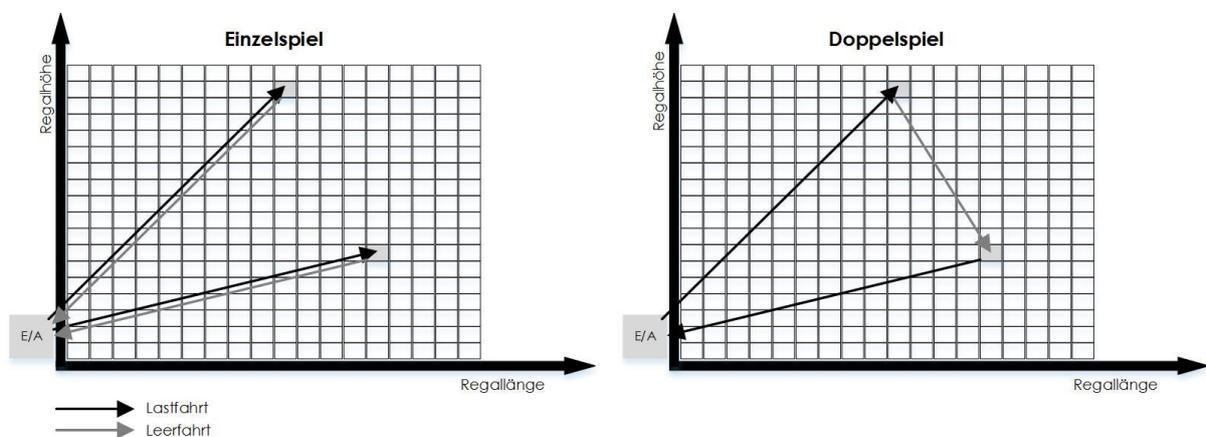


Abbildung 5: Beispiele für ein Einzel- bzw. Doppelspiel eines Regalbediengerätes³⁶

³⁴ vgl. Gudehus 2012, S. 647

³⁵ vgl. Gudehus 2012, S. 648

³⁶ Eigene Abbildung

Einzel- und Doppelspielstrategie

Bei der Einzelspielstrategie werden je nachdem ob Einlagerungen oder Auslagerungen vorrangig sind Einlagerspiele bzw. Auslagerspiele durchgeführt. Zwischen den einzelnen Einlagerungen bzw. Auslagerungen werden vermehrte Leerfahrten in Kauf genommen um die Ein- bzw. Auslagerleistung zu erhöhen.³⁷

Um Leerfahrten zu reduzieren und die Auslastung der Fördermittel z.B. Regalbediengeräte zu erhöhen, können Ein- und Auslageraufträge kombiniert werden. Diese Kombination der Transportaufträge nennt man Doppelspielstrategie. Bei dieser Strategie werden den Einlageraufträgen Auslageraufträge die möglichst nahe am Einlagerort liegen zugeteilt. Somit entstehen nur möglichst kurze Leerfahrten zwischen Ein- und Auslagerort.³⁸

Umlagerstrategien

Bei Regallagern mit mehrfach tiefen Lagerplätzen und in Bodenblocklagern, sind Umlagerungen unumgänglich um verdeckte Ladeeinheiten frei zu räumen. Die reinen Umlagerungen erfolgen in Zeiten in denen keine Ein- bzw. Auslagerungen durchzuführen sind.³⁹

Umlagerungen können aber bei doppelbreiten Lastaufnahmemitteln auch mit einer Ein- bzw. Auslagerung kombiniert werden. Dabei wird beispielsweise die umzulagernde Ladeeinheit zur nächsten auszulagernden Ladeeinheit transportiert und auf der gegenüberliegenden Seite der auszulagernden Ladeeinheit eingelagert.⁴⁰

Seemüller (2006) beschreibt diese Art der Umlagerungsstrategie als „Einlagerung nahe Auslagerung“ bzw. als „Strategie des nächsten Nachbarn“.⁴¹

³⁷ vgl. Gudehus 2012, S. 648

³⁸ vgl. Gudehus 2012, S. 648

³⁹ vgl. Gudehus 2012, S. 649

⁴⁰ vgl. THOMAS + PARTNER GmbH & Co. KG 2013

⁴¹ vgl. Seemüller 2006, S. 99

Zu- und Abförderstrategien

Die Zuförderstrategien legen fest, auf welche Art die Lagergassen mit einzulagernden Ladeeinheiten versorgt werden. Die Versorgung kann entweder zyklisch auf alle Lagergassen oder schubweise auf jene Lagergasse mit den meisten freien Plätzen im Einlagerpuffer erfolgen.

Eine gängige Abförderstrategie ist jene bei der die am dringendsten benötigten Ladeeinheiten absolute Vorfahrt beim Einschleusen auf die Hauptförderstrecken bekommen.⁴²

Gudehus (2012)⁴³ nennt unter anderem noch die Fahrwegstrategie und die Gangwechselstrategie, diese beiden Strategien werden in dieser Arbeit aber nicht genauer behandelt, da diese vor allem für Lagergeräte, die den Gang wechseln können anwendbar sind. Aufgrund der hohen Umschlagsleistung kommt ein Gangwechsel der Lagergeräte und der damit verbundene Zeitverlust nicht in Frage.

2.3 Kommissionier-Konzepte

In diesem Kapitel sollen die allgemeinen Konzepte für die Kommissionierung von Behältern erläutert werden. Grundsätzlich können zwei Arten der Kommissionierung unterschieden werden, die automatische und die manuelle Kommissionierung welche nach dem Bereitstellungsprinzip Mann zur Ware und Ware zum Mann erfolgen kann. Da der Kommissionierprozess der komplexeste, fehleranfälligste und meist auch personalintensivste Prozess der Lagerlogistik ist, ist es besonders wichtig diesen so genau wie möglich zu planen um Fehler zu vermeiden bevor sie entstehen.⁴⁴

2.3.1 Mann zur Ware

Das statische Mann zur Ware Bereitstellungsprinzip ist ohne hohe Investitionen in die Fördertechnik umsetzbar, da die Artikel auf festen Lagerplätzen gelagert werden. Der Kommissionierer bewegt sich entweder zu Fuß mit einem Kommissionierwagen oder mit einem motorgetriebenem Flurförderfahrzeug durch die Lagergassen bzw. entlang

⁴² vgl. Gudehus 2012, S. 649

⁴³ vgl. Gudehus 2012, S. 649

⁴⁴ vgl. Arnold et al. 2008, S. 681

der Regalzeilen und entnimmt die Artikel direkt am Lagerort. Die Information, welche Produkte entnommen werden sollen, können dem Kommissionierer mittels Pick-Liste in gedruckter oder digitaler Form (Einsatz von Tablets) übermittelt werden.⁴⁵

Eine andere Form der Informationsübermittlung bietet das „Pick by Voice“ Verfahren. Hierbei werden dem Mitarbeiter die nötigen Informationen (Gangnummer, Regalnummer, Fachnummer) über ein Headset diktiert. Zur Kontrolle bestätigt er die Entnahme durch das Rückmelden der Prüfziffer die am Lagerfach angebracht ist, über das Mikrophon am Headset.⁴⁶

Der größte Vorteil dieses Verfahrens ist, dass der Kommissionierer beide Hände für die Manipulation der Artikel frei hat.

Ähnlich funktioniert das „Pick by Light“ bei dem der Picker (Mitarbeiter der die Aufträge physisch zusammenstellt) mittels optischer Signale durch den Kommissionierprozess geleitet wird. Der Arbeitsplatz besteht aus einer Regalwand aus der die unterschiedlichen Artikel entnommen werden. Mittels eines Displays, das über dem Behälter angebracht ist, wird dem Kommissionierer die Anzahl die entnommen werden muss angezeigt. Erst nach Bestätigung der Entnahme mittels Tastendruck, erlischt das Licht über dem Behälter aus dem entnommen wurde. Die Vorteile dieses Kommissioniersystems liegen nicht nur in der Reduktion der Kommissionierwege, der geringen Fehlerrate und schnellen Einschulungsphase, sondern auch darin, dass bestehende Regale nachträglich mit diesem System ausgestattet werden können.⁴⁷

2.3.2 Ware zum Mann

Beim „Ware zum Mann“ Prinzip handelt es sich um ein dynamisches Bereitstellprinzip, bei dem der Kommissionierer seinen Arbeitsplatz nicht verlassen muss. Die Behälter aus denen er Waren entnehmen muss werden ihm über eine automatische Fördertechnik bereitgestellt. Nach der Entnahme der Artikel werden die Ladehilfsmittel wieder eingelagert bzw. kommen für die Zwischenlagerung in eine Anbruchzone.⁴⁸

⁴⁵ vgl. Ten Hompel et al. 2011, S. 66

⁴⁶ vgl. Bichler et al. 2010, S. 210

⁴⁷ vgl. Arnold et al. 2008, S. 840

⁴⁸ vgl. Bichler et al. 2010, S. 212

An Kommissionierstationen werden dem Picker alle Behälter aus denen Waren entnommen werden sollen, von der Fördertechnik bereitgestellt. Wenn mehrere Behälter für die Entnahme zeitgleich bereitgestellt werden, kann mittels „Pick by Light“ angezeigt werden, aus welchem Behälter entnommen werden muss. Werden ebenfalls mehrere Auftragsbehälter, in die kommissioniert werden muss, bereitgestellt, kann hier auch mittels eines Lichtsignals angezeigt werden für welchen Behälter die Produkte bestimmt sind. Dies nennt man dann „Put to Light“.⁴⁹

2.3.3 Automatische Kommissionierung

Bei der vollautomatischen Kommissionierung soll die kundengerechte Zusammenstellung der bestellten Artikel ohne das Einwirken von Mitarbeitern erfolgen.

Eine bekannte Umsetzungsform für den Ansatz der automatischen Kommissionierung ist der Einsatz von Schachtautomaten bzw. Schachtkommissionierern in der Pharmaindustrie. Die Kommissionierautomaten bestehen aus nebeneinander angeordneten Schächten welche die einzelnen Medikamente enthalten. Unter den Schächten ist ein Transportband angebracht, welches entweder einen Sammelbehälter transportiert, oder in Bandabschnitte, die einer bestimmten Bestellung zugeteilt sind, unterteilt ist (Pick to Belt). In jeden Behälter bzw. auf jeden Bandabschnitt werden die Artikel der jeweiligen Bestellung kommissioniert. Die einzelnen Schächte sind mit Auswurfmechanismen ausgestattet um die Medikamentenpäckchen auszuwerfen sobald sich der Behälter bzw. Bandabschnitt unter dem Schacht befindet.⁵⁰

Bei der „Pick to Belt“ Kommissioniermethode werden die Artikel direkt auf das Transportband gelegt. Somit wird durch den Verzicht auf einen Sammelbehälter eine unbegrenzte Sammelkapazität erreicht.⁵¹

Ein anderes Beispiel ist der Einsatz von Kommissionierrobotern in Verteilzentren von Supermärkten. Hier werden Roboter für das Kommissionieren von Getränkekisten eingesetzt. Die Roboter sind in der Lage selbstständig Kisten von einer Quell-Palette abzustapeln und auf der Ziel-Palette abzustellen.

⁴⁹ vgl. Ten Hompel et al. 2011, S. 76

⁵⁰ vgl. Bichler 2013, S. 82

⁵¹ vgl. Ten Hompel et al. 2011, S. 86

Es fällt auf, dass die Form der Artikel, die für eine automatische Kommissionierung geeignet sind, möglichst gleichförmig sein sollte. Denn die Medikamentenpäckchen und auch die Getränkeboxen sind im Allgemeinen quaderförmig mit wenigen bis keinen Ecken und Kanten, die ein Hängenbleiben verursachen könnten. Somit wäre eine automatische Kommissionierung von standardisierten Behältern durchaus realisierbar.⁵²

2.3.4 Logistische Entnahmeprinzipien

Im folgenden Kapitel werden die gängigen Entnahmeprinzipien bzw. Prioritätsregeln erklärt und geeignete Lagersysteme zu den Prinzipien genannt. Als Grundlage für die Erläuterung der einzelnen Prinzipien diene „Transport- und Lagerlogistik“ von Martin (2006).

FIFO (First In First Out)

Wird ein Lager nach dem FIFO-Prinzip bewirtschaftet, dann werden immer jene Ladeeinheiten zuerst entnommen, die bereits am längsten auf Lager liegen bzw. als erste eingelagert wurden. FIFO kann am einfachsten mit Hilfe eines Durchlaufregallagers mit örtlich getrennter Ein- und Auslagerung umgesetzt werden.⁵³

FEFO (First Expired First Out)

Das FEFO-Prinzip ist dem FIFO-Prinzip sehr ähnlich, jedoch beschränkt sich FEFO nur auf Lagergüter mit Ablaufdatum, daher beschränkt sich das Einsatzgebiet auf die Lebensmittel- und Pharmaindustrie. Erfolgt die Auslagerung nach dem FEFO-Prinzip, dann werden immer jene Artikel zuerst ausgelagert, dessen Ablaufdatum am nächsten in der Zukunft liegt, somit soll ein unnötiger Verderb der Güter vermieden werden.⁵⁴

LIFO (Last In First Out)

Das Gegenstück zum FIFO bildet das LIFO. Bei diesem Auslagerprinzip werden zuerst jene Ladeeinheiten zuerst ausgelagert die als letzte eingelagert wurden. Diese Auslagerprinzipien sind bei Einschub- und Einfahrregalen sowie Bodenblocklagern zwangsläufig anzuwenden, denn durch die einseitige Zugriffsmöglichkeit ist ohne aufwendige

⁵² vgl. Ten Hompel et al. 2011, S. 83

⁵³ vgl. Martin 2006, S. 328

⁵⁴ vgl. DR. THOMAS + PARTNER GmbH & Co. KG 2014

Umlagerungen nur das LIFO anwendbar. Somit ist dieses Prinzip nicht für die Lagerung von verderblichen Gütern einsetzbar.⁵⁵

Eignung der beschriebenen Prinzipien

Da es sich bei der Problemstellung um die Lagerung von verderblichen Gütern handelt, sind lediglich das FIFO und das FEFO Prinzip anwendbar. Bei LIFO würde es zwangsläufig zu einem vermehrten Verderb der Lebensmittel kommen, dies wäre nicht nur unwirtschaftlich, sondern auch eine unnötige Verschwendung von wertvollen Lebensmitteln.

⁵⁵ vgl. Martin 2006, S. 328

3 Materialflussanalyse und -berechnung

Für eine ganzheitliche Optimierung bestehender Materialflusssysteme sind die Durchführung einer Materialflussanalyse sowie eine detaillierte Berechnung der Flusssysteme anzuraten. Denn somit können unterschiedliche Materialflusskonzepte miteinander verglichen und das für die Problemlösung optimale ausgewählt und umgesetzt werden.

Im Vorfeld der Materialflussrechnung müssen Daten erhoben und die Problemstellung genau analysiert werden. Nach erfolgter Analyse und Strukturierung der Problemstellung, kann ein Modell erstellt werden, anhand dessen dann unterschiedliche Berechnungsverfahren angewandt werden um eine Optimierung des Materialflusssystems zu erreichen.⁵⁶

Einen großen wissenschaftlichen sowie praktischen Stellenwert haben dabei das Graphenmodell und das Bedienungsmodell erlangt. Diese beiden Formen werden nachstehend kurz erläutert.

3.1 Materialflussanalyse - Darstellungsmethoden

Graphenmodell

Im Graphenmodell werden die unterschiedlichen Elemente des Materialflusssystems als Knoten und Kanten dargestellt. Grundsätzlich wird dabei zwischen gerichteten und ungerichteten Graphen unterschieden. Bei ungerichteten Graphen können die Kanten zwischen zwei Knoten in beide Richtungen durchlaufen werden. Bei gerichteten Graphen ist die Bewegung entlang einer Kante nur in eine Richtung möglich.⁵⁷

Knoten von denen Kanten ausschließlich herausführen werden als Quellen bezeichnet, umgekehrt bezeichnet man Knoten zu denen Kanten ausschließlich hin führen als Senken.⁵⁸

⁵⁶ vgl. Großeschallau 1984, S. 2

⁵⁷ vgl. Bondy und Murty 1976, S. 171

⁵⁸ vgl. Bondy und Murty 1976, S. 191

In Abbildung 6 wird mittels einer simplifizierten Darstellung der Unterschied zwischen gerichteten und ungerichteten Graphen hervorgehoben.

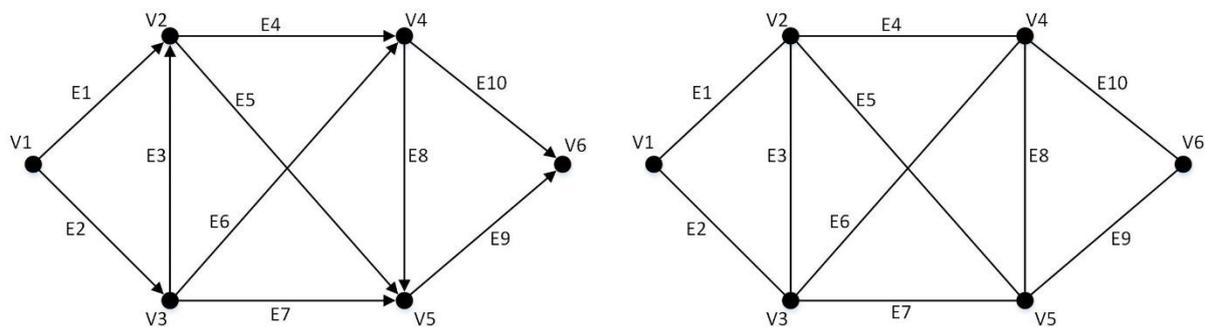


Abbildung 6: Gerichteter und ungerichteter Graph

Bedienungsmodell

Wie auch beim Graphenmodell, beinhaltet das Bedienungsmodell Quelle und Senke. Der Bereich zwischen Quelle und Senke wird als Bedienungsanlage bezeichnet. Diese Bedienungsanlage besteht aus einer Warteschlange⁵⁹ sowie einem Bedienungsknoten mit mehreren Bedienungskanälen und wird von der Quelle mit Objekten für die Bearbeitung versorgt. Nachdem die Objekte die Bedienungsanlage durchlaufen haben, gelangen sie zu einer Senke, bzw. zu einer weiteren Quelle für eine andere Bedienungsanlage. Das Bedienungsmodell kann als Grundlage für die Berechnung von Warteschlangenlängen und Wartezeiten genutzt werden.⁶⁰

⁵⁹ Eine Warteschlange bildet sich vor einem Bedienungsknoten und beinhaltet Objekte die darauf warten im Bedienungsknoten bearbeitet zu werden.

⁶⁰ vgl. Großeschallau 1984, S. 7

Die schematische Darstellung in Abbildung 7 zeigt den zuvor erwähnten Aufbau eines Bedienungsmodells.

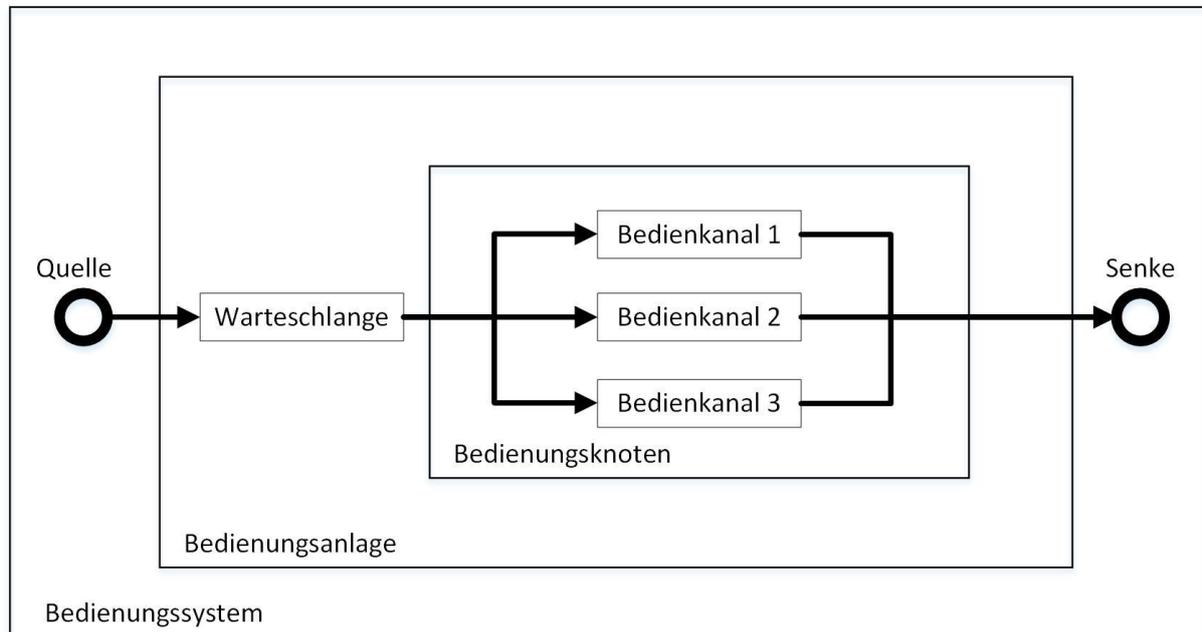


Abbildung 7: Beispieldarstellung eines Bedienungsmodells⁶¹

Die VDI Richtlinie 3596 unterscheidet drei verschiedene Darstellungsmethoden:⁶²

- Zweidimensionale Darstellungsmethoden
- Räumliche Darstellungsmethoden
- Mathematische Darstellungsmethoden

Unter den zweidimensionalen Darstellungsmethoden sind vor allem das Ablaufschema und das Flussdiagramm zu erwähnen, da diese beiden Methoden sehr einfach anwendbar und leicht verständlich sind. Das Ablaufschema bietet die Möglichkeit die zu durchlaufenden Stationen in einfacher Art und Weise darzustellen, enthält aber keinerlei Informationen über eingesetzte Fördermittel bzw. Materialströme. Die Materialströme werden im Flussdiagramm dargestellt. Bei dieser Darstellungsform, kann bereits anhand der Strichstärke der mengenmäßige Materialdurchfluss pro Zeiteinheit abgelesen werden.⁶³

⁶¹ vgl. Großeschallau 1984, S. 6

⁶² VDI Richtlinie VDI 3596

⁶³ vgl. VDI Richtlinie VDI 3596

Nachfolgend wird auf die matrizenartige Materialflussdarstellung aus der Gruppe der mathematischen Darstellungsmethoden eingegangen. Bei dieser Darstellungsform werden meist eine „Von-Nach-Matrix“ und eine „Wege-Matrix“ erstellt.

Die „Von-Nach-Matrix“ beschreibt z.B. wie viele Behälter pro Zeiteinheit von Station zu Station transportiert werden müssen. Die Weglängen zwischen den unterschiedlichen Arbeitsstationen sind in der „Wege-Matrix“ enthalten. Mit Hilfe dieser beiden Matrizen kann dann die spezifische Transportarbeit errechnet werden. Eine der komplexesten aber auch vielseitig einsetzbarsten Darstellungsmethoden ist die Simulation des Materialflusses. Mit der geeigneten Simulationssoftware und ausreichendem Prozesswissen führt die Simulation zu sehr realitätsnahen Ergebnissen.⁶⁴

Nachdem die unterschiedlichen Darstellungsmodelle nun ausführlich behandelt wurden, wird in den folgenden Kapiteln auf die Materialflussrechnung detaillierter eingegangen.

Großeschallau (1984) geht in seinem Buch „Materialflussrechnung“ in unterschiedlichen Kapiteln auf die folgenden sechs Themengebiete der Materialflussrechnung ein:

- Klassische Stromstärke- und Durchsatzberechnung
- Spielzeitberechnung
- Grenzleistungsberechnung
- Warteschlangen- und Wartezeitberechnung
- Analyse komplexer Materialflusssysteme
- Simulation komplexer Materialflusssysteme

In den folgenden Kapiteln werden die Durchsatzberechnung, Spielzeitberechnung und die Warteschlangen und Wartezeitberechnung genauer beschrieben.

⁶⁴ vgl. VDI Richtlinie VDI 3596

3.2 Durchsatzberechnung

Die **klassische Stromstärke- und Durchsatzberechnung** ermöglicht uns die Menge, die pro Zeiteinheit durch das Materialflusssystem bewegt werden kann, zu bestimmen. Abhängig vom zu fördernden Gut unterscheidet man die folgenden drei Arten von Strömen:

- Massenstrom [kg/h]
- Volumenstrom [m³/h]
- Stückgutstrom [Stk/h]

Es muss auch bei der Art des Fördermittels zwischen stetigen und unstetigen Förderern unterschieden werden (siehe Abbildung 8). Bei den stetigen Förderern ist ein kontinuierlicher Materialfluss erreichbar. Beispiele für stetige Fördermittel sind z.B. Gurtförderer, Schneckenförderer und Rollenförderer. Unstetige Fördermittel kennzeichnen sich dadurch, dass zwischen den einzelnen Lastfahrten, bei denen Güter von einem bestimmten Quellort zu einem bestimmten Zielort transportiert werden, Leerfahrten stattfinden. Bei diesen Leerfahrten bewegt sich das Fahrzeug von letztem Zielort zum neuen Quellort, um einen neuen Transportauftrag durchzuführen. Bei unstetigen Fördermitteln wird der Umschlag mit Hilfe von Arbeitsspielen berechnet. Stetige Fördermittel arbeiten im Allgemeinen zwar wirtschaftlicher, jedoch sind unstetige Fördermittel wie bspw. Flurförderfahrzeuge flexibler einsetzbar, da diese nicht an eine bestimmte Förderstrecke gebunden sind.⁶⁵

⁶⁵ vgl. Römisch 2012, S. 2

Beispiele für unstetige Fördermittel sind Flurförderzeuge (Stapler), Kräne und Regalbediengeräte.

