

Funktionsvereinigung in der Lagertechnik

Forschungsbericht

Prof. Dr.-Ing. Willibald A. Günthner
Dipl.-Ing. Ulrich Lammer

Dieses Vorhaben (Projekt-Nr. 14905 N/1) ist aus Haushaltsmitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e.V. (AiF) gefördert und im Auftrag der Bundesvereinigung Logistik e.V., Bremen, durchgeführt worden.

Herausgeber:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Willibald A. Günthner,

Dipl.-Ing. (Univ.) Ulrich Lammer

Beide: **fml** – Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik,

Technische Universität München, Boltzmannstraße 15, 85748 Garching

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, der Entnahme von Abbildungen, der Wiedergabe auf photomechanischem oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen bleiben – auch bei nur auszugsweiser Verwendung – vorbehalten.

Layout und Satz: Ulrich Lammer

Copyright © **fml** – Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik

ISBN: 978-3-941702-00-4

Printed in Germany 2009

Zusammenfassung

Aufgabe des Projektes war die Entwicklung und Bewertung von Möglichkeiten zur geräte-technischen Vereinigung von Materialflussfunktionen (Ein-/Auslagern, Kommissionieren, Palettieren etc.) durch den in der Logistik wenig verbreiteten Technologiebereich der Robotik. Als Ergebnis liegen detaillierte Konzepte zur funktionsintegrierenden Lösung von logistischen Aufgaben im Lagerumfeld vor. Um die Praktikabilität der erarbeiteten Konzepte zu überprüfen, wurden die Voraussetzungen für die technische und organisatorische Realisierbarkeit der Funktionsvereinigung und deren Auswirkungen untersucht. Darüber hinaus wurden das Leistungspotenzial und die Wirtschaftlichkeit der Funktionsvereinigung in der Lagertechnik analysiert. Ergänzend zu diesen theoretischen Untersuchungen erfolgte die Umsetzung eines Demonstrators in der Forschungsstelle.

In einem ersten Schritt erfolgte die Analyse und Darstellung der technischen Grundlagen des Technologiebereichs der Robotik. Zudem wurden die Anforderungen und Möglichkeiten der Roboterintegration in die Logistik erarbeitet. Die elementare Aufgabe eines Industrieroboters in einem Materialflusssystem ist die Manipulation von Greifobjekten. Auf die Erfüllbarkeit von logistischen Funktionen mit einem Roboter hat die Greifbarkeit der Handhabungsobjekte daher entscheidende Bedeutung.

Die Materialflussfunktionen wurden in einem zweiten Schritt hinsichtlich ihrer einzelnen Handhabungsaufgaben analysiert. Maßgeblich für die Vereinigung der unterschiedlichen Materialflussfunktionen ist neben der technischen Realisierbarkeit die zeitliche und räumliche Vereinbarkeit. Vor diesem Hintergrund erfolgte eine Auswahl an kombinierbaren Materialflussfunktionen und die Ausarbeitung und Bewertung von theoretischen, geräteunabhängigen Lösungsalternativen. Neben sechs paarweisen Kombinationen wurden dabei fünf weitere Konzepte mit mehr als zwei kombinierten Funktionen erstellt und diskutiert. Eines der Konzepte, das die Funktionen Einlagern, Auslagern und Kommissionieren vereint, diente als Grundlage für den Aufbau eines Demonstrators an der Forschungsstelle, um die Potenziale der Funktionsvereinigung im praktischen Einsatz zu validieren. Die Auswirkungen auf angrenzende Technikbereiche wurden bei den angestellten Untersuchungen beachtet und die Anforderungen an die technischen Lösungen insbesondere in den Bereichen Sicherheit und Steuerung herausgestellt.

Anschließend wurden Leistungs- und Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen für die Funktionsvereinigung durchgeführt und die entscheidenden Leistungs- und Kosteneinflüsse ermittelt. Auf die allgemeingültige Betrachtung folgten eine Kostenrechnung und eine Materialflusssimulation zur Leistungsermittlung am Beispiel des Demonstrators. Auf diese Weise konnten wesentliche Kostentreiber sowie Einflüsse auf die Leistung einer Roboterzelle systematisch aufgezeigt werden.

Planung, Aufbau und Inbetriebnahme des Demonstrators bildeten die Basis für praktische Versuche an der Forschungsstelle. Hierfür wurde u. a. ein spezieller Behältergreifer entwickelt. Die erfolgreiche Umsetzung des Demonstrators zeigt die Randbedingungen, das Potenzial und die tatsächliche Leistungsfähigkeit eines Industrieroboters zur Funktionsvereinigung in der Lagertechnik.

Das Ziel des Vorhabens wurde erreicht.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	11
1.1	Wissenschaftlich-technische und wirtschaftliche Problemstellung	11
1.2	Stand der Forschung	12
2	Forschungsziel / Ergebnisse / Lösungsweg.....	14
2.1	Forschungsziel.....	14
2.2	Angestrebte Forschungsergebnisse.....	14
2.3	Innovativer Beitrag der angestrebten Forschungsergebnisse.....	15
2.4	Vorgehensweise	15
3	Robotik in der Intralogistik.....	17
3.1	Robotik.....	17
3.1.1	Historie.....	17
3.1.2	Industrieroboter.....	18
3.1.3	Bauarten	19
3.1.4	Auswahl und Anwendungsfälle	22
3.2	Objekthandhabung	25
3.2.1	Endeffektor	25
3.2.2	Gliederung der Greifer	28
3.2.3	Sensorik und Datenverarbeitung	35
3.2.4	Greifbarkeit	38
3.3	Beispielhafte Roboteranwendungen in der Logistik.....	40
3.3.1	Palettieren von Molkereiprodukten	40
3.3.2	Getränkekisten und -packungen.....	41
3.3.3	Entladen von Paketen.....	42
3.3.4	Stapeln von Kartons.....	42
3.3.5	Ankleben von Papieretiketten	42
4	Analyse von Materialflusssystemen in der Intralogistik.....	44
4.1	Materialflusssysteme.....	44
4.1.1	System	44
4.1.2	Grundlagen	45
4.1.3	Anforderungen	46
4.1.4	Automatisierung.....	48

4.2	Materialflussfunktionen	49
4.2.1	Handhabung	50
4.2.2	Handhabungsschritte	51
4.3	Kombination der Materialflussfunktionen	65
4.3.1	Definition und Zuordnung.....	65
4.3.2	Paarweiser Vergleich	66
4.4	Anforderungen an den Robotereinsatz	68
4.5	Funktionen für den Robotereinsatz	70
4.5.1	Hauptfunktionen.....	70
4.5.2	Nebenfunktionen.....	71
4.5.3	Bewertung der Funktionen.....	72
4.5.4	Roboterfunktionen	73
5	Modulare Funktionsintegration	76
5.1	Planung von Materialflusssystemen	76
5.1.1	Planungshintergrund.....	76
5.1.2	Planungsphasen	76
5.2	Konzepte zur Funktionsvereinigung	77
5.2.1	Kombination der Hauptfunktionen	77
5.2.2	Anordnung der Betriebsbereiche	79
5.2.3	Betrachtete Roboterkinematik	80
5.2.4	Organisation des Materialflusses.....	82
5.3	Konzepte zur Funktionsintegration	83
5.3.1	Konzept 1 – Einlagern, Auslagern, Kommissionieren.....	83
5.3.2	Konzept 2 – Einlagern, Auslagern, Verpackung & Versand	87
5.3.3	Konzept 3 – Einlagern, Kommissionierung, Verpackung & Versand.....	91
5.3.4	Konzept 4 – Auslagern, Kommissionierung, Verpackung & Versand.....	93
5.3.5	Konzept 5 – Einlagern, Auslagern, Kommissionierung, Verpackung & Versand.....	94
5.3.6	Konzept 6 – Einlagern, Auslagern, Bereitstellung für die Kommissionierung, Batch-Picking, Verpackung & Versand	96
5.4	Funktionsintegration und Mitarbeiterereinsatz	98
5.4.1	Potenziale Mitarbeiter	98
5.4.2	Potenziale Roboter	98
5.5	Eigenschaften der Funktionsintegration	99
5.6	Anwendungsbeispiele der Funktionsintegration	101
5.6.1	Restriktionen bei der Konzepterstellung	101
5.6.2	Sortieren	102
5.6.3	Sortieren und Palettieren	103

5.6.4	Kommissionierung, Verpackung und Palettierung.....	107
5.6.5	Lageranbindung.....	109
6	Leistungs- und Wirtschaftlichkeitsbewertung	112
6.1	Wirtschaftlicher Robotereinsatz.....	112
6.1.1	Kostenermittlung.....	113
6.1.2	Leistungsermittlung.....	115
6.1.3	Wirtschaftlichkeitsvergleich	116
6.2	Wirtschaftlichkeitsvergleich am Beispiel	119
6.2.1	Kostenvergleich	119
6.2.2	Amortisation.....	121
6.2.3	Einflussfaktoren	121
6.3	Simulation zur Leistungsermittlung.....	124
6.3.1	Eingangsdatenermittlung und -aufbereitung.....	125
6.3.2	Modellierung	128
6.3.3	Validierung	130
6.4	Simulationsexperimente.....	130
7	Gestaltungsrichtlinien für Sicherheit, Steuerung und Informationsfluss ..	135
7.1	Sicherheitsrichtlinien Roboterzelle.....	135
7.1.1	Einteilung und Übersicht der Normen.....	135
7.1.2	Grundlagen der Risikobeurteilung	136
7.2	Sicherheitsanforderungen an Steuerung und Informationsfluss	139
7.2.1	Gestaltungsmerkmale.....	139
7.2.2	Performance Level.....	140
7.2.3	Kategorien.....	140
7.3	Sicherheitsanforderungen an Roboter	141
7.3.1	Gefahren.....	141
7.3.2	Betriebsarten des Roboters	141
7.3.3	Notwendige Sicherheitsausrüstung	142
7.4	Roboterzelle und -system	144
7.4.1	Steuerungssysteme	144
7.4.2	Anordnung der Systemkomponenten	144
7.4.3	Schutzeinrichtungen	145
7.4.4	Sicherheitsabstand	148
8	Demonstrator: Konzept „Lageranbindung“	152
8.1	Rahmenbedingungen der Forschungsstelle.....	152

8.1.1	Materialflusssystem	152
8.1.2	Hochregallager.....	153
8.2	Konzept „Lageranbindung“	153
8.3	Komponenten der Roboterzelle.....	156
8.3.1	Roboter	156
8.3.2	Fördertechnik.....	157
8.3.3	Behälter und Regal	157
8.3.4	Greifer	158
8.3.5	Sicherheitstechnik.....	166
8.4	Experimente.....	168
8.4.1	Einlagern.....	168
8.4.2	Auslagern.....	170
8.4.3	Kommissionieren	171
8.4.4	Umlagern	172
8.4.5	Leerpalettenhandhabung.....	173
8.4.6	Ergebnisse aus den Versuchen.....	173
8.5	Zusammenfassung Umsetzung.....	174
9	Fazit und Ausblick.....	175
9.1	Zusammenfassung	175
9.2	Ausblick	176
9.3	Fazit	176
10	Literaturverzeichnis	178
11	Anhang.....	189
11.1	Ausführungen „Paarweiser Vergleich“	189
11.2	Steuerung der Roboterzelle „Lageranbindung“	197
11.3	Vorträge.....	198
11.4	Veröffentlichungen	198

Abbildungsverzeichnis

Abb. 3-1: „Unimate“ als Schweißroboter (links), „Unimate“ als Handhabungsgerät (rechts) [Gün-07] ..17	17
Abb. 3-2: Bauarten von Industrierobotern [Zäh-05], [kuk-07], [geb-07].....20	20
Abb. 3-3: Fünffachsiger Portalroboter in einer Fertigungszelle [Wec-05].....21	21
Abb. 3-4: Mechanischer Aufbau mit Bezeichnung der Achsen eines Sechs-Achs-Knickarmroboters (links), mögliche Lösungen für den Drehmomentenausgleich um die A-und B-Achse (rechts) [Wec-05].....22	22
Abb. 3-5: Auswahl der geeigneten Roboterbauart anhand von Leistungsmerkmalen [Weck-05].....23	23
Abb. 3-6: Typische Eigenschaften und Anwendungen von Robotern [Woe-06], [soc-07], [kuk-07], [fan-07], [abb-07]24	24
Abb. 3-7: Bestandteile eines Robotergreifers sowie deren Zusammenwirken ([Hes-93], S. 118)25	25
Abb. 3-8: Wirkprinzipien beim Greifen ([Hes-91], S. 23-24)26	26
Abb. 3-9: Greifprinzipien beim Klemmgriff ([Hes-91], S. 19-20)26	26
Abb. 3-10: Antriebsarten für Greifer [Wol-05].....27	27
Abb. 3-11: Greiferwechselsystem (links) [Sch-06d], Vorgang einer automatischen Greiferaufnahme durch einen Roboter (rechts) [som-08].....28	28
Abb. 3-12: Greifer für unterschiedliche Bauteilgrößen [Sch-06c], [Wol-04].....29	29
Abb. 3-13: Einzel-, Doppel- und Mehrfachgreifer [Hes-91], [Sch-06c], [Sch-06b]29	29
Abb. 3-14: Mechanische und fluidische Greifer [kom-07], [Sch-06b]30	30
Abb. 3-15: Greifobjekte im Lager [Lam-06]30	30
Abb. 3-16: Klemmgreifer (links) [kom-07] und Universalgetränk kastengreifer (rechts) [rei-07]31	31
Abb. 3-17: Hybride Griffart der „DLR Hand“ [dlr-08]31	31
Abb. 3-18: Aufwälggreifer [Woh-05], [csi-07]32	32
Abb. 3-19: Funktionsprinzip des Friktionsriemengreifers [Woh-05]32	32
Abb. 3-20: Teleskop-, Flach- und Ovalsauger [hei-07].....33	33
Abb. 3-21: Globale Saugzelle (links) und technischer Schaum (rechts) [Sch-07]33	33
Abb. 3-22: Abreißen des Greifobjekts bei hohen Querschleunigungen [Fri-06].....34	34
Abb. 3-23: Vakuumlagegreifer mit mechanischen Elementen (links), [Sch-06b] Funktionsweise eines Matrixsaugers (rechts) [Fri-06].....35	35
Abb. 3-24: Matrixsauger (links), Greifer aus Flächensaugmodulen (rechts) [Sch-06e]35	35

Abb. 3-25: Schritte innerhalb der Bildverarbeitung [Led-07].....	36
Abb. 3-26: Lichtschnittverfahren [Fri-06]	37
Abb. 3-27: "IRB 340 FlexPicker" verpackt Pralinen [abb-07], Pharmakommissionierung mit Kommissionierautomat [kna-08].....	38
Abb. 3-28: Greiferarten mit Anforderungen an Greifobjekte.....	39
Abb. 3-29: Roboter palettiert Molkereiprodukte [KUK-03], [log-07a]	41
Abb. 3-30: Greifen von Getränkepackungen und -kästen [KUK-99a]	41
Abb. 3-31: Paketroboter von EADS Space Transportation, 3D-Daten des Laserscanners [EAD-06]....	42
Abb. 3-32: Anbringen von DIN A3-Zetteln an der Fahrzeugkarosserie [KUK-99b]	43
Abb. 4-1: hierarchisches Materialflusssystem [Ble-99].....	45
Abb. 4-2: Beurteilung der Wandelbarkeit [Wil-05]	48
Abb. 4-3: Teilfunktionen des Handhabens [VDI-2860]	50
Abb. 4-4: Symbolik zur Beschreibung der Handhabungsaufgabe [VDI-2860].....	51
Abb. 4-5: Gliederung des Lagerprozesses [Arn-04]	51
Abb. 4-6: Aufgliederung der Grundfunktionen des Lagers [VDI-3629].....	53
Abb. 4-7: Handhabungsschritte im Wareneingang.....	54
Abb. 4-8: Kommissioniersystem als Beschickungs- und Sammelsystem [Gud-73].....	55
Abb. 4-9: Handhabungsschritte beim Beschicken.....	55
Abb. 4-10: Handhabungsschritte beim Kommissionieren	55
Abb. 4-11: Grundfunktionen des Materialflusssystems [VDI-3590/1].....	56
Abb. 4-12: Handhabungsschritte beim Verpacken	57
Abb. 4-13: Handhabungsschritte beim Prüfen in Symbolen.....	60
Abb. 4-14: Handhabungsschritte beim Umpacken, Zulagern und Vereinzeln.....	61
Abb. 4-15: Kombination von je zwei Lagerfunktionen.....	67
Abb. 4-16: Hauptfunktionen im Lager entsprechend dem Lagerprozess nach Arnold [Arn-04].....	71
Abb. 4-17: Zuordnung der Einzelfunktionen zu den vier Hauptfunktionen	71
Abb. 4-18: Bewertung der Einzelfunktionen hinsichtlich ihrer Bedeutung für die Planung	73
Abb. 5-1: Hauptfunktionen des Roboters	77
Abb. 5-2: Zweifache Funktionsintegration	78
Abb. 5-3: Mehrfache Funktionsintegration.....	79

Abb. 5-4: Beispielhafte Anordnung der Betriebsbereiche im Lager.....	79
Abb. 5-5: Angenommener Greifraum des Knickarmroboters in den Konzepten vor dem realen Greifraum des KUKA KR 360-2 [kuk-07].....	81
Abb. 5-6: Greifraum des Portalroboters REIS RL300P [rei-07].....	82
Abb. 5-7: Konzept 1 – Einlagern, Auslagern, Kommissionierung mit dezentraler Abgabe.....	84
Abb. 5-8: Bereich Einlagern in Konzept 1	85
Abb. 5-9: Bereich Kommissionierung in Konzept 1	86
Abb. 5-10: Bereich Auslagern in Konzept 1	86
Abb. 5-11: Konzept 1 – Einlagern, Auslagern, Kommissionierung mit zentraler Abgabe.....	87
Abb. 5-12: Konzept 2 – Einlagern, Auslagern, Verpackung & Versand.....	88
Abb. 5-13: Bereich Einlagern in Konzept 2.....	89
Abb. 5-14: Bereich Auslagern in Konzept 2.....	90
Abb. 5-15: Bereich Verpackung & Versand in Konzept 2	90
Abb. 5-16: Konzept 3 – Einlagern, Kommissionierung, Verpackung & Versand	91
Abb. 5-17: Konzept 4– Auslagern, Kommissionierung, Verpackung & Versand	93
Abb. 5-18: Konzept 5 – Einlagern, Auslagern, Kommissionierung, Verpackung & Versand mit Knickarmroboter	95
Abb. 5-19: Konzept 5 – Einlagern, Auslagern, Kommissionierung, Verpackung & Versand mit Portalroboter	96
Abb. 5-20: Konzept 6 – Einlagern, Auslagern, Bereitstellung für die Kommissionierung, Batch-Picking, Verpackung & Versand	97
Abb. 5-21: Anwendungsbeispiel: „Sortieren“ konventionelle Lösung	102
Abb. 5-22: Anwendungsbeispiel: „Sortieren“ Robotervariante.....	103
Abb. 5-23: Anwendungsbeispiel: „Sortieren und Palettieren“ konventionelle Lösung	104
Abb. 5-24: Anwendungsbeispiel: „Sortieren und Palettieren“ Robotervariante	105
Abb. 5-25: Anwendungsbeispiel: „Sortieren und Palettieren“ manuelle Lösung.....	106
Abb. 5-26: Anwendungsbeispiel: „Sortieren und Palettieren“ Robotervariante	107
Abb. 5-27: Anwendungsbeispiel: „Kommissionieren, Verpackung und Palettieren“ manuelle Lösung	108
Abb. 5-28: Anwendungsbeispiel: „Kommissionieren, Verpackung und Palettieren“ Robotervariante ..	109
Abb. 5-29: Anwendungsbeispiel „Sortieren - erweitert“	110
Abb. 5-30: Anwendungsbeispiel: „Lageranbindung“	111

Abb. 6-1: Wirtschaftlicher Robotereinsatz	113
Abb. 6-2: Leistungsanforderungen an die Depalettierung	116
Abb. 6-3: Behälter am Übergabepunkt zum Lager	117
Abb. 6-4: Verteilung der Palettierleistung	117
Abb. 6-5: Handhabungsleistung des Roboters	118
Abb. 6-6: Betriebszeit und Amortisationszeit	122
Abb. 6-7: Entwicklung der Konzeptkostensätze	123
Abb. 6-8: Einfluss des Instandhaltungskostenfaktors auf die Amortisationszeit (links) bzw. auf den Konzeptkostensatz (rechts)	123
Abb. 6-9: Ablaufdiagramm für das Simulationsmodell „Lageranbindung“	127
Abb. 6-10: schematischer Aufbau der Roboterzelle „Lageranbindung“ in „eM-Plant“	129
Abb. 6-11: Validierung der Simulation	130
Abb. 6-12: Einfluss des Greiferwechsels	131
Abb. 6-13: Einfluss der Prozesszeiten auf die Leistung	132
Abb. 6-14: Einflüsse der Auftragsgröße (links), Einflüsse der Palettenwechselzeit (rechts)	133
Abb. 6-15: Einfluss der Depalettierung auf die Palettierzeit	133
Abb. 7-1: Sicherheitsnormen für eine Roboterzelle	136
Abb. 7-2: Annäherungsrichtungen zum Schutzfeld	149
Abb. 7-3: Skizze: Abstände im Gefährdungsbereich	151
Abb. 8-1: Elektrohängebahnanlage (EHB)(links) und Laufkatzen (rechts)	152
Abb. 8-2: Automatisches Kleinteilelager mit Regalbediengerät in Zwei-Mast-Version	153
Abb. 8-3: Konzept „Lageranbindung“	154
Abb. 8-4: 2D-Layoutplan (links) und 3D-Layoutplan (rechts)	155
Abb. 8-5: 3D-Skizze (links) und umgesetztes Projekt in der Forschungsstelle (rechts)	155
Abb. 8-6: Greifräume des Roboters Kuka KR 210 L150-2 [KUK-05b]	156
Abb. 8-7: Roboterflansch (links) und Traglasten (rechts) [KUK-05b]	157
Abb. 8-8: KLT-Behälter (links) und Einteilung AKL der Forschungsstele (rechts)	158
Abb. 8-9: Konzept 1: Starre Gabel für KLT-Behälter	159
Abb. 8-10: Konzept 2: Formschlüssiger Greifer für KLT-Behälter	159
Abb. 8-11: Konzept 3: L-Greifer mit Flächensaugern	159

Abb. 8-12: Konzept 4: L-Greifer mit ver-schiebbarem Bodenblech	159
Abb. 8-13: Konzept 5: Verschiebbare Gabel für KLT-Behälter.....	159
Abb. 8-14: Greiferskizze des KLT-Greifers.....	160
Abb. 8-15: Palettengreifer.....	161
Abb. 8-16: Schwerpunkte für die Traglastberechnung	162
Abb. 8-17: Lastfall KLT-Behälter (links) und Lastfall (Palette).....	164
Abb. 8-18: Konstruktionsskizze des Greifers.....	164
Abb. 8-19: "KUKA.SafeRobot" Arbeits (1)- und Sicherheitsbereiche(2) für Roboter [Kuk-05a]	167
Abb. 8-20: Leerpalettengreifer (links) und Leerpalettenhandhabung (rechts)	173

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Investment für die Lösungsvarianten.....	119
Tabelle 2: Kostenvergleich der Lösungsvarianten.....	120
Tabelle 3: Statische Amortisationsrechnung (14h-Betrieb)	121
Tabelle 4: Stoppkategorien nach [DIN-EN-60204-1]	143
Tabelle 5: Bewertung der Greiferkonzepte.....	160
Tabelle 6: Einlagern - Variante 1	169
Tabelle 7: Einlagern Variante 2	169
Tabelle 8: Auslagern.....	170
Tabelle 9: Kommissionieren	171
Tabelle 10: Umlagern	172

1 Einleitung

1.1 Wissenschaftlich-technische und wirtschaftliche Problemstellung

Aufgrund der unterschiedlichen Rahmenbedingungen im Umfeld der Lagerung von Stückgütern ergibt sich eine große Variation technischer Gestaltungsmöglichkeiten für entsprechende Lagersysteme. Heute existieren zahlreiche Realisierungsalternativen für solche Systeme, so dass so gut wie kein Lagerbereich dem anderen gleicht. Trotz aller Unterschiede in der technischen Ausprägung sind jedoch bei nahezu allen Systemen im Bereich der Stückgüter vier wesentliche Funktionen erkennbar: Depalettieren, Lagern, Kommissionieren, Palettieren.

Derzeit werden diese Funktionen in den Lagersystemen gerätetechnisch getrennt realisiert. Diese Aufteilung ergab sich aus einer nachvollziehbaren Spezialisierung der Gerätetechnik. Prinzipiell finden bei den genannten Funktionen sehr ähnliche Abläufe statt. Gerade elementare Handhabungsvorgänge wie Greifen, Stapeln, Ziehen und Transportieren finden sich in allen diesen Bereichen teilweise automatisiert und teilweise manuell wieder. Im Falle einer Automatisierung werden für diese elementaren Handhabungsvorgänge in jedem dieser voneinander getrennten Funktionsbereiche eigene Geräte eingesetzt. So wird z.B. die elementare Handhabungsfunktion des Greifens üblicherweise mehrmals gerätetechnisch umgesetzt und wird von Greifvorrichtungen und Lastaufnahmemitteln der jeweiligen Geräte vollführt.

Durch eine Funktionsvereinigung dieser in den verschiedenen Bereichen wiederkehrenden elementaren Handhabungsfunktionen könnte die Anzahl der benötigten Geräte reduziert werden. Unter einer Funktionsvereinigung versteht man in diesem Zusammenhang, dass die ähnlichen Handhabungsvorgänge mehrerer Funktionsbereiche von einem einzigen Gerät erfüllt werden. Beim momentanen Stand der Technik werden in jedem Funktionsbereich die erforderlichen Handhabungsvorgänge von einem spezialisierten Gerät erfüllt.

Für diese Funktionsvereinigung ergeben sich Vorteile, aber auch Nachteile:

- Vorteile: weniger Bauraum und geringere Kosten.
- Nachteile: schwierigere Auslegung bezüglich der Leistungsanforderungen, Gesamtleistungsfähigkeit als ein Kompromiss aus der Erfüllung der Einzelfunktionen.

Die Voraussetzungen für eine Funktionsvereinigung sind durch die Ähnlichkeit in den Handhabungsprozessen grundsätzlich gegeben. Es ist als Trend der letzten Jahre erkennbar, dass bei entsprechenden Anlagen quasi als erste Stufe der Funktionsvereinigung die Depalettierung und Palettierung durch eine einzige Maschine erledigt werden.

Es kommen für eine Funktionsvereinigung verschiedene Technologiebereiche (z.B. Robotik) in Betracht, die große Fortschritte bezüglich ihrer Einsatzmöglichkeiten gemacht haben. Das Potenzial einer Investitions- und Betriebskostenreduzierung aufgrund der Kombination von neuen Techniken mit bewährten Elementen ist aber nicht ohne weiteres zu ermitteln.

1.2 Stand der Forschung

In mehreren Teilbereichen ist der Gedanke der Funktionsvereinigung bereits technisch umgesetzt worden. In automatisierten Lagern besteht die Möglichkeit, den Auslagervorgang mit der Kommissionierung zu vereinen. Es gibt dazu verschiedenste Ansätze, hier dazu zwei Beispiele:

Eine mögliche Lösung findet sich im Zentrallager der Firma Bossard in Zug. [Sta-93] Dabei wurde auf das Doppelmast-Regalbediengerät (RGB) ein umlaufendes Förderband installiert, auf dem sich zehn Schalen für die Versandgebände (Umkartons) befinden.

Die Firma Vanderlande Industries hat ebenfalls ein System entwickelt, mit dem eine Kommissionierung direkt auf dem RGB erfolgt. [Sch-04] Das VISION®.RSS (Rack Stack System) dient zur automatischen Bildung von Filialstapeln durch einen im RGB integrierten Stapler und Entstapeler.

Die Verwendung von Industrierobotern in Materialflusssystemen wird aufgrund ihrer universellen Einsetzbarkeit in letzter Zeit fokussiert. Es gibt bereits zahlreiche Anwendungen mit Robotern im Lagerbereich:

Portal- und Knickarmroboter werden vor allem zum Depalettieren von artikelreinen und anschließendem Palettieren zu gemischten Paletten verwendet. [Sev-00], [Ber-05], [Les-05] Grundsätzlich können zwei Anwendungsformen unterschieden werden: Bei „Pick to Palett“ wird das Prinzip Roboter zur Ware (RzW) und somit eine Kombination der Auslagerung mit der Kommissionierung verfolgt. [Wur-02a] Das Prinzip Ware zum Roboter (WzR) ist bei „Pick from Belt“ verwirklicht. Die Waren werden auf einem Förderband zum Roboter transportiert. [Wur-02b]

Eine weitere Anwendung ist ein RzW-System, das eine Kommissionierung während der Auslagerung erlaubt und somit zwei Lagerfunktionen vereint. [Arn-02] Dabei wird ein Scara-Roboter auf ein RGB installiert, das ihn zum Lagerfach fährt.

Auch wurde bereits eine vollautomatische RzW-Anwendung zur Kommissionierung von Türen implementiert. Ein Knickarmroboter ist auf ein RBG montiert, das ihn zum Lagerfach befördert, in dem bis zu zehn Türen stehen können. [NN-99]

Die Analyse des Sortiments ist ein wichtiger Punkt, der vor der kundenspezifischen Implementierung eines Systems beachtet werden soll. Das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) von 2003-2006 geförderte Projekt „Branchenunabhängige Basismodule für ein Kommissionierrobotersystem“ (KomRob) beschäftigt sich mit der Entwicklung von standardisierten Modulen, die dann aufgrund der Anforderungen des Kunden zu einem Kommissionierrobotersystem zusammengesetzt werden. [Fri-04]

Die Flexibilität ist der große Vorteil des Knickarmroboters. Allerdings hängen die Einsatzmöglichkeiten und die Leistung eines Robotersystems wesentlich von der Bereitstellung der Entnahmeeinheit bzw. von der Greifer- und Sensortechnologie ab. Mit diesem Thema beschäftigt sich das von 1996 bis 2000 vom BMBF geförderte Projekt „Komponenten für Roboter in innovativen Anwendungen“ (KORINNA). [Kor-01] Dabei wurden auch Greifer und Sensoren für Kommissionieraufgaben untersucht. In den letzten Jahren hat die Greifertechnologie beachtliche Fortschritte erzielt, so dass der zeitaufwendige Greiferwechsel oft entfällt. Eine ebenso positive Entwicklung ist bei den Sensoren zur Objekterkennung zu beobachten. Der sog. „Griff in die Kiste“, d.h. dass verschiedene Objekte unabhängig von ihrer Lage gegriffen werden können, ist ein entscheidender Faktor für die Wirtschaftlichkeit von Robotern in der Kommissionierung. [Led-07]

2 Forschungsziel / Ergebnisse / Lösungsweg

2.1 Forschungsziel

Ziel des Projektes ist es aufzuzeigen, unter welchen Voraussetzungen eine Aufhebung der Funktionstrennung beim Lagern, Kommissionieren und (De-) Palettieren für den Anwender Vorteile bieten kann. Dazu sollen Konzepte zur Funktionsvereinigung erstellt und auf ihre technische Realisierbarkeit sowie auf ihr Potenzial zur Leistungssteigerung bzw. Kostensenkung untersucht werden. Schwerpunktmäßig sind bei der Konzeptfindung auch neue, bislang in der Logistik wenig verbreitete Technologiebereiche zu berücksichtigen. Dabei sollen insbesondere die Auswirkungen dieser Integration auf angrenzende Bereiche analysiert werden.

2.2 Angestrebte Forschungsergebnisse

Ergebnis einer derartigen Untersuchung muss es sein, technische, organisatorische und wirtschaftliche Randbedingungen für Konzepte zur Funktionsvereinigung zu benennen. Zudem sind für die Praxis wichtige Erkenntnisse bezüglich der sicherheits-, steuerungs- und IT-technischen Gestaltung der angesprochenen Konzepte zu erwarten.

Bei der Untersuchung soll der Schwerpunkt auf Technikbereiche gelegt werden, die bislang im Umfeld der Lager- und Kommissioniertechnik noch nicht im Fokus stehen. In der Planung realer Anlagen wird meist nicht das Risiko eingegangen, neue Konzepte mit in der Lagertechnik wenig erprobten gerätetechnischen Lösungen zu realisieren. Im Rahmen des Projekts kann dies ohne realwirtschaftliche Risiken erfolgen. Die zusätzliche prototypenhafte Umsetzung in der Versuchshalle der Forschungsstelle kann:

- über die tatsächliche Leistungsfähigkeit Aufschluss geben,
- Randbedingungen des Einsatzes transparent machen,
- eine erste Referenz für die neuen Technikbereiche in der Lagertechnik bilden
- und damit zu einer stärkeren Umsetzung der Forschungsergebnisse führen.

2.3 Innovativer Beitrag der angestrebten Forschungsergebnisse

Im Rahmen des Projekts entstehen neue, bislang noch nicht umgesetzte Konzepte zur Lösung der Lager-, Kommissionier- und Palettieraufgabe. Zwar wurden teilweise ähnliche Ideen in isolierten Fällen bereits realisiert, eine systematische Untersuchung sowohl der in Frage kommenden Konzepte sowie der notwendigen Randbedingungen zu deren Realisierung liegt bislang nicht vor. Aufgrund der fehlenden Übertragbarkeit der Lösungen auf andere Fälle konnten die bereits existierenden Realisierungen zur Funktionsvereinigung dieser Idee nicht zu einer weiteren Verbreitung verhelfen. Die weniger exemplarische, vielmehr systematische Erforschung der Zusammenhänge im Bereich Lagern - Kommissionieren - Palettieren führt zu einer größeren Variantenvielfalt sowie zu einer besseren Kenntnis der Anforderungen und auch der Randbedingungen für ein solches System.

Zudem ergibt sich aus der Fokussierung von in der Logistik weniger verbreiteten Technologien wie der Robotik das eigentliche Potenzial für innovative Lösungen. Die erfolgreiche Integration solcher Technologien in Lösungsvarianten bei einer „alltäglichen“ Planungsaufgabe ist zu zeitaufwändig und zu riskant. Deshalb kommen in der Praxis meistens konventionelle, bereits erprobte Lager- und Kommissioniertechniken zum Einsatz. Die systematische Vorgehensweise führt auch zu strukturierten Erkenntnissen, die in Zukunft eine schnelle und sichere Berücksichtigung funktionsvereinigter Varianten bei der Planung von Lager- und Kommissionierbereichen unterstützen.

2.4 Vorgehensweise

Das Forschungsprojekt ist in nachfolgende Arbeitspakete gegliedert (entspricht dem Forschungsantrag):

- AP 1: Ist-Analyse zu Materialfluss-Elementen im Bereich Lagern, Kommissionieren, Palettieren
- AP 2: Analyse neuartiger Technologiebereiche zum Einsatz in Lager- und Kommissionierbereichen
- AP 3: Aufstellung von Varianten / Konzepten
- AP 4: Bewertung der Konzepte nach Leistung in Abhängigkeit von Auftrags- und Artikelstruktur, Abgleich mit konventionellen Systemen

2 Forschungsziel / Ergebnisse / Lösungsweg

AP 5: Bewertung der Konzepte nach Wirtschaftlichkeit, Abgleich mit konventionellen Systemen

AP 6: Ableitung von Gestaltungsrichtlinien für Sicherheit, Steuerung und Informationsfluss

AP 7: Physische Umsetzung in Demonstrationshalle der Forschungsstelle

Die Bearbeitung des Forschungsprojekts erfolgte entsprechend des Arbeitsplans. Auf Grund von technischen Defekten in der Versuchshalle der Forschungsstelle kam es bei der Umsetzung des Demonstrators zu Verzögerungen in der Projektbearbeitung. Daher wurde das Projekt nach Ende der zweijährigen Laufzeit (01.08.2006 – 31.07.2008) kostenneutral um zwei Monate (bis 30.09.2008) verlängert.

3 Robotik in der Intralogistik

Für die Untersuchungen im Forschungsvorhaben sind Technikbereiche zu betrachten, die eine Funktionsintegration in der Lagertechnik ermöglichen. Für die integrierte Ausführung von Handhabungsaufgaben bietet sich aus heutiger Sicht allein die Robotik an, die allerdings bislang nur wenig Anwendung in der Logistik findet. Robotik ist bereits vereinzelt in anderen Anwendungsbereichen zu finden. Nachfolgend wird einführend ein Überblick über den Technologiebereich der Robotik, über die technischen Eigenschaften der Objekthandhabung und über aktuelle Anwendungen von Robotern in der Logistik gegeben.

3.1 Robotik

3.1.1 Historie

Der Begriff Roboter leitet sich von dem tschechischen Wort „robota“ (schwer arbeiten) ab. Im Jahr 1920 verwendet der tschechische Schriftsteller Karel Capek im Drama „Rossum's Universal Robot“ diesen Begriff und beschreibt damit menschen-ähnliche Wesen als Roboter, die der Menschheit Dienste erbringen.

Den Grundstein für die Entwicklung von Robotern legte der Amerikaner George Devol im Jahr 1954, indem er seinen Patententwurf für einen programmierbaren Manipulator anmeldete. George Devol war auch einer der Mitbegründer der Firma „Unimation“, die im Jahr 1960 den ersten hydraulisch betriebenen Industrieroboter vorstellte. Den Vorläufer der heutigen Industrieroboter verkaufte die Firma Unimation an General Motors (GM), welche ihn ab dem Jahr 1961 unter dem Namen „Unimate“ für Schweißarbeiten einsetzte (Abb. 3-1 links).

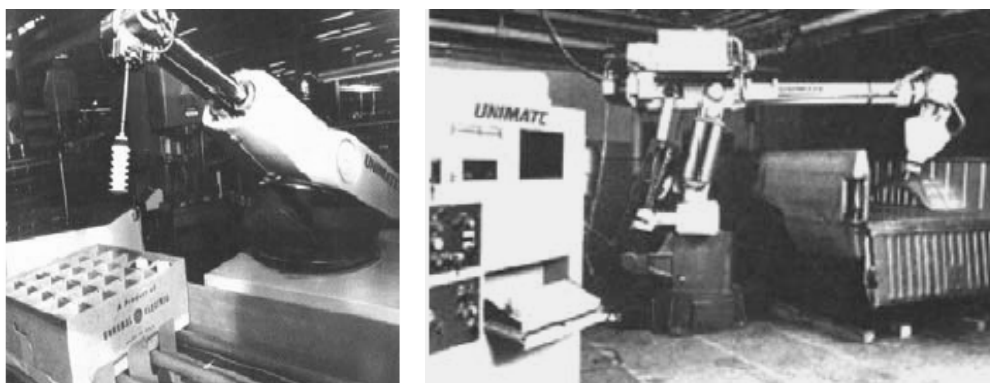


Abb. 3-1: „Unimate“ als Schweißroboter (links), „Unimate“ als Handhabungsgerät (rechts)

[Gün-07]

Ein baugleicher Roboter wurde dann zwei Jahre später als Handhabungsgerät in der Produktion bei General Electric (GE) verwendet (Abb. 3-1 rechts).

Im Entwicklungsverlauf der Roboter bis heute wurden vor allem die Geschwindigkeit, die Genauigkeit, der Antriebsstrang, die Handhabungsgewichte, der Programmumfang sowie die Integration komplexer Peripheriegeräte in die Steuerung stark verbessert. Die stetige Weiterentwicklung im Bereich der Robotik ermöglicht ein breites Anwendungsspektrum für Roboter. [Gün-07], [Kre-94]

3.1.2 Industrieroboter

Nach VDI-Norm 2860 sind „Industrieroboter (...) universell einsetzbare Bewegungsautomaten mit mehreren Achsen, deren Bewegungen (...) frei (d.h. ohne mechanischen Eingriff) programmierbar und gegebenenfalls sensorgeführt sind. Sie sind mit Greifern, Werkzeugen oder anderen Fertigungsmitteln ausrüstbar und können Handhabungs- und/oder Fertigungsaufgaben ausführen.“ ([VDI-2860], S. 15)

Industrieroboter sind Automatisierungskomponenten und gehören zur Klasse der Handhabungsgeräte. Handhaben ist definiert als „das Schaffen, definierte Verändern oder vorübergehende Aufrechterhalten einer räumlichen Anordnung von geometrisch bestimmten Körpern in einem Bezugssystem“([Wec-05], S. 539). Gemäß dieser Definition bezeichnet man Geräte, die geometrisch bestimmte Körper im Raum positionieren und/oder orientieren, als Handhabungsgeräte.

Das vorrangige Ziel von Industrierobotern als Handhabungsgeräte besteht darin, „eine Nutzlast in kurzer Zykluszeit ausreichend genau in verschiedene frei programmierbare Positionen zu bringen“([Hes-93], S. 41-42).

Schwachstellen von Industrierobotern sind sowohl die statische als auch dynamische Nachgiebigkeit des mechanischen Aufbaus, welche wesentlich höher als bei Werkzeugmaschinen sind. Die hohe statische Nachgiebigkeit wirkt sich aufgrund des meist hohen Eigengewichts der bewegten Roboterteile negativ auf die Absolutgenauigkeit aus. Der Begriff Absolutgenauigkeit bezeichnet die „Streubreite (...), mit der ein Punkt im Arbeitsraum bezogen auf ein ortsfestes Koordinatensystem erreicht wird“ ([Wec-05], S. 541). Die dynamische Nachgiebigkeit beeinflusst die Bahngenauigkeit der Roboterbewegungen entscheidend. Roboter erreichen aufgrund einer höheren dynamischen Nachgiebigkeit eine geringere Bahngenauigkeit als Werkzeugmaschinen. Deshalb sind sie für hochpräzise Fertigungsaufgaben weniger geeignet. [Wec-05]

Stärken von Industrierobotern sind die hohen Geschwindigkeiten und Beschleunigungen aller beweglichen Achsen, die bei zugleich hoher Nutzlast erreicht werden können. Des Weiteren zählen aufgrund der freien Programmierbarkeit die hohe Flexibilität sowie univer-

selle Einsetzbarkeit zu den positiven Eigenschaften. Ermöglicht wird dies durch das Zusammenspiel von präzisen Hardware-Komponenten aus dem Maschinenbau und der Feinmechanik sowie anspruchsvoller Steuerungs- und Regelungstechnik. Verglichen mit Werkzeugmaschinen lassen sich mit Industrierobotern in der Regel wesentlich größere Arbeitsräume realisieren.

3.1.3 Bauarten

Industrieroboter gibt es in den verschiedensten Ausführungen. Die häufigsten davon sind Knickarm-, Portal-, oder SCARA-Roboter (SCARA engl. Abkürzung für: Selective Compliance Assembly Robot Arm) (Abb. 3-2).

Das wesentliche Merkmal zur Unterscheidung der verschiedenen Bauarten von Industrierobotern ist deren kinematischer Aufbau. Die Kinematik ist beliebig aus translatorischen und rotatorischen Achsen konfigurierbar. Die Achsen eines Roboters lassen sich in jeweils bis zu drei Haupt- und Nebenachsen unterteilen. Hauptachsen dienen dazu, die an den Roboter angeflanschten Endeffektoren, wie Greifer oder Werkzeuge, an einen bestimmten Punkt im Raum zu positionieren. Nebenachsen erfüllen den Zweck, die Peripherie des Roboters im Raum zu orientieren. Als Hauptachsen sind sowohl translatorische als auch rotatorische Achsen möglich, während Nebenachsen stets rotatorischer Art sind. Sonderfälle können es notwendig machen, Spezialbauformen mit Zusatzachsen oder redundanten Achsen zu verwenden, um z.B. den Arbeitsraum des Roboters zu vergrößern. [Kre-94], [Wec-05]

Der Aufbau der Kinematik eines Roboters bestimmt dessen Bauform und damit den Arbeitsraum (Abb. 3-2). Möglich sind quaderförmige, zylindrische oder hohlkugelförmige Arbeitsräume. Sechssachsknickarmroboter haben einen annähernd sphärischen Arbeitsraum, Portal- und Pendelarmroboter können Objekte innerhalb eines quaderförmigen und SCARA-Roboter eines zylindrischen Raums handhaben.

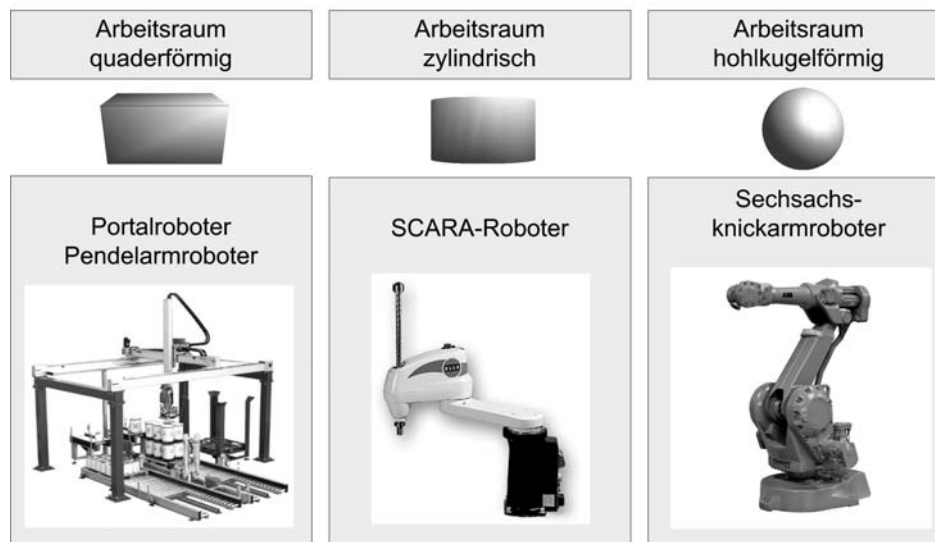


Abb. 3-2: Bauarten von Industrierobotern [Zäh-05], [kuk-07], [geb-07]

Die folgenden Absätze stellen die Bauformen eines Portal- und eines Sechs-Achs-Knickarmroboters näher vor, da diese für die Umsetzung der Funktionsvereinigungskonzepte geeignet sind. SCARA-Roboter sind auf Grund ihres eingeschränkten Greif- und Bewegungsraumes für einzelne spezielle Funktionen, bspw. für das Verpacken geeignet.

3.1.3.1 Portalroboter

Die drei linearen Hauptachsen eines Portalroboters schaffen einen Greifraum, der Möglichkeiten zur Erweiterung hinsichtlich Größe und Leistung bietet. Bei dieser Bauweise ist es auf relativ einfache Art und Weise möglich, das Portal zu vergrößern oder mehrere Roboter im gleichen Greifraum arbeiten zu lassen. Ein weiterer Vorteil der Portalroboter ist die Tatsache, dass der Boden vollständig frei bleibt, weil sich die Mechanik oberhalb der Stellfläche befindet. So kann der Boden als Bereitstell- oder Abgabefläche genutzt werden. [Sev-07]

Portalroboter bedienen auf Grund der drei Hauptachsen X,Y,Z einen kubischen Arbeitsraum. In der Regel kommen noch zwei rotatorische Nebenachsen (D und P) hinzu, womit sich eine fünfsachsige Kinematik ergibt (Abb. 3-3). Die Hauptachsen sind linear geführt. Dies ist zumeist über Laufrollen, die sich auf flachen oder prismatischen Führungsschienen bewegen, gelöst.

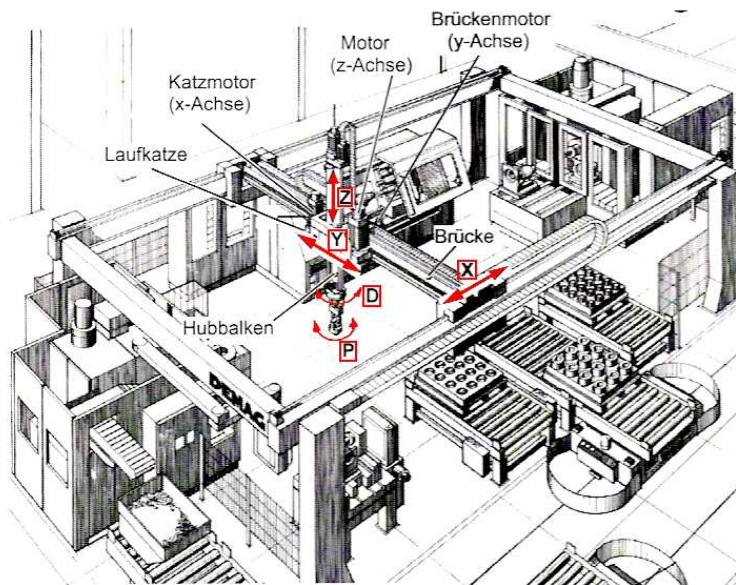


Abb. 3-3: Fünfachsigter Portalroboter in einer Fertigungszelle [Wec-05]

Als Antrieb der Hauptachsen dienen häufig mitlaufende Motoren. Es können auch ortsfeste Motoren verwendet werden, welche die Hauptachsen mittels traversierender Zahnriemen antreiben.

Diese Variante findet vor allem bei kleinen oder schnellen Portalrobotern Verwendung, um die bewegten Massen zu reduzieren. Ein über dem Z-Schieber positionierter Motor dient als Antrieb für die beiden Nebenachsen D und P.

Problematisch sind bei Portalrobotern eigengewichtsbedingte Verformungen der tragenden Struktur. Je größer der Arbeitsraum des Roboters umso größer ist der Grad der Verformungen. Dadurch sinkt die Bewegungs- und Positioniergenauigkeit. Eine mögliche Lösung für dieses Problem ist die Gestaltung der Tragprofile aus Carbonfaserkunststoff (CFK). Dies ermöglicht eine Halbierung der Masse bei gleichbleibender Steifigkeit gegenüber einer Stahlkonstruktion. [Wec-05]

3.1.3.2 Knickarmroboter

Die Knickarm-Kinematik zählt zu den am häufigsten verwendeten Bauarten unter den Industrierobotern. Der Knickarmroboter bietet einen hohlkugelförmigen Greifraum, da die Roboterkinematik in der Mitte des Arbeitsraumes aufgestellt ist.

Sechs-Achs-Knickarmroboter besitzen sechs Bewegungsfreiheitsgrade. In der Regel werden ausschließlich rotatorische Achsen verwendet und diese von Drehstrom-Servomotoren angetrieben. Die Hauptachsen bezeichnet man mit den Buchstaben A, B und C, die Nebenachsen mit D, E und P (Abb. 3-4, links). Der mechanische Aufbau eines Sechs-Achs-

Knickarmroboters besteht aus folgenden: Ständer, Karussell, Schwinge, Arm und Handgelenk.

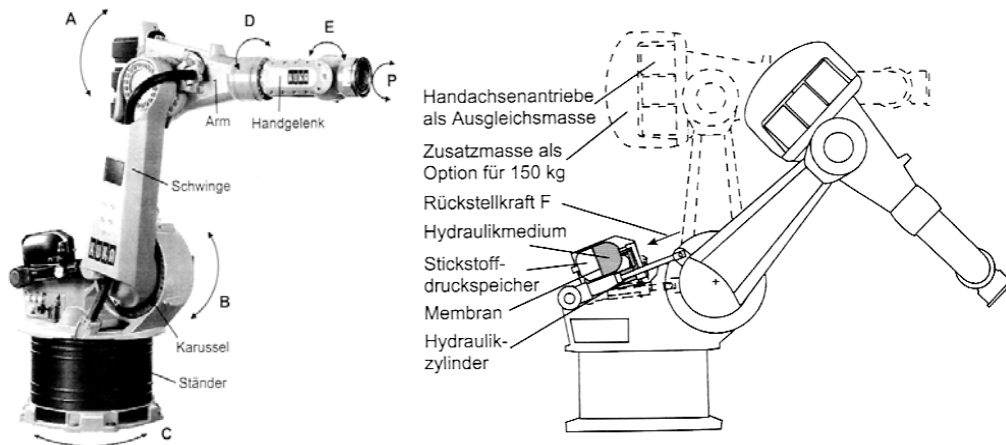


Abb. 3-4: Mechanischer Aufbau mit Bezeichnung der Achsen eines Sechsen-Achs-Knickarmroboters (links), mögliche Lösungen für den Drehmomentenausgleich um die A- und B-Achse (rechts) [Wec-05]

Diese Roboterbauart zeichnet sich durch ihre hohe Beweglichkeit aus, die durch die rotatorischen Achsen entsteht. Diese ermöglichen neben translatorischen Bewegungen auch Schwenkbewegungen. Ein weiterer Vorteil ist die kompakte und steife Bauweise der Knickarmroboter. [Hes-93]

Der Nachteil von Sechsen-Achs-Knickarmrobotern liegt darin, dass das Eigengewicht der Roboterteile (einschließlich dem Gewicht momentan gegriffener Objekte) ein Drehmoment sowohl um die A- als auch um die B-Achse erzeugt. Dies erfordert meist einen Massenausgleich für diese beiden Achsen, wobei es jeweils unterschiedliche Lösungen gibt (Abb. 3-4, rechts).

3.1.4 Auswahl und Anwendungsfälle

Die geeignete Wahl der für den jeweiligen Fall benötigten Roboterkinematik wird im Wesentlichen von den geforderten Leistungsmerkmalen bestimmt. Hierbei sind besonders die Positioniergenauigkeit, Nutzlast, Aktionsdynamik und der Arbeitsraum entscheidende Kriterien. [Zäh-05]

Diese stehen zum Teil in Widerspruch zueinander, wie die folgende Abbildung (Abb. 3-5) verdeutlicht.

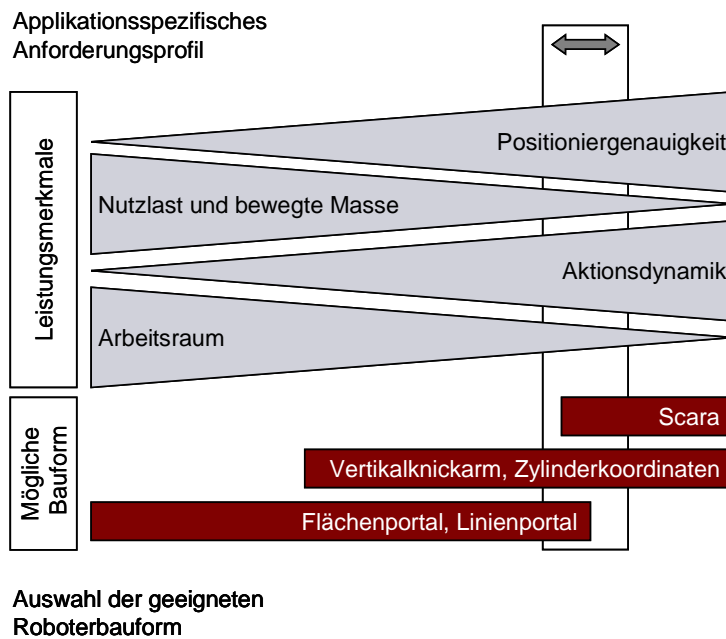


Abb. 3-5: Auswahl der geeigneten Roboterbauart anhand von Leistungsmerkmalen [Weck-05]

Obwohl Roboter sehr flexible Handhabungsgeräte sind, gibt es für viele Roboterarten typische Anwendungen, für die einzelne Kinematiken besonders geeignet sind. Einen Überblick der verschiedenen Roboterbauarten bzgl. typischer Eigenschaften und Anwendungsgebiete in Produktion und Logistik gibt die Abbildung 3-6.






Roboterbauart	Eigenschaften	Typische Anwendungen
<p>Portalroboter</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Ergänzung der kinematischen Kette durch Handachsen möglich • Hohe Nutzlasten und große Arbeitsräume möglich • Geringere Beweglichkeit als Knickarmroboter 	<p>Logistik:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Palettieren • Sortieren <p>Produktion:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Beschicken von Werkzeugmaschinen • Brennschneiden und Schweißen in großen Arbeitsräumen
<p>Vertikaler Knickarmroboter</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Hohe Genauigkeiten, große Beschleunigungen, da rein horizontale Bewegung möglich ist • Kostengünstiger als sechs Achsen, denn für viele Anwendungen reichen vier Achsen aus 	<p>Logistik:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Verpacken • Palettieren <p>Produktion:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bestücken von Leiterplatten • Montage • Beschicken von Maschinen
<p>Sechssachs-knickarmroboter</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Große Beweglichkeit durch sechs Achsen im Raum • Umgreifen von Hindernissen möglich • Flexibelste Roboterart 	<p>Logistik:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Palettieren • Etikettieren • ... <p>Produktion:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Schweißen, Klebstoffauftrag • Montage • ...
<p>Vertikaler Knickarmroboter mit Parallelkinematik</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Teilweise geschlossene kinematische Kette, dadurch größere Steifigkeit • Bei gleicher Baugröße prinzipiell größere Traglasten möglich • Parallelführung des Endeffektors 	<p>Logistik:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Palettieren • Handhabung schwerer Teile <p>Produktion:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Montage
<p>Parallelführung mit 6 Führungslenkern</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Hohe Dynamik durch kleine bewegte Massen • Alternative zu SCARA 	<p>Logistik:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Verpackungsaufgaben • Pick&Place-Anwendungen <p>Produktion:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bestücken von Leiterplatten

Abb. 3-6: Typische Eigenschaften und Anwendungen von Robotern [Woe-06], [soc-07], [kuk-07], [fan-07], [abb-07]

3.2 Objekthandhabung

3.2.1 Endeffektor

Ein Roboter als Maschine für die Objekthandhabung benötigt einen Robotergreifer als Endeffektor, also eine „Vorrichtung zum Greifen, (...) Festhalten und Ablegen von Objekten mit Hilfe kraftherzeugender oder formschließender Elemente“ zum Interagieren mit seiner Umwelt. ([Hes-91], S. 37).

Greifer werden am Roboterarm befestigt und zählen ebenso wie Werkzeuge oder Vereinzelungseinrichtungen zur mechanischen Peripherie von Robotern. Roboter als Handhabungsgeräte erfordern immer einen Greifer als Endeffektor.

Ein Greifer (Greifsystem) besteht aus folgenden Teilsystemen:

- dem Wirksystem, das eine Kopplung des Objektes an den Greifer ermöglicht,
- dem Antriebssystem, das die Energie für die Erzeugung der Greifkraft und zusätzliche Bewegungen zur Verfügung stellt,
- dem Trägersystem, das eine lösbare Verbindung zum Roboter bildet,
- dem Schutzsystem, welches Schäden am Handhabungsgerät und am Greifobjekt verhindern soll und
- dem Sensorsystem und dem Steuerungssystem, das alle benötigten Informationen liefert, verarbeitet und an die übergeordnete Steuerung weiterleitet.

Die Abbildung 3-7 zeigt einen schematischen Aufbau und den Zusammenhang der Teilsysteme eines Greifers.

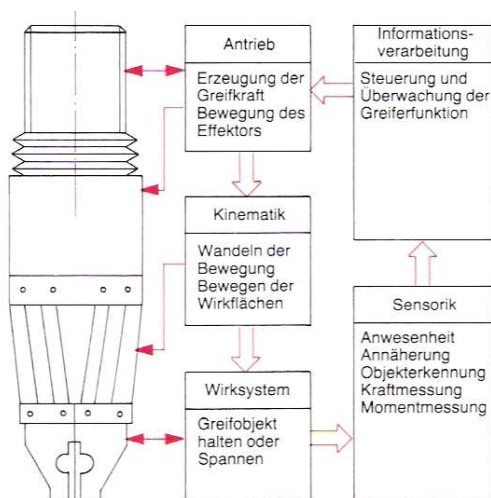


Abb. 3-7: Bestandteile eines Robotergreifers sowie deren Zusammenwirken ([Hes-93], S. 118)

3.2.1.1 Wirksystem

Das Wirksystem eines Greifers kann den Kontakt zum Greifobjekt durch Formschluss oder durch Kraftschluss erzeugen. So entstehen verschiedene Greifertypen, die sich durch die Nutzung unterschiedlicher Wirkprinzipien unterscheiden (Abb. 3-8).