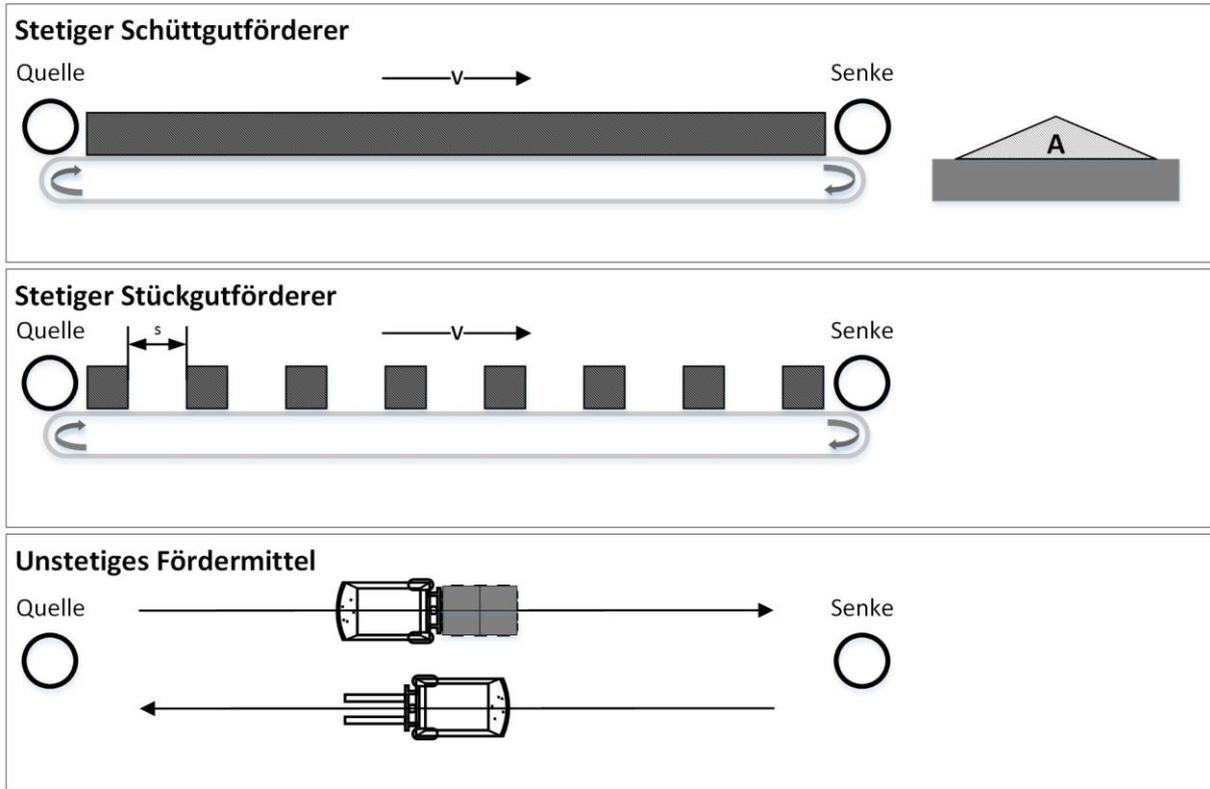


Abbildung 8: Schematische Darstellung von stetigen und unstetigen Fördermitteln⁶⁶

Durchsatzberechnung von stetigen Fördermitteln für den Schüttguttransport:⁶⁷

Formel 3-1: Volumensstrom

$$Q_V = A * v * 3600$$

$Q_V = \text{Volumenstrom}$ $[m^3/h]$

$A = \text{Querschnittsfläche}$ $[m^2]$

$v = \text{Fördergeschwindigkeit}$ $[m/s]$

⁶⁶ vgl. Großeschallau 1984, S. 30

⁶⁷ vgl. Römisch 2012, S. 177

Der Volumenstrom kann abhängig von der Querschnittsfläche, die vor allem von den Schüttguteigenschaften wie bspw. dem Schüttwinkel abhängt, und der Fördergeschwindigkeit variieren.

Um von dem Volumenstrom auf den Massenstrom zu kommen, ist es nötig Formel 3-1 um die Schüttdichte ρ zu erweitern.⁶⁸

Formel 3-2: Massenstrom

$$Q_m = A * v * \rho * 3600$$

$$Q_m = \text{Massenstrom} \quad [\text{kg/h}]$$

$$\rho = \text{Schüttdichte} \quad [\text{kg/m}^3]$$

Durchsatzberechnung von stetigen Fördermitteln für den Stückguttransport:⁶⁹

Formel 3-3: Stückgutstrom von stetigen Fördermitteln

$$Q_{st} = \frac{v}{s} * 3600$$

$$Q_{st} = \text{Stückgutstrom} \quad [\text{Stk/h}]$$

$$s = \text{Abstand zwischen den einzelnen Stückgütern} \quad [m]$$

⁶⁸ vgl. Martin 2006, S. 142

⁶⁹ vgl. Martin 2006, S. 156

Durchsatzberechnung von un stetigen Fördermitteln:⁷⁰

Formel 3-4: Stückgutstrom von un stetigen Fördermitteln

$$Q_{st} = \frac{c * 3600}{t_{sp}}$$

$c = \text{Aufnahmekapazität des Fördermittels}$ $[Stk]$

$t_{sp} = \text{mittlere Arbeitsspieldauer}$ $[s]$

Der im Allgemeinen geringeren Durchsatzleistung der un stetigen Fördermittel stehen sehr flexible Einsatzmöglichkeiten gegenüber, welche in Fällen in denen diese Flexibilität benötigt wird, durchaus den geringeren Durchsatz ausgleichen können. Wird beispielsweise ein Gabelstapler für den innerbetrieblichen Materialtransport eingesetzt, kann dieser sehr flexibel arbeiten, um dennoch die nötige Durchsatzleistung erbringen zu können, können weitere Gabelstapler eingesetzt werden. Die Erhöhung der Fahrzeuganzahl, erhöht die Durchsatzleistung bei gleichbleibender Flexibilität. Jedoch erhöht sich auch das Verkehrsaufkommen und somit wird die Anzahl einzusetzender Gabelstapler limitiert.⁷¹

3.3 Spielzeitberechnung

Die Spielzeit, oder auch Arbeitsspieldauer, gibt jene Zeitdauer an welche für das Ausführen eines Arbeitsspieles benötigt wird an. Die Spielzeit wird für die Berechnung der Durchsatzleistung von un stetigen Fördermitteln benötigt und setzt sich im Allgemeinen aus dem Aufnehmen der Last, dem Transport zum Bestimmungsort, dem Abgeben der Last und der Rückkehr zum Aufnahmeort zusammen. Diese unterschiedlichen Arbeitsoperationen können bei der Spielzeitberechnung in wegabhängige und wegunabhängige Zeitanteile unterteilt werden. Die Zeitanteile können des Weiteren eine feste oder variable Größe haben.⁷²

⁷⁰ vgl. Großeschallau 1984, S. 34

⁷¹ vgl. Martin 1999, S. 8

⁷² vgl. Großeschallau 1984, S. 38

Als Beispiel für einen wegabhängigen festen Zeitanteil ist die Fahrt des RBG von Übernahmeort zum Einlagerort, zu nennen. Wegabhängig und variabel wäre der Transport zwischen zwei Produktionsstandorten, da unterschiedliche Wege genommen werden können und auch das Verkehrsaufkommen einen maßgeblichen Einfluss auf die Zeitdauer hat. Wegunabhängig und fest ist der Zeitanteil der für das Aufnehmen der Last durch einen Gabelstapler benötigt wird, z.B. benötigt das Aufnehmen immer fünf Sekunden.⁷³

Wenn von einem Quellort mehrere Zielorte, bzw. von mehreren Quellorten ein bestimmter Zielort bedient werden soll, ist die Berechnung der mittleren Spielzeiten für ein Einzel- bzw. Doppelspiel sinnvoll.⁷⁴

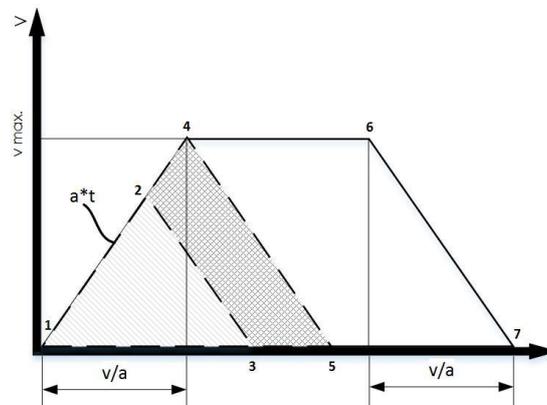


Abbildung 9: Geschwindigkeit-Zeit-Diagramm eines Regalbediengerätes⁷⁵

Da bei einem Regalbediengerät die zurückzulegenden Wege unterschiedlich lang sind, kann es vorkommen, dass das Regalbediengerät seine max. Fahrgeschwindigkeit nicht erreichen kann und den Beschleunigungsvorgang abbrechen muss bevor die maximale Fahrgeschwindigkeit erreicht wurde. Der Weg den das Regalbediengerät bis zum Erreichen seiner max. Geschwindigkeit und dem erneuten Verzögern bis zum Stillstand zurücklegt wird als Grenzweg bezeichnet. In Abbildung 9 ist der Verlauf der Geschwindigkeit über die Zeit in etwas vereinfachter Form dargestellt.⁷⁶

⁷³ vgl. Großeschallau 1984, S. 39

⁷⁴ vgl. Arnold 1998, S. 159

⁷⁵ vgl. Arnold 1998, S. 167

⁷⁶ vgl. Arnold 1998, S. 166

Die Punkte 1, 4 und 5 bilden ein Dreieck welches den Grenzweg beschreibt.

Formel 3-5: Grenzweg

$$s_g = \frac{v^2}{a}$$

$s_g = \text{Grenzweg}$ $[m]$

$v = \text{max. Geschwindigkeit des Regalbediengerätes}$ $[m/s]$

$a = \text{Beschleunigung des Regalbediengerätes}$ $[m/s^2]$

Anhand dieser Eigenschaft lassen sich zwei Fälle für die Berechnung der Fahrzeit unterscheiden. Im ersten Fall wird die max. Geschwindigkeit erreicht, d.h. $s > s_g$. In Abbildung 9 entspricht dies dem Trapez welches durch die Punkte 1, 4, 6 und 7 aufgespannt wird. Unter der Annahme, dass die Beschleunigung und die Verzögerung gleich sind, wird die Fahrzeit nach der folgenden Formel berechnet:

Formel 3-6: Fahrzeit $s > s_g$

$$t = \frac{s}{v} + \frac{v}{a}$$

$t = \text{Fahrzeit}$ $[s]$

$s = \text{zurückzulegender Weg}$ $[m]$

Zum einfacheren Verständnis kann Formel 3-6 folgendermaßen umgeformt werden:

Formel 3-7: Fahrzeit $s > s_g$

$$t = \frac{s}{v} + \frac{1}{2}(t_a + t_b)$$

$t_a = \text{Beschleunigungszeit}$ $[s]$

$t_b = \text{Verzögerungszeit}$ $[s]$

Im zweiten Fall wird die max. Geschwindigkeit des Regalbediengerätes nicht erreicht, d.h. $s < s_g$. In Abbildung 9 entspricht dies dem Dreieck der Punkte 1, 2 und 3. In diesem Fall berechnet man die Fahrzeit folgendermaßen:

Formel 3-8: Fahrzeit $s < s_g$

$$t = 2 * \sqrt{\frac{s}{a}}$$

Diese beiden Berechnungsalternativen sind bei einem Regalbediengerät für beide Bewegungsrichtungen anzuwenden. Aufgrund der unterschiedlichen Fahrgeschwindigkeiten und Beschleunigungen in horizontaler und vertikaler Richtung, gibt es auch unterschiedliche Grenzwege für die horizontale und vertikale Bewegung.⁷⁷

3.3.1 Einzelspiel

Beim Einzelspiel folgt auf jede Lastfahrt vom Quellort zum Zielort eine Leerfahrt zurück zum Quellort. Dies ist sehr häufig bei der Spielzeitberechnung in automatischen Hochregallagern der Fall (siehe Abbildung 5). Die Formel für die Berechnung der Spielzeit für ein Einzelspiel eines Regalbediengerätes geben Arnold und Furmans (2009) wie folgt an:⁷⁸

Formel 3-9: Einzelspielzeit

$$t_{ES} = t_0 + 2t_y + 2 * MAX[t_x, t_z]$$

t_{ES} = Spielzeit für ein Einzelspiel [s]

t_0 = Totzeit z.B. Reaktionszeiten, Schaltzeiten, Sensoransprechzeiten [s]

t_y = Spielzeit des Lastaufnahmemittels (LAM) [s]

t_x = Fahrzeit in x-Richtung [s]

t_z = Fahrzeit in z-Richtung [s]

⁷⁷ vgl. Arnold und Furmans 2009, S. 204

⁷⁸ Arnold und Furmans 2009, S. 203

Um von dieser einzelnen Spielzeit für die Bedienung eines bestimmten Regalfaches auf die mittlere Arbeitsspielzeit für die Bedienung aller n Lagerfächer zu kommen, muss die einzelne Spielzeit mit der Anfahrwahrscheinlichkeit p multipliziert und aufsummiert werden. Ist das Lager in unterschiedliche Lagerzonen für z.B. Schnell- und Langsamdreher unterteilt, kann es zu unterschiedlichen Anfahrwahrscheinlichkeiten der Lagerfächer kommen.

Formel 3-10: mittlere Einzelspielzeit

$$t_{mES} = t_0 + 2t_y + 2 * \sum_{i=1}^{i=n} \text{Max}[t_{xi}, t_{zi}] * p_i$$

t_{mES} = mittlere Arbeitsspielzeit für ein Einzelspiel [s]

p = Anfahrwahrscheinlichkeit [-]

Werden alle Lagerfächer gleich häufig angefahren, so kann die mittlere Arbeitsspielzeit vereinfacht als

Formel 3-11: mittlere Einzelspielzeit

$$t_{mES} = t_0 + 2t_y + 2 * \sum_{i=1}^{i=n} \frac{\text{Max}[t_{xi}, t_{zi}]}{n}$$

beschrieben werden. Als Beispiel für eine gleichmäßige Verteilung der Anfahrwahrscheinlichkeit ist die chaotische Lagerordnung zu nennen.⁷⁹

⁷⁹ vgl. Arnold und Furmans 2009, S. 202–207

3.3.2 Doppelspiel

Da beim Einzelspiel in etwa 50% der Einsatzzeit Leerfahrten durchgeführt werden, besteht hier natürlich ein gewisses Optimierungspotential, welches durch den Einsatz von Doppelspielen genutzt werden soll.⁸⁰

Wie in Abbildung 5 dargestellt, werden beim Doppelspiel jeweils eine Einlagerung und eine Auslagerung kombiniert. Bereits an den Pfeillängen kann man erkennen, dass die Leerfahrten dadurch stark reduziert werden können. Die Spielzeit eines Doppelspiels ist aufgrund der Kombination zweier Transportaufträge natürlich länger als die des Einzelspiels, jedoch ist die Spielzeit geringer als die zweier aufeinander folgender Einzelspiele.

Um die allgemeine Formel für das Doppelspiel zu bekommen, muss Formel 3-9 nur geringfügig verändert werden. Die Formel wird um die Zeitanteile der Querfahrt (t_{PP}) und der zwei zusätzlichen Arbeitsspiele des LAM erweitert.

Formel 3-12: Doppelspielzeit

$$t_{DS} = t_0 + 4t_y + t_{EP} + t_{PP} + t_{PA}$$

$$t_{DS} = \text{Doppelspielzeit} \quad [s]$$

$$t_{EP} = \text{Fahrzeit von Übergabepplatz zum Einlagerort} \quad [s]$$

$$t_{PP} = \text{Fahrzeit vom Einlagerort zum Auslagerort} \quad [s]$$

$$t_{PA} = \text{Fahrzeit vom Auslagerort zum Übergabepplatz} \quad [s]$$

Es ist einfach nachvollziehbar, dass die Spielzeit des Lastaufnahmemittels t_y mit 4 multipliziert werden muss, da beim Doppelspiel zweimal ein Behälter aufgenommen und zweimal ein Behälter abgegeben wird. Zusätzlich muss noch die Querfahrtzeit t_{PP} vom Einlager- zum Auslagerort berechnet werden. Diese Querfahrt beschreibt die Bewegung des RBG zwischen zwei beliebigen Punkten in der Regalwand.⁸¹

⁸⁰ vgl. Bichler et al. 2010, S. 114

⁸¹ vgl. Arnold und Furmans 2009, S. 208

Abbildung 10 zeigt Beispiele für den Verlauf der Geschwindigkeitsgeraden in Abhängigkeit des Wandparameters. Schneidet die Geschwindigkeitsgerade die Regalfläche im am weitesten vom Übergabepplatz entfernten Eckpunkt, so sind die Hub- und die Fahrgeschwindigkeit des Regalbediengerätes optimal auf die Regalabmessungen angepasst.⁸²

Bozer und White (1984)⁸³ entwickelten ein Verfahren für die Spielzeitberechnung von Einzel- und Doppelspielen von Regalbediengeräten. Mit ihrem Verfahren war es möglich die mittleren Spielzeiten für Regalwände mit einem Wandparameter ungleich 1 zu berechnen bzw. genauer zu berechnen. Leider werden in dem Verfahren die Beschleunigung und die Verzögerung des Regalbediengerätes vernachlässigt, weswegen dieses Verfahren nicht für die Berechnung der Spielzeiten herangezogen wurde.

Gudehus (1972)⁸⁴ entwickelte ein Modell für die Spielzeitberechnung bei dem Wandparameter als auch Beschleunigung und Verzögerung berücksichtigt werden. Aufgrund der realitätsnäheren Herangehensweise werden im Folgenden die Berechnungsformeln nach Gudehus erläutert und im praktischen Teil angewendet.

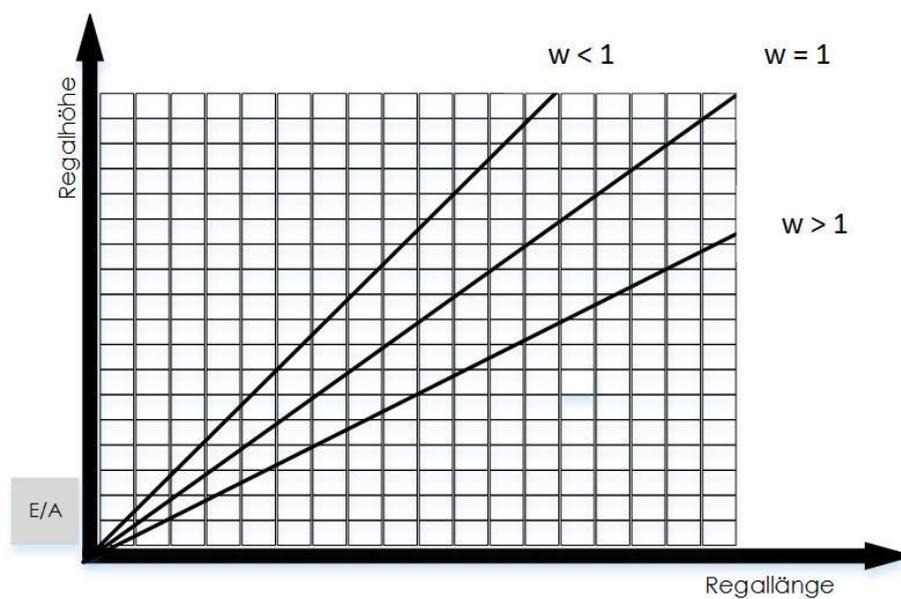


Abbildung 10: Geschwindigkeitsgerade in Abhängigkeit vom Wandparameter w

⁸² vgl. Arnold und Furmans 2009, S. 199

⁸³ Bozer und White 1984

⁸⁴ Gudehus 1972

Die nachfolgenden Berechnungsformeln basieren auf Gudehus (1972)⁸⁵.

Berechnungsformel für den Wandparameter w :

Formel 3-13: Wandparameter

$$w = \frac{H}{L} * \frac{v_x}{v_z}$$

$w =$ Wandparameter $[-]$

$H =$ Höhe der Regalwand $[m]$

$L =$ Länge der Regalwand $[m]$

$v_x =$ horizontale Fahrgeschwindigkeit des RBG $[m/s]$

$v_z =$ vertikale Fahrgeschwindigkeit des RBG $[m/s]$

Der Wandparameter w beschreibt das Verhältnis der Lagerabmessungen mit den horizontalen und vertikalen Fahrgeschwindigkeiten des Regalbediengerätes.

Die Funktion $f(w)$ dient dazu den Zeitanteil der Querfahrt bei einem Doppelspiel zu berechnen.

Formel 3-14:: Zeitanteil der Querfahrt

$$f(w) = \frac{1}{30}(10 + 5w - w^3)$$

⁸⁵ Gudehus 1972

Die Formel für die mittlere Bremsbeschleunigungszeit beschreibt den mittleren Zeitan-
teil für das Anfahren und das Verzögern des RBG in Abhängigkeit von Wandparameter
w.

Formel 3-15: mittlere Bremsbeschleunigungszeit

$$t_{mb} = \begin{cases} \left(1 - \frac{w}{2}\right) * \frac{v_x}{a_x} + \frac{w}{2} * \frac{v_z}{a_z}, & w \leq 1 \\ \frac{1}{2w} * \frac{v_x}{a_x} + \left(1 - \frac{1}{2w}\right) * \frac{v_z}{a_z}, & w > 1 \end{cases}$$

t_{mb} = mittlere Bremsbeschleunigungszeit [s]

Mit der Formel für die Querfahrt $t_{pp'}$ wird die Fahrzeit zwischen Ein- und Auslagerort be-
rechnet.⁸⁶

Formel 3-16: Querfahrtzeit

$$t_{pp'} = \begin{cases} t_{mb} + f(w) * \frac{L}{v_x}, & w \leq 1 \\ t_{mb} + f(w^{-1}) * \frac{H}{v_z}, & w > 1 \end{cases}$$

Gudehus (1972) berechnet die mittlere Doppelspielzeit wie folgt:

Formel 3-17: mittlere Doppelspielzeit in Abhängigkeit vom Wandparameter

$$t_{mDS} = \begin{cases} t_{o2} + 3 * t_{mb} + \frac{L}{v_x} \left(1 + \frac{1}{3} w^2 + f(w)\right), & w \leq 1 \\ t_{o2} + 3 * t_{mb} + \frac{H}{v_z} \left(1 + \frac{1}{3} w^{-2} + f(w^{-1})\right), & w > 1 \end{cases}$$

t_{mDS} =mittlere Doppelspielzeit [s]

t_{o2} = Verweilzeit [s]

⁸⁶ Gudehus 1972

Die Verweilzeit t_{02} in Formel 3-17 entspricht der vierfachen Spielzeit des Lastaufnahmemittels t_y in Formel 3-12.

Wie Arnold und Furmans (2009)⁸⁷ hervorheben, führt der Sonderfall $w = 1$ zu folgender Berechnungsformel für die mittlere Doppelspielzeit. Zu beachten ist, dass die Bremsbeschleunigungszeit zwischen vertikaler und horizontaler Bewegungsrichtung gemittelt wurde.

Formel 3-18: mittlere Doppelspielzeit für Wandparameter = 1

$$t_{mDS} = t_0 + 4t_y + \frac{3}{2} \left(\frac{v_x}{a_x} + \frac{v_z}{a_z} \right) + 2 * \frac{2L}{3v_x} + \frac{14L}{30v_x}$$

3.3.3 Umlagerungen bei doppeltiefen Lagerregalen

Bei doppeltiefen Lagern kann es vorkommen, dass der auszulagernde Behälter durch einen anderen blockiert ist und vor der Auslagerung zuerst eine Umlagerung erfolgen muss. Diese Umlagerung erhöht natürlich die Spielzeit des RBG und hängt von der Belegungsstrategie und der Lagerkonfiguration ab. Die Bedienung des Regals kann durch ein RBG, welches einen oder zwei Behälter zugleich aufnimmt, erfolgen. Der wesentliche Vorteil von LAM, die zwei Behälter in Kanalrichtung gleichzeitig aufnehmen können, liegt darin, dass in einem Arbeitsgang zwei Behälter in einen Lagerkanal ein- bzw. ausgelagert werden können.

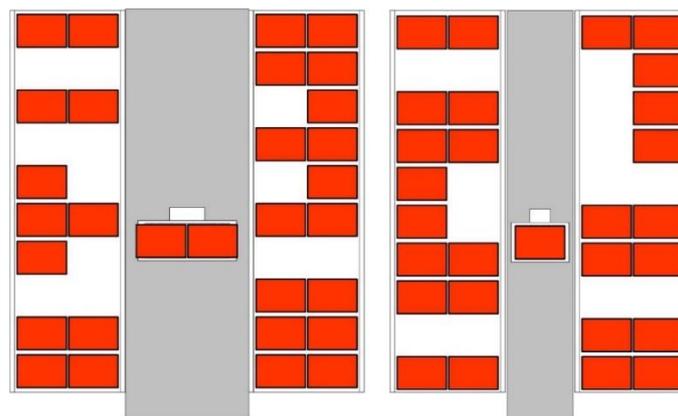


Abbildung 11: Doppeltiefes Lager mit doppel- bzw. einfachtiefer Lagergasse⁸⁸

⁸⁷ vgl. Arnold und Furmans 2009, S. 210

⁸⁸ Eigene Darstellung

Lerher et al. (2009)⁸⁹ betrachten die mittleren Arbeitsspielzeiten im doppeltiefen Regal-
lager. Sie entwickelten ein Verfahren für die Berechnung der mittleren Arbeitsspielzeit
des RBG in einfachtiefer Lagergasse. Da in den späteren Lagerkonzepten nur doppel-
tiefe Lagergassen verwendet werden, wird auf dieses Verfahren nicht näher einge-
gangen.

Meller und Mungwattanaungwattana (1997)⁹⁰ betrachten mögliche Durchsatzsteige-
rungen von Regalbediengeräten mit Mehrfachlastaufnahmemitteln. Leider beziehen
sich ihre Betrachtungen nur auf einfachtiefe Lager, wodurch dieser Ansatz für die Prob-
lemlösung nicht zielführend ist.

Seemüller (2006)⁹¹ vereint in seiner Dissertation die unterschiedlichen Konfigurationen
von Lagergassentiefe und Lagerplatztiefe. Er entwickelte Berechnungsmodelle für die
Spielzeitberechnung in einfach- und doppeltiefen Lagern mit einfach- bzw. doppel-
tiefer Lagergasse. Nachfolgend wird das Berechnungsmodell für die doppeltiefe La-
gergasse erklärt und im praktischen Teil für die Berechnung der mittleren Arbeitsspiel-
zeit angewendet.

Wie in Abbildung 11 ersichtlich ist können sich Lagerkanäle im doppeltiefen Lager in
drei unterschiedlichen Zuständen befinden:

- Beide Plätze des Lagerkanals sind belegt (voller Lagerkanal)
- Nur der gangferne Platz im Lagerkanal ist belegt (einfachbelegter Lagerkanal)
- Beide Plätze im Lagerkanal sind leer (leerer Lagerkanal)

Nachfolgend wird die Arbeitsspielzeit eines doppeltiefen Lagers mit doppeltiefer La-
gergasse genauer betrachtet, da dieses Berechnungsmodell in weiterer Folge auch
für die Durchsatzberechnung der unterschiedlichen Lagerkonzepte angewendet wer-
den wird.

Um die Vorteile der beschriebenen Lagerkonfiguration bestmöglich auszunützen emp-
fiehl es sich die Strategie der „Mehrfacheinlagerung nahe Auslagerung“ anzuwen-
den.

⁸⁹ Lerher et al. 2009

⁹⁰ Meller und Mungwattana 1997

⁹¹ Seemüller 2006

Bei dieser Strategie werden immer beide einzulagernden Einheiten in den zum ersten Auslagerpunkt nächsten leeren Lagerkanal eingelagert. Danach wird die auszulagernde Einheit aus dem ersten Auslagerpunkt ausgelagert. Steht die auszulagernde Einheit verdeckt, so werden beide Einheiten aus dem Lagerkanal entnommen und die umzulagernde Einheit in den zum zweiten Auslagerpunkt nächsten einfach belegten Lagerkanal umgelagert. Ist die zweite auszulagernde Einheit ebenfalls verdeckt, erfolgt eine Umlagerung der blockierenden Einheit wiederum in den zum Auslagerpunkt nächsten einfachbelegten Lagerkanal.⁹²

Der Prozessablauf des Doppelspiels in einem doppeltiefen Lager mit doppeltiefer Lagergasse ist in Abbildung 12 dargestellt.