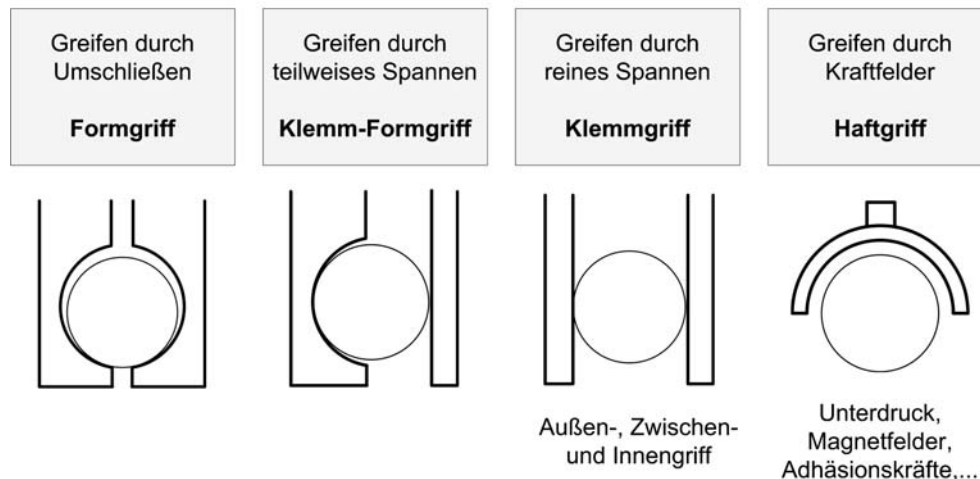


Abb. 3-8: Wirkprinzipien beim Greifen ([Hes-91], S. 23-24)

Nutzt der Greifer ausschließlich den Formschluss zum Festhalten des Objekts, so sind die Kräfte, die auf das Greifobjekt wirken, minimal. Die Schließkräfte, die der Greifer aufbringt, addieren sich zu Null, und auf das Objekt wirken nur Flieh- und Schwerkraft. Werden formschlüssige Elemente mit kraftschlüssigen kombiniert, so handelt es sich um einen Klemm-Formgriff. Ein derartiger Greifer kann auch unterschiedliche Objekte sicher greifen, ohne die Greiffinger zu wechseln. Beim reinen Klemmgriff wächst die Belastung des Werkstückes durch die Schließkräfte. Gleichzeitig steigt die Vielfalt der Objekte, die gegriffen werden können. Beim Greifen durch Kraftschluss ist ein Außen-, Innen- oder Zwischengriff möglich (Abb. 3-9). Hier wird unterschieden, an welchen Flächen des Körpers die Finger die Klemmkraft aufbringen.

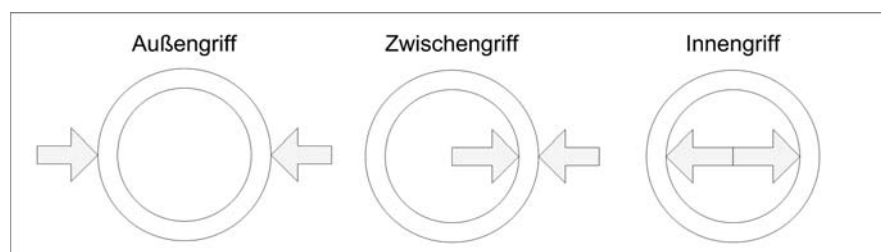


Abb. 3-9: Greifprinzipien beim Klemmgriff ([Hes-91], S. 19-20)

Außerdem ist es möglich, das zu greifende Objekt mit Hilfe von Kraftfeldern am Greifer haften zu lassen (Haftgriff). Verbreitet sind Vakuum- bzw. Sauggreifer und Magnetgreifer.

Magnetgreifer können auf Grund ihrer Wirkungsweise nur ferromagnetische Werkstoffe greifen. In der Stückgutlagerung ist der Großteil der zu greifenden Objekte aus nicht ferromagnetischen Materialien. Die Produkte sind in Folie und Kartons verpackt. Deshalb ist der Einsatz von Magnetgreifern hier nur in Ausnahmefällen möglich. Im Bereich der Handhabung sehr kleiner Bauteile sind Adhäsionsgreifer zu finden, die ebenfalls mit Kraftfeldern arbeiten.

Unabhängig vom Wirkprinzip muss der Greifer „statische, dynamische und prozess-bedingte Kräfte sowie Momente aufnehmen bzw. übertragen können. Statische Kräfte und Momente werden vom Werkstück hervorgerufen. Dynamische Kräfte oder Momente entstehen durch den Bewegungsablauf und aus prozessbedingten Vorgängen, wie z.B. Montieren.“ ([Hes-91], S. 25)

3.2.1.2 Antriebssystem

Das Antriebssystem (Abb. 3-10) sorgt für die Kräfte, die zum Greifen und Halten des Objektes nötig sind. Zur Manipulation hoher oder mittlerer Lasten benötigt man relativ große Kräfte. Deshalb werden hier meist hydraulische, pneumatische oder elektrische Antriebe verwendet. Man spricht in diesem Bereich von Makrogreifern. Müssen kleine empfindliche Bauteile bewegt werden, kommen Mikrogreifer zum Einsatz, die durch Piezo- oder Formgedächtnisantriebe Kräfte aufbringen. [Wol-05]

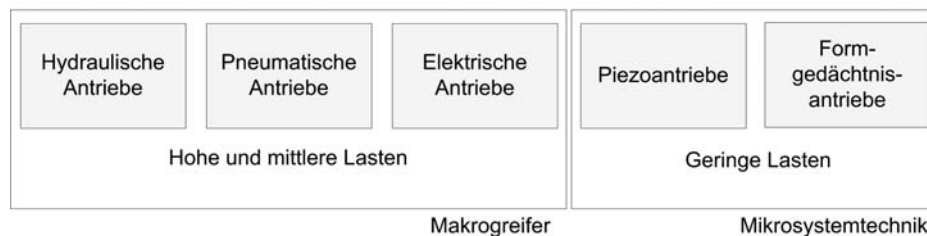


Abb. 3-10: Antriebsarten für Greifer [Wol-05]

3.2.1.3 Trägersystem

Das Trägersystem eines Greifers stellt die Verbindung zwischen Roboter und Greifer sicher. Um die Flexibilität der Handhabungseinrichtung zu erhöhen, ist es meist so ausgeführt, dass verschiedene Greifer an einem Roboter befestigt werden und dort arbeiten können. Um diesen Wechsel möglichst einfach zu gestalten, existieren unterschiedliche Greiferwechselsysteme (Abb. 3-11 links). Diese übertragen zwischen den Elementen des Handhabungssystems die Kräfte und Momente und ermöglichen die Übermittlung von Informationen und Energie. [Hes-91], [Wol-04].

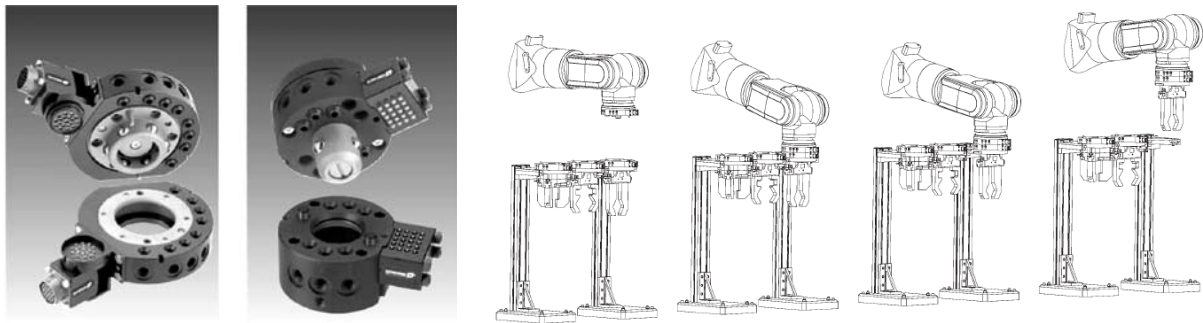


Abb. 3-11: Greiferwechselsystem (links) [Sch-06d], Vorgang einer automatischen Greiferaufnahme durch einen Roboter (rechts) [som-08]

Häufig finden automatische Greiferwechselsysteme Verwendung (Abb. 3-11 rechts). Weitere Möglichkeiten wären ein manueller Wechsel des Greifers oder die Gestaltung des Greifers als Revolver mit mehreren integrierten Greifsystemen. [Kre-94]

Automatische Greiferwechselsysteme setzen sich aus folgenden Teilsystemen zusammen:

- einer Wechsellvorrichtung mit Halte-, Zentrier-, Trenn- und Koppellelementen,
- Träger und Adapter,
- einem Greiferspeicher sowie
- Teile einer Steuerung (Sensoren, Aktoren, Logik)

Diese Elemente realisieren einen vollautomatischen Greiferwechsel, indem diese die mechanische und energetische Verbindungen zum Greifer herstellen. Daneben muss auch eine informatorische Verbindung zur Übertragung von Sensorsignalen möglich sein. [Hes-93]

3.2.1.4 Schutzsystem

Der Vollständigkeit halber sei auch das Schutzsystem genannt. Das Schutzsystem soll mögliche Schäden am Handhabungsgerät und am Greifobjekt verhindern: Die vorhandenen Sensor- und Steuerungssysteme sammeln und verarbeiten alle benötigten Informationen und leiten diese an die übergeordnete Steuerung weiter.

3.2.2 Gliederung der Greifer

3.2.2.1 Größe

Je nach Größe der zu manipulierenden Objekte existieren unterschiedliche Greifer, die sich vor allem durch die Greifkraft unterscheiden. Bei besonders empfindlichen Werkstücken kommen unkonventionelle Haftprinzipien zum Einsatz, wie z.B. bei der Adhäsionsgreifertechnik, welche die Oberflächenspannung von Flüssigkeiten nutzt, um die Anhaftung eines kleinen Objekts, z.B. eines Chips, am Greifer zu erreichen [Wol-04]. Beispielhaft zeigt die

folgende Abbildung (Abb. 3-12) Greifer für verschiedene Bauteilgrößen. Der größte dargestellte Greifer dient zum Transport von Schweinehälften in der Fleischindustrie. Wesentlich kleiner sind die Greifobjekte des Miniaturgreifers in der Mitte, der Bauteile für Uhren aufnehmen kann, während der Mikrogreifer bei der Handhabung elektronischer Elemente eingesetzt wird.

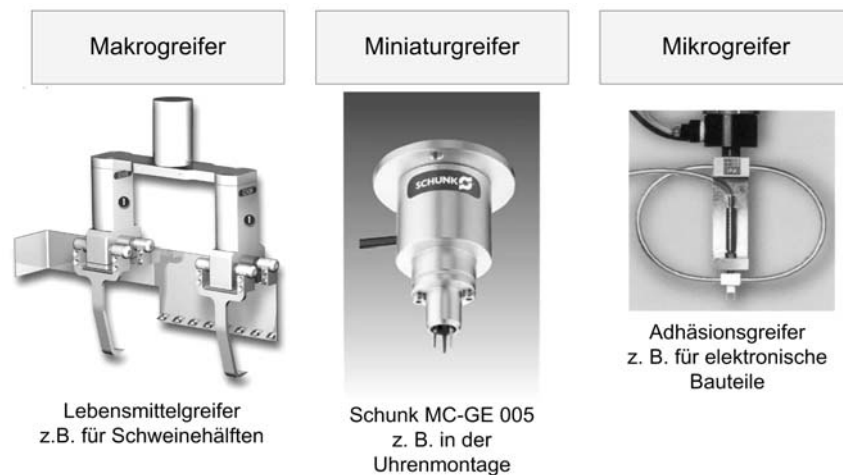


Abb. 3-12: Greifer für unterschiedliche Bauteilgrößen [Sch-06c], [Wol-04]

3.2.2.2 Anzahl der gegriffenen Objekte

Um die Leistung einzelner Handhabungsgeräte zu erhöhen, können Greifer verwendet werden, die mehrere Objekte gleichzeitig greifen können (Abb. 3-13). Da die Kosten für einen Greifer meist wesentlich geringer sind als die für die Bewegungseinrichtung (Roboter), ist es in vielen Fällen sinnvoll, einen komplexen Mehrfachgreifer einzusetzen, um damit die Anzahl der benötigten Roboter gering zu halten. [Wol-04]



Abb. 3-13: Einzel-, Doppel- und Mehrfachgreifer [Hes-91], [Sch-06c], [Sch-06b]

3.2.2.3 Wirkprinzip

Grundsätzlich können nach der Art des Wirkprinzips alle Greifer in mechanische oder fluidische Greifer eingeteilt werden. Da sich diese beiden Gruppen von Greifern in vielen Eigenschaften unterscheiden, behandeln die nächsten beiden Abschnitte die Thematik der mechanischen und fluidischen Greifer (Abb. 3-14).

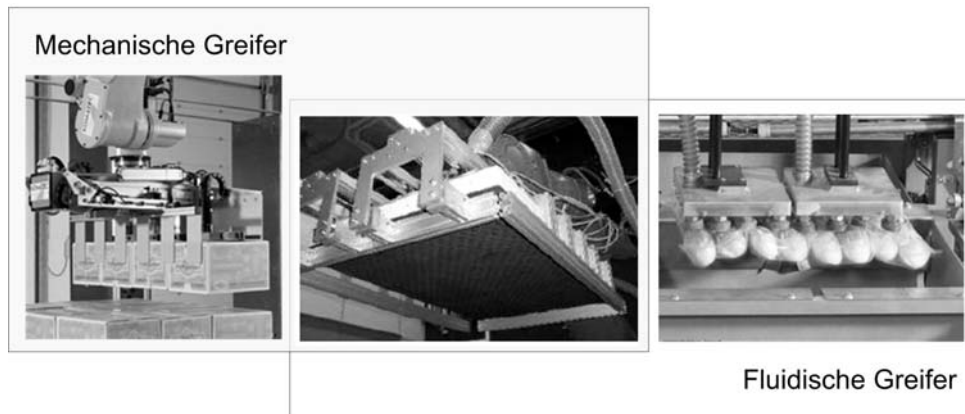


Abb. 3-14: Mechanische und fluidische Greifer [kom-07], [Sch-06b]

Weit verbreitet sind mechanische Greifer, die Objekte durch Klemmen oder Formschluss greifen. Oft bestehen diese klassischen Greifersysteme aus zwei oder mehr Fingern, die parallel oder zentrisch verfahren. Selbstverständlich sind auch andere Verfahrensbewegungen möglich.

Bei der Lagerung von Stückgütern muss meist verpackte Ware manipuliert werden. Ein Großteil dieser Güter hat im weitesten Sinne die Form eines Quaders (Abb. 3-15).



Abb. 3-15: Greifobjekte im Lager [Lam-06]

Aus diesem Grund finden sich im Bereich des Lagers viele Greifer, die auf die Handhabung quaderförmiger Körper spezialisiert sind. Bei vielen Anwendungen müssen Objekte aus einem Verbund, z.B. von einer Palette, entnommen werden. Deshalb sind die Greifer möglichst schlank gestaltet, so dass der Greifer zwischen die Objekte fassen kann und ein Greifen der einzelnen Objekte möglich ist (Abb. 3-16 links).



Abb. 3-16: Klemmgreifer (links) [kom-07] und Universalgetränk kastengreifer (rechts) [rei-07]

Vor allem in der Getränkeindustrie, in der die Automatisierung von Handhabungsaufgaben weit vorangeschritten ist, sind viele Sondergreifer im Einsatz, die auf das Greifen von Getränkekästen spezialisiert sind (Abb. 3-16 rechts). Auf Grund des überschaubaren Warenpektrums ist es in diesem Bereich möglich, mit einem flexiblen Greifer alle Getränkekästen sicher zu greifen und auf Paletten zu stapeln. Getränkekästen sind jedoch nur ein Beispiel für Mehrwegbehälter, die in den verschiedensten Branchen Verwendung finden.

Die Machbarkeit bei mechanischen Greifern zeigt die DLR-Fünf-Finger-Hand (Abb. 3-17). Dieser Nachbau der menschlichen Hand bildet die Greifprinzipien eines flexiblen Form- und Klemmgriffs ab.

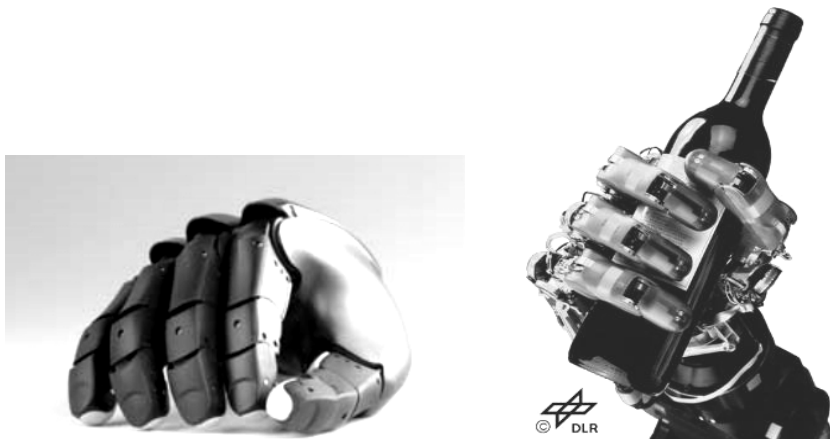


Abb. 3-17: Hybride Griffart der „DLR Hand“ [dlr-08]

Die verbaute Sensorik in der Hand erlaubt ein mit der Realität vergleichbares, mit Druckkraft gesteuertes Greifen. Dieser Greifer kann als Endeffektor an einem Roboter genauso montiert werden wie die anderen gezeigten Greiferbeispiele. Die verbreitete Anwendung wird durch den derzeitigen Preis ca. 50.000€ und der max. zulässigen Kraft je Finger von ca. 30 Newton eingeschränkt. So sind Anwendungen wie bspw. das Kommissionieren von einzelnen Produkten möglich, aber auf Grund des hohen Preises nicht wirtschaftlich realisierbar.

Ein weiterer Ansatz des mechanischen Greifens wird durch die sog. Aufwalzgreifer umgesetzt (Abb. 3-18). Sie ermöglichen den Zugriff auf einzelne Objekte in einem Stapel. Die Form des Greifobjektes ist dabei unerheblich, solange eine annähernd ebene Grundfläche vorhanden ist. Aufwalzgreifer belasten die Produkte beim Greifen kaum. Deshalb ist das Greifprinzip auch für Objekte geeignet, die nicht form-stabil sind und beim Greifen durch einen Klemmgreifer verformt werden, wie z.B. Artikel, die lose oder eingeschweißt auf Kartontrays stehen. [Woh-05]



Abb. 3-18: Aufwalzgreifer [Woh-05], [csi-07]

Ein neuartiges Konzept zum Greifen von Körpern, die nicht an zwei gegenüberliegenden Wirkflächen gegriffen werden können, ist der Friktionsriemengreifer (Abb. 3-19). Dieser ausschließlich reibschlüssig wirkende Greifer erlaubt das Aufnehmen vielfältiger Körper durch zwei gegenläufig angetriebene Reibriemen, die in einem Winkel von beispielsweise 90° angeordnet sind. [Woh-05]

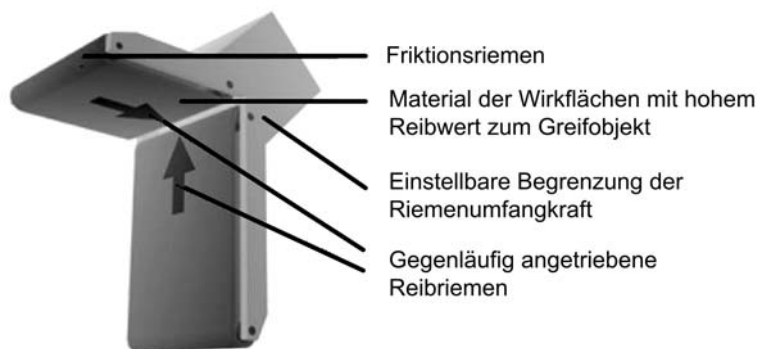


Abb. 3-19: Funktionsprinzip des Friktionsriemengreifers [Woh-05]

Stehen zum Greifen keine zwei gegenüberliegenden Flächen am Objekt zur Verfügung, gibt es außerdem noch die Möglichkeit, den Körper mit Hilfe eines fluidischen Greifers von oben an einer einzigen Wirkfläche festzuhalten.

Fluidische Greifer nutzen Unterdruck, um den Kontakt zwischen Greifobjekt und Greifer zu halten. In einem abgeschlossenen Raum, der zwischen dem Objekt und dem Saugelement entsteht, wird der Druck reduziert, so dass das Objekt am Greifer haftet. Derartige Greifer werden als Vakuum- oder Sauggreifer bezeichnet. Auf Grund ihrer Funktionsweise können sie nur Körper halten, deren Oberfläche eine luftdichte Verbindung zum Sauger ermöglicht. Durch ausreichende Vakuumerzeugung sind auch Werkstücke mit Durchbrüchen oder aus porösen Materialien greifbar. Für eine störungsfreie Funktion der Sauger ist, vor allem bei mehreren Saugern, eine gute Anlage auf der Oberfläche des Greifobjektes nötig. Gegebenenfalls sind Ausgleichsmöglichkeiten z.B. durch Federelemente oder Gelenke vorzusehen. [Hes-91]

Generell unterscheiden sich beim Greifen mit Vakuum zwei Prinzipien: „Lokale Saugzellen“ und „Globale Saugzelle“. Verbreitet sind vor allem lokale Saugzellen, die mit einzelnen Saugern (Abb. 3-20) oder technischem Schaum (Abb. 3-21 rechts) arbeiten. Die globale Saugzelle (Abb. 3-21 links), die nur geringen Unterdruck benötigt, kommt nur sehr selten vor. Das gesamte Greifgut befindet sich dabei in einer großen Saugzelle, die an den Rändern mit einem biegeschlaffen Vorhang abgedichtet wird. „Um die dabei auftretende hohe Leckage auszugleichen, muss mit sehr hohen Absaugleistungen gearbeitet werden.“ [Sch-07]



Abb. 3-20: Teleskop-, Flach- und Ovalsauger [hei-07]

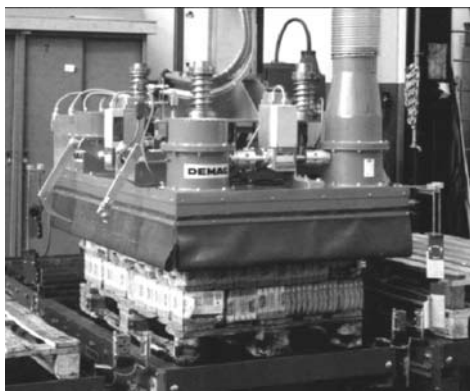


Abb. 3-21: Globale Saugzelle (links) und technischer Schaum (rechts) [Sch-07]

Sauggreifer können eine Vielzahl an Materialien greifen und benötigen dazu nur eine zugängliche Wirkfläche. Wegen dieser großen Flexibilität und Anwendungsvielfalt sind Vaku-

umgreifer in der Materialflussautomatisierung weit verbreitet. Dennoch bringt auch dieses Wirkprinzip Probleme mit sich:

- Sauger greifen stets von oben, um die Gewichtskraft optimal aufnehmen zu können. Bei Objekten deren Fläche nach oben sehr klein ist, wie z.B. bei Flaschen, ist die Handhabung erschwert.
- Können sich Deckel oder Verpackung vom Produkt lösen, ist die Manipulation durch einen Vakuumgreifer ebenfalls unmöglich.
- Beim Transport von Trays oder anderen Einheiten entstehen Probleme, wenn der Sauger Elemente der Greifeinheit nicht sicher festhalten kann.
- Sobald Öffnungen oder Durchbrüche z.B. durch poröse Werkstoffe auftreten, muss die Vakuumpumpe ständig den Druckverlust ausgleichen.

Bei translatorischen Bewegungen entstehen durch die Beschleunigung Querkräfte. Da Vakuumgreifer so konstruiert sind, dass sie hohe Normalkräfte aufnehmen können, ist die Möglichkeit, Querkräfte aufzunehmen, beschränkt. Wenn die Beschleunigungen hoch sind, kann es dadurch zum Abreißen des Objektes kommen (Abb. 3-22). Abhilfe kann hier eine Pendelbewegung zur Querkraftkompensation schaffen. [Sch-06b], [Fri-06]

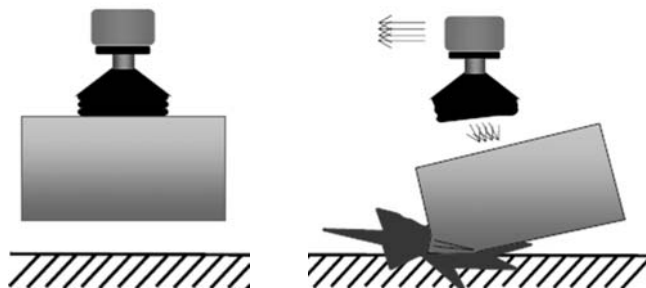


Abb. 3-22: Abreißen des Greifobjekts bei hohen Querbeschleunigungen [Fri-06]

Auf Grund der oben genannten Einschränkungen, kann es in vielen Fällen nötig sein, einen Sauggreifer mit mechanischen Greifelementen zu kombinieren, um die Vorteile beider Systeme zu nutzen (Abb. 3-23 links). [NN-06f]

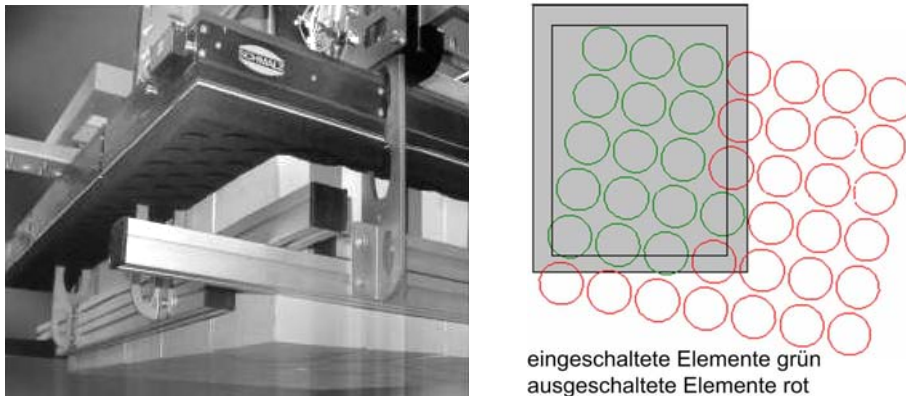


Abb. 3-23: Vakuumlagergreifer mit mechanischen Elementen (links), [Sch-06b] Funktionsweise eines Matrixsaugers (rechts) [Fri-06]

Ein großer Vorteil der Vakuumtechnik entsteht durch die Kombination einer Vielzahl steuerbarer Saugelemente. Diese schalten ab, wenn sie nicht am Greifobjekt anliegen, um so den Druckverlust und die Geräuschemission gering zu halten (Abb. 3-23 rechts). Auf diese Weise entstehen hochflexible Matrixsauger (Abb. 3-24 links), die zusammen mit geeigneter Sensorik fähig sind, Greifobjekte im Mehrfachgriff aufzunehmen und diese einzeln wieder abzugeben. Nutzt man als Saugelemente Faltenbalg- oder Teleskopsauger (Abb. 3-24 rechts), können Unebenheiten ausgeglichen werden, ohne dass weitere konstruktive Ausgleichsmöglichkeiten notwendig sind. Wenn man mit Objekten arbeitet, die eine ansaugbare Oberfläche bieten und aus einer Einheit bestehen, kann man mit einem Matrixsauger Taktzeit gewinnen, da mehrere Artikel auf einmal gegriffen werden und kein Greiferwechsel nötig ist. [Wur-05]

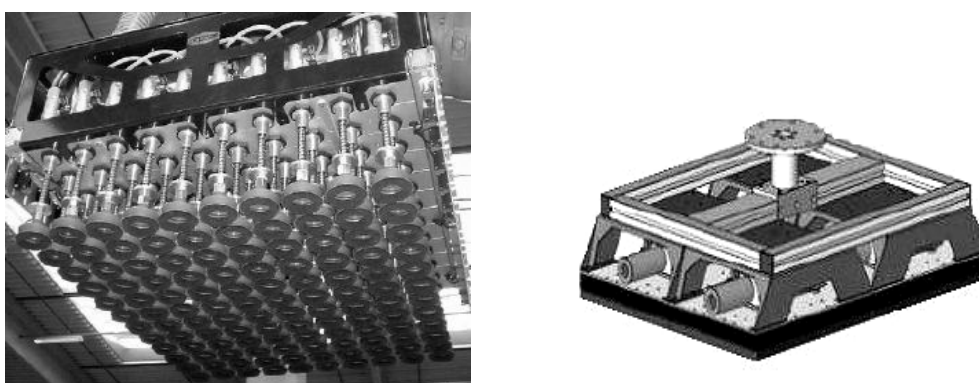


Abb. 3-24: Matrixsauger (links), Greifer aus Flächensaugmodulen (rechts) [Sch-06e]

3.2.3 Sensorik und Datenverarbeitung

Nur mit einer leistungsfähigen Sensorik kann die Flexibilität eines Roboters vollständig genutzt werden. Während früher durch Berührung und Justierung auf die Position der Greifobjekte

jekte geschlossen werden musste, macht heute der Einsatz einer effizienten Bildverarbeitung eine aufwändige Positionierung der Objekte vor dem Greifprozess unnötig. Erst durch die Sensorik und Datenverarbeitung kann ein Robotersystem zu intelligenter und flexibler Handhabungstechnik werden. [Led-05]

Sensorik und Datenverarbeitung identifizieren und lokalisieren die zu greifenden Artikel und können geeignete Abgabeorte erkennen. Die Steuerung arbeitet mit diesen Daten, plant die Bewegungen von Roboter und Greifer und kann mit speziellen Algorithmen, z.B. zur optimalen Palettierung, auch komplexe Aufgaben erfüllen. [Fri-04]

Es existieren verschiedene Verfahren zur Lokalisierung von Greifobjekten im Raum. Angesichts der Anforderungen an die Sensorik bei Lager- und Kommissionierprozessen ist es sinnvoll auf zwei Prinzipien einzugehen: zweidimensionale und dreidimensionale Bildverarbeitungsverfahren [Wur-05]

3.2.3.1 Zweidimensionale Bildverarbeitungsverfahren

Bei zweidimensionalen Verfahren wird die Position der Objekte in der Ebene ermittelt. Ihre Lage im Raum wird nicht mit Hilfe der Bildverarbeitung festgestellt. Die Bildverarbeitung findet die Objekte durch eine Merkmalsuche, z.B. durch die Suche nach Rechtecken. Dazu werden die Sensordaten in einem ersten Schritt mit Hilfe von Berechnungsfiltren vorverarbeitet. Die aufbereiteten Daten gelangen dann zur eigentlichen Datenverarbeitung, die durch verschiedene Analyseverfahren (Blob Analyse, Pattern Matching, etc.) einen Merkmalsvektor erstellt. Dessen Werte führen daraufhin zur geforderten Entscheidung, z.B. der Lage des Objektes (Abb. 3-25).

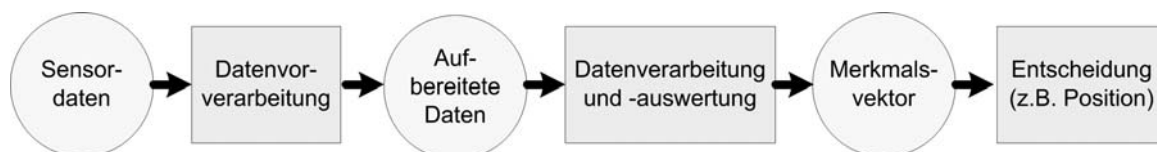


Abb. 3-25: Schritte innerhalb der Bildverarbeitung [Led-07]

Auf diese Weise wird die Position der Objekte in zwei Dimensionen bestimmt. Die dritte Dimension kann das System beispielsweise über einen taktilen Sensor am Greifer erhalten. Zusammen mit den gespeicherten Informationen über die Form der Körper entsteht bei Anwendungen mit geringen Anforderungen an die Genauigkeit und Flexibilität eine ausreichende Datenbasis, die ein sicheres Greifen der Objekte ermöglicht. Deshalb sind 2D-Bildverarbeitungssysteme in vielfältigen Applikationen im Einsatz. [Wur-05], [Pan-05], [Led-07]

Doch der Schluss von 2D-Daten auf 3D-Informationen liefert nicht immer stabile Ergebnisse und ist daher nicht für jeden Einsatz zulässig. Deshalb existieren dreidimensionale Bildverarbeitungsverfahren.

3.2.3.2 Dreidimensionale Bildverarbeitungsverfahren

Verwendet man dreidimensionale Lokalisationsverfahren, so erhält man tatsächlich eine dreidimensionale Information über die Szene. Die Objekte werden durch ihre geometrischen Eigenschaften beschrieben, nicht nur durch ihre Reflexionseigenschaften. Weit verbreitet ist das Lichtschnittverfahren (Abb. 3-26). Der Laser scannt alle Ebenen der Szene und eine Hochgeschwindigkeitskamera erfasst die zweidimensionalen Bilder. Die Bildverarbeitung setzt die Bilder übereinander und erzeugt das dreidimensionale Abbild. Mit der Sensorik ist dadurch nicht nur ein Wiedererkennen der Objekte möglich, sondern ein direktes Erkennen. Dadurch entfällt das Einlernen oder Einrichten neuer Objekte. [Wur-05], [Ste-03]

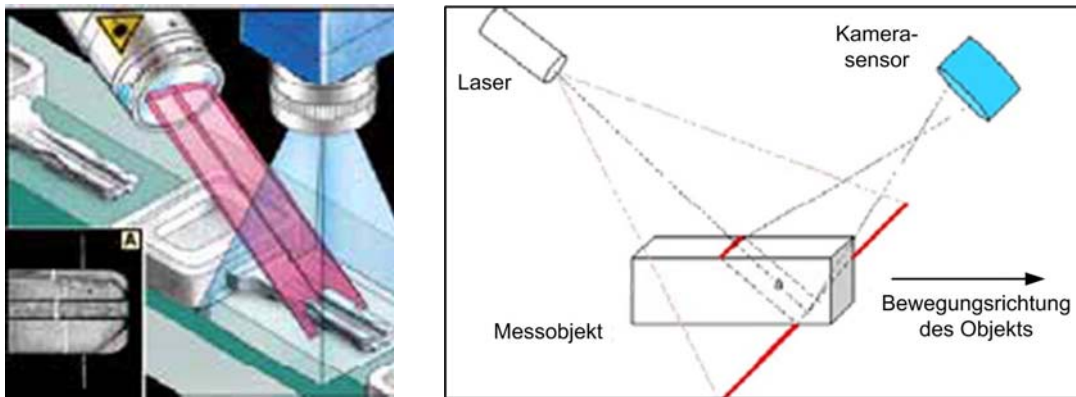


Abb. 3-26: Lichtschnittverfahren [Fri-06]

Jenseits der reinen Lageerkennung sind durch das dreidimensionale Bild Kollisionsprüfungen und intelligentes Reagieren auf unvorhergesehene Situationen, wie z.B. verrutschte Palettenladungen, möglich [Led-07]. Die 3D-Bildverarbeitung kann zu sicheren Prozessen führen und bietet Lösungen für Probleme, die mit 2D-Systemen nicht beherrschbar sind.

3.2.3.3 Grenzen für den Einsatz von optischen Systemen

„Die Basis menschlichen Sehens ist Wissen - die Basis maschinellen Sehens ist die Beleuchtung.“ ([Led-05], S. 41)

Die wesentlichen Probleme beim Einsatz von Kamerasystemen entstehen durch wechselnde Lichtverhältnisse, hervorgerufen von einfallendem Fremdlicht oder anderen Ursachen. Gleichzeitig können sich die Reflexionseigenschaften der Objekte verändern, z.B. durch den Wechsel von Materialien. Im Distributionsprozess kann dies geschehen, wenn die Objekte mit verschiedenartigen Folien eingeschweißt oder umwickelt sind. Außerdem ist es möglich,

dass Vibrationen der Objekte oder des Kamerasystems die Sensordaten unsicher machen. Diese Probleme sind nicht un-lösbar, bergen jedoch Risiken, die beachtet werden müssen. [Led-05], [Pan-05]

Ungünstig im Bezug auf den Rechenaufwand sind viele Varianten möglicher Objekte, hohe Toleranzen, wechselnde Merkmale oder bewegte Ware. In ungünstigen Fällen führen diese Bedingungen dazu, dass die Grenzen des Kamerasystems erreicht werden und dieses die Geschwindigkeit der Anlage begrenzt. Gegebenenfalls müssen die Prozessbedingungen und die Vorprozesse so angepasst werden, dass ein sicheres Arbeiten des gesamten Handhabungssystems gewährleistet ist. [Led-05], [Pan-05], [Led-07]

Trotzdem sind Kamerasysteme sehr flexibel einsetzbar, weil im Gegensatz zum Scanner bei der Kameratechnologie Beleuchtung und Sensor getrennt sind. Deshalb ist es möglich, sie optimal aufeinander abzustimmen, um störenden Einflüssen wie z.B. reflektierenden Folien zu begegnen. [Ste-03]

3.2.4 Greifbarkeit

Im Gegensatz zu Automaten, wie z.B. Kommissionierautomaten, Verpackungsautomaten, können Roboter flexibel eingesetzt werden (Abb. 3-27). Durch ihre aufwendige Kinematik und ihre freie Programmierbarkeit sind diese den Automaten, die stets die gleichen Bewegungen durchführen in vielen Fällen überlegen. Roboter sind durch geeignete Sensorik und Steuerung fähig, Fehler und Toleranzen auszugleichen. So kann ein Roboter ein Objekt auch dann greifen, wenn dessen Position veränderlich ist.



Abb. 3-27: “IRB 340 FlexPicker“ verpackt Pralinen [abb-07], Pharmakommissionierung mit Kommissionierautomat [kna-08]

Geht es um das Greifen logistischer Einheiten, so sind die äußerste Verpackung sowie die Eigenschaften der gesamten Packung von Bedeutung. Deshalb beschränkt sich die Betrachtung

tung auf die Oberfläche der Packung und deren Eigenschaften hinsichtlich Formstabilität, Empfindlichkeit und möglicher Greifflächen.

Auf diese Art und Weise werden Klassen von Produkten zusammengestellt, die z.B. die flexible Saugertechnologie greifen kann. Objekte, die mit Vakuumgreifern manipuliert werden, haben im Idealfall eine ebene geschlossene Oberfläche, sind formstabil und bestehen aus einer Einheit. Die Klasse umfasst dann Becher genauso wie Dosen, Schachteln oder Weithalsgläser. Diese können einzeln vorliegen, zu mehreren verschweißt oder in Kartons verpackt sein. In jedem Fall kann der Sauggreifer ein Produkt mit den oben genannten Eigenschaften sicher festhalten.

Die folgende Abbildung 3-28 fasst für die verbreiteten Greiferarten die Anforderungen zusammen, die die zu greifenden Objekte erfüllen müssen, damit ein sicheres Greifen möglich ist.

Klemmgreifer	Formgreifer	Sondergreifer	Aufwälgreifer	Vakuumgreifer
<p>Formstabile Objekte, die nicht unbedingt aus einer Einheit bestehen müssen. Gegenüberliegende Wirkflächen müssen zugänglich sein.</p> <p>Beispiele: Kartons mit Deckel, Dosen auf Tray eingeschweißt</p>	<p>Empfindliche Objekte mit geeigneten Greifflächen, die nicht aus einer Einheit bestehen müssen. Gegenüberliegende Wirkflächen müssen zugänglich sein, außer wenn von unten gegriffen werden kann.</p> <p>Beispiele: Becher lose auf Tray, Getränkepackungen</p>	<p>Objekte mit geeigneten Greifflächen.</p> <p>Beispiele: Getränkekästen, KLT, Behälter</p>	<p>Objekte mit weitgehend ebener Aufstandsfläche. Gute Zugänglichkeit von einer Seite und von oben. Reibwert zum Untergrund möglichst niedrig.</p> <p>Beispiele: Getränkepackungen, Dosen oder Becher auf Tray</p>	<p>Formstabile Objekte mit möglichst ebener und geschlossener Oberfläche. Zugänglichkeit von oben. Packung muss aus einer Einheit bestehen.</p> <p>Beispiele: geschlossene Kartons, eingeschweißte Trays, Dosen, Gläser</p>

Abb. 3-28: Greiferarten mit Anforderungen an Greifobjekte

Auch die VDI-Richtlinie 4415 schlägt ein ähnliches Vorgehen vor. Hier werden für eine automatische Kommissionierung die folgenden Merkmale der Greifeinheiten zur Auswahl eines geeigneten Systems herangezogen:

- Abmessungen,
- mechanische Eigenschaften,
- optische Eigenschaften (Wiederkehrendes Etikett, Barcode,...),

- chemische Eigenschaften (Haltbarkeit, Temperatur,...),
- Oberflächenbeschaffenheit,
- Gewicht und Gewichtsverteilung und
- weitere Attribute wie Stapelbarkeit, Anordnung im Lagerbehälter. [VDI-4415]

3.3 Beispielhafte Roboteranwendungen in der Logistik

Die ausgewählten Beispiele in diesem Abschnitt befassen sich mit Roboteranwendungen aus dem Bereich der Stückgutlagerung. Dort findet man vor allem verpackte Produkte, da die Ware die Produktion bereits in einer verkaufs- und lagerfähigen Form verlässt. Die Verpackungen von Konsumgütern sind vielfältig: Sie unterscheiden sich in Material, Form und Aussehen. Betrachtet man jedoch nicht die Produkte selbst, sondern die logistischen Einheiten, die in Logistikzentren gelagert und verschickt werden, ist zu erkennen, dass die Anzahl unterschiedlicher Packungen sinkt. Viele Produkte in Bechern, Gläsern, Tuben oder Schachteln werden zu mehreren in Kartons verpackt oder z.B. auf einem Tray mit Folie eingeschweißt. Durch diese Verpackungsverfahren reduziert sich die Anzahl an Greifobjekten. Es verbleiben nur wenige Packungsarten, die mit verschiedenen Greifprinzipien manipuliert werden müssen.

3.3.1 Palettieren von Molkereiprodukten

In Norwegen palettiert ein Knickarmroboter Molkereiprodukte der TINE BA (Abb. 3-29). Aus der Abfüllmaschine gelangen Tetra-Paks auf Röllchenbahnen zur Palettierung. Die Robotergreifer fahren zwischen die Röllchen und greifen mehrere nebeneinander stehende Tetra-Paks formschlüssig von unten und stabilisieren gleichzeitig von oben und von der Seite. Abgelegt wird die Ware auf Paletten, die ein Rollenförderer ebenerdig bereitstellt. Durch die Elemente am Greifer, die von oben und von der Seite greifen, wird die Ware auf der Palette festgehalten, so dass das Greifelement unter der Ware herausgezogen werden kann. Der Roboter kann mit einem Greifer alle auftretenden Produkte greifen. Das Verwenden verschiedener Packmuster erzeugt eine stabile Palettenladung. Pro Stunde kann ein Roboter an dieser Anlage zehn Paletten bis zu 1,3 Meter hoch beladen. [KUK-03]

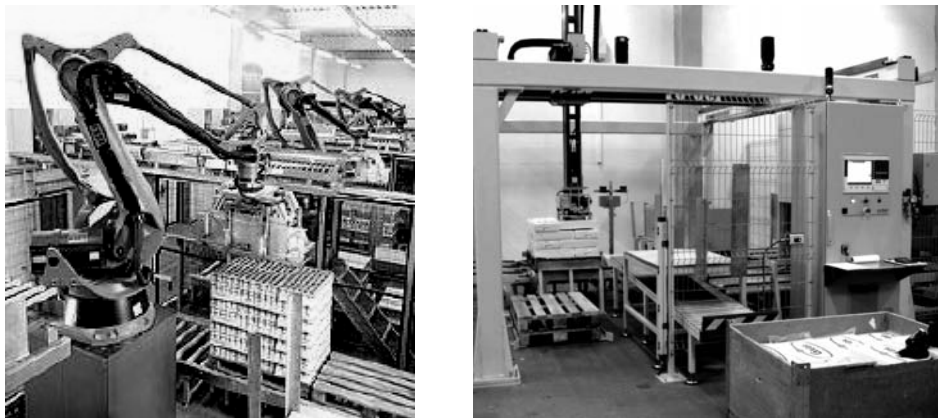


Abb. 3-29: Roboter palettiert Molkereiprodukte [KUK-03], [log-07a]

3.3.2 Getränkeboxen und -packungen

Im Anschluss an die Kastensortieranlage der Brauerei Hofbräuhaus stellt ein Palettierroboter das Leergut sortenrein zu Palettenladungen zusammen. Der Sondergreifer nimmt stets vier Kästen gleichzeitig auf und stellt sie auf eine Zielpalette. Ist eine Palette befüllt, so fördert ein Verschiebewagen sie ab und der Roboter greift eine neue Palette. Auf Grund der großen Reichweite des Roboters kann dieser vier Zuführbahnen bedienen. [KUK-00] Beim Getränkehersteller Hauser übernimmt seit 1999 ein Knickarmroboter die Aufgaben eines Lagenpalettierers. Der Roboter greift die Weichverpackungen, die sich auf Karton-Trays befinden, formschlüssig von der Seite und von unten (Abb. 3-30). Der Mehrfachgreifer ist dreigeteilt und kann so die Trays einzeln vom Greifer schieben. Dadurch ist er sehr flexibel, kann unterschiedliche Gebindegrößen greifen und in mehreren Lagenbildern ablegen. Zusammen mit der großen Wiederholgenauigkeit des Roboters entsteht eine stabile Palettenladung. [KUK-99a]

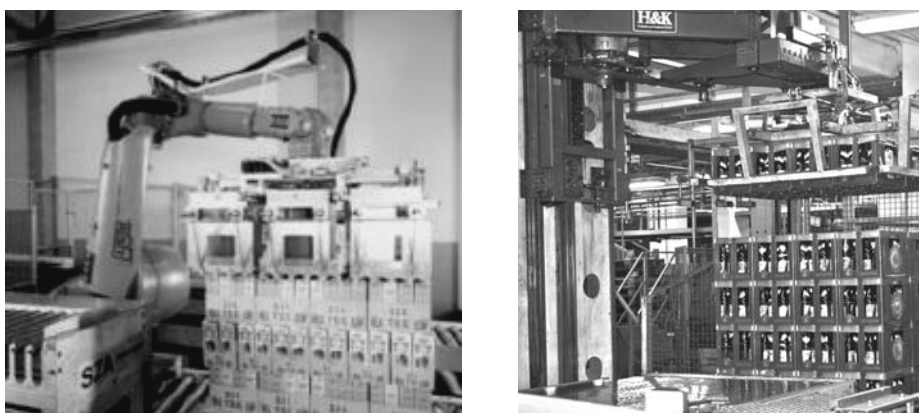


Abb. 3-30: Greifen von Getränkepackungen und -kästen [KUK-99a]

3.3.3 Entladen von Paketen

Im Auftrag der DHL/Deutsche Post AG entwickelte EADS Space Transportation mit mehreren Partnern einen Roboter, der vollautomatisch Pakete aus Wechselbrücken oder Überseecontainern entlädt (Abb. 3-31). Mit Hilfe aufwändiger Sensorik kann der Paketroboter autonom arbeiten. Zu Beginn und nach jedem gegriffenen Paket erfasst ein 3D-Laserscanner die Szene im Container. Ein leistungsfähiger Rechner entscheidet daraufhin, welches Paket gegriffen wird, bestimmt die nötigen Greifpunkte und generiert die Bewegungsbahn für Roboter und Greifer. Außerdem verfügt der Greifer über Nahbereichssensoren, die die Situation erfassen können, wenn die Informationen des Scanners nicht ausreichen. Durch eine spezielle Bahnplanung, die mögliche Kollisionen und Erreichbarkeitsprobleme berücksichtigt, ist ein fehlerfreies Arbeiten des Systems sichergestellt. [EAD-06]



Abb. 3-31: Paketroboter von EADS Space Transportation, 3D-Daten des Laserscanners [EAD-06]

3.3.4 Stapeln von Kartons

Beim Verpackungshersteller CD Cartondruck stapelt ein Palettierroboter mit einem Sauggreifer Kartons mit Fertigwaren auf Paletten. Pro Schicht mussten früher bis zu 3.000 Kartons mit durchschnittlich sieben Kilogramm Gewicht manuell palettiert werden. Diese Arbeit übernehmen inzwischen zwei Roboter. Diese palettieren die verschiedenen Kartons mit den zugehörigen Palettiermustern, legen Zwischeneinlagen auf und sorgen für den Abtransport der vollen Paletten durch eine Fertigmeldung. [KUK-02]

3.3.5 Ankleben von Papieretiketten

Im BMW-Werk Regensburg arbeiten zwei Anlagen, die automatisch Montageaufträge im DIN A3-Format an den bereits lackierten Karosserien anbringen (Abb. 3-32). Nachdem die Karosserie identifiziert wurde, werden die notwendigen Daten auf einen Zettel gedruckt. Ein

Sondergreifer nimmt diesen auf und befestigt ihn mit Hilfe mehrerer Klebestreifen sanft an der empfindlichen Karosserie. Die häufig wechselnden Fahrzeugtypen stellen für den flexiblen Sechssachsknickarmroboter kein Problem dar. Er arbeitet praktisch fehlerfrei im Dreischicht-Betrieb. [KUK-99b]



Abb. 3-32: Anbringen von DIN A3-Zetteln an der Fahrzeugkarosserie [KUK-99b]

4 Analyse von Materialflusssystemen in der Intralogistik

In den nachfolgenden Kapiteln wird ausgehend vom übergeordneten Materialflusssystem mit Fokussierung der intralogistischen Ebene auf jede einzelne Funktion im Materialflusssystem heruntergebrochen. Diese werden charakterisiert, indem ihre Eigenschaften und Bedeutung im System bewertet und Ihre Kombinationsmöglichkeit untersucht wird.

Damit ist es möglich, am Ende des Kapitels eine systematische Vorauswahl der Materialflussfunktionen zu treffen, welche die Grundlage für weitere Untersuchungen schafft.

4.1 Materialflusssysteme

4.1.1 System

Die Definition eines Systems, wie sie in der Systemtechnik vorgenommen wird, hat allgemeingültigen Charakter und kann somit auch zur Beschreibung von Materialflusssystemen herangezogen werden. In einem System befindet sich eine beliebige Anzahl an Elementen. Diese stehen durch Relationen miteinander in Verbindung. Umschlossen wird ein System durch die Systemgrenze. Jedes System kann in weitere Ebenen nach unten oder oben detailliert oder vergrößert werden. Beispielsweise kann ein Element eines Systems ein eigenes System mit Elementen und Relationen sein. So kann entsprechend des benötigten Detaillierungsgrades die richtige Betrachtungsebene ausgewählt werden (Abschnitt 4.1.2).

Charakteristische Eigenschaften von Systemen sind der Austausch von Materie, Energie und Information über Systemgrenzen hinweg und unterschiedliche Ausprägungen ihrer Eigenschaften.[pah-97], [rop-99]

Genau diese beschriebenen Charakteristika können auf ein Materialflusssystem übertragen werden: sowohl der Austausch von Materie, Energie und Information als auch die unterschiedliche Eigenschaftsausprägung je nach spezifischer Betriebskonstellation.

Die beschriebene Betrachtungsmöglichkeit der unterschiedlich detaillierten Ebenen eines Materialflusssystems hilft, entsprechend der Planungsaufgabe den notwendigen Detaillierungsgrad zu wählen.

4.1.2 Grundlagen

Im Spannungsfeld zwischen Beschaffungs- und Absatzmarkt hilft die Logistik durch die Gestaltung des Material- und Informationsflusses die richtigen Güter in der richtigen Menge und Qualität an den richtigen Zielort in dem vorgesehenen Zeitfenster und zu minimalen Kosten zu transportieren.

In dieser Arbeit konzentriert sich die Betrachtung auf den Materialfluss in einem Intralogistiksystem, wie es beispielsweise im Vertriebs- oder Produktionsbereich zum Einsatz kommt. Hierbei ist der Materialfluss definiert als die Verkettung aller Vorgänge beim Gewinnen, Be- oder Verarbeiten sowie bei der Verteilung von Gütern innerhalb festgelegter Materialflussebenen [VDI-2411]. Material- und Informationsfluss lassen sich in verschiedene Ebenen gliedern, wie in der Abbildung 4-1 dargestellt.

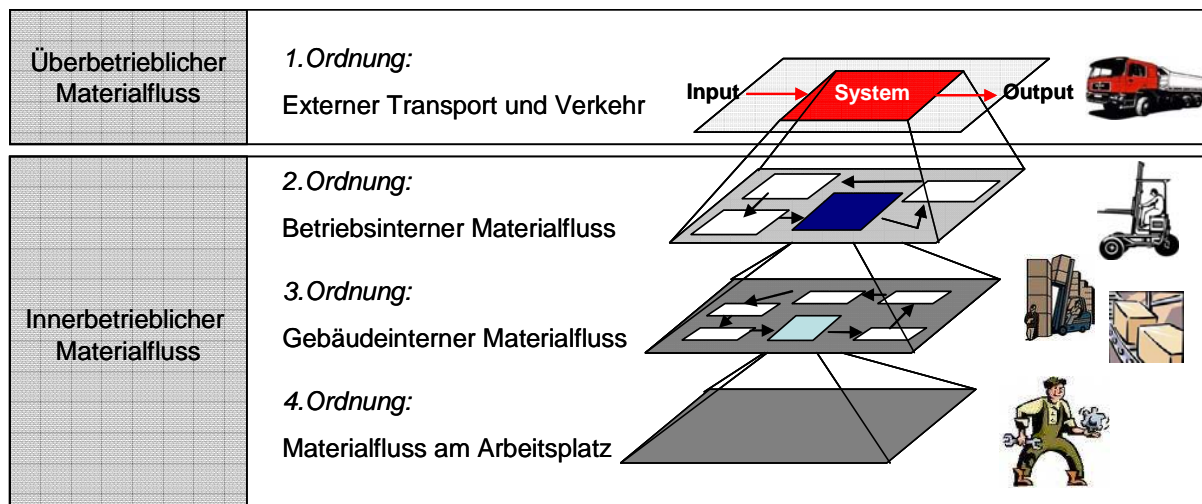


Abb. 4-1: hierarchisches Materialflusssystem [Ble-99]

Die einzelnen Ebenen im Materialfluss sind nach [Bul-94] und [Ble-99] entsprechend aufgeteilt:

1. Ebene - Externer Transport und Verkehr: In dieser Ebene des sog. überbetrieblichen Materialflusses finden Transporte zwischen den Standorten eines Unternehmens oder seinem Lieferanten und Kunden statt.
2. Ebene: Betriebsinterner Materialfluss: Hierbei laufen Transporte zwischen den Gebäuden auf dem Firmengelände ab.
3. Ebene: Gebäudeinterner Materialfluss: Transporte innerhalb eines Gebäudes sowohl zwischen den einzelnen Abteilungen oder Maschinen- und Arbeitsplatzgruppen als auch zwischen den Betriebsmitteln oder Arbeitsplätzen.

4. Ebene: Materialfluss: Betrachtet wird hier die Versorgung von Material und Handhabung am Arbeitsplatz.

In den nachfolgenden Untersuchungen wird im innerbetrieblichen Materialfluss der Materialfluss am Arbeitsplatz (Ebene 4) betrachtet. Gerade hier werden entweder Menschen oder Spezialmaschinen eingesetzt. Der Mensch wird bei monotonen oder körperlich anstrengenden Tätigkeiten meist durch Werkzeuge unterstützt oder durch Maschinen ersetzt. Neben Spezialmaschinen können in der Intralogistik auch Roboter eingesetzt werden. Deren Anwendbarkeit ist Gegenstand der Untersuchungen des Forschungsvorhabens.

4.1.3 Anforderungen

Materialflusssysteme unterliegen auf Grund des sich zunehmend verändernden Umfelds vielfältigen Anforderungen. Veränderungen können sich beispielsweise auf das Artikelspektrum, die Artikel- oder Absatzstruktur auswirken. Damit ein Materialflusssystem die gestellten Anforderungen bewältigen kann, wird es auf die geforderte Leistung dimensioniert. Bei dieser Auslegung wird eine gewisse Variabilität einkalkuliert. Die Leistung kann bis hin zur Maximalleistung i.d.R. variiert werden, dies geht jedoch zulasten der Wirtschaftlichkeit. Somit wird ein gewisser Grad an Flexibilität erreicht und auch erkaufte. Was allerdings in einem automatisierten Materialfluss nicht oder kaum möglich ist, ist eine einfache und schnelle Anpassung der Maschinen an veränderte Gegebenheiten und Aufgabenstellungen.

4.1.3.1 Leistung

Die angesprochene „geforderte Leistung“ wird nun detaillierter betrachtet. Im Materialfluss innerhalb einer Fabrik oder eines Lagers geht es primär darum, das betrachtete Gut von einem beliebigen Punkt zu einem anderen Punkt zu bewegen. Daneben können noch weitere Tätigkeiten notwendig sein oder vorgenommen werden. Wichtig ist die benötigte Kapazität für die anstehende Aufgabe oder Tätigkeit. Neben der menschlichen und/oder maschinellen Kapazität steht die Anforderung, in welcher Zeit diese zu bewältigen ist. Aus dem Quotienten aus Arbeit und Zeit ergibt sich die Leistungsanforderung des Materialflusssystems. Bei dessen Bestimmung ist es wichtig, sowohl die internen betrieblichen Faktoren als auch die externen Faktoren zu kennen, die von den Kunden und Lieferanten bestimmt werden.

Bei der Betrachtung der Leistung ist auch die Verfügbarkeit eine wichtige Komponente. Diese muss genau genug abschätzbar sein, damit die benötigte mit der vom Materialflusssystem bereitgestellten Leistung zuzüglich eines Sicherheitsfaktors übereinstimmt.

4.1.3.2 Flexibilität

Die Anforderung der Flexibilität an Materialflusssysteme geht einher mit „flexiblen Produktionssystemen“. Das treibende Moment dahinter ist die weiter zunehmende Dynamik globalisierter Märkte. Um sich erfolgreich im Markt mit den Konkurrenten behaupten zu können, ist eine Ausrichtung am Kunden unter Berücksichtigung veränderlicher Wünsche und Bedürfnisse erforderlich. Die hierbei benötigte Flexibilität ist die Fähigkeit, sich geänderten Umweltbedingungen und alternativen zukünftigen Situationen anzupassen [Pfo-94].

In der Regel ist Flexibilität begrenzt und kann nach Westkämper beschrieben werden: „Ein System wird als flexibel bezeichnet, wenn es im Rahmen eines prinzipiell vorgedachten Umfangs von Merkmalen sowie deren Ausprägungen an veränderte Gegebenheiten reversibel anpassbar ist“ [Wes-00]. Die Flexibilität eines Materialflusssystems kann als eine taktische Fähigkeit betrachtet werden. Hinter dieser Fähigkeit steht, dass sich ein Materialflusssystem beispielsweise im logistischen Bereich in mittlerer Zeit und mittlerem Aufwand auf neue, aber ähnliche Artikel im Materialfluss hinsichtlich Hard- und Software anpassen kann. Die Umstellung bedingt im Vorfeld eine Planung und eine entsprechende Anlauf- und Optimierungszeit, bis die neue Systemleistung voll zur Verfügung steht [Wien-02].

Weiter kann hier zwischen einer operativen und strategischen Flexibilität zu unterscheiden. – Für die Durchführung des Geschäftsbetriebs ist die operative Flexibilität sehr wichtig, damit kurzfristig Änderungen realisiert werden können und so der Betrieb schnell aufgenommen werden kann. – Die strategische Flexibilität beschreibt die Flexibilität als die Möglichkeit, in einer angemessenen Zeit auf sich verändernde Umweltbedingungen reagieren zu können.

4.1.3.3 Wandelbarkeit

Die Wandelbarkeit eines Materialflusssystems lässt sich nach Wilke [Wil-05] mit der Charakterisierung der Flexibilität des Layouts, des Durchsatzes und des Förderguts beschreiben:

- Fördergutflexibilität: Fähigkeit, unterschiedliche Produkte unabhängig von Abmessung und Gewicht transportieren zu können.
- Layoutflexibilität: Fähigkeit, alle Orte bedienen und schnell die Materialflusswege verändern zu können.
- Durchsatzflexibilität: Fähigkeit, auftretenden Leistungsveränderungen durch geeignete Maßnahmen zu beherrschen. Beispielsweise kann dies sowohl durch eine flexible Anzahl der transportierten Güter als auch durch alternative Bedienkonzepte, realisiert werden.