Anhand des beschriebenen Prozessablaufes lassen sich die einzelnen Fahrzeitkomponenten des Doppelspiels einfach ableiten:

1. Fahrt zu einem beliebigen Punkt im Lager
2. Fahrt vom Auslagerort 1 zum nächsten leeren Lagerkanal
3. Querfahrt zu Auslagerort 2 mit oder ohne Umlagereinheit
4. Fahrt vom Auslagerort 2 zum nächstgelegenen einfach belegten Lagerkanal
5. Rückfahrt zum Übergabepunkt von einem beliebigen Punkt im Lager

Einen weiteren wesentlichen Anteil an der Spielzeit des RBG im doppeltiefen Lager hat die Spielzeit des LAM. Hierbei muss zwischen zwei unterschiedlichen Fällen unterschieden werden:

1. Doppeltiefer Lastzyklus
2. Einfachtiefer Lastzyklus

Für den in Abbildung 12 dargestellten Prozessablauf kann die Spielzeit des LAM näherungsweise durch einen doppeltiefen Lastzyklus bei der Einlagerung, einen doppeltiefen Lastzyklus bei der Auslagerung und zwei einfachtiefen Lastzyklen bei der Umlagerung berechnet werden.⁹³

⁹² vgl. Seemüller 2006, S. 120

⁹³ vgl. Seemüller 2006, S. 121

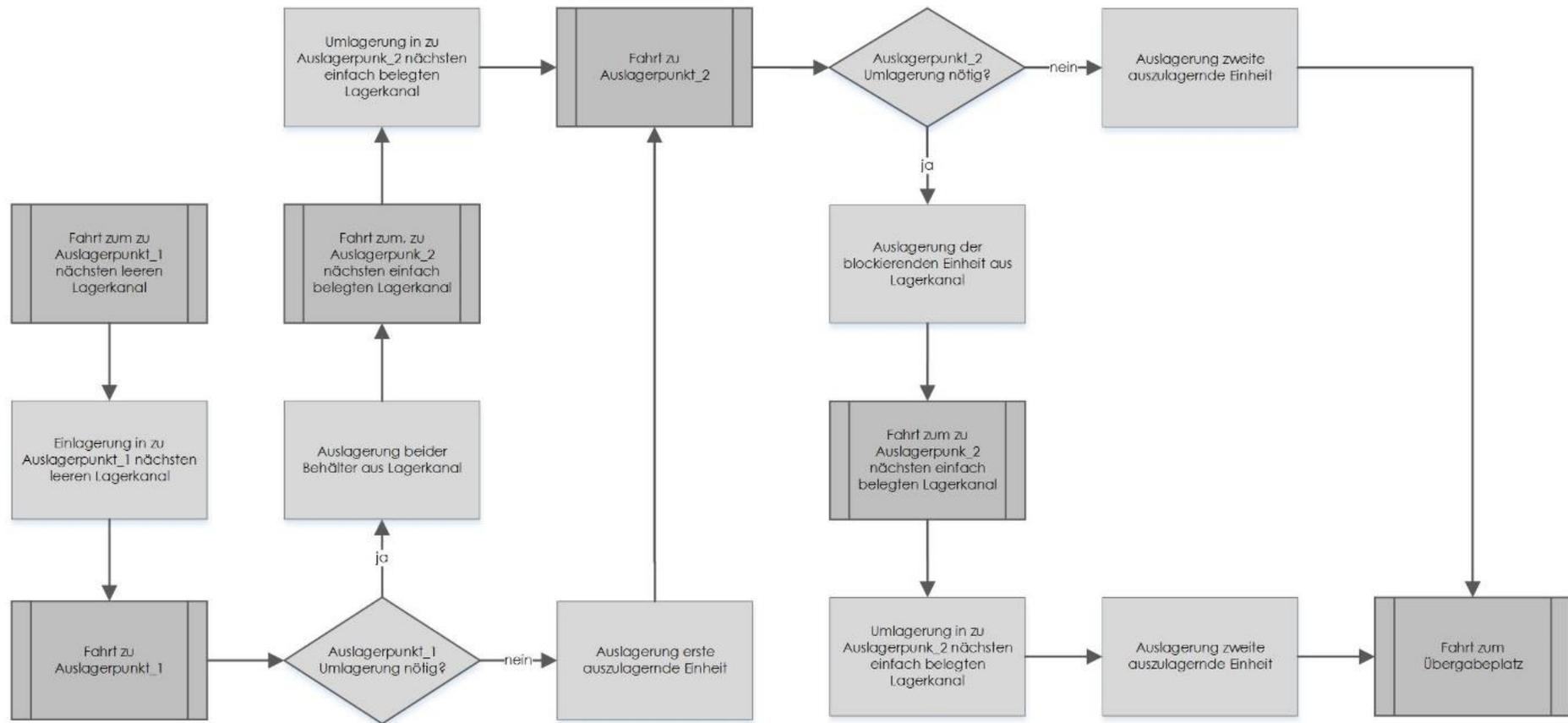


Abbildung 12: Prozessablauf, Doppelspiel inkl. Umlagerung⁹⁴

⁹⁴ Basierend auf Prozessbeschreibung Seemüller 2006

Seemüller (2006)⁹⁵ berechnet die mittlere Doppelspielzeit für ein Regalbediengerät im doppeltiefen Lager mit doppeltiefer Lagergasse mittels der nachfolgenden Formel:

Formel 3-19: mittlere Doppelspielzeit im doppeltiefen Lager

$$t_{mDS+U} = t_{fE} + t_{fQ} + t_{fE\ nN} + t_{fU\ nN} + t_{k\ E/A} + 2 * t_{k\ L1} + 2 * t_{k\ L2}$$

t_{mDS+U} = mittlere Doppelspielzeit mit Umlagerung [s]

t_{fE} = mittlere Fahrzeit für ein Einzelspiel [s]

t_{fQ} = mittlere Fahrzeit für die Querfahrt [s]

$t_{fE\ nN}$ = mittlere Fahrzeit vom Auslagerpunkt zum nächsten leeren Lagerkanal [s]

$t_{fU\ nN}$ = mittlere Fahrzeit vom Auslagerpunkt zum nächsten einfach belegten Lagerkanal [s]

$t_{k\ E/A}$ = Konstantzeit am Übergabepplatz [s]

$t_{k\ L1}$ = Konstantzeit für einfachtiefen Lastzyklus des LAM [s]

$t_{k\ L2}$ = Konstantzeit für doppeltiefen Lastzyklus des LAM [s]

Die meisten Komponenten der mittleren Arbeitsspielzeit in Formel 3-19 sind bereits bekannt bzw. können mit den Berechnungsformeln in diesem Kapitel berechnet werden. Lediglich die Formeln für das Anfahren des nächsten leeren bzw. einfach belegten Lagerkanals müssen noch bestimmt werden. Abbildung 13 zeigt die betrachteten Umlagerplätze im Umfeld von max. drei Lagerfächern.

3	3	3	3	3	3	3
3	2	2	2	2	2	3
3	2	1	1	1	2	3
3	2	1	0	1	2	3
3	2	1	1	1	2	3
3	2	2	2	2	2	3
3	3	3	3	3	3	3

Abbildung 13: Entfernung zum nächsten passenden Lagerplatz in Fachabständen

⁹⁵ Seemüller 2006, S. 124

Für jeden dieser Lagerplätze muss die benötigte Anfahrzeit ausgehend von Lagerplatz 0 berechnet werden. Da diese Fahrwege meist kürzer sind als die jeweiligen Grenzwege des RBG, müssen die Fahrzeiten unter Berücksichtigung der kinematischen Daten des RBG berechnet werden.

Es ist leicht nachvollziehbar, dass die Länge des Fahrweges sehr stark vom Lagerfüllgrad (z) abhängig ist. Je höher der Lagerfüllgrad ist, desto wahrscheinlicher ist es erst in einer größeren Entfernung einen passenden Umlagerplatz zu finden. Die Wahrscheinlichkeiten für einen leeren, einfach belegten oder doppelt belegten Lagerkanal können wie folgt berechnet werden:⁹⁶

Formel 3-20: Zustandswahrscheinlichkeit eines leeren Lagerkanals

$$P_l = \frac{2}{3}(1 - z)$$

P_l = Zustandswahrscheinlichkeit eines leeren Lagerkanals [-]

z = Lagerfüllgrad [%]

Formel 3-21: Zustandswahrscheinlichkeit eines einfachbelegten Lagerkanals

$$P_e = \frac{2}{3}(1 - z)$$

P_e = Zustandswahrscheinlichkeit eines einfach belegten Lagerkanals [-]

Formel 3-22: Zustandswahrscheinlichkeit eines doppeltbelegten Lagerkanals

$$P_d = 1 - \frac{4}{3}(1 - z)$$

P_d = Zustandswahrscheinlichkeit eines doppelt belegten Lagerkanals [-]

⁹⁶ vgl. Seemüller 2006, S. 122

Die Zustandswahrscheinlichkeiten der Lagerkanäle sowie der Lagerfüllgrad bilden die Grundlage für die Berechnung der Wahrscheinlichkeiten für die Entfernung zum nächsten passenden Lagerkanal.

Betrachten wir zu Beginn den bestmöglichen Fall, wenn z.B. der dem Auslagerplatz gegenüberliegende Lagerkanal leer ist. In diesem Fall muss das RBG keine horizontale bzw. vertikale Bewegung durchführen. Die Wahrscheinlichkeit, dass keine Zwischenfahrt nötig ist, wird für das doppeltiefe Lager mit doppeltiefer Lagergasse folgendermaßen berechnet:

Formel 3-23: Umlagerwahrscheinlichkeit im Abstand von null Lagerfächern

$$P_{nN0} = \frac{2}{3}(1 - z)$$

P_{nN0} = Wahrscheinlichkeit im Abstand von 0 Lagerfächern einen passenden Lagerkanal zu finden

Die Wahrscheinlichkeit, dass im Umkreis von einem Lagerfach ein passender Lagerkanal gefunden wird lautet:

Formel 3-24: Umlagerwahrscheinlichkeit im Abstand von einem Lagerfach

$$P_{nN1} = \left[1 - \left(\frac{2}{3} - z\right)\right] * \left\{1 - \left[1 - \left(\frac{2}{3} - z\right)\right]^{16}\right\}$$

P_{nN1} = Wahrscheinlichkeit im Abstand von 1 Lagerfach einen passenden Lagerkanal zu finden

In Formel 3-24 wird die Wahrscheinlichkeit, dass der gegenüberliegende Lagerkanal belegt ist, mit der Wahrscheinlichkeit, dass zumindest ein Lagerkanal im Umkreis eines Regalfaches leer ist, multipliziert. Der Exponent 16 resultiert aus acht möglichen Lagerkanälen auf jeder Seite der Lagergasse.⁹⁷

⁹⁷ vgl. Seemüller 2006, S. 133

In gleicher Art und Weise wird die Wahrscheinlichkeit berechnet einen leeren Lagerkanal im Umkreis von zwei Lagerfächern zu finden. Hierbei werden wiederum zuerst die Wahrscheinlichkeiten, dass der gegenüberliegende Lagerkanal und alle Lagerkanäle im Umkreis eines Lagerfaches belegt sind, berechnet und anschließend mit der Wahrscheinlichkeit, dass mindestens ein leerer Lagerkanal unter den 32 Lagerkanälen im Umkreis von zwei Lagerfächern vorhanden ist, multipliziert.

Formel 3-25: Umlagerwahrscheinlichkeit im Abstand von zwei Lagerfächern

$$P_{nN2} = \left[1 - \left(\frac{2}{3} - z\right)\right] * \left\{1 - \left[1 - \left[1 - \left(\frac{2}{3} - z\right)\right]^{16}\right]\right\} * \left\{1 - \left[1 - \left(\frac{2}{3} - z\right)\right]^{32}\right\}$$

P_{nN2} = Wahrscheinlichkeit im Abstand von 2 Lagerfächern einen passenden Lagerkanal zu finden

Dieselbe Vorgehensweise gilt für die Berechnung der Wahrscheinlichkeit im Umkreis von drei Lagerfächern einen passenden Lagerkanal zu finden.

Um die mittleren Fahrzeiten $t_{fE\ nN}$ und $t_{fU\ nN}$ zu erhalten, müssen die zuvor berechneten Anfahrzeiten mit den Anfahrwahrscheinlichkeiten gewichtet werden und ergeben somit die mittlere Fahrzeit zu dem nächsten passenden Lagerfach.

Formel 3-26: mittlere Fahrzeit zum nächsten Nachbarn

$$t_{fE\ nN} = \sum_{i=0}^n t_{fi} * P_{nNi}$$

Somit sind alle Formeln, die für die Durchsatzberechnung der unterschiedlichen Lösungsalternativen benötigt werden, bekannt und können im praktischen Teil der Arbeit angewendet werden.

3.4 Warteschlangentheorie

Um in Materialflusssystemen die Pufferplätze an den unterschiedlichen Materialflussstationen richtig dimensionieren zu können, bedient man sich der Warteschlangentheorie. Ein Wartesystem kann im Allgemeinen in drei Teilprozesse unterteilt werden:

- Ankunftsprozess
- Verweilprozess
- Bedienprozess

Der Ankunftsprozess wird durch die Ankunftsrate λ [Ankünfte/Zeiteinheit] charakterisiert. Der Verweilprozess charakterisiert sich durch die entstehende Warteschlange und der Bedienprozess durch die Bedienrate μ [Bedienungen/Zeiteinheit]. Da das Wartesystem auch als Bediensystem bezeichnet werden kann, ist das Bedienungsmodell eine geeignete Darstellungsform.⁹⁸

Wie in Abbildung 7 dargestellt, kann ein Bediensystem aus einem oder mehreren Bedienkanälen bestehen. Ist in einem Supermarkt nur eine Kasse geöffnet, so hat das Bediensystem „Supermarkt“ nur einen Bedienkanal, werden hingegen weitere Kassen geöffnet, besitzt das Bediensystem mehrere Bedienkanäle. Diese beiden Systeme können noch in der Art der Warteschlange unterschieden werden. Es kann z.B. eine gemeinsame Warteschlange für mehrere Bedienkanäle betrachtet werden (Check In am Flughafen), oder für jeden Bedienkanal eine eigene Warteschlange, wie es bei den meisten Supermärkten der Fall ist. Meist führt aber eine gemeinsame Warteschlange für mehrere Server (Bedienkanäle) zu kürzeren Warteschlangen und Wartezeiten.

Bhat (2008)⁹⁹ erweitert das Prozessmodell von Großeschallau (1984) um den Service-Mechanismus, die Systemkapazität und die Warteschlangendisziplin. Beim Service-Mechanismus führt er die Anzahl der Server, die Anzahl der gleichzeitig bedienten Kunden und die Bediendauer als ungewisse Elemente des Bedienprozesses an. Besondere Beachtung schenkt er auch der Systemkapazität, welche die maximale Anzahl warten-

⁹⁸ vgl. Großeschallau 1984, S. 90

⁹⁹ vgl. Bhat 2008, S. 2

der Kunden im Bediensystem beschreibt. Großen Einfluss auf die Wartezeit hat die Warteschlagendisziplin, welche die Abarbeitungsreihenfolge der Warteschlange beschreibt.

In der Literatur sind unter anderem folgende Warteschlagendisziplinen beschrieben:¹⁰⁰

- FIFO bzw. FCFS (first in first out bzw. first come first serve)
- LIFO bzw. LCFS (last in first out bzw. last come first serve)
- SIRO (service in random order)
- SPTF (shortest processing time first)
- SRPT (shortest remaining processing time first)
- RR (round robin)
- PS (processor sharing)
- VAC (server vacations)

Unterschiedliche Warteschlangen-Systeme können mittels der Kendall Lee Notation beschrieben werden. Diese ist aus drei Zeichen zusammengesetzt A/B/C. In dieser Notation beschreibt A den Ankunftsprozess, B den Bedienprozess, C die Anzahl der Bedienkanäle (Server). Oft wird auch die erweiterte Notation mit sechs Zeichen verwendet A/B/C/K/P/S, wobei K die Aufnahmekapazität des Systems, P die Gesamtpopulation der Benutzer und S die Warteschlagendisziplin angibt. Für den Fall, dass die Aufnahmekapazität und die Gesamtpopulation unendlich sind und die Warteschlange nach dem FCFS Prinzip abgearbeitet wird, können diese drei Zeichen in der Notation weggelassen werden.¹⁰¹

¹⁰⁰ vgl. Baum 2013, S. 366

¹⁰¹ vgl. Baum 2013, S. 366

Um den Ankunfts- bzw. den Bedienprozess zu beschreiben, werden folgende Symbole verwendet:

- M Markov-Charakteristik
- D Deterministisch
- E_k k-stufige Erlang Verteilung,
- G General, die Art der Verteilung ist nicht klassifiziert
- GI General Independent, Zwischenankunfts- und Bedienzeiten sind allgemein verteilt und voneinander unabhängig

Diese Symbole beschreiben die dem Ankunfts- bzw. Bedienprozess zugrundeliegende Wahrscheinlichkeitsverteilung. Betreten neue Kunden z.B. in zufälligen Abständen das Bediensystem, dann handelt es sich um einen Poissionprozess mit exponentiell verteilten Zwischenankunftszeiten (Markov-Charakteristik). Eine deterministische Verteilung der Zwischenankunftszeiten liegt vor, wenn Kunden nur zu bestimmten Zeitpunkten bzw. in bestimmten Zeitabständen das Bediensystem betreten.¹⁰²

Die Erlang-Verteilung wird sehr oft verwendet um Zwischenankunftszeiten, die nicht exponentialverteilt sind, zu modellieren. Eine k-stufige Erlang-Verteilung ist eine k-mal gefaltete Exponentialverteilung, wobei die Erlang-Verteilung für $k=1$ exakt der Exponentialverteilung entspricht. Desto höher die Stufe der Erlang-Verteilung gewählt wird desto mehr nähert sich diese der Normalverteilung mit Mittelwert $1/\lambda$ an.¹⁰³

¹⁰² vgl. Bhat 2008, S. 14

¹⁰³ vgl. Winston 2009, S. 1058

4 Lagersystemplanung und Konzeptionierung

Planungsprojekte bestehen im Allgemeinen aus vier Planungsphasen, in denen ausgehend von der Definition der Projektziele bis hin zur detaillierten Ausarbeitung der Systemlösungen, der Grad der Konkretisierung von Stufe zu Stufe zunimmt.¹⁰⁴

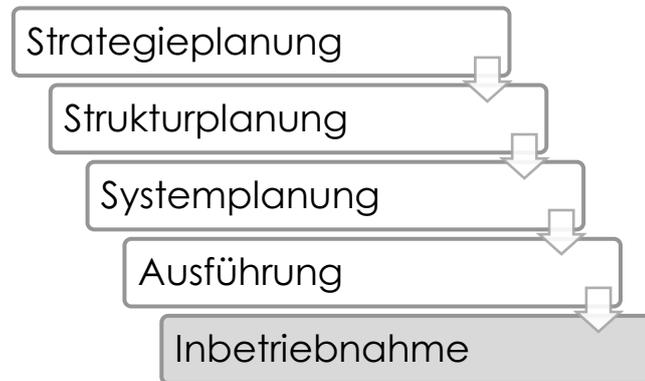


Abbildung 14: Projektphasen¹⁰⁵

In der Strategieplanungsphase wird die grundlegende Zielsetzung, mitsamt den Einzelzielen für die zu verändernden Bereiche, definiert. Die Struktur- (Unternehmensebene) und Systemplanungsphase (Funktionsbereichsebene) bilden gemeinsam die Grobplanungsphase.

In dieser Phase wird ein Idealkonzept erarbeitet, auf dessen Basis Realkonzepte unter Berücksichtigung definierter Restriktionen abgeleitet werden. Die Auswahl der besten Lösungsalternative stellt das Ende der Grobplanungsphase dar. Das ausgewählte Realkonzept wird in der Ausführungsplanungsphase (Feinplanungsphase) bis zu Umsetzungsreife detailliert und während der Phase der Inbetriebnahme realisiert.¹⁰⁶

¹⁰⁴ vgl. Pawellek 2008, S. 51

¹⁰⁵ vgl. Pawellek 2008, S. 51

¹⁰⁶ vgl. Pawellek 2008, S. 52

Die Lagersystemplanung erfolgt in der Grobplanungsphase eines Planungsprojektes und wird von Martin (2006) in fünf Prozessschritte unterteilt (siehe Abbildung 15).



Abbildung 15: Ablauf der Systemplanung¹⁰⁷

Während der Vorbereitung werden die Mitglieder des Planungsteams, die Vorgehensweise und die Terminplanung bestimmt. Weiter wird darüber entschieden ob das Planungsprojekt in Eigenarbeit durchgeführt oder an ein Planungsunternehmen übergeben wird. Außerdem wird für den nachfolgenden Analyseprozess ein repräsentativer Aufnahmezeitraum mitsamt Aufnahmeverfahren und Genauigkeitsgrad definiert.

Die Aufnahme, Auswertung, Darstellung und Beurteilung der IST- Daten erfolgt in der Analysephase. Die relevanten Daten können durch das Sichten von Unterlagen, Fragebögen oder anderen Erhebungsunterlagen erfasst werden. Bei der nachfolgenden Auswertung der erfassten Daten, können Schwachstellen bzw. Engpässe erkannt und die Ergebnisse durch Gegenüberstellung mit Kennzahlen und Benchmarks beurteilt werden. Die Darstellung der Ergebnisse kann durch unterschiedliche grafische Darstellungsmethoden (Prozessdarstellung, Sankey-Diagramm, Funktionsschema) erfolgen.¹⁰⁸

Die Verabschiedung kann eher wie ein Meilenstein als ein Prozessschritt angesehen werden, denn zu diesem Zeitpunkt ist die Datenerfassung und –analyse abgeschlossen. Die Ergebnisse werden den Verantwortlichen präsentiert und wenn diese mit dem Resultat zufrieden sind, kommt es zu einer verbindlichen Verabschiedung der Ergebnisse, denn nur so kann der Planungsprozess effektiv weitergeführt werden.

Ein kreativer und sehr wichtiger Schritt zur Findung der optimalen Systemlösung ist die Entwicklung von Systemalternativen. Basierend auf einer Ideallösung, bei der sämtliche Restriktionen ignoriert werden, werden unterschiedliche Lösungskonzepte abgeleitet. Die erarbeiteten Alternativen berücksichtigen die Systemrestriktionen, allerdings versucht man so nahe wie möglich an die Ideallösung heranzukommen.

¹⁰⁷ vgl. Martin 2006, S. 420

¹⁰⁸ vgl. Martin 2006, S. 421

Um die unterschiedlichen Lösungsalternativen miteinander vergleichen und die Optimalen auswählen zu können, können Wirtschaftlichkeits- Risiko- und Nutzwertanalysen verwendet bzw. die einzelnen Konzepte gegenübergestellt werden. Mögliche Vergleichskriterien sind Personalbedarf, Automatisierungsgrad, Störanfälligkeit, Flexibilität und Erweiterungsmöglichkeiten.

Am Ende der Grobplanungsphase wird über den weiteren Verlauf des Planungsprojektes entschieden. Basierend auf den bewerteten Lösungsalternativen, welche eine Entscheidungsvorlage darstellen, wird entschieden ob das Projekt gestoppt oder ein Konzept ausgewählt wird, welches dann in der Feinplanungsphase weiter detailliert wird.¹⁰⁹

4.1 Planungsgrundlagen

Wie bei jedem Planungsvorhaben, bildet eine gründliche Ist-Analyse mit entsprechender Datenerfassung und Aufarbeitung die Grundlage für einen erfolgreichen Planungsprozess. Bei der Lagersystemplanung sind unter anderem folgende Daten zu erfassen und zu analysieren:¹¹⁰

- Artikelstruktur (Artikelsortiment, Abmessungen, Gewichte, Mengenstruktur und Umschlagshäufigkeit der Artikel, ABC- Analyse, usw.)
- Lagereinheiten (Paletten, Behälter, Kästen, Abmessungen, Gewichte, Anzahl der Lagereinheiten, usw.)
- Lagerkapazität (Anzahl und Abmessungen der Lagerplätze, Lagervolumen, usw.)
- Dynamische Daten (Anzahl Ein- und Auslagerungen pro AT(Arbeitstag), Anzahl Aufträge pro AT, Auftragsvolumen, Anzahl Positionen pro Auftrag, usw.)
- Spezifische Daten (Kleinbehälterlager, Palettenlager, Kühlhauslager, Werkzeuglager, Stapelbarkeit, Verderblichkeit, usw.)
- Restriktionen (Lagerfläche und Lagerhöhe, Lage WE und WA, Automatisierungsgrad, Vorgaben, Strategien, usw.)

¹⁰⁹ vgl. Martin 2006, S. 423

¹¹⁰ vgl. Martin 2006, S. 418

Die folgende Tabelle fasst die Ausgangsdaten für die Konzepterstellung zusammen:

Tabelle 6: Ausgangsdaten

Bezeichnung	Wert	Einheit
Artikelanzahl	70 ¹¹¹	[-]
Lagereinheit	E2 Kiste	[-]
Behälterabmessungen L x B x H	600 x 400 x 200	[mm]
Ø Gewicht/Behälter	25	[kg]
Einlagerungen pro AT	8.000 – 10.000	[Stk]
Auslagerungen pro AT	8.000 – 10.000	[Stk]
Taktzeit	5	[Sek]
Lagerfläche	laut Grundrissplan (siehe Abbildung 16)	[-]
Lagerraumhöhe	6	[m]
Automatisierungsgrad	Vollautomatisches Behälterlager	[-]
Spezifische Daten	Kühllager	[-]

Anhand der Ausgangsdaten in Tabelle 6 und des Grundrissplanes in Abbildung 16 sollen unterschiedliche Lagerkonzepte entwickelt werden. Der Fokus der Lagerkonzepte liegt hierbei natürlich auf einer sehr hohen Durchsatzleistung, da das gesamte Lager volumen binnen 24 Stunden umgeschlagen wird.

Aufgrund der Verderblichkeit der Waren ist die strenge Einhaltung des FIFO- bzw. FEFO-Prinzips unumgänglich. Der Ort an dem die Behälter in den Lagerbereich gelangen ist im Grundrissplan dargestellt und kann aufgrund der vorhandenen Anbindung an den Zerlegebereich nicht verlegt werden. Die gleiche Einschränkung gilt für den Ort an dem die auftragsgerecht zusammengestellten Paletten den Lagerbereich verlassen. Innerhalb dieser zwei festen Punkte kann der Materialfluss frei gestaltet werden.

Abbildung 16 zeigt den Grundriss des Kühllagers in dem das Lagersystem installiert werden soll. Der Plan stellt die verfügbare Fläche maßstabsgetreu dar. Besonders wichtig ist es die vorhandenen Säulen und Türen zu berücksichtigen.

¹¹¹ Siehe Anhang A Kistenaufkommen

Um beurteilen zu können wie gut die unterschiedlichen Lösungskonzepte die zur Verfügung stehende Fläche ausnutzen, empfiehlt es sich den Flächennutzungsgrad zu berechnen.¹¹²

Formel 4-1 Flächennutzungsgrad

$$FNG = \frac{A_{Lg}}{A_G}$$

FNG = Flächennutzungsgrad [%]

A_{Lg} = Lagergutfläche [m²]

A_G = Gesamtlagerfläche [m²]

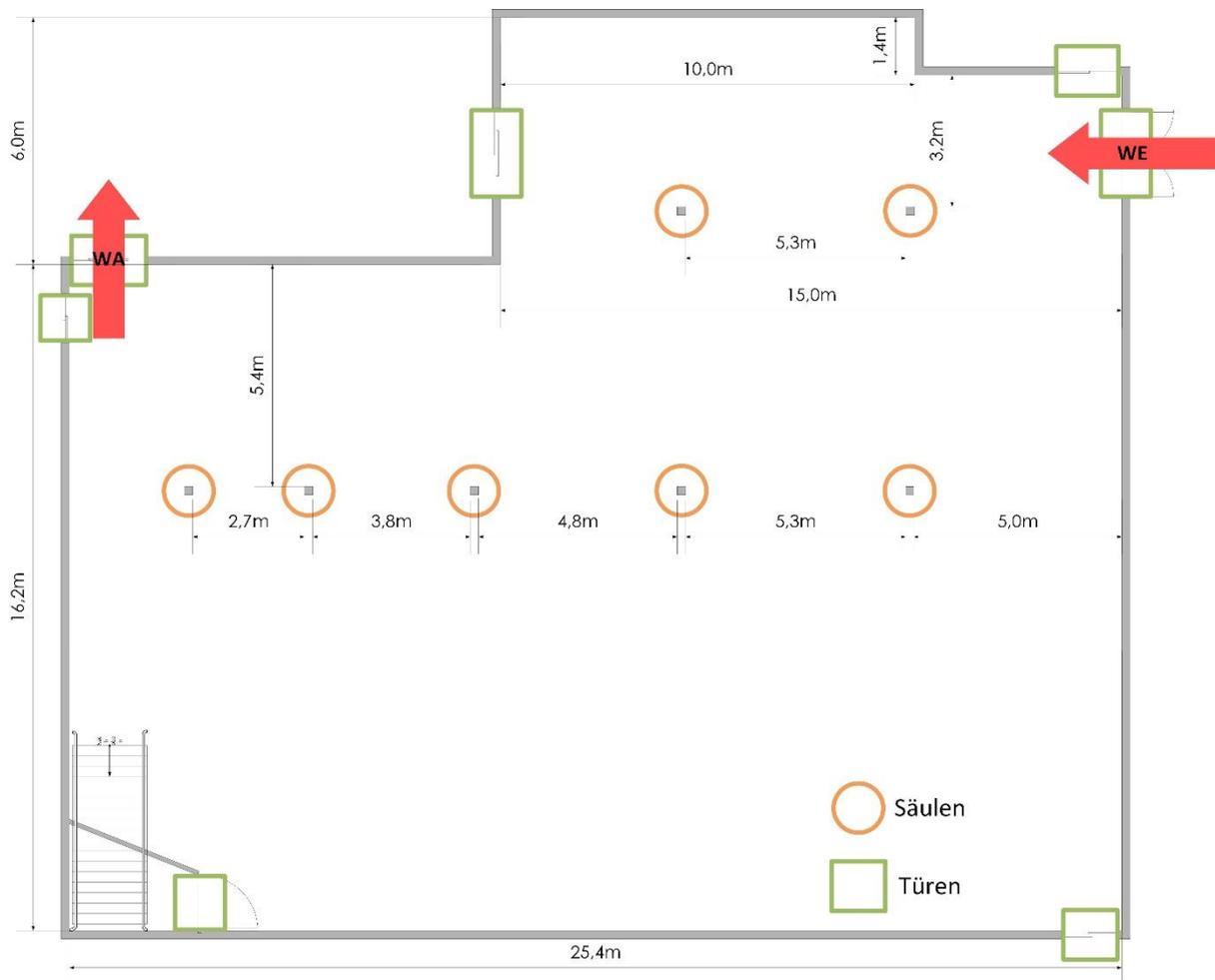


Abbildung 16: Grundrissplan

¹¹² vgl. Ten Hompel et al. 2007, S. 116

4.2 ABC-Analyse

Wie aus Tabelle 6 zu entnehmen ist, besteht das Sortiment des fleischverarbeitenden Unternehmens aus 70 unterschiedlichen Artikeln. Diese 70 unterschiedlichen Artikel wurden einer ABC-Analyse unterzogen um eine Kategorisierung bezüglich des Anteiles am Gesamtbehälteraufkommen vornehmen zu können. Als Datenbasis diente die Tabelle in Anhang A Kistenaufkommen.

Die Einteilung der Kategorien erfolgte nach dem folgenden Aufteilungsschlüssel:

A-Artikel: 80% des Gesamtbehälteraufkommens

B-Artikel: 15% des Gesamtbehälteraufkommens

C-Artikel: 5% des Gesamtbehälteraufkommens

Das Ergebnis der ABC-Analyse ist in Abbildung 17 dargestellt. Wie anhand der Grafik erkennbar ist, verursachen 26 Produkte 80% des Gesamtbehälteraufkommens. Diese bilden die A-Artikel. In die Kategorie der B-Artikel fallen 18 unterschiedliche Produkte die 15% des Gesamtbehälteraufkommens verursachen. Die Kategorie C enthält 26 Produkte die nur 5% des Gesamtbehälteraufkommens ausmachen.

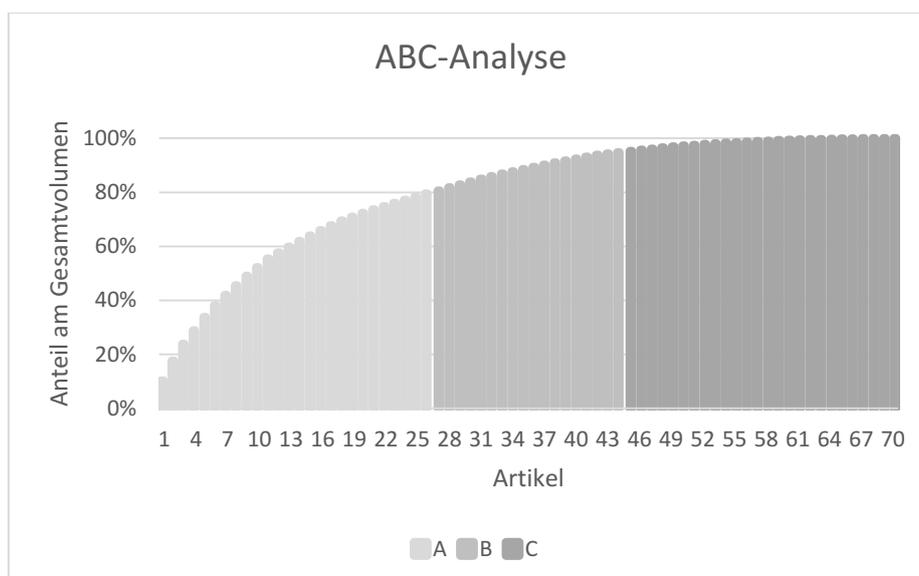


Abbildung 17: ABC-Analyse

In den folgenden Kapiteln werden unterschiedliche Lösungsalternative erarbeitet und vorgestellt. Die einzelnen Konzepte umfassen die maßstabsgetreue Darstellung des

Layouts der verschiedenen Lagersysteme, Durchsatzberechnung und Kapazitätsberechnung.

4.3 Automatisches Kleinteilelager (AKL)

In der ersten Lösungsalternative wird ein automatisches Kleinteilelager mit drei Lagergassen und doppeltiefer Lagerung eingesetzt. Dieses Lagerkonzept wurde vom fleischverarbeitenden Unternehmen als erste Lösungsalternative vorgeschlagen. Da das Konzept lediglich aus einer groben Layoutzeichnung ohne Durchsatz- und Kapazitätsberechnung bestand, war die erste Aufgabe die Leistungsberechnung für das vorgeschlagene Konzept durchzuführen.

4.3.1 Lagerdimensionierung

In Tabelle 7 sind die Lagerdimensionen und die technischen Daten des Regalbediengerätes und des verwendeten Lastaufnahmemittels zusammengefasst. Diese Daten wurden für die Berechnung der Durchsatzleistung des AKL herangezogen.

Um unterscheiden zu können ob das RBG die Höchstgeschwindigkeit erreicht, wurden die Grenzwege für die Hub- und Fahrbewegung nach Formel 3-5 berechnet.

$$s_{g\text{ Hub}} = 3,00 \text{ [m]}$$

$$s_{g\text{ Fahr}} = 7,20 \text{ [m]}$$

Die berechneten Grenzwege gelten für alle Lagerkonzepte mit Regalbediengerät, da bei jedem dieser Konzepte dasselbe RBG eingesetzt wird.

Anhand der kinematischen Daten des RBG und der Regalwandabmessungen wurde der Wandparameter w berechnet:

$$w = 0,72$$

Da der Wandparameter kleiner 1 ist, erreicht das RBG schneller das oberste Regalfach als das letzte Regalfach der Lagergasse, wenn es eine Diagonalfahrt vollführt.

Nachfolgend sind die Regaldimensionierung und die technischen Daten des RBG zusammengefasst.

Tabelle 7: Regaldimensionierung und technische Daten RBG und LAM

	Bezeichnung	Wert	Einheit
Regaldimensionierung	Regallänge	12,5	[m]
	Regalhöhe	4,5	[m]
	Fahrgassenbreite	1,4	[m]
	Lagerfachbreite	0,46	[m]
	Lagerfachhöhe	0,28	[m]
	Lagerfachtiefe	1,25	[m]
	Regalgassen	3	[-]
	Lagerkapazität	5.152	[Behälter]
	Entfernung des Übergabeplatzes in x-Richtung	1	[m]
	Höhe des Übergabeplatzes	unterstes Regalfach	[-]
Technische Daten RBG und LAM	Horizontalgeschwindigkeit v_x^{113}	6	[m/s]
	Hubgeschwindigkeit v_z^{114}	3	[m/s]
	Horizontalbeschleunigung α_x^{115}	5	[m/s ²]
	Vertikalbeschleunigung α_z^{116}	3	[m/s ²]
	Aufnahmekapazität LAM	2	[Behälter]
	Traglast	2 x 50	[kg]
	Übergabezeit einfachtief ¹¹⁷	4	[Sek]
Übergabezeit doppeltief ¹¹⁸	5	[Sek]	

¹¹³ Siehe Anhang B Winkel Colibri

¹¹⁴ Siehe Anhang B Winkel Colibri

¹¹⁵ Siehe Anhang B Winkel Colibri

¹¹⁶ Siehe Anhang B Winkel Colibri

¹¹⁷ Siehe Anhang C Lastaufnahmemittel Beewen GmbH & Co. KG

¹¹⁸ Siehe Anhang C Lastaufnahmemittel Beewen GmbH & Co. KG

4.3.2 Lagerlayout

Abbildung 18 stellt das maßstabsgetreue Layout der ersten Lösungsalternative: „AKL mit drei Lagergassen“ dar.

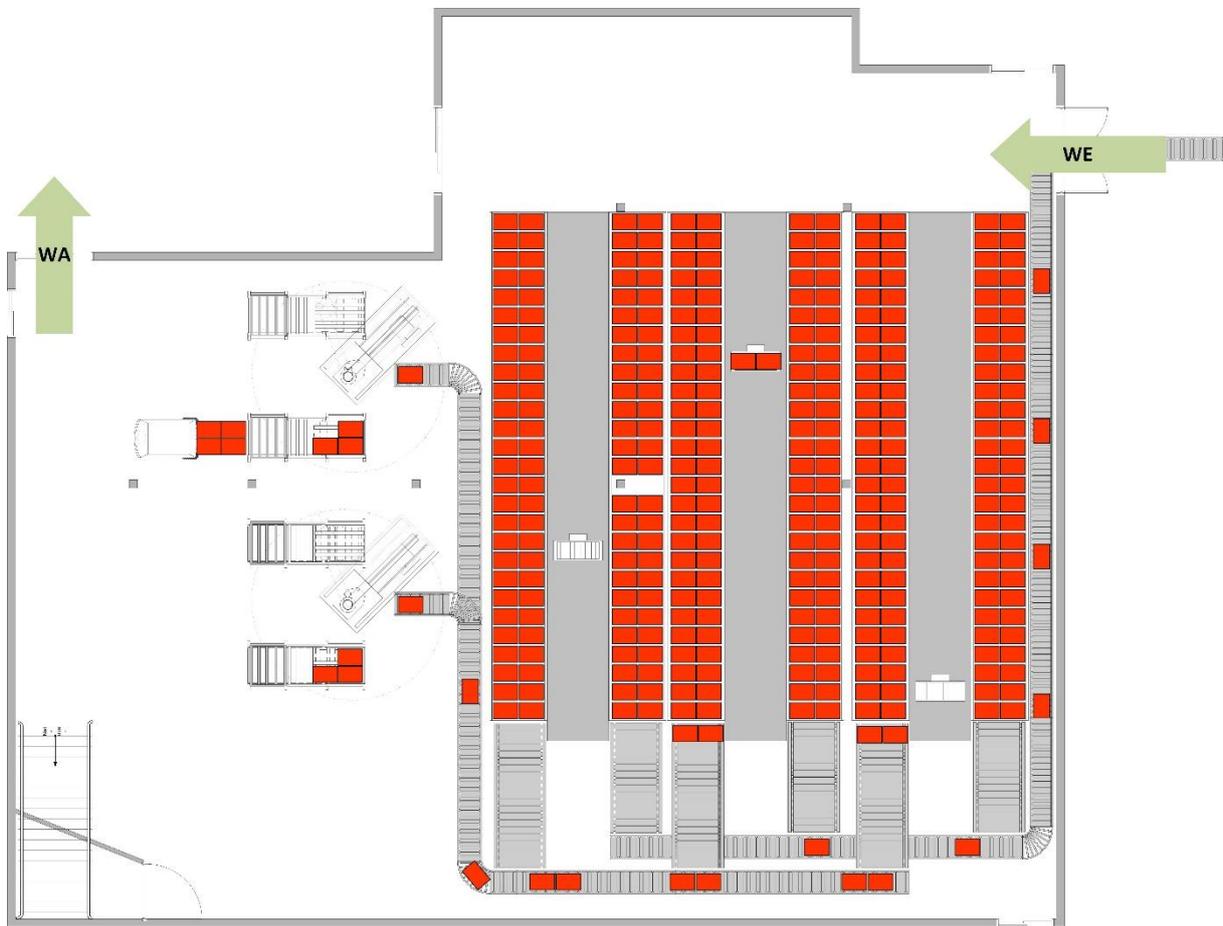


Abbildung 18: Layoutdarstellung „AKL mit drei Lagergassen“

Der Flächennutzungsgrad des AKL mit drei Lagergassen beträgt 15,7 %.

$$FNG = 15,7 [\%]$$

Abbildung 19 stellt das Funktionsschema passend zum entworfenen Lagerkonzept „AKL mit drei Lagergassen“ dar.

Das Funktionsschema spiegelt die materialflusseitige Verknüpfung der einzelnen Systemkomponenten wider und dient somit dem besseren Verständnis des Prozessablaufes.¹¹⁹

¹¹⁹ vgl. Grundig 2006, S. 65

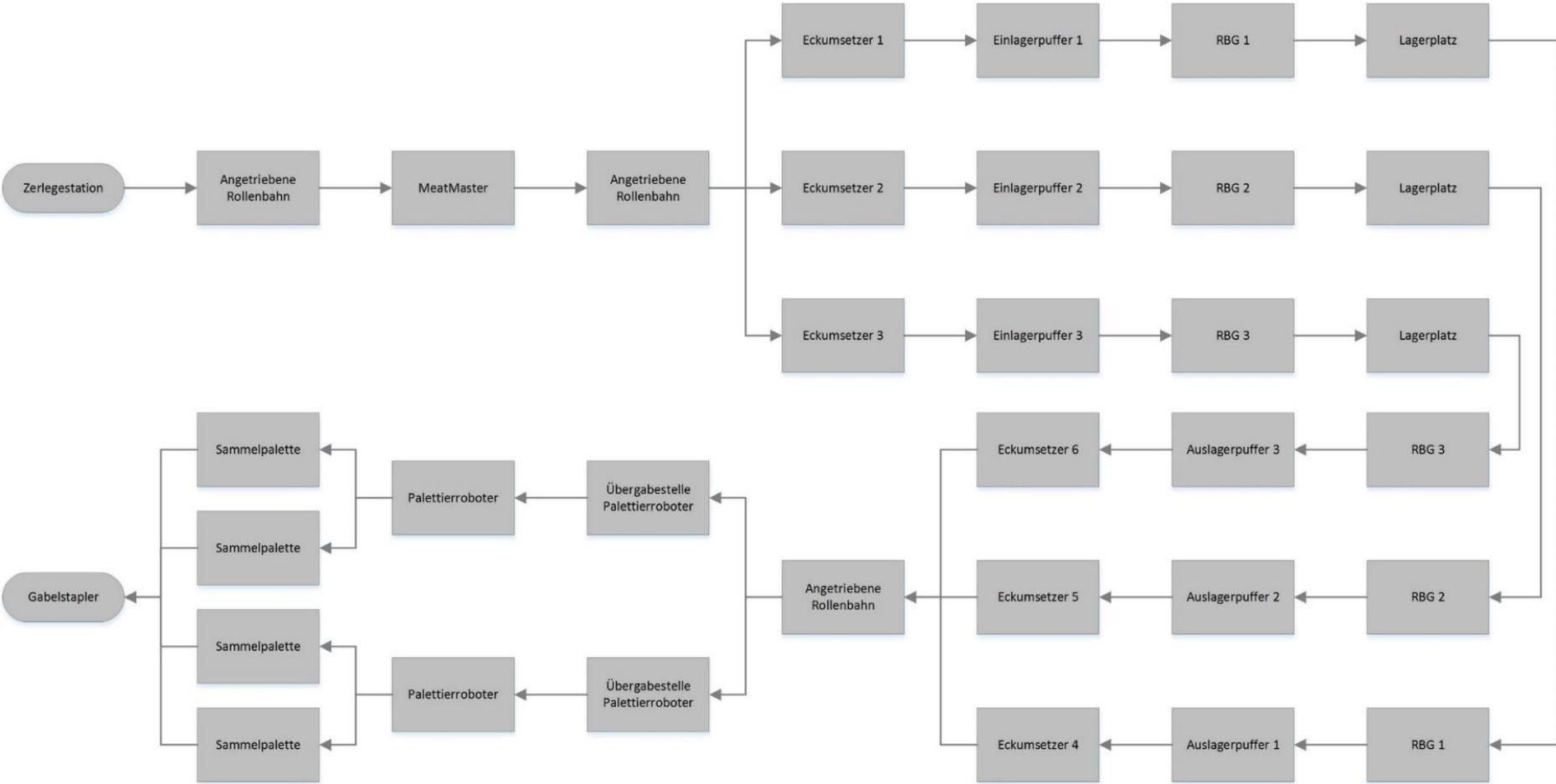


Abbildung 19: Funktionsschema „AKL mit drei Lagergassen“

Anhand des Funktionsschemas ist sehr gut zu erkennen wie viele Elemente der Förder-
technik parallel oder in Serie geschaltet sind. Grundsätzlich ist eine parallele Anord-
nung der Fördertechnik anzuraten, denn wenn ein Element ausfällt kann die parallel
angeordnete Fördertechnik die Förderaufgabe übernehmen.¹²⁰

Aufgrund der relativ geringen Flächennutzung und hohen Auslastung (wie nachfolgen
noch begründet wird), wurde das Layout aus Abbildung 18 überarbeitet und die La-
gergassen um 90° gedreht angeordnet. Das überarbeitete Layout ist in Abbildung 20
dargestellt. Abbildung 21 zeigt das zugehörige Funktionsschema.

Das um 90° gedrehte Layout ermöglicht es eine weitere Lagergasse im Kühllager un-
terzubringen. Durch die vierte Lagergasse wird nicht nur die Lagerkapazität erhöht,
sondern es kann dadurch auch die Auslastung der einzelnen RBG reduziert werden.

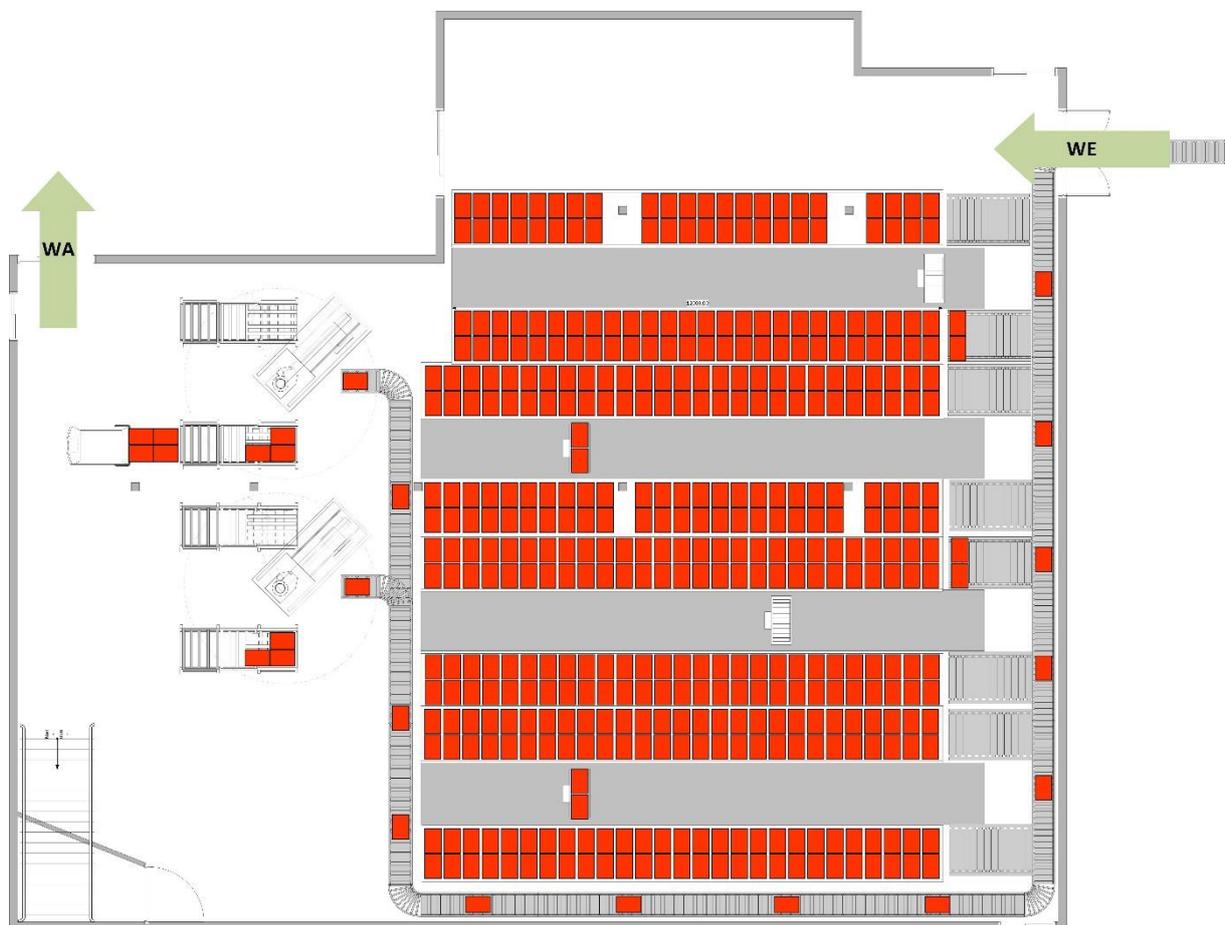


Abbildung 20: Layoutdarstellung „AKL mit vier Lagergassen“

¹²⁰ vgl. Arnold und Furmans 2009, 306 f.

Der Flächennutzungsgrad des AKL mit vier Lagergassen beträgt 20,8 %.

$$\mathbf{FNG = 20,8 [\%]}$$

Auf der folgenden Seite ist das Funktionsschema des neu angeordneten Lagerlayouts „AKL mit vier Lagergassen“ dargestellt.

Durch die Neuordnung der Lagergassen, ändert sich natürlich auch das Funktionsschema, denn durch die zusätzliche Lagergasse kommt ein weiterer paralleler Pfad hinzu. Dieser zusätzliche Pfad erhöht wiederum die Verfügbarkeit des Systems für den Fall, dass ein RBG ausfällt.

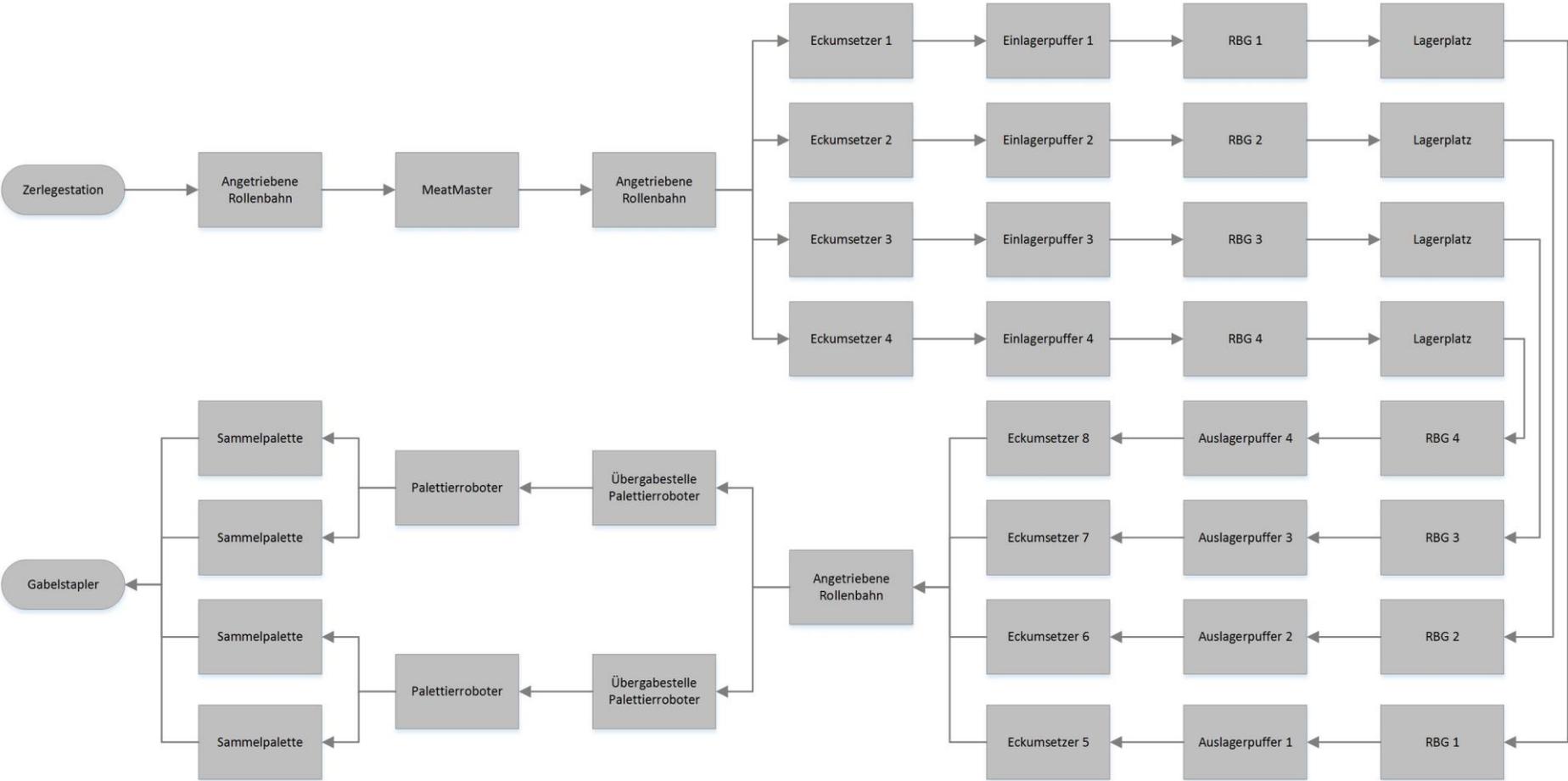


Abbildung 21: Funktionsschema „AKL mit vier Lagergassen“

4.3.3 Durchsatzberechnung und Systemauslastung

Für das in Abbildung 18 dargestellte Layout „AKL mit drei Lagergassen“ wurde eine Einzelspielzeit von 14,96 Sek. berechnet. Es ist zu erwähnen, dass in dieser Spielzeit keine Umlagerungen mit einberechnet sind.

$$t_{mES} = 14,96 \text{ [Sek]}$$

Die Doppelspielzeit ohne Umlagerungen beträgt 26,64 Sek. wobei auch hier keine Umlagerungen mit einberechnet sind.

$$t_{mDS} = 26,64 \text{ [Sek]}$$

Mit den nötigen Umlagerungen beträgt die mittlere Arbeitsspielzeit für ein Doppelspiel 36,22 Sek. bei einem Lagerfüllgrad von 80%. Die Differenz der Doppelspielzeit ohne Umlagerungen und der Doppelspielzeit mit Umlagerungen ist einfach nachvollziehbar. Denn der Zeitanteil für die Umlagerung beinhaltet im Schnitt zwei Lastzyklen des LAM und zwei kurze Fahrten zum nächsten nutzbaren Lagerfach.

$$t_{mDS+U} = 36,22 \text{ [Sek]}$$

Basierend auf den berechneten Spielzeiten ergeben sich folgende Durchsatzmengen der einzelnen RBG.