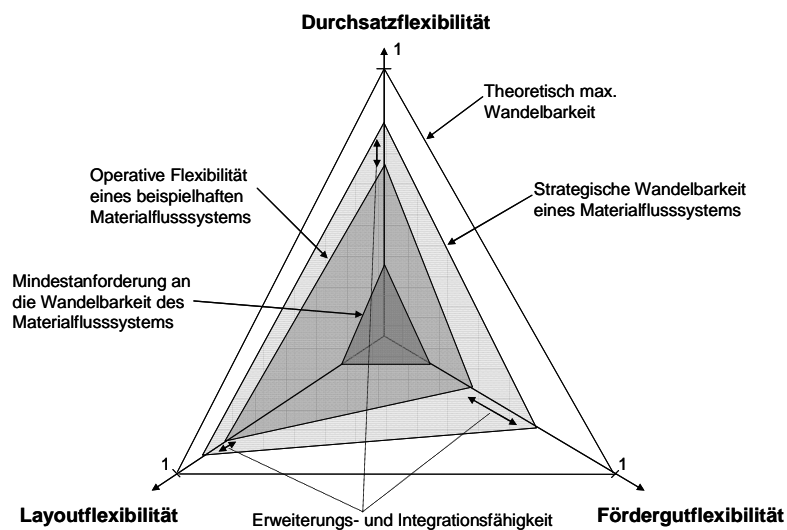


Abb. 4-2: Beurteilung der Wandelbarkeit [Wil-05]

In der operativen Flexibilität sind diese drei Kriterien zusammengefasst. Diese lässt sich wie in der Abbildung 4-2 dargestellt in einem dreidimensionalen Koordinatensystem abbilden. Aus der Dreiecksfläche lässt sich die Größe der operativen Flexibilität ablesen. Die Darstellung der notwendigen Wandelbarkeit lässt eine quantitative Bewertung dieser in weiteren Untersuchungen zu [Zäh-03].

4.1.4 Automatisierung

Im Zusammenhang mit der Flexibilität steht der Begriff der Automatisierung. Aufgrund der steigenden Anforderungen an die Flexibilität und der oft nicht leichten Nachweisführung der Wirtschaftlichkeit ist der maßvolle Einsatz von Automatisierungstechnik bedeutend. Hier sind sowohl permanente Verbesserungen seitens der Mechatronik und der Informationstechnik zu beachten, als auch die Anwendung von teilautomatisierten Konzepten. Teilautomatisierung ist in der Materialflusstechnik in Bereichen anzuwenden, in denen eine Spezialmaschine auf keine wirtschaftliche Auslastung gebracht werden kann. Als Alternative hierzu steht der Gedanke der Funktionsvereinigung. Bevor hier näher darauf eingegangen wird, erfolgt zunächst eine genaue Begriffsabgrenzung.

Prinzipiell gibt es drei Stufen der Automatisierung. Auf jeder dieser Stufen ist die Arbeitslast unterschiedlich verteilt. Manuelle Systeme erfordern in jeglicher Ausführungsform den Kraftaufwand eines Menschen. Dieser bedient sich hier keiner oder nur passiver Hilfsmittel, z.B. eines Hubwagens. Mechanisierte Systeme arbeiten in den wesentlichen Funktionen mit maschinellen Antrieben und übernehmen die physischen Lasten vom Menschen. Die Steuerung und Kontrolle obliegt weiterhin dem Menschen. Automatisierte Systeme verlangen keinen Eingriff des Menschen während des Prozessablaufs. Alle Prozessabläufe werden

selbsttätig gesteuert. [Hal-99], [Meh-91], [Ref-90] Vor dem Hintergrund der Wirtschaftlichkeit werden Materialflusssysteme häufig teilautomatisiert ausgeführt.

Beweggründe für eine Automatisierung von Materialflusssystemen sind in der Regel eine Leistungssteigerung und/oder die Reduzierung von Personalkosten. Generell bedarf eine automatisierte Lösung einer vorausgehenden Planung des Vorhabens. Durch Automatisierung sind die Prozessabläufe fest vorgegeben und transparent. Die Fehlerhäufigkeit kann dadurch reduziert werden. Gleichzeitig steigt die Qualität. Ein weiterer Vorteil der Automatisierung ist es, dass der Mensch von schweren sowie monotonen Arbeitsaufgaben entlastet wird. Auch kann die Automatisierungstechnik den Menschen vor einem die Gesundheit gefährdenden Arbeitsumfeld bewahren.

Den beschriebenen Vorteilen stehen jedoch auch einige Nachteile gegenüber. Automatisierung geht in der Regel mit hohen Investitionen einher. Des Weiteren sind in der Anlaufphase automatisierter Systeme stets anfängliche Störungen und Einschwingvorgänge zu berücksichtigen. Diese Effekte führen in der Regel zu erheblichen Leistungseinbußen. Konventionelle automatisierte Materialflusssysteme sind zudem in ihrer Flexibilität beschränkt. Flexibilität kann meist nur durch überdimensionierte Systeme erreicht werden. Aufgrund der geringen Auslastung ist deren Wirtschaftlichkeit jedoch fraglich.

In den bisherigen Materialflusssystemen wurde bei Bedarf an hoher Flexibilität in der technischen Umsetzung auf manuelle oder teilautomatisierte Lösungen zurückgegriffen. Dies ist bedingt dadurch, dass bei der Anforderung einer hohen Flexibilität und einem hohen Automatisierungsgrad auch überproportional große Stückkosten entstehen, vergleichbar mit einer nichtausgelasteten Automatisierungslösung.

4.2 Materialflussfunktionen

Wie in Abschnitt 4.1.2 beschrieben, können Materialflusssysteme auf unterschiedlichen Abstraktionsebenen untersucht werden. Nachstehend erfolgt eine Betrachtung auf Ebene 3 und 4 (Ebene „gebäudeinterner Materialfluss“ bzw. Arbeitsplatzebene.).

In diesen beiden Bereichen lässt sich der Materialfluss durch die drei Funktionen Fördern, Lagern und Handhaben beschreiben. Fördermittel wie Gurtförderer, Krane oder Gabelstapler übernehmen den innerbetrieblichen Transport der Güter. Die Aufbewahrung oder das Lagern erfolgt in unterschiedlich gestalteten Lagergestellen, die genau auf die Anforderungen der Ware abgestimmt sind. [VDI-2860] Der gesamte Materialfluss besteht aus Handhabungsaufgaben. Deshalb ist vor allem die Handhabung interessant für die Anwendung von Robotern in der Lagertechnik und wird im Folgendem eingehend analysiert.

4.2.1 Handhabung

Für den Einsatz des Industrieroboters ist es elementar wichtig, welche Handhabungsaufgaben dieser zu erledigen hat. Daher wird nachfolgend die Handhabung im Bezug auf die Logistik genau untersucht.

Nach der VDI 2860 ist Handhaben neben Fördern und Lagern die dritte Funktion des Materialflusses und wie folgt definiert:

„Handhaben ist das Schaffen, definierte Verändern oder vorübergehende Aufrechterhalten einer vorgegebenen räumlichen Anordnung von geometrisch bestimmten Körpern (...).“ ([VDI-2860], S. 2)

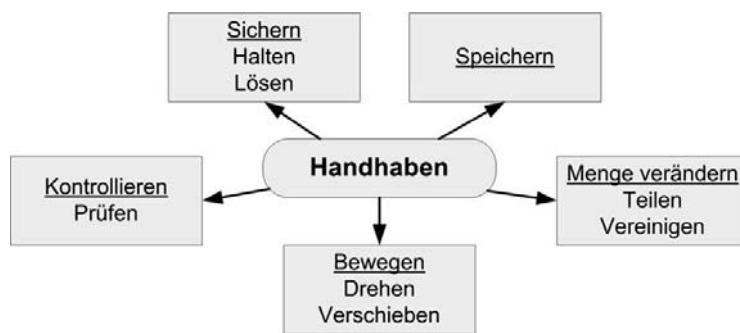


Abb. 4-3: Teilfunktionen des Handhabens [VDI-2860]

Innerhalb der Handhabung unterscheidet die Richtlinie VDI 2860 fünf Unterfunktionen: Speichern, Menge verändern, Bewegen, Sichern und Kontrollieren. Diese werden in Elementarfunktionen weiter untergliedert, die alle Handhabungsfunktionen beschreiben können (Abbildung 4-3). [VDI-2860]

Vor allem in der Montagetechnik wird der Handhabung große Aufmerksamkeit zuteil, da dort mit Hilfe vieler Handhabungsschritte ein großer Teil der Wertschöpfung stattfindet.

Auch die Lagerung von Stückgütern beschäftigt sich fast ausschließlich mit geometrisch bestimmten Körpern. Deshalb gilt jede Manipulation dieser Güter ebenfalls als Handhaben und kann aus den einzelnen Handhabungsschritten beschrieben werden.

Um die Anwendung der Aufgabenbeschreibung zu erleichtern, definiert die Richtlinie VDI 2860 weitere Funktionen. Dadurch stehen nun eine Vielzahl an Handhabungsschritten, die durch Symbole dargestellt werden können. Eine Auswahl der Handhabungsschritte, die in der Stückgutlagerung auftreten, stellt die folgende Abbildung 4-4 vor. [VDI-2860]

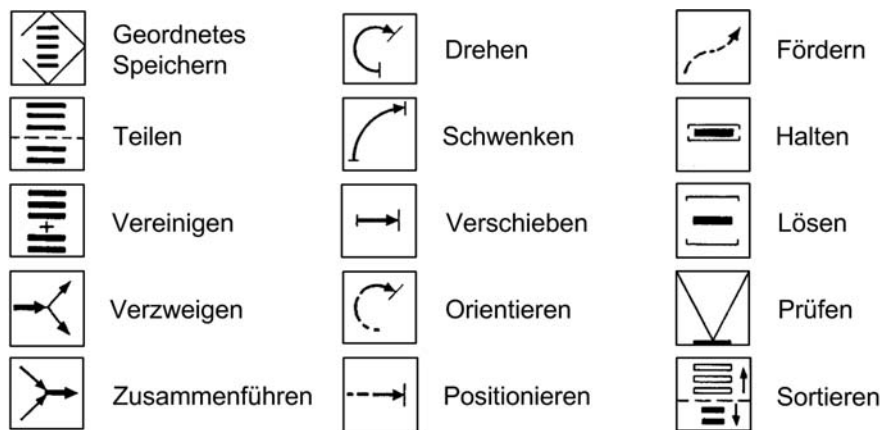


Abb. 4-4: Symbolik zur Beschreibung der Handhabungsaufgabe [VDI-2860]

Mit Hilfe dieser Handhabungsschritte können die Vorgänge bei der Lagerung von Stückgütern aufgeschlüsselt werden. Dadurch sind ähnliche oder gleiche Abläufe einfacher wieder zu erkennen und die Strukturierung der Funktionen ist erleichtert.

4.2.2 Handhabungsschritte

Die nachfolgenden Untersuchungen zu den benötigten Handhabungsschritten im Lager basieren auf der Definition nach Arnold:

„Alle Aufgaben, die mit der Einlagerung, Bereithaltung und Auslagerung sowie dem Umschlag, der Kommissionierung und Verpackung (...) verbunden sind, werden dem Funktionselement „Lagerhaltung“ zugeordnet.“ ([Arn-04], S. B5-3)

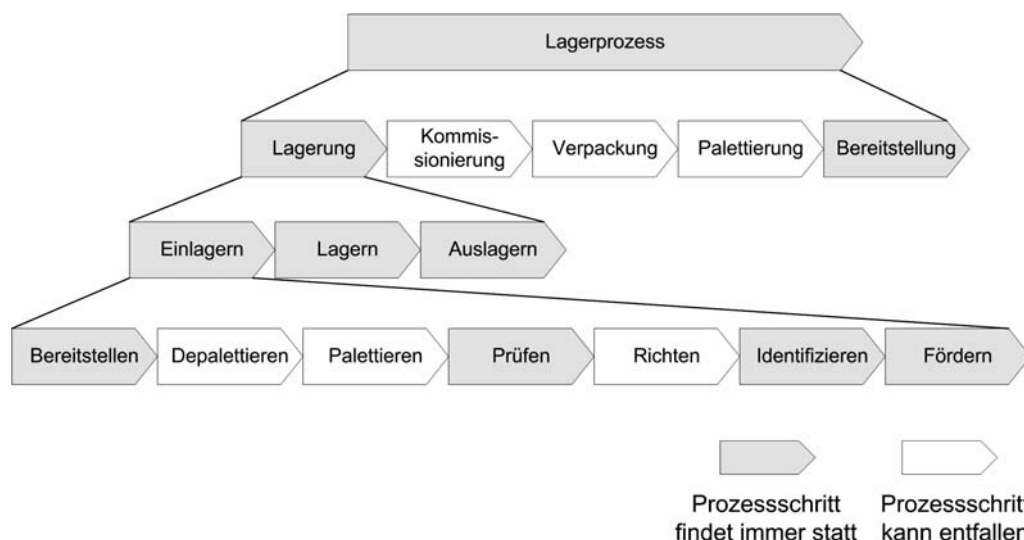


Abb. 4-5: Gliederung des Lagerprozesses [Arn-04]

Für die Festlegung der notwendigen Handhabungsschritte, muss der Prozess hinter der zu erledigenden Aufgabe verstanden werden. Hierfür muss eine Prozessanalyse die einzelnen

Handhabungsschritte erfolgen. Danach wird im Vergleich der Prozesse das mögliche Potenzial zur Funktionsintegration sichtbar.

Betrachtet man beispielsweise im Lagerprozess nach Arnold [Arn-04] die unterste Ebene der Lagerung beginnt der Lagerprozess (Abbildung 4-5) stets mit der Bereitstellung von Gütern, die eingelagert werden sollen. Wird die Ware auf Paletten bereitgestellt, so kann es notwendig sein, die Packstücke zu depalettieren und eventuell in anderer Zusammensetzung wieder zu palettieren. Um innerhalb der Definition nach Arnold zu bleiben, wird daher dem Lagern das (De-)Palettieren zugeordnet.

Nach dem Palettiervorgang muss die Ware geprüft werden. Oft folgt daraufhin ein Richtvorgang, der die nachfolgenden Arbeitsschritte Identifizieren und Fördern erleichtert oder erst möglich macht. Nach dem Einlagern verweilt die Ware solange im Lager, bis ein Auftrag eine Auslagerung auslöst. Die Ware kann dann in die Kommissionierung gelangen, zu einem Auftrag zusammengestellt und danach verpackt und palettiert werden. Am Ende des Lagerprozesses steht stets die Bereitstellung der Ware für den Kunden, der die Ware angefordert hat.

4.2.2.1 Lagern

Für die Analyse der Handhabungsschritte ist eine höchst mögliche Detaillierung des Prozesses wichtig. Im Vergleich zum Lagerprozess nach Arnold (Abb. 4-5) beschreibt die VDI-Richtlinie 3629 die Lagerprozessschritte Einlagern, Lagern und Auslagern (Abb. 4-6). [VDI-3629] Die feinere Aufteilung nach der VDI 3629 hilft bei der Analyse der notwendigen Handhabungsschritte.



Abb. 4-6: Aufgliederung der Grundfunktionen des Lagers [VDI-3629]

Exemplarisch wird nachfolgend der Einlagerungsprozess beschrieben (Grundfunktion „Wareneingang“ in Abbildung 4-6), beginnend am Wareneingang des Lagerbereichs.

Während der Wareneingang eines Unternehmens die Ware der externen Lieferungen annimmt, also die Schnittstelle zwischen Lieferanten und Unternehmen bildet, stellt der Wareneingang in den Lagerbereichen die Schnittstelle zwischen verschiedenen Unternehmensbereichen und dem Lager dar. Typischerweise wird die für das Lager bestimmte Ware mit innerbetrieblichen Fördermitteln angeliefert.

Die am Einlagerungspunkt bereitgestellte Ware durchläuft als erstes die Eingangsprüfung (Abb. 4-7). Geprüft werden hier möglichst alle für das Lagern und den dazu nötigen Transport relevanten Merkmale, wie z.B. der Zustand des Lagerhilfsmittels, die korrekte Beladung oder das Gewicht. Wird die Ware nicht beanstandet, können daraufhin die Lagereinheiten

gebildet werden. Befindet sich die Ware nicht auf dem richtigen Lagerhilfsmittel oder werden andere waren- oder lagerspezifische Kriterien wie beispielsweise die Losgröße oder Abmessungsbeschränkungen nicht erfüllt, müssen weitere Schritte, wie z.B. das Depalettieren, bis zur Bildung der Lagereinheit durchgeführt werden. Ist die Ware bereits lagerfähig, komplettiert ein Merkmal zur späteren Identifizierung der Ware die Lagereinheit. Die vollständige Ladeinheit durchläuft die Mengenprüfung und die Qualitätskontrolle. Dort wird die Menge und Qualität der einzulagernden Ware ermittelt und festgehalten. [Arn-04], [VDI-3629]. Im Anschluss kann die Ware auf die entsprechenden Lagerbereiche verteilt werden.

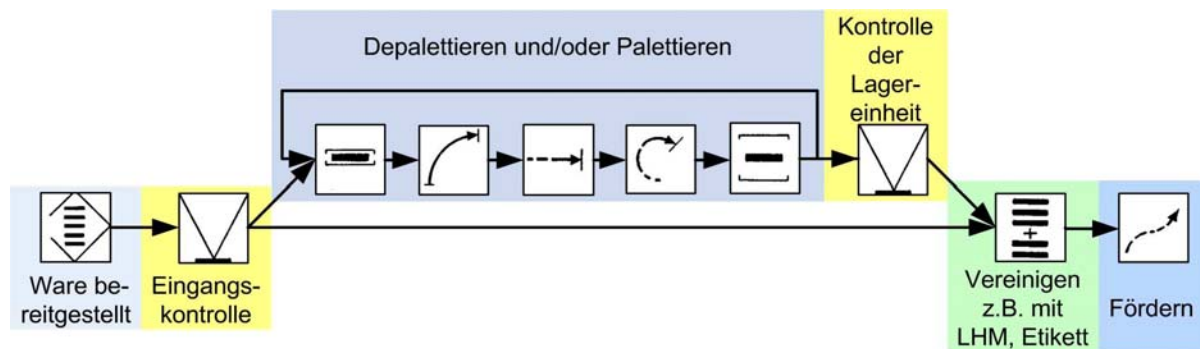


Abb. 4-7: Handhabungsschritte im Wareneingang

Analog zu den beschriebenen Handhabungsschritten im Wareneingang lassen sich auch die übrigen „Grundfunktionen des Lagers“ (nach VDI 3629), oder andere benötigte Funktionen beschreiben und dadurch genau abbilden.

4.2.2.2 Kommissionieren

Die Kommissionierung stellt aus einer Gesamtmenge von Gütern, dem Sortiment, Teilmengen auf Grund von Anforderungen, den Kommissionieraufträgen, zusammen. Aus diesen werden daraufhin Verpackungs- oder Versandeinheiten gebildet. [VDI-3590/1], [Arn-04].

Ein vollständiges Kommissioniersystem besteht stets aus einem Beschickungs- und einem Sammelsystem (Abbildung 4-8). Das Beschickungssystem sorgt dafür, dass die vom Kommissionierer benötigte Ware bereitsteht. Die Bereitstellung lagert die Ware aus und ermöglicht deren Entnahme durch den Kommissionierer. Das Sammelsystem stellt die Aufträge für die Kunden zusammen.

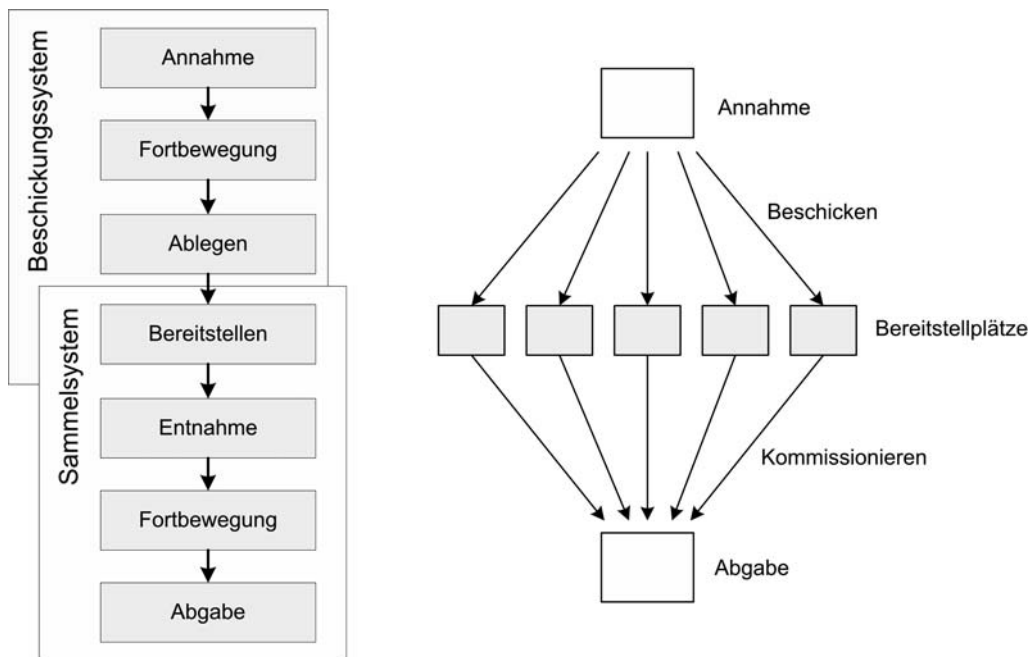


Abb. 4-8: Kommissioniersystem als Beschickungs- und Sammelsystem [Gud-73]

Um zu kommissionieren, ist es demnach nötig, die Bereitstellplätze mit Waren zu beschicken. Dazu muss die Ware zunächst angenommen werden. Zur Annahme gehört in jedem Fall ein Prüf- und Identifiziervorgang, da die Ware in einen neuen Bereich gelangt. Danach wird die Ware mit einem geeigneten Fördermittel zum Bereitstellplatz gebracht und dort abgelegt. Zum Beschicken sind mindestens die in Abbildung 4-8 rechts genannten Handhabungsschritte notwendig. Diese lassen sich mit der Symbolik nach VDI 2860, wie in Abbildung 4-9 dargestellt, analysieren:



Abb. 4-9: Handhabungsschritte beim Beschicken

Anschließend entnimmt der Kommissionierer am Bereitstellplatz die Ware, bewegt sie und legt sie am vorgegebenen Abgabepplatz ab. Damit ist die Kommissionierung eines Artikels beendet (Abb. 4.10).

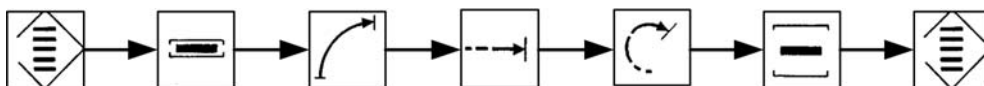


Abb. 4-10: Handhabungsschritte beim Kommissionieren

Im Mittelpunkt der Untersuchungen steht das Materialflusssystem (vgl. Kap. 4.1). Im Materialflusssystem werden die Waren und evtl. auch der Kommissionierer bewegt um die Kommissionieraufgaben zu erledigen.

Um die Kommissionieraufgaben zu erledigen, müssen die Funktionen

- Bereitstellung der Ware
- Fortbewegung des Kommissionierers
- Entnahme der Artikel und Abgabe der Ware

nacheinander ausgeführt werden. Dabei können diese vier Funktionen auf unterschiedliche Arten realisiert werden. Nachfolgend visualisiert Abbildung 4-11 die verschiedenen Möglichkeiten. [VDI-3590/1]

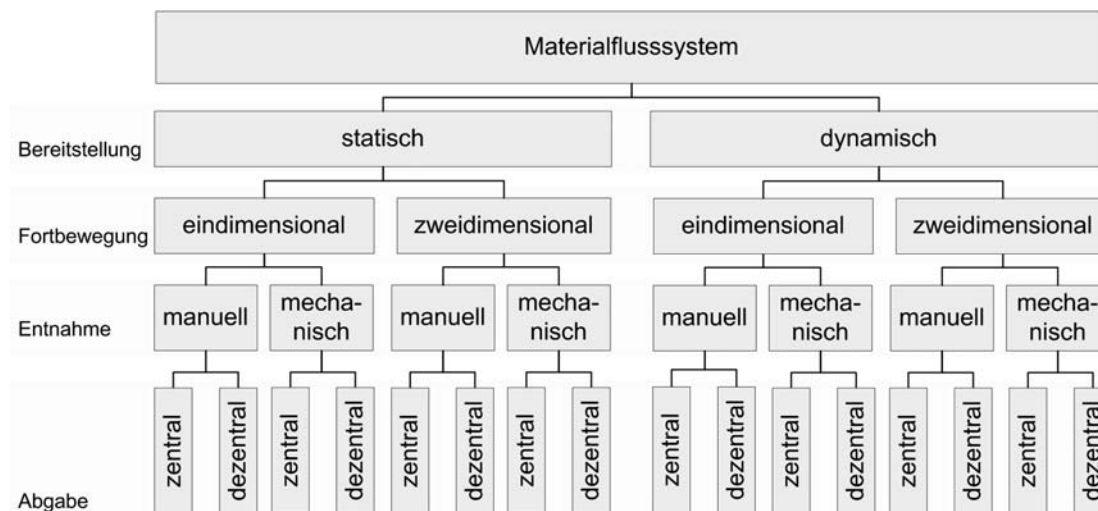


Abb. 4-11: Grundfunktionen des Materialflusssystems [VDI-3590/1]

Die verschiedenen Möglichkeiten zur organisatorischen Gestaltung eines Kommissioniersystems sind beschrieben in [Gud-73], [VDI-3590/1] und [VDI-3590/2].

4.2.2.3 Verpacken

Die Verpackung von Produkten dient dazu, Ware „verteilungs-, verwendungs- und verkaufsfähig zu machen“ ([Arn-04], S.C2-91). Im Bereich des Lagers sind besonders die Verwendungs- und die Verteilungsfähigkeit von Bedeutung, da die Ware oft in einer verkaufsfähigen Verpackung eingelagert wird. Zur Erfüllung der Lager- und Transportfunktion ist die Bildung von Einheiten mit Hilfe der Verpackung wichtig. Ist es möglich gleichartige Einheiten für alle Artikel zu bilden, trägt dies wesentlich zur Automatisierungsfreundlichkeit bei. Wenn die Güter das Lager verlassen, müssen alle Produkte so verpackt sein, dass sie geschützt sind sowie gelagert und transportiert werden können. Zudem müssen die Identifizierung und die Verwendung der Ware möglich sein. [Jün-89], [Arn-04]

Beim Verpacken gelangt die Ware in die vorgesehene Verpackung. In DIN 55405 wird Verpackung wie folgt definiert:

„Aus beliebigen Materialien hergestellte Produkte zur Aufnahme, zum Schutz, zur Handhabung, zur Lieferung oder zur Darbietung von Waren, die vom Rohstoff bis zum Verarbeitungserzeugnis reichen können und vom Hersteller an den Vertreiber oder Endverbraucher weitergegeben werden.“ ([DIN-55405], S. 137)

Die Handhabungsschritte beim Verpacken entsprechen denjenigen beim Kommissionieren (Abb. 4-12). Hier wird lediglich, um konsequent der Definition nach Arnold zu folgen, zwischen Verpacken und Kommissionieren unterschieden werden. Auch beim Verpacken bereitgestellter Ware muss gegriffen, bewegt, positioniert und orientiert werden, bevor sie an der vorgesehenen Stelle, z.B. in einem Behälter, abgelegt werden kann. Aus diesem Grund entstehen Pick & Pack-Konzepte, die die direkte Kommissionierung der Ware in einen Versandkarton, also die Endverpackung, zum Ziel haben und so Doppelarbeit vermeiden. [NN-06d]; [NN-06b]

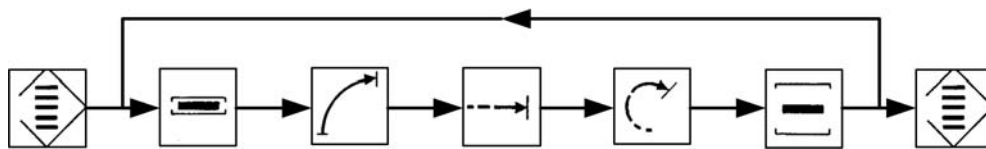


Abb. 4-12: Handhabungsschritte beim Verpacken

Das Verpacken ist nicht mit dem Bilden von Ladeeinheiten gleichzusetzen. Vielmehr geht es der Bildung von Ladeeinheiten voraus.

„Die Ladeeinheitenbildung beinhaltet das Zusammenfassen von Stückgütern und Packstücken zur rationelleren Handhabung, Lagerung und Beförderung von Gütern. Dabei gelangen im allgemeinen Ladehilfsmittel zum Einsatz.“ ([Jün-89], S. 122)

Das Zusammenfassen von Gütern zu logistischen Einheiten dient insbesondere der Vereinfachung der logistischen Prozesse. Man verringert die Anzahl der Transporte durch weniger Einzeltransporte, reduziert den Handlingaufwand, beschleunigt dadurch den Umschlag und erreicht eine bessere Ausnutzung von Lager- und Transportvolumen. [Arn-04]

Nach der Verpackung und der Ladeeinheitenbildung muss die Ladeinheit meist gesichert werden. Dadurch kann sie den Belastungen beim Transport standhalten, und „qualitative, quantitative und stoffliche Veränderungen beim Lagern, Umschlagen und Transportieren eines Gutes“ werden vermieden [VDI-3968]. Man unterscheidet bei den verschiedenen Verfahren zur Sicherung der Ladeeinheiten zwischen einer integrierten und einer externen Ladeeinheitensicherung. Die integrierte Sicherung der Ladeinheit entsteht während des Palettierens bzw. der Ladeeinheitenbildung. Stabile Ladungen entstehen, wenn sich die einzelnen Gebinde überlappen. Man spricht dabei von Verbundstapelung. Auch das Einle-

gen von Zwischenbogeneinlagen oder das Aufsprühen eines wieder lösbaren Haftmittels (Antislip) sichert die (Paletten-)Ladung. Verwendet man Schrumpf- oder Stretchhauben, Wickelstretchverpackungen oder Umreifungen, so geschieht dies meist unabhängig vom Palettieren in einer weiteren Maschine (externe Ladeeinheitensicherung). [VDI-3968]; [Arn-04]

Bei automatischer Handhabung der Ware kann eine externe Ladeeinheitensicherung zu großem Aufwand führen, da die Sicherung oftmals nicht oder nicht mit genügend großer Prozesssicherheit automatisch gelöst werden kann. Ist eine externe Ladungssicherung nicht zu vermeiden, können manuelle Schritte zum Lösen der Sicherungsmittel unumgänglich sein. Innerbetrieblich ist eine stabile Stapelung der Ware wichtig, weshalb üblicherweise im Verbund gestapelt wird, um „einen stärkeren Zusammenhalt der Palettenladung“ zu gewährleisten [Arn-04]

4.2.2.4 Spezielle Funktionen

Innerhalb der Lagerfunktionen existieren spezielle Funktionen, die bei der Lagerung von Stückgütern von besonderer Wichtigkeit und großem Interesse sind. Viele dieser speziellen Lagerfunktionen treten während des Lagerprozesses mehrmals auf, wie z.B. das Prüfen von Ware oder Lagereinheit, das Vereinzeln und Zusammenführen oder das Etikettieren. In diesem Abschnitt werden außerdem noch die Inventur und der Vorgang der Ladungssicherung betrachtet, sowie die Aufgaben, die vor der Einlagerung und nach der Auslagerung anfallen.

„Prüffunktionen“

Damit die fehlerfreie Handhabung von Gütern gewährleistet werden kann, ist es notwendig, die Ware zu prüfen. Die Identität der Ware muss bekannt sein, um zu entscheiden, ob die Lagereinheit von der Lagerverwaltung erfasst ist und gebucht werden kann. Erst danach darf die Ware eingelagert werden. Auf diese Weise wird die Übereinstimmung von Material- und Datenfluss kontrolliert. Neben der Identität muss die Lagerfähigkeit der Lagereinheit geprüft werden:

„Es wird geprüft, ob die Abmessungen, das Gewicht und gegebenenfalls weitere Kriterien der Lagereinheit in den erforderlichen Toleranzgrenzen für Transport und Lagerung liegen (Zulässigkeit, Zustand der Ladehilfsmittel und des Ladeguts).“ ([VDI-3629], S. 5)

Nur so kann festgestellt werden, ob die Ware ordnungsgemäß zu einer (Paletten-) Ladung zusammengefasst wurde und mit den verwendeten (automatischen) Handhabungs- und Fördermitteln ohne Probleme manipuliert werden kann. [VDI-3629]

In der Regel werden bei der Prüfung eine oder mehrere der folgenden Schritte durchgeführt:

- Identifikation, z.B. Barcodekontrolle,
- Gewichtskontrolle,
- Profil- oder Konturenkontrolle,
- Kontrolle des Ladehilfsmittels [Fis-04]

Die verschiedenen Prüffunktionen kommen dort zum Einsatz, wo Ware ankommt und erfasst werden muss, sowie an Stellen, an denen neue oder veränderte Ladeeinheiten entstehen. Immer wenn die Eigenschaften der Ladeeinheit unbekannt sind oder kontrolliert werden müssen, können Prüfungen erfolgen, um die Merkmale der Ware mit der erforderlichen Genauigkeit festzustellen. Vor allem bei intralogistischen Systemen mit hohem Automatisierungsgrad sind Daten über die Eigenschaften der Güter wichtig. In diesen Systemen führen Abweichungen, die größer als die erlaubten Toleranzen sind, zu Fehlern bei der Handhabung. Fehler dieser Art können die Anlage zum Stillstand bringen und ein manuelles Eingreifen nötig machen. In jedem Fall verringern sie die Verfügbarkeit des Systems, und es entstehen Kosten durch den Ausfall der Maschinen sowie Folgekosten.

Das Prüfen von Einheiten verursacht weitere Handhabungsschritte, die vor und nach dem Prüfvorgang notwendig sind, um einen korrekten Prüfprozess zu ermöglichen. Dazu gehören Förder-, Puffer- und Richtvorgänge. Die bereitgestellte Ware wird zur Prüfeinrichtung befördert und dort so positioniert, dass die Prüfung korrekt durchgeführt werden kann. Danach folgt die eigentliche Kontrolle der Ladeeinheit. Nach dem Prüfvorgang wird die Einheit weitertransportiert und steht dann für weitere Arbeitsschritte bereit.

Wesentlich ist, dass sich die verschiedenen Prüfprozesse im Bereich der Lagerung fast ausschließlich auf ganze Lade- oder Versandeinheiten beziehen. Die Unversehrtheit der einzelnen Artikel wird nur in Ausnahmefällen geprüft, z.B. wenn eine Ladeeinheit beschädigt ist. Eine solche Kontrolle geschieht dann jedoch meist manuell außerhalb des regulären Materialflusses [NN-06b]. Die Handhabung beim Prüfen betrifft somit fast immer Lade- und Versandeinheiten und kann deshalb an diese angepasst werden. Die Einrichtungen zum Prüfen sind bei Veränderungen des Artikelspektrums erst betroffen, wenn sich die zu messenden Attribute nicht mehr im vorhandenen Rahmen befinden. Messeinrichtungen bieten technisch bedingt einen gewissen Messraum und sind per se flexibel. Daher sind hier die Anforderungen bzgl. Flexibilität im Vergleich zu anderen Bereichen der Handhabung wie z.B. der Kommissionierung geringer.

Die Handhabungsschritte, die einen kompletten Prüfprozess abbilden, sind symbolisch in Abbildung 4-13 dargestellt.

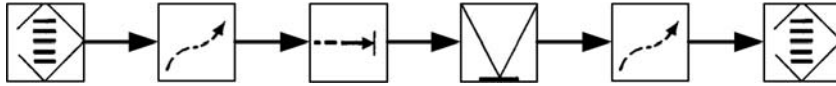


Abb. 4-13: Handhabungsschritte beim Prüfen in Symbolen

„Inventur“

Auf Grund rechtlicher Bestimmungen, die das Finanzwesen, die Revision und andere Bereiche betreffen, muss die Inventur jährlich einmal zur Bilanzierung erfolgen. Dies betrifft in besonderer Weise das Lager, da sich hier große Mengen an Gütern befinden, die wesentliche Werte des Unternehmens darstellen und deshalb im Umlaufvermögen zu bilanzieren sind. Grundsätzlich ist die Inventur die „körperliche Aufnahme jeder Artikelart an jedem Lagerort (...) einmal im Geschäftsjahr“ [VDI-3629]. Kann keine Stichtagsinventur stattfinden, weil technische oder organisatorische Gründe dies verbieten, so kann das Unternehmen als Inventurverfahren die permanente Inventur festlegen. In jedem Fall muss bei der Inventur die Ware mengenmäßig erfasst werden, um die Bestandsdaten einmal im Jahr absolut zu prüfen.

Die Inventur kann den Arbeitsablauf im Lager in erheblichem Umfang beeinflussen und ist aus diesem Grund auch von Überlegungen zur Optimierung oder Automatisierung betroffen.

Für die Durchführung der Inventur sind verschiedene Handhabungsaufgaben nötig, die dem Prüfen entsprechen. Die Handhabung bei der Inventur stellt einen Sonderfall der Prüffunktion dar. Hier ist das zu erfassende oder zu prüfende Merkmal die Menge der einzelnen Artikel.

„Einlagerung vorbereiten“

Vor dem Einlagern kann es, z.B. aus wirtschaftlicher oder lagertechnischer Sicht, sinnvoll sein, aus den ankommenden logistischen Einheiten neue Lagereinheiten zu bilden. Zu diesen vorbereitenden Schritten gehört

- das Umpacken von Mischpaletten,
- das Zulagern oder
- das Vereinzeln von Ware [Fis-04].

Bei einem Paletten- oder Behälterlager können folgende Aufgaben anfallen: Sieht die Lagerstrategie vor, dass nur Paletten eingelagert werden, die ausschließlich mit einem einzigen Artikel beladen sind, so müssen angelieferte Paletten, die gemischt gepackt sind, vor dem

Einlagern sortenrein umgepackt werden. Da Mischpaletten auf Grund ihrer heterogenen Ware oftmals relativ instabil sind, können Probleme „im Transport, beim Handling und bei der Warenübergabe“ auftreten [Bod-04]. Diese Risiken verringert das Umpacken ebenfalls.

Durch das Zulagern ist es möglich, begrenzte Lagerkapazitäten besser zu nutzen. Zu bereits eingelagerten Ladeeinheiten, die nicht vollständig gefüllt sind, werden weitere gleiche Artikel gelagert, um so den Füllungsgrad des Lagers zu erhöhen. Gleichzeitig bleibt die Artikelreinheit auf den einzelnen Paletten erhalten. [Fis-04]

Lagern die Gebinde einzeln, z.B. in einem Tablar- oder Fachbodenregallager, so muss die palettierte Ware vereinzelt werden, bevor sie eingelagert werden kann.

Sowohl das „Umpacken von Mischpaletten“ als auch das „Zulagern auf Paletten“ sind Sonderfälle des Palettierens und Depalettierens. Diese Aufgaben bestehen aus den Vorgängen der Funktionen „Vereinzeln und Zusammenführen“. Aus diesem Grund finden beim Vorbereiten der Einlagerung die gleichen Handhabungsschritte statt (Abb. 4-14).

Die auf Paletten bereitgestellten Artikel werden einzeln oder im Mehrfachgriff aufgenommen und zur Ablageposition, z.B. einer weiteren Palette, bewegt. Am Abgabeort folgt anschließend die Positionierung und Orientierung der Artikel bevor der Mensch oder eine Maschine das gegriffene Objekt absetzt. Diese Schritte wiederholen sich bis die Um-, Zulagerung oder das Vereinzeln der Gebinde abgeschlossen ist und die neuen oder veränderten Lagereinheiten bereitstehen.

Durch das Um-, Zulagern oder das Vereinzeln entstehen vor der Einlagerung neue Einheiten. Diese werden bei Bedarf etikettiert (siehe „Etikettieren“) und eventuell für die weitere Handhabung gesichert (siehe „Ladung sichern“). Danach kann die Ware eingelagert werden.

„Vereinzeln und Zusammenführen“

„Ein Kommissioniervorgang besteht immer aus dem Vereinzeln von Einheiten (Entnahme) und der kundenbezogenen Zusammenführung in Sammeleinheiten.“ ([Hei-06], S. 221)

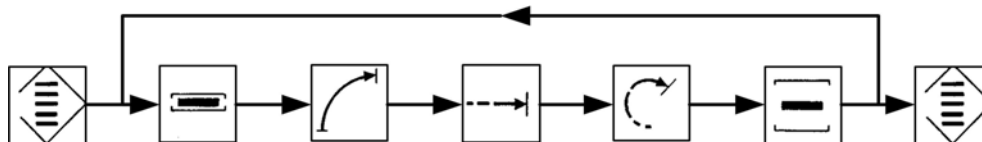


Abb. 4-14: Handhabungsschritte beim Umpacken, Zulagern und Vereinzeln

Vereinzeln und Zusammenführen sind die beiden grundlegenden Funktionen, die das Kommissionieren und das darauf folgende Verpacken und Palettieren der Ware bestimmen [Kle-05]. Die bereitgestellte Ware wird zunächst vereinzelt, d.h. von der Lager- oder Bereitstellungseinheit werden ganze Gebinde (Batch-Picking) oder einzelne Artikel entnommen. Diese

werden in einem zweiten Schritt so zusammengeführt, dass die Ware den Aufträgen entspricht. Beim Verpacken wird die bereits kommissionierte Ware eventuell ein zweites Mal gegriffen und in der Versandverpackung zusammengefasst. Nur beim Pick & Pack-Ansatz entfällt ein zweites Greifen, weil die Ware beim Kommissionieren direkt in einem Versandbehälter gesammelt wird.

Auch beim Depalettieren handelt es sich um ein Vereinzeln von Ware, die auf einer Palette bereitgestellt wird. Das Palettieren ist der umgekehrte Vorgang. Hier wird Ware, die meist vereinzelt bereitgestellt ist, zu Palettenladungen zusammengeführt. Durch die Kombination der Funktionen Vereinzeln und Zusammenführen entstehen weitere Sonderfälle, wie das Umpacken oder das Zulagern. Außerdem kann durch die Funktionen Vereinzeln und Zusammenführen das Sortieren von Ware realisiert werden.

In automatisierten Systemen werden die Funktionen Vereinzeln und Zusammenführen häufig getrennt und von verschiedenen Handhabungseinrichtungen ausgeführt. Dadurch sind auch die Anlagen zur Vereinzelnung und zum Zusammenführen auf die jeweilige Aufgabe spezialisiert und gerätetechnisch getrennt. Objekte mit einfacher und ähnlicher Geometrie können mit Materialflusselementen, wie Lagen(de-)palettierern in Kombination mit Sortiertischen, mit geringem Aufwand in sicheren Prozessen vereinzelt oder zusammengeführt werden [NN-06a]. Kamerasysteme können Objekte sehr flexibel erkennen. Ein Portalroboter beispielsweise kann diese Objekte vereinzeln und auf einem Förderer absetzen. Man spricht vom Prinzip Pick-to-Belt [NN-06c], [Wur-04].

Bei komplexen Geometrien der zu greifenden Einheiten bedeutet das Trennen der beiden Funktionen einen erhöhten Aufwand für die Sensorik, da die Objekte zweimal erkannt und gegriffen werden müssen. Ob die Funktionen Vereinzeln und Zusammenführen getrennt sind oder zusammen ausgeführt werden, ist oftmals auch von weiteren Randbedingungen wie z.B. den räumlichen Gegebenheiten, vorhandenen Anlagen und Einrichtungen, den Arbeitsräumen von Handhabungsgeräten oder der Auftragsstruktur des Betriebes abhängig.

„Funktionen nach der Auslagerung“

Nach der Auslagerung folgt die Zusammenstellung von Ware, so wie sie vom betriebsinternen oder -externen Kunden in einem Auftrag angefordert wurde. Dieser Vorgang wird als Kommissionierung bezeichnet und besteht im Wesentlichen aus dem Vereinzeln und Zusammenführen von Artikeln (siehe „Vereinzeln und Zusammenführen“). Innerhalb der Kommissionierung existieren Aufgaben, die allein das Lagersystem und nicht das eigentliche Kommissioniersystem übernimmt. Handelt es sich um reine Förderaufgaben, so können diese von der Fördertechnik bewältigt werden:

Sind ganze Ladeeinheiten eines Artikels in einem Auftrag gefordert, so beschränkt sich der Kommissionierprozess auf das Auslagern. Benötigt der Kunde ausschließlich ganze Ladeeinheiten mehrerer Artikel, müssen die Lagereinheiten ausgelagert und dann an einem Auftragssammelplatz zusammengeführt werden. [Arn-04].

Gleichzeitig existieren komplexere Aufträge, die besondere Anforderungen an die Handhabungstechnik stellen. Diese werden als spezielle Funktionen nach der Auslagerung betrachtet:

- Batch-Picking,
- Packen von Mischpaletten aus sortenreinen Paletten und
- Erstellen von Systempaletten.

Müssen Teilmengen ganzer Ladeeinheiten kommissioniert werden, so kann es nötig sein, zunächst ganze Gebinde von den Ladeeinheiten zu entnehmen (Batch-Picking). Bei einstufiger Kommissionierung kommt dies vor, wenn ein Kunde vollständige Gebinde verlangt. Bei einer zweistufigen Kommissionierung werden im ersten Schritt komplette Gebinde kommissioniert.

Da während des Batch-Picking das Gebinde nicht geöffnet wird und es sich bei den Gebinden meist um uniforme Einheiten wie Kartons oder Trays handelt, ist dieser Schritt relativ gut automatisierbar und deshalb explizit genannt. [Sch-06a]

Nach der Auslagerung und Kommissionierung wird die Ware oft palettiert. Zwei Fälle des Zusammenstellens von Paletten werden gesondert betrachtet: das Packen von Mischpaletten aus sortenreinen Paletten und das Erstellen von System- oder Displaypaletten.

Das Packen von Mischpaletten aus sortenreinen Palettenladungen ist die Kombination aus einem Depalettier-, einem Kommissionier- und einem Palettierprozess. Die einzelnen Prozesse sind räumlich zusammengefasst und werden von einem Handhabungsgerät, beispielsweise einem Palettierroboter, durchgeführt. [Sch-06a]

System- oder Displaypaletten spielen in der Getränkeindustrie eine große Rolle. Die Erstellung von Systempaletten sollte flexibel gestaltet sein, damit der Planungszeitraum und somit auch die Durchlaufzeit sehr kurz sind. In der Getränkeindustrie sind in der Regel hoch automatisierte, leistungsstarke Anlagen im Einsatz, die Flaschen in Kartons und die Kartons auf Paletten packen. In einer derartigen Verpackungsanlage stören Sonderprozesse und müssen daher getrennt betrachtet werden.

Der Prozess zeichnet sich dadurch aus, dass das Greifen unterschiedlicher Einheiten nötig ist, um die logistische Einheit zu erstellen. Die Palettenladung umfasst sowohl Flaschen als

auch Zwischeneinlagen, die möglicherweise sehr labil sind. Soll diese Aufgabe nicht manuell ausgeführt werden, benötigt man flexible Handhabungstechnik, um alle Anforderungen zu erfüllen. Aus diesem Grund eignen sich Knickarm- oder Portalroboter. [Hep-04]

„Etikettieren“

Um den Materialfluss in einem Unternehmen zu steuern, ist ein begleitender Informationsfluss unerlässlich. Durch die Etikettierung wird die physische Ware mit Daten verknüpft. Deshalb gehört zu jeder Lagereinheit ein Identifizierungsmerkmal, mit dessen Hilfe die Ware eindeutig erkannt werden kann. Meist ist dieser Identträger ein Etikett, das die nötige Information als Nummer, Text oder Code (z.B. Barcode oder elektronischer Code für RFID) trägt. [VDI-2515]

Immer wenn neue logistische Einheiten entstehen, ist es nötig, diese mit einem eigenen Identifizierungsmerkmal auszustatten. Nur so kann ein fehlerfreier Material- und Informationsfluss erreicht werden. Bereits vor dem Einlagern erhält die Ware beim Bilden der Lagereinheit das erste Mal ein Etikett oder einen Aufdruck direkt auf die Ware ([VDI-3629], S. 4). Sobald neue Einheiten gebildet werden, wird erneut etikettiert. Als letztes wird die Versandeinheit gekennzeichnet. Diese verlässt etikettiert das Unternehmen.

Weit verbreitet ist das Anbringen von Klebeetiketten, die direkt auf die Ware oder das Ladehilfsmittel geklebt werden. Dies kann auch mit Hilfe eines Roboters geschehen. Außerdem gibt es die Möglichkeit, Etiketten durch Tackern oder Nageln anzubringen oder durch direktes Bedrucken der Ware eine eindeutige Kennzeichnung vorzunehmen.

„Ladung sichern“

Um Förder- und Lagerprozesse zu rationalisieren, werden Güter zu standardisierten Ladeeinheiten, z.B. Palettenladungen, zusammengefasst.

„Durch die Sicherung von Ladeeinheiten sollen qualitative, quantitative und stoffliche Veränderungen beim Lagern, Umschlagen und Transportieren eines Gutes vermieden werden. Die Sicherung von Ladeeinheiten ist somit notwendige Voraussetzung für einen störungsfreien Warenfluss in der Transportkette bzw. Warendistribution.“ ([VDI-3968], S. 2)

Je nach Anforderung an die Ladeeinheitensicherung, die sich aus

- dem Beschaffenheitsprofil,
- dem Beanspruchungsprofil
- und dem Funktionsprofil

der Ladeinheit zusammensetzt stehen verschiedene Sicherungsmittel und -verfahren zur Verfügung. Viele dieser Verfahren zur Ladeeinheitensicherung können in leistungsfähigen automatischen Anlagen ablaufen, so z.B. das Schrumpfen, das Umreifen oder das Strecken.

Da jede Sicherung der Ladeinheit einen weiteren Prozessschritt bedeutet und der automatische Zugriff auf gesicherte Ladung stets erschwert oder unmöglich ist, strebt man in der Praxis „möglichst stabile Ladungen an, durch die sich aufwendige Sicherungsmaßnahmen vermeiden oder zumindest reduzieren lassen.“ ([Arn-04], S. A3-84 u.A3-85).

4.3 Kombination der Materialflussfunktionen

In Abschnitt 4.2 wurden die Materialflussfunktionen bei der Lagerung von Stückgütern bezüglich ihres Aufgabenumfangs beschrieben und ihrer prozessbedingten Handhabungsschritten analysiert. Neben den Funktionen Ein- und Auslagern, Kommissionierung sowie Verpackung und Versand wurden ergänzende, spezielle Lagerfunktionen identifiziert, welche die wesentlichen Funktionen detaillieren und vervollständigen. Diese Lagerfunktionen bilden die Grundlage für das weitere Vorgehen.

4.3.1 Definition und Zuordnung

Um einen systematischen Überblick über mögliche Funktionskombinationen zu erhalten, werden alle im Abschnitt 4.2 identifizierten Funktionen in Abschnitt 4.3.2 paarweise kombiniert. Hierbei berücksichtigt die verwendete Matrix als erstes die Materialflussfunktionen Einlagern, Auslagern, Kommissionieren und Verpackung.

Der Versand ist vollständig durch die Funktionen Palettieren (Vereinzelnd und Zusammenführen) und die Ladung sichern abgebildet. Die speziellen Lagerfunktionen beginnen mit dem Prüfen und der Inventur sowie den Funktionen, die unmittelbar vor dem Einlagern stattfinden. Umlagern von Mischpaletten, Zulagern und Vereinzelnd zum Einlagern sind unter dem Stichwort „Einlagerung vorbereiten“ zusammengefasst. Das Packen von Misch- und Systempaletten durch „Nach der Auslagerung“ repräsentiert. Das Batch-Picking erfolgt auch nach dem Auslagern, ist jedoch eigentlich Teil des Kommissionierens und wird hier deshalb der Kommissionierung zugerechnet.

Es folgen die Funktionen Etikettieren, Ladung sichern und Identifizieren. Identifizieren kann als Element der Funktion Prüfen betrachtet werden. Im Folgenden wird die Identifizierung dennoch als einzelne Funktion aufgeführt, da sie von besonderer Bedeutung für Material- und Informationsfluss ist.

Die Funktion Vereinzeln und Zusammenführen, die vor allem das Palettieren und Depalettieren abbildet, vervollständigt die Funktionen.

4.3.2 Paarweiser Vergleich

Für die Umsetzung der Funktionsintegration in einem Roboter gilt es zu hinterfragen, welche der Lagerfunktionen sowohl zeitlich, als auch räumlich kombinierbar sind. Dies ist die erste essentielle Überlegung, um Funktionen miteinander zu verbinden und Handhabungsschritte einzusparen:

Ist eine **zeitliche Kombination** oder Integration der beiden betrachteten Funktionen zweckmäßig? Im Sinne von: Kann eine logistische Einheit unmittelbar nacheinander, quasi gleichzeitig, beide Funktionen durchlaufen?

Erscheint eine **räumliche Kombination** der zwei Funktionen sinnvoll? Im Sinne von: Gibt es die Möglichkeit, mehrere Aufgaben an einem Ort zu bündeln? Dabei kann jede der zwei Funktionen prinzipiell eine andere logistische Einheit bearbeiten.

Die Matrix (Abb. 4-15) zeigt eine erste Bewertung in Bezug auf eine sinnvolle, zielführende Kombination zweier Funktionen.

Im Anhang ist die ausführliche Beschreibung der Bewertung angefügt. So ist es möglich die getroffenen Entscheidungen nachzuvollziehen. Bei einigen Funktionen ist der Sinn einer räumlichen und zeitlichen Kombination (in der Abbildung ●■) sofort ersichtlich, wie z.B. beim Etikettieren und der Einlagerung. Eine Integration dieser Funktionen ist in der Praxis oftmals umgesetzt und erscheint ganz natürlich.

Durch diese erste Bewertung, ob die Kombination oder Integration von je zwei Lagerfunktionen zweckmäßig ist, entsteht ein Überblick über die Fülle an möglichen Funktionsintegrationen. Gleichzeitig wird beim Betrachten aller Funktionen im Lager klar, dass die feine Unterteilung der Lagerfunktionen zu sehr umfangreichen Kombinationsmöglichkeiten führt.

	Einlagern	Auslagern	Kommissionieren	Verpacken	Prüfen	Inventur	Einlagerung vorbereiten	Nach der Auslagerung	Etikettieren	Ladung sichern	Identifizieren	Vereinzeln und Zusammenführen
Einlagern												
Auslagern	○■											
Kommissionieren	⊗	○										
Verpacken	○□	○□	●■									
Prüfen	●■	●■	⊗	⊗								
Inventur	●■	●■	⊗	○□	●■							
Einlagerung vorbereiten	⊗	○	○■	○□	○□	○□						
Nach der Auslagerung	○	⊗	●■	○□	○□	○□	○■					
Etikettieren	●■	●■	●■	●■	○	○□	●■	●■				
Ladung sichern	●■	●■	⊗	○□	●■	○□	●■	●■	●■			
Identifizieren	●■	●■	⊗	⊗	●■	●■	●■	●■	●■	○□		
Vereinzeln und Zusammenführen	⊗	⊗	○□	○□	○□	○□	●■	●■	●■	⊗	●■	

- Zeitliche Kombination der beiden Funktionen
 - erscheint sinnvoll ●
 - erscheint nicht sinnvoll ○
 - kann sinnvoll sein ⊗
- Räumliche Kombination der beiden Funktionen
 - erscheint sinnvoll ■
 - erscheint nicht sinnvoll □
 - kann sinnvoll sein ⊗

Abb. 4-15: Kombination von je zwei Lagerfunktionen

Zunächst hat diese Untergliederung dafür gesorgt, dass jede Funktion anschaulich bleibt oder wird. Jede Funktion stellt eine klar umgrenzte Aufgabe dar, die dadurch gut vorstellbar und verständlich ist. Beim weiteren Vorgehen muss jedoch berücksichtigt werden, dass diese einfachen kleinen Funktionen durch ihre relativ große Anzahl, die Komplexität beim Kombinieren mehrerer Funktionen stark anwachsen lassen.

4.4 Anforderungen an den Robotereinsatz

Im Kapitel 4.3 konnten sinnvolle Funktionen bezüglich örtlicher und räumlicher Kombinierbarkeit in einem Handhabungsgerät erarbeitet werden. Für die weiteren Betrachtungen sollen zunächst die Anforderungen an einen zielführenden Robotereinsatz benannt werden. Dafür werden zunächst zwei wesentliche Fragen geklärt:

„Für welche logistischen Bereiche eines Unternehmens ist eine „Funktionsintegration in einem Roboter“ interessant und eröffnet Möglichkeiten zur Optimierung?“

Für die Funktionsintegration betrachtet der erste Schritt all die Logistikbereiche eines Unternehmens, die bisher nicht effizient oder nicht optimal arbeiten. Handelt es sich um bereits automatisierte Bereiche, bei denen die bisherige Automatisierungslösung wegen mangelnder Auslastung unwirtschaftlich ist, so kann die Integration mehrerer Aufgaben Abhilfe schaffen. Außerdem bieten sich für eine Funktionsintegration Lagerfunktionen an, die der Mensch ausführt, weil der Durchsatz den Einsatz von Sondermaschinen nicht rechtfertigt, die Automatisierungstechnik aber prinzipiell optimieren kann.

In beiden Fällen ist eine herkömmliche Automatisierung keine zufrieden stellende Lösung. Der Ansatz der Funktionsintegration bietet hier neue Möglichkeiten zur Optimierung, wenn die nachfolgenden Voraussetzungen an die Durchsätze in den verschiedenen Bereichen erfüllt sind: Da ein Roboter die verschiedenen Funktionen ausführen soll, ist die Leistung des Gesamtsystems durch die Leistung des Roboters beschränkt. Die Summe der Durchsätze in den verschiedenen integrierten Bereichen darf demnach die Leistungsfähigkeit des Roboters nicht übersteigen. Gegebenenfalls können einzelne Funktionen nicht integriert werden oder die Aufgaben müssen auf mehrere Roboter übertragen werden.

„Welche Anforderungen müssen die zu bewegendem Objekte erfüllen, damit der Einsatz eines Roboters erfolgreich sein kann?“

Die Handhabungsobjekte im Bereich der Lagerung sind, im Gegensatz zu den Werkstücken in einem einzelnen Produktionsprozess, äußerst vielfältig. Jedes Unternehmen stellt andere Produkte her und eine umfassende Betrachtung aller Handhabungsobjekte ist kaum möglich. Grundsätzlich gilt jedoch: Beinahe jedes Objekt ist automatisch greifbar. Es existieren vielgestaltige Sondergreifer und in Kombination mit geeigneten Einrichtungen, die das Greifen vorbereiten, ist ein sicheres Greifen möglich, auch wenn der ursprüngliche Bereitstellungsstatus des Objekts eine automatische Handhabung nicht erlaubt. So können z.B. Rüttelbänder oder Vibrationswendelförderer in Verbindung mit Schikanen Greifobjekte vereinzeln und Ordnen. Der „Griff in die Kiste“, d.h. das Greifen von ungeordneten Artikeln, ist

mit leistungsfähiger Sensorik heute teilweise möglich. Die umfangreichen Daten, die für ein sicheres Erkennen ausgewertet werden müssen, sorgen jedoch für relativ große Pickzeiten. Ein solches Vorgehen ist also immer mit erhöhtem Aufwand und damit auch höheren Kosten verbunden. Es ist möglich, dass eine Automatisierung in dieser Art nicht rentabel ist, weil der Aufwand den Nutzen bei Weitem übersteigt. Diese Gefahr besteht jedoch immer und ist im Vorfeld zu berücksichtigen und weitestgehend auszuschließen. Unter Umständen kann es nötig sein, die Artikel geordnet in Behältern oder Magazinen unterzubringen, um sichere Greifprozesse zu gewährleisten.

Während man heute in der Intralogistik vielerorts froh ist, den Artikel überhaupt sicher automatisch greifen zu können, gilt es in Zukunft, die Packungen handhabungs- und logistikgerecht zu konstruieren, um die Kosten zu reduzieren [Sch-07].

Aus diesen Gründen werden im Folgenden die individuellen Eigenschaften der Greifobjekte nicht einbezogen. Die Automatisierbarkeit des Greifprozesses ist eine der Grundvoraussetzungen für die Funktionsvereinigung mit einem Roboter.