Tabelle 8: Durchsatzmengen pro RBG

Strategie	Durchsatz pro RBG [Behälter/Stunde]
Einzelspiel	480
Doppelspiel	270
Doppelspiel mit Umlagerungen	198

Den in Tabelle 8 aufgelisteten Durchsatzmengen steht natürlich die Durchsatzmenge des Meat-Masters in der Zerlegung gegenüber. Dieser arbeitet mit einer Taktzeit von 5 Sek. was einer Durchsatzmenge von max. 720 Behältern/Stunde entspricht.

Da die erste Lösungsalternative aus drei Lagergassen besteht, können die Durchsatzmengen mit drei multipliziert werden um den Gesamtdurchsatz des AKL zu erhalten.

Tabelle 9: Durchsatzmengen und Auslastung des „AKL mit drei Lagergassen“

Strategie	Durchsatz [Behälter/Stunde]	Auslastung
Einzelspiel	1.440	100 %
Doppelspiel	1.620	89 %
Doppelspiel mit Umlagerungen	1.188	121 %

Wie anhand der Auslastung erkennbar wird reichen die drei Lagergassen nicht aus um durchgehend die Doppelspielstrategie mit Umlagerungen zu verfolgen. Um dieses Auslastungsproblem zu lösen könnte beispielsweise die Auslagerung von der Einlagerung zeitlich verschoben erfolgen und eine gemischte Strategie angewendet werden.

Wenn z.B. 85% der Arbeitsspiele als Doppelspiele mit Umlagerung und 15% der Arbeitsspiele als Einzelspiele (für die Einlagerung der ankommenden Behälter aus der Zerlegung) durchgeführt werden, dann reichen die drei Lagergassen aus um den geforderten Durchsatz zu erbringen.

Das heißt natürlich, dass nicht gleich viele Behälter ausgelagert werden können als eingelagert werden. Werden die Einzel- und Doppelspiele wie beschrieben auf 15 % und 85 % aufgeteilt, dann entspricht dies 720 Behältern/Stunde die eingelagert und 504 Behältern/Stunde die ausgelagert werden können. Diese Aufteilung entspricht somit genau dem Grenzfall, dass der geforderte Durchsatz für die Einlagerung erreicht wird.

Ein anderer Lösungsansatz ist in Abbildung 20 dargestellt. In diesem Layout wurden die Lagergassen um 90° gedreht und um eine Lagergasse erweitert. Diese Erweiterung erhöht natürlich die Investitionskosten, bietet aber gleichzeitig die Möglichkeit für ein zukünftiges Firmenwachstum bereit zu sein.

Nachstehend ist die Lagerdimensionierung der neuen Anordnung zusammengefasst:

Tabelle 10: Dimensionierung „AKL mit vier Lagergassen“

	Bezeichnung	Wert	Einheit
Regaldimensionierung	Regallänge lange Gasse	12,5	[m]
	Regallänge kurze Gasse	12	[m]
	Regalhöhe	4,5	[m]
	Fahrgassenbreite	1,4	[m]
	Lagerfachbreite	0,46	[m]
	Lagerfachhöhe	0,28	[m]
	Lagerfachtiefe	1,25	[m]
	Regalgassen lang	3	[-]
	Regalgassen kurz	1	[-]
	Lagerkapazität	6.752	[Behälter]
	Entfernung des Übergabeplatzes in x-Richtung	1	[m]
	Höhe des Übergabeplatzes	unterstes Regalfach	[-]

Für die neue Anordnung werden dieselben Regalbediengeräte verwendet wie bei der ersten Anordnung, somit bleiben auch die technischen Daten des RBG gleich (siehe Tabelle 7).

Durch die neue Dimensionierung der Lagergassen, ändert sich der Wandparameter für die kurze Lagergasse und damit verbunden ergeben sich auch neue Spielzeiten der RBG.

$$w = 0,75$$

Die mittlere Einzelspielzeit ohne Umlagerungen beträgt für eine lange Lagergasse 14,96 Sek. und für die kurze Lagergasse 14,88 Sek.

$$t_{mES llg} = 14,96 [Sek]$$

$$t_{mES klg} = 14,88 [Sek]$$

Die mittlere Doppelspielzeit ohne Umlagerungen beträgt für eine lange Lagergasse 26.64 Sek. und für die kurze Lagergasse 26,55 Sek.

$$t_{mDS\ llg} = 26,64 \text{ [Sek]}$$

$$t_{mDS\ klg} = 26,55 \text{ [Sek]}$$

Die mittlere Doppelspielzeit mit Umlagerungen bei einem Lagerfüllgrad von 80% beträgt für eine lange Lagergasse 36,22 Sek. und für die kurze Lagergasse 36,12 Sek.

$$t_{mDS+U\ llg} = 36,22 \text{ [Sek]}$$

$$t_{mDS+U\ klg} = 36,12 \text{ [Sek]}$$

Basierend auf den neuen Spielzeiten und der veränderten Anzahl der Lagergassen ergeben sich für die neue Anordnung des AKL auch neue Durchsatzmengen und Auslastungswerte. Diese sind in Tabelle 11 zusammengefasst.

Die Auslastungswerte zeigen nun, dass das AKL auch unter Berücksichtigung der Umlagerungen im Stande ist den geforderten Durchsatz zu erbringen.

Tabelle 11: Durchsatzmengen und Auslastung des „AKL mit vier Lagergassen“

Strategie	Durchsatz [Behälter/Stunde]	Auslastung
Einzelspiel	1.922	75 %
Doppelspiel	2.160	67 %
Doppelspiel mit Umlagerungen	1.584	91 %

4.4 Umlaufregallager

Für das zweite Lösungskonzept wurde ein horizontales Umlaufregallager, auch bekannt als Karusselllager, gewählt. Da das Unternehmen, welches die Lagerlösung anbietet, viel Know How im Bereich der Kettenfertigung hat, war das Karusselllager, welches mit Ketten angetrieben wird, eine naheliegende Lösungsvariante.

Der größte Vorteil besteht hierbei für das anbietende Unternehmen darin, dass man einen Großteil der Anlagenkomponenten selbst fertigen könnte und somit mehr Wertschöpfung im eigenen Unternehmen generieren könnte. Andererseits ist das Karusselllager aber auch die anlagen- und wartungsintensivste Lösungsvariante. Da aber jeder Behälter direkt zugänglich ist, entfallen die Umlagerungen, die bei dem AKL doch einen nicht zu vernachlässigenden Zeitanteil ausmachen. Somit sind Vor- und Nachteile

einigermaßen im Gleichgewicht und es gibt kein Kriterium welches die weitere Betrachtung dieser Lösungsalternative ausschließt.

Zur Arbeitsweise der Karusselllager ist zu erwähnen, dass sich die einzelnen Ebenen des Karusselllagers unabhängig voneinander in die selbe bzw. auch in entgegengesetzte Richtung bewegen können. Diese Arbeitsweise ist sehr wichtig um die Flexibilität der Anlage gewährleisten zu können und den nötigen Durchsatz zu erreichen.

4.4.1 Lagerdimensionierung

Die Abmessungen, Umlaufgeschwindigkeit und die Aufnahmekapazität des Lagerkonzeptes sind in Tabelle 12 zusammengefasst.

Tabelle 12: Dimensionierung Karusselllager

Bezeichnung	Wert	Einheit
Regalfachbreite	0,63	[m]
Regalfachtiefe	0,51	[m]
Teilung horizontal	0,06	[m]
Regalfachhöhe	0,28	[m]
Karussellinnenbreite	0,70	[m]
Karusselllänge	12,5	[m]
Karussellhöhe	4	[m]
Anzahl Etagen	14	[-]
Regalfächer pro Etage	40	[-]
Anzahl Karusselle	8	[-]
Regalfächer pro Karussell	560	[-]
Regalfächer gesamt	4.480	[-]
Umlaufgeschwindigkeit ¹²¹	24	[m/s]

¹²¹ Siehe Anhang D Kardex Remstar Horizontal Karussell

Die hohe Flexibilität der Anlage führt zu hohen Investitionskosten, denn je nach Umsetzungsvariante kann es nötig sein für jede Ebene einen Antriebsmotor zu installieren. Bei acht Karussellen mit jeweils 14 Ebenen ergibt das 112 Elektromotoren.

Bei den Karusselllagern sind die Einlagerung und die Auslagerung örtlich getrennt. Der Übergabepplatz für die Einlagerung befindet sich auf einer Stirnseite des Karusselllagers und der Übergabepplatz für die Auslagerung auf der gegenüberliegenden Stirnseite. Durch diese Anordnung von WE und WA kann gleichzeitig eingelagert und ausgelagert werden.

Die Aufnahmekapazität ist im Vergleich zum AKL zwar etwas geringer, jedoch ist durch die gleichzeitige Ein- und Auslagerung die Umschlagsleistung höher.

4.4.2 Lagerlayout

Das Lagerlayout in Abbildung 22 zeigt wie die einzelnen Karusselle im Lagerbereich angeordnet werden sollen.

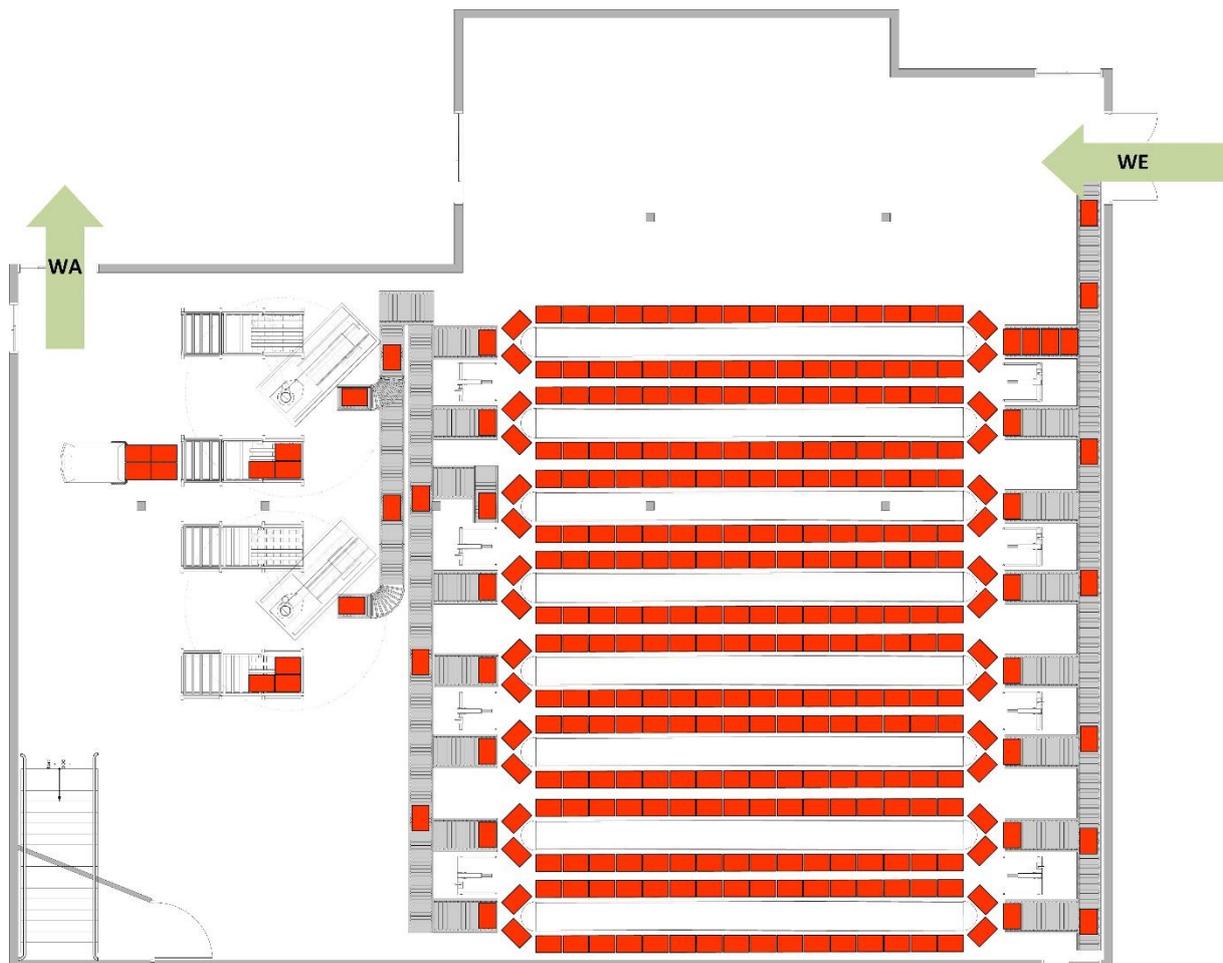


Abbildung 22: Layoutdarstellung Umlaufregallager

Der Flächennutzungsgrad des Umlaufregallagers beträgt 15,5 %.

$$FNG = 15,5 [\%]$$

Die stirnseitigen Ein- und Auslagerorte sind ebenfalls gut erkennbar. Auf der rechten Stirnseite der Karusselle befinden sich die Übergabepplätze für die Einlagerung und auf linken Stirnseite die Übergabepplätze für die Auslagerung.

Ein Vertikalförderer (KLT-Lift) nimmt die ankommenden Behälter von der Zuförder-Bahn auf und hebt sie auf die Höhe des Übergabepplatzes der Etage auf der der Behälter eingelagert werden soll. Die Zuförder-Bahn befindet sich auf Höhe des untersten Übergabepplatzes, dadurch kann dieser Übergabepplatz direkt von der Zuförder-Bahn bedient werden. Dasselbe gilt für die Abförderstrecke, die sich ebenfalls auf Höhe des untersten Übergabepplatzes befindet. Da die Leistungsfähigkeit der KLT-Lifte ausreicht, kann ein Lift zwei Karusselle bedienen.

Das passende Funktionsschema ist in Anhang H „Funktionsschema Umlaufregallager“ zu finden. Wegen der Komplexität des Funktionsschemas wurde es in den Anhang verschoben und in größerem Format dargestellt.

4.4.3 Durchsatzberechnung und Auslastung

Maßgebend für die Durchsatzberechnung dieses Lagerkonzeptes sind die Umlaufgeschwindigkeit der Karusselle und die Durchsatzleistung der Lifte. Ein Vertikallift schafft im Schnitt eine Durchsatzleistung von 280 Arbeitsspielen pro Stunde, optional kann die Durchsatzleistung auch auf bis zu 500 Arbeitsspiele pro Stunde erhöht werden.¹²²

Da einlagerungsseitig vier Vertikallifte eingesetzt werden, beträgt der mittlere Durchsatz für das Gesamtsystem 1.120 Einlagerungen pro Stunde. Stellt man diese 1.120 Einlagerungen pro Stunde in Relation mit den 720 Behältern pro Stunde, die die Zerlegung verlassen, dann entspricht dies einer Auslastung von 64%.

Bei der Auslagerung kann es natürlich dazu kommen, dass mehr als 720 Behälter pro Stunde ausgelagert werden. Dies stellt aber kein Problem dar, da die Leistungsfähigkeit der Vertikallifte, wie vorher erwähnt, 1.120 Arbeitsspiele pro Stunde beträgt.

¹²² Siehe Anhang E Qimarox Vertikallift

4.5 Durchlaufregallager

Da es sich bei den zu lagernden Produkten um leicht verderbliche Güter handelt, ist es besonders wichtig eine Überalterung der Produkte zu vermeiden und das FIFO-Prinzip streng einzuhalten. Die Lagerung der Behälter in einem Durchlaufregallager erfüllt die Anforderungen des FIFO zu 100% und bietet daher eine nicht zu vernachlässigende Lösungsalternative.

Die größten Vorteile des Durchlaufregallagers sind die örtlich getrennte Ein- und Auslagerung, der hohe Raumnutzungsgrad und die vergleichsweise geringen Investitionskosten.

Da die Artikel in den einzelnen Lagerkanälen artikelrein gelagert werden müssen, muss für jeden Artikel mindestens ein Lagerkanal vorgesehen werden, unabhängig davon ob darin ein einzelner Behälter oder die maximale Anzahl von Behältern, die im Lagerkanal Platz finden, gelagert wird. Dies führt folglich dazu, dass bei einem Lagerfüllgrad kleiner 100% bestimmte Artikel nicht mehr eingelagert werden können. Daher ist es wichtig die Anzahl der Lagerplätze an der maximalen Anzahl von Behältern pro Artikel auszurichten.

Bei einem automatisch bedienten Durchlaufregallager, das wie in unserem Fall binnen 24 Stunden komplett umgeschlagen wird, wäre es durch eine dynamische Zuordnung der Artikel zu den Lagerkanälen möglich, das Lagersystem flexibler zu gestalten.

4.5.1 Lagerdimensionierung

Die Abmessungen des Durchlaufregallagers und die maximale Lagerkapazität sind in Tabelle 13 zusammengefasst. Wie zu erkennen ist, müssen die Lagerkanäle relativ eng gestaltet werden um ein Verkeilen der Behälter während des Durchlaufens des Lagerkanals zu verhindern.

Aufgrund der Länge der Lagerkanäle und des durchschnittlichen Gewichtes der Behälter (25 kg), müssen in den Lagerkanälen Bremsrollen eingebaut werden, um einerseits die Durchlaufgeschwindigkeit der Behälter durch einen leeren bzw. fast leeren Lagerkanal zu reduzieren und andererseits bei einem vollen Lagerkanal den Staudruck auf die vordersten (zuerst zu entnehmenden) Behälter zu verringern.

Da sich die Behälter mittels Schwerkraft durch das Regal bewegen, muss die Einlagerseite im beschriebenen Beispiel um 0,43 m höher angeordnet sein als die Auslagerseite. Bei einer Bodenfreiheit von 0,50 m auf der Auslagerseite entspricht dies einer Gesamtregalhöhe von ca. 6 m.

Tabelle 13: Dimensionierung Durchlaufregallager

Bezeichnung	Wert	Einheit
Lagerkanalbreite	0,63	[m]
Lagerkanalhöhe	0,30	[m]
Teilung horizontal	0,07	[m]
Regalbreite	14,80	[m]
Regallänge	12,2	[m]
Regalhöhe	4	[m]
Gefälle	3,5	[%]
Höhenunterschied E/A	0,43	[m]
Anzahl Etagen	13	[-]
Lagerkanäle pro Etage	20	[-]
Anzahl Lagerkanäle	260	[-]
Behälter pro Kanal	28	[-]
Traglast pro Lagerkanal	700	[kg]
Lagerplätze gesamt	7.280	[-]

4.5.2 Lagerlayout

Abbildung 23 zeigt das maßstabsgetreue Layout des Durchlaufregallagers. Im Vergleich zum Umlaufregallager konnte die Anzahl der Vertikallifte halbiert werden, denn aufgrund der hohen stündlichen Durchsatzleistung genügen zwei Lifte um die ankommenden Behälter zu befördern. Im Vergleich zum Umlaufregallager müssen beim Durchlaufregal-Lagersystem Vertikallifte mit erhöhter Durchsatzleistung eingesetzt werden um den nötigen Durchsatz zu erbringen.

Die zwei Lifte an der Einlagerseite teilen sich die Bedienung der 13 Etagen. Der dem Durchlaufregallager näher positionierte Lift (Lift 1) bedient die Etagen 1 – 7. Der zweite

Lift (Lift 2) bedient die Etagen 8 – 13. Die Rollenbahnen der Etagen 8 – 13 sind verlängert und reichen über Lift 1 um eine Behälterübergabe zwischen Lift 2 und der Rollenbahn zu ermöglichen. Vor der Zuteilung des Behälters an einen Lift wird das am Behälter angebrachte Etikett gelesen und die Ebene bestimmt auf die der Behälter gehoben werden muss. Es ist wichtig, dass dies vor der Behälterübergabe an den Lift passiert, da die Vertikallifte unterschiedliche Ebenen bedienen.



Abbildung 23: Layoutdarstellung Durchlaufregallager

Der Flächennutzungsgrad des Durchlaufregallagers beträgt 27,2 %.

$$FNG = 27,2 [\%]$$

Vor jeder Etage des Durchlaufregallagers ist eine angetriebene Rollenbahn montiert. Diese Rollenbahn transportiert die E2-Kisten horizontal entlang der einzelnen Lagerkanäle. Sobald die Kiste den Lagerkanal, in dem sie eingelagert werden soll, erreicht, wird ein Stoppbügel ausgefahren, welcher einerseits den Behälter stoppen und andererseits die richtige Positionierung der E2-Kiste gewährleisten soll. Nachdem die E2-Kiste gestoppt und positioniert wurde, stößt ein Pusher diese in den Lagerkanal.

Um die Behälter automatisiert aus dem Lagerregal entnehmen zu können, muss jeder Lagerkanal an der Entnahmeseite mit einem Mechanismus für das Ausschleusen einzelner E2-Kisten ausgestattet werden. Dieser Mechanismus muss den Behälter vom Lagerkanal auf das Transportband vor der Lagerebene übergeben. Das Transportband bewegt die E2-Kiste wiederrum zum Vertikallift, welcher den Behälter vom Transportband übernimmt und an die Fördertechnik für die Versorgung der Palettierplätze übergibt.

Da das Funktionsschema dieser Lagerlösung sehr komplex und unübersichtlich werden würde, wurde darauf verzichtet dieses in der Arbeit abzubilden. Denn das Funktionsschema würde einen Graphen mit 260 parallelen Ästen aufspannen.

4.5.3 Durchsatzberechnung und Auslastung

Die kritischen Elemente dieser Lagerlösung sind die eingesetzten Lifte. Um diese möglichst gleichmäßig auszulasten ist es besonders wichtig die Artikel mit hohen Behältervorkommen gleichermaßen auf alle Etagen aufzuteilen. Denn falls die Artikel mit den höchsten Behältervorkommen aus wegoptimalen Gründen nur in den untersten Etagen des Durchlaufregallagers eingelagert werden, dann würde aufgrund der beschriebenen Auslegung Lift 1 um ein Vielfaches mehr an Behälter bedienen müssen als Lift 2.

Es werden dieselben Lifte wie in Kapitel 4.4 eingesetzt, wobei angemerkt werden muss, dass die Lifte eine erhöhte Durchsatzleistung von 500 Arbeitsspielen pro Stunde haben müssen um den geforderten Durchsatz erbringen zu können. Die zwei nebeneinander arbeitenden Lifte haben zusammen eine maximale Durchsatzmenge von 1.000 Behältern pro Stunde. Bei der angegebenen Taktzeit von 5 Sekunden sind die beiden Lifte zu 72% ausgelastet.

4.6 Automatisches Kleinteilelager und Durchlaufregallager

Im folgenden Lagerkonzept werden zwei bereits in den vorherigen Kapiteln beschriebene Lagersysteme für die Zwischenlagerung der E2-Kisten kombiniert. Das Konzept besteht aus einem AKL für die Lagerung der B- und C-Artikel und einem Durchlaufregallager für die Lagerung der A-Artikel.

4.6.1 Lagerdimensionierung

Tabelle 14 fasst die Abmessungen und die Lagerkapazität des Durchlaufregals (DRL) und des automatischen Kleinteilelagers zusammen. Der Großteil der E2-Kisten wird im Durchlaufregallager gelagert, was auch an der Anzahl der Lagerplätze erkennbar ist.

Tabelle 14: Dimensionierung DRL + AKL

	Bezeichnung	Wert	Einheit
Durchlaufregallager	Lagerkanalbreite	0,63	[m]
	Lagerkanalhöhe	0,30	[m]
	Teilung horizontal	0,07	[m]
	Regalbreite	10	[m]
	Regallänge	12,2	[m]
	Regalhöhe	4	[m]
	Gefälle	3,5	[%]
	Höhenunterschied E/A	0,46	[m]
	Anzahl Etagen	13	[-]
	Lagerkanäle pro Etage	14	[-]
	Anzahl Lagerkanäle	182	[-]
	Behälter pro Kanal	28	[-]
	Traglast pro Lagerkanal	700	[kg]
	Lagerkapazität	5.096	[Behälter]
AKL	Lagergassenlänge	14	[m]
	Regalhöhe	4	[m]
	Fahrgassenbreite	1,4	[m]
	Lagerfachbreite	0,46	[m]
	Lagerfachhöhe	0,28	[m]
	Lagerfachtiefe	1,25	[m]
	Lagerkapazität	1.680	[Behälter]
	Entfernung des Übergabeplatzes in x-Richtung	1	[m]
	Höhe des Übergabeplatzes	unterstes Regalfach	[-]
Lagerplätze gesamt		6.776	[-]

Die technischen Daten für das RBG und die Vertikallifte sind gleich wie in den vorher betrachteten Lagerkonzepten.

Die kombinierte Systemlösung besteht aus einem 10 m x 12,2 m großen Durchlaufregal und einem AKL mit einer Lagergasse der Länge von 14 m.

Durch die Kombination der beiden Systeme kann der Lagerfüllgrad des Durchlaufregallagers erhöht und die Auslastung des Regalbediengerätes im Vergleich zu den alternativen Lagerkonzepten verringert werden.

4.6.2 Lagerlayout

Abbildung 24 zeigt das Layout des kombinierten Lagersystems.



Abbildung 24: Layoutdarstellung der kombinierten Lagersystemlösung

Der Flächennutzungsgrad des kombinierten Lagerkonzeptes beträgt 22,4 %.

$$FNG = 22,4 [\%]$$

Die E2-Kisten gelangen durch eine Schleuse in der rechten oberen Ecke in den Lagerbereich. Das Etikett wird ausgelesen und wenn es sich um einen A-Artikel handelt wird dieser von einem der Vertikallifte übernommen und auf die dem A-Artikel zugeteilte Ebene gehoben. Die Lifte teilen sich die Bedienung der unterschiedlichen Regalebenen, wie in Kapitel 4.5 bereits beschrieben ist. B- und C-Artikel werden von der Förder-technik weiter bis zum AKL befördert und in der AKL-WE-Pufferstrecke bereitgestellt.

Die Anordnung des AKL im Lagerbereich ist bereits bekannt, jedoch ist die Länge der Lagergasse im Vergleich zur Lösungsalternative in Kapitel 4.3 angepasst worden.

Wie anhand der Layoutdarstellung zu erkennen ist, wird der vorhandene Raum durch diese Lösungsalternative sehr gut ausgenutzt. Im Vergleich zu den anderen Konzepten stellen hier die bestehenden Deckenstützen keine großen Hindernisse dar.

Auch bei diesem Lösungskonzept wurde auf die graphische Darstellung des dazugehörigen Funktionsschemas verzichtet, denn wie beim vorherigen Konzept würde die Abbildung sehr unübersichtlich und komplex ausfallen. Das Funktionsschema würde in diesem Fall allein für das Durchlaufregal einen Graphen mit 182 parallelen Ästen aufspannen.

4.6.3 Durchsatzberechnung und Auslastung

Aufgrund der veränderten Lagergassenlänge, ändern sich auch die mittlere Arbeits-spielzeit für das Regalbediengerät und der Wandparameter.

$$w = 0,65$$

Die mittlere Einzelspielzeit ohne Umlagerungen beträgt für die 14m lange Lagergasse 15,18 Sek.

$$t_{mES} = 15,18 \text{ [Sek]}$$

Die mittlere Doppelspielzeit ohne Umlagerungen beträgt 26,92 Sek.

$$t_{mDS} = 26,92 \text{ [Sek]}$$

Die mittlere Doppelspielzeit mit Umlagerungen bei einem Lagerfüllgrad von 80% beträgt 36,53 Sek.

$$t_{mDS+U} = 36,53 \text{ [Sek]}$$

Wie zu erkennen ist, ändert sich die mittlerer Arbeitsspielzeit nur gering durch die Änderung der Lagergassenlänge.

In den unterschiedlichen Lösungskonzepten wurden die Arbeitsspielzeiten für die Lagergassenlänge von 12 m, 12,5 m und 14 m berechnet. Die Differenz beim Vergleich der Spielzeiten der 12 m und der 14 m langen Lagergasse ist lediglich 0,4 Sek. Dies ist in Abbildung 25 zum besseren Verständnis in einem Diagramm dargestellt.

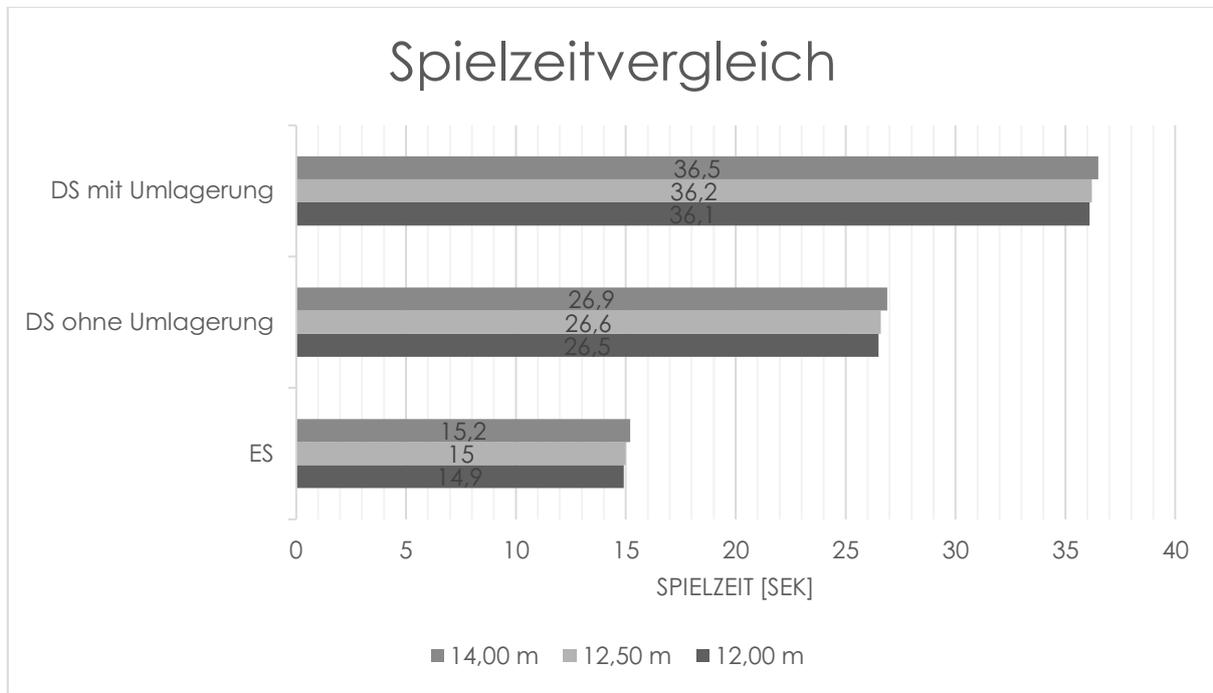


Abbildung 25: mittlere Arbeitsspielzeit nach Lagergassenlänge

Daraus lässt sich schließen, dass allein durch die Variation der Lagergassenlänge keine großen Optimierungsschritte erreicht werden können. Das größte Potential bei der Reduktion der mittleren Arbeitsspielzeit des RBG liegt in der Reduktion der Spielzeit des Lastaufnahmemittels.

Da im AKL lediglich die B- und C-Artikel gelagert werden sollen, verringert sich damit auch die geforderte Durchsatzleistung des RBGs. Basierend auf den Ergebnissen der ABC-Analyse, werden somit nur 20 % des Gesamtbehältervorkommens im AKL gelagert. Die Lagerung der restlichen 80 % erfolgt im Durchlaufregallager. Durch die Möglichkeit auf jeden einzelnen Behälter im AKL zugreifen zu können, kann unter Umständen auch ein kleiner Teil der A-Artikel im AKL gelagert werden. Diese Option könnte z.B. genutzt werden um zu verhindern, dass in einem Lagerkanal nur eine sehr geringe Anzahl von Behältern gelagert wird.

Durch die Kombination der zwei Lagersysteme reduziert sich nicht nur die geforderte Durchsatzleistung des RBG, sondern auch die Auslastung der zwei Vertikallifte. Die Reduktion der Auslastung ist aber keinesfalls als Überdimensionierung der Systemkomponenten zu sehen, sondern eher als Möglichkeit sich mit der Auslastung etwas von der Maximalleistung zu entfernen und somit Leistungsreserven für zukünftige Weiterentwicklungen zu generieren.

Bei einer Taktzeit von 5 Sek. kommen pro Stunde 720 Behälter im Lager an. Wird nun davon ausgegangen, dass 80 % der Behälter A-Artikel enthalten und die restlichen 20 % B- und C-Artikel, dann entspricht dies einer Ankunftsrate von 144 Behältern pro Stunde, die am AKL ankommen. Die Ankunftsrate für das Durchlaufregal beträgt demnach 576 Behälter pro Stunde.

Die Auslastung des RBG und die stündlichen Durchsatzmengen sind in Tabelle 15 zusammengefasst.

Tabelle 15: Durchsatz und Auslastung des RBG der kombinierten Variante

Strategie	Durchsatz [Behälter/Stunde]	Auslastung
Einzelspiel	474	30 %
Doppelspiel	532	27 %
Doppelspiel mit Umlagerungen	392	36 %

Anhand der Auslastungswerte ist zu erkennen, dass noch genügend Leistungsreserven für ein in Zukunft mögliches höheres Behältervorkommen vorhanden sind.

Werden dieselben Vertikallifte wie in Kapitel 4.5 verwendet, kann ebenfalls eine Leistungsreserve generiert werden. Denn wenn zwei Lifte mit einer stündlichen Durchsatzleistung von 500 Arbeitsspielen pro Stunde eingesetzt werden, dann sind diese bei der genannten Ankunftsrate von 576 Behältern pro Stunde nur zu 57,6 % ausgelastet.

4.7 Kommissionierkonzept

Da die Kommissionierung ein sehr arbeits-, personal- und kostenintensiver Prozess der Lagerlogistik ist, besteht hier sehr großes Einsparungspotenzial.¹²³ Die automatische Kommissionierung im Kühlager ist aber nicht nur aus kostenrechnerischen Gründen sinnvoll, sondern aufgrund der Arbeitsbedingungen auch eine große Entlastung für die Mitarbeiter.

Um kundengerechte Ladeeinheiten ohne den Einsatz menschlicher Arbeitskräfte bilden zu können, muss der Kommissionierprozess auf die Palettierung mittels Palettierroboter ausgelegt werden. Die vom Kunden bestellten Waren müssen in der richtigen Reihenfolge aus dem Zwischenlager ausgelagert werden und von der Fördertechnik in der richtigen Reihenfolge zum Palettierroboter transportiert werden. Dass diese Reihenfolge korrekt eingehalten wird, ist die Aufgabe des Lagerverwaltungssystems und des WCS, welches die Fördertechnik steuert.

Je nach Größe der Kundenaufträge können max. vier Aufträge zugleich kommissioniert werden. Die Beschränkung auf max. vier Kundenaufträge wird durch die Anzahl der Palettenstellplätze an den Roboter-Kommissionierplätzen beschränkt. Wie in den Layoutdarstellungen der einzelnen Lösungsalternativen zu erkennen ist, kann ein Palettierroboter max. zwei Paletten bedienen.

Eine Ladeeinheit besteht aus eine Palette mit max. 40 E2-Kisten und kann somit eine max. Stapelhöhe von 2 m erreichen. Damit der Kommissionierroboter diese Arbeitshöhe erreichen kann, kann es nötig sein den Roboter auf einem Podest zu positionieren und den Palettenstellplatz mit einer Hebe- und Senkvorrichtung zu versehen.

¹²³ vgl. Ten Hompel und Schmidt 2003, S. 35

4.7.1 Palettierroboter

Für die Zusammenstellung der Transporteinheiten sollen Industrieroboter mit entsprechender Greifer-Technik eingesetzt werden. Industrieroboter werden für verschiedenste Aufgaben eingesetzt:¹²⁴

- montieren
- schweißen, kleben, nieten, schrauben, schneiden, schleifen
- beschichten, spritzen, entgraten, einfärben
- beschicken, pressen, verketten
- verpacken
- befördern

Für die Lösung unseres Problems benötigen wir einen Palettierroboter, welcher in drei verschiedenen Bauformen realisiert werden kann.

Vertikal-Knickarm-Roboter bestehen aus einem horizontal drehbaren Grundgestell und einem um mehrere Achsen vertikal beweglichen Roboterarm, der eine Masse von bis zu 450 kg bewegen kann. Weitere Vorteile dieser Bauart sind der geringe Stellflächenbedarf, die hohe Taktzahl mit bis zu 700 Zyklen pro Stunde und das relativ kleine zu bewegende Eigengewicht.¹²⁵

Horizontal-Knickarm-Roboter bzw. SCARA-Roboter (Selective Compliance Assembly Robot Arm) unterscheiden sich von ihren vertikalen Gegenstücken hauptsächlich im Bewegungsablauf. Der Roboter besteht aus einem vertikal verfahrbaren Roboterarm, der um mehrere Achsen horizontal bewegt werden kann. Die Traglast des SCARA-Roboters ist mit bis zu 600 kg etwas höher als die des Vertikal-Knickarm-Roboters, jedoch ist die Taktzahl mit bis zu 550 Zyklen pro Stunde etwas geringer.

Soll der Roboter eine Vielzahl von Paletten bedienen, dann eignet sich die dritte Bauform besonders gut dafür, denn der Portalroboter kann auf Verfahrestrecken von bis zu 20 m eingesetzt werden. Die Traglast beträgt bis zu 500 kg. Großen Einfluss auf die Taktzahl des Portalroboters hat die Länge der Verfahrestrecke. Um diese zu bestimmen ist

¹²⁴ Haun 2013, S. 10

¹²⁵ vgl. Henning und Künzel 2006

es notwendig die Spielzeit des Roboters zu berechnen und anhand dieser den max.
stündlichen Durchsatz zu bestimmen.¹²⁶

Die beschriebenen Bauarten von Industrierobotern sind in Abbildung 26 dargestellt.

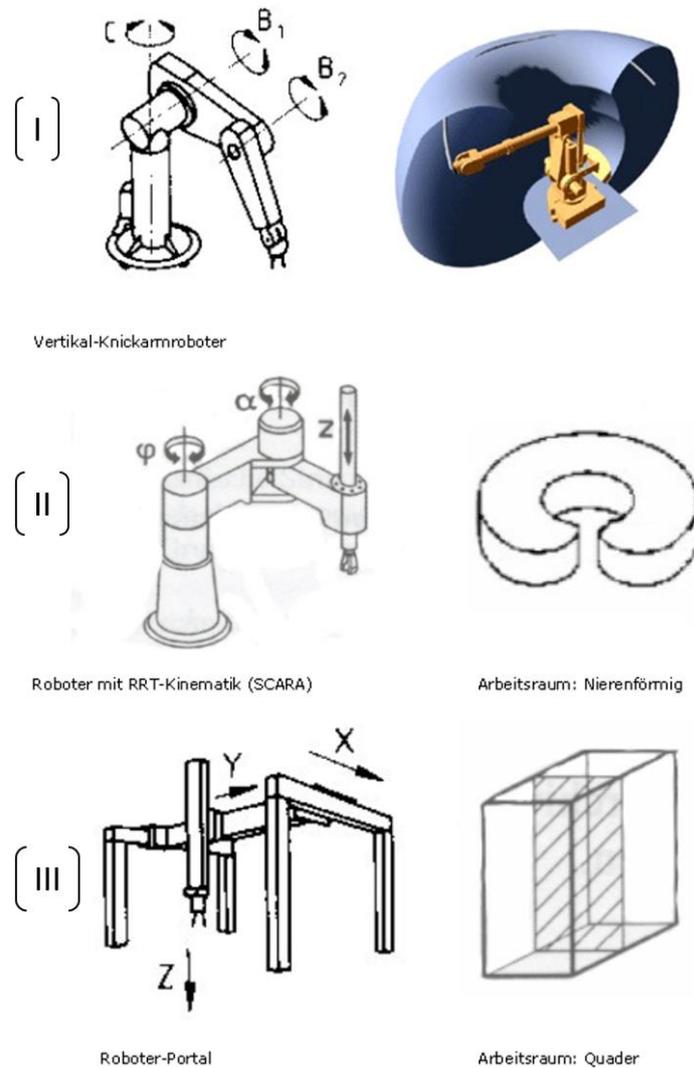


Abbildung 26: Industrieroboterarten (I)¹²⁷ (II)¹²⁸ (III)¹²⁹

¹²⁶ vgl. Henning und Künzel 2006

¹²⁷ Rohde 2010c

¹²⁸ vgl. Rohde 2010a

¹²⁹ Rohde 2010b

Die Auswahl der einzusetzenden Palettierroboter muss nach folgenden Kriterien erfolgen:

- Eignung für den Einsatz im Kühlbereich
- Traglast von mind. 25 kg exkl. Greifer
- Reichweite von mind. 2 m

Die geforderte Traglast hängt natürlich von der Wahl des Greifers ab. Wenn der Greifer jede E2-Kiste einzeln palettiert, reicht eine Traglast von 25 kg. exkl. Greifer aus. Falls der Greifer jedoch zwei E2-Kisten gleichzeitig manipulieren kann, muss die Traglast des Roboters dementsprechend höher sein.

Aufgrund der hohen Taktzahl und dem hohen Verbreitungsgrad von Vertikal-Knickarm-Robotern für die Palettierung, soll diese Bauform eingesetzt werden.

Geeignete Industrieroboter wären z.B.:

- IRB460 von ABB
- KR 120 R 3200 PA von KUKA
- ZD 130 S von Kawasaki

Anbieter für Greifsysteme, die die Handhabung von E2-Kisten ermöglichen, sind:

- AKON Robotics
- M.A.S. Fördertechnik und Anlagenbau

Hierbei ist zu erwähnen, dass Akon Robotics in seinem Sortiment einen Greifer für die Manipulation einer E2-Kiste hat, M.A.S. hingegen bietet einen Greifer der in einem Arbeitsgang vier E2-Kisten greifen kann.

In Abbildung 27 ist ein Roboterarbeitsplatz dargestellt. Der Arbeitsplatz besteht aus der Behälterzuführung an der rechten Seite, dem Palettierroboter und den zwei Rollenbahnen, die die fertig palettierten Paletten dem Gabelstapler bereitstellen.

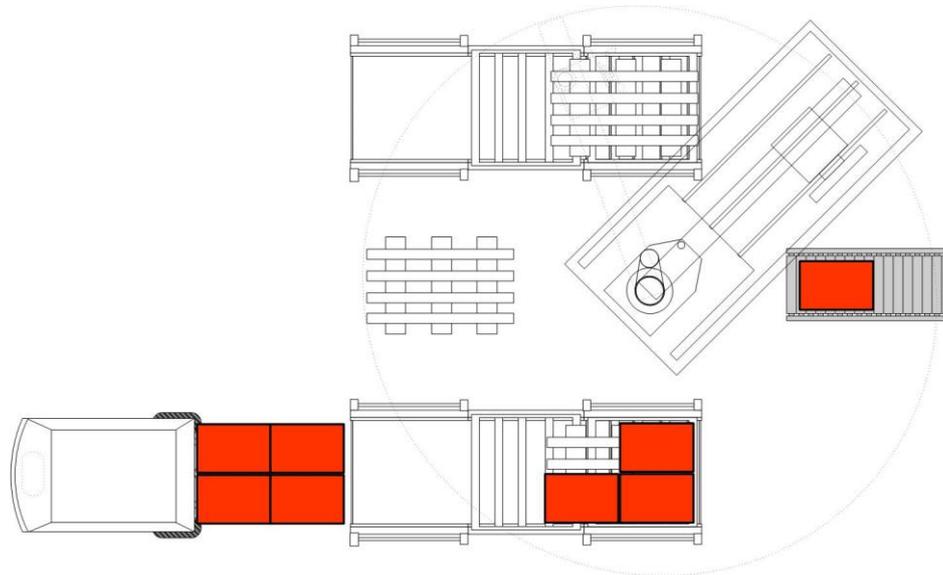


Abbildung 27: Palettierroboter – Arbeitsplatz

Optional könnte zwischen den beiden Palettenübergabeplätzen ein Stapel leerer Paletten bereitgestellt werden. Wenn der Roboter mit einem kombinierten Greifsystem ausgestattet wird mit dem er E2-Kisten und Paletten manipulieren kann, dann kann er selbstständig leere Paletten auf der Rollenbahn positionieren, wodurch der Gabelstapler entlastet werden kann.

4.7.2 Durchsatzberechnung und Auslastung

Die Daten der Durchsatzberechnung basieren auf den Herstellerangaben der Roboterhersteller und der Hersteller der Greifsysteme. Laut Anhang F auf Seite 109 ist es möglich, 400 Behälter pro Stunde mit dem Greifsystem von Akon Robotics zu palettieren. Dies entspricht einer mittleren Arbeitsspielzeit von 9 Sek.

Da das gesamte Lagersystem auf eine WE-seitige Taktzeit von 5 Sek. ausgelegt ist, werden zwei Roboter benötigt um die nötige Durchsatzleistung zu erbringen.

Das Greifsystem von M.A.S. Automation hingegen hat eine Aufnahmekapazität von vier E2-Kisten. Die mittlere Arbeitsspielzeit beträgt 10 Sek. und ist somit nur marginal höher als die von Akon Robotics. Der maximale stündliche Durchsatz des Palettiersystems von M.A.S. Automation beträgt 1.440 E2-Kisten pro Stunde und ist somit doppelt

so hoch wie die geforderte Durchsatzrate von 720 E2-Kisten pro Stunde. Somit würde ein Industrieroboter ausreichen um die geforderte Palettierleistung zu erbringen.

Die Leistungsdaten des M.A.S. Automation Palettiersystems basieren auf Anhang G M.A.S. Automation – Greifer Systeme bzw. wurden bei den Vertriebsmitarbeitern der M.A.S. Automation direkt angefragt.

Der Flächenbedarf der Palettierroboter lässt sich anhand der Reichweite des Roboterarms berechnen. Bei einer Reichweite von 2 m entspricht der Flächenbedarf des Palettierroboters mindestens dem Flächeninhalt eines Kreises mit dem Radius von 2 m. Dies entspricht einer Fläche von 12,6 m².

Damit die Roboter sicher arbeiten können werden diese eingefriedet. Ein Schutzgitter bzw. ein Schutzkäfig kann mit einem Sicherheitsabstand von 0,5 m errichtet werden. Der Schutzkäfig wird oft in quadratischer Form errichtet, somit erhöht sich der Flächenbedarf auf den Flächeninhalt eines Quadrates mit einer Seitenlänge von 5 m. Dies entspricht einer Fläche von 25 m².

5 Conclusio

Die erstellten Lagerkonzepte decken ein breites Spektrum von möglichen Systemalternativen ab. Die Konzepte reichen von sehr komplexen Software-intensiven Konzeptvorschlägen wie z.B. AKL und Umlaufregallager bis hin zu weniger Software-intensiven und streng nach FIFO betriebenen Konzepten wie dem Durchlaufregallager.

Jede der einzelnen Lösungsalternativen ist so konzeptioniert um die geforderte Durchsatzleistung zu erbringen, jedoch unterscheiden sich die Konzepte stark voneinander. Die Unterschiede bestehen nicht nur in der Wahl der Lagertechnik, sondern spiegeln sich ebenfalls in den Funktionsschemata, Lagerkapazitäten und den Ein- und Auslagerleistungen wider.

Ordnet man die Konzepte nach absteigender Einlagerleistung, dann kommt man zu folgender Reihenfolge:

1. kombinierte Lösungsalternative mit AKL und Durchlaufregallager
2. Umlaufregallager
3. Durchlaufregallager
4. AKL mit vier Lagergassen
5. AKL mit drei Lagergassen

In ähnlicher Weise könnte man eine Reihung für Lagerkapazität aufstellen:

1. Durchlaufregallager
2. kombinierte Lösungsalternative mit AKL und Durchlaufregallager
3. AKL mit vier Lagergassen
4. AKL mit drei Lagergassen
5. Umlaufregallager

Eine weitere für die Entscheidung sehr wichtige Rangreihenfolge wäre jene nach Investitionsaufwand. Da in dieser Arbeit aber keine Bewertung der unterschiedlichen Alternativen nach Investitionshöhe stattfand, könnte diese erst nach dem Einholen der Angebote erfolgen bzw. in einer separaten Arbeit näher betrachtet und beurteilt werden.

Die Software-seitige Anbindung des Lagersystems an das vorhandene Informations- und Kommunikationssystem wurde in der Arbeit zwar nicht betrachtet, für die Realisierung des Projektes muss dieser jedoch Beachtung geschenkt werden, um mögliche Probleme frühzeitig erkennen und bestenfalls auch vermeiden zu können.

Literaturverzeichnis

- Arnold, Dieter (1998): Materialflußlehre. 2., verbesserte Auflage. Wiesbaden, s.l.: Vieweg+Teubner Verlag (Studium Technik).
- Arnold, Dieter; Furmans, Kai (2009): Materialfluss in Logistiksystemen. Berlin/Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Arnold, Dieter; Isermann, Heinz; Kuhn, Axel; Tempelmeier, Horst; Furmans, Kai (Hg.) (2008): Handbuch Logistik. 3., neu bearb. Aufl. Berlin: Springer (VDI-Buch).
- Baum, Dieter (2013): Grundlagen der Warteschlangentheorie. Berlin, Heidelberg, s.l.: Springer Berlin Heidelberg (Springer-Lehrbuch Masterclass).
- Bhat, Uggappakodi Narayan (2008): An Introduction to Queueing Theory. Modeling and Analysis in Applications. Boston, Basel, Berlin, Heidelberg: Birkhäuser; Springer (Statistics for Industry and Technology).
- Bichler, Klaus (2013): Kompakt Edition: Lagerwirtschaft: Grundlagen. s.l.: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Bichler, Klaus; Krohn, Ralf; Riedel, Guido; Schöppach, Frank (2010): Beschaffungs- und Lagerwirtschaft. Praxisorientierte Darstellung der Grundlagen, Technologien und Verfahren. 9., aktualisierte und überarbeitete Auflage. Wiesbaden: Gabler Verlag / Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH Wiesbaden.
- Bondy, J. A.; Murty, U. S. R. (1976): Graph theory with applications. New York: American Elsevier Pub. Co.
- Bozer, Yavuz A.; White, John A. (1984): Travel-Time Models for Automated Storage/Retrieval Systems. In: *IIE Transactions* 16 (4), S. 329–338. DOI: 10.1080/07408178408975252.
- Buckenhüskes, Herbert J. (2015): DLG-Expertenwissen 1/2015. Roboter in der Lebensmittelindustrie. DLG e.V. Frankfurt a. M. Online verfügbar unter http://2015.dlg.org/fileadmin/downloads/food/Expertenwissen/Lebensmitteltechnologie/2015_1_Expertenwissen_Robotik.pdf, zuletzt geprüft am 24.08.2016 um 14:00.

- Buckenhüskes, Herbert J.; Oppenhäuser, Guido; Schiller, Simone (2015): DLG-Trendmonitor 2015. Investitionen und Trends in der Lebensmittel- und Getränkeindustrie. DLG e.V. Frankfurt a. M. Online verfügbar unter http://2015.dlg.org/fileadmin/downloads/Trendmonitor/Trendmonitor_Technologie_2015.pdf, zuletzt geprüft am 24.08.2016 um 14:00.
- VDI Richtlinie VDI 3596, 1975: Darstellungsmethoden für den Materialfluss.
- DR. THOMAS + PARTNER GmbH & Co. KG (2014): Lagerstrategie – FEFO. Karlsruhe. Online verfügbar unter <https://logistikknowhow.com/lagerstrategie-fefo/>, zuletzt aktualisiert am 13.06.2014, zuletzt geprüft am 16.03.2016 um 18:00.
- Ehrmann, Harald (1997): Logistik. Ludwigshafen (Rhein): Kiehl (Kompendium der praktischen Betriebswirtschaft).
- Fischer, Mario (2006): Umlaufregal. Hochschule für angewandte Wissenschaften Würzburg-Schweinfurt. Würzburg. Online verfügbar unter <http://www.i-wiki.de/wiki/index.php/Bild:Umlaufregal.jpg>, zuletzt aktualisiert am 27.09.2006, zuletzt geprüft am 07.03.2016 um 16:00.
- Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML (2011 um 14:00): Blocklager. Online verfügbar unter <http://www.logipedia.de/lexikon/Blocklager/>, zuletzt aktualisiert am 10.04.2011 um 14:00, zuletzt geprüft am 07.03.2016 um 13:00.
- Gleißner, Harald; Femerling, Christian (2008): Logistik. Grundlagen, Übungen, Fallbeispiele. 1. Aufl. Wiesbaden: Gabler (Lehrbuch).
- Großeschallau, Werner (1984): Materialflußrechnung. Modelle und Verfahren zur Analyse und Berechnung von Materialflußsystemen. Berlin, Heidelberg: Springer (Logistik in Industrie, Handel und Dienstleistungen).
- Grundig, Claus-Gerold (2006): Fabrikplanung. Planungssystematik - Methoden - Anwendungen. 2., aktualisierte Aufl. München: Hanser.
- Gudehus, Timm (1972): Grundlagen der Spielzeitberechnung für automatisierte Hochregalläger. In: *Deutsche Hebe- und Fördertechnik* (Sonderheft), S. 63–68.
- Gudehus, Timm (2012): Netzwerke, Systeme und Lieferketten. Studienausg. der 4., aktualisierten Aufl. Berlin: Springer Vieweg (VDI-Buch, / Timm Gudehus ; 2).
- Hartmann, Horst (2002): Materialwirtschaft. Organisation, Planung, Durchführung, Kontrolle. 8., überarb. und erw. Aufl. Gernsbach: Dt. Betriebswirte-Verl.