Neben den Forderungen an die Eigenschaften der einzelnen Gebinde und Artikel, ist das Verhalten der Gebinde im geordneten Verbund, d. h. als Ladeeinheit entscheidend. Besonders die Stabilität gestapelter Ware bestimmt die Realisierbarkeit, denn eine automatische Entfernung von Ladungssicherungsmitteln, wie z.B. Stretchfolie, durch den Roboter ist nicht sinnvoll. Folglich muss die Ware so stabil gestapelt sein, dass sie ohne externe Ladeeinheitensicherung gelagert werden kann. Dies kann zu Problemen führen, wenn die Beschleunigungen in einem modernen Hochregallager während des Transports durch das Regalbediengerät sehr hoch sind.

Um erfolgreich Funktionen zu integrieren und diese durch einen Roboter ausführen zu lassen, ist die Erfüllung der vorangegangenen Anforderungen von entscheidender Bedeutung. Kann dies nicht garantiert werden, so sind Sonderlösungen zu schaffen, die die Wirtschaftlichkeit des Konzepts stark beeinflussen. Diese Anforderungen sollen daher als Grundvoraussetzung für den Einsatz eines Roboters, der verschiedene Lagerfunktionen integriert ausführt, gelten. Bei der Planung (Kapitel 5) sind diese Eigenschaften daher zu berücksichtigen.

4.5 Funktionen für den Robotereinsatz

In der Intralogistik unterscheiden sich neben den Handhabungsobjekten auch die Handhabungsaufgaben stark. Um die Integration eines Roboters systematisch zu modellieren, wird eine Struktur festgelegt, mit deren Hilfe ein sinnvolles und verständliches Vorgehen möglich ist.

4.5.1 Hauptfunktionen

Die VDI-Richtlinie 3629 fasst dazu unter dem Begriff „Organisatorische Grundfunktionen im Lager“ alle Aufgaben zusammen, die im Wesentlichen dem reinen Ein- und Auslagern entsprechen, also der Zuordnung der Ware zu einen bestimmten Lagerplatz, deren Transport an die vorgesehene Stelle sowie die Entnahme der Ware aus dem Lager und die Zuführung zum Warenausgang [VDI-3629].

Die Untersuchungen berücksichtigen im Gegensatz zur VDI-Richtlinie auch alle Funktionen im Umfeld der Lagerung und knüpfen an die Definition nach Arnold an, der dem Lagerprozess explizit die Kommissionierung, die Verpackung und die Palettierung zurechnet [Arn-04]. Bereits in Kapitel 4.2.2 dient der Lagerprozess nach Arnold (Abbildung 4-5) als Ausgangspunkt zur Strukturierung der Lagerfunktionen. Ausgehend von diesem Prozess umfassen die vier Funktionen folgende Aufgaben:

Ein- und Auslagern: Umfasst auch die vor- bzw. nachbereitenden Arbeitsschritte.

Kommissionierung: Enthält auch alle Aufgaben von der Bereitstellung über die Entnahme bis zur Abgabe.

Verpackung & Versand: Vereinigt das Verpacken, die Palettierung und die Bereitstellung der versandbereiten Ware.

Die Hauptfunktionen Einlagern, Auslagern, Kommissionieren und Verpackung & Versand beschreiben den gesamten Lagerprozess vollständig. In der Abbildung 4-16 sind die vier Hauptfunktionen markiert. Das Lagern selbst als statischer Prozess, der ausschließlich im Lager stattfindet, spielt für die Funktionsintegration keine Rolle.

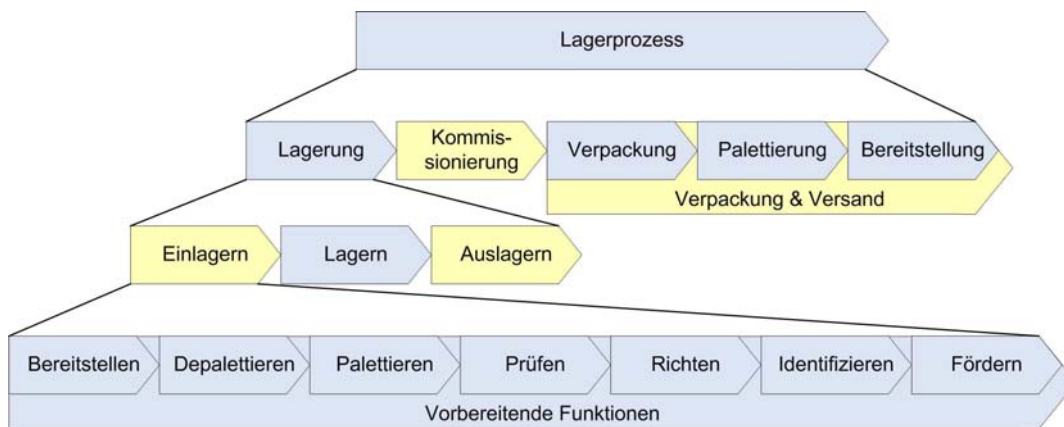


Abb. 4-16: Hauptfunktionen im Lager entsprechend dem Lagerprozess nach Arnold [Arn-04]

Welche Aufgaben diese im Bezug auf die Funktionsintegration in einem Roboter umfassen, wird im Abschnitt 4.5 beschrieben. Alle speziellen Lagerfunktionen aus Abschnitt 4.2.2.4 wie z.B. die Ladungssicherung, finden sich innerhalb der Hauptfunktionen wieder. In der folgenden Abbildung 4-17 sind die Einzelfunktionen den vier Hauptfunktionen zugeordnet. Eine Sonderstellung nimmt das Vereinzeln und Zusammenführen ein, da diese Handhabungsfunktionen in allen Palettier-, Depalettier- und Kommissioniervorgängen enthalten sind.

Hauptfunktionen \ Einzelfunktionen	Einlagern	Auslagern	Kommissionieren	Verpacken	Prüfen	Inventur	Einlagerung vorbereiten	Funktionen nach der Auslagerung	Etikettieren	Ladung sichern	Identifizieren	Vereinzeln und Zusammenführen
Einlagern	X				X	X	X		X		X	X
Auslagern		X			X	X		X	X		X	X
Kommissionieren			X		X	X			X		X	X
Verpackung & Versand				X	X	X			X	X	X	X

Abb. 4-17: Zuordnung der Einzelfunktionen zu den vier Hauptfunktionen

4.5.2 Nebenfunktionen

Einige Funktionen waren nicht eindeutig einer bestimmten Hauptfunktion zuzuordnen, weil sie mehrmals im logistischen Prozess vorkommen oder in unterschiedlichen Prozessschritten durchgeführt werden können. Dies gilt für:

- „Etikettieren“
- „Prüfen“

- „Identifizieren“
- „Inventur“

Etikettier-, Prüf- oder Identifizierungsvorgänge sind beim Ein- und Auslagern genauso zu finden wie bei der Kommissionierung. Selbst wenn die Inventur während eines festgelegten Prozessschrittes stattfindet, kann sie dennoch direkt im Lager, vor dem Einlagern oder auch nach dem Auslagern der Ware erfolgen.

Aus diesem Grund werden diese Nebenfunktionen, die sich in keine der Hauptfunktionen eingliedern, zunächst nicht explizit betrachtet. Die Konzepte zur Funktionsintegration in Kapitel 5 konzentrieren sich auf die Hauptfunktionen. Sie kombinieren diese möglichst optimal miteinander, so dass ein Roboter alle betrachteten Aufgaben erfüllen kann. Ist dieser erste Schritt abgeschlossen, kann ein Planer die noch nicht berücksichtigten Nebenfunktionen wie Etikettieren, Prüfen und Identifizieren sowie die Inventur als weitere Funktionen zweckmäßig in das entsprechende Konzept einfügen.

4.5.3 Bewertung der Funktionen

Eine abschließende Punktbewertung der Einzelfunktionen soll deren Bedeutung für die Struktur und Organisation der Roboterzelle identifizieren. Als Kriterien dienen:

- der Einfluss der Funktion auf das Layout des Arbeitsplatzes, maßgeblich bestimmt durch den voraussichtlichen Platzbedarf,
- der Einfluss auf die entstehenden (Investitions-) Kosten,
- die Bedeutung im Bezug auf die Warenströme, d. h. den Materialfluss,
- der Zeitanteil, den die jeweilige Funktion benötigt, sowie
- die Komplexität der technischen Umsetzung.

Das Ergebnis der Bewertung (Abb. 4-18) bestätigt die Annahmen, dass die Funktionen Prüfen, Inventur, Etikettieren und Identifizieren für die Planung einer Roboterzelle von relativ geringer Bedeutung sind. Wichtig ist in erster Linie die Integration der zeit- und ressourcenintensiven Funktionen, die in den vier festgelegten Hauptfunktionen gebündelt sind.

Bewertungs- kriterien	Einzel- funktionen											
	Einlagern	Auslagern	Kommissionieren	Verpacken	Prüfen	Inventur	Einlagerung vorbereiten	Funktionen nach der Auslagerung	Etikettieren	Ladung sichern	Identifizieren	Vereinzeln und Zusammenführen
Einfluss auf das Layout der Roboter- zelle (Platzbedarf)	3	3	9	3	1	1	9	9	1	1	1	3
Einfluss auf die Kosten	3	3	9	9	1	3	3	3	1	9	1	3
Einfluss auf den Materialfluss in der Roboterzone	9	9	9	1	1	1	9	9	1	3	1	3
Zeitanteil zur Erfüllung der Lagerfunktion	3	3	9	3	1	1	3	3	1	3	1	9
Komplexität der technischen Umsetzung	3	3	9	3	1	1	3	3	1	3	1	3
Summe	21	21	45	19	5	7	27	27	5	19	5	21
Bewertung:	1 gering		3 mittel			9 groß						

Abb. 4-18: Bewertung der Einzelfunktionen hinsichtlich ihrer Bedeutung für die Planung

4.5.4 Roboterfunktionen

Die erarbeiteten Hauptfunktionen (Abschnitt 4.5.1) werden nachfolgend (Abschnitte 4.5.4.1 bis 4.5.4.4) auf den Roboter übertragen. Hier findet die Zuordnung der vier Hauptfunktionen statt. Es wird definiert, welche Aufgaben diese umfassen und inwiefern der Roboter als Handhabungsgerät diese durchführen kann.

4.5.4.1 Einlagern

Betrachtet werden ausschließlich automatisch bediente Lager. Ein Regalbediengerät übernimmt den Vorgang der Einlagerung im Sinne von „in das Lagerfach stellen“. Die vorbereitenden Handhabungsaufgaben Zulagern, sortenreines Umpacken von Mischpaletten und Vereinzeln zum Einlagern erledigt der Roboter.

Um den Füllungsgrad des Lagers zu erhöhen, muss zugelagert werden. Dazu steht eine teilweise gefüllte Palette aus dem Lager bereit, die der Roboter sortenrein mit weiteren angelieferten Gebinden belädt. Bei Artikeln, die die Kunden nur in geringen Mengen oder selten verlangen, kann die Bestellmenge weniger als eine Palettenladung betragen. Diese Ware kann den Lagerbereich deshalb in gemischten Paletten erreichen. Bei der Ware auf Mischpaletten handelt es sich um typische Artikel für ein automatisches Kleinteilelager (AKL), denn eine dynamische Bereitstellung dieser Langsamdreher bietet sich an. Wenn die

Ware vereinzelt im AKL lagern kann, ist ein sortenreines Umpacken der Mischpaletten zur Einlagerung ins Palettenlager nicht nötig. Die Vereinzlung der Gebinde durch den Roboter genügt. Existiert kein Kleinteilelager oder Lager für Einzelgebände, so kann das Umpacken von Mischpaletten sehr wohl sinnvoll sein, um durch sortenreine Einlagerung im Palettenlager den direkten Zugriff auf jeden Artikel zu ermöglichen.

Der Roboter übernimmt im Bereich der Einlagerung Umpack- und Vereinzlungsaufgaben sowie das Bewegen der entstehenden logistischen Einheiten zum E-Punkt der Lager oder dem entsprechenden zuführenden Förderer. Der Transport von Ware, die direkt eingelagert werden soll, erfolgt nicht durch den Roboter. Hier handelt es sich ausschließlich um eine Förderaufgabe, die von einem Fördermittel z.B. einem Stapler ausgeführt wird. Der Roboter wird in erster Linie als Handhabungsgerät genutzt.

4.5.4.2 Auslagern

Auch hier übernimmt das Regalbediengerät die Bewegung der Ware bis zum Auslagerungspunkt. Ab dem I-Punkt übernimmt der Roboter die Ware. Er stellt Systempaletten (z.B. aus ganzen Gebänden und einzelnen Artikeln für Aktionsware) zusammen und packt Mischpaletten für die Auslieferung. Das Zusammenstellen der Ware für Mischpaletten ist eigentlich ein Sonderfall der Kommissionierung. Der Kunde verlangt ausschließlich vollständige Gebände. Gleichzeitig hat das Packen von Mischpaletten große Ähnlichkeit mit einem reinen Depalettier- und Palettiervorgang. Dies ist hauptsächlich dann der Fall, wenn die Mischpaletten aus wenigen verschiedenen Artikeln bestehen. Diese können statisch direkt auf Paletten bereitstehen. Insofern ist das Packen von Mischpaletten eine Funktion, die direkt der Auslagerung folgt und hier als Teil des Auslagerns betrachtet wird. Ist eine statische Bereitstellung der Artikel nicht möglich, so wird der Prozess dem Batch-Picking, also der Kommissionierung zugeordnet.

4.5.4.3 Kommissionieren

Für die Ausführung des Materialflusssystem eines Kommissioniersystems existieren laut VDI-Richtlinie 3590 [VDI-3590/1] 16 verschiedene Grundtypen, die aus den Kombinationen der unterschiedlichen Ausprägungen von Bereitstellung, Fortbewegung, Entnahme und Abgabe entstehen. Soll ein Roboter die Kommissionierung übernehmen, so scheiden einige dieser Möglichkeiten aus: Die Basis des Roboters verändert ihre Position im Raum möglichst nicht. Nur dann kann auf aufwändige Einheiten zur Bewegung des gesamten Robotersystems verzichtet werden. Ein Portalroboter kann einen großen Greifraum haben, bewegt sich selbst aber nicht fort. Die Bewegung eines hier betrachteten Industrieroboters ist nach der

Einteilung in VDI 3590 demnach in jedem Fall null- oder, eindimensional [VDI-3590/1]. Da ein Roboter ein mechanisches Gerät ist, findet die Entnahme ausschließlich mechanisch statt.

Erfüllt der Roboter die Hauptfunktion Kommissionierung, so übernimmt er die Bereitstellung der Artikel, falls diese nicht direkt dynamisch vom Lager (z.B. AKL oder HRL) bereitgestellt werden. Weiter entnimmt der Roboter die geforderten Artikel und gibt sie zentral oder dezentral ab. Sind ganze Gebinde für einen Auftrag gefordert, so greift diese ebenfalls der Roboter (Batch-Picking).

Wird sowohl die Kommissionierung, als auch die Funktion Verpackung & Versand vom Roboter ausgeführt, so wird stets der Pick & Pack-Ansatz verfolgt. Der Roboter stellt die Artikel sofort in den vorgesehenen Versandbehälter und vermeidet dadurch ein zweites Greifen. In diesem Fall gibt der Roboter die Ware immer zentral in den Versandkarton ab.

4.5.4.4 Verpackung & Versand

Das Verpacken der kommissionierten Ware durch einen Roboter kann nur dann sinnvoll sein, wenn dieser die Versandkartons befüllen kann, ohne die Ware ein weiteres Mal zu greifen. Dies ist der Fall, wenn der Roboter die Ware kommissioniert und deshalb die Artikel bereits gegriffen hat oder wenn die Ware beispielsweise über eine Rutsche in den Karton gelangt. Der Roboter kann das Einlegen von Versandpapieren und das Schließen der Behälter übernehmen. Danach müssen die Versandpaletten mit den Kartons oder Behältern beladen werden. Dabei ist oft das Einlegen von Zwischenböden nötig, um eine höhere Stabilität zu erreichen. Abschließend versorgt der Roboter im Bereich Versand die Anlage zur Ladeeinheitensicherung (LES). Er setzt alle Paletten, die seinen Arbeitsraum verlassen, auf einen Förderer, der zur Ladeeinheitensicherung führt, so dass eine zentrale Anlage.

5 Modulare Funktionsintegration

In diesem Kapitel werden modulare Konzepte zur Funktionsintegration der Lagerfunktionen in einem Roboter entwickelt. So werden aus den ermittelten Anforderungen bzgl. der Funktionen nachfolgend vor dem Hintergrund der Materialflussplanung und der Systematik der Baukastensysteme allgemeingültige Konzepte bestimmt. Den Abschluss bilden anwendungstypische Konzepte, welche die Praktikabilität der Vorgehensmethodik zeigen.

5.1 Planung von Materialflusssystemen

5.1.1 Planungshintergrund

Die VDI 2385 beschreibt die Planung als die „Suche nach einer realisierbaren Lösung für eine Aufgabe in befristeter Zeit mit vorgegebenem Kostenaufwand unter Berücksichtigung aller wesentlichen Faktoren und Einflussgrößen“. [VDI-2385]

Nachfolgend werden einige Gründe für eine Materialflussuntersuchung mit anschließender Materialflussplanung genannt [All-99]:

- Automatisierung des Transport- und/oder Lagerbereichs
- Behördliche Auflagen
- Betriebsverlagerungen, -erweiterungen und -umstellungen
- Erweiterung der Produktionsmenge und des Produktionsspektrums
- Geringe Auslastung der Transportmittel
- Hohe Lager- und Transportkosten
- Hohe Personalkosten, umständliche Ablauforganisation
- Veraltete Lager- und Transporttechnik
- Überschreiten von Kostenzielen, mangelhafte Kostentransparenz

5.1.2 Planungsphasen

Für die Planung von Materialflusssystemen finden sich in der Literatur je nach Zielsetzung unterschiedliche Planungsschemata: Allgemeine Planungsvorgehensweisen, Planungsansätze für die strategische Logistikplanung und Planungsansätze für die operative Logistikplanung [Due-01].

Die hier betrachtete Materialflussplanung kann der operativen Logistikplanung zugeordnet werden. In diesem Planungsumfeld gibt es eine große Anzahl an Schemata, die sich in den Bezeichnungen, Zuordnung zu Planungsphasen und auch Tätigkeiten unterscheiden. [Hep-98], [Jün-89]. Zusätzlich ist eine scharfe Abgrenzung zwischen den Phasen letztendlich nur problemspezifisch feststellbar.

Einen prinzipiellen Ansatz, die Materialflussplanung zu strukturieren, ergibt die vier Hauptphasen:

- Vorarbeiten (Materialflussuntersuchung) bis zur Ermittlung der Planzahlen,
- Grobplanung, mit einem Gesamtkonzept zum Ziel,
- Feinplanung als ausgearbeitete Grobplanung (incl. Detaillösungen) und
- Realisierung des Materialflusssystems.

5.2 Konzepte zur Funktionsvereinigung

Der nachfolgende Abschnitt stellt verschiedene Konzepte zur Funktionsintegration im Lagerbereich vor. Dazu wird zunächst eine Grundstruktur entwickelt, auf die alle Konzepte aufbauen.

5.2.1 Kombination der Hauptfunktionen

Die Konzepte zur Funktionsintegration beinhalten die in Abschnitt 4.5 definierten Aufgaben des Roboters innerhalb der vier Hauptfunktionen Einlagern, Auslagern, Kommissionieren und Verpackung & Versand (Abb. 5-1).



Abb. 5-1: Hauptfunktionen des Roboters

Die Konzepte haben dabei das Ziel, weitestgehend allgemeingültig zu bleiben und integrieren deshalb jede Hauptfunktion entweder vollständig oder gar nicht. Grundsätzlich gibt es die Möglichkeit, einzelne Funktionen, die nicht integriert werden sollen, weil z.B. eine effizient arbeitende Lösung für diese Funktionen existiert, aus den Konzepten herauszuneh-

5 Modulare Funktionsintegration

men. Eine Anpassung an die betrieblichen Gegebenheiten ist in den meisten Fällen für eine optimale Lösung zwingend erforderlich.

Prinzipiell spricht man von Funktionsintegration, wenn zwei oder mehr verschiedene Funktionen zusammengefasst sind. Bei der Integration zweier Hauptfunktionen in einer Roboterzelle gestaltet sich die Layout- und Organisationsplanung noch einfach. Daher sollen diese Fälle an dieser Stelle nur genannt werden. Paarweise Kombinationen der vier Hauptfunktionen ergeben wie nachfolgend abgebildet folgende Paarungen (Abb. 5-2):

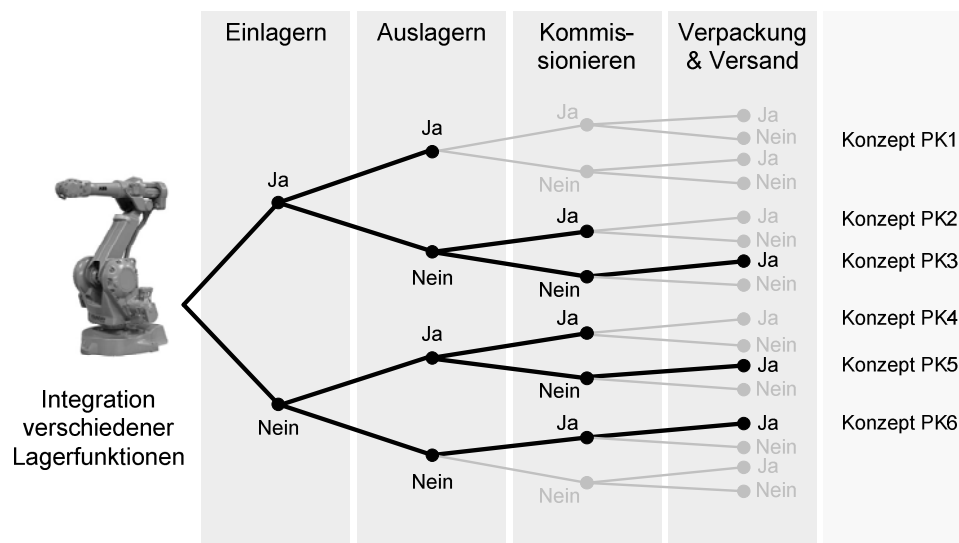


Abb. 5-2: Zweifache Funktionsintegration

Durch die Kombinationen von mindestens drei Hauptfunktionen entstehen fünf mögliche Konzepte, die in den Abschnitten vorgestellt sind. Die Baumstruktur in Abbildung 5-3 veranschaulicht, wie die einzelnen Funktionskombinationen zustande kommen. Die Kombinationsreihenfolge der einzelnen Hauptfunktionen spielt dabei keine Rolle. Alle Aufgaben gehen gleichwertig in die Konzepte ein.

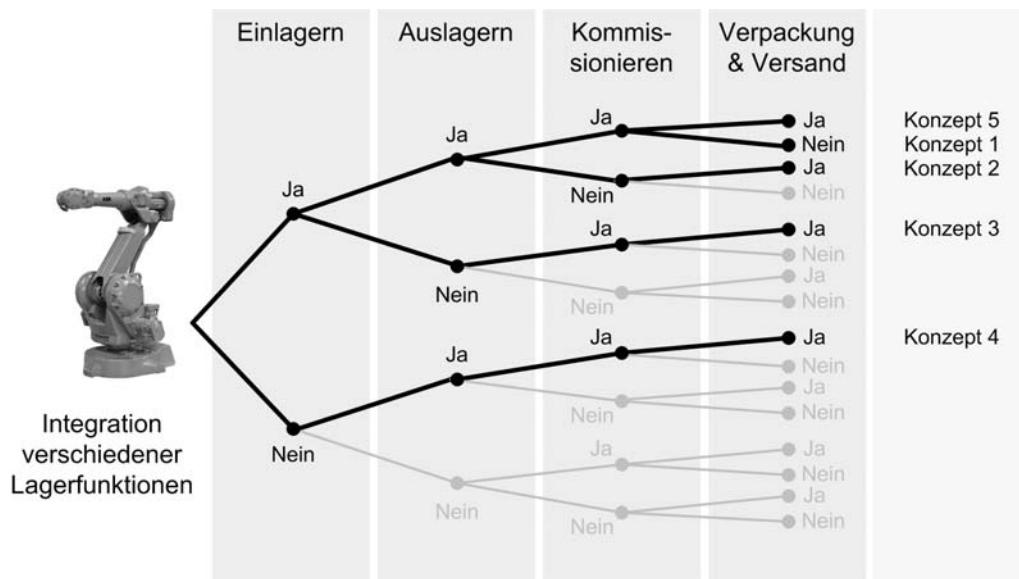


Abb. 5-3: Mehrfache Funktionsintegration

In den folgenden Konzeptbeschreibungen wird ein weiteres Konzept (Abschnitt 5.3.6) vorgestellt. Dieses Konzept vervollständigt die Überlegungen zur Funktionsintegration in einem Roboter. Hierin werden alle Funktionen bei Manipulation kompletter Gebinde betrachtet.

5.2.2 Anordnung der Betriebsbereiche

Der Layoutplanung zu den dargestellten Konzepten liegt eine Anordnung der Betriebsbereiche wie in Abbildung 5-4 dargestellt zugrunde. Diese entspricht dem klassischen Aufbau, wie es in der Praxis häufig vorzufinden ist. Auch in der Literatur vgl. [Mar-99] ist diese Anordnung geläufig.

Aus diesem Grund ist der Aufbau aus einem kombinierten Warenein- und -ausgang und einem Lagerbereich mit Lagervorzone in dieser Arbeit als Standardlayout gewählt.

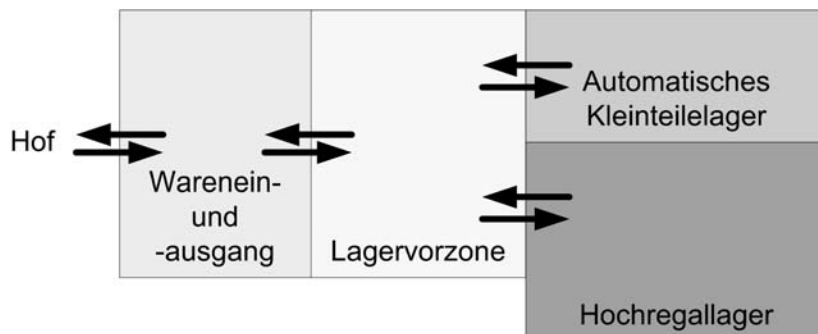


Abb. 5-4: Beispielhafte Anordnung der Betriebsbereiche im Lager

Ein kombinierter Warenein- und -ausgang mit Zugang zu Hof und Laderampen befindet sich in der Abbildung 5-4 auf der linken Seite. Der Lagerbereich hat direkten Anschluss an diese Zone. Er setzt sich zusammen aus der Lagervorzone und den dahinter liegenden Lagern.

In den folgenden Konzepten erfüllt der Roboter seine Aufgaben in der Lagervorzone. Die angelieferten Güter gelangen von links aus dem Wareneingang in die Roboterzone. Zur Einlagerung in die beiden Lager, das Hochregallager und das automatische Kleinteilelager, verlässt die Ware den Arbeitsbereich des Roboters nach rechts. Die fertigen Versandpaletten fahren über einen Förderer in der Abbildung nach links in den kombinierten Warenein- und -ausgang. Die Kommissionierung findet in der Lagervorzone statt.

Die Größenverhältnisse in den Konzepten entsprechen den Relationen in der Realität. Zur Verdeutlichung ist in jeder der Abbildungen, die das Layout zu den einzelnen Konzepten zeigen, ein Maßstab eingezeichnet.

5.2.3 Betrachtete Roboterkinematik

Für die Handhabungsaufgaben innerhalb der vier Hauptfunktionen werden zwei Roboterkinematiken betrachtet. Für die Anordnungsplanung in den Konzepten (5.3.1 bis 5.3.6) müssen die Greifräume definiert sein. Daher werden hier zwei Roboter mit vergleichbaren Traglasten festgelegt.

- Knickarmroboter: KUKA KR 360-2
- Portalroboter: REIS RL300P

Der 6-Achs-Knickarmroboter KUKA KR 360-2 hat einen minimalen Greifraumdurchmesser von etwa 2500 mm und einen maximalen Durchmesser von ca. 6400 mm (Abb. 5-5). Die maximale Traglast beträgt 360 kg. Da Greifer oft ein Gewicht von wesentlich mehr als 100 kg haben, ist eine möglichst hohe Traglast hilfreich und erweitert dadurch das Anwendungsspektrum. [kuk-07]

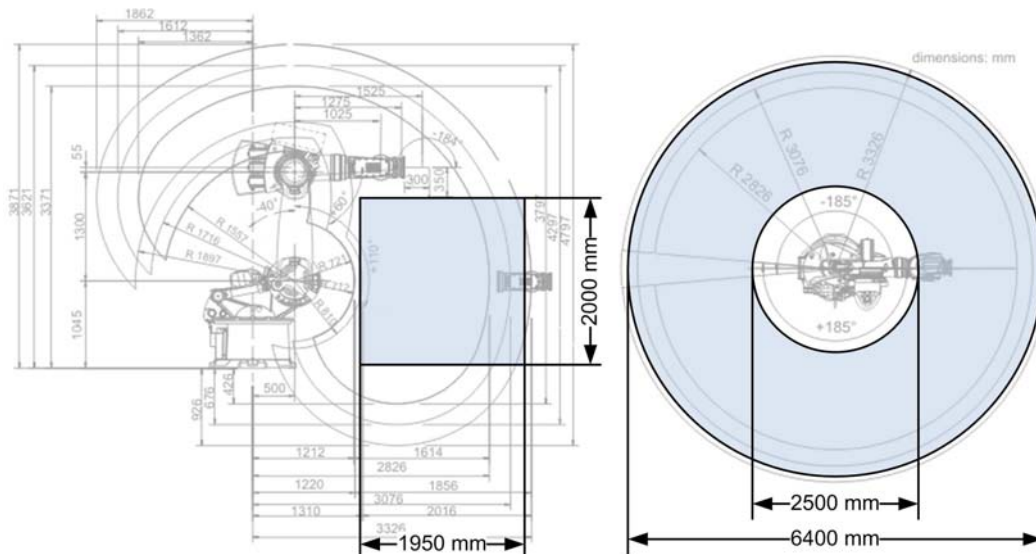


Abb. 5-5: Angenommener Greifraum des Knickarmroboters in den Konzepten vor dem realen Greifraum des KUKA KR 360-2 [kuk-07]

Der Greifraum dieses Roboters ermöglicht es, dass neben den Förderern und Regalen im günstigsten Fall etwa elf Palettenstellplätze bis zu einer Höhe von 2000 mm bedient werden können. Bei der Anordnung von Palettenstellplätzen im Greifraum ist zu beachten, dass die Stellplatzreihe hinter der 1. Reihe (direkt am Roboter) ggf. erhöht sein muss, damit zu jeder Zeit die gesamte Palette im Zugriff steht. Die Palettenstellplätze können je nach Anforderung für die verschiedenen Aufgaben des Roboters zur Bereitstellung der benötigten Ware genutzt werden.

Beim Portalroboter REIS RL300P ist besonders der maximale Hub in z-Richtung (Abb. 5-6) und die nötige Hallenhöhe relevant. Der gewählte Portalroboter kann bis zu einer Höhe von 1500 mm eine Maximallast von 300 kg bewegen. Die Kinematik erreicht dabei eine Gesamthöhe von 3600 mm. Der Greifraum ist in y-Richtung maximal 6000 mm breit und kann in x-Richtung in 500 mm Schritten bis auf 15000 mm erweitert werden.

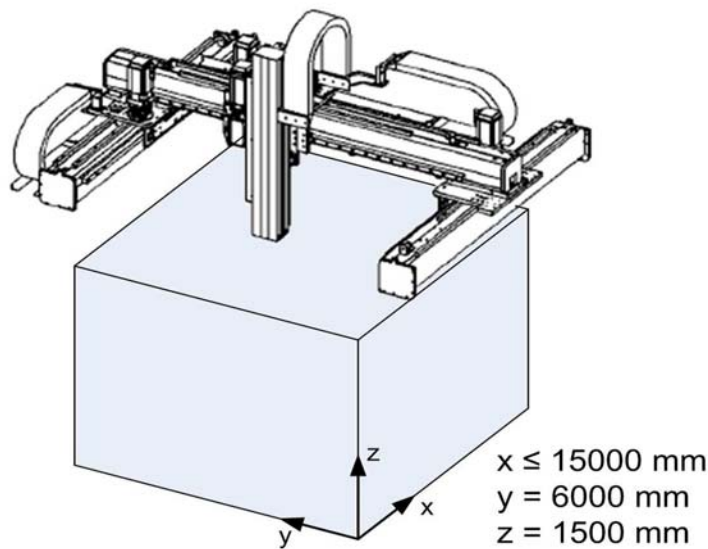


Abb. 5-6: Greifraum des Portalroboters REIS RL300P [rei-07]

5.2.4 Organisation des Materialflusses

Um die Organisation der Abläufe möglichst einfach zu gestalten, bietet es sich an, dem Roboter immer ganze Funktionspakete zuzuweisen. Beispielsweise lagert der Roboter zunächst ankommende Ware vereinzelt ins AKL ein. Danach werden Kommissionieraufträge bearbeitet. Im Anschluss packt der Roboter System- und Mischpaletten.

Die Funktionen können auch parallel ausgeführt werden, um z.B. die Greifwege des Roboters zu verkürzen und Strategien zur Effizienzsteigerung zu verfolgen. Bleibt man beispielsweise bei der Organisationsform, bei der jeweils ein Arbeitspaket bearbeitet wird, besteht die Möglichkeit, die begrenzte Zahl an Palettenstellplätzen (Abschnitt 5.2.3) auch nacheinander für verschiedene Aufgaben zu nutzen und so die nötigen Aus- und Einlagerungen von Paletten aus dem Lager zu minimieren.

Damit der Roboter die einzelnen Aufgaben ausführen kann, muss er unterschiedliche Objekte greifen können. Neben Leer- und Vollpaletten ist das Greifen von Gebinden und einzelnen Artikeln gefordert. Wenn nötig, muss die Ladung zwischen den einzelnen Lagen durch das Aufsprühen von Antislip-Flüssigkeit gesichert werden. Einige dieser Funktionen können in einem Endeffektor kombiniert werden. Auf ein Greiferwechselsystem (Abschnitt 3.2) wird man angesichts des großen Aufgabenspektrums im Normalfall nicht verzichten können.

Um keinen Platz innerhalb des begrenzten Greifraums eines Knickarmroboters zu verlieren, bietet es hier sich an, die verschiedenen Greifer nicht am Boden, sondern hängend, z.B. über dem Knickarmroboter, bereitzustellen. Dieser Raum wird üblicherweise für die logisti-

schen Aufgaben nicht genutzt. Deshalb schränkt eine Anordnung der Werkzeuge an dieser Stelle die Ausführung der Lagerfunktionen nicht ein.

Beim Einsatz eines Portalroboters ist dies nicht möglich, da sich die Kinematik vollständig über dem Greifraum befindet. Der Arbeitsraum eines Portalroboters kann jedoch so angepasst werden, dass die Bereitstellung der Greifer zum Wechseln nicht zu Platzproblemen führen muss. Schwierigkeiten können bei der Portalkinematik durch die große Höhe entstehen, die in der Halle zur Verfügung stehen muss.

Bei der Verwendung eines Portalroboters ist wie in Konzept 2 (Abschnitt 5.3.2) angedeutet darauf zu achten, dass die zusammengehörenden Arbeitsbereiche möglichst zeilenförmig entlang der Roboterbrücke verlaufen, um die Verfahrbewegungen der Brücke gering zu halten. Die Bewegung des Roboterarms alleine ist auf Grund seiner geringeren Masse stets zu bevorzugen. Denn so kann der Roboter mit maximaler Geschwindigkeit verfahren und zudem ist es energieeffizienter, wenn durch optimale Anordnung die zu transportierenden Massen minimiert sind.

5.3 Konzepte zur Funktionsintegration

Die nachfolgenden Konzepte im Bereich der Stückgutlagerung integrieren die Hauptlagerfunktionen wie in Abschnitt 5.2.1 dargestellt. Diese Konzepte haben einen allgemeinen Anspruch. Sie zeigen die Anwendungsmöglichkeiten der Funktionsintegration als Alternative zur konventionellen Lagertechnik. Zu jedem dieser allgemeingültigen Konzepte existiert ein Layout, anhand dessen die möglichen Abläufe beschrieben und erläutert werden.

5.3.1 Konzept 1 – Einlagern, Auslagern, Kommissionieren

5.3.1.1 Konzept 1 mit dezentraler Abgabe

Zu Beginn wird das Konzept 1 aus Abbildung 5-3 vorgestellt. Die drei Funktionen Einlagern, Auslagern und Kommissionieren führt im folgenden Konzept ein einziges Handhabungsgerät aus, ein 6-Achs-Knickarmroboter (Abb. 5-7). Der Roboter übernimmt die Funktionen des Ein- und Auslagerns und kommissioniert einzelne Artikel und Gebinde auf einen Gurt. Bei dieser Form der Kommissionierung handelt es sich um eine Kommissionierung mit dezentraler Abgabe.

5 Modulare Funktionsintegration

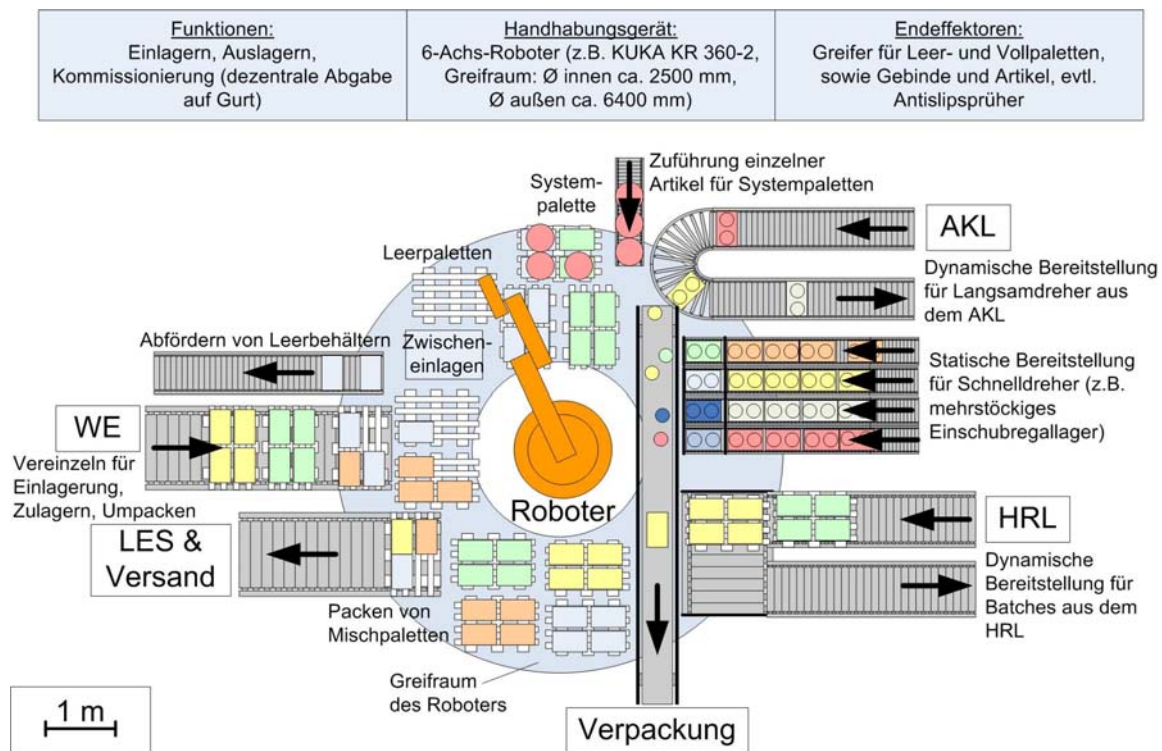


Abb. 5-7: Konzept 1 – Einlagern, Auslagern, Kommissionierung mit dezentraler Abgabe

Die Funktion Einlagern (Abb. 5-8) umfasst die folgenden Abläufe: Aus dem Wareneingang gelangen Paletten über den Förderer in den Arbeitsbereich des Roboters. Die palettierte Ware wird entweder vereinzelt ins automatische Kleinteilelager (AKL) und/oder ins Durchlaufregallager eingelagert oder ist zum Zulagern oder Umpacken bestimmt. Zum Einlagern ins AKL entnimmt der Roboter einzelne Gebinde von der Palette, bewegt sie zum I-Punkt des AKL oder füllt diese direkt in das Durchlaufregallager und setzt sie auf einer der bereitgestellten Paletten ab. Bei den Zielpaletten handelt es sich entweder um Leerpaletten oder um Paletten, die bereits teilweise gefüllt aus dem Palettenlager (z.B. dem Hochregallager (HRL)) ausgelagert wurden. In jedem Fall stellt der Roboter die Zielpaletten in seinem Arbeitsraum bereit. Dazu greift er eine neue Palette vom Leerpalettenstapel oder die bereitgestellte Palette auf dem I-Punkt. Ein Regalbediengerät (RGB) versorgt entweder den I-Punkt direkt oder über die angezeigten Pufferbahnen für Ein- und Auslagerung im HRL.

Der Bereich Kommissionierung (Abb. 5-9) setzt sich aus verschiedenen Elementen zusammen. Um eine möglichst große Zahl verschiedener Artikel auf begrenztem Raum statisch bereitstellen zu können, bietet sich ein mehrstöckiges (als Beispiel in Abbildung 5.5 ein zweistöckiges) Einschubregallager an. Hier stehen die Schnelldreher für die Kommissionierung bereit. Die einzelnen Regalfächer können von vorne durch den Roboter (oder manuell von hinten) befüllt werden. Befüllt der Roboter die Fächer, ist hierfür eine Palette aus dem HRL bereitzustellen. Der Roboter entnimmt die einzelnen Gebinde und schiebt diese ins

Einschubregallager. Im günstigsten Fall fasst ein Regalfach eine gesamte Palettenladung. Erreicht ein Kommissionierauftrag den Roboter, entnimmt dieser die Schnelldreher aus dem Einschubregal. Die Langsamdreher werden dynamisch aus dem AKL bereitgestellt. Dazu existiert ein umlaufendes Förderband, das die Ware zurück ins Lager fahren kann, ohne dass sie vom zuführenden auf den abführenden Förderer umgesetzt werden muss. Sind ganze Gebinde (Batches) gefordert, so nimmt der Roboter diese von der Palette, die aus dem das HRL dafür ausgelagert wurde. Eine geschlossene Förderstrecke aus dem HRL und zurück unterstützt die dynamische Bereitstellung. Die kommissionierten Artikel legt der Roboter an der jeweils günstigsten Stelle des Gurtförderers (z.B. kürzester Verfahrensweg des Roboters) ab und die Ware gelangt zum Verpacken. Dieser Arbeitsschritt findet außerhalb des Roboterarbeitsbereichs statt. Entnimmt der Roboter den letzten Artikel aus einem Behälter, so stellt er diesen anschließend zur Abförderung auf den Rollenförderer, der die Leerbehälter zum Warenausgang fährt.

Unter dem Oberbegriff Auslagern (Abb. 5-10) erstellt der Roboter System- und Mischpaletten für den Versand. Dazu wird die palettierte Ware, welche die System- und Mischpaletten benötigen, aus dem HRL gefahren und vom Roboter im Arbeitsraum abgestellt. Zudem gelangen einzelne Artikel für die Aktionspaletten über einen Förderer in den Greifraum. Der Roboter stellt eine Zielpalette bereit und packt die geforderte Ware auf die Palette. Um den Platz innerhalb des begrenzten Greifraumes auszunutzen, kann eine Palette auch direkt auf dem abführenden Förderer beladen werden. Während des Palettierens legt der Roboter je nach Bedarf Zwischeneinlagen ein und/oder trägt Antislip-Flüssigkeit auf. Die fertigen Paletten können die Roboterzelle verlassen. Deshalb bewegt der Roboter diese zum Abfordern. Damit ist die Funktion Auslagern abgeschlossen.

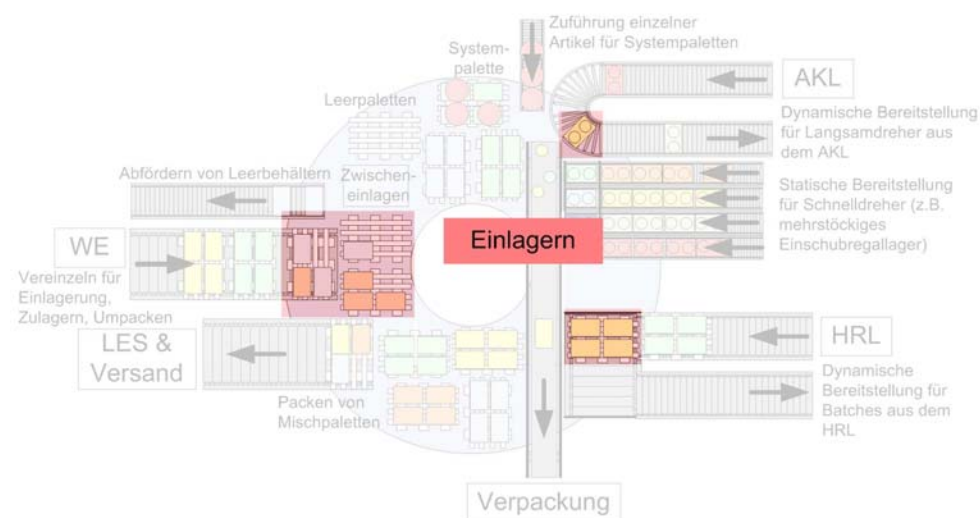


Abb. 5-8: Bereich Einlagern in Konzept 1

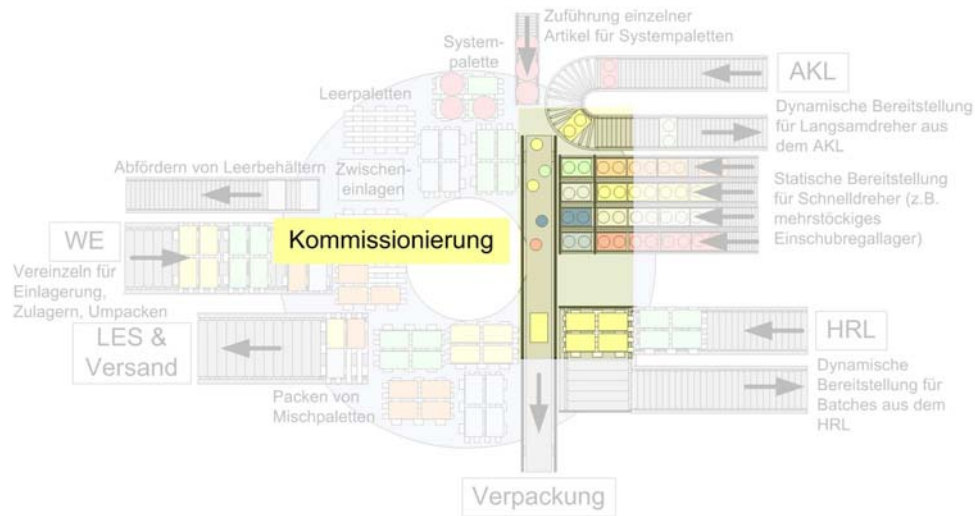


Abb. 5-9: Bereich Kommissionierung in Konzept 1

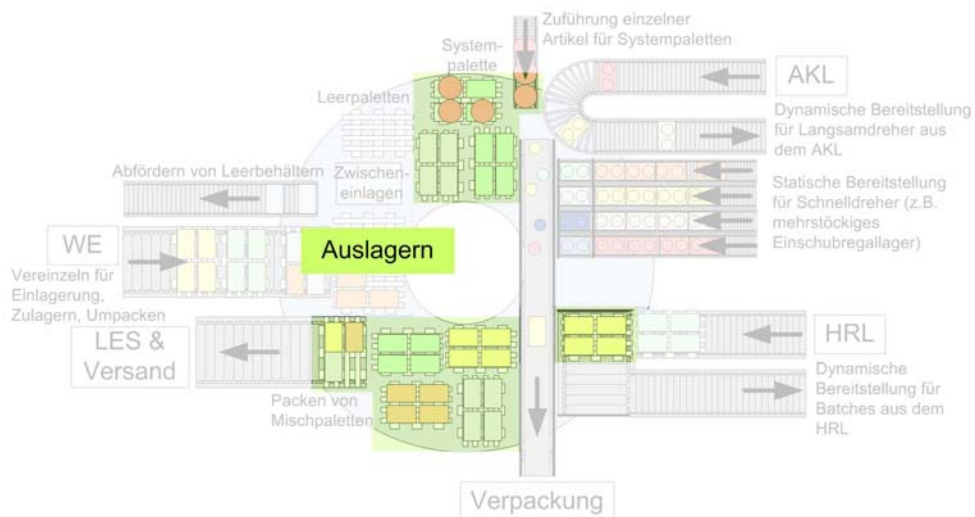


Abb. 5-10: Bereich Auslagern in Konzept 1

5.3.1.2 Konzept 1 mit zentraler Abgabe

Das erste Konzept verknüpft die Hauptfunktionen Einlagern, Auslagern und Kommissionierung. Kommissioniersysteme können in vier verschiedenen Organisationsformen mit einem Roboter als Handhabungsgerät realisiert werden. Sowohl eine statische als auch eine dynamische Bereitstellung der Waren berücksichtigen die Konzepte durch das Einschubregallager und das automatische Kleinteilelager. Die Abgabe der kommissionierten Artikel an einer zentralen Stelle zeigt Abbildung 5-11.

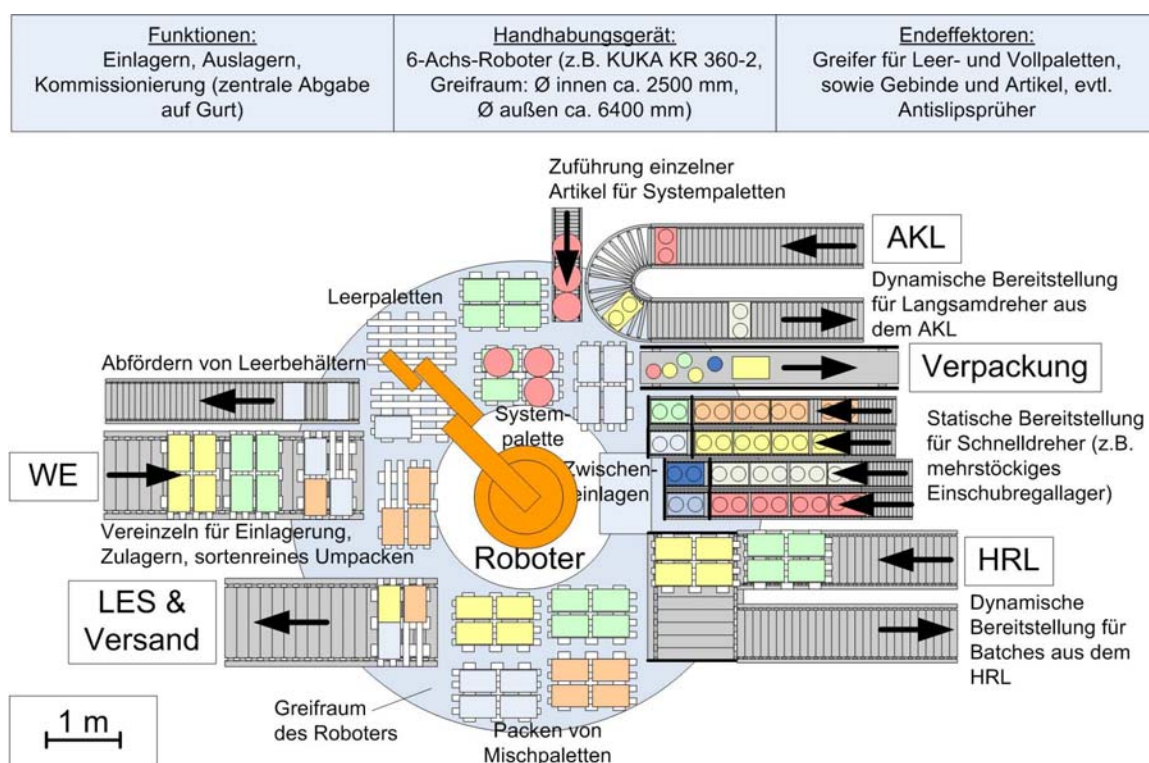


Abb. 5-11: Konzept 1 – Einlagern, Auslagern, Kommissionierung mit zentraler Abgabe

Ersetzt man die dezentrale Abgabe der kommissionierten Ware durch eine zentrale Abgabestelle, verlängern sich die Wege, die der Roboter mit der Ware zurücklegen muss. Gleichzeitig wird im Greifraum des Roboters Platz eingespart, da der Gurtförderer zur Verpackung nicht mehr durch den Greifraum führt. Hierdurch entsteht die Möglichkeit, die Palettenstellplätze in größeren Abständen anzuordnen, und die Kollisionsgefahr auf Grund von Toleranzabweichungen sinkt.

5.3.2 Konzept 2 – Einlagern, Auslagern, Verpackung & Versand

Das zweite Konzept (Abb. 5-12) integriert die Funktionen Einlagern, Auslagern und Verpackung & Versand. Da hier der Roboter die Kommissionierung nicht ausführt, entfällt die Aufgabe verschiedenste Artikel sicher greifen zu müssen. Deshalb bietet es sich bei diesen Varianten besonders an, einen Portalroboter zu nutzen. Derzeit werden Portalroboter in der Regel für reine Palettieranwendungen eingesetzt.

Zur Ausführung der Lagerfunktionen nutzt das Konzept 2 einen Portalroboter mit einer Greiffläche von 5,5 m x 6 m. Damit werden neben den nötigen Förderern mindestens 16 Palettenstellplätze erreicht. Benötigt ein Betrieb weitere Stellplätze, z.B. um Mischpaletten aus einem größeren Sortiment von Artikeln zu packen, ohne neue Paletten bereitstellen zu müssen, so kann der Greifraum des eingesetzten Portalroboters individuell angepasst werden.

5 Modulare Funktionsintegration

Grundsätzlich gilt: Kann ein 4-Achs- oder 6-Achs-Knickarmroboter den notwendigen Arbeitsraum ebenfalls erreichen, können beide Roboterarten eingesetzt werden. Entscheidend sind die benötigte Leistung sowie die Kosten für die jeweilige Lösung.

Benötigt man jedoch zur Umsetzung der geforderten Funktionsintegration einen größeren Arbeitsraum, so fällt die Wahl auf den Portalroboter, dessen Greifraum hinsichtlich Länge und Breite weitgehend flexibel an die Bedingungen angepasst werden kann. Außerdem kann es möglich sein, dass der quaderförmige Greifraum des Portalroboters günstiger für die Integration in die bestehende Hallenstruktur ist. Für die Integration eines Portals muss die verfügbare/benötigte Deckenhöhe beachtet werden.

Nachfolgende Abbildung stellt das Layout (Abb. 5-12) und die Beschreibung zum zweiten Konzept, geplant mit einem Portalroboter, dar.

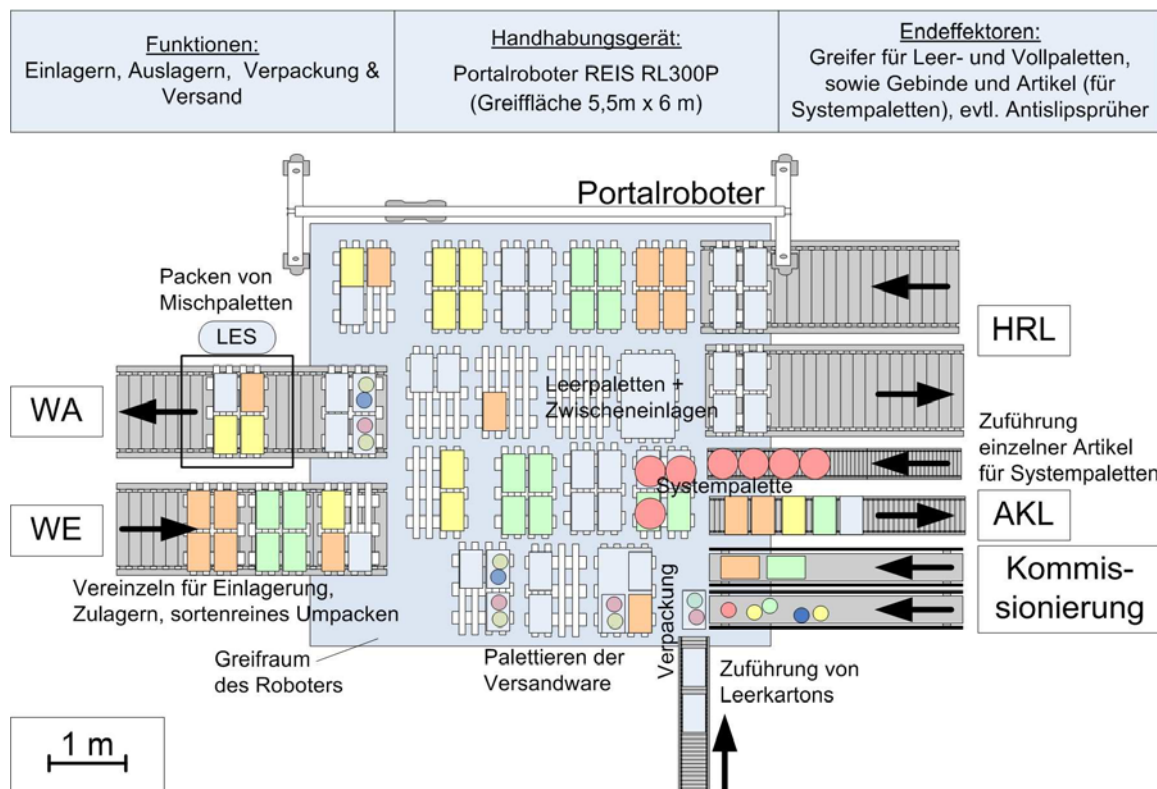


Abb. 5-12: Konzept 2 – Einlagern, Auslagern, Verpackung & Versand

Zur Einlagerung (Abb. 5-13) gelangen Paletten aus dem Wareneingang in den Arbeitsraum des Roboters über den Rollenförderer. Dieser greift einzelne Gebinde auf der Palette und stellt sie einzeln oder im Mehrfachgriff auf den Förderer zum AKL (rechts). Bei Bedarf kann er noch auf bereitgestellte Paletten zulagern oder sortenrein umpacken. In Konzept 2 sind dafür drei Palettenstellplätze vorgesehen.

Die Aufgaben, die in der Hauptfunktion Auslagern (Abb. 5-14) zusammengefasst sind, benötigen einen Zugang zum HRL. Dieses lagert die Ware aus, die für das Packen von Misch- und Systempaletten benötigt wird. Der Roboter übernimmt die Paletten aus dem HRL und stellt diese in seinem Arbeitsraum bereit. Für das Packen der Mischpaletten stehen im Konzept 2 vier Stellplätze zur Verfügung, für die Systempaletten zwei. Zwei Plätze bestehen für die jeweilige Zielpalette. Außerdem gibt es einen Zugang zum Förderer, der die Sonderartikel für die Systempaletten anliefert.

Im Bereich Verpackung und Versand (Abb. 5-15) soll auch hier die Prämisse aus Kapitel 4.5.4.4 gelten: Die Ware gelangt ohne ein Greifen des Roboters in den Versandkarton. Geschieht dies beispielsweise über eine Rutsche, so müssen die Artikel derart gestaltet sein, dass sie die auftretenden Belastungen schadlos überstehen. Anschließend legt der Roboter Versandpapiere oder Füllmaterial ein, verschließt den Karton oder Behälter mit einem Deckel und stellt ihn auf eine der Versandpaletten, die gleichzeitig bearbeitet werden. Aus der Kommissionierung kommen neben einzelnen Artikeln auch vollständige Gebinde an, die der Roboter ebenfalls auf die Versandpaletten packt. Zwischeneinlagen und eventuell Antislip sorgen für eine stabile Ladung und vervollständigen die Funktionen des Roboters. Alle Paletten, die der Roboter für die Auslieferung packt, verlassen die Roboterzone über den Förderer zum Warenausgang. Dort findet die Ladeeinheitensicherung (LES) statt.