- Haun, Matthias (2013): Handbuch Robotik. Programmieren und Einsatz intelligenter Roboter. 2. Aufl. 2013. Berlin, Heidelberg, s.l.: Springer Berlin Heidelberg (VDI-Buch).
- Henning, Joahim; Künzel, Gerd (2006): Palettierroboter im Überblick. In: *Neue Verpackung* (11), S. 38–45. Online verfügbar unter <http://www.neue-verpackung.de/8710/palettierroboter-im-ueberblick/>, zuletzt geprüft am 03.08.2016 um 09:50.
- Kardex AG: Kardex Remstar Horizontal Karussell. Eine effiziente Lösung für schnelles Kommissionieren und Bereitstellen. Online verfügbar unter http://www.kardex-remstar.at/fileadmin/user_upload/kardex-remstar/pdf-2016/HorizontalCarousel/KardexRemstar_HorizontalCaroussel_DE_low_RGB.pdf, zuletzt geprüft am 02.08.2016 um 10:15 Uhr.
- Lerher, T.; Sraml, M.; Potrc, I.; Tollazzi, T. (2009): Travel time models for double-deep automated storage and retrieval systems. In: *International Journal of Production Research* 48 (11), S. 3151–3172. DOI: 10.1080/00207540902796008.
- Martin, Heinrich (1999): Praxiswissen Materialflußplanung. Transportieren, Handhaben, Lagern, Kommissionieren. Wiesbaden, s.l.: Vieweg+Teubner Verlag.
- Martin, Heinrich (2006): Transport- und Lagerlogistik. Planung, Struktur, Steuerung und Kosten von Systemen der Intralogistik. 6., vollständig überarbeitete Auflage. Wiesbaden: Friedr. Vieweg & Sohn Verlag / GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden (Viewegs Fachbücher der Technik).
- Meller, Russell; Mungwattana, Anan (1997): Multi-shuttle automated storage/retrieval systems. In: *IIE Transactions* 29 (10), S. 925–938.
- Pawellek, Günther (2008): Ganzheitliche Fabrikplanung. Grundlagen, Vorgehensweise, EDV-Unterstützung. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag (VDI-Buch).
- Rohde, Ann-Kathrin (2010a): Horizontal-Knickarmroboter. BIBA - Bremer Institut für Produktion und Logistik GmbH an der Universität Bremen. Online verfügbar unter http://www.robotik-logistik.de/fileadmin/user_upload/robotik/technologien/roboter/schwenkarm/schema_portalroboter_rrt.gif, zuletzt aktualisiert am 30.08.2010, zuletzt geprüft am 05.08.2016 um 08:25.
- Rohde, Ann-Kathrin (2010b): Portalroboter. BIBA - Bremer Institut für Produktion und Logistik GmbH an der Universität Bremen. Online verfügbar unter

- http://www.robotik-logistik.de/fileadmin/user_upload/robotik/technologien/robo-ter/portal/schema_portalrobo-ter.gif, zuletzt aktualisiert am 30.08.2010, zuletzt geprüft am 05.08.2016 um 08:26.
- Rohde, Ann-Kathrin (2010c): Vertikal-Knickarmroboter. BIBA - Bremer Institut für Produktion und Logistik GmbH an der Universität Bremen. Online verfügbar unter http://www.robotik-logistik.de/fileadmin/user_upload/robotik/technologien/robo-ter/knickarm/schema_knickarm.gif, zuletzt aktualisiert am 30.08.2010, zuletzt geprüft am 05.08.2016 um 08:22.
- Römisch, Peter (2012): Materialflusstechnik. Auswahl und Berechnung von Elementen und Baugruppen der Fördertechnik. 10., überarbeitete und erweiterte Auflage. Wiesbaden: Vieweg + Teubner (Studium).
- Rückamp Schulze, Paul: Durchlaufregal. Brück Lagertechnik e.K. Online verfügbar unter http://www.palettenregal.com/einschub_und_durchlaufregal.html, zuletzt geprüft am 08.03.2016 um 16:15.
- Seemüller, Stefan (2006): Durchsatzberechnung automatischer Kleinteilelager im Umfeld des elektronischen Handels. Techn. Univ., Diss.--München, 2005. München: Utz (Fördertechnik - Materialfluss - Logistik).
- Ten Hompel, Michael; Sadowsky, Volker; Beck, Maria (2011): Kommissionierung. Materialflusssysteme 2 - Planung und Berechnung der Kommissionierung in der Logistik. Berlin: Springer (VDI-/Buch]).
- Ten Hompel, Michael; Schmidt, Thorsten (2003): Warehouse Management. Automatisierung und Organisation von Lager- und Kommissioniersystemen. Berlin, Heidelberg, s.l.: Springer Berlin Heidelberg (VDI-Buch).
- Ten Hompel, Michael; Schmidt, Thorsten (2010): Warehouse Management. Organisation und Steuerung von Lager- und Kommissioniersystemen. 4. Aufl. s.l.: Springer-Verlag (VDI-Buch).
- Ten Hompel, Michael; Schmidt, Thorsten; Nagel, Lars (Hg.) (2007): Materialflusssysteme. Förder- und Lagertechnik. 3., völlig neu bearbeitete Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg (Intralogistik).

THOMAS + PARTNER GmbH & Co. KG (2013): Logistik KnowHow. Bewegungsstrategien: Umlagerstrategie. Karlsruhe. Online verfügbar unter <https://logistikknowhow.com/bewegungsstrategien-umlagerstrategie/>, zuletzt aktualisiert am 21.10.2013, zuletzt geprüft am 16.03.2016 um 13:22.

Wannenwetsch, Helmut (2010): Integrierte Materialwirtschaft und Logistik. Beschaffung, Logistik, Materialwirtschaft und Produktion. 4., aktualisierte Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg (Springer-Lehrbuch).

Winston, Wayne L. (2009): Operations research. Applications and algorithms. 4. ed., student ed. with Infotrac Coll. ed., [Nachdr.]. Belmont, Calif.: Brooks/Cole Cengage Learning.

Anhang

A. Kistenaufkommen

Art. Nr.	Artikelbezeichnung	Anzahl E2-Kisten	Gewicht
1930	S-III 80/20 mager	573	12.021
1968	Schwartenspeck	411	6.775
1980	Hintere Stelzen	350	5.312
1792	Hamburgerabschnitte o,Schw, GRIFF	277	5.836
8701	Frozen pork belly 4,5-5,5	275	3.879
1955	Schürfspeck	250	4.062
1715	Bauch S zugep, o,Schw, o,Brustspitz	209	2.791
1937	S-III 70/30 Schopfketten	202	4.128
2185	Fleischknochen	196	2.561
1625	Kaiserteil gevliest(Schinkenfleisch)	178	2.839
8707	FROZEN PORK BELLY, SINGLE RIBBED,RINDLESS, SOFTBONE OFF, E-Grade 22x48	175	3.051
1632	Kaiserteil o,Deckel	129	2.124
8530	LACONES (Long front feet L-Size) STEIRER	121	3.021
2250	Rückenspeck o,Schw,	117	2.337
1920	S-II mager	113	2.195
1351	Filet lang	111	2.131
1951	Schlögelspeck o, Schw,	103	1.965
8529	Pork femur bones frozen (Schlögelföhrenknochen)	93	1.683
1974	Schopfspeck o,Schw,	81	1.628
1628	Frikandeau gevliest (Schinkenfleisch)	78	2.013
1820	Schulterspeck	74	1.476
1621	Krakauerfleisch	69	1.193
1935	S-III Vliesabschnitte	67	1.469
1626	Nuss ohne Dunkelteil gevliest(Schinkenfleisch)	66	1.619
1750	Hamburger Kl, S	65	1.248
1922	S-III 80/20 gemischt	64	1.264
1933	S-III 70/30 Karreekette	64	1.293
2168	Brustbein lang	63	846
1389	Schopfknochen	62	926
1627	Schluss ohne Dunkelteil gevliest(Schinkenfleisch)	59	1.378
1370	Schopf ohne Knochen	57	1.195
1940	Stelzenfleisch	54	1.196
1931	S-III 80/20 Brustspitzfl,	53	719
1752	Hamburger Kl, S mit Schw, ohne Knorpel	48	918
8514	Frozen pork trimmings (BFL)	46	1.042
1793	Hamburgerabschnitte o,Schw, KERNIG	45	745
2191	Softbones	45	848
1926	S-II Schalendeckel	44	1.205
1746	Hamburger S ohne Knorpel ohne Schwarte	41	610
1997	Vlieshaxe m,Schw,	41	607
1634	Kaiserteil m,Deckel offen	40	748
9802	Salzstoss	37	606
1616	Schlögel 3er Schnitt	29	650
1630	S-Weißscherzl	27	672
1371	Schopf m,Kn, abgezogen zugeputzt	27	423

1992	Schweiferl	24	316
1919	S-II Wadlstutzen gevliest	23	540
1624	Nuss mit Dunkelteil (Krakauerfleisch)	22	526
8723	Frozen Pork Trimmings (B-type)	22	465
1342	Karreerose	18	311
2198	Flatbones(Kotelettfedern)	17	305
2144	Hintere Haxe kurz ZLA	16	323
9801	Drüsen	14	339
1957	Faschierfleisch	12	247
1355	Karreerose gevliest	12	300
1906	Goder o, Schw,	12	293
1988	Karreeknochen	10	111
1840	Schulterbraten m,Schw, OFFEN	10	159
1330	Karree Standard	9	187
1343	Karreespeckfleisch S	9	195
1311	Karree abgez, kurz ohne Filet	7	109
1990	Brustspitz w,g,	5	110
1828	Dicke Schulter m,Schw,	5	72
1830	Schulter o,Kn, o,Speck 3D	5	91
1848	Schulterbraten o,Schw, vac	4	60
1395	Schopf jung o,Kn, vac	3	46
1310	Karree kurz abgez,	2	39
1985	Vordere Stelzen	1	9
1929	S-II Wadlstutzen	1	5
1713	Bauch S ohne Brustspitz	1	12

Konzeptionierung eines automatischen Behälterlagers für einen fleischverarbeitenden Betrieb

Anhang

B. Winkel Colibri



WINKEL ist bereits seit 1981 in der Linear- und Handhabungstechnik tätig. Begonnen hat das Unternehmen mit Sitz in Illingen/ Württemberg mit Komponenten für Flurförderzeuge, Hubmastführungen und Hubmasten für Gabelstapler.

Heute ist WINKEL Marktführer für Schwerlast-linearführungen. Der Spezialist liefert diese für die Bereiche zehn Kilogramm bis zu 100 Tonnen. Winkel ist nicht nur Lieferant, sondern auch ein zuverlässiger Partner führender internationaler Systemintegratoren für Intralogistik und Fördertechnik.

Die Komponenten und Systeme von WINKEL sind bei mehr als 8.000 Unternehmen in unterschiedlichen Branchen weltweit im Einsatz. Als Grundlage für technologisch anspruchsvolle Automationslösungen setzt WINKEL auf ein innovatives Baukastensystem.

Dieses kommt zum Beispiel bei den Standard-Regalbediengeräten der Typen COLIBRI und PUMA zur Anwendung.



Winkel GmbH
Am Illinger Eck 7
75428 Illingen/Germany
Postfach 1108
75428 Illingen/Germany
Tel. +49 (0) 7042 - 82 50 - 0
Fax +40 (0) 70 42 - 2 38 88
Winkel@Winkel.de
www.winkel.de



MEHR
LAGERDICHTE
LEISTUNG
DYNAMIK

REGALBEDIENGERÄTE

Der neue RBG-Standard
COLIBRI UND PUMA

NEU



Einfach MEHR Effizienz und Wirtschaftlichkeit.

Wie kann ich den Raum optimal nutzen – ohne Platz für eine unnötig große Pufferzone oder für unnötig große Fachabstände zu verschwenden? Wie lässt sich die Durchsatzleistung zuverlässig erhöhen und dabei noch Energie sparen?

Die Antworten auf diese Fragen waren bislang eine Evolution der kleinen Schritte – hier ein paar Prozent rausgeholt, da ein paar Millimeter gespart.

Die REVOLUTION kommt jetzt von WINKEL, Partner aller namhaften Systemintegratoren.

Die neuen Standard-Regalbediengeräte COLIBRI für Behälter und Kartons und PUMA für Paletten und Gitterboxen schlagen alle marktüblichen Geräte um Längen. Durch bewährte Technik – neu angewandt. Höchste Beschleunigung, geringste Anfahrrmaße, kein Pufferweg.

Der neue Standard. Von WINKEL.



25 % HÖHERE DURCHSATZLEISTUNG

10 % BESSERE RAUMNUTZUNG

30 % WENIGER GEWICHT

DEUTLICH WENIGER ENERGIEVERBRAUCH

HÖCHSTE DYNAMIK



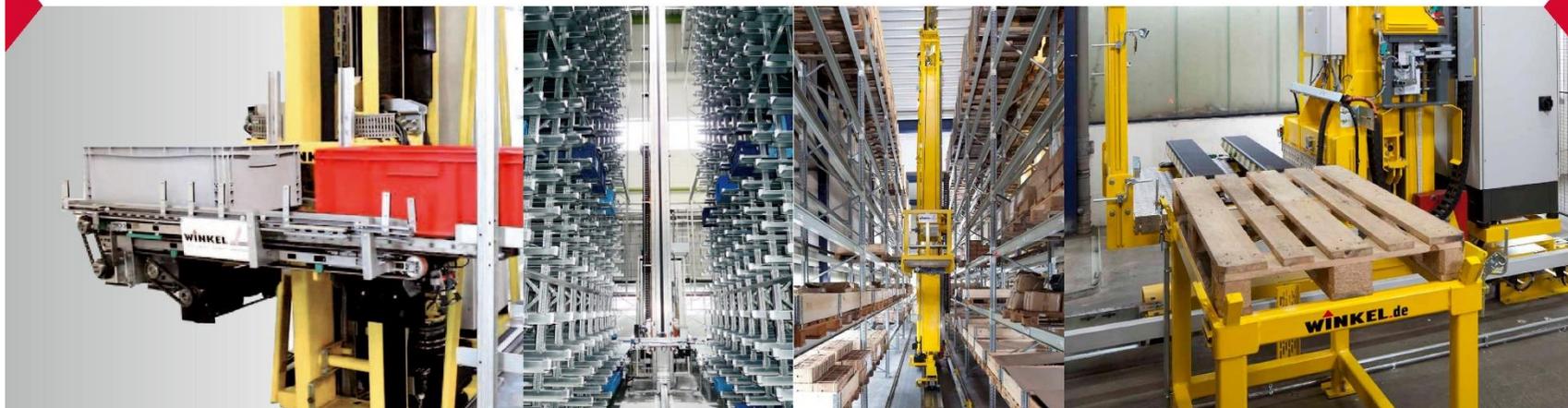
COLIBRI

Flinker, leichter, COLIBRI: Das Kleinteile-RBG von Winkel ist hoch dynamisch, energieeffizient und ermöglicht eine hohe Lagerdichte und Raumnutzung im AKL.



PUMA

Schnell, stark, Puma: Hohe Dynamikwerte bei 1.500 Kilogramm Tragkraft und optimale Raumnutzung durch das Paletten-RBG von Winkel.

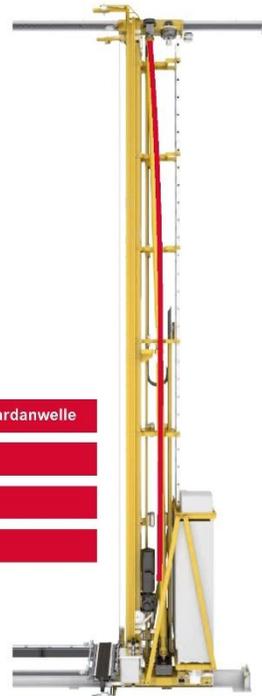


MEHR DYNAMIK

Formschlüssiger Antrieb: Leicht, steif, hohe Beschleunigung

Deutliche Wettbewerbsvorteile durch innovative – und bewährte! – Antriebstechnik. Bei marktüblichen Geräten überträgt der Motor seine Kraft auf die Fahrstange durch Radreibung. Die Nachteile: geringere Dynamik, höherer Energieverbrauch, höherer Verschleiß der Antriebsräder. Zudem schwingen die Geräte beim Beschleunigen und Abbremsen, sie brauchen länger bis zur finalen Positionierung.

Durch die Auswahl innovativer Werkstoffe laufen die WINKEL-Geräte geräuscharm. Der formschlüssige Antrieb ermöglicht hohe Beschleunigungen und verhindert das Schwingen der Geräte. Das sorgt für eine hohe Beschleunigung und verhindert das Schwingen des Geräts.



Kombination aus Zahnrad- und Zahnstangentechnik mit Kardanwelle

Praktisch ohne Durchbiegung und Schwingungen

Kleiner, leichter, steifer

Kleinerer Antrieb mit geringerem Stromverbrauch

	Konventionelles RBG	WINKEL RBG
Gesamtgewicht	hoch, um Schwingungen abzufangen	rund ein Drittel leichter und schwingungsfrei
Beschleunigung	niedrig, da schwer und träge	hoch, dadurch bis zu 25 % mehr Durchsatz
Antriebsleistung	hoch, wegen hohem Gewicht	rund ein Drittel niedriger, da leichter
Baulänge	lang, wegen hydraulischen Pufferzonen	deutlich kürzer, dadurch Platz für bis zu 5 Regalzellen mehr
Gesamtzeit pro Ein- und Auslagervorgang	53 s	47 s
Doppelspiele pro Stunde	64	76
Behälter pro Stunde	128	152



MEHR LEISTUNG

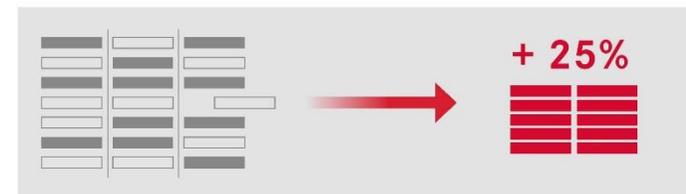
Der Bi-Turbo unter den Regalbediengeräten

Das WINKEL-Kleinteile-RBG COLIBRI erreicht eine Spitzenbeschleunigung von 5 m/s^2 , kann mit 6 m/s fahren und benötigt keine Ausschwingzeit. Dadurch erreicht es einen um **25 % höheren Durchsatz** als die marktüblichen RBGs. Das gleiche beim Paletten-RBG PUMA, das für Lasten bis $1,5 \text{ t}$ ausgelegt ist und dabei mit $1,5 \text{ m/s}^2$ beschleunigt.

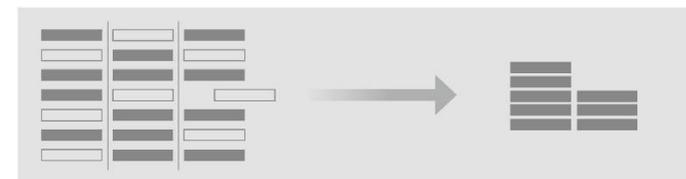
Höhere Beschleunigung

Mehr Doppelspiele pro Stunde

25 % höherer Durchsatz



WINKEL-RBG: deutlich höhere Lagerdichte, deutlich höherer Output.



Herkömmliches RBG: Platz verschwendet, Output gering.

MEHR LAGER & LAGERDICHTE

Puffer entfällt: 10 % mehr Lager bei gleichem Volumen

WINKEL-RBGs nutzen das zur Verfügung stehende Lagervolumen deutlich besser aus.

Wie? Die WINKEL-RBGs verfügen über ein integriertes Sicherheits-Bremssystem. Das reagiert zuverlässig, sobald das RBG einen bestimmten Punkt in der Gasse überschreitet. Der Nutzen: Die hydraulischen Puffer, die bei marktüblichen Geräten zwingend sind, kann man sich bei WINKEL-RBG sparen – und den Platz lieber für weitere Regalzeilen verwenden.

Konkret: Rund zehn Prozent MEHR Behälter oder Paletten können somit auf gleichem Raum gelagert werden.

10 % mehr Lager bei gleichem Volumen

Durch Sicherheits-Bremssystem

Deshalb: Zusätzliche Regalzeilen möglich

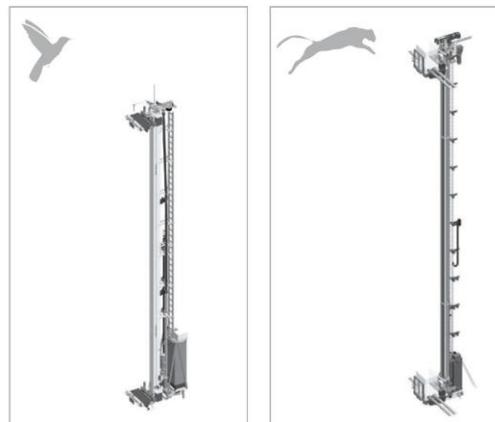


COLIBRI von Winkel, das jeden Zentimeter Platz im Lager nutzen kann.



Ein herkömmliches RBG mit langen Puffer-Zonen – toter Raum.

Technische Eigenschaften



COLIBRI	S	M	L
Höhe bis	12 m	15 m	20 m
Tragkraft	2 x 50 kg	2 x 50 kg	2 x 50 kg
Beschleunigung fahren	5 m/s ²	4 m/s ²	3,5 m/s ²
Geschwindigkeit fahren	6 m/s	6 m/s	6 m/s
Beschleunigung heben	3 m/s ²	3 m/s ²	3 m/s ²
Geschwindigkeit heben	3 m/s	3 m/s	3 m/s

PUMA	S	M	L	XL	XXL
Höhe bis	10 m	15 m	20 m	25 m	40 m
Tragkraft	1.500 kg	1.500 kg	1.500 kg	1.500 kg	1.500 kg
Beschleunigung fahren	1,5 m/s ²	1,25 m/s ²	1 m/s ²	0,75 m/s ²	0,5 m/s ²
Geschwindigkeit fahren	6 m/s	6 m/s	6 m/s	6 m/s	6 m/s
Beschleunigung heben	1 m/s ²	1 m/s ²	1 m/s ²	1 m/s ²	1 m/s ²
Geschwindigkeit heben	1,25 m/s	1,25 m/s	1,25 m/s	1,25 m/s	1,25 m/s

Lastaufnahmemittel für jeden Einsatzzweck

Wir bieten für jeden Einsatz das passende Lastaufnahmemittel, damit Sie Ihr spezifisches Lagergut effizient automatisch handhaben können. Sollte der Standard für Ihre Aufgabenstellung nicht passen: wir bieten Ihnen auch Sonderlösungen an. Weitere Ausführungen gerne auf Anfrage.

COLIBRI

Teleskop – das universelle Lastaufnahmemittel für Kunststoff- oder Blechbehälter



Tablar – hohe Lagerdichte und Produkt-Flexibilität



Teleskop mit stationären Riemen



Drag'n'Drop – hohe Lagerdichte für Kunststoff- oder Blechbehälter auf Fachböden



Riementeleskop HIGH SPEED – für die hoch dynamische einfach, doppelt oder vielfach tiefe Lagerung von Kunststoffbehältern im High Performance AKL



Kartonsklammer – hohe Lagerdichte für die effiziente Lagerung von Kartons auf Fachböden



PUMA

Teleskopspöken für einfach tiefe Lagerung von Paletten oder Gitterboxen



Sonder-Lastaufnahmemittel für Ihre Anforderungen



Teleskopspöken für doppelt tiefe Lagerung



Sonder-Lastaufnahmemittel für Ihre Anforderungen





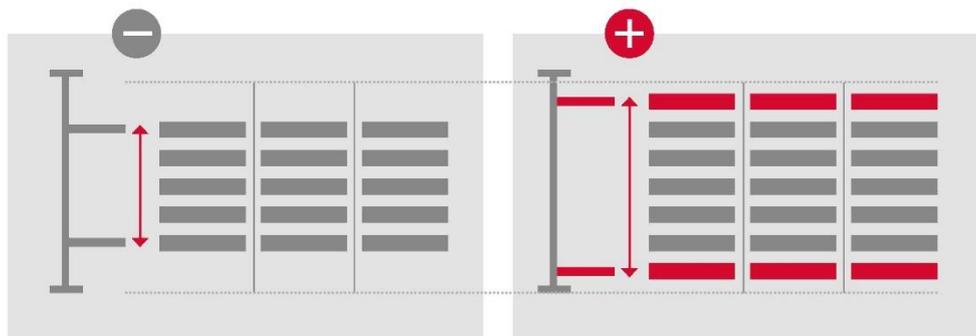
Minimale Anfahrrmaße

Dürfen es unten und oben noch jeweils eine Regalreihe MEHR sein?

Auch dann fahren Sie mit WINKEL-RBG richtig.

Denn: Durch das platzsparende Antriebssystem, das schlanke Hubwerk und die innovativen Lastaufnahmemittel von Winkel reduzieren sich die unteren und oberen Anfahrrmaße auf ein Minimum.

Ihr Nutzen: Sie können bei gleicher Grundfläche MEHR Einlagerungsebenen unterbringen.



Herkömmliches RBG:
Massige Antriebe und Bauweisen erfordern oben und unten viel Platz – zu Lasten der Lagerdichte.

WINKEL-RBG:
Überzeugen durch geringste obere und untere Anfahrrmaße.
Der Nutzen: MEHR Regalebenen bei gleicher Höhe.

WINKEL-RBG machen es möglich.

Das innovative Antriebskonzept ermöglicht nicht nur eine Spitzen-Beschleunigung, sondern auch minimale Anfahrrmaße.
Für MEHR Platz im Lager.