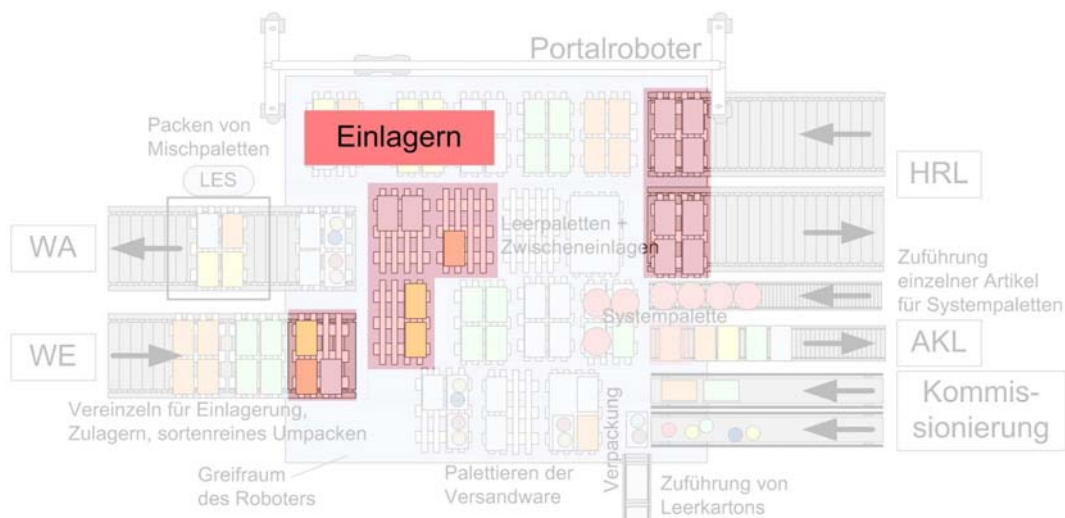


Abb. 5-13: Bereich Einlagern in Konzept 2

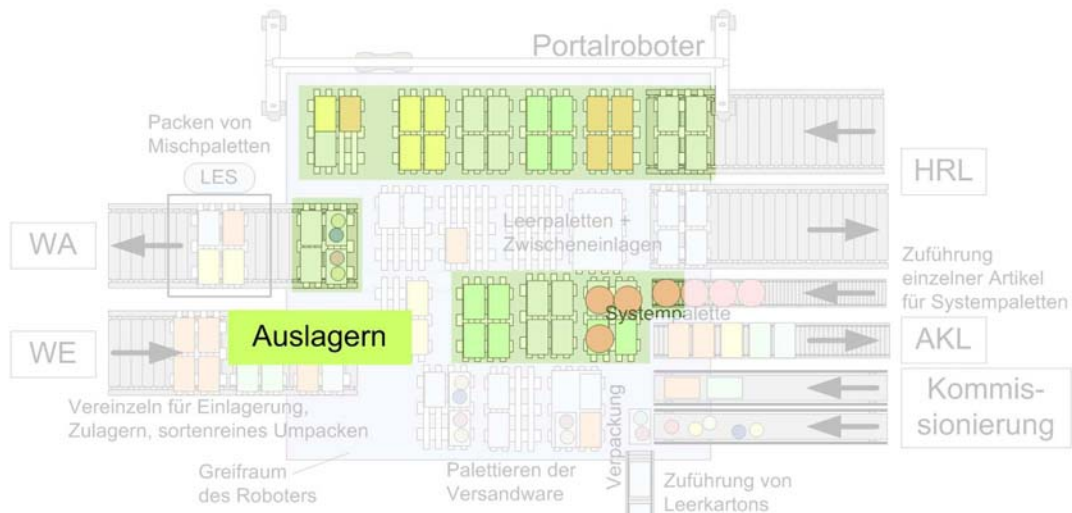


Abb. 5-14: Bereich Auslagern in Konzept 2

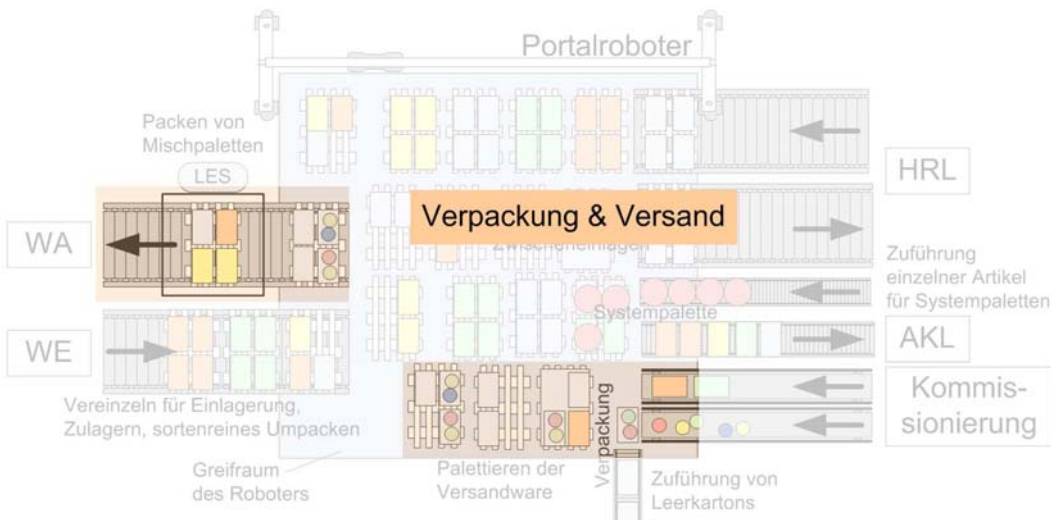


Abb. 5-15: Bereich Verpackung & Versand in Konzept 2

Die Stapel mit den Verbrauchsmaterialien (wie Paletten und Zwischeneinlagen) befinden sich in diesem Beispiel mitten im Greifraum des Roboters. Die Verbrauchsgüter erreichen über den zuführenden Palettenförderer den Roboter und können an jedem beliebigen Palettenstellplatz im Arbeitsraum abgestellt werden. Im zweiten Konzept ist das HRL durch einen zu- und einen abführenden Förderer mit der Roboterzone verbunden. Die Fördertechnik erlaubt es hier nicht, ausgelagerte Ware direkt zurück ins Lager zu fahren. Im betrachteten Fall muss keine Ware dynamisch bereitgestellt werden, da die Kommissionierung nicht zu den Aufgaben des Roboters gehört. Ein umlaufender Förderer ist für die Erfüllung der integrierten Funktionen des zweiten Konzeptes nicht notwendig und aus diesem Grund auch nicht vorgesehen.

Durch den konsequenten Einsatz des Portalroboters in den Bereichen Einlagern, Auslagern und Verpackung & Versand im Konzept 2 werden alle (De-)Palettieraufgaben von einem einzigen Handhabungsgerät ausgeführt. Durch dessen Flexibilität ist es möglich, die umfangreiche Fördertechnik in Form von Weichen und Förderern einzuschränken, da der Roboter die gesamte Ware zu jenen Förderern bewegt, die unbedingt notwendig sind.

5.3.3 Konzept 3 – Einlagern, Kommissionierung, Verpackung & Versand

In Konzept 3 wird zum ersten Mal die Hauptfunktion Auslagern nicht betrachtet. Da diese Funktion viele Palettenstellplätze benötigt, ist im folgenden Layout (Abb. 5-16) der Greifraum des Roboters relativ frei und unbelegt. Um Vergleiche zwischen den verschiedenen Konzepten zu erleichtern, wird hier wieder der gleiche 6-Achs-Roboter zugrunde gelegt, der bereits in den vorangegangenen Konzepten verwendet wurde.

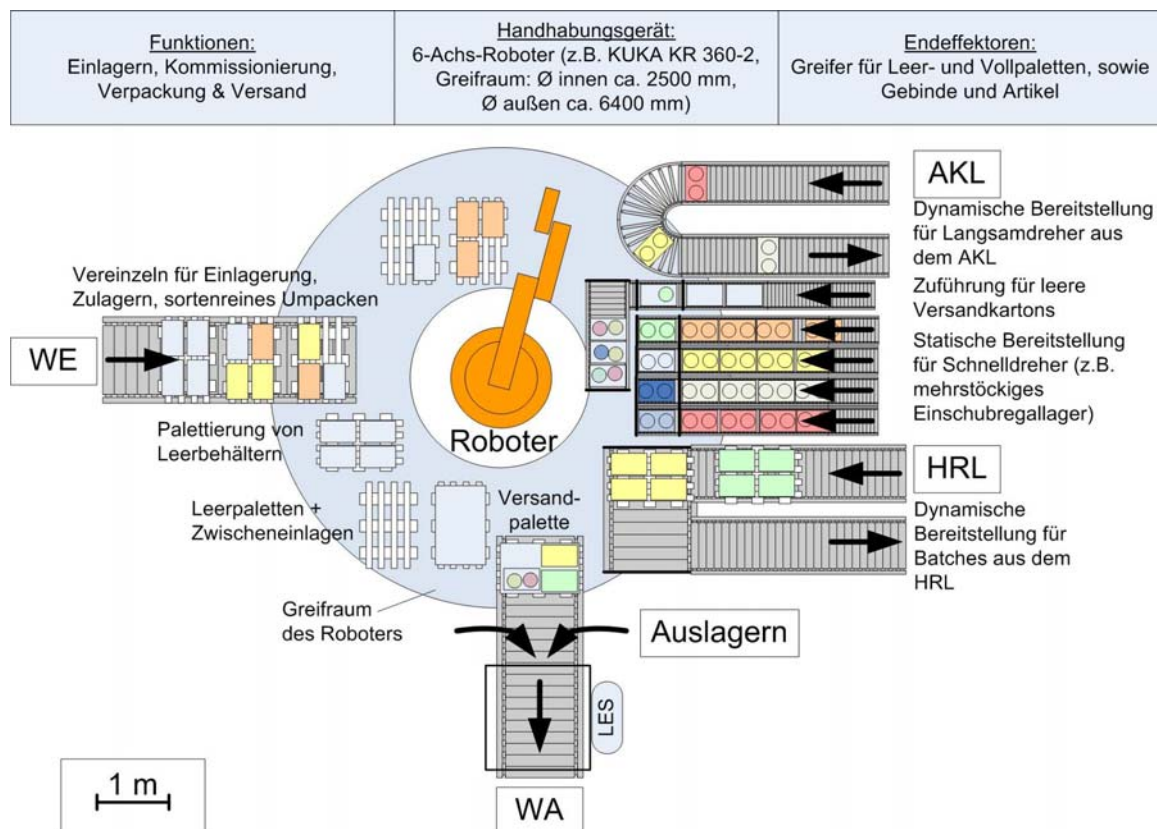


Abb. 5-16: Konzept 3 – Einlagern, Kommissionierung, Verpackung & Versand

Der Bereich Einlagerung konzentriert sich vor allem auf das Vereinzeln der Behälter oder Gebinde, die im AKL gelagert werden. Zulagern und sortenreines Umpacken auf Paletten spielt nur eine untergeordnete Rolle, da die Ware der meisten Mischpaletten auf Grund ihrer Zuordnung zu den Langsamdrehern im AKL lagern kann. Daher sind nur zwei Palettenstell-

plätze für die Funktion Einlagern vorgesehen. Beim Kommissionieren entnimmt der Roboter statisch bereitgestellte Schnelldreher, dynamisch bereitgestellte Langsamdreher oder ganze Gebinde von den Paletten, die aus dem Palettenlager kommen. Die einzelnen Artikel legt der Roboter direkt in den Versandbehälter (Pick & Pack). Handelt es sich um Kartons, so kann an der Zuführung der Leerkartons ein Kartonaufrichter arbeiten. Ist ein Versandkarton vollständig, so gelangt er auf einen Stauförderer. Im dargestellten Fall fasst dieser maximal vier Kartons. So können Aufgaben wie Versandpapiere einlegen oder Deckel aufsetzen, für die ein Greiferwechsel nötig ist, gebündelt werden, und der Roboter muss nicht jeden Karton direkt nach dem Packen einzeln auf die Versandpalette stellen. In Abbildung 5-16 wird stets nur eine Versandpalette beladen. Diese befindet sich deshalb während des Palettierens auf dem abführenden Förderer. Dadurch vermeidet man unnötige Umsetzvorgänge der beladenen Palette. Ist es im betrachteten Einzelfall sinnvoll, mehrere Versandpaletten gleichzeitig zu beladen, werden zusätzliche Palettenstellplätze für die Palettierung von Versandware eingerichtet. Auf diese Weise erreicht man eine Reduzierung der Palettentransporte aus dem HRL, denn die Gebinde für mehrere Versandpaletten können auf einmal entnommen werden.

Ist die Versandpalette komplett, verlässt sie die Roboterzone auf dem Rollenförderer zur Ladeeinheitensicherung (LES). Auf diesen Förderer gelangen auch die Misch- und Systempaletten aus den Auslagerprozessen, die unabhängig vom betrachteten Roboter erstellt werden. Wenn der Durchsatz nicht zu groß ist, kann auf diese Art eine Anlage zur Ladeeinheitensicherung alle auszuliefernden Paletten sichern.

In diesem Konzept ist deutlich freier Platz innerhalb des Robotergreifraums vorhanden. Selbst nach der Wahl eines kleineren Roboters bliebe ein großer Freiraum. Demzufolge eignet sich diese Funktionsintegration vor allem für eine Kommissionierung, für die viele Artikel statisch bereit stehen müssen. Günstig wirken sich automatisierungsgerechte Artikel aus, die gut mechanisch gegriffen werden können und geordnet in Behältern stehen. In diesem Fall kann auf aufwändige Sensorik verzichtet werden. Die Bedingungen für den Einsatz eines Roboters sind ideal. Das monotone und deshalb fehlerträchtige Kommissionieren übernimmt ein automatisches Handhabungsgerät, das ermüdungsfrei auch mehrere Schichten arbeitet. Das Handhaben schwerer Lasten stellt für den Roboter auch nach längerer Zeit kein Problem dar, während der Mensch auf gute ergonomische Arbeitsverhältnisse dauerhaft angewiesen ist.

5.3.4 Konzept 4 – Auslagern, Kommissionierung, Verpackung & Versand

Das vierte Konzept (Abbildung 5.15) fasst die Hauptfunktionen Auslagern, Kommissionieren und Verpackung & Versand zu einem Aufgabenpaket zusammen, das im Beispiel wieder von einem 6-Achs-Knickarmroboter bearbeitet wird.

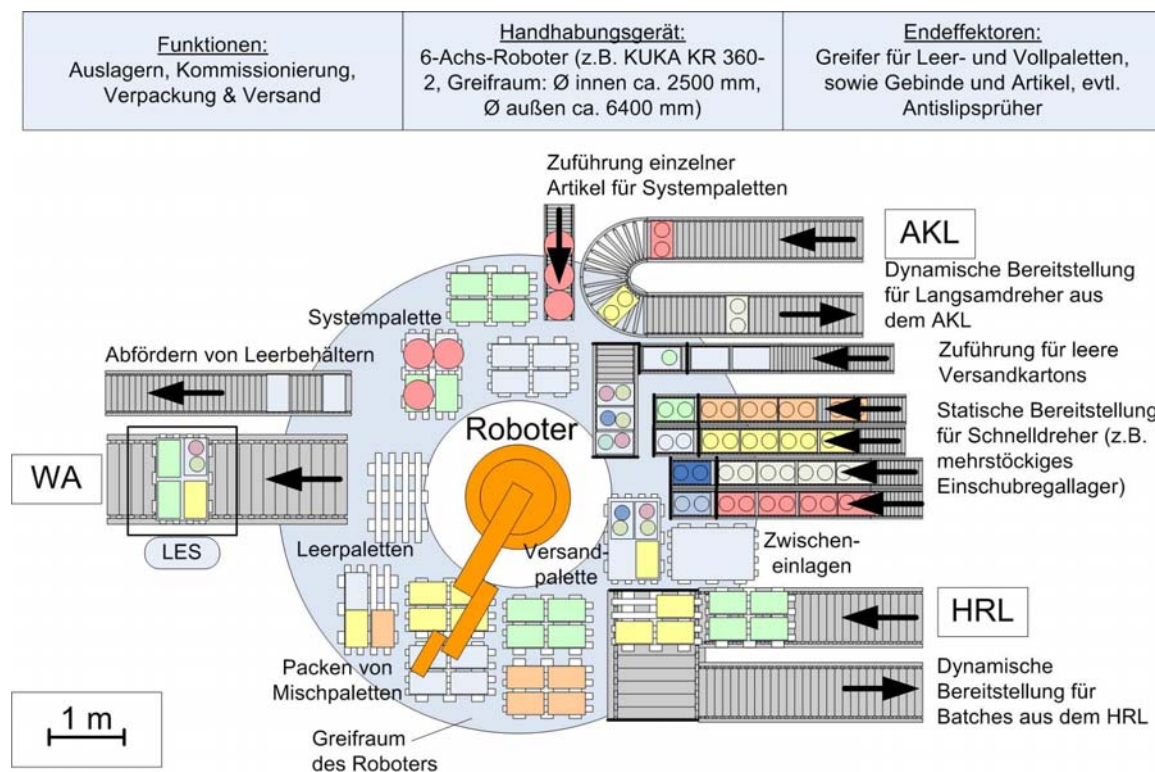


Abb. 5-17: Konzept 4– Auslagern, Kommissionierung, Verpackung & Versand

Für die Kommissionierung steht sowohl statisch als auch dynamisch bereitgestellte Ware zur Verfügung, darunter sind auch Batches, die der Roboter von den Paletten aus dem HRL nimmt. Die Befüllung der Regale zur statischen Bereitstellung erledigt ebenfalls der Roboter. Dazu lagert das Regalbediengerät Paletten mit der geforderten Ware aus dem HRL aus. Da der Roboter sowohl kommissioniert als auch verpackt, geschieht dies in einem Arbeitsschritt. Die Abgabe erfolgt direkt in den Versandbehälter, der über einen Förderer von außen zugeführt wird. Wieder staut ein Förderer die vollen Versandbehälter, damit die Möglichkeit besteht, das Verschließen der Kartons und das Palettieren auf die Versandpalette effizient abzuwickeln.

Die Funktion Auslagern umfasst das Erstellen von System- und Mischpaletten. In Abbildung 5-17 sind dafür acht Palettenstellplätze vorgesehen. Ware, die für die Misch- und Systempaletten benötigt wird, kommt aus dem HRL oder über den Förderer für Einzelartikel in die

Roboterzone. Aus Platzgründen können sich die Mischpaletten nur aus vier verschiedenen Artikeln zusammensetzen, ansonsten müssen die bereitgestellten Paletten ausgetauscht werden. Alle fertig gepackten Paletten verlassen die Roboterzone über den Förderer in Richtung Warenausgang und durchlaufen dort eine Ladeeinheitensicherung (LES). Ebenfalls zum Warenausgang gelangen leere Behälter, die beim Kommissionieren entstehen. Ein geordneter Abtransport der Leerbehälter ist wichtig bei der Verwendung von Mehrwegbehältern. Handelt es sich um Kartontrays oder Ähnliches, genügt beispielsweise eine Rutsche zu einem Papiercontainer.

5.3.5 Konzept 5 – Einlagern, Auslagern, Kommissionierung, Verpackung & Versand

In den vorangegangenen Unterkapiteln erledigt der Roboter drei der vier möglichen Hauptfunktionen. Im folgenden Konzept 5 werden alle vier Hauptfunktionen integriert und durch ein flexibles Handhabungsgerät erfüllt. Der Roboter übernimmt hier alle Aufgaben von der Einlagerung über die Kommissionierung und das Auslagern bis zur Verpackung und dem Versand. Zu beachten ist die Voraussetzung für eine derartige Zusammenfassung der Lageraufgaben. Die Leistung des Roboters in den diversen Bereichen muss größer sein, als die Summe der benötigten „Einzelaufgaben“. In diesem Fall spricht für den Roboter als Handhabungsgerät seine Flexibilität und Dauerbelastbarkeit. Ist höchste Leistung gefordert, so wird eine spezialisierte Sondermaschine eine begrenzte Aufgabe stets schneller ausführen. Im fünften Konzept wird wie bei allen Konzepten angenommen, dass die Voraussetzungen für eine zielführende Funktionsvereinigung gegeben sind (Abschnitt 4.4).

5.3.5.1 Konzept 5 mit Knickarmroboter

Der 6-Achs-Roboter erfüllt alle Aufgaben in den Bereichen Einlagern, Auslagern, Kommissionierung und Verpackung & Versand. Auf Grund seines begrenzten Arbeitsraumes stehen insgesamt max. zwölf Palettenstellplätze zur Verfügung, die sehr eng angeordnet sind. Für bestimmte Greiftechniken (z.B. Aufwälzgreifer) scheidet ein derartiger Aufbau schon im Vorfeld aus. In Abbildung 5-18 sind die Elemente so positioniert, dass alle Funktionen quasi gleichzeitig ausgeführt werden können. In diesem Fall ist es möglich, neben den drei Zielpalettenstellplätzen für System-, Misch- und Versandpaletten und den zugehörigen zwei und vier bereitgestellten Paletten maximal einen Stellplatz für die Funktion Zulagern freizuhalten. Nur so kann der Zugriff auf Leerpalletten und Zwischeneinlagen für die Palettierung sichergestellt werden. Um den Abtransport der verschiedenen Paletten in den Warenausgang möglichst unkompliziert zu gestalten, wird der Aufgabepunkt auf den abführenden Förderer

(in Abb. 5-18 links) nicht als Stellplatz genutzt. So können in jeder Situation Paletten abgefördert werden. Die ankommenden Paletten aus dem Wareneingang arbeitet der Roboter der Reihe nach ab. Aus diesem Grund kann jede ankommende Palette auf dem Förderer verbleiben, bis sie vollständig geleert ist und auf den Leerpalettenstapel gelangt.

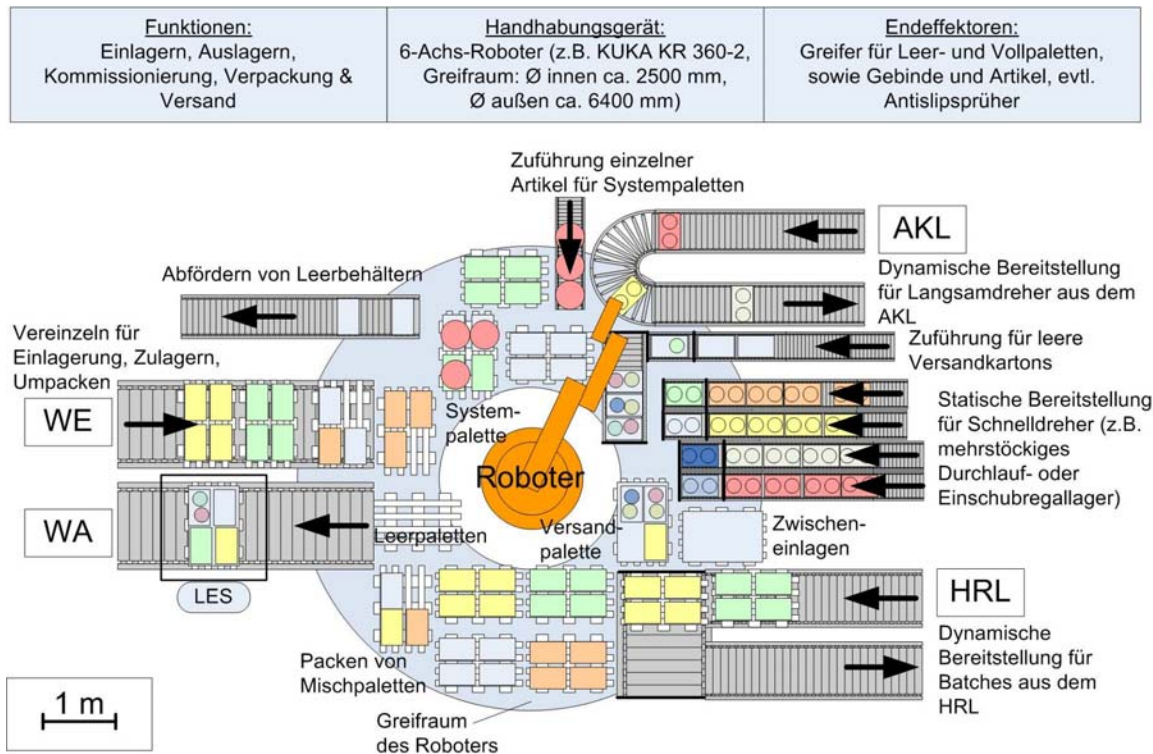


Abb. 5-18: Konzept 5 – Einlagern, Auslagern, Kommissionierung, Verpackung & Versand mit Knickarmroboter

5.3.5.2 Konzept 5 mit Portalroboter

Da der Arbeitsraum des 6-Achs-Roboters für dieses Konzept zu klein ist, empfiehlt sich die Verwendung eines Portalroboters. In Abbildung 5-19 arbeitet ein Portalroboter mit einer Greiffläche von 6 m x 6,5 m. Dadurch entsteht die Möglichkeit, bei großzügigen Platzverhältnissen circa 16 Palettenstellplätze einzurichten. Davon nutzen der Bereich Einlagerung in der Abbildung drei Plätze und die Funktion Packen von Misch- und Systempaletten jeweils fünf bzw. drei Plätze. Es verbleiben noch drei Stellplätze, auf denen Versandpaletten stehen können. Durch den großen Arbeitsraum eines Portalroboters gelingt es außerdem, mindestens doppelt so viele Artikel statisch bereitzustellen. Enthält das Sortiment einen großen Anteil an Schnelldrehern, so fällt die Entscheidung auf das Portal, da dieses genau auf die Bedürfnisse des Unternehmens zugeschnitten werden kann.

5 Modulare Funktionsintegration

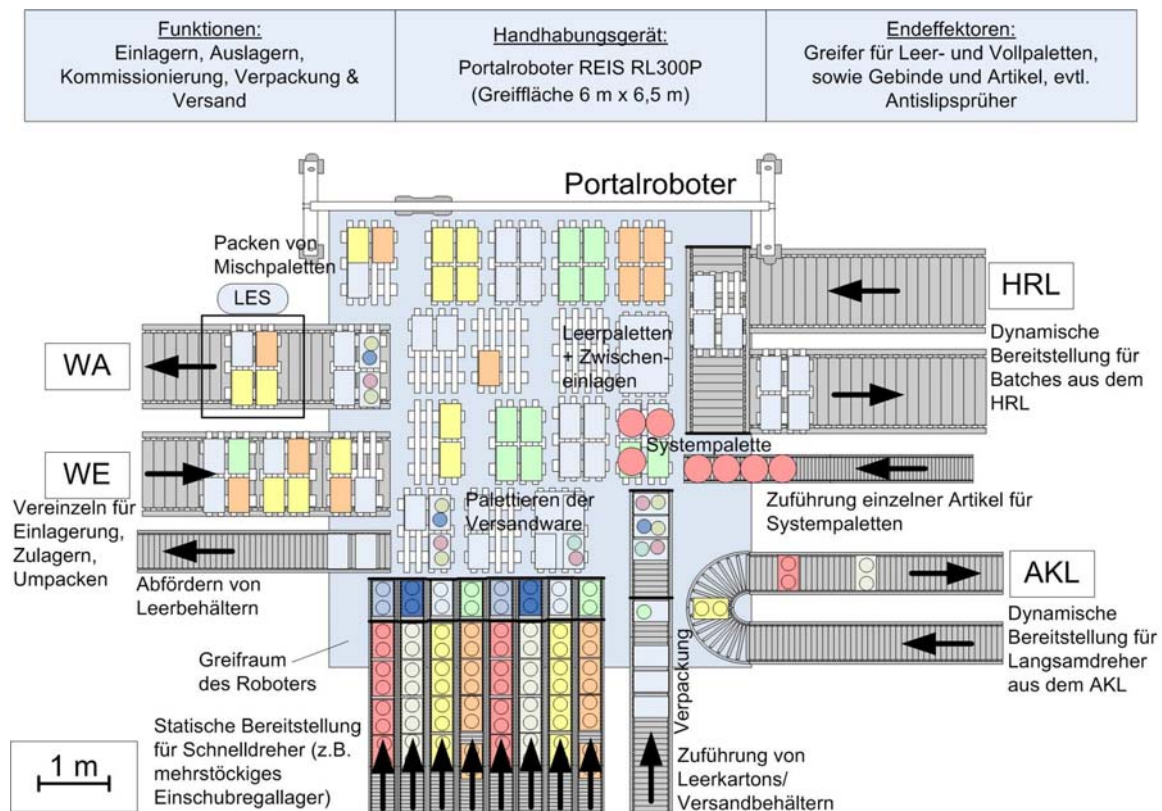


Abb. 5-19: Konzept 5 – Einlagern, Auslagern, Kommissionierung, Verpackung & Versand mit Portalroboter

Ein optimaler Aufbau der Roboterzone ist mit einem Portalroboter in vielen Fällen einfacher umzusetzen. Oft kann es möglich sein, dass eine Anordnung der gewünschten Komponenten im Greifraum eines Knickarmroboters unmöglich ist. Prinzipiell unterscheiden sich die Abläufe innerhalb der Roboterzone durch die Verwendung eines Portalroboters jedoch nicht von jenen in Konzept 5 mit Knickarmroboter.

5.3.6 Konzept 6 – Einlagern, Auslagern, Bereitstellung für die Kommissionierung, Batch-Picking, Verpackung & Versand

Das abschließende Konzept (Abb. 5-20) erscheint für die Funktionsintegration mit einem Portalroboter besonders geeignet. Es betrachtet den Fall einer manuellen Kommissionierung, da beispielsweise Artikel gegriffen werden müssen, die für eine automatisierte Handhabung nicht geeignet sind. Trotzdem bietet es sich an, alle Aufgaben, die die Handhabung ganzer Gebinde betreffen, vom Roboter ausführen zu lassen. Konsequenterweise beinhaltet dies auch die Befüllung der Regale für die statische Bereitstellung und das Kommissionieren ganzer Gebinde. Nach der manuellen Kommissionierung fahren die Versandkartons in die

Roboterzone und werden dort auf eine der Versandpaletten gestapelt. So entsteht eine optimale Zusammenführung zwischen manuellen und automatischen Bereichen.

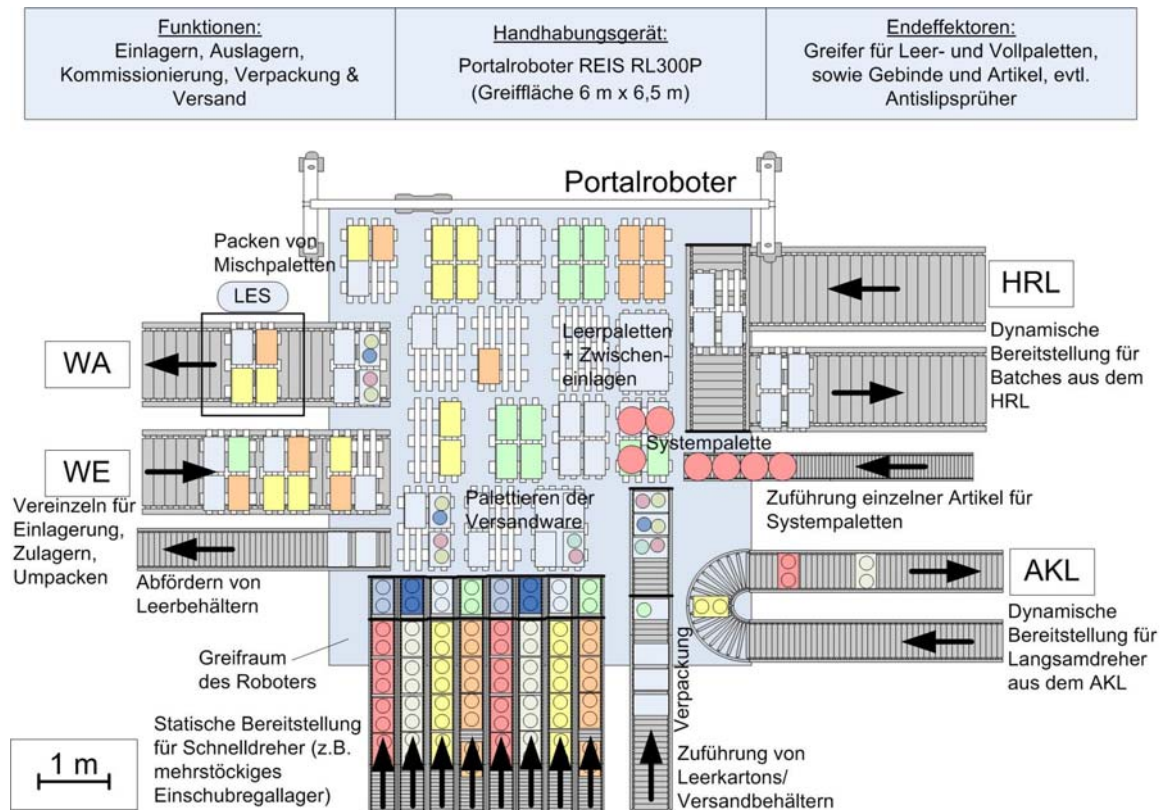


Abb. 5-20: Konzept 6 – Einlagern, Auslagern, Bereitstellung für die Kommissionierung, Batch-Picking, Verpackung & Versand

Die Verknüpfung der manuell durchgeführten Kommissionierung mit dem Arbeitsbereich des Roboters ist unkompliziert. Die Objekte, die an den Roboter zu übergeben sind, müssen nur einen beliebigen Ort innerhalb des Greifraums erreichen, meist mit Hilfe eines Förderers. Die weitere Bewegung der Objekte übernimmt ab da der Roboter. Im Gegensatz zu herkömmlichen Förder- und Handhabungselementen mit geführtem Materialfluss ist die Bewegung der logistischen Einheiten in einer Roboterzone völlig frei. Der Materialfluss profitiert von der freien Programmierbarkeit des Systems. Dadurch entstehen auch für die Organisation der logistischen Prozesse Freiheitsgrade, die zu größerer Flexibilität führen können.

5.4 Funktionsintegration und Mitarbeiterereinsatz

Der Markt fordert sichere, präzise und schnelle Prozesse im Lager, die äußerst flexibel gestaltet sein müssen. Zugleich handelt es sich im Lagerbereich großteils um monotone und körperlich belastende Aufgaben. Deshalb versucht man diese Tätigkeiten zu automatisieren. [Spi-05], [NN-06c]

„Roboter ersetzen die Handarbeit bei eintönigen oder anstrengenden Arbeiten und dort, wo konventionelle Maschinen entweder nicht verfügbar oder nicht flexibel genug sind.“ [NN-00]

Nachdem im vorangegangenen Abschnitt 5.3 Vergleiche zu konventioneller Lagertechnik durchgeführt wurden, sollen nachfolgend die Stärken von Mensch und Roboter aufgeführt und verglichen werden.

5.4.1 Potenziale Mitarbeiter

Den Menschen zeichnet seine Multifunktionalität aus. Er kann die verschiedensten Arbeiten ausführen und ist nicht etwa auf das Stapeln von Kartons beschränkt.

Der Mensch kann auf die unterschiedlichsten Situationen intelligent reagieren, ist lernfähig und äußerst tolerant gegenüber Fehlern, d.h. Bedingungen, die nicht dem Standardablauf entsprechen.

Ein Mitarbeiter kann sowohl zeitlich als auch räumlich variabel im Betrieb eingesetzt werden: Es ist z.B. möglich, die Arbeitszeiten so zu gestalten, dass in den Stoßzeiten mehr Mitarbeiter im Lagerbereich arbeiten. Die räumliche Variabilität des Menschen kommt zum Tragen, wenn die Arbeitskraft eines Mitarbeiters nacheinander in verschiedenen Bereichen benötigt wird. [Hah-07]

5.4.2 Potenziale Roboter

Der Roboter bringt seine Leistung konstant über den ganzen Tag. Er kann ohne Probleme im Mehrschichtbetrieb eingesetzt werden und ermüdet nicht. Selbst die schnelle Bewegung schwerer Lasten stellt für diesen kein Problem dar. Monotone Abläufe führen nicht zu Fehlern. Er kann dadurch den Menschen von schwerer und eintöniger Arbeit entlasten. Aus ergonomischer Sicht verbessert dies die Arbeitsbedingungen.

Der Roboter kann in Bereichen eingesetzt werden, die für den Menschen aufgrund ungünstiger Umweltfaktoren sehr belastend sind. Kälte, Hitze, Hygiene, Staub, gesundheitsgefährdende Emissionen oder Gefahrenbereiche beeinflussen den Roboter nicht. Insbesondere in der Kühl- und Tiefkühllogistik muss der Mensch vor den kalten klimatischen Raumbedingun-

gen geschützt werden. Die Regelwerke des Arbeitsschutzes schreiben Kälteschutzkleidung, begrenzte Aufenthaltsdauern und Aufwärmepausen vor. Der Einsatz geeigneter Automatisierungstechnik kann den Aufwand in diesen Bereichen stark reduzieren.

Intelligente Steuerungen und Sensorik machen Robotersysteme lernfähig. Aufwendige optische Systeme ermöglichen es dem Roboter seine Umgebung wahrzunehmen und mit Hilfe von Software auf die Umwelt zu reagieren. Die freie Programmierbarkeit erlaubt beinahe beliebige Bewegungsbahnen und schafft damit die Möglichkeit verschiedenste Handhabungsaufgaben auszuführen. Ausgerüstet mit den passenden Greifern ist, entsprechend dem Sortiment, ein großer Teil der Artikel greifbar.

5.5 Eigenschaften der Funktionsintegration

Der Roboter als ein automatisches Handhabungsgerät zeigt neben der Multifunktionalität auch die bekannten Vorteile automatisierter Systeme. Nachfolgend sollen die speziellen Stärken und Schwächen der Funktionsintegration herausgestellt werden:

Bereits im Abschnitt 5.3 werden bei der Beschreibung der Konzepte positive oder negative Aspekte angesprochen, die durch die Integration mehrerer Lagerfunktionen in einen Roboter entstehen. Die meisten dieser Vor- und Nachteile treten bei näherer Betrachtung bei allen oder zumindest mehreren Konzepten auf. Aus diesem Grund fasst dieser Abschnitt in einer globalen Betrachtung aller Konzepte die Potenziale und Schwächen der Funktionsintegration in einem Industrieroboter zusammen.

Hauptvorteil einer Integration mehrerer Funktionen ist die Möglichkeit Handhabungs- und Fördertechnik einzusparen, weil ein Handhabungsgerät alle betrachteten Aufgaben erfüllt. Durch die Funktionsintegration kann vielerorts auf den Einsatz teurer Sondermaschinen verzichtet werden. Ist dies nicht möglich, so können zumindest die benötigten Maschinen reduziert werden. Neben den reinen Investitionskosten für diese Technik entfallen auch die laufenden Kosten für Wartung und Instandhaltung.

Da anstatt einer Sondermaschine ein Roboter die integrierten Funktionen ausführt, kann dessen Flexibilität in vollem Maße genutzt werden, wenn sich die Gegebenheiten im Betrieb ändern. Dabei kann es sich beispielsweise um Sortimentsumstellungen oder Behälterwechsel handeln. Bei konventioneller Automatisierung bringen solche Veränderungen oft großen Aufwand und hohe Kosten mit sich, ein Roboter hingegen benötigt nur neue geeignete Greifer sowie eine angepasste Datenbasis, die ihn mit den richtigen Informationen, wie z.B. zu neuen Packmustern und Daten zur Ware sowie zu den Greifern versorgt.

Die Flexibilität, die durch die Funktionsintegration und den Robotereinsatz gewonnen wird, geht über die Umstellung auf neue Greifobjekte hinaus. Auch die Anpassung an eine veränderte Auftragsstruktur ist wesentlich einfacher möglich. Steigt etwa der Anteil der Kommissionieraufträge, so kann dies durch die Integration mehrerer Funktionen problemlos ausgeglichen werden. Das System kann den Zeitanteil, in dem der Roboter kommissioniert, in gleichem Maße erhöhen. Übersteigt die geforderte Zahl an Aufträgen zeitweise die Kapazität des Roboters, so kann dieser im saisonalen Betrieb z.B. in der Hauptsaison nur die schweren Gebinde manipulieren - der andere Teil wird manuell erledigt. Ein intelligentes Steuern der Abläufe und freies Zuweisen bestimmter Aufgaben kann unkompliziert realisiert werden, weil kein manuelles Rüsten der Maschinen nötig ist. Der Roboter übernimmt das Rüsten für eine neue Aufgabe selbst, indem er automatisch die Endeffektoren, z.B. die Greifer, wechselt.

Des Weiteren können bei Bedarf (durch Anbindung an die Roboterzone) beliebige Arbeitsschritte hinzugefügt werden, denn der Roboter kann jedes Objekt in seinem Greifraum gleichwertig erreichen. Deshalb ist eine Zuführung von Ware, die z.B. manuell verpackt wurde, mit Hilfe eines beliebigen Förderers möglich. Dies stellt einen wesentlichen Unterschied zu konventionellen Materialflusselementen dar, denn selbst bei einem einfachen Förderer bedarf es in vielen Fällen einer Weiche, um Ware zu- oder abzuführen. Für den Zugang zur Roboterzone genügt eine Aussparung im Schutzzaun.

Negative Effekte entstehen durch die Tatsache, dass ein einzelnes Handhabungsgerät umfangreiche Aufgaben erfüllt. Bei Wartung oder Ausfall des Roboters stehen alle integrierten Bereiche still. Diesen Effekten muss entgegengewirkt werden: Während eine angepasste Instandhaltungsstrategie, z.B. vorbeugende Wartung durch Condition-Monitoring, die Zahl der Ausfälle reduziert, begrenzt eine aufwendige Notfallstrategie die Folgen. Auch die Zugänglichkeit der Roboterzelle muss organisiert und gewährleistet sein. Eine Roboterzelle wird in der Regel von einem Flurförderzeug versorgt. Hier sind Schnittstellen mit „außen“ vorzusehen. Problematisch ist der Zugang zu einer Roboterzelle. Hier sind derzeit optische Systeme für die Sicherheitsgewährleistung in der Erprobung, aber noch nicht Stand der Technik. So wird bei jeglichem Betreten der Zelle der Roboter gestoppt.

Weitere Nachteile können durch die konzeptbedingte Komplexität der geplanten Roboterzelle entstehen. Die dahinterstehenden Kosten kann allerdings ein erfahrener Systemintegrator für Robotertechnik abschätzen. Diese sind überwiegend bedingt durch die Greifaufgabe. Handhabungsobjekt und Greiferlösung sind entscheidend. Daher wurden für die schlüssige Konzepterstellung bzgl. der Greifobjekte die Anforderungen von Abschnitt 4.4 getroffen.

5.6 Anwendungsbeispiele der Funktionsintegration

Im Kapitel 5.3 wurden allgemeingültige Konzepte für die Funktionsvereinigung in der Lagertechnik entwickelt. Diese wurden ausführlich mit dem projektbegleitenden Ausschuss bezüglich ihrer Anwendbarkeit diskutiert.

Nun sollen in einem weiteren Arbeitsschritt aus dieser allgemeingültigen Betrachtung konkrete Konzepte abgeleitet werden. In den nachfolgenden Abschnitten (5.6.2 bis 6.5.6) werden in Fallbeispielen mögliche Realisierungen vorgestellt. Hierbei wird die Anwendbarkeit der erarbeiteten Konzeptideen gezeigt und es werden konkrete Anwendungsbeispiele gegeben. Die gezeigten Beispiele beschränken sich hier auf einen 6-Achs-Knickarmroboter.

5.6.1 Restriktionen bei der Konzepterstellung

Bei der Erstellung der nachfolgenden Konzepte mit einem 6-Achs-Knickarmroboter wurden nachfolgende Restriktionen beachtet:

- Anordnung der vertikalen Roboterhauptachse: Roboterdrehrichtung $180^\circ \pm 5^\circ$ (für optimierte Handlingszeiten).
- Anordnung des Roboters (Höhe)
- Greifraum des Roboters: max. Stellplatzanzahl und Stellplatzanordnung und Anbindung an die Fördertechnik (I-Punkte)
- Auswirkungen der/s benötigten Greifer/s (Greiferdimension) auf den Greifraum
- Funktionsumfang des Greifers: Ist ein weiterer Greifer notwendig oder kann die benötigte Funktion in den vorhandenen Greifer integriert werden (Greiferwechselzeit beachten; ggf. Ablageplatz erforderlich)
- Anordnung des 2./3. Greifers im Greifraum: An der „Decke“ platzieren, Aufhängen, um den begrenzten Platz am Boden freizuhalten.

Beim Erstellen der Konzepte werden die bereits handhabbaren Verpackungen beachtet. So bleibt der Robotereinsatz realistisch bzgl. prozesssicherer Greifbarkeit und den anfallenden Kosten für den Endeffektor.

Die am häufigsten mit einem Roboter gegriffenen Produkte in der Logistik sind: Säcke, Getränkekisten und -einheiten (bspw. „Sixpack“), Fässer und Eimer, Kartons und Behälter, Paletten (insb. Leerpaletten). Die nachfolgenden Konzepte decken diese Verpackungsgruppen ab und zeigen die Anwendbarkeit der Planungsmethode.

Der „Griff in die Kiste“, die schwierigste Aufgabe für eine Maschine, wird mit dem Konzept „Flaschenkommissionierung“ für den Weingroßhandel an einem einfachen, aber plausiblen Beispiel abgebildet.

5.6.2 Sortieren

Eine der häufigsten Aufgaben in einem Logistikzentrum oder im Produktionsbetrieb ist die Herstellung einer für den Folgeprozess benötigten Reihenfolge. Diese Sortieraufgabe übernimmt in der klassischen Ausführung eine Sortieranlage. Die Abbildung 5-21 zeigt beispielhaft eine Variante dieser Anlagen. Die bereitgestellte Ware wird von einer Zuführstrecke in verschiedene Sortierpuffer geleitet. Entsprechend der Anlagenstrategie kann ein Auftrag in einem oder mehreren Bändern in die benötigte Reihenfolge gebracht werden. Ist der Auftrag vollständig in der/den Bahnen eingelagert, wird die Ware in der geforderten Anordnung auf das Abförderband ausgeschleußt und der Sortierauftrag ist abgeschlossen.

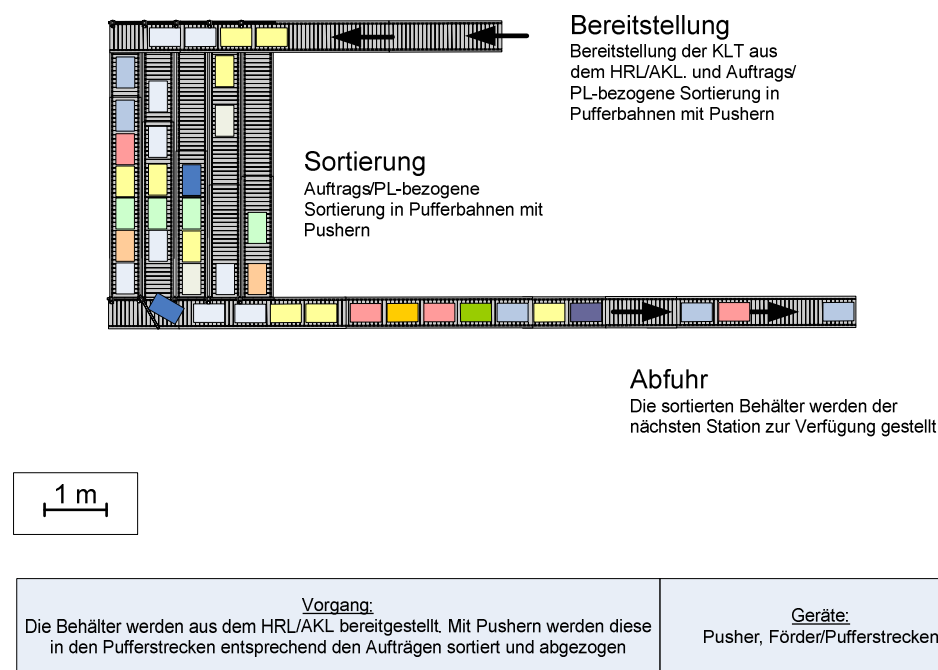


Abb. 5-21: Anwendungsbeispiel: „Sortieren“ konventionelle Lösung

Dieser Sortierprozess kann auch von einer Roboterzelle übernommen werden. In der in Abbildung 5-22 gezeigten Anordnung versorgt eine Zuführstrecke die Roboterzelle mit den Artikeln, welcher dieser entweder direkt auf das Abförderband legt oder in einem Regalfach des hexagonal um den Roboter angeordneten Regals puffert. Die Regalanordnung stammt aus dem Arbeitsbereich des Roboters. Um die hohen Kosten einer Sonderanfertigung eines rund geformten Regals zu umgehen wurde diese Anordnung von Standardregalelementen entwickelt – Nach Definition führt der Roboter bei dieser Sortieraufgabe die Ein- und Ausla-

gerfunktion aus. Aufgrund der dahinterstehenden Intention (sortieren) kann dies auch als Kommissionieren – der Roboter sucht aus dem Regal die entspr. Auftragspositionen in der benötigten Reihenfolge – betrachtet werden. Um bei dieser Tätigkeit dem Funktionsvereini- gungsanspruch gerecht zu werden, sind hier einerseits Nebenfunktionen wie Etikettieren (länderspezifische Labels) oder Kontrollieren (optisch - Identifikation, wiegen - Gewicht etc.) denkbar. Andererseits steht hier die kaum messbare Flexibilität der Zelle im Vordergrund. So kann hier auch jederzeit anstatt dem Abförderband die Ware auf eine Palette palettiert wer- den.

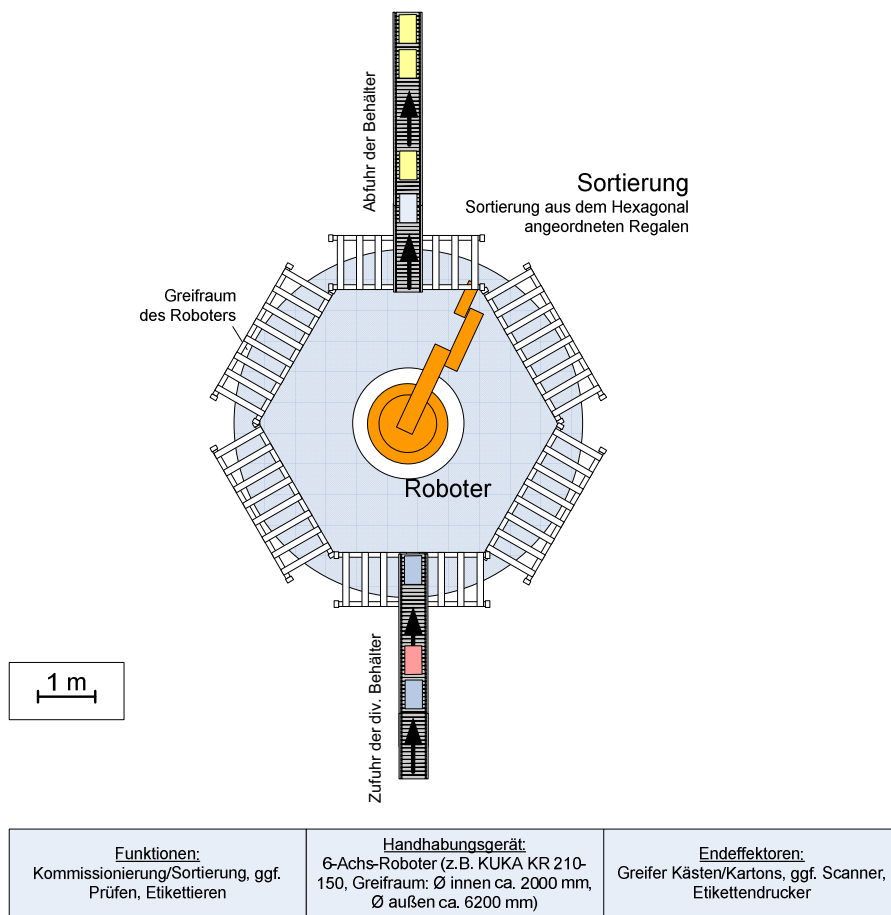


Abb. 5-22: Anwendungsbeispiel: „Sortieren“ Robotervariante

5.6.3 Sortieren und Palettieren

Die Abbildung 5-23 zeigt die Erweiterung des in beschriebenen Sortierkonzepts. An die Sortieranlage ist eine Palettierung der Artikel angeschlossen.

5 Modulare Funktionsintegration

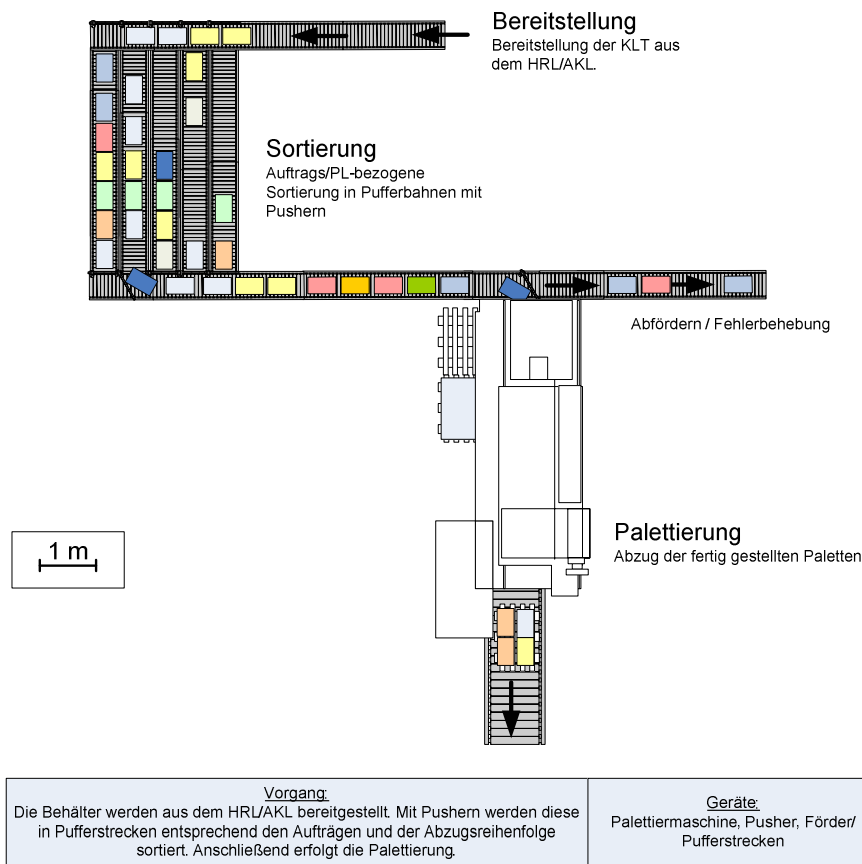
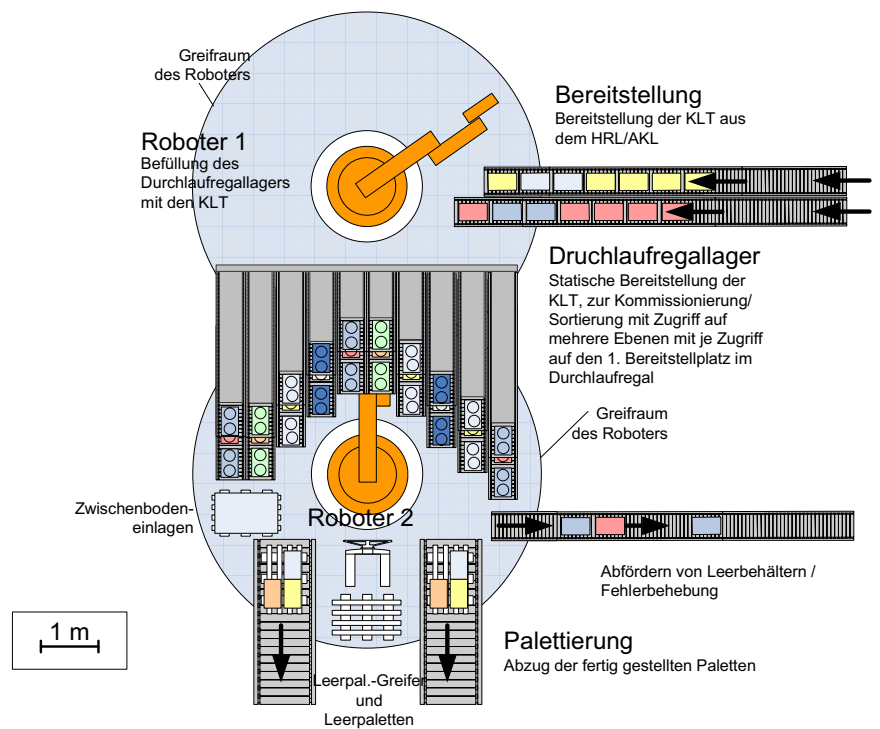


Abb. 5-23: Anwendungsbeispiel: „Sortieren und Palettieren“ konventionelle Lösung

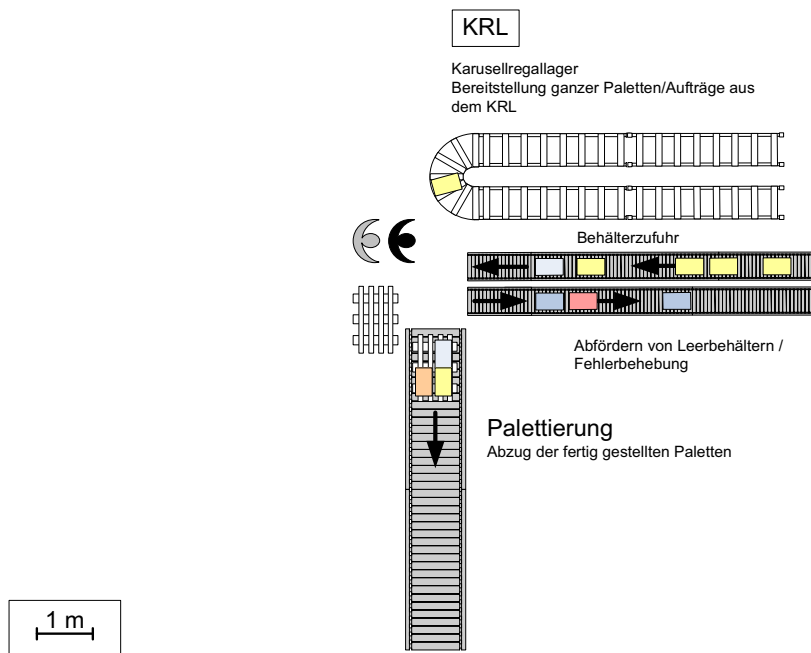
Das entsprechende Konzept mit einem Roboter zeigt die Abbildung 5-24. Aufgrund der häufig hohen Leistungsanforderungen wurde in diesem Konzept ein weiterer Roboter integriert, der ausschließlich für die Sortierung der Artikel in ein Zwischenlager zuständig ist. Aus diesem Zwischenlager (hier wurde ein Durchlaufregal verwendet) entnimmt der zweite Roboter die Ware aus dem Regal und palettiert diese. Im Bereich der Sackpalettierung sind Maximalleistungen von ca. 600 Sack/h möglich. Nach der Definition nach Arnold und den hergeleiteten Lagerfunktionen lässt sich dieses Sortieren und Palettieren den Hauptfunktionen Einlagern und Kommissionieren zuordnen. Weitere denkbare Nebenfunktionen sind bereits im ersten Anwendungsbeispiel beschrieben.



<p>Funktionen: 1. Roboter: Auslagern 2. Roboter: Kommissionierung, Auslagern (Palettierung), länderspez. Etikettierung der Kartons</p>	<p>Handhabungsgerät: 6-Achs-Roboter (z.B. KUKA KR 210-150, Greifraum: Ø innen ca. 2000 mm, Ø außen ca. 6200 mm)</p>	<p>Endeffektoren: Greifer für KLT und Aufnahme für Leerpallettengreifer, sowie Etikettendrucker</p>
---	---	---

Abb. 5-24: Anwendungsbeispiel: „Sortieren und Palettieren“ Robotervariante

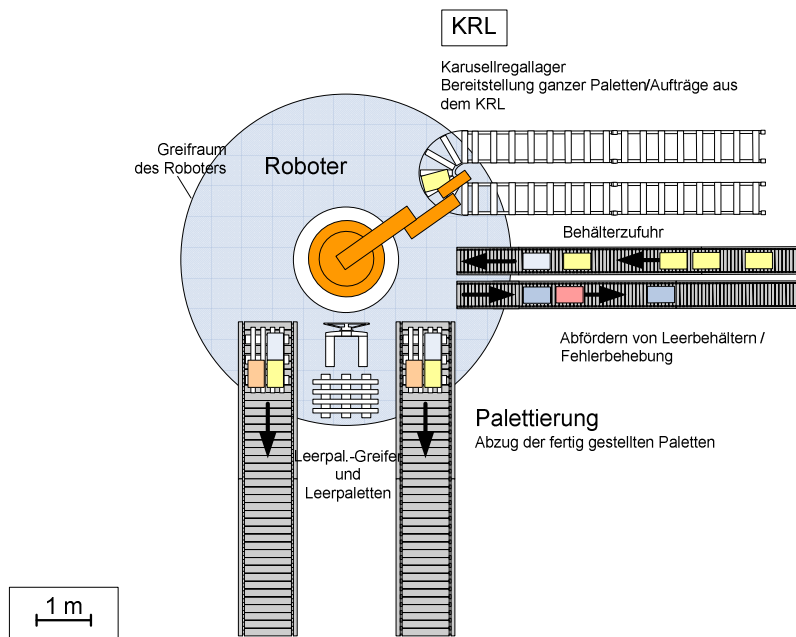
Eine weitere Möglichkeit die betrachtete Funktionalität zu realisieren, jedoch bei geringerem Durchsatz, ist die in Abbildung 5-25 dargestellte Variante. In diesem Konzept erledigt ein Mitarbeiter die Aufgaben, die in Abbildung 5-26 von dem Industrieroboter ausgeführt werden.



<p><u>Vorgang:</u> Mitarbeiter befüllt das KRL und palettiert nachdem eine PL-Ladung vollständig im KRL eingelagert wurde.</p>	<p><u>Mitarbeiter:</u> Mitarbeiter benötigt je nach Taktzeit und Gewicht der Behälter Erholphasen. Entsprechend dem Sichtmodell können bzw. müssen zwei Mitarbeiter eingesetzt werden</p>
--	---

Abb. 5-25: Anwendungsbeispiel: „Sortieren und Palettieren“ manuelle Lösung

In den Konzepten wird die Sortierung der Artikel mit ein Karusellregallager realisiert. Die Befüllung erfolgt durch einen Mitarbeiter. Ist der Auftrag im Regal vollständig, werden die Artikel der Reihe nach ausgelagert und der Werker kann diese palettieren. In der Ausführung mit einem Industrieroboter bleibt dieser Ablauf unverändert. Die Anwendung eines Roboters hat in diesem Fall ergonomische und humanitäre Aspekte. In der Industrie sind derzeit noch sehr viele vergleichbare Anwendungsfälle die Realität, in denen ein Mitarbeiter derartige „Umsetzvorgänge“ erledigt. Die zu handhabenden Gewichte liegen an und über der Grenze zur Verwendung einer Handlingshilfe. Hier kann der Roboter den Menschen entlasten und die Gesundheit schützen. Finden derartige Arbeiten im Mehrschichtbetrieb statt, ist der Robotereinsatz aus wirtschaftlicher Sicht attraktiv.



Funktionen: Ein- u. Auslagern (incl. (De-)Palettieren), Kommissionierung	Handhabungsgerät: 6-Achs-Roboter (z.B. KUKA KR 210-150, Greifraum: Ø innen ca. 2000 mm, Ø außen ca. 6200 mm)	Endeffektoren: Greifer Behälter/Kartons und Aufnahme für Leerpallettengreifer
--	--	---

Abb. 5-26: Anwendungsbeispiel: „Sortieren und Palettieren“ Robotervariante

5.6.4 Kommissionierung, Verpackung und Palettierung

In diesem Funktionskonzept werden Weinkartons gemischt und sortenrein kommissioniert und palettiert (Abb. 5-27). Dieses Konzept realisiert die Automatisierung des „Griffs in die Kiste“. In der konventionellen Ausführung des Fallbeispiels durchläuft ein Mitarbeiter mit einem Kommissionierwagen die Regalgassen. Die Artikel werden statisch in einem Fachbodenregallager bereitgestellt. Entsprechend den Kommissionieraufträgen führt der Mitarbeiter Leerkartons und ggf. Zwischenbodeneinlagen am Kommissionierwagen mit. Eine fertig gestellte Palette setzt der Kommissionierer am Gassenende auf einem Förderer ab. Die Bereitstellung für Paletten, Zwischenbodeneinlagen und die ungefalteten Versandkartons findet am selben Regalende statt.

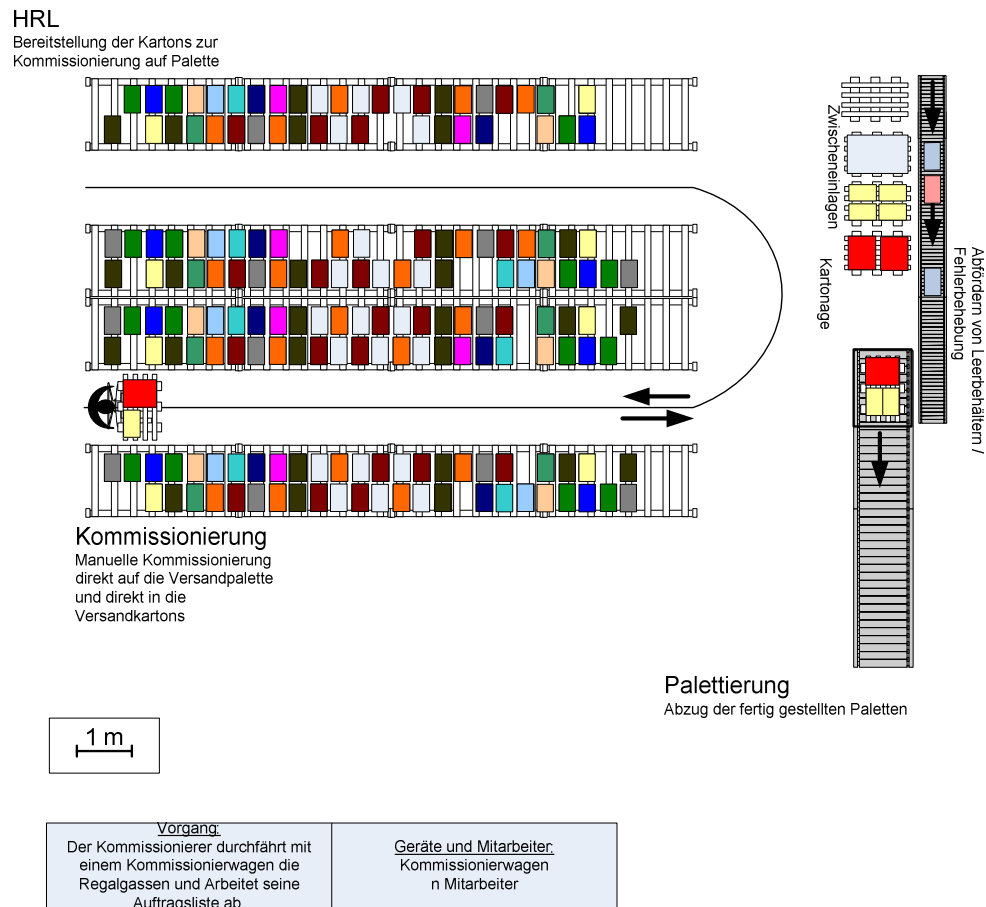


Abb. 5-27: Anwendungsbeispiel: „Kommissionieren, Verpackung und Palettieren“ manuelle Lösung

In der automatisierten Ausführung (Abb. 5-28) muss dem Industrieroboter die Ware zugeführt werden. Hier wird das oben verwendete Bereitstellungsprinzip „Mann zur Ware“ nicht mehr verwendet. Prinzipiell besteht die Möglichkeit, den 1,5 Tonnen schweren Industrieroboter auf einer Linearachse zu verfahren und diesen zur Ware zu bringen. Bei dieser Variante sollte aber überprüft werden, ob eine Zuführung („Ware zum Mann“) nicht zweckmäßiger ist (kostengünstiger und höherer Durchsatz).

Der Industrieroboter übernimmt die Kommissionierung der Flaschen in die Versandkartons. Für die Erstellung von Mischkartons und dem Griff in die Kiste besitzt der Roboter einen Endeffektor mit Vakuumtechnik. Mit diesem kann er sowohl einzelne Flaschen als auch einen ganzen Karton greifen. Das Öffnen der bereitgestellten Kartons und das Falten und Verschließen der Versandkartons erledigt eine kleine Zusatzmechanik am selben Greifer. Ein Greiferwechsel ist hier nicht vorgesehen. Der Roboter entsorgt die Leerkartons aus der Bereitstellung und stellt eine neue Versandpalette mit einem Aufsatzgreifer bereit. Als

zweckmäßige Nebenfunktion ist eine länderspezifische Etikettierung der Versandkartons vorgesehen.

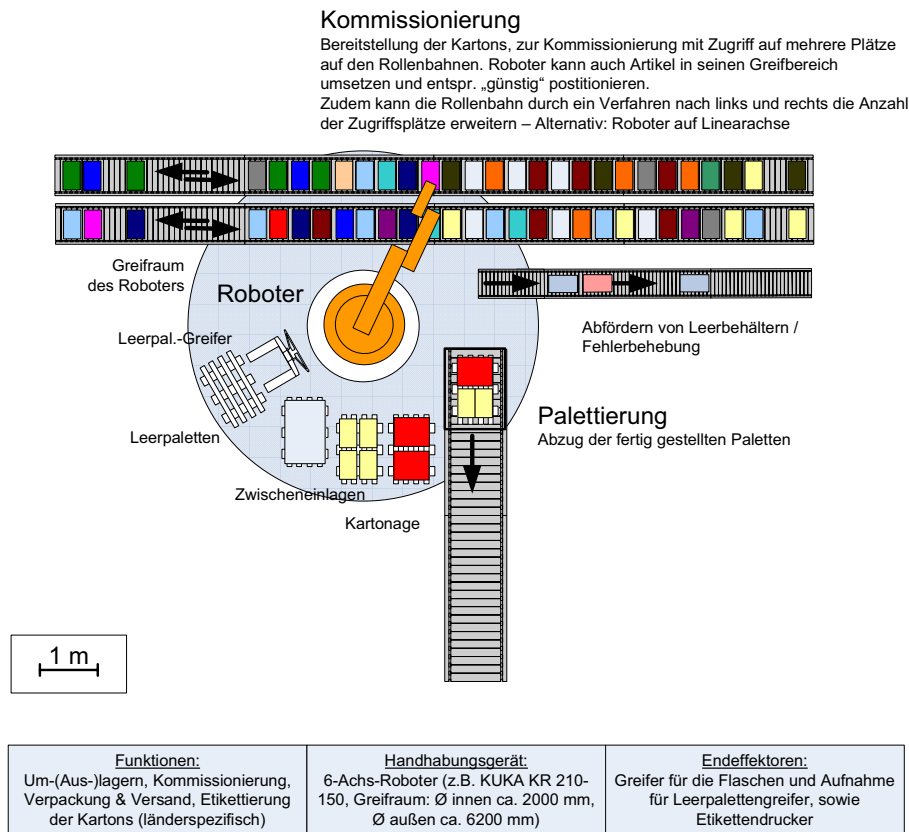


Abb. 5-28: Anwendungsbeispiel: „Kommissionieren, Verpackung und Palettieren“ Robotervariante

5.6.5 Lageranbindung

In dem vorangegangenen Abschnitt (5.6.1 bis 5.6.4) wurden bereits einige Fallbeispiele für unterschiedliche Anwendungsmöglichkeiten der Robotik bei KmU vorgestellt und beschrieben. Für die weiteren Untersuchungen soll nun ein Konzept erarbeitet werden, dass die Ideen der erarbeiteten Anwendungsbeispiele aufnimmt und auch in der Versuchshalle der Forschungsstelle als Funktionsmuster umgesetzt werden kann.

In der Versuchshalle des Lehrstuhls fml ist bereits ein automatisches Kleinteilelager vorhanden. Dieses kann als Sortierpuffer mit einem oder mehreren Übergabeplätzen (Abschnitt 5.6.2) verwendet werden. Das Lager soll jedoch in seiner klassischen Funktion erhalten bleiben. Das vorhandene Kleinteilelager bietet die Möglichkeit für die Aus- und Einlagerung mehrere Regalfächer zu nutzen. Damit kann der Roboter entkoppelt vom Regalbediengerät (RBG) immer unter Volllast arbeiten. Das Fallbeispiel Sortieren und Palettieren (Abschnitt 5.6.3) liefert für das Konzept in der Forschungsstelle Anreize: Hier befüllt der Roboter ein

5 Modulare Funktionsintegration

Karusellregallager mit der ankommenden Ware. Steht der gesamte Auftrag bereit, wird diese in der richtigen Reihenfolge dem Roboter bereitgestellt und dieser Palettiert die Ware. Die gleiche Funktionalität, jedoch mit weniger Bereitstellplätzen, ergibt sich aus dem Ersatz des Karusellregallagers durch das hexagonal angeordnete Fachbodenlager aus dem Anwendungsbeispiel in Kap. 5.6.1. Diese Konzepte bilden die gedankliche Grundlage für das Konzept „Lageranbindung“ (Abb. 5-29).

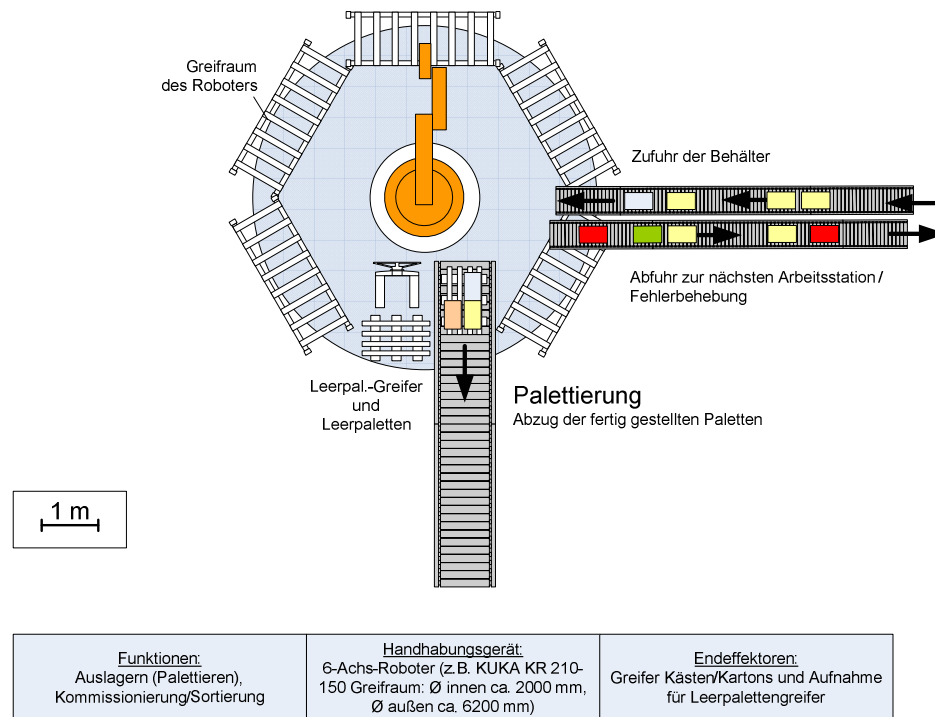


Abb. 5-29: Anwendungsbeispiel „Sortieren - erweitert“

Im Konzept „Lageranbindung“ übernimmt das vorhandene automatische Kleinteilelager mit RGB die Lager- und Pufferfunktionen. Für die Kommissionierung der Ware entnimmt der Roboter diese aus den Regalfächern. Die Palettierung der Ware findet auf einem Abförderband statt (Abb. 5-30). Um die Situation eines Warenein- und -ausgangs zu vervollständigen, wird die Ware nicht auf einem Förderband zugeführt. Stattdessen müssen ankommende Paletten depalettieren und eingelagert werden. Mit dieser Funktionalität deckt das Konzept „Lageranbindung“ drei der vier definierten Hauptfunktionen ab:

- Einlagern
- Auslagern
- Kommissionieren

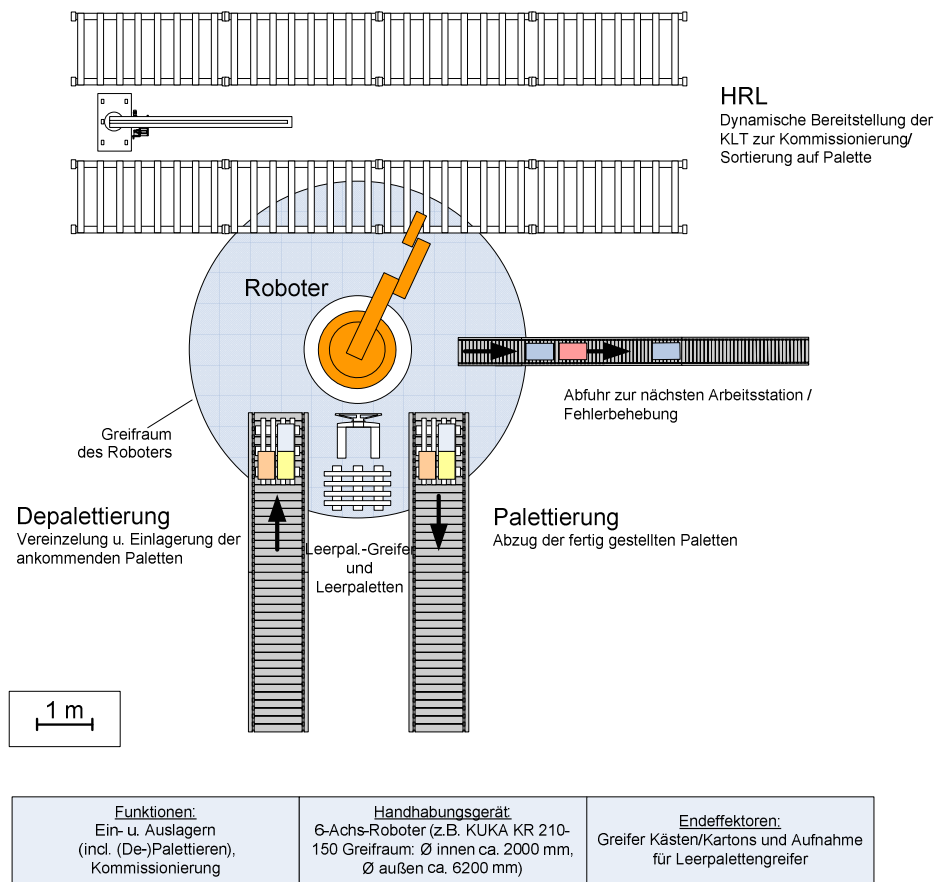


Abb. 5-30: Anwendungsbeispiel: „Lageranbindung“

Das De- und Palettieren ist dem Ein- bzw. Auslagern gemäß der Definition nach Arnold in Abschnitt 4 zugeordnet.

Als Handhabungsobjekte werden die stapelbaren Kleinladungsträger des automatischen Kleinteilelagers verwendet. Eine Europalette fasst 20 Stück der Kästen mit den Maßen ca. 400x600x280mm (Länge/Breite/Höhe).

Für die Realisierung der benötigten Funktionen ist ein Endeffektor für das Greifen der Kästen notwendig. Zudem müssen Leerpaletten von der Zuführstrecke entfernt und auf der Abfuhrstrecke bereitgestellt werden. Diese Aufgabe kann derselbe Endeffektor übernehmen. Realisiert werden kann dies mit kleinen Fingern, welche die Leerpalette kraftschlüssig greifen. Um einen Greiferwechsel abzubilden und die Zeiten zu ermitteln, welche hierfür notwendig sind, wird trotz der naheliegenden Integration dieser Funktionalität ein zweiter Greifer für diese Funktion verwendet.

6 Leistungs- und Wirtschaftlichkeitsbewertung

Für eine praktische Umsetzung funktionsvereinigender Lagersysteme ist die Wirtschaftlichkeit entscheidend. Dafür werden in diesem Kapitel die wesentlichen Kosten einer Roboterzelle beschrieben.

Für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung werden neben den anfallenden Kosten auch Daten zur Leistungsfähigkeit des untersuchten Systems benötigt. Diese werden diskutiert. In der Wirtschaftlichkeitsbewertung anhand des ausgewählten Anwendungsbeispiels „Lageranbindung“ werden Einflüsse auf die Wirtschaftlichkeit funktionsvereinigender Lagerkonzepte diskutiert. Mit Hilfe der Materialflusssimulation wurden diesbezüglich Untersuchungen durchgeführt und die relevanten Einflussfaktoren identifiziert

6.1 Wirtschaftlicher Robotereinsatz

Ein wirtschaftlicher Einsatz der Robotertechnik soll für zwei Konstellationen betrachtet werden. Der Roboter ersetzt

- konventionelle Lagertechnik und
- Personal.

Diese Fälle bilden die zwei Alternativen ab, denen ein möglicher Robotereinsatz gegenüber gestellt werden kann. Bei einem Vergleich für den Ersatz von Personal durch einen Roboter ist besonders die automatisierte Materialflusssanbindung zu berücksichtigen.

Um die Wirtschaftlichkeit eines Konzeptes zur Funktionsvereinigung bewerten zu können, sind Kosten und Leistung der Roboterzelle zu ermitteln. Die nachfolgende Abbildung 6-1 zeigt, welche Daten für einen wirtschaftlichen Robotereinsatz bekannt sein müssen.

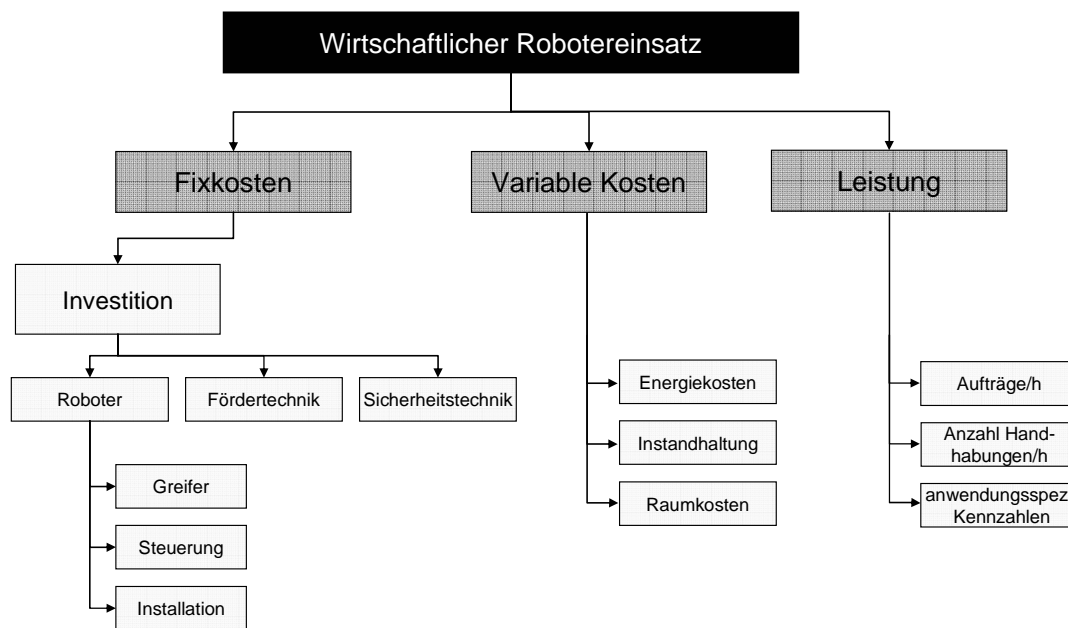


Abb. 6-1: Wirtschaftlicher Robotereinsatz

In den nachfolgenden Abschnitten 6.1.1 und 6.1.2 wird auf die Ermittlung der wesentlichen Daten zur Kosten- und Leistungsermittlung eingegangen.

6.1.1 Kostenermittlung

Die in der Abbildung 6-1 genannten Investitionen für eine Roboterzelle werden wesentlich durch das Greifobjekt und den entsprechenden Anforderungen beeinflusst. (siehe Kapitel 3 und 4). Die Investition für die Roboterzelle ist durch eine systematische Auswahl der zu integrierenden Funktionen zu optimieren.

Die zu **tätigende Investition**

- für den Roboter hängt von den Anforderungen an die Bewegungs- und Tragkraft ab,
- für den Endeffektor (Greifer) wird durch das Handhabungsobjekt und den Aufgabenumfang der Roboterzelle bestimmt,
- für die Sensor- und Steuerungstechnik hängt von der geforderten Komplexität der Greifaufgabe und auch vom Funktionsumfang ab,
- für die Sicherheitstechnik wird bei der Roboterzelle hauptsächlich durch die Materialzu- und abfuhr beeinflusst,
- für Installation bzw. technische Integration der Roboterzelle ist bedingt durch die Kombination von Greifaufgabe und Funktionsumfang der Roboterzelle.

- für die Fördertechnik zum An- und Abtransport der Ware für die Roboterzelle ist konzeptbedingt. Bei Konzepten mit Knickarmrobotern ist durch die Kompaktheit ein geringerer Fördertechnikbedarf wie bei konventionellen Lösungen anzunehmen. Die Anforderung bezüglich Verfügbarkeit sind vergleichbar wie bei jedem anderen automatisierten System und entsprechend zu beachten.

Auf der Seite der variablen Kosten fallen die meisten Kosten für Energie und Instandhaltung an.

Die **Energiekosten** für eine Roboterzelle weichen nicht wesentlich von den Kosten von anderen automatisierten Systemen mit gleicher Leistungsfähigkeit ab. Tendenziell sind diese durch die wenigen installierten Geräte (Motorleistungen) geringer.

Die **Instandhaltungskosten** sind bei einer Roboterzelle kritisch. Diese setzen sich zusammen aus den Kosten für die Instandhaltung der Roboterzellenperipherie und den Kosten, die von der Greifaufgabe und der notwendigen Prozesssicherheit verursacht werden. Die technische Instandhaltung ist bei einer Roboterzelle durch die wenigen beweglichen und rotierenden Elemente sehr gering. Die Komplexität der Greifaufgabe und die geordnete Prozesssicherheit können sehr hohe Kosten bei der Instandhaltung der Roboterzelle verursachen.

Die **Raumkosten** einer Roboterzelle sind im Vergleich zu konventionellen Automatisierungslösungen entsprechend dem Robotersystem, Portal oder Knickarmroboter, unterschiedlich. Knickarmroboter haben einen begrenzten Arbeitsraum und daher einen relativ kleinen Flächenbedarf. Der Flächenbedarf eines Portalroboters hängt von den Zugriffsflächen ab.

6.1.2 Leistungsermittlung

Die nachfolgenden Betrachtungen geben einen Überblick über die leistungsbeeinflussenden Faktoren einer Roboterzelle. Einen wesentlichen Einfluss auf die Arbeitsleistung des Roboters haben

- die Greifobjekte und
- der Funktionsumfang.

Greifobjekte und Funktionsumfang bestimmen den gesamten Arbeitsinhalt des Roboters. Hierbei sind die Prozesszeiten für die einzelnen Handhabungsschritte (Abschnitt 4) des Roboters entscheidend. Bei der Greifaufgabe sind dies die Zeiten für:

- Objekterkennung
- Positionierung
- Greifen/Loslassen

Die Greifaufgabe wird überwiegend durch das Greifobjekt und den Funktionsumfang beeinflusst. Der Funktionsumfang der Roboterzelle beeinflusst die Zeiten für:

- Greiferwechsel
- Fahrwege
- Weitere Prozesszeiten: Drucken, Spraysen etc.
- Wartung/Instandhaltung

Die hier beschriebenen Zeitfaktoren und Prozesszeiten werden noch von der anbindenden Fördertechnik der Roboterzelle beeinflusst. Diese sollten an die jeweils maximal zu erwartende Roboterleistung beispielsweise durch Pufferplätze angepasst sein, damit für diesen keine Wartezeiten entstehen.

Für die Ermittlung der Leistung der Roboterzelle müssen diese einzelnen Prozesszeiten bekannt sein. Betrachtungspunkte für die Leistungsfähigkeit sind beispielsweise:

- erledigte Aufträge/h
- Handhabungsschritte/h
- Auftragsdurchlaufzeit

Die benötigten Leistungsdaten hängen vom Anwendungsfall ab.

Für die Ermittlung der Leistungsdaten kann auch die die Materialflusssimulation verwendet werden (Abschnitt 6.3).

6.1.3 Wirtschaftlichkeitsvergleich

Bei einem Wirtschaftlichkeitsvergleich mit konventioneller Lagertechnik sind bereits die technischen Voraussetzungen für den Einsatz von Automatisierungstechnik vorhanden. Es ist davon auszugehen, dass eine automatisierte Anbindung der Roboterzelle an das Materialflusssystem vorhanden ist. Bei Vergleichen mit einem Roboter ist zu beachten, dass ein Knickarmroboter einen begrenzten Arbeitsraum hat und hierdurch die Zelle in einer entsprechend gebündelten Form (Abb. 5-18) an die vorhandene/geplante Materialflusstechnik angebunden werden muss.

Bei einem Wirtschaftlichkeitsvergleich zwischen konventioneller Lagertechnik und einem Roboterkonzept sind zuerst die benötigten Leistungen und die Verteilung der Leistungsbedarfe über den Tag mit der IST-Analyse zu ermitteln.

Diese Leistung kann, wie anhand des Beispiels in den Abbildungen 6-2 bis 6-4 skizziert, einer konventionellen Lösung mit geeigneter oder verfügbarer Kapazität gegenübergestellt werden. In den Abbildungen 6-2 bis 6-4 ist beispielhaft die Verteilung der benötigten Leistungen/h von (De-)Palettier und Übergabepunkt über die Zeit aufgetragen. In den Beispielen wird durch den Vergleich der benötigten und vorhandenen Leistung schon gezeigt, dass sinnvolle Anwendungsfälle dort liegen, wo konventionelle Automatisierungstechnik nicht ausgelastet werden kann.

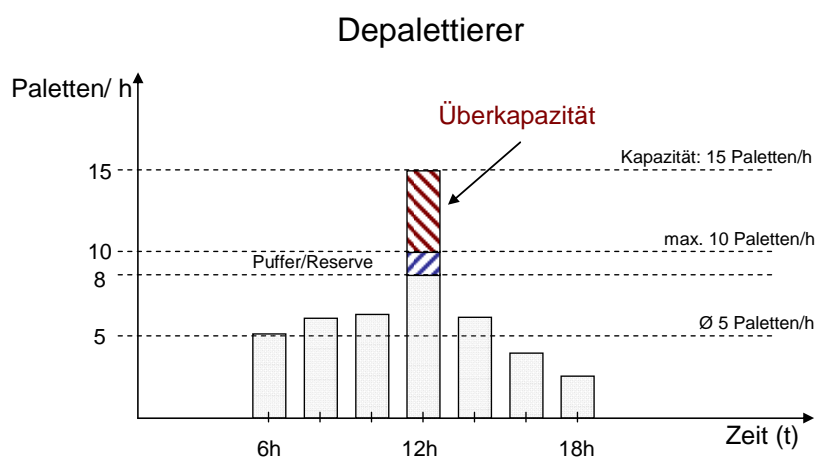


Abb. 6-2: Leistungsanforderungen an die Depalettierung

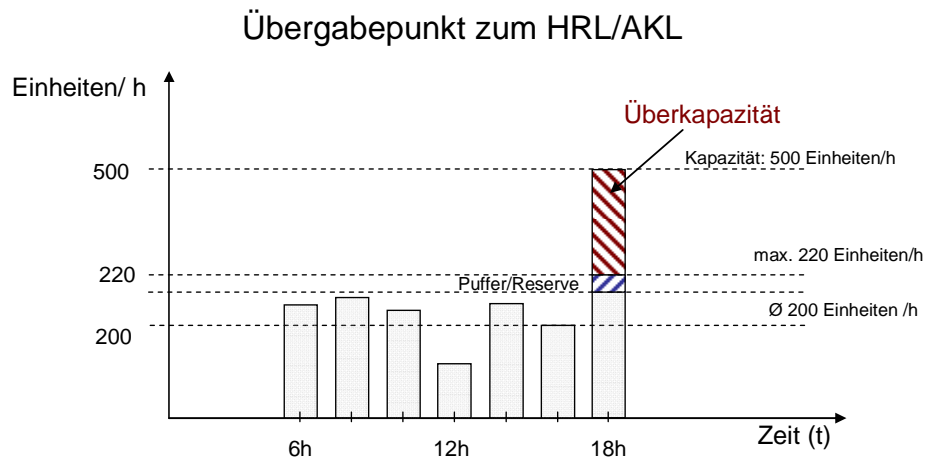


Abb. 6-3: Behälter am Übergabepunkt zum Lager

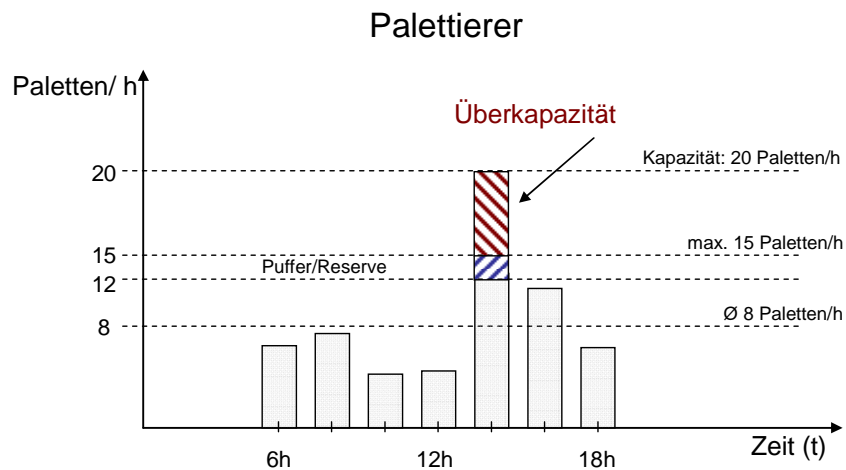


Abb. 6-4: Verteilung der Palettierleistung

Für den Robotereinsatz ist zu prüfen, welche Prozesszeiten der Roboter für die einzelnen Funktionen benötigt. Hierbei müssen alle Zeiten auch für Greiferwechsel, Instandhaltung, etc. berücksichtigt werden. Als Ergebnis ergibt sich die benötigte Anforderung an die Systemleistung der Roboterzelle. Der alternative Robotereinsatz ist möglich, wenn der Roboter die geforderte Leistung der konventionellen Variante mindestens bewältigen kann (Abb. 6-5). Noch übrige Kapazität kann gegebenenfalls mit Nebenfunktionen, wie Etikettieren (Kapitel 4.5.2) genutzt werden.

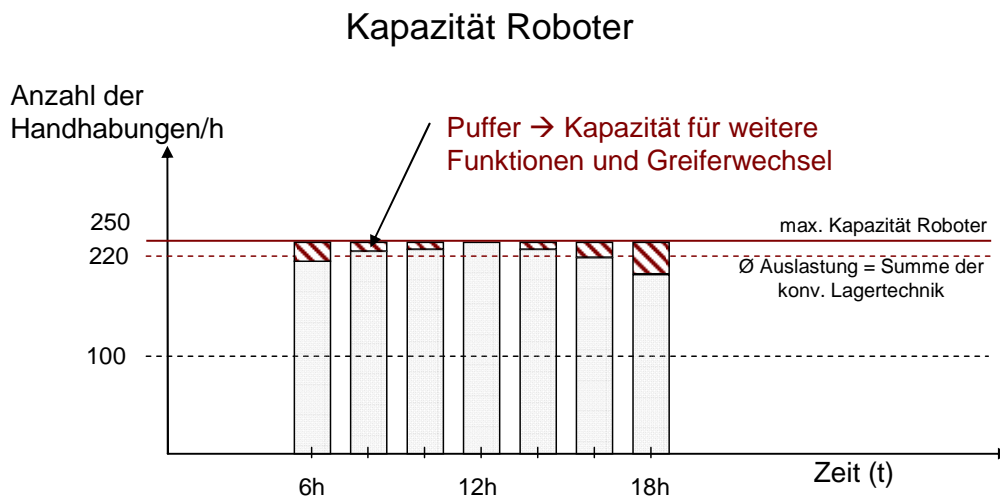


Abb. 6-5: Handhabungsleistung des Roboters

Die Überkapazität der beschriebenen Technik (De-)Palettierer und I-Punkt soll die begrenzte Skalierbarkeit der angebotenen Lagertechnik verdeutlichen (Abb. 6-2 bis 6-4). In der nachfolgenden Kostenrechnung (Abschnitt 6.2) wurde dies im Auslastungsfaktor berücksichtigt. In der Kostenbetrachtung ist auch die kompakte und platzsparende Bauweise einer Roboterzelle zu beachten. Dadurch können auch Förderstrecken eingespart werden. Bei einer Gegenüberstellung mit einer bereits automatisierten Lösung kann bei beiden Lösungsmöglichkeiten von einem Mehrschichtbetrieb mit einer entsprechend hohen Konstantleistung ausgegangen werden.

Bei einem Vergleich mit einer manuellen Lösung der Lageraufgabe, kann die Leistung des Mitarbeiters mittels einer MTM-Analyse zur Zeitenbestimmung erfolgen. Die einzelnen Prozesse setzen sich aus mehreren Zeitschritten zusammen.

Im Wirtschaftlichkeitsvergleich werden die durch den Leistungsvergleich ermittelten Maschinen den verursachten Kosten gegenübergestellt. Dies kann mit Hilfe einer Kostenvergleichsrechnung durchgeführt werden.

Um zu überprüfen, welche technische Lösung am frühesten gewinnbringend im Betrieb arbeitet, bzw. buchhalterisch abgeschrieben ist, kann die statische Amortisationsrechnung verwendet werden.

6.2 Wirtschaftlichkeitsvergleich am Beispiel

6.2.1 Kostenvergleich

Für eine Wirtschaftlichkeitsbewertung wird an dieser Stelle wieder das Anwendungsbeispiel „Lageranbindung“ aus Abschnitt 5.6.5 (Abbildung 5-30) verwendet. Dabei wird das erarbeitete Konzept mit einer manuellen Lösung und einer konventionellen Lösungsvariante der Materialflussfunktionen verglichen.

Die Investitionskosten der technischen Anlagen zeigt die Tabelle 1.

Tabelle 1: Investment für die Lösungsvarianten

konv. Lagertechnik	Invest		Roboter	Invest		manuelle Lösung	Invest
(De-)Palettierer	120000		Roboter	70000		Fördertechnik	5000
Fördertechnik	20000		Greifer	10000			
Sicherheit	10000		Ident- u. Sicherheitstech	15000		Summe:	5000
Übergabeplatz	10000		Fördertechnik	10000			
Sorter	5000		Systemintegration	35000			
Integration	20000						
			Summe:	140000			
Summe:	185000						

Im Vergleich der notwendigen Investitionskosten wird ersichtlich, dass die manuelle Lösung der Lageraufgabe mit den benötigten 5.000€ für die Fördertechnik nur einen Bruchteil der Investitionskosten der automatisierten Varianten verursacht. Bei der anschließenden Kostenvergleichsrechnung müssen auch die Personalkosten für den Mitarbeiter (Zeitarbeitskraft mit sehr hoher Verfügbarkeit) beachtet werden.

Bei der konventionellen Lösung versorgt das AKL über einen I-Punkt die Sorter- und Fördertechnik. Eine Palettieranlage erledigt die Aufgaben der De- und Palettierung. Im Anwendungsbeispiel „Lageranbindung“ ist die benötigte stündliche Leistung wesentlich geringer, als die von der konventionellen Lösung bereitgestellte (kleinste verfügbare Maschine für diese Anforderung). Die Überkapazität liegt bei ca. 50%, dies wird mit dem Faktor 0,5 bei der Kostenvergleichsrechnung berücksichtigt.

6 Leistungs- und Wirtschaftlichkeitsbewertung

Die Investitionskosten der Roboterzelle werden neben dem Invest für den Roboter maßgeblich durch die Systemintegrationskosten der Zelle beeinflusst (Tabelle 1).

Die nachfolgende Tabelle 2 enthält die Kostenvergleichsrechnung der drei Varianten. In dem Vergleich wird ein 14h Betrieb angenommen.

	Einheit	Index	Bezug	konv. Lagertechnik	manuelle Lösung	Funktionsvereinigung
Investitionsaufwand konv. Lagertechnik	€	K_{An1}		185.000,00		
Investitionsaufwand manuelle Lösung	€	K_{An2}			5.000,00	
Investitionsaufwand Funktionsvereinigung	€	K_{An3}				140.000,00
Mitarbeiter (Leiharbeit)	€/h	K_{MA}			25,00	
Nutzungsdauer Technik	a	T_{ND}		10,00	10,00	10,00
jährl. Nutzungszeit	h	T_N		3.402,00	3.402,00	3.402,00
Nutzflächenbedarf	m ²	A		60,00	15,00	40,00
Raumkosten (Miete und Betriebskosten)	€	k_R		15,00	15,00	15,00
Nennleistung	kwh	P_{nenn}		100,00	2,00	30,00
Auslastungsfaktoren		f_A		0,50	1,00	0,90
Energiekostensatz	€/kwh	k_{En}		0,20	0,20	0,20
Zinsfaktor		f_Z		0,10	0,10	0,10
Instandhaltung und Überwachung		f_i		0,100	0,050	0,150
Kalk. Abschreibung	€	K_A	$K_{Anx} : T_{ND}$	18.500,00	500,00	14.000,00
Kalk. Zinsen	€	K_Z	$K_{Anx} * 0,5 * f_Z$	9.250,00	250,00	7.000,00
Personalkosten	€/a	K_P	$K_{MA} * T_N$		85.050,00	
Raumkosten	€	K_R	$k_R * 12 * A$	10.800,00	2.700,00	7.200,00
Fixe Maschinenkosten	€/a	K_{Mfix}	$K_A + K_Z + K_R$	38.550,00	3.450,00	28.200,00
Fixer Anteil Maschinenstundensatz	€/h	K_{MHfix}	$K_{Mfix} : T_N$	11,33	1,01	8,29
Energiekosten	€	K_{En}	$P_{nenn} * f_A * k_{En} * T_N$	34.020,00	1.360,80	18.370,80
Instandhaltungskosten	€	K_i	$f_i * K_{Anx}$	18.500,00	250,00	21.000,00
Variable Maschinenkosten	€/a	K_{Mvar}	$K_{En} + K_i$	52.520,00	1.610,80	39.370,80
Variabler Anteil Maschinenstundensatz	€/h	K_{MHvar}	$K_{Mvar} : T_N$	15,44	0,47	11,57
Maschinenkosten	€/h	K_M	$K_{Mfix} + K_{Mvar}$	91.070,00	5.060,80	67.570,80
Maschinenstundensatz	€/h	K_{MH}	$K_M : T_N$	26,77	1,49	19,86
Konzeptkosten	€/h	K_K	$K_{MH} + T_N * K_{MA}$	26,77	26,49	19,86

Tabelle 2: Kostenvergleich der Lösungsvarianten

In der Kostenvergleichsrechnung werden aus den Investitionskosten die jährlich fixen Maschinenkosten der Varianten unter Beachtung von Verzinsung und Abschreibung errechnet. Daneben fallen im Betrieb von den technischen Anlagen auch noch variable Betriebskosten an (Energie etc.). Diese werden in den variablen Maschinenkosten berücksichtigt. Auch die beschriebenen Unterschiede bzgl. Auslastung und Flächenbedarf gehen in die variablen Kosten ein.

Am Ende der Kostenvergleichsrechnung steht ein Maschinenstundensatz der für den Betrieb der technischen Anlage anfällt. Um die drei Konzepte ihren stündlich verursachten Kosten

gegenüberzustellen, wurden der Maschinenstundensatz um die Personalkosten je Stunde erweitert und es ergeben sich die Konzeptkosten je Stunde.

In diesem Vergleich zeigen sich ausschließlich die Betriebskosten einer Variante. Um eine Entscheidung über die Investition zu treffen, sind weitere Untersuchungen notwendig (Abschnitt 6.2.2)

6.2.2 Amortisation

Um eine Aussage bzgl. der Investitionsentscheidung zu treffen, wird nachfolgend die statische Amortisationsrechnung verwendet. Diese baut auf den Ergebnissen der Kostenvergleichsrechnung auf. In der statischen Amortisationsrechnung steht eine alternative Lösung einer Basisvariante gegenüber. Die zu berechnende Amortisationszeit ergibt sich aus dem Quotienten der Differenz aus den Investitionskosten und der Differenz aus den jährlichen Kosten beider Varianten. Am Ende des Vergleichs steht die Dauer, ab wann ein monetärer Vorteil eintritt.

Als Basis der Amortisationsrechnung dient die manuelle Lösung. Mit dieser werden die beiden automatisierten Varianten verglichen. In der Analogie zur Kostenrechnung wird auch hier ein 14h Betrieb angenommen.

Die Tabelle 3 zeigt die Ergebnisse der Berechnung. Demnach ist die Investition in die Roboteranlage nach ca. 6 Jahren abgeschrieben. Ab diesem Zeitpunkt ergeben sich jährliche Einsparungen von ca. 22.500€ aus der Investitionsentscheidung.

Tabelle 3: Statische Amortisationsrechnung (14h-Betrieb)

	Einheit	Index	Bezug	konv. Lagertechnik	manuelle Lösung	Funktionsvereinigung
Maschinenkosten	€	K_M		91.070,00	5.060,80	67.570,80
Personalkosten	€	K_P			85.050,00	
Mehrinvest	€	$K_{\Delta In}$	$K_{AnX} - K_{An2}$	180.000,00		135.000,00
Einsparung	€	$K_{\Delta S}$	$K_M + K_P - K_M + K_P$	-959,20		22.540,00
Amortisationszeit	a		$K_{\Delta In} : K_{\Delta S}$	keine		5,989352263

6.2.3 Einflussfaktoren

Bei den Untersuchungen zur Amortisationsrechnung ergaben sich deutliche Einflüsse der Arbeitszeit und der Instandhaltungskosten auf die Amortisationsdauer. Dies soll nachfolgend

diskutiert werden. Abschließend wird auf weitere Kostenfaktoren und Potenziale der Funktionsintegration eingegangen.

6.2.3.1 Arbeitszeit

Durch die Veränderung der Betriebszeit zwischen 7, 14 und 23 Stunden ergeben deutliche Unterschiede in der Amortisationsdauer. Der Grund liegt in den hohen Investitionskosten der automatisierten Lösungsvarianten. Die geringen Betriebskosten dieser Lösungsvarianten wirken sich erst ab einer gewissen Nutzungsdauer aus.

Erst ab einer Betriebszeit von ca. 9,37 Stunden pro Arbeitstag ergibt sich in diesem Vergleich eine monetäre Vorteilhaftigkeit für die Roboterzelle gegenüber der manuellen Lösung. Wird die tägliche Betriebszeit weiter auf 23 Stunden verlängert, kann die Roboterzelle bereits nach ca. 2 Jahren Geld einsparen.

Die Abbildung 6-6 zeigt den Einfluss der Betriebszeit auf die Amortisationszeit des Konzepts „Lageranbindung“. Bei einem 7 Stunden Betrieb ist keine monetäre Vorteilhaftigkeit der Roboterzelle gegeben.

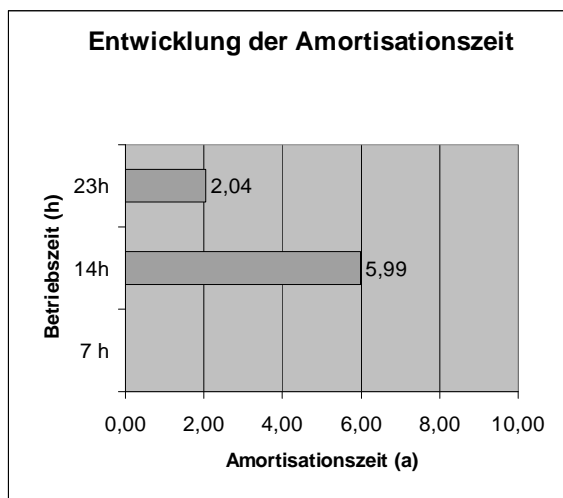


Abb. 6-6: Betriebszeit und Amortisationszeit

Neben der Amortisationszeit verändert sich auch der Konzeptstundensatz (Absatz 6.2.1). Bei einer Verlängerung der Betriebszeit auf 23 liegen diese Stundensätze auch bei der konventionellen Lagertechniklösung unter manuellen der Vergleichsvariante (Abb. 6-7).

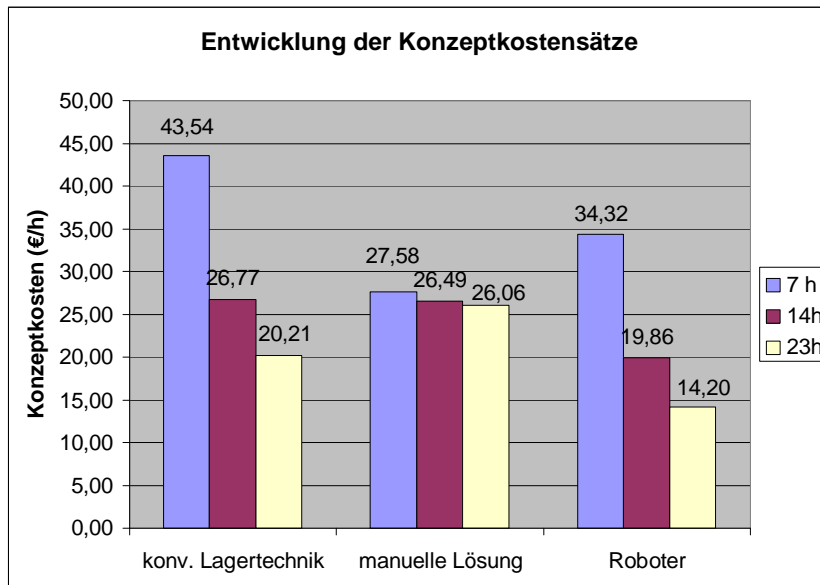


Abb. 6-7: Entwicklung der Konzeptkostensätze

6.2.3.2 Instandhaltungskosten

Eine weitere wichtige Erkenntnis lässt sich aus der angestellten Kostenvergleichsrechnung bezüglich des Einflusses der Instandhaltungskosten ziehen. Dem Faktor für Instandhaltung ist hier auch die Überwachung der Anlage zugeordnet.

Für den zuverlässigen Betrieb einer Roboterzelle bedarf es eines ständigen Monitorings der Zelle. Dieser Mehraufwand ist hier in dem Faktor der Instandhaltungs- und Überwachungskosten berücksichtigt. Bei den Untersuchungen (Abb. 6-8) wurde ein 14h Betrieb der Roboterzelle mit unterschiedlichen Instandhaltungsfaktoren berechnet.

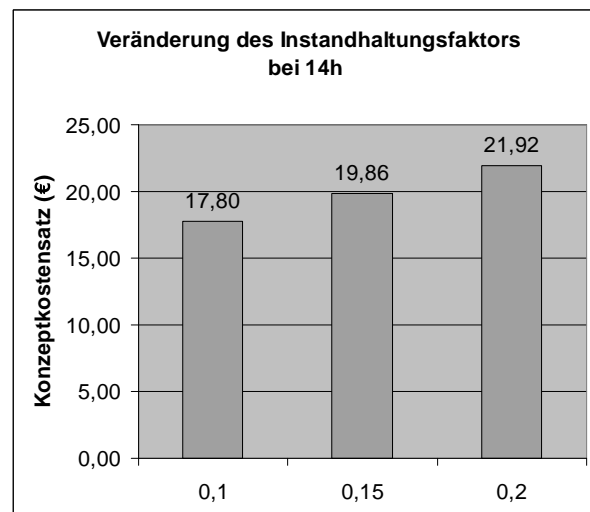
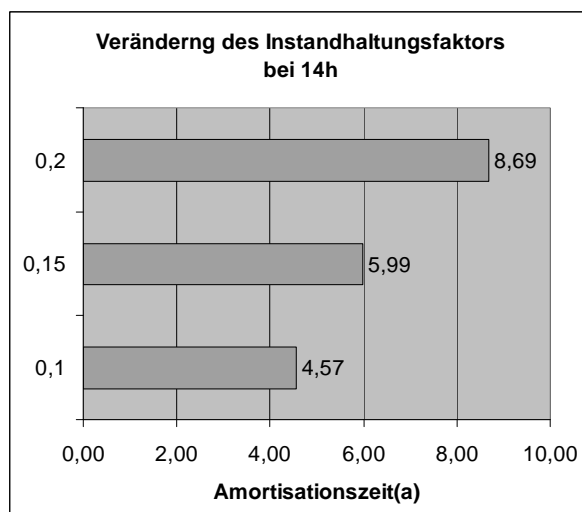


Abb. 6-8: Einfluss des Instandhaltungskostenfaktors auf die Amortisationszeit (links) bzw. auf den Konzeptkostensatz (rechts)

Auf der Abbildung (Abb. 6-8 links) ist zu erkennen, dass eine Verdoppelung der Instandhaltungskosten in diesem Vergleich die Amortisationsdauer fast verdoppeln. Der Konzeptkossatz (Abb. 6-8 rechts) steigt um ca. 23%.

Aus diesen Untersuchungen ist zu erkennen, wie entscheidend die Wartungs- und Instandhaltungskosten für einen wirtschaftlichen Betrieb der Roboterzelle sind. Daher sind diese bei einer Konzeptkalkulation genau zu ermitteln.

6.2.3.3 Weitere Faktoren

Bei einem Einschichtbetrieb (7h) ergibt sich kein monetärer Vorteil für die technische Lösung der Roboterzelle. Aber es besteht ein schwer quantifizierbarer Vorteil durch die Flexibilität der Roboterzelle. Ohne wesentlichen Mehraufwand ist deren Nutzung auf einen 7-Tage-3-Schicht-Betrieb umzustellen. So können die vorhandenen Kapazitäten besser ausgelastet und die Wirtschaftlichkeit auch aller angebundener Anlagen verbessert werden.

Daneben können die Einsatzbedingungen es erfordern (z.B. Kältekammer oder hohes Gewicht der bewegten Güter), dass Menschen die Arbeit nicht über die gewöhnliche Schichtdauer oder nur mit erheblichen Zuschlägen ausführen. Dies treibt nicht nur die Lohnkosten, sondern in solchen Anwendungsfällen sprechen auch humanitäre Gründe für den Roboter-einsatz.

6.3 Simulation zur Leistungsermittlung

Für eine statistisch abgesicherte Leistungsdatengenerierung wird nachfolgend die Materialflusssimulation verwendet. Das Simulationsmodell „Lageranbindung“ bildet den Aufbau der Roboterzelle ab, wie er parallel hierzu als Demonstrator im Versuchsfeld entstand. Mit Hilfe des Modells wurden in den Simulationsläufen Leistungskennzahlen für die Wirtschaftlichkeitsrechnung (Abschnitt 6.2) ermittelt. Die Simulation ermöglichte es, in einem iterativen Vorgehen die Leistungspotenziale der Roboterzelle zu bestimmen.

Zu Beginn der Simulationsstudie waren folgende Vorarbeiten nötig nach [VDI-3633/1].

Um die Materialflussprozesse des Konzepts „Lageranbindung“ abzubilden und zu simulieren, wird das Simulationstool „eM-Plant“ der Fa. Siemens ausgewählt. Dieses wird bereits seit Jahren an der Forschungsstelle für Ablaufsimulationen verwendet.

Die Definition des Zielsystems für die Simulation erfolgt nach dem Top-Down-Prinzip. Das bedeutet, ein zu erreichendes Gesamtziel wird definiert und anschließend in mehrere Teil-

ziele zerlegt. Das Gesamtziel der Simulationsstudie „Lageranbindung“ ist der Vergleich der Leistungsfähigkeit einer Roboterzelle mit einem funktionsgleichen System mit konventioneller Lagertechnik. Dies geschieht anhand von Leistungskennzahlen. In einem Folgeschritt der Simulation dienen diese gewonnen Kennzahlen als Dateninput für einen Wirtschaftlichkeitsvergleich (Abschnitt 6.2).

Um das Gesamtziel zu erreichen, sind vor allem zwei Teilziele entscheidend. Zum einen ist eine hinreichend genaue Modellierung des realen Systems notwendig. Dies bedeutet, dass vor dem Hintergrund des vorgegebenen Gesamtziels alle relevanten der in Realität auftretenden Faktoren und Rahmenbedingungen im Modell berücksichtigt werden müssen. Zum anderen kommt der Festlegung aussagekräftiger und vergleichbarer Leistungskennzahlen eine große Bedeutung zu. Die für das Konzept „Lageranbindung“ definierten Kennzahlen sind:

- Anzahl (je Stunde): bearbeitete Aufträge, eingelagerte Positionen, ausgelagerte Positionen, umgelagerte Positionen und Greiferwechsel
- Dauer (durchschnittlich): (De-)Palettierung, Sortierung und Auftragsdurchlaufzeit

6.3.1 Eingangsdatenermittlung und -aufbereitung

Die Eingangsdatenermittlung erfolgt entsprechend der Einteilung nach der VDI 3633 Blatt 1. Systemlastdaten: Die verwendeten Produkte sind genormte Kleinladungsträger (KLT). Diese sind vom Roboter mittels eines Behältergreifers handhabbar. Die Auftragseinlastung wie z.B. Anzahl an Aufträgen, Positionen je Auftrag oder Entnahmeeinheiten je Position ist nicht festgelegt. Dies bietet eine Variationsmöglichkeit für verschiedene Simulationsexperimente. Als Auftragsarten unterscheidet die Simulation prinzipiell sog. „Kommissionieraufträge“ (inkl. Palettieren) und sog. reine „Sortieraufträge“ (ohne Palettieren, nach PositionsID geordnet auf den Rollenförderer für KLT-Behälter). „Einlageraufträge“ entstehen dadurch, dass die ankommenden Paletten in das Lager eingelagert werden, um für die genannten Aufträge verfügbar zu sein.

Organisationsdaten: Das Schichtmodell, in welchem der Roboter eingesetzt werden soll (Arbeitsorganisation), spielt für die Simulation keine Rolle. Als Simulationsergebnis ist allein der Zeitbedarf von Interesse den der Roboter benötigt, um alle Aufträge abzuarbeiten. Anschließend besteht die Möglichkeit den mittels Simulation ermittelten Zeitbedarf in ein Schichtmodell einzuteilen.

Kundenaufträge unterteilen sich in Kommissionier- und Sortieraufträge. Kommissionieren beinhaltet die Palettierung aller Artikel eines Auftrags am Warenausgang. Bei einem Sortierauftrag sind alle Artikel geordnet nach PositionsID auf der dafür vorgesehenen Rollenbahn „Sortieren“ abzugeben. Liegt kein Kundenauftrag vollständig in der Roboterzelle vor, erfolgt der Warennachschub über eine Einlagerpalette. Als Einlagerpalette wird hier eine Palette mit darauf befindlichen Artikeln bezeichnet, die über den Wareneingang der Roboterzelle zugeführt wird. Der Roboter übernimmt solange die Aufgabe des Depalettierens, bis sich kein Artikel mehr auf dieser Palette befindet. Prinzipiell befördert der Roboter die depalettierten Artikel unmittelbar zum Übergabepunkt des Hochregallagers und gibt sie dort ab. Alternativ besteht die Möglichkeit, depalettierte Artikel vom Wareneingang direkt auf die Palette am Warenausgang umzulagern. Diese Variante erspart je umgelagerten Artikel einen Einlager- sowie Auslagervorgang. Das Umlagern findet jedoch nur unter folgenden Voraussetzungen statt: Der Auftrag, zu dem der depalettierte Artikel gehört, liegt vollständig in der Roboterzelle vor, der Auftrag, zu dem der depalettierte Artikel gehört, ist vom Typ „Kommissionieren“ und die am Warenausgang positionierte Palette ist noch nicht durch einen anderen Kommissionierauftrag belegt.

Ist die Roboterzelle mit neuer Ware versorgt, sind für das weitere Vorgehen zwei Handlungsalternativen möglich. Welcher Fall eintritt entscheidet die Abfrage nach vollständig vorhandenen Kundenaufträgen:

1. Es liegt kein Kundenauftrag vollständig vor: Da kein Kundenauftrag weiter bearbeitet werden kann, erfordert dies einen Nachschub an Ware. Eine neue Einlagerpalette wird komplett depalettiert. Anschließend wiederholt sich die Abfrage nach vollständig in der Zelle vorhandenen Kundenaufträgen. Dieser Vorgang läuft so lange ab, bis der nachfolgende 2. Fall eintritt:
2. Es liegt mindestens ein Kundenauftrag vollständig vor: In diesem Fall arbeitet der Roboter alle vollständig vorliegenden Kundenaufträge ab, indem er sie je nach Auftragsart entweder kommissioniert oder sortiert. Sind anschließend noch Kundenaufträge vorhanden, die nicht komplett in der Roboterzelle bereitstehen, erfordert dies weiteren Warennachschub. Das Ende dieser Ablauforganisation ist erreicht, wenn der Roboter alle ihm übermittelten Kundenaufträge abgeschlossen hat.