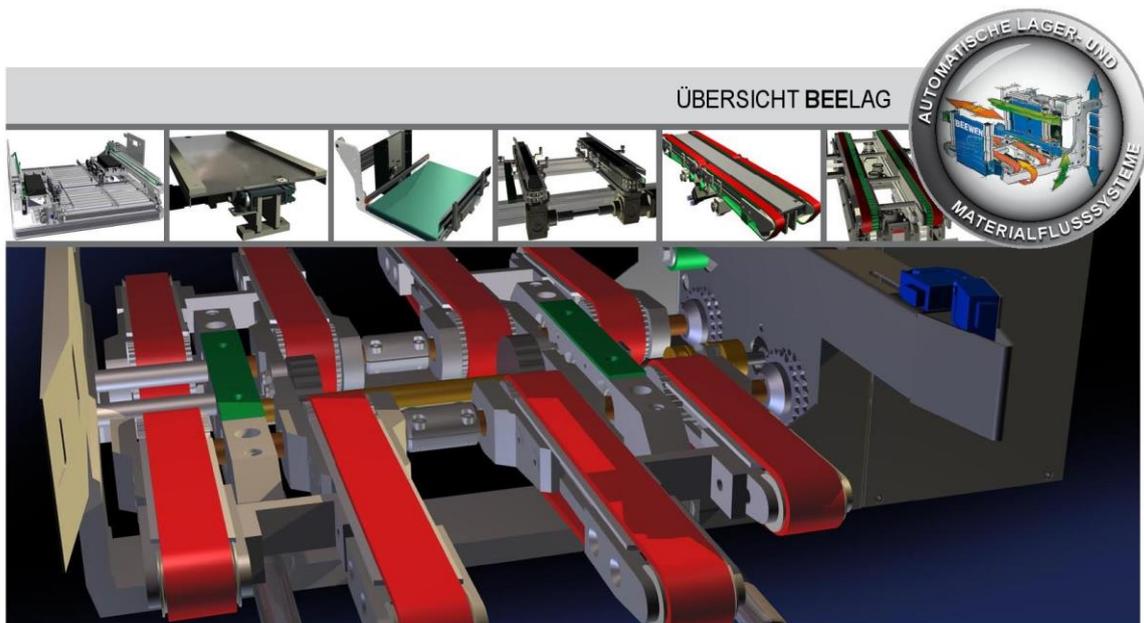


C. Lastaufnahmemittel Beewen GmbH & Co. KG

Geisweider Straße 110

D-57078 Siegen/Geisweid

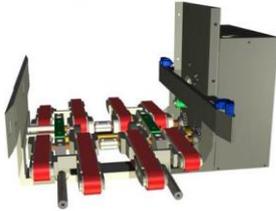
BEEWEN



BEEWEN

BEELAG FG2/FG4 (Al/St)

Details



BEELAG GFK

Details



BEELAG TFG

Details



BEELAG TDG

Details

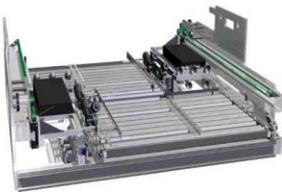


BEELAG TTK

Details



Details
BEELAG VTK



Details
BEELAG ZTK



BEELAG FG2/FG4 (Al/St)

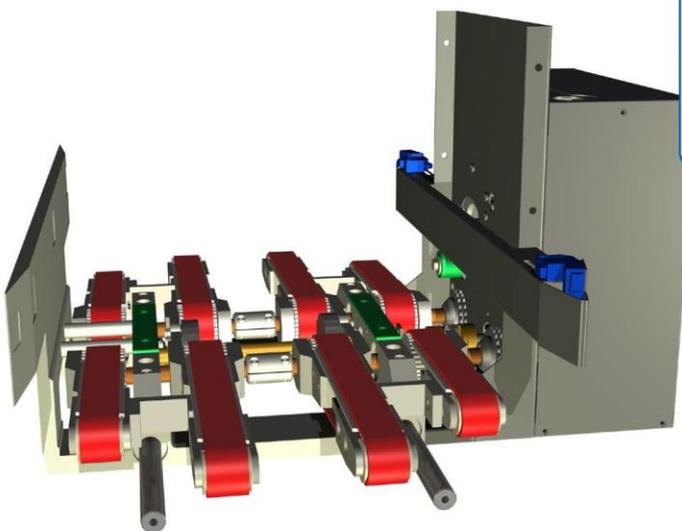
Übersicht

BEEWEN

FLIPPERGURT

Technische Details:

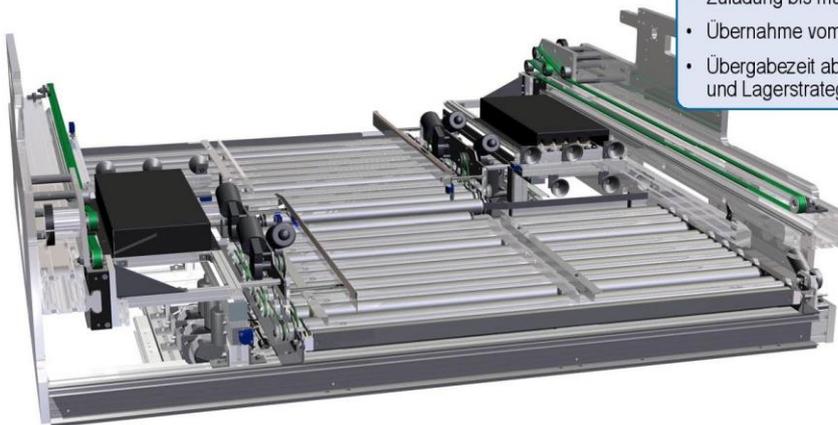
- einfachtiefe Lagerung
- Behälter und Kartons
- Größen von 300x400mm bis 600x800mm
- Zuladung bis max. 50 kg
- Übernahme vom Lagerplatz oder direkt von der FT
- Übergabezeit: 2,5 s



BEELAG VTK

Übersicht

BEEWEN



VAKUUM TECHNIK

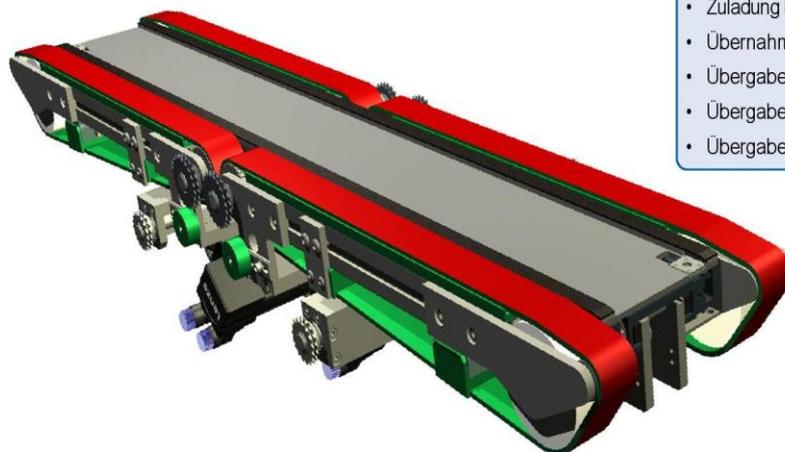
Technische Details:

- einfachtiefe- oder doppeltiefe Lagerung
- Kartons und Behälter
- Größen von 250 x 200 x 100 mm bis 650 x 850 x 600 mm
- Zuladung bis max. 50 kg pro Karton / 4 Kartons pro LAG
- Übernahme vom Lagerplatz oder direkt von der FT
- Übergabezeit abhängig von Karton- / Behältergröße und Lagerstrategie

BEELAG TDG

Übersicht

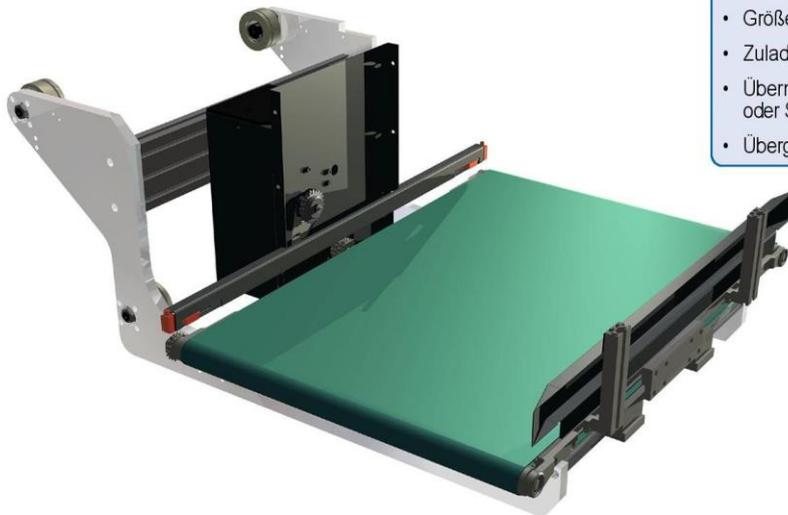
BEEWEN



TELESKOPDOPPELGURT

Technische Details:

- doppeltiefe Lagerung
- Behälter und Kartons
- Größen von 300 x 200 mm bis 600 x 800 mm
- Zuladung bis max. 50 kg pro Behälter / 2 Behälter pro LAG
- Übernahme vom Lagerplatz oder direkt von der FT
- Übergabezeit einfachtief: 4 s
- Übergabezeit doppeltief: 5 s
- Übergabezeit Fördertechnik: 4 s



GURTFÖRDERTECHNIK

Technische Details:

- fördern von Behältern und Kartons
- Größen von 200 x 300 mm to 600 x 800 mm
- Zuladung bis max. 50 kg
- Übernahme von angetriebener Fördertechnik oder Schwerkraftbahnen
- Übergabezeit: 2 s (abhängig von Behältergröße)



TELESKOPTECHNIK

Technische Details:

- einfachtiefe- oder doppeltiefe Lagerung
- Behälter und Kartons
- Größen von 300 x 200 mm bis 600 x 800 mm
- Zuladung bis zu 300 kg pro Ladegut / 1 Ladegut pro LAG
- Übernahme vom Lagerplatz oder von der FT
- Übergabezeit einfachtief: 4 s (400 x 600 mm)

BEELAG TFG

Übersicht

BEEWEN



TRANSPORTFÖRDERGURT

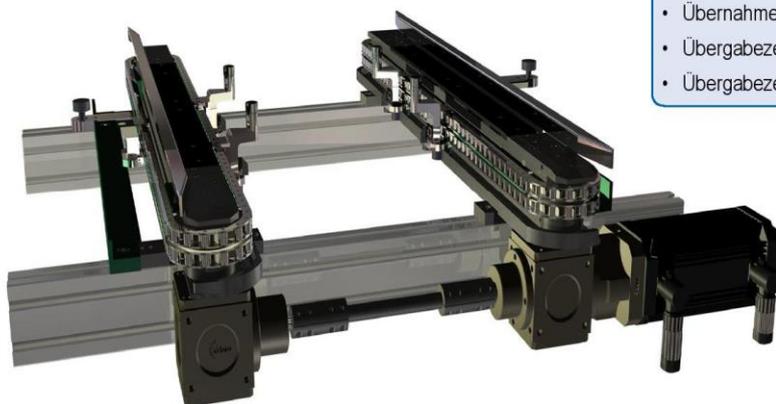
Technische Details:

- einfachtiefe Lagerung
- Behälter
- Größen von 400 x 600 mm bis 600 x 800 mm
- Zuladung bis max. 50 kg pro Behälter / 1 Behälter pro LAG
- Übernahme aus schräger Lagerung oder direkt von der FT
- Übergabezeit einfachtief: 4 s
- Übergabezeit zu schräger Lagerposition: 4 - 6 s

BEELAG ZTK

Übersicht

BEEWEN



ZIEHTECHNIK

Technische Details:

- einfachtiefe Tablarlagerung
- Tablare
- Größen von 400 x 600 mm bis 800 x 1.200 mm
- Zuladung bis zu 300 kg pro Tablar / 1 Tablar pro LAG
- Übernahme vom Lagerplatz oder direkt von der FT
- Übergabezeit einfachtief: 5 s
- Übergabezeit Fördertechnik: 5 s (600 x 1.200 mm Tablar)

D. Kardex Remstar Horizontal Karussell¹³⁰

Horizontal Carousel Module

Kardex Remstar Horizontal Karussell:
jetzt die horizontale Dimension Ihrer
Lagerflächen erschließen

Technische Daten	
Gerätemaße	
Karusselllänge:	5.900 mm bis 46.700 mm
Anzahl Träger:	Max. Anzahl ist abhängig von der Trägerbreite (TB): TB 622 mm : 16 bis 120 Träger TB 825 mm : 14 bis 100 Träger TB 960 mm : 12 bis 90 Träger
Träger	
Trägerbreiten:	622 mm, 825 mm, 960 mm
Trägertiefen:	460 mm, 560 mm, 610 mm
Trägerhöhen:	1.854 mm bis 3.658 mm
Zuladung	
Trägerzuladung:	450 kg, 680 kg und 900 kg
Zuladung pro Fachboden:	90 kg
Leistungsdaten	
Umlaufgeschwindigkeit:	24 m/min
Motoren:	1,5 kW oder 2,7 kW
Fachbodenverstellraster	
Standard:	alte 38 mm
	Sonderraster möglich
Optionen	
	Träger mit geschlossener Rückwand und/oder Seitenwänden aus Plexiglas
	Aushubsicherung
	Engmaschiger Fachboden

- Trägerzuladung:
450 kg, 680 kg,
900 kg
- Flexibles Trägerkonzept:
– Verstellraster 38 mm
– Multifunktionaler Fachboden-
durch 180°-Drehung
– Hohe Stabilität durch eine
Fachbodenstärke von 26 mm
- Die Nutzhöhe des
Horizontal Karussells
liegt zwischen 1,80 m
und 3,65 m.
- Starkes, zuverlässiges und
wartungsarmes Gerät auf-
grund der selbstschmierenden
Lager.
- Die Höhe des
Horizontal Karussells
liegt zwischen 2,20 m
und 4,10 m.
- Die Umlaufgeschwindigkeit
beträgt 24 m pro Minute.
- Der Motor innerhalb des
Geräts ermöglicht eine
mehrstöckige Bauweise.

¹³⁰ Kardex AG

E. Qimarox Vertikallift

Qimarox[®]

PRORUNNER Mk1: ein zuverlässiger und preisgünstiger Produktförderer

Der PRORUNNER Mk1 ist ein solider Produktförderer, der ganzjährig Tag ein Tag aus genau das leistet, was er leisten muss: Produkte nach oben oder nach unten befördern, ohne dass man sich großartig darum kümmern muss. Dieser Produktförderer ist die perfekte Lösung für Kapazitäten bis zu maximal 500 Produkte pro Stunde. Wegen des extrem geringen Platzbedarfs lässt sich dieser Produktförderer in nahezu jedes Maschinenlayout einprojizieren. Das kompakte Gerät lässt sich sehr einfach in Ihr Transportsystem integrieren und kann wahlweise mit einer Rollenbahn oder einem Förderband ausgerüstet werden. Dank des Designs mit äußerst zuverlässigen Komponenten ist die Maschine weitgehend wartungsarm. Auf den Punkt gebracht: Ein einfach zu integrierender Produktförderer, der preisgünstig bleibt.

Ab:
€3.500,-



Schlüsselkomponenten für das Material Handling:

- Sicherheitsabsperrungen
- Vertikalförderer
- Palettiermodule
- Wickelmaschinen

Nobelstraat 43 - NL 3846 CE Hardenwijk T +31 341 - 436 700 F +31 341 - 436 701 info@Qimarox.com www.Qimarox.com

Vorteile des PRORUNNER® Mk1

- Minimaler Platzbedarf
- Geeignet zum vertikalen Sortieren (mehrere Etagen)
- Robust und wartungsarm
- Kartons, Kisten oder Sackgut bis 100 kg
- Kein Schmieren oder Ketten spannen mehr
- Grundsolide Stahlkonstruktion
- Ebenfalls rechteckige Anordnung möglich
- Geräuscharm



Schlüsselkomponenten für das Material Handling:

- Sicherheitsabsperrungen
- Vertikalförderer
- Palettiermodule
- Wickelmaschinen

Technische Daten		Standard	Optional bis zu
Einlaufhöhe	mm.	670	420
Auslaufhöhe	mm.	2.600	11.400
Leistung	p/Stunde.	280	500
Produkt	mm.	600 x 400	1200 x 600
Gewicht	Kg.	25	100

 11,4 m Max.			
	 100 Kg Max.		
		 500 / h Max.	
			 0.7 m ² Max.



Schlüsselkomponenten für das Material Handling:

- Sicherheitsabsperrungen
- Vertikalförderer
- Palettiermodule
- Wickelmaschinen



Angebotsanforderung



Kunde: _____

E-mail: _____

Produkt: _____

Abmessungen: x x mm.

Leistung: min. p/min. max. p/min.

Produktgewicht: min. Kg. max. Kg.

Ausrichtung Einfuhr: Kurzen / Lange seite vorn _____

Ausrichtung Ausfuhr: Kurzen / Lange seite vorn _____

Einlaufhöhe: mm.

Auslaufhöhe: mm.

Einlauf: _____ Angetrieben / Schwerkraft

Auslauf: _____ Angetrieben / Schwerkraft

E-Komponente: _____ Ja / Nein

Sicherheitsverkleidung: _____ Ja / Nein

Drehtür: _____ Ja / Nein

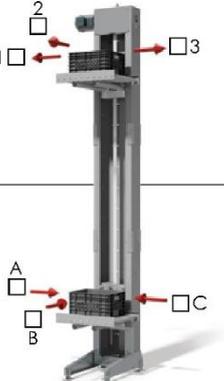
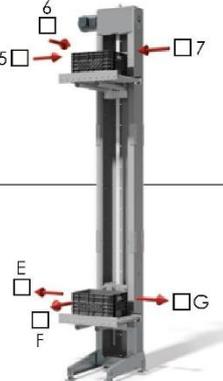
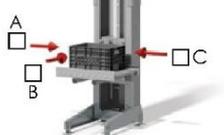
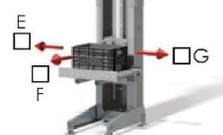
Betriebsstunden: / | /
Std / Tag Tage / Woche

Aufstellung: _____ Versenden nach info@Qimarox.com

Betriebsumstände: _____

Spezielle Bemerkungen: _____



		HOCH	HERUNTER
OBEN			
UNTER			

Geeignet für

- Trays • Behälter • Reifen • Bücher • Kartons • Folienpakete • Weiche Pakete • Zeitschriften
- Bündel • Tiefkühlprodukte • Tablett • Flaschenverpackungen • Faltschachteln • Sackware • Kisten • Eimer

" DISCLAIMER: this document is for informational en promotional purposes only
all orders are subject to the Qimarox terms and conditions and Qimarox's written confirmation. Copyright © 2013 Qimarox[®] "

Qimarox B.V. Nobelstraat 43 NL- 3846 CE Harderwijk. Alle rechte vorbehalten. © 2015. Qimarox.com

F. Akon Robotics – Greifer Systeme

AKON Robotics
Piepsche 7a, 28857 Syke (Firmierung)
Oppenheimer Str. 21, 28307 Bremen (Werksadresse)
Tel. +49 421 32263-6 - Fax. +49 421 32263-71
info@akon-robotics.de - www.akon-robotics.de

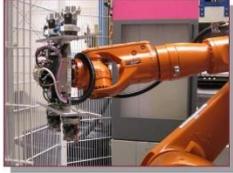



Greifer - Systeme




Greifer - Systeme

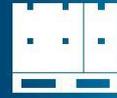


<p>Zinkengreifer</p>  <ul style="list-style-type: none"> • Paletten-Handling • Zwischenlagen-Handling • Ventilsack-Aufnahme • Nutzlast: 25kg oder 50kg 	<p>Kistengreifer</p>  <ul style="list-style-type: none"> • Aufnahme 1-3 KLT á 20kg • Erkennung von 5 KLT-Typen • Lagenerkennung • Leistung: 400 KLT/h 	<p>Klemmgreifer</p>  <ul style="list-style-type: none"> • 3x Greifereinheit mit Untergriff • Produkterkennung • Palettenhandling • Nutzlast 3x 20kg 	<p>Greifer für Automotiv</p>  <ul style="list-style-type: none"> • Aufnahme von Roh- und Fertigteil (Turbolader-Gehäuse) • 6 unterschiedliche Gehäuse-Typen • Nutzlast: 4kg
<p>Greifer für Eimer, Fässer und Tonnen</p>  <ul style="list-style-type: none"> • Unterschiedlichste Eimertypen • Paletten-Handling • Zwischenlagen-Handling • Palettieren / Depalettieren 	<p>Greifer für Säcke und Lebensmittel</p>  <ul style="list-style-type: none"> • Absturzsicherung bei Vakuumverlust für Tonnen • Kartonhandling • Zwischenlagen-Handling 		
<p>Greifer für Säcke und Lebensmittel</p>  <ul style="list-style-type: none"> • Kaffeesack-Handling • Containerbeladung (20' und 40') • Automatische Ausrichtung • Nutzlast: Max. 65kg 	<p>Greifer für Säcke und Lebensmittel</p>  <ul style="list-style-type: none"> • Sauger-Einheiten verfahr- und schwenkbar • Wechselbare Saugerplatten • 3x Vakuumpack á 5kg 		

www.akon-robotics.de
info@akon-robotics.de

G. M.A.S. Automation – Greifer Systeme

ENDVERPACKUNG PALETTIERUNG



PALETTIER-ROBOTER

Flexible Lösung für simultane Palettierung von verschiedenen Produkten, von mehreren Abnahmestellen, auf mehrere Palettierplätze

Der Roboter greift mittels Aufnahmekopf Einzelprodukte oder ganze Produktlagen und legt diese im gewünschten Lagenbild auf die Palette. Nach Bedarf werden Zwischen lagen eingelegt.

Der Aufnahmekopf ist die entscheidende Komponente der Roboterzelle.

M.A.S. Automation hat eine große Vielfalt an Greifern im Angebot (Vakuum-, Gabel-, Haken- u.a.), wobei jede individuelle Greiferlösung nach Kundenanforderung zeitnah realisiert werden kann.



TECHNISCHE DATEN

	Standard	Alternativ
Anzahl Achsen	4-6	
Tragkraft	max. 350 kg	
Leistung	max. 7 Zyklen/ Min.	
Anschlußwert	3x400 V, N/PE 50 Hz	
Luftdruck	5 bar	
AUSFÜHRUNG:	Standard	Alternativ
Roboter	KUKA	ABB, Motoman
Greifer	kundenspezifisch (Al, V2A, Stahl verzinkt...)	
Pneumatik	FESTO	kundenspezifisch
Sensoren	IFM, SICK	kundenspezifisch
Steuerung	SIEMENS 57	
Bedientableu	Touch-Panel TP177B	TP1200 Comfort 12" ...oder kundenspezifisch
Temperaturbereich	+5° bis +45°C	-30° bis +60°C

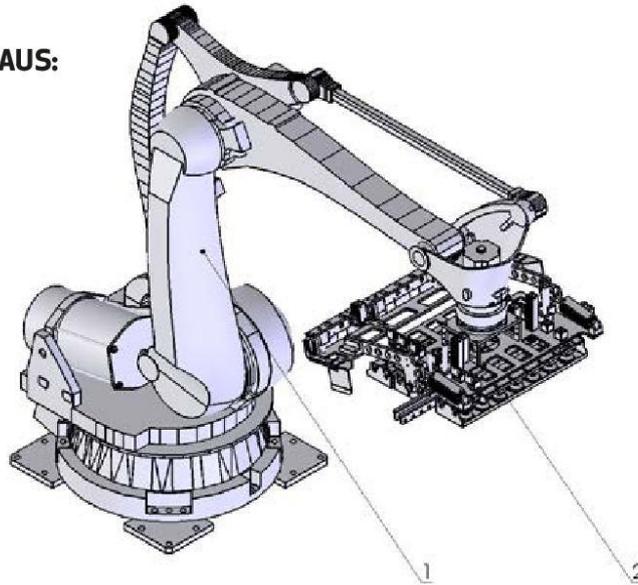
MERKMALE:

- Flexible Anpassung an kundenseitigen Anforderungen
- Genaue Positionierung
- Geeignet für kleine Raumhöhen
- Geringe Wartungskosten



DIE ANLAGE BESTEHT AUS:

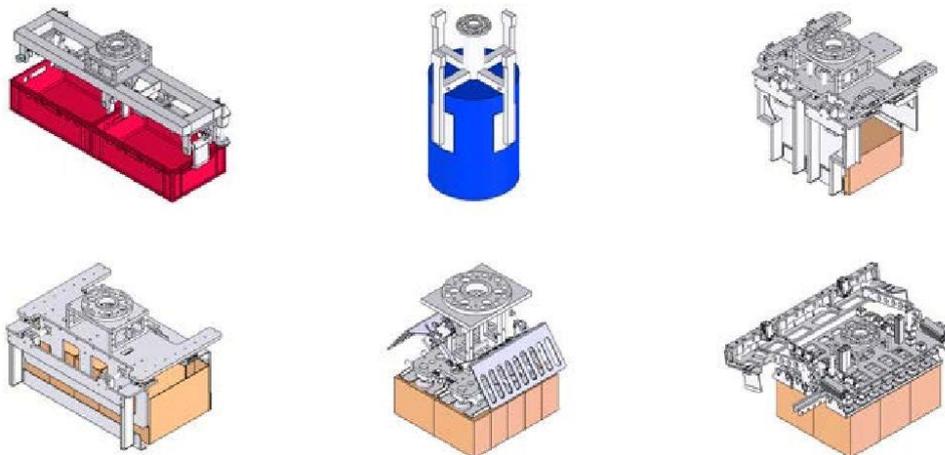
1. Knickarm-Roboter
2. Aufnahmekopf [Greifer]



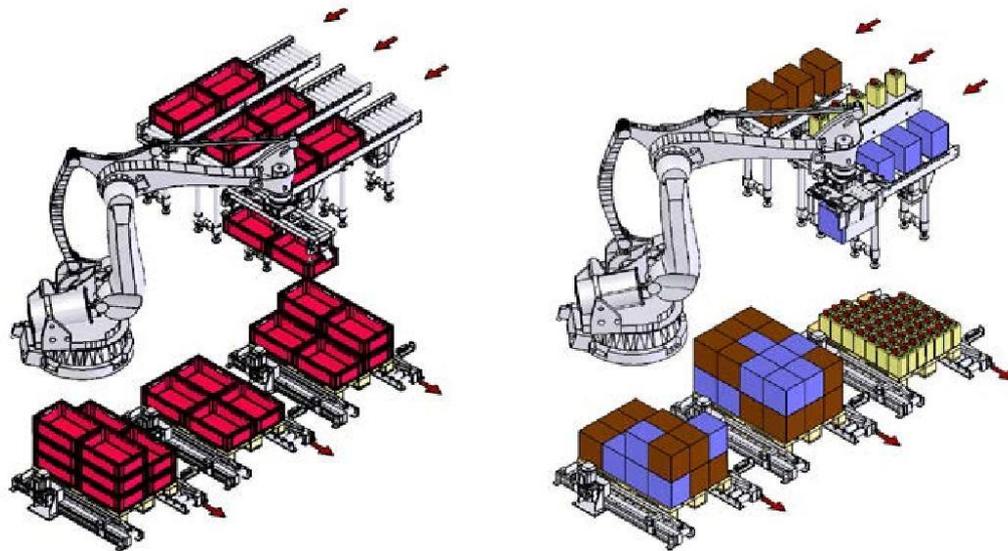
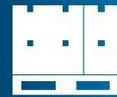
ZUBEHÖR:

- Produkt-Rangierung
- Sockel (Höhenverstellung)
- Sicherheitszaun

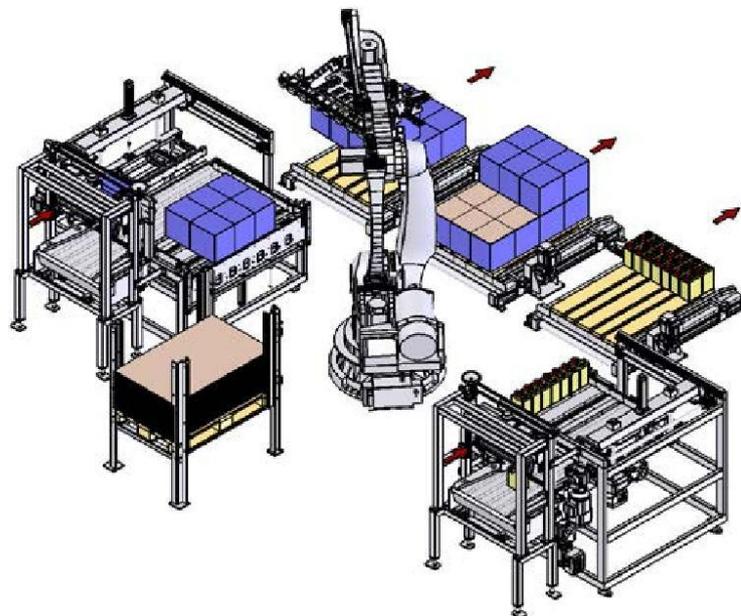
Produktspezifische Greifer (Ausschnitt)



ENDVERPACKUNG PALETTIERUNG



- Simultane Bedienung mehrerer Linien



- mit Produktanordnung und Einlegen der Zwischenlagen

H. Funktionsschema Umlaufregallager