Das Simulationsmodell des Konzepts „Lageranbindung“ lief entsprechend dem Ablaufdiagramm (Abb. 6-9) ab.

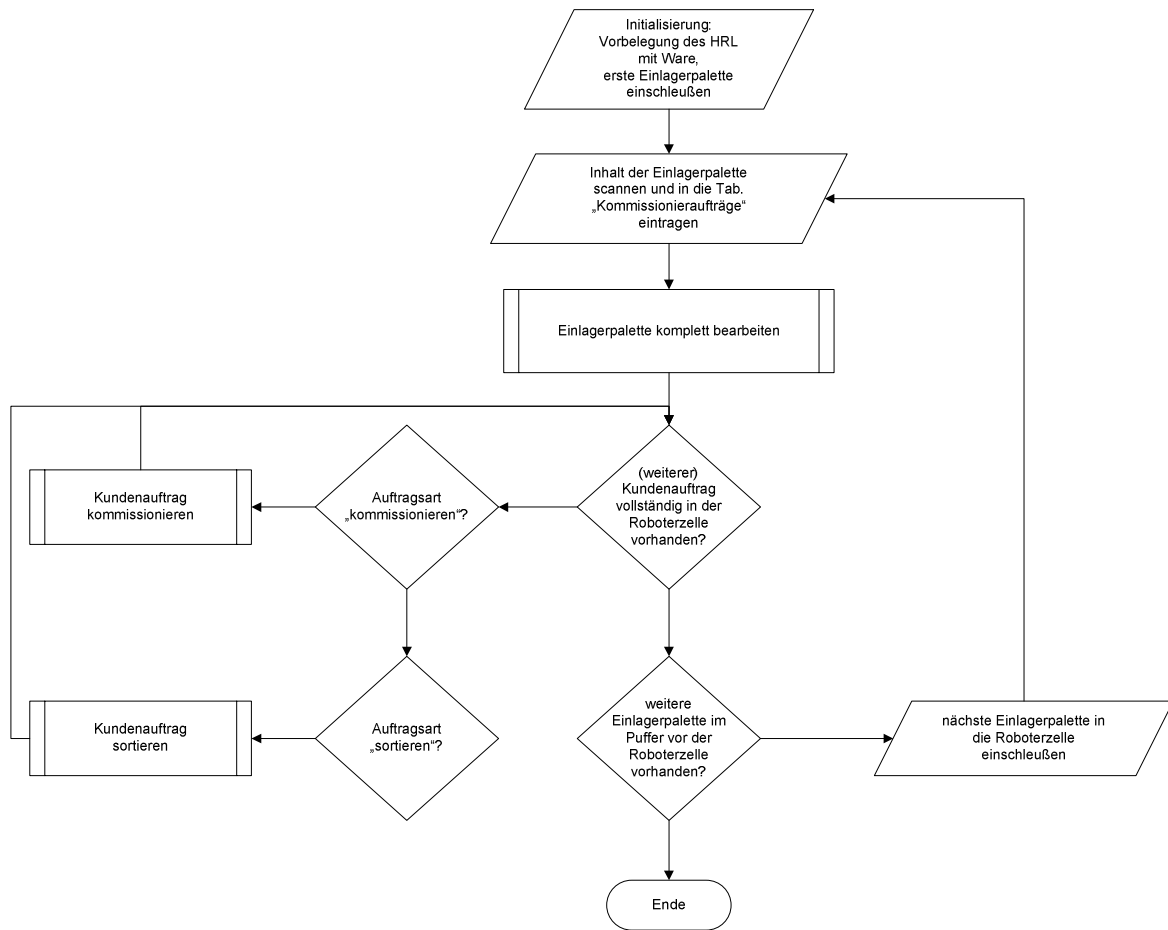


Abb. 6-9: Ablaufdiagramm für das Simulationsmodell „Lageranbindung“

In der Simulation werden ausschließlich die Leistungsdaten des Roboters beim Verfahren, Positionieren und Greifen betrachtet. Für die Simulationläufe sind die gemessenen Zeiten am realen Aufbau (Abschnitt 8) in einer Matrix für die Verfahrdauer „von – nach“ hinterlegt. Weitere Materialflussdaten wie beispielsweise die Leistungsdaten der Fördertechnik oder des Hochregallagers werden in dieser Simulation nicht betrachtet. Es gilt die Annahme dass sowohl die Rollenbahnen als auch das Hochregallager schneller arbeiten als der Roboter und diesen somit zu jedem Zeitpunkt mit der benötigten Ware versorgen können. Die Annahme rechtfertigt sich durch einen überschlägigen Vergleich der durchschnittlichen Bereitstellzeit des Hochregallagers bzw. der Fördertechnik mit der benötigten Verfahrdauer des Roboters zum jeweiligen Bereitstellort.

6.3.2 Modellierung

Nach VDI Richtlinie 3633 Blatt 1 erfolgt die Modellierung der Roboterzelle „Lageranbindung“ in zwei Schritten:

1. Schritt: Umsetzen des geplanten Systems in ein symbolisches Modell: Das Konzept „Lageranbindung“ war bereits in der Realisierung und konnte für die Simulation in folgende Einzelteile gegliedert werden: ein Roboter als Handhabungsgerät in der Zellenmitte, eine Rollenbahn zur Zuführung palettierter Ware, eine Rollenbahn zur Abfuhr von kommissionierten Paletten, eine Rollenbahn zum sortierten Abtransport von Ware, ein automatisches Kleinteilelager (AKL) mit mehreren Zugriffsplätzen für den Roboter und Stellplätze für Leerpalletten und einen Palettengreifer.

Das Kleinteilelager wird im Zuge der Abstraktion als einfaches Lager idealisiert, welches dem Roboter jederzeit die benötigten Artikel bereitstellen kann. Die genaue Verwaltung der eingelagerten Artikel sowie deren zugewiesener Lagerplätze sind nicht in der Simulation berücksichtigt. Die drei im Konzept enthaltenen Rollenbahnen fungieren als Schnittstelle zwischen der Roboterzelle und deren Umgebung. Aus diesem Grund lassen sich die Rollenbahnen in der Modellvorstellung auf jeweils einen Übergabeplatz zum Roboter reduzieren. Die Umgebung der Roboterzelle soll vereinfacht in Form einer Materialquelle (zuführende Rollenbahn) oder -senke (abführende Rollenbahnen) abgebildet werden.

2. Schritt: Umsetzen des symbolischen Modells in ein Software-Modell:

Die Überführung des symbolischen Modells in ein am Rechner ablauffähiges Software-Modell erfolgt unter der Verwendung des Simulationstools „eM-Plant“ der Fa. Siemens. Den einzelnen Systemelementen aus dem ersten Modellierungsschritt werden entsprechend dem Abstraktionsgrad Bibliothekbausteine zugewiesen, wie Abbildung 6-10 zeigt:

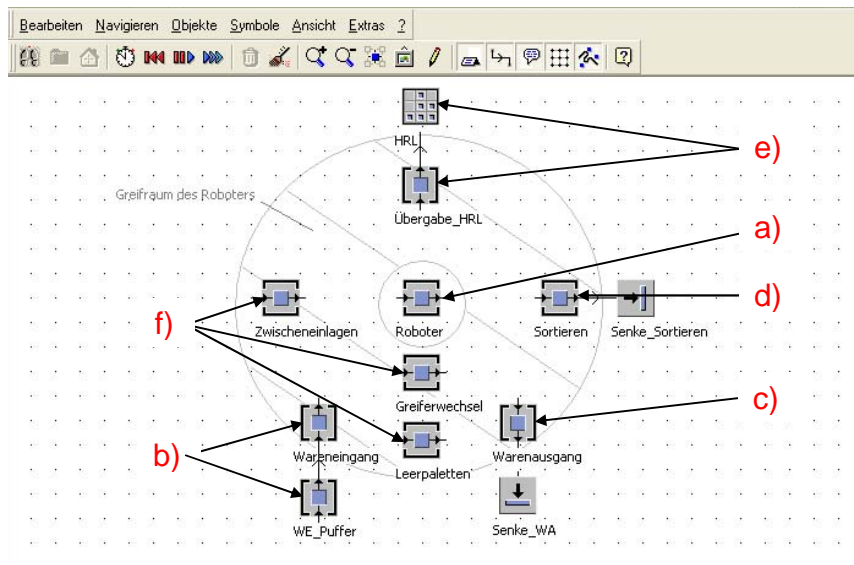


Abb. 6-10: schematischer Aufbau der Roboterzelle „Lageranbindung“ in „eM-Plant“

a) Roboter: Einzelstation („Roboter“ mittig in Abb. 6-10) mit einer Bearbeitungszeit von null Sekunden. Der jeweilige Zeitbedarf für die vom Roboter durchzuführenden Tätigkeiten ist in den Methoden programmiert.

b) Rollenbahn (Zufuhr): Einzelstation („Wareneingang“) als Schnittstelle zwischen Rollenbahn b) und dem Roboter. Die Versorgung dieser Schnittstelle mit neuer palettierter Ware erfolgt über einen Pufferplatz („WE_Puffer“), der ebenfalls als Einzelstation im Modell abgebildet ist. Das Erzeugen einer neuen Einlagerpalette im Puffer übernimmt die Methode „Einlagerpalette_einschleußen“.

c) Rollenbahn (Abfuhr): Einzelstation („Warenausgang“) als Schnittstelle zwischen Rollenbahn c) und dem Roboter. Dort findet die Palettierung kommissionierter Ware statt. Eine Senke („Senke_WA“) vernichtet die aus der Roboterzelle ausgeschleusten und fertig kommissionierten Paletten.

d) Rollenbahn (Sortierung): Einzelstation („Sortieren“) als Schnittstelle zwischen Rollenbahn d) und dem Roboter. Die einzelnen vom Roboter sortierten Artikel werden anschließend durch eine Senke („Senke_Sortieren“) gelöscht.

e) Hochregallager Einzelstation („Übergabe_HRL“) als Schnittstelle zwischen dem Hochregallager und der Roboterzelle. Das Hochregallager selbst ist als Lager-Baustein außerhalb der Zelle abgebildet.

f) Stellplätze für Zwischeneinlagen (optional), Leerpaletten und einen Palettengreifer: je eine Einzelstation („Zwischeneinlagen“, „Leerpaletten“ und „Greiferwechsel“) zur Modellierung der Abstellplätze für die Zwischeneinlagen, die Leerpaletten sowie den Palettengreifer.

Die Materialflusssteuerung innerhalb der Roboterzelle übernehmen programmierbare Methodenbausteine. Die Speicherung erforderlicher Materialflussdaten, wie Auftragsdaten oder die momentane Position des Roboterarms, erfolgt in Variablen oder Tabellen.

6.3.3 Validierung

Damit die Gültigkeit der Simulationsergebnisse sichergestellt ist, bedarf es einer Validierung. Dies soll hier am Beispiel des Vergleichs der „durchschnittlichen Sortierzeit“ erfolgen. Die Abbildung 6-11 stellt die gemessenen den simulierten Zeit gegenüber. Die geringe Abweichung zwischen gemessen und simulierten Werte bestätigt die Gültigkeit des Simulationsmodells und deutet auf die Verlässlichkeit der Simulationsergebnisse.

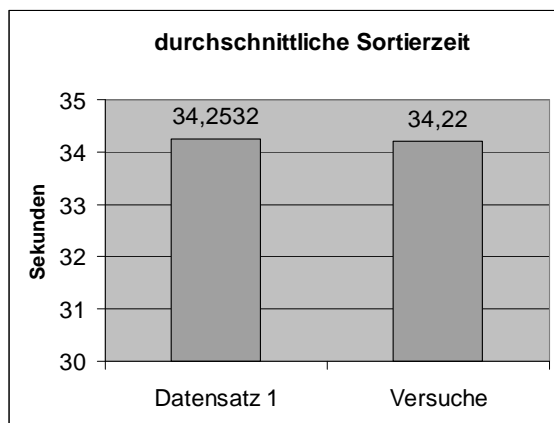


Abb. 6-11: Validierung der Simulation

6.4 Simulationsexperimente

In den Simulationsexperimenten wird die Leistungsfähigkeit der Roboterzelle am Beispiel des Konzepts „Lageranbindung“ untersucht. Zuerst werden die möglichen Einflüsse diskutiert und anschließend in einem geeigneten Simulationslauf untersucht und ausgewertet.

Die Roboterzelle wird auf nachfolgende Einflussfaktoren bzgl. Leistungsfähigkeit untersucht:

- Artikeldaten
- Sortimentdaten
- Auftragsstruktur

Der **Einfluss der Artikelstrukturdaten** (wie Gewicht, Form, Volumen) wirkt sich auf die Roboterzelle bzgl. den/die benötigten Greifer aus. Jeder Greiferwechsel benötigt Prozesszeit, die für die Auftragsabarbeitung fehlt. Daher sind möglichst wenige Greifer und **Greiferwechsel** anzustreben. Daneben ist der Einfluss der Artikelstrukturdaten auf die die **Prozessdauer** (Verfahrenweg, Positionierzeit, Greifzeit) zu untersuchen.

Die nachfolgende Analyse zeigt die Einflüsse des Greiferwechsels auf die durchschnittliche Palettierzeit (Abb. 6-12). Hierzu dient ein Datensatz in dem jeder 10., 15. bzw. 20. Artikel einen Greiferwechsel benötigt.

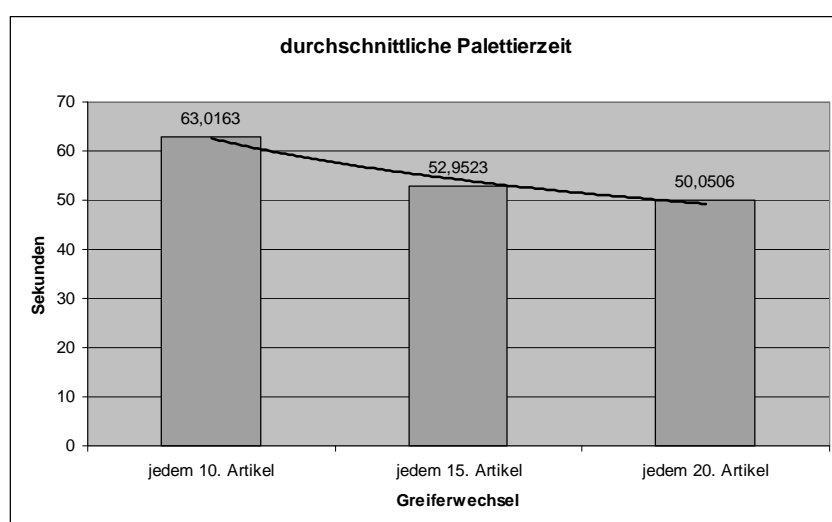


Abb. 6-12: Einfluss des Greiferwechsels

Aus der Abbildung 6-12) ist zu erkennen, dass der Greiferwechsel, beispielsweise bedingt durch unterschiedliche Produkte, einen deutlichen Einfluss auf die Leistungsfähigkeit hat. Eine Halbierung der benötigten Greiferwechsel reduziert hier die durchschnittliche Palettierzeit je Artikel um ca. 20%.

In der Abbildung 6-13 werden die Einflüsse der Weg-, Positionier- und Greifzeit auf die Palettierzeit untersucht. In den Versuchen waren deutliche Optimierungspotenziale der einzelnen Prozesszeiten zu erkennen. Die Auswirkungen der Optimierung (Verkürzung) dieser Zeiten wurde in den Versuchen ermittelt (prozentuale Verkürzungen vgl. Abbildung 6-13).

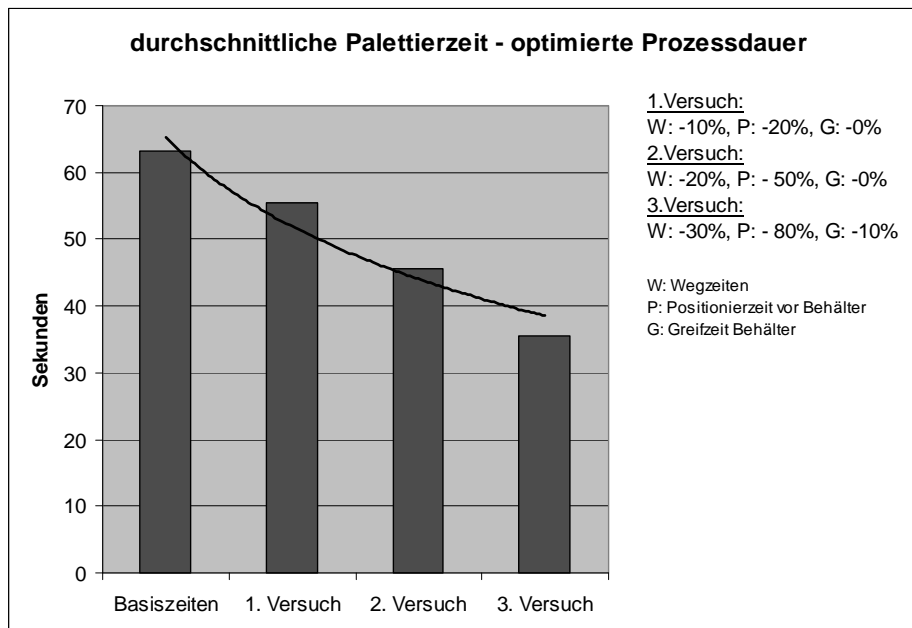


Abb. 6-13: Einfluss der Prozesszeiten auf die Leistung

Aus den Untersuchungen zur Optimierung der Prozesszeit wird ersichtlich, wie stark sich Veränderungen, beispielsweise eine Verkürzung der Wegzeit (-20%) und der Positionierzeit (-50%), am Beispiel „Lageranbindung“ auswirken. Hierdurch ist eine Prozesszeitverkürzung von ca. 30% festzustellen. Anhand dieser Untersuchungen konnte das Potenzial und die entsprechenden Einzelzeiten ermittelt werden.

Der **Einfluss des Sortiments** (wie die Artikelverteilung - A,B,C-Artikel, etc.) ist für die Roboterleistung zu beachten, wenn das Sortiment einen Einfluss auf Greiferwechsel und Prozesszeit hat. Diese Auswirkungen wurden oben beschrieben. Andernfalls ist das Sortiment für die Leistung des Roboters unbedeutend.

Um den **Einfluss der Auftragstruktur** auf die Leistungsdaten der Roboterzelle zu ermitteln, wurden sechs verschiedene Auftragsdatensätze generiert: Ein Palettierauftrag besteht aus max. 20 Behälter. Danach erfolgt automatisch ein Paletten- und Greiferwechsel. Die Auftragsdatensätze haben 10, 30, 60 Auftragspositionen mit jeweils einer Abweichung von +/- 10 bzw. 50% (Abb. 6-14 links).

Die Variation in der Auftragsstruktur zeigt deutlich den durch die Auftragsgröße bedingten Einfluss des Paletten- und Greiferwechsels in der Palettierzeit. Beim direkten Vergleich von Aufträgen mit je 10 bzw. 60 Positionen +/- 10% ist diese Entwicklung noch deutlicher sichtbar (Abb. 6-14 rechts). Die Auftragsanzahl hat keinen Einfluss auf die Roboterleistung, lediglich auf die Zellenauslastung.

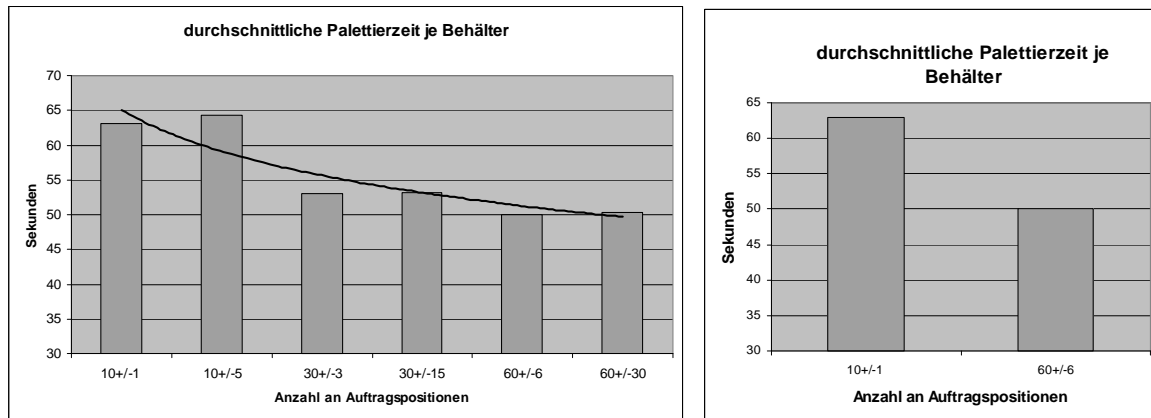


Abb. 6-14: Einflüsse der Auftragsgröße (links), Einflüsse der Palettenwechselzeit (rechts)

Eine vertiefte Betrachtung dieses Sachverhalts führt auf eine Volumenbetrachtung. Die Volumenbetrachtung im untersuchten Beispielszenario zeigt, dass der Palettenfüllgrad maßgeblich die Palettierleistung der Roboterzelle bestimmt (Abb. 6-14 rechts):

$$\text{Palettenfüllgrad} = \frac{\text{genutztes_Palettenvolumen}}{\text{benötigtes_Palettenvolumen}}$$

Je näher der Palettenfüllgrad der Aufträge 100% ist, kommt desto geringer ist der Anteil des Palettenhandlings an der mittleren benötigten Palettierzeit je Behälter. Dies hat zur Folge, dass die Auftragsstruktur und das dadurch bedingte Handling bei einem möglichen Roboter-einsatz genau zu untersuchen sind. Auftragsstrukturen mit einem großen Palettenfüllgrad ermöglichen eine höhere Zellenleistung.

Nachfolgend wird der Einfluss des Verhältnisses der Einlageraufträge (85, 70, 20) auf die Palettierzeit untersucht (Abb. 6-15).

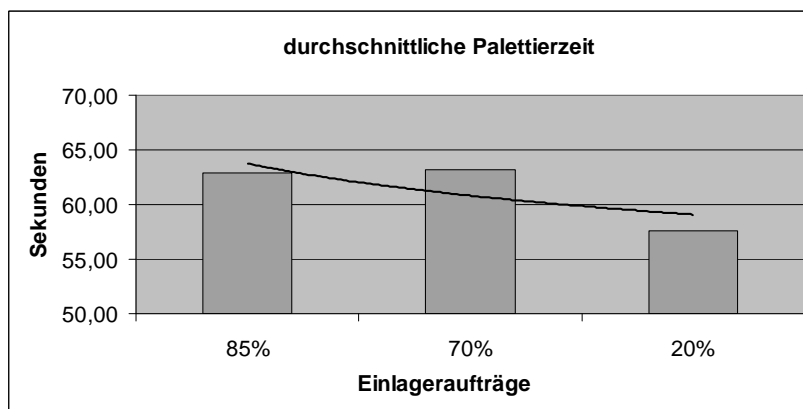


Abb. 6-15: Einfluss der Depalettierung auf die Palettierzeit

Hier zeigt sich, dass die mittlere Palettierzeit je Behälter durch die unterschiedlichen Volumina an Einlageraufträgen beeinflusst wird. Dies ist darauf zurückzuführen, dass hier mehr Umlagerungen stattfinden. Umlagerungen finden von der Einlagerpalette direkt auf die Palette im Warenausgang statt und haben eine längere Prozesszeit als das Palettieren. Hier ist allerdings zu beachten, dass sich diese Umlagerungen, bezogen auf die gesamte Zellenleistung, positiv auswirken, denn hier wird ein Einlagervorgang eingespart.

Zusammenfassend ist hervorzuheben, dass die dahinterstehende Leistungsfähigkeit der Roboterzelle wesentlich von den Prozesszeiten abhängen. Die benötigten Prozesszeiten müssen für eine Leistungsbeurteilung eines Roboterkonzeptes bekannt sein, denn Änderungen beeinflussen die Zellenleistung stark. Dabei hat die Greifbarkeit des Greifobjekts einen erheblichen Einfluss. Insbesondere Behälter haben eine gute Greifbarkeit. Andere (auch branchenabhängige) Eigenschaften der Greifobjekte sind bei der Auslegung mit ihrem Einfluss auf die Prozesszeit zu beachten.

Auch konnte ein eindeutiger Einfluss der Greiferwechsel auf die Palettierleistung der Roboterzelle gezeigt werden. Es konnte eine Verbindung zwischen dem auftragsbedingten Pallettenfüllgrad hergestellt werden.

7 Gestaltungsrichtlinien für Sicherheit, Steuerung und Informationsfluss

7.1 Sicherheitsrichtlinien Roboterzelle

7.1.1 Einteilung und Übersicht der Normen

Für die Errichtung einer Roboterzelle sind eine Vielzahl an Normen aus unterschiedlichen Normengruppen zu beachten. Diese Normen sind in drei Normengruppen eingeteilt, die A-, B- und C-Normen:

A-Normen (Sicherheitsgrundnormen): Die DIN EN ISO 14121 ist die Grundlage für die Risikoanalyse und -beurteilung. Die DIN EN ISO 12100-1 beinhaltet Grundbegriffe und allgemeine Gestaltungsleitsätze für die Sicherheit von Maschinen.

B-Normen (Sicherheitsgruppennormen):

B1-Normen (Allgemeine Sicherheitsaspekte): DIN EN ISO 13857 für die Auslegung der Sicherheitsabstände, DIN EN 953 für trennende Schutzeinrichtungen (feststehend und beweglich), DIN EN 999 / DIN EN ISO 13849-1 für nicht trennende Schutzeinrichtungen (ortsgebunden und -ungebunden, mit Annäherungsfunktion).

B2-Normen (Normen für spezielle Schutzeinrichtungen): DIN EN ISO 13849-1 und DIN EN 1088 für Zäune, Barrieren oder Türe und Tore, die DIN EN 61496-1 für Berührungslos wirkende Schutzeinrichtungen, und die DIN EN 60204-1 für die elektrische Ausrüstung von Maschinen.

C-Normen (maschinenspezifische Normen): DIN EN ISO 10218-1 u. DIN EN ISO 10218-2 beinhalten die Sicherheitsvorschriften für Industrieroboter.

Die Abbildung 7-1 gibt einen Überblick über die Normen und deren Zusammenhang.

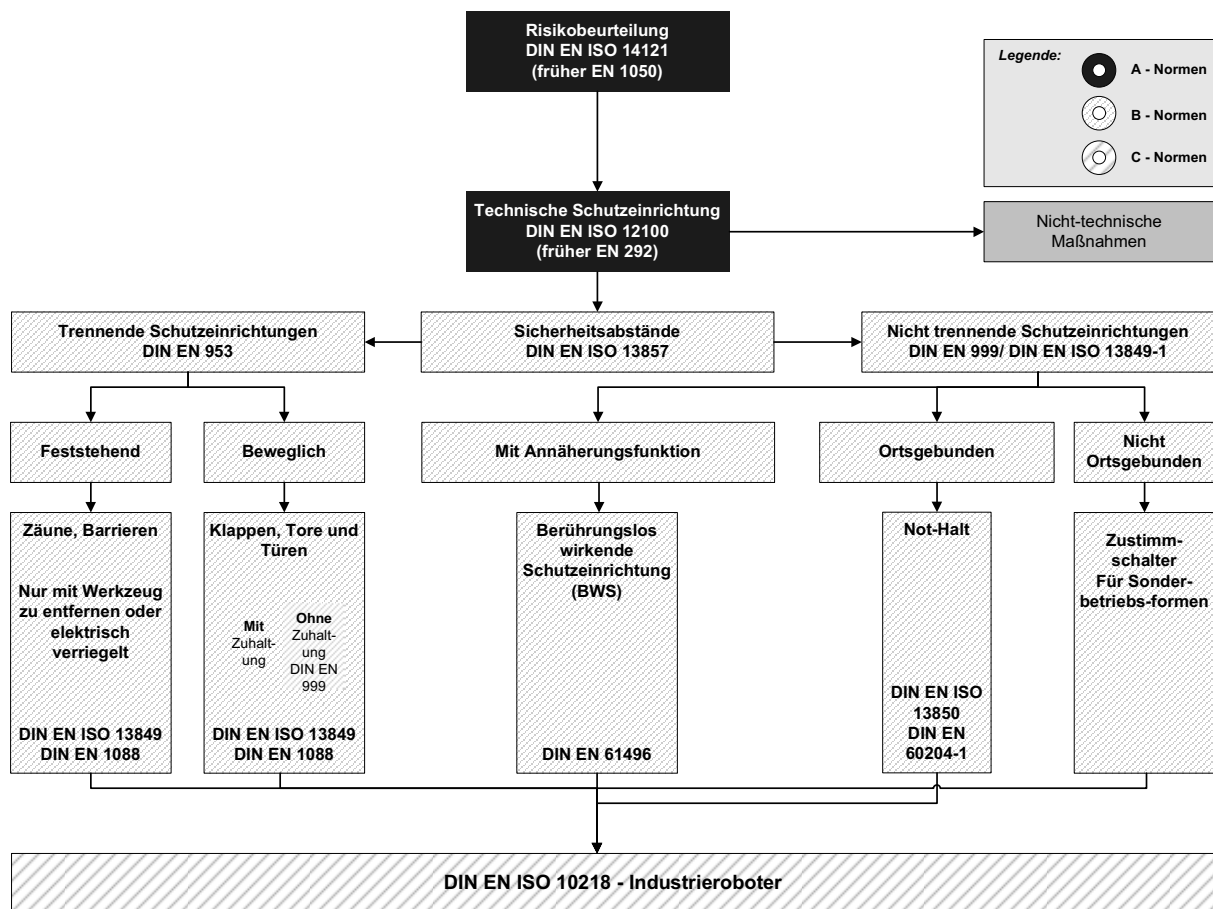


Abb. 7-1: Sicherheitsnormen für eine Roboterzelle

7.1.2 Grundlagen der Risikobeurteilung

Wenn die Gefährdungen durch konstruktive Maßnahmen nicht vermieden oder ausreichend begrenzt werden können, sind Schutzeinrichtungen vorzusehen. Die Auswahl einer geeigneten Schutzeinrichtung muss gemäß einer vorliegenden C-Norm und auf der Basis einer Risikobeurteilung der jeweiligen Maschine erfolgen. Der Steuerungsteil der Schutzeinrichtung muss wie der sicherheitsbezogene Teil der Maschinensteuerung einer angemessenen Sicherheitskategorie entsprechen. Generell sollte die Schutzeinrichtung eine einfache Verwendung der Maschine erlauben und den bestimmungsgemäßen Gebrauch nicht beeinträchtigen. Ist dies nicht der Fall, kann dies dazu führen, dass Sicherheitsmaßnahmen umgangen werden, um eine möglichst einfache Handhabung der Maschine zu erreichen.

Nach der DIN EN ISO 14121-1 erfolgt dabei eine umfassende Risikobeurteilung in drei Stufen: Nachdem die Grenzen der Maschine definiert wurden erfolgt eine Identifizierung der

Gefahrenstellen und deren Gefahrenpotenzial in der Risikoeinschätzung. Die Risikobeurteilung endet mit der Risikobewertung.

7.1.2.1 Festlegung der Grenzen der Maschinen

Die **Verwendungsgrenzen** einer Maschine beschreiben die sachgemäße Verwendung einer Maschine und berücksichtigen mögliche Fehlanwendungen. Betrachtet werden die verschiedenen Betriebsarten, der Einsatzbereich dieser Maschine (muss vom Hersteller hierfür spezifiziert sein) und die unterschiedlichen Niveaus der Anwender und Personen welche nicht unmittelbar mit der Maschine arbeiten aber trotzdem einer Gefährdung ausgesetzt sind.

Bei der **Aufteilung/Zuteilung der Räume** und der Vergabe der räumlichen Grenzen ist besonders die räumliche Anordnung der Mensch-Maschine Schnittstelle, die Anordnung der Energieversorgung, der Bewegungsraum von Maschinen und der Platzbedarf für Personen, welche eine Maschine betreuen (Warten, Bedienen etc.) zu beachten.

Zeitliche Grenzen ergeben sich aus der Lebensdauer einer Maschine und/oder eines Bauteils/Produkts, ab wann die Sicherheit nicht mehr gewährleistet ist und ggf. Verschleißteile auszuwechseln sind. Auch die Wartungsintervalle sind zu beachten.

Von Maschinen/Anlagen gehen in den verschiedensten Phasen der Lebensdauer Gefahren aus: beim Transport, bei Zusammenbau und Installation; bei der Inbetriebnahme; bei der Verwendung; und bei Außerbetriebnahme, Demontage und Entsorgung.

Jede Art der Gefährdung kann irgendwann zu einem Schaden führen, sofern nichts dagegen unternommen wird. Abschließend sei die Auflistung der Norm DIN EN ISO 14121-1. S.12 genannt. Diese führt mögliche Gefahrenquellen auf, die auf notwendige Schutzmaßnahmen zu überprüfen sind. Daneben sind auch die Anhänge der Normen DIN EN ISO 10218-1/2 zu beachten.

7.1.2.2 Risikoeinschätzung

Die richtige Einschätzung des vorhandenen Risikos ist eine Funktion von **Schadenausmaß und Eintrittswahrscheinlichkeit**.

Hierbei ist zu beachten, welches Ausmaß ein Schaden anrichten kann: klein, groß, tödlich bzw. eine Person oder mehrere Personen betroffen.

Für die Ermittlung der Eintrittswahrscheinlichkeit eines Schadens ist die Wahrscheinlichkeit des Eintritts der Gefährdung bzw. der Gefährdungsexposition von Personen und der technischen und menschlichen Möglichkeit zur Vermeidung/Begrenzung des Schadens zu beachten.

Zur Vermeidung oder Begrenzung des Schadens gibt es verschiedene Möglichkeiten, um diese Eintrittswahrscheinlichkeit zu minimieren. Hierfür sind diese Fragen zu klären:

- Welche Personen sind der Gefahr ausgesetzt?
- Wie schnell führt eine Gefährdung zu einem Schaden?
- Wie ersichtlich ist die Gefährdung?
- Wie groß ist die menschliche Fähigkeit dem Schaden zu entkommen?
- Besteht Erfahrung im Bezug auf die Maschine?
- Bei der Risikoeinschätzung sind auch diese Aspekte zu berücksichtigen:
- Art, Häufigkeit und Dauer der Gefährdungsexposition – es sind alle Betriebsarten/Situationen sind zu berücksichtigen.
- Zusammenhang zwischen Exposition und den Auswirkungen – hier ggf. auch auf Unfalldaten zurückgreifen.
- Menschliche Faktoren – zu berücksichtigen sind bspw. Fehlbedienung/Fehlprogrammierung, Gefahrenereinschätzung des Menschen, Falschinstallation, Missverständnisse, wenn zum Beispiel zwei Personen eine Zelle einrichten/programmieren.
- Eignung der Schutzmaßnahmen – wenn verschiedene Einrichtungen zulässig sind, auf die kritische Schutzeinrichtung verzichten und die standfestere verwenden.
- Möglichkeiten Sicherheitseinrichtung zu umgehen – behindert/verlangsamt eine Schutzeinrichtung die Bedienung einer Maschine, soll diese nicht überbrückbar sein.
- Aufrechterhaltung der Schutzmaßnahme – eine getroffene Schutzmaßnahme muss über den gesamten Betrieb verfügbar sein und den benötigten Schutzgrad gewährleisten.
- Benutzerinformation – sind Benutzerinformation vorhandenen müssen auch diese in die Risikoeinschätzung einbezogen werden.

7.1.2.3 Risikobewertung

Die Risikobewertung bildet die Entscheidungsgrundlage, ob und in welchem Ausmaß eine Risikominderung notwendig ist. Falls Maßnahmen notwendig sein sollten, dann gilt es geeignete auszuwählen. Im Anschluss daran ist eine erneute Risikobewertung der angepassten Gefahrensituation durchzuführen. In diesem Iterativen Prozess sind auch die ggf. neu entstandene Gefahren zu beachten und in der anschließenden Risikoanalyse und Bewer-

tung zu berücksichtigen. Ziel des Vorgehens ist ein Erreichen einer hinreichenden Risikominderung nach DIN EN ISO 12100-1.

7.1.2.4 Dokumentation

Die durchgeführte Risikobeurteilung wird mit einer nachvollziehbaren Dokumentation bzgl. der angewandten Verfahren und der gezogenen Schlüsse und Ergebnisse abgeschlossen. In der Dokumentation steht die verwendete Maschine (Roboter) mit der der Bestimmung entsprechenden Anwendung und Spezifikation, den getroffenen Annahmen (Lasten, Festigkeiten etc) und die identifizierten Gefährdungen und Gefahrensituationen im Mittelpunkt der Betrachtung. Die hierauf aufgebaute Risikobeurteilung, die daraus entwickelten Maßnahmen, ebenso wie die erreichten Schutzmaßnahmen und die verbliebenen Restrisiken sollen aus der Dokumentation hervorgehen.. Die Dokumentation sichert den Betreiber rechtlich ab und hilft auch bei Unfällen die getroffenen Maßnahmen nachzuvollziehen und die Wirksamkeit in Frage zu stellen.

7.2 Sicherheitsanforderungen an Steuerung und Informationsfluss

Für die Sicherheit im Bereich Steuerung und Informationsfluss legt die Norm DIN EN ISO 13849-1 Gestaltungsmerkmale für Bauteile fest. Diese Gestaltungsmerkmale dienen dazu, dass Bauteile ein gewisses Maß an Zuverlässigkeit erreichen und somit einschätzbar und sicher sind.

7.2.1 Gestaltungsmerkmale

In der Steuerungstechnik von automatisierten Anlagen, hier ein Robotersystem, befinden sich Teile mit und ohne Bezug zur Sicherheit der Anlage. Sicherheitsbezogene Teile der Steuerungstechnik haben konkrete Sicherheitsfunktionen. Hierbei gibt es folgende Ausführungen:

Ein sicherheitsbezogenes Teil der Steuerungstechnik (SRP/CS) übernimmt eine spezielle Funktion zur Minderung des Gesamtrisikos. Dabei wird nur der Bereich des Gesamtrisikos betrachtet, den man mit diesem Teil der Steuerung abmindert. Eine Risikominderung wird oft durch die Kombination von verschiedenen Maßnahmen erreicht.

Ein sicherheitsbezogenes Teil der Steuerungstechnik kann mehrere sicherheitsbezogene Funktionen erfüllen.

Eine Funktion kann auch von mehreren Teilen erfüllt werden.

Zudem kann ein sicherheitsbezogenes Teil der Steuerungstechnik auch Funktionen der normalen Steuerung übernehmen.

Jede dieser Funktionen hat ein bestimmtes „Performance Level“. Hierunter ist die durchschnittliche Ausfallwahrscheinlichkeit je Stunde zu verstehen. Die Skala der Performance Levels reicht von a bis e, wobei Level e das höchste ist. Je größer der Anteil des sicherheitsbezogenen Teils der Steuerungstechnik ist, desto höher muss dessen Performance Level sein.

7.2.2 Performance Level

Für die Bestimmung des oben genannten Performance Levels und für die Gestaltung dieser Funktionsbauteile sind mehrere Merkmale zu berücksichtigen:

- MTTF (mittlere Zeit bis zum gefahrbringenden Ausfall) einzelner Bauteile
- DC (Diagnosedeckungsgrad)
- CCF (Ausfall auf Grund gemeinsamer Ursache)
- die Struktur
- Verhalten der Sicherheitsfunktion über Fehlerbedingungen
- sicherheitsbezogene Software
- systematische Ausfälle
- Fähigkeit die Sicherheitsfunktion unter voraussehbaren Bedingungen zu erfüllen

7.2.3 Kategorien

Um einen konkreten Performance Level zu erreichen, helfen die sog. Kategorien mit Basisparametern nach DIN EN ISO 13849-1. Diese Kategorien legen das erforderliche Verhalten eines sicherheitsbezogenen Bauteiles der Steuerungstechnik fest. Das Verhalten bezieht sich auf die Widerstandsfähigkeit gegenüber Fehlern.

An die Robotersteuerung werden Anforderungen der Kategorie 3 nach DIN EN ISO 10218-1 gestellt. Ein SRP/CS muss den zu erwartenden Betriebsbeanspruchungen wie z.B. Schaltvorgängen, den Einflüssen des bearbeiteten Materials und anderen relevanten Einflüssen, wie mechanischen Schwingungen, Unterbrechung der Energieversorgung standhalten.

Daneben beinhaltet die Kategorie 3, dass ein einzelner Fehler in einem sicherheitsbezogenen Teil nicht zum Verlust der Sicherheitsfunktion führen darf. Bei oder vor der nächsten Anwendung des Sicherheitssystems sollte der Fehler ermittelt werden (wenn angemessen durchführbar).

Die Kategorie 3 beinhaltet zudem die Anforderungen von Kategorie 1 für ein bewährtes SRC/CS-Bauteil. Die Anforderungen nach Kategorie 1 sind:

- Das Bauteil ist als bewährt zu betrachten, wenn es in der Vergangenheit bei ähnlichen Anwendungen erfolgreich eingesetzt wurde.
- Das Bauteil muss nach Prinzipien hergestellt und verifiziert worden sein, die die Eignung des SRC als sicherheitsbezogenes Bauteil zeigen.

7.3 Sicherheitsanforderungen an Roboter

Im Gesamtsystem müssen die Sicherheitsanforderungen an den Roboter den Anforderungen der C-Norm von DIN EN ISO 10218-1 entsprechen. Diese Norm behandelt ausschließlich die Sicherheit von Industrierobotern.

7.3.1 Gefahren

Die Sicherheitsanforderungen an einen Roboter resultieren aus den Betriebszuständen, welche in einen unerwünschten und unkontrollierten Zustand gelangen können und somit eine Gefahr für das Umfeld und dem Menschen darstellen. Nachfolgend sind einige der häufigen Faktoren genannt, die Unfälle und dann auch Schäden bzw. Verletzungen verursachen: Beschleunigungs- und Abbremsvorgänge, potentielle Energie von elastischen Elementen, unzulängliche mechanische Festigkeit, relative Lage die Quetsch-, Scheer-, Einzugsbereiche hervorrufen kann, Standfestigkeit gegen umkippen, Einsatzumgebung etc.

Entsprechend der Gefahren, die von diesen Faktoren ausgehen, sind die Verletzungen: Quetschen, Abscheren, Einziehen oder Fangen, Erfassen, Schneiden, oder Abtrennen, Stöße, Abschürfungen, Durchstich / Einstich etc.

Bei Robotern stellen daneben für den Menschen allgemeine Gefährdungen folgender Art ein Gesundheitsrisiko dar: Thermische Gefährdung, Gefährdung durch Lärm, elektrische Gefährdung, Gefährdung durch Schwingungen, Gefährdung durch Strahlung, Gefährdung durch Ausrutschen von Bediener etc.

7.3.2 Betriebsarten des Roboters

Bei der Sicherstellung der Robotersicherheit ist die Betriebsart des Roboters ein wichtiges Element. Diese muss beim Betrieb an einer entsprechenden Einrichtung eindeutig angezeigt werden. Für einen Roboter sind folgende Betriebsarten möglich:

Automatikbetrieb: Der Roboter führt das entsprechende Anwenderprogramm aus. Bei der Beendigung des Automatikbetriebs muss der Roboter stoppen. Auch wenn die Stoppfunktion ausgelöst wurde, muss der Automatikbetrieb unterbrochen/beendet sein.

Manueller Betrieb mit reduzierter Geschwindigkeit: Diese Betriebsart wird für das Teachin (manuelles Anfahren und anschließend Einspeichern von Roboterpositionen), beim Programmieren (z.B. zum Überprüfen der programmierten Bahnkurven) oder für Wartungsarbeiten verwendet. Hier muss das Eingreifen einer Person in den Betrieb möglich sein. Der manuelle Betrieb mit reduzierter Geschwindigkeit darf nur ausgeführt werden, wenn sich keine Person im Gefahrenbereich befindet.

Manueller Betrieb mit hoher Geschwindigkeit bis 250 mm/s: Für diese Betriebsart wird eine Einrichtung benötigt, die eine bewusste Handlung voraussetzt, dass dieser Betriebsmodus gewählt wurde. Die Verfahrgeschwindigkeit muss voreingestellt sein und von einer Anzeige auf dem Programmierhandgerät angezeigt werden. Das Programmierhandgerät muss eine Verstellmöglichkeit für die Verfahrgeschwindigkeit haben und eine Zustimmung-Taste lässt die Fortführung der Roboterbewegung zu.

7.3.3 Notwendige Sicherheitsausrüstung

Für den sicheren Betrieb benötigt ein Roboter eine vorgeschriebene Mindestschutzausrüstung. Ohne diese ist keine Abnahme der Roboterzelle möglich. Die Sicherheitsanforderungen an die Steuerung für den Roboter und die anderen Elemente der Roboterzelle wurden bereits im Abschnitt 7.2 beschrieben.

7.3.3.1 Stillsetzen und Stoppfunktion

Das Stillsetzen und die Stoppfunktionen des Roboters sind für die sofortige Unterbrechung der Roboterbewegung zuständig. Jeder Roboter muss über ein unabhängiges Steuerungssystem für die Stillsetzung im Notfall und über ein Sicherheitshalt-System verfügen.

Das **Stillsetzen im Notfall** hat Vorrang über alle Steuerfunktionen. Beim Stillsetzen wird die Energie vom Roboter getrennt. Alle Elemente nehmen einen sicheren Zustand ein, mögliche Gefahrenquellen sind beseitigt. Das Stillsetzen wird im Notfall manuell durch den Bediener ausgelöst und bleibt bis zum Quittieren aktiv. Das Quittieren ist nur manuell möglich. Erst dann ist ein Wiederanlauf möglich [DIN-EN-ISO-10218-2]. Für das Stillsetzen gelten die Anforderungen von DIN EN 60204-1, wonach die Stoppkategorie 0 bzw. 1 anzuwenden ist.

Der **Sicherheitshalt** ist definiert als die „bahntreue Unterbrechung der Roboterbewegung zu sicherheitstechnischen Zwecken, bei der die Programmdateien erhalten bleiben und die Fortsetzung des Programms an der unterbrochenen Stelle möglich ist“ ([DIN-EN-ISO-10218-1],

Abschn. 3.17) Der Sicherheitshalt kann manuell oder durch die Steuerung bei einer Unterschreitung des Sicherheitsabstandes ausgelöst werden. Die notwendige Sicherheit wird durch die Wegnahme des gefahrbringenden Zustandes, d. h. der Roboter bleibt stehen bis der Sicherheitsbereich wieder frei ist, hergestellt.

Der Sicherheitshalt entspricht der Stoppkategorie 0 bzw. 1 (Tabelle 4) nach DIN EN 60204-1 und muss den genannten Anforderungen an ein sicherheitsgerichtetes Steuerungssystem erfüllen (siehe DIN EN ISO 13849-1). In der Robotersteuerung muss ein separater Steuerkreis zum Anschluss aller Sicherheitseinrichtungen für den Sicherheitshalt möglich sein [DIN-EN-ISO-10218-2].

Tabelle 4: Stoppkategorien nach [DIN-EN-60204-1]

Stoppkategorie 0	Ungesteuertes Stillsetzen durch sofortiges Abschalten der Energie.
Stoppkategorie 1	Gesteuertes Stillsetzen und Abschalten der Energie, wenn der Stillstand erreicht ist.
Stoppkategorie 2	Gesteuertes Stillsetzen ohne Abschalten der Energie im Stillstand.

Stoppfunktion: Für die Gewährleistung der Sicherheit muss ein sog. **NOT-AUS** vorhanden sein. Die Not-Aus-Einrichtung muss am Bedienpult angebracht sein. Die Rückstellung darf nur außerhalb des gefahrbringenden Bereichs möglich sein [DIN-EN-ISO-13850] und [DIN-EN-60204-1].

7.3.3.2 Programmierhandgerät

Das für die Roboterbedienung verwendete Programmierhandgerät muss über eine Zustimmungseinrichtung (nach DIN EN 60204-1, integriert oder extern) verfügen, welche beim Loslassen den Roboter stoppt. Ein Fallen lassen von Zustimmungseinrichtung oder Programmierhandgerät darf zu keinem Fehler führen. Falls die Steuerung einen Ausgang für die Zustimmungseinrichtung hat, muss dieser in einen sicheren Zustand wechseln, wenn der Sicherheitskreis ausgeschaltet ist. Weiter muss das Programmierhandgerät eine Stoppfunktion zum Stillsetzen im Notfall (NOT-AUS) besitzen. Die Bedienung muss so gestaltet sein, dass es nicht möglich ist, den Automatikbetrieb nur mit dem Handgerät auszulösen.

7.3.3.3 Achs- und Raumbegrenzung

Der Arbeitsraum eines Roboters wird durch die Achsbegrenzung definiert. Der Roboter sollte in keinem größeren Raum agieren, als er für seine Aufgabe benötigt. Die Geometrie dieses Raumes wird mittels der Raumbegrenzung festgelegt.

Die Achsbegrenzung eines Roboters kann in **mechanischer und/oder elektromechanischer Art** ausgeführt sein. Hierbei gilt es die Sicherheitsanforderung zu erfüllen, dass der Roboter bei Nennlast mit maximaler Geschwindigkeit und maximaler bzw. minimaler Auslenkung zum Stillstand gebracht werden kann. Die elektromechanischen Begrenzungen müssen zusätzlich Anforderungen der Steuerung entsprechen. Nicht mechanische Begrenzungen müssen mindestens den Sicherheitsgrad von mechanischen Begrenzungen erfüllen (bei gleicher Gestaltung, Installation und Ausführung).

Software zur Achs- und Raumbegrenzung: Eine Softwarebegrenzung ist nur zulässig, wenn der Roboter bei Nennlast und maximaler Geschwindigkeit stoppen kann. In den definierten Raum muss der Anhalteweg des Roboters einberechnet werden. Die Steuerung, auf der die Software läuft, muss den Anforderungen der Robotersteuerung genügen.

7.4 Roboterzelle und -system

Bei der Risikobestimmung für eine Roboterzelle ist zu beachten, dass ein Roboter hochenergetische, kräftige und schwer vorhersagbare Bewegungen ausführt. Der Aktionsraum von einem Roboter kann sich mit dem von anderen Maschinen überschneiden.

7.4.1 Steuerungssysteme

Die sicherheitstechnischen Anforderungen an Steuerungssysteme einer Roboterzelle gleichen denen eines Roboters. Somit müssen diese Steuersysteme die Anforderungen wie in DIN EN ISO 10218-1 und in DIN EN ISO 13849-1 gefordert erfüllen.

7.4.2 Anordnung der Systemkomponenten

Der Roboter muss so angeordnet sein, dass er an keine andere festen Gegenstände wie Säulen des Gebäudes, Versorgungsleitungen, Schutzzäune etc. stoßen kann. Gegenstände zur Ausführung der Aufgabe, wie z.B. Regale, Fördereinrichtungen etc. sind hier nicht gemeint.

Der Steuerschrank muss außerhalb des abgegrenzten (umzäunten) Raumes aufgebaut sein.

Bei der Interaktion von Mensch und Roboter sind weiterführende Schutzeinrichtungen notwendig. Alternativ sind auch Zuführeinrichtungen zum Menschen möglich, so dass der Mensch für die Ausübung der Tätigkeiten keinen Zugang zur Zelle benötigt. [DIN-EN-ISO-13850]

Bedienelemente (NOT-AUS, Handbediengerät etc.), welche während des Automatikbetriebs zu bedienen sein sollen, müssen außerhalb der Schutzeinrichtung angeordnet sein. Zudem müssen die Bedienelemente so angeordnet sein, dass eine gute Einsicht in den Gefahrenbereich des Roboters sichergestellt ist. [DIN-EN-ISO-10218-2]

7.4.3 Schutzeinrichtungen

Nach dem Stopp des Roboters durch eine Sicherheitseinrichtung darf der Automatikbetrieb nicht ohne Weiteres erfolgen. Die Wiederaufnahme des Betriebs muss von außerhalb der Zelle durch eine bewusste Handlung veranlasst werden. Der Ort von dem aus dies geschieht darf nicht vom Gefahrenbereich aus erreichbar sein und einen freien Blick auf die Roboterzelle gewährleisten. [DIN-EN-ISO-13850] Nachfolgend werden die am häufigsten verwendeten Schutzeinrichtungen erläutert:

7.4.3.1 Trennende Schutzeinrichtungen

Trennende Schutzeinrichtungen wie z.B. Zäune (feststehend trennende Schutzeinrichtung) müssen nach DIN EN 953 den vorherrschenden Betriebskräften standhalten. Der Zugang zum abgesperrten Raum muss verhindert werden. Türen (beweglich trennende Schutzeinrichtungen) müssen verschlossen bzw. anderweitig gesichert sein. Es ist zu beachten, dass trennende Schutzeinrichtungen am Standpunkt fest verankert sein müssen. Die Einrichtungen müssen so geformt sein, dass von ihnen selber keine Gefahr ausgeht, d.h. keine Spitzen Kanten etc. besitzen. Die DIN EN ISO 13849-1 und DIN EN 1088 sind unter Beachtung von DIN EN ISO 10218-1 zu beachten.

Bei den Bauarten beweglich trennender Schutzeinrichtungen sind vier verschiedene Arten zu unterscheiden:

- **Manuell betriebene** trennende Schutzeinrichtungen werden manuell geöffnet und geschlossen.
- **Kraftbetriebene trennende Schutzeinrichtungen** werden mit einer anderen Kraft als der Muskel- oder Schwerkraft betätigt
- **Selbsttätig schließende trennende Schutzeinrichtungen** schließen den Gefahrenbereich automatisch. Im Raum in dem sich das Fördergut und evtl. die Aufspannvorrichtung befinden öffnet sich diese Schutzeinrichtung, damit das Fördergut gegriffen werden kann. Anschließend wird die Schutzeinrichtung mittels Schwer-, Feder- oder anderer externer Kraft in die geschlossene Stellung zurück gezogen.

- **Steuernde trennende Schutzeinrichtungen** sind mit einer Verriegelung verbunden, damit die gefährlichen Maschinenfunktionen im abgesicherten Bereich nur ausgeführt werden können, wenn die Schutzeinrichtung geschlossen ist. Das Schließen der steuernden trennenden Schutzeinrichtung aktiviert die gefährliche Maschinenfunktion. Der Einsatz dieses Typs von Schutzeinrichtung ist nur unter bestimmten Bedingungen zulässig.

Bei der Auswahl der trennenden Schutzeinrichtung sind folgende Anforderungen gemäß DIN EN ISO 10218-2 zu beachten:

- Anforderungen an Bedienerzugang
- Nähe zur Gefährdung - Sicherheitsabstand
- Besteht Notwendigkeit, evtl. herausgeschleuderte Teile aufzufangen
- Eindämmung von Lärm, Schmutz etc.
- Anforderungen an das Beschicken und die Entnahme der Zelle

Die Steuerung von beweglich trennenden Schutzeinrichtungen muss den gleichen Anforderungen wie die der Robotersteuerung entsprechen. Die Verriegelung darf Maschinenbewegungen nur dann zulassen, wenn die beweglich trennende Schutzeinrichtung geschlossen ist. Während der Gefährdung muss ein sicherer Verschluss gewährleistet sein. Wenn der Roboter eine sichere Position erreicht hat, muss sichergestellt sein, dass kein Startbefehl ausgelöst wird. Falls es möglich ist, dass ein Mensch den Gefährdungsbereich erreichen kann, ohne dass er von der beweglich trennenden Schutzeinrichtung gehindert wird, ist eine zusätzliche mechanische Verriegelung notwendig.

7.4.3.2 Berührungslose Schutzeinrichtungen

Berührungslos wirkende Schutzeinrichtungen (BWS) sind so anzuordnen, dass keine Person in den Gefahrenbereich gelangen kann, ohne diese Einrichtungen auszulösen. Daneben ist darauf zu achten, dass der Betrieb nicht nachteilig durch Umgebungsbedingungen wie z.B. Helligkeitsveränderungen, Reflexionen etc. beeinträchtigt wird. Der benötigte Sicherheitsabstand wird nach DIN EN 999 (siehe unten) berechnet. In Bezug auf die Wirksamkeit und Zeitdauer der Fehlererkennung unterscheidet die Norm DIN EN 61496-1 verschiedene Typen von Schutzeinrichtungen:

- **Typ 2:** Eine BWS Typ 2 muss eine Einrichtung für einen periodischen Test besitzen. Ein Fehler muss entweder sofort, durch einen Test oder bei Aktivierung des Sensors aufgedeckt werden. Im Zeitraum zwischen den periodischen Tests besteht ein Risiko.

- **Typ 3:** Ist nur für Sicherheits-Laserscanner definiert. Ein einzelner Fehler der zum Verlust der Detektionsfähigkeit führt muss sofort, beim Aus-/Einschalten, beim Reset der Anlauf-, Wiederanlaufsperrung oder durch einen externen Test (falls verfügbar) aufgedeckt werden. Ein einzelner Fehler, der die Detektionsfähigkeit beeinträchtigt muss innerhalb der in dem relevanten Teil der DIN EN 61496-3 spezifizierten Zeit aufgedeckt werden. Bei Nichtaufdecken des Erstfehlers darf ein Zweitfehler nicht zum Verlust der Schutzfunktion führen.
- **Typ 4:** Ein einzelner Fehler darf nicht zum Verlust der Schutzfunktion führen. Der Fehler muss beim Aktivieren des Sensors beim Aus-/Einschalten, beim Aus-, Einschalten oder beim Reset der Anlauf-/Wiederanlaufsperrung aufgedeckt werden. Bei Nichtaufdecken des Erstfehlers dürfen Zweit- oder Drittfehler nicht zum Verlust der Schutzfunktion führen.

Warneinrichtungen wie Warnschranke oder Warnsignal können optional im System installiert werden.

Schutzeinrichtungen mit Anwesenheitserkennung (PSD) werden verwendet, wenn ein häufiger Zugang zur Zelle nötig ist, Personen mit der Maschine/Roboter zusammenarbeiten müssen, eine gute Einsehbarkeit auf Maschine notwendig ist, und/oder wenn es nicht möglich ist, eine feststehende Schutzeinrichtungen zu installieren. Schutzeinrichtungen mit Anwesenheitserkennungen können nur dann verwendet werden, wenn es der Prozess zulässt, sprich die im Prozess vorhandenen Gefährdungen abgedeckt werden. [DIN-EN-ISO-10218-2]

Bei berührungslos wirkenden Schutzeinrichtungen in fördertechnischen Anlagen ist zu beachten, dass bei Öffnungen, die größer sind als in DIN EN ISO 13857 angegeben, Sicherheitseinrichtungen installiert werden müssen, welche einen Zutritt von Person erkennen und bei einer möglichen Gefährdung der Person die Anlage still setzen. Soll das Robotersystem nicht gestoppt werden, wenn Fördergut in die Zelle einfährt bieten Lichtschranken mit einer sog. Muting- oder die Blankingfunktion eine Lösung für diese Problemstellung. [DIN-EN-ISO-10218-2]

7.4.3.3 NOT-AUS-Einrichtung

Sind mehrere Roboter, Maschinen oder Maschinenteile für ein Zusammenwirken konzipiert, müssen die Not-Aus-Einrichtungen der Teilsysteme so verschaltet werden, dass die Not-Befehlseinrichtung nicht nur einen Roboter still setzen kann, sondern auch alle vor- oder nachgeschalteten Roboter und Einrichtungen, falls deren weiterer Betrieb eine Gefahr darstellen kann.

Zur Festlegung der notwendigen Anzahl der Befehlsgeräte für das Stillsetzen im Notfall ist eine vollständige Gefährdungsanalyse durchzuführen.

Die Wirksamkeit der Not-Aus-Einrichtung ist durch eine regelmäßige wiederkehrende Überprüfung sicherzustellen.

Für die Konzeption des Not-Aus-Systems sind die Normen DIN EN ISO 13850 und DIN EN 60204 zu berücksichtigen.

7.4.3.4 Weitere Schutzmaßnahmen

Bei **Be-, Entlade-, und Förderstationen**, an denen Roboter und Bediener einen Arbeitsbereich teilen, ist mit Schutzeinrichtungen sicherzustellen, dass vom Roboter aus keinen weiteren Gefährdungen für den Bediener ausgehen. Sollte der Bediener zu nahe an den Arbeitsraum des Roboters gelangen, muss der Roboter durch einen Stopp-Befehl in einen sicheren Zustand gebracht werden.

Auch an den **Endeffektor** werden hohe Sicherheitsanforderungen gestellt. Bei einem Ausfall der Energieversorgung darf die Ladung nicht losgelassen werden und so zu einer Gefährdung führen. Die Freigabe für die Abgabe von abnehmbarem Werkzeug darf nur an dafür bestimmten Positionen und unter kontrollierten Bedingungen erfolgen. Der Endeffektor sollte so konstruiert sein, dass diesem Energie zugeführt werden kann, ohne dass der Roboter energetisch versorgt wird (zur Beseitigung von Betriebsstörungen) [DIN-EN-ISO-10218-2]

7.4.4 Sicherheitsabstand

7.4.4.1 Nicht trennende Schutzeinrichtungen

Für die Berechnung des Sicherheitsabstandes bei nicht trennenden Schutzeinrichtungen im Hinblick auf Annäherungsgeschwindigkeiten von Körperteilen gibt es nach DIN EN 999 diese allgemeine Gleichung zur Berechnung des Sicherheitsabstands:

$$S = (K \cdot T) + C$$

mit:

<i>S</i>	: Mindestabstand vom Gefahrenbereich zum Erkennungspunkt
<i>K</i>	: Annäherungsgeschwindigkeit des Körpers
<i>T</i>	: Nachlauf des gesamten Systems in Sekunden
<i>C</i>	: Abstand für Eindringen in Gefahrenbereich vor Auslösen der Schutzeinrichtung

Nachlauf des gesamten Systems: Zeit oder Weg vom Auslösen der Sensorfunktion bis zur Beendigung der gefahrbringenden Bewegung oder bis die Maschine sich in einem sicheren Zustand befindet.

$$T = t_1 + t_2$$

mit:

T : Nachlauf des Systems

t_1 : max Zeit bis Schutzeinrichtung das Ausgangssignal in den AUS – Zustand geschaltet hat

t_2 : Ansprechzeit der Maschine : zum Stillsetzen der Maschine benötigte Zeit

t_2 wird durch verschiedene Faktoren beeinflusst, wie z.B. der Temperatur, der Schaltzeit von Ventilen oder der Alterung von Bauteilen

Für die Berechnung der Mindestabstände bei berührungslos wirkenden Schutzeinrichtungen ist bzgl. der Annäherungsrichtung an das Schutzfeld zu unterscheiden (Abb.: 7-2):

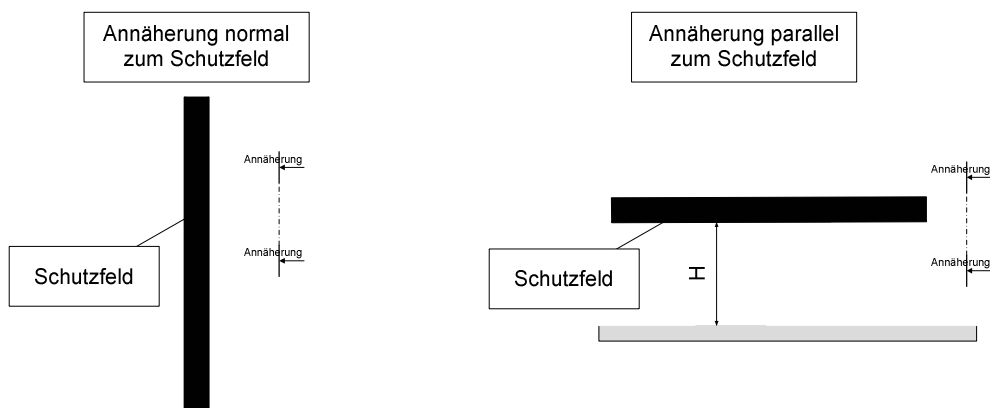


Abb. 7-2: Annäherungsrichtungen zum Schutzfeld

Für die Annäherung normal zum Schutzfeld gilt:

$$K = 2000 \text{ mm/s}$$

C errechnet sich aus $C = 8 \cdot (d - 14)$, wobei d das Detektionsvermögen der Einrichtung in Millimeter ist

Bei einem Mindestabstand bis einschließlich 500 mm: Mindestwert für S darf nicht kleiner wie 100 mm sein.

$$S = (2000 \text{ mm/s} \cdot T) + 8(d - 14 \text{ mm})$$

Ist der Mindestabstand größer als 500 mm, so darf der Mindestwert für S nicht kleiner als 500 mm sein.

$$S = (1600 \text{ mm/s} \cdot T) + 8(d - 14 \text{ mm})$$

falls $d > 40 \text{ mm}$ bzw. $d < 30 \text{ mm}$:

$$K = 1600 \text{ mm/s}$$

$$C = 850 \text{ mm}$$

Höhe des obersten Lichtstrahls muss mind. 900 mm sein, die des Untersten mind. 300mm

Bei einer Annäherung parallel zum Schutzfeld ist zu beachten:

$$K = 1600 \text{ mm/s}$$

$C = 1200 - 0.4 H$, mit Höhe H des Schutzfeldes über der Bezugsebene, C darf nicht kleiner als 850 mm sein; zulässige Mindesthöhe des Schutzfeldes: $H = 15(d - 50\text{mm})$

Annäherung unter beliebigem Winkel:

Bei einer Abweichung von einem Winkel $\pm 5^\circ$ von normaler bzw. paralleler Annäherung ist das Rechnen mit der jeweiligen Formel für die normale bzw. paralleler Annäherung zulässig. Bei einem größeren Winkel sollte die plausiblere Gleichung angewendet werden: So ist beispielsweise bei einem vorhersehbareren Annäherungswinkel $> 30^\circ$ vorzugsweise mit der normalen Annäherung zu rechnen. Bei einem Annäherungswinkel $< 30^\circ \Rightarrow$ ist die Rechenart der parallelen Annäherung zu wählen. In diesem Fall ist die Höhe H für den niedrigsten Strahl einzusetzen.

7.4.4.2 Feststehende Schutzeinrichtungen

Die Auslegung erfolgt nach DIN EN ISO 13857. Zuvor ist eine Risikobeurteilung notwendig, ob ein hohes oder niedriges Risiko von der Anwendung ausgeht. Bei einem Roboter ist mit einem hohen Risiko zu kalkulieren.

Mit feststehenden Schutzeinrichtungen muss verhindert werden, dass eine Person über die Schutzeinrichtung hinüber reichen kann.

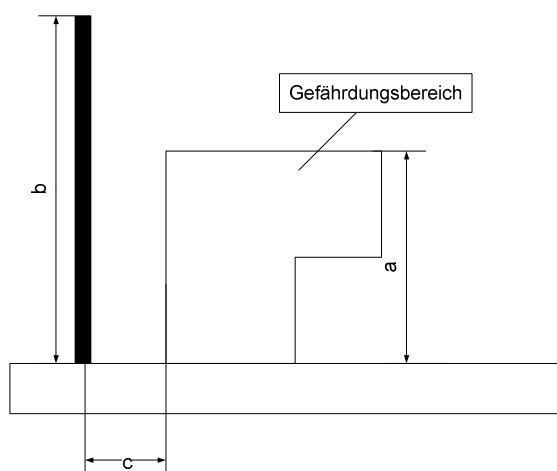


Abb. 7-3: Skizze: Abstände im Gefährdungsbereich

Die Werte a, b, c in Abbildung 7-3 hängen von einander ab, siehe Tabelle 2 in DIN EN ISO 13857

Der radiale Abstand S_r zu einer Gefahrenstelle ist abhängig von der Art der Bewegungseingrenzung. Wenn beispielsweise, wie beim Menschen eine Begrenzung an der Achsel stattfindet (wenn sich alle Gelenke des Arms frei bewegen können), muss S_r mindestens 850 mm sein, siehe DIN EN ISO 13857, S. 10, Tabelle 3.

8 Demonstrator: Konzept „Lageranbindung“

8.1 Rahmenbedingungen der Forschungsstelle

8.1.1 Materialflusssystem

In der Versuchshalle des Lehrstuhls ist eine Elektrohängebahnanlage (EHB) (Abb. 8-1 links) mit mehreren Laufkatzen (Abb. 8-1 rechts) und verschiedenen Wegstrecken vorhanden. Je ein Ein- und Zweiträgerkran mit einer Zwei- und zwei Einseilkatzen ver- und entsorgen die Lager- und Fördererplätze in der Versuchsanlage. Hierfür sind Rollenbahnen und ein Verschiebebodenregal aufgebaut, um verschiedene Verkettungsmöglichkeiten abzubilden. Transportieren lassen sich neben Kunststoff-Großladungsträgern bis 500kg und Gitterboxen bis zu 1t auch VDA-Kleinladungsträger im Bereich bis 50kg.



Abb. 8-1: Elektrohängebahnanlage (EHB)(links) und Laufkatzen (rechts)

Diese Versuchsanlage, in die auch der Roboter integriert werden soll, bildet den Demonstrator und das Versuchsfeld für das Forschungsprojekt „Internet der Dinge“. Im Fokus dieses Vorhabens stehen dezentral gesteuerte Fördertechnik und intralogistische Prozesse. Das angestrebte Ziel des Vorhabens besteht in der Realisierung autonomer Fördertechnikmodule und Transporteinheiten, die durch den Einsatz von RFID und Softwareagenten völlig dezentral entscheiden, wie Transportaufträge optimal abgearbeitet werden. Eine Steuerungszentrale, z.B. ein Materialflussrechner, ist nicht nötig.

An Stelle eines zentralen Steuerungssystems steht im Projekt „Internet der Dinge“ eine dem Anwendungsfall angepasste Selbststeuerung der einzelnen Fördertechnikmodule. Entsprechend den technischen Gegebenheiten und anwendungsspezifischen Anforderungen kön-

nen diese Module über verschieden komplexe Fähigkeiten und Kompetenzen verfügen. Mit Hilfe einer Kommunikationsinfrastruktur stimmen diese untereinander ihr individuelles Handeln ab und tauschen notwendige Informationen aus. Den Akteuren des Systems wird nur noch mitgeteilt „WAS“ zu tun ist. Das „WIE“, bzw. die notwendigen Einzelschritte ergeben sich aus dem Zusammenspiel der individuellen Fördertechnikmodule und Transporteinheiten. Das Zusammenspiel der autonom agierenden Materialflussmodule und Behälter, sowie die Steuerungs- und Systemarchitektur des Internets der Dinge, werden als Analogie zur Funktionsweise des Internets entwickelt.

8.1.2 Hochregallager

In der Versuchshalle befindet sich neben der Elektrohängebahnanlage auch ein automatisches Kleinteilelager (Abb. 8-2). Das Regalbediengerät ist als Zwei-Mast-Version ausgeführt und ist mit Servomotoren für den Fahr- und den Hubantrieb ausgestattet. Die Steuerung der Anlage erfolgt über ein CAN-Bussystem.



Abb. 8-2: Automatisches Kleinteilelager mit Regalbediengerät in Zwei-Mast-Version

8.2 Konzept „Lageranbindung“

Für die Umsetzung des Konzeptes „Lageranbindung“ (Abb. 8-3) in einem Demonstrator müssen die genannten Rahmenbedingungen, wie die Anbindung der Zelle in das Projekt „Internet der Dinge“ und die Anbindung des Hochregallagers an die Roboterzelle berücksichtigt werden.

8 Demonstrator: Konzept „Lageranbindung“

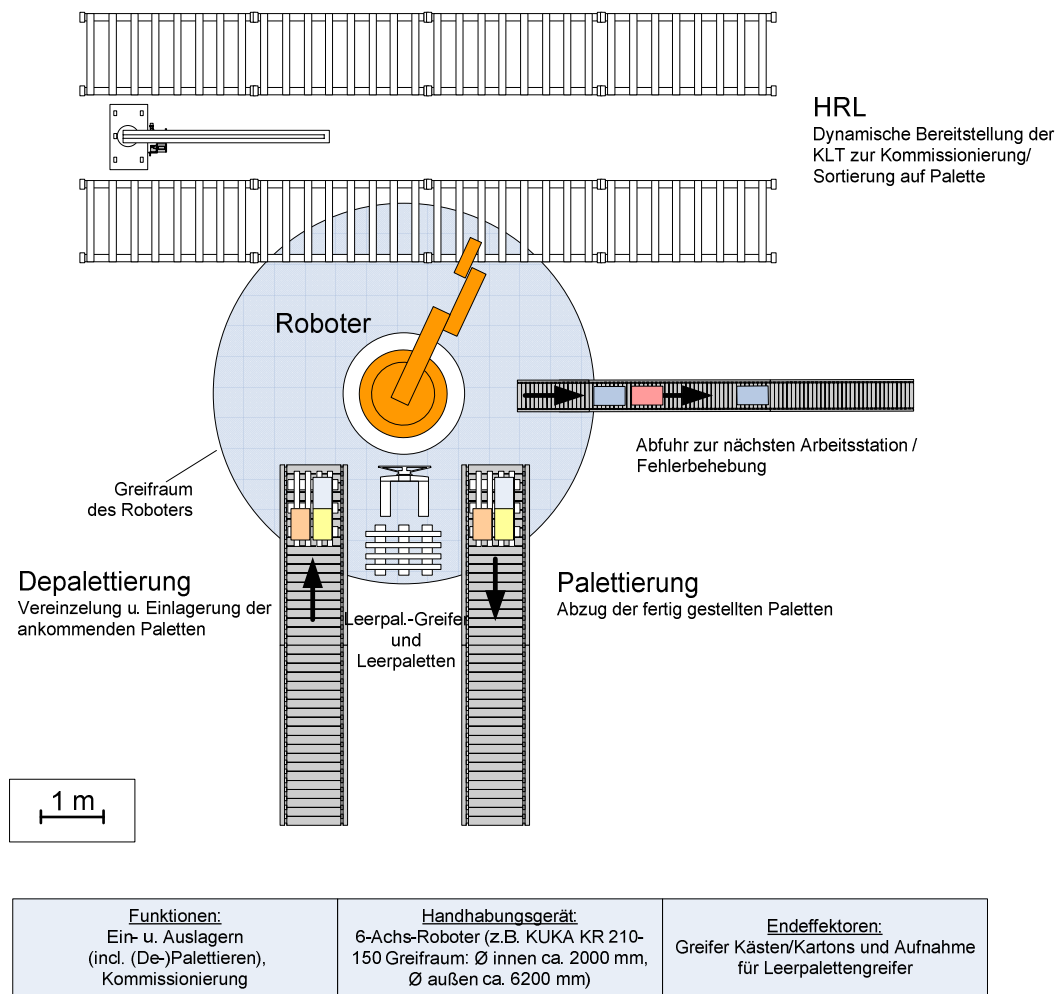


Abb. 8-3: Konzept „Lageranbindung“

Neben den in Kapitel 5.6.5 genannten Funktionen bietet die gewählte Anordnung des Konzeptes die Möglichkeit, das AKL über die Roboterzelle in das gesamte Materialflusssystem der Versuchshalle einzubinden. Mit Hilfe des Demonstrators wird die technische Machbarkeit gezeigt. Zudem besteht die Möglichkeit, reale Experimente durchzuführen und Messwerte zu generieren.

Ausgehend von der in Microsoft Visio erstellten Skizze wurde ein 2D-Layoutplan für die Anlage erstellt (Abb. 8-4). Für die Sicherstellung der Erreichbarkeit der Regalplätze, der Rollenbahnen und der Stellplätze von Leerpalletten und -greifer, wurde die Anordnung des Roboters und der weiteren Komponenten der Roboterzelle in einer Testversion der Software KUKA SIM.PRO aufgebaut (Abb. 8-5 und 8-6). Neben der dreidimensionalen Darstellung bietet die Software auch die Möglichkeit, den Aufbau der Roboterzelle mit einem animierten Modell des verwendeten Roboters zu überprüfen.

In diesem Planungsschritt wurde die Podesthöhe des Roboters ermittelt und auf 1055 mm festgelegt.

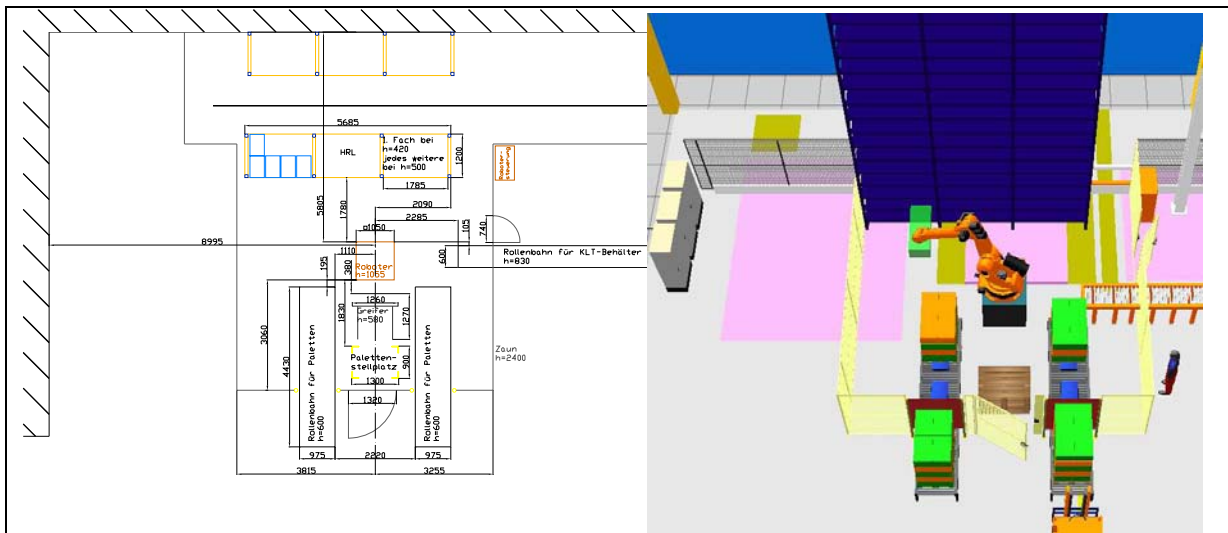


Abb. 8-4: 2D-Layoutplan (links) und 3D-Layoutplan (rechts)



Abb. 8-5: 3D-Skizze (links) und umgesetztes Projekt in der Forschungsstelle (rechts)

8.3 Komponenten der Roboterzelle

8.3.1 Roboter

Im Konzept „Lageranbindung“ wird ein sechssachsiger Industrieroboter verwendet. Die Entscheidungsgrundlage wurde bereits ausführlich beschrieben (Absatz 5.6.5). Die Anforderungen an den benötigten Industrieroboter sind: Reichweite, Traglast und Bewegungsgeschwindigkeit.

Wie bereits im Abschnitt 8.2 dargestellt, konnte in der Layoutplanung die benötigte Reichweite untersucht und ermittelt werden.

Die Traglasten in diesem Experimentalaufbau bewegen sich bei ca. 25 kg für Greifer und Verkabelung und ca. 20 kg Behältergewicht. – Diese Summe wird auch bei der Handhabung der Leerpalletten nicht überschritten.

Der eingesetzte Industrieroboter KR 210 L150-2 der Fa. KUKA kann diese beiden Anforderungen abdecken (Absatz 8.3.4.3). Der vorhandene Greifraum (Abb. 8-6) (max. Weite C= 3100mm und max. Höhe A= 3500mm) ist durch die Armverlängerungsvariante einer der Volumengrößen der derzeit am Markt verfügbaren sechssachsigen Roboter.

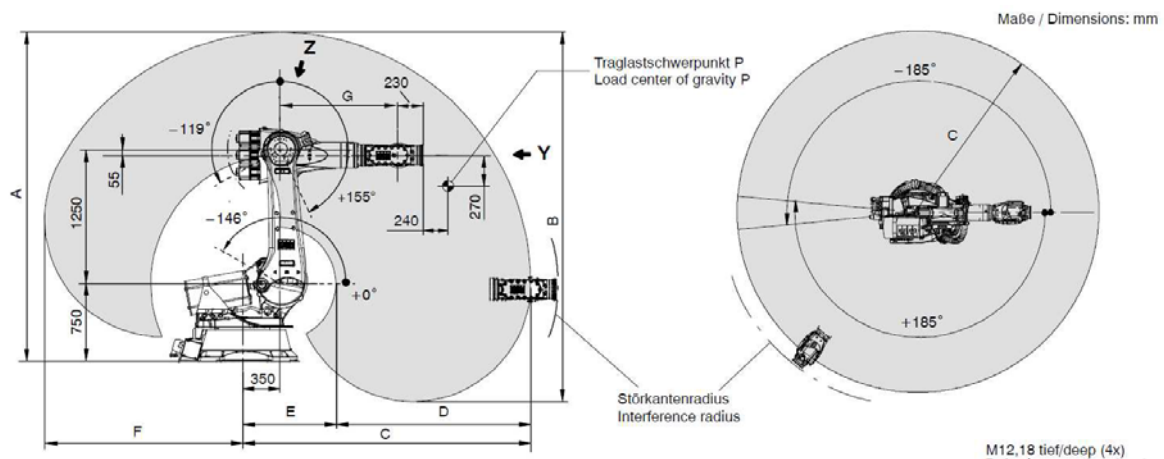


Abb. 8-6: Greifräume des Roboters Kuka KR 210 L150-2 [KUK-05b]

Die Traglast von 150 kg am Roboterflansch (Abb. 8-7) ist höher als für das vorliegende Versuchsszenario notwendig. Diese soll aber nicht nur für das Lastszenario von Greifer mit KLT-Behälter ausreichen. Die Versuchsanlage wird langjährig in Verwendung bleiben und mögliche Erweiterungen/Veränderungen und andere/höhere Traglasten sollen möglichst keinen Roboteraustausch erforderlich machen. Bei der Roboterauswahl ist nicht nur auf die Traglast am Flansch zu achten, sondern auf die Kraft, welche durch die Bewegung von

Greifer und Fördergut entsteht. Die nachfolgende Abbildung 8-7 gibt hier ein Gefühl für den Zusammenhang.

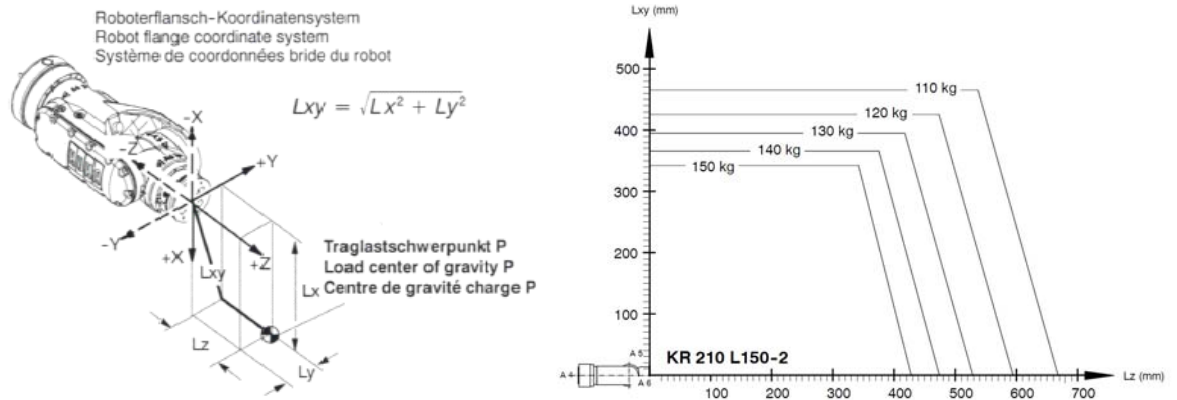


Abb. 8-7: Roboterflansch (links) und Traglasten (rechts) [KUK-05b]

Die Roboterprogrammierung des KUKA Industrieroboters erfolgt in einer herstellerspezifischen Programmiersprache, der sog. Kuka-Robot-Language (KRL). Die implementierten Abläufe sind im Anhang angefügt. Mit dem sog. „Teach-In-Verfahren“ (manuelles Anfahren und Abspeichern der benötigten Positionen) wurden die Koordinaten einiger fester Positionen ermittelt und hinterlegt. Die Lage der einzelnen Behälter wird dann – ausgehend von festen Vorpositionen – während des Betriebs dynamisch berechnet und angefahren.

8.3.2 Fördertechnik

Die **Paletten-Rollenbahnen** dienen als Staubahnen. Somit kann die Roboterzelle von einem Stapler bestückt bzw. die palettierten Paletten abtransportiert werden.

Im Konzept „Lageranbindung“ ist der Wareneingang/-ausgang symmetrisch aufgebaut. Die Förderstrecken haben eine Länge von je ca. 4400 mm. Außerhalb der Roboterzelle ist je Förderstrecke ein Übergabeplatz für eine Europalette vorgesehen. Innerhalb des Schutzraums kann je eine Palette bereitgestellt werden.

Die verwendeten Rollenförderer für Paletten vom Typ: RAZ 89 stammen von der Firma DEMATIC und wurden dem Lehrstuhl für diese Forschungszwecke bereitgestellt.

Die Staurollenförderer vom Typ BK-10 zum Abtransport der Kommissionierten KLT-Behälter oder Kartons sind ebenfalls von der Firma DEMATIC.

8.3.3 Behälter und Regal

Die im Materialflusssystem verwendeten **KLT-Behälter** (Abb. 8-8 links) sind Mehrwegbehälter. Diese sind entsprechend den Vorgaben der VDA-Empfehlung 4500 und DIN EN 30820 konzipiert. Die Behälter der Fa. Georg Utz sind vom Typ: 40-6428.

Die zur Verfügung stehenden Platzverhältnisse innerhalb der Regalfächer beeinflussen die Greiferkonzeption und auch die Roboterbahn. Nachfolgend ist in (Abb. 8-8 rechts) ein Regalfach mit seinen Platzverhältnissen skizziert.

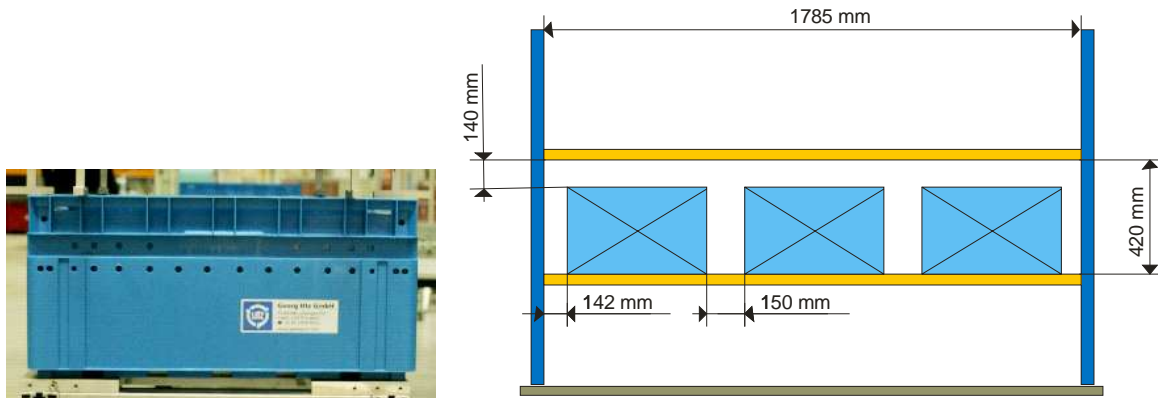


Abb. 8-8: KLT-Behälter (links) und Einteilung AKL der Forschungsstele (rechts)

8.3.4 Greifer

Im Kapitel 3 wurde bereits darauf hingewiesen, dass ein Roboter einen Endeffektor zur Manipulation benötigt. Die Gegebenheiten mit dem automatischen Kleinteilelager und den KLT-Behältern legen bereits einen Teil der Handhabungsobjekte fest.

Unabhängig davon ist noch das Leerpallettenhandling zu lösen. Neben dem Hauptgreifer ist ein Aufsatz zur Handhabung der Leerpalletten vorgesehen, um einen Greiferwechsel abzubilden. Nachfolgend wird die Erstellung des Greifers für Konzept „Lageranbindung“ beschrieben.

8.3.4.1 Greiferkonzepte

Um diese Anforderungen in einen realen und funktionsfähigen Endeffektor zu überführen wurden mehrere Greiferkonzepte erstellt und miteinander verglichen. Die nachfolgenden Abbildungen 8-9 bis 8-13 zeigen diese Greiferkonzepte. Bei den Greiferkonzepten und der Konstruktion wurde auch der Griff von Kartons berücksichtigt.

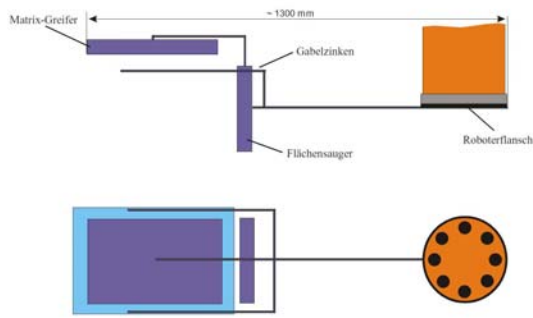


Abb. 8-9: Konzept 1: Starre Gabel für KLT-Behälter

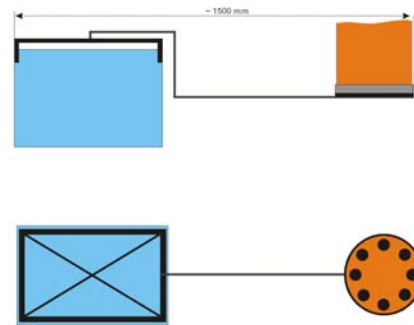


Abb. 8-10: Konzept 2: Formschlüssiger Greifer für KLT-Behälter

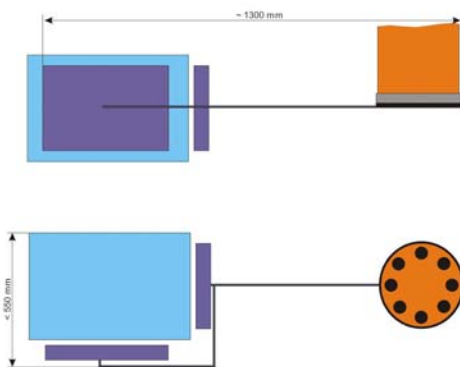


Abb. 8-11: Konzept 3: L-Greifer mit Flächensaugern

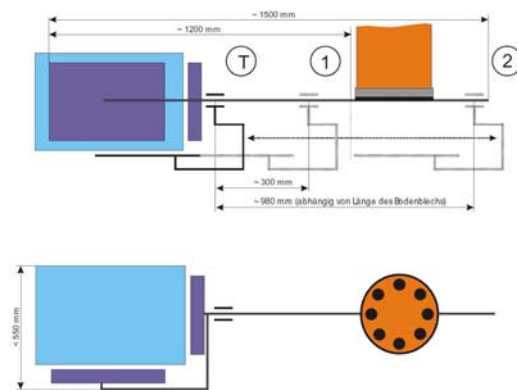


Abb. 8-12: Konzept 4: L-Greifer mit verschiebbarem Bodenblech

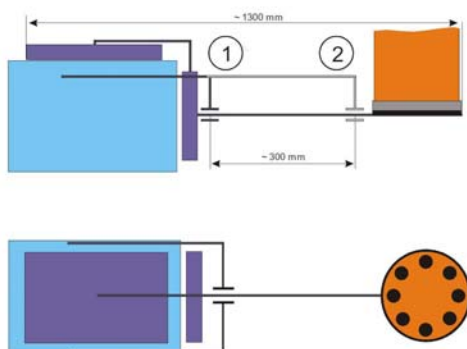


Abb. 8-13: Konzept 5: Verschiebbare Gabel für KLT-Behälter

Eine Bewertung dieser Greiferkonzepte zeigt die Tabelle 5.

Tabelle 5: Bewertung der Greiferkonzepte

	Konzept 1	Konzept 2	Konzept 3	Konzept 4	Konzept 5
Kompaktheit	-	+	+	~	~
Komplexität	++	~	++	~	+
konstruktiver Aufwand	++	-	++	-	+
geschätzte Baukosten	++	~	+	-	~
KLT Handling	~	+	~	+	++
Karton Handling	--	--	-	++	++

- ++ *sehr gut geeignet*
- + *gut geeignet*
- ~ *mittelmäßig geeignet*
- *schlecht geeignet*
- *sehr schlecht geeignet*

Nach obenstehender Bewertung der Greiferkonzepte und der Auswahl eines Palettengreifers wurden für den Greifer die nachfolgend abgebildeten Dimensionen festgelegt (Abb. 8-14).

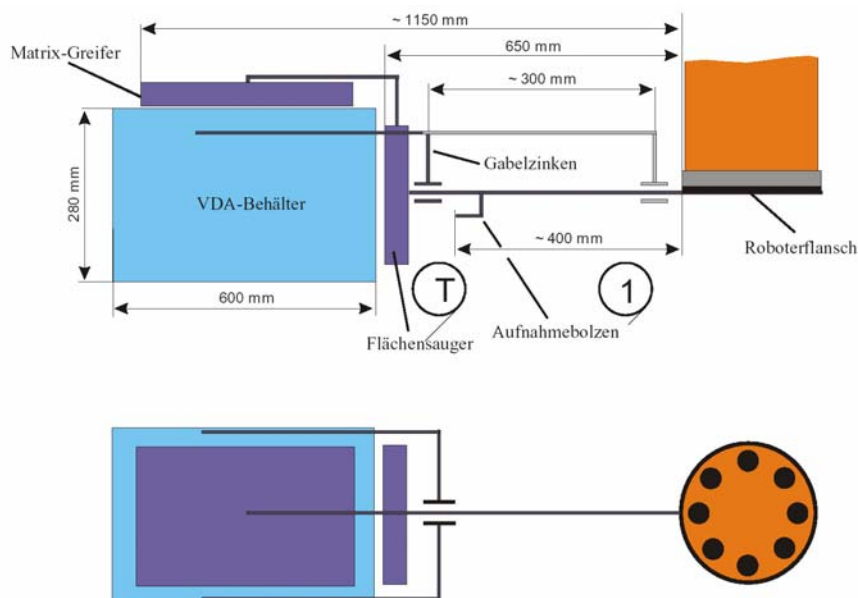


Abb. 8-14: Greiferskizze des KLT-Greifers

Für das verwendete Greiferkonzept mit Vakuumtechnik und Formschluss-Prinzip wird nun die Funktionsweise beschrieben:

KLT-Behälter: Für die Handhabung von KLT-Behältern fährt der Roboter einen Behälter in Ausgangsstellung des Greifers 1 (Abb. 8-4 - Position 1, Gabel eingefahren) an.

Eine Sensorik am Greifer misst die Positionsabweichung der Behälter von der erwarteten Soll-Position und regelt die Ausrichtung des Greifers. Hierbei messen zwei Lichttaster die horizontale und vertikale Position des Greifers. Es folgt eine Zustellbewegung. Diese stoppt, sobald genügend Unterdruck am Druckluftschalter des Vakuumejektors anliegt. Darauf fahren die Gabelzinken in die seitlich am KLT-Behälter vorhandenen Nuten. Die Fixierung erfolgt über den stirnseitigen Sauger. Das Lastaufnahmemittel befindet sich nun in Transportstellung T (Abb. 8-14 - Position T, Gabelzinken sind ausgefahren und der KLT-Behälter ist angesaugt).

Der Roboter verfährt zum Abgabeort des Behälters. Nach der Positionierung wird das Vakuum abgeschaltet und die Gabel eingefahren. Der Greifer befindet sich nun wieder in Position 1 und ist für das nächste Arbeitsspiel bereit.

Kartons (optional): Beim Transport von Kartons bleibt die Gabel ständig eingefahren. Hier übernehmen der Matrixgreifer und der Flächensauger die Fixierung des Kartons. Analog zum KLT-Behälter erfolgt beim Karton die Positionierung und Abgabe.

8.3.4.2 Palettengreifer

Um die Komplexität eines Endeffektorwechsels zu umgehen, wurden für den Palettengreifer Greiferaufsätze entworfen, die mit den bereits erarbeiteten Greiferkonzepten (Abschnitt 8.3.4.1) aufgenommen werden. Somit ist für einen „Greiferwechsel“ lediglich das Anfahren und Aufnehmen des Palettengreifers notwendig.

Für die Ausführung des Palettengreifers wurde eine Lösung mit formschlüssiger Verbindung ausgearbeitet. (Abb. 8-15)

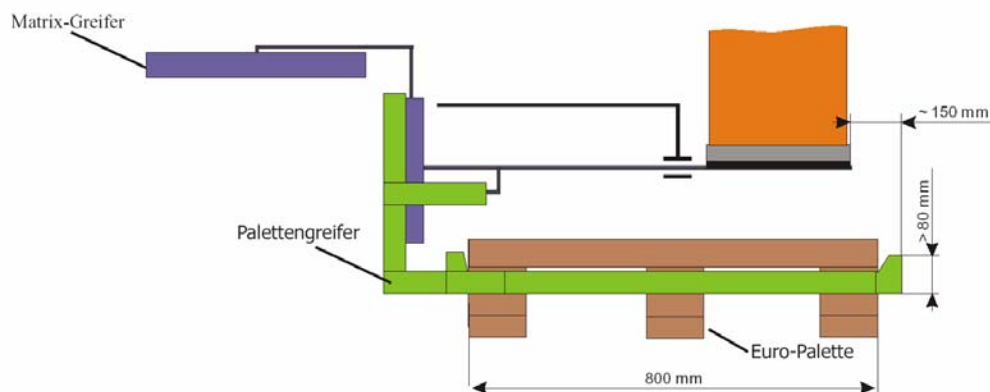


Abb. 8-15: Palettengreifer

Die Manipulation von Leerpalletten erfolgt nach diesem Vorgehensschema:

Für das Greifen der Leerpalette muss zuerst der Stellplatz des Palettengreifers angefahren werden.

Bei der Aufnahme des Palettengreifers steht der „Hauptgreifer“ in der Ausgangsstellung (Position 1). Der Roboter fährt den Palettengreifer an und nimmt diesen über Aufnahmebolzen auf. Fixiert wird der Palettengreifer über den stirnseitig angebrachten Flächensauger.

Nach dem Umsetzen einer Leerpalette fährt der Roboter wieder den Stellplatz des Palettengreifers an und setzt diesen nach dem Lösen des Vakuums wieder ab.

8.3.4.3 Festigkeitsrechnung

Beim Festigkeitsnachweis des Greifers werden zwei **Lastfälle** betrachtet:

Der erste Lastfall ist der **Transport von KLT-Behälter** mit einer Nennlast von 20kg bei einer Beschleunigung in allen Raumrichtungen und einer Zentrifugalbeschleunigung, resultierend aus der Armrotation des Roboters um die z-Achse (Abb. 8-16).

Der zweite Belastungsfall ist der **Transport einer Leerpalette**. Auch hier wird wieder mit Beschleunigung in allen Raumrichtungen gerechnet.

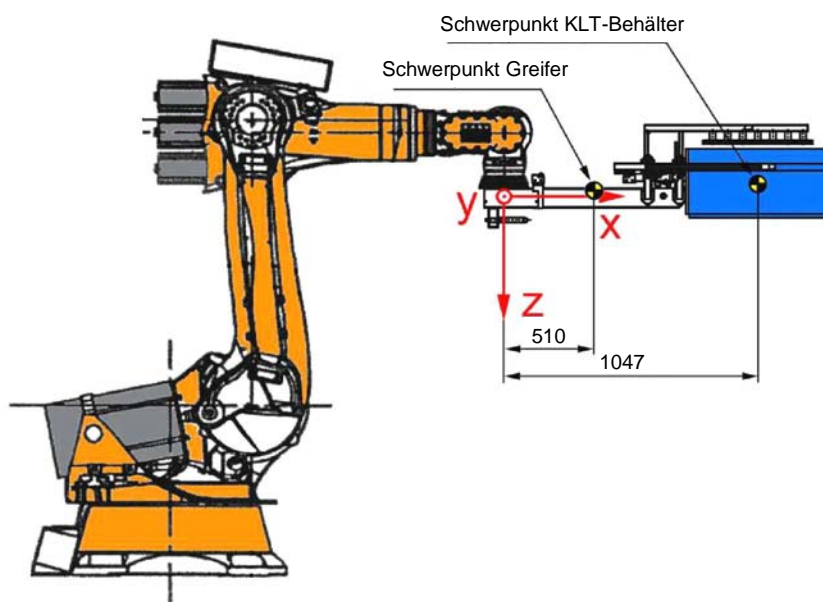


Abb. 8-16: Schwerpunkte für die Traglastberechnung

In beiden Lastfällen wird sowohl für den Greifer als auch für den Behälter nicht mit verteilter Masse, sondern mit Punktmassen gerechnet. Die Rechnung vereinfacht sich dadurch stark. Durch die idealisierte Verwendung von Punktmassen kommen größere Schnittmomente im

Vergleich zur Realität zustande, was die Stabilität und Sicherheit gewährleistet. Die Richtungen der Beschleunigungen werden so angesetzt, dass das größte Belastungsschema entsteht (z.B. Erdbeschleunigung addiert sich zur Beschleunigung in z-Richtung).

In der **Festigkeitsrechnung** wurden die nachfolgenden Bauteilefestigkeiten ausgelegt:

- Matrixvakuumelement
- Lastgabel
- Kragträger
- Gabellagerung
- Zugstrebe und Zugstrebenschraube
- Verschraubungen der: Rollen, Lagerplatte, V-Profile, Palettengreiferaufnahme
Flanschverschraubung

Massen und -trägheitsmomente: Da der ausgewählte Roboter nicht unendliche Massen bewegen (Abschnitt 8.3.1) kann, ist ein Vergleich der zulässigen und vorhandenen Trägheiten notwendig. Dabei werden die oben genannten Lastfälle betrachtet.

Lastfall KLT-Behälter

$$m = 36,7 \text{ kg}, d_{\text{Schwerpunkt}} = \begin{pmatrix} \cong 0 \\ 0,81 \\ -0,01 \end{pmatrix} m, I_{\text{Flansch}} = \begin{pmatrix} 29,80 & \cong 0 & \cong 0 \\ \cong 0 & 1,03 & \cong 0 \\ \cong 0 & \cong 0 & 30,00 \end{pmatrix} \text{ kgm}^2$$

Lastfall Palette

$$m = 60,2 \text{ kg}, d_{\text{Schwerpunkt}} = \begin{pmatrix} \cong 0 \\ 0,17 \\ 0,25 \end{pmatrix} m, I_{\text{Flansch}} = \begin{pmatrix} 15,07 & \cong 0 & \cong 0 \\ \cong 0 & 11,98 & \cong 0 \\ \cong 0 & \cong 0 & 10,90 \end{pmatrix} \text{ kgm}^2$$

Das Schaubild (Abb. 8-17 links) zeigt, dass der weit außerhalb des Diagramms liegende Punkt gesonderter Beachtung bedarf. Dazu wurde die Software Kuka-Load verwendet (Abbildung 5.9). Hieraus wird ersichtlich, dass der verwendete Robotertyp auch unter voller Beschleunigung im Stande ist, die vorkommenden Massen zu bewegen.

8 Demonstrator: Konzept „Lageranbindung“

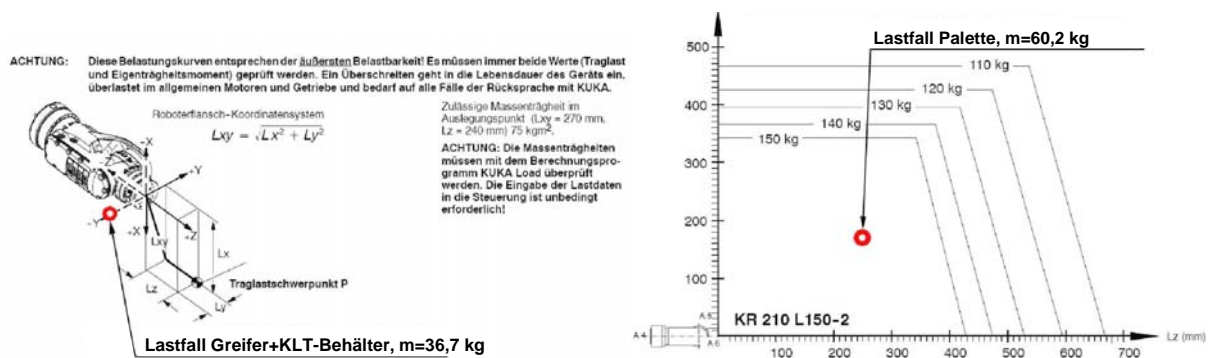


Abb. 8-17: Lastfall KLT-Behälter (links) und Lastfall (Palette)

Entsprechend den Lastfällen wurde die Hub- und Haltekraft der Sauger ausgelegt. Hier war zu zeigen, dass sowohl der stirnseitige Flächensauger als auch der Matrixvakuumgreifer genügend Haltekraft erzeugen, um einen Karton bzw. den KLT-Behälter bei einer Bewegung ausreichend zu fixieren.

8.3.4.4 Konstruktion

Entsprechend den Anforderungen an den Endeffektor wurden Greiferkonzepte entwickelt und ein geeignetes ausgewählt (Kapitel 8.3.4.1). In diesem Abschnitt wird die konstruktive Realisierung des Endeffektors beschrieben.

Der Endeffektor wird über einen Normanbauflansch mit Zentrierbund und sechs M10-Schrauben am Roboter montiert.

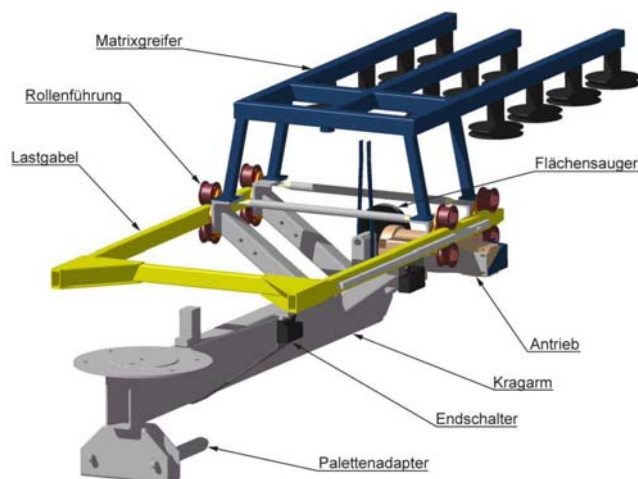


Abb. 8-18: Konstruktionsskizze des Greifers

In der der Konstruktionsskizze von Abbildung 8-18 ist die notwendige Greiferelektronik (Feldbusstation, Kompaktejektoren, Lichttaster) nicht dargestellt. Für deren Montage sind entsprechend der Position am Kragträger Gewinde eingeschnitten.

An der Unterseite des **Kragträgers** werden mit drei Schrauben die Aufnahmebolzen für den Palettenadapter angebracht. Diese besitzen an ihrer Vorderseite eine ausgeprägte Fase, um das Aufnehmen des Palettengreifers zu erleichtern. Mit jeweils drei Schrauben sind die V-Streben am vorderen Ende des Kragträgers montiert. Distanzbüchsen im Inneren des Trägers verhindern eine Verformung des Kragträgers durch die Vorspannkraft. Auf der Oberseite der V-Streben sind der Matrixgreifer und die Lagerung der Lastgabel befestigt.

Bei der **Rollenführung** sind analog zu den V-Streben alle Teile symmetrisch und vertauschbar konstruiert. Für eine schnelle Montier- und Wartbarkeit wurden die Rollen auf ein separates Prisma geschraubt, welches wiederum an den V-Streben angebracht ist. (siehe Abbildung 4.5).

Als **Lager** zwischen Rolle und V-Strebe wurde ein geschlossenes Standardkugellager verwendet, welches in die Rolle eingepresst und mit einem Sicherungsring gesichert wird.

Der **Antrieb** der Gabel erfolgt mittels eines Elektromotors mit Winkelgetriebe. Der Motor ist über ein Blech an der V-Strebe verschraubt. Dieses Blech hat Langlöcher, die eine laterale Verschiebung des Antriebes ermöglichen, um das Flankenspiel an der Zahnstange der Gabel einzustellen.

Die **Lastgabel** besteht aus drei Hohlprofilen, die mit 4 Dreiecksblechen miteinander verschraubt sind. Die für den Antrieb notwendige Zahnstange wird von der Innenseite aus an das Profil geschraubt. An einem der Dreiecksbleche sind die verstellbaren Anlaufsteine für die Endschalter angebracht. Stark angefasste Kunststoffspitzen am vorderen Ende der Profile erleichtern die Behälteraufnahme.

Weitere Bauteile (Kaufteile bzgl. Elektro- und Vakuumtechnik) des Greifers:

- Feldbusstation: Turck FDNP-S0808G-TT
- Lichttaster: Leuze HRTR 3/44-150
- Endschalter: Saia Burgess PN4-GK26
- Antriebsmotor: Dunker DR 52.1x60-4/ASTO mit Schneckengetriebe SG 62
- Vakuumkompaktejektor: Schmalz SMP 25 NC AS VD
- Balgsauggreifer Schmalz FSGA 78 NBR-55 G1/4-AG

8.3.5 Sicherheitstechnik

8.3.5.1 Trennende Schutzeinrichtung

Um den ungesicherten Zutritt zur Roboterzelle zu verhindern, ist die Roboterzelle an drei Seiten mit einem Sicherheitszaun nach DIN EN ISO 12100-1, DIN EN ISO 13857, DIN EN 953 und DIN EN 1088 umgeben. An der 4. Seite bildet das automatische Kleinteilelager den Abschluss und verhindert den Zutritt.

Der Schutzzaun wurde nach der DIN EN ISO 13857 mit einer Schutzhöhe von 2400 mm ausgewählt. Die Zaunelemente beginnen ab 20 mm über dem Hallenboden. Für die Einzäunung der Halle wird das System KUKA.SafeRobot mitbetrachtet. Ohne dieses Sicherheitssystem müsste der Zaun noch weiter vom Roboter entfernt installiert werden. Bei den Abständen des Zaunsystems vom Roboter wurde beachtet, dass der Sicherheitsbereich des Roboters erst nach dem definierten Arbeitsbereich und dem Nachlauf (gemessen) beginnt. Die Türen im Schutzzaun sind neben der mechanischen Verriegelung zusätzlich elektronisch gesichert und stoppen den Roboter beim Öffnen.

Das verbaute Sicherheitszaunssystem vom Typ Flex II stammt von der Fa. Brühl Schutzeinrichtungen und wurde dem Lehrstuhl kostenlos für Forschungszwecke zur Verfügung gestellt.

8.3.5.2 Berührungslose trennende Schutzeinrichtung

Für die Greifraumbegrenzung der Roboterzelle wird die von KUKA als Zubehör angebotene Applikation: "KUKA.SafeRobot" eingesetzt. Diese berührungslos wirkende Schutzeinrichtung ist ein automatisches, redundant abgesichertes System aus Hard- und Software. Das System überwacht die Roboterstellungen und stellt diese den als „sicher“ definierten Grenzwerten gegenüber. Beim Verlassen der zulässigen Bereiche erfolgt eine Abschaltung der Roboterantriebe.

Bei konventionellen Systemen erfolgt die Arbeitsbereichsüberwachung mit mechanischen Achsbereichsschaltern. Das verwendete Paket vergleicht die von den Resolvern an den Motorwellen gelieferten Signale mit den Sollwerten. Dies ermöglicht schnelle Reaktionszeiten. Zudem können über diese Methodik alle Achsen gleichermaßen sicher überwacht und begrenzt werden.

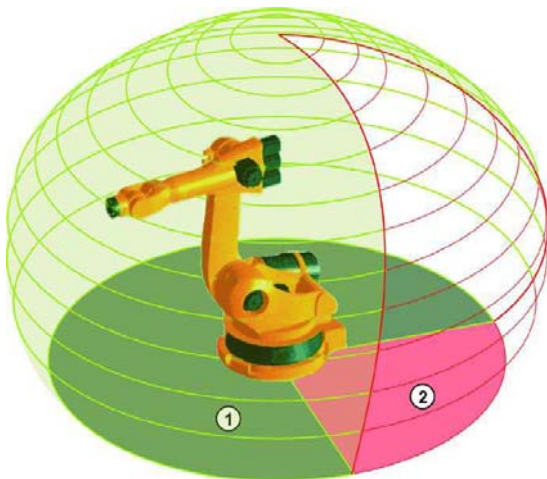


Abb. 8-19: „KUKA.SafeRobot“ Arbeits (1)- und Sicherheitsbereiche(2) für Roboter [Kuk-05a]

Arbeits- und Sicherheitsbereiche (Abb. 8-19): Für die Sicherheit der Roboterzelle wird als Arbeitsbereich lediglich der Bereich freigegeben, welcher maximal für die Erledigung der Zellfunktionen notwendig ist. Der restliche Greifbereich des hohlkugelförmigen Arbeitsbereichs wird als Schutzbereich definiert.

Referenzschalter. Zum sicheren Betrieb der Roboterzelle ist ein Referenzschalter im freigegebenen Arbeitsbereich des Roboters montiert. Nach jedem Booten der Robotersteuerung sowie bei laufendem Betrieb, in festgelegten Zeitabständen, muss eine Referenzfahrt durchgeführt werden, um die gespeicherte mit der realen Position abzugleichen.

Bei der Anbringung des Referenzschalters war zu beachten, dass dieser nicht an der Justageposition des Roboters oder einer singulären Position liegt. [Kuk-05a]

Um die Sicherheit der Zelle entsprechend den Anforderungen aus Abschnitt 7 zu gewährleisten, muss bei der Öffnung des Schutzzauns für die Palettenförderer eine berührungslose Sicherheitstechnik installiert werden. Die Anforderung ist hier, dass für den Palettierbetrieb Paletten zu- und abgeführt werden sollen, ohne dass dies den Betrieb des Roboters unterbricht. Am Markt finden sich mehrere Markenhersteller, die für solche Problemstellungen zertifizierte Standalone Standardlösungen bieten. Das hier verwendete Muting-Lichtgittersystem der Fa. Leuze bietet die benötigten Funktionalitäten. An der Schnittstelle zur Roboterzelle werden an den Seiten der beiden Rollenbahnen die Lichtgitter vom Typ: Lumiflex COMPACTplus mit jeweils einem Transmitter und Receiver installiert. Ein Steuergerät ist in diese Lichtgitter bereits integriert. Die Empfindlichkeit der Lichtvorhänge muss entsprechend dem Fördergut und der Fördergeschwindigkeit der Rollenförderer eingestellt werden.

8.4 Experimente

Die nachfolgenden Experimente bestätigen die Funktionstüchtigkeit des entstandenen Demonstrators. Der Demonstrator läuft nach mehreren Optimierungsschleifen, besonders im Bereich des Behältergreifers, sehr zuverlässig.

Bei der Realisierung des Konzepts „Lageranbindung“ lag der Fokus auf der technischen Machbarkeit. Daher sind die bei den Experimenten ermittelten Zeiten nur ein erster Anhaltspunkt. Der Roboter ist dabei nicht auf hohe Leistung optimiert, sondern belegt die beispielhafte technische Umsetzbarkeit.

Die Experimente dienten als Dateninput für die Simulation der Leistung von Abschnitt 6.3. In den nachfolgenden Experimenten wurde in mehreren Versuchsreihen von je 20 Behältern (eine ganze Palette) die Leistungsfähigkeit des Roboters bei den einzelnen Funktionen: Einlagern, Auslagern, Kommissionieren ermittelt.

8.4.1 Einlagern

Einlagern von KLT-Behältern von einer Palette auf der Anlieferbahn in die verschiedenen Regalfächer (Tabelle 6). Hierbei erreichte der Roboter eine durchschnittliche Prozesszeit von ca. 33 Sekunden. Eine weitere Variante der Einlagerung, ist das Depalettieren einer Palette auf den Rollenförderer als Abgabeort (Tabelle 7). Für diesen Prozess konnten durchschnittlich ca. 32 Sekunden gemessen werden. Die gemessenen Prozesszeiten waren hier wesentlich von der Positionierzeit vor dem Behälter abhängig. Der Grund für die lange Positionierzeit ist, dass die Positionsbestimmung mit dem verwendeten optischen Messsystem zu lange dauert. Im Anschluss an das Projekt ist noch geplant, ein anders Positioniersystem zu integrieren und neue Versuche durchzuführen.

Tabelle 6: Einlagern - Variante 1













Zeitschritt 1	Zeitschritt 2	Zeitschritt 3
 <p>Hinweg</p> <p>Dauer: 7,901</p>	 <p>Positionieren</p> <p>Dauer: 2,404</p>	 <p>Greifen- Lösen</p> <p>Dauer: 1,703</p>
Zeitschritt 4	Zeitschritt 5	Zeitschritt 6
 <p>Rückweg</p> <p>Dauer: 9,390</p>	 <p>Positionieren</p> <p>Dauer: 9,846</p>	 <p>Greifen - Aufnehmen</p> <p>Dauer: 1,900</p>






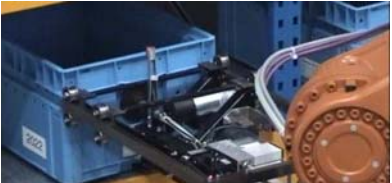
Tabelle 7: Einlagern Variante 2

Zeitschritt 1	Zeitschritt 2	Zeitschritt 3
 <p>Hinweg</p> <p>Dauer: 5,470</p>	 <p>Positionieren</p> <p>Dauer: 1,290</p>	 <p>Greifen- Lösen</p> <p>Dauer: 1,365</p>
Zeitschritt 4	Zeitschritt 5	Zeitschritt 6
 <p>Rückweg</p> <p>Dauer: 11,393</p>	 <p>Positionieren</p> <p>Dauer: 10,900</p>	 <p>Greifen - Aufnehmen</p> <p>Dauer: 1,947</p>

8.4.2 Auslagern

Beim Auslagern von KLT-Behältern aus den verschiedenen Regalfächern und Palettieren dieser Behälter auf einer Palette der Abförderstrecke waren besonders die großen Wegzeiten auffällig (Tabelle 8). Dies kann auf die eingeschränkten Bewegungsräume durch das Zellenlayout zurückgeführt werden. Die lange Dauer der Positionierzeit liegt, wie bei Abschnitt 8.4.1, an der Sensorik des Greifers. Für den Auslagerprozess ergab sich eine Durchschnittszeit ca. 44 Sekunden.

Tabelle 8: Auslagern

Zeitschritt 1	Zeitschritt 2	Zeitschritt 3
 <p>Hinweg</p> <p>Dauer: 9,824</p>	 <p>Positionieren</p> <p>Dauer: 5,032</p>	 <p>Greifen- Lösen</p> <p>Dauer: 1,384</p>
Zeitschritt 4	Zeitschritt 5	Zeitschritt 6
 <p>Rückweg</p> <p>Dauer: 15,412</p>	 <p>Postitionieren</p> <p>Dauer: 10,828</p>	 <p>Greifen - Aufnehmen</p> <p>Dauer: 1,848</p>






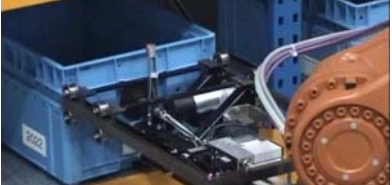
8.4.3 Kommissionieren

Für das Kommissionieren der KLT-Behälter werden diese aus den Regalfächern entsprechend der festgelegten Sortierreihenfolge auf die Abförderstrecke kommissioniert (Tabelle 9).

Die Durchschnittszeit für einen Prozess liegt bei ca. 34 Sekunden.

Auffallend lange Zeiten waren die Positionierzeit vor dem Behälter (Zeitschritt 5 Tabelle 9) und die lange Verfahrdauer von der Abförderstrecke zum Regalplatz.

Tabelle 9: Kommissionieren

Zeitschritt 1	Zeitschritt 2	Zeitschritt 3
 Hinweg Dauer: 8,560	 Positionieren Dauer: 1,290	 Greifen- Lösen Dauer: 1,365
Zeitschritt 4	Zeitschritt 5	Zeitschritt 6
 Rückweg Dauer: 10,32	 Positionieren Dauer: 10,828	 Greifen - Aufnehmen Dauer: 1,848







8.4.4 Umlagern

Beim Umlagern von Behältern werden diese von der Palette auf der Zuführstrecke im Wareneingang entnommen. Der Abgabeort des Behälters ist direkt daneben auf der Palette der Abführstrecke.

Die größten Zeitanteile sind die Wegzeiten des Roboters (Tabelle 10). Der Grund hierfür liegt darin, dass der Roboter von der Aufnahme bis zur Abgabe des Behälters fast eine 360° Drehung durchführt. Die Drehung ist dadurch bedingt, weil der Roboter sich nicht um seine eigene Achse drehen kann und zwischen den beiden Palettenförderstrecken die begrenzen- de Achse von 180°/-5° angebracht ist.

Dadurch ergibt sich eine Prozesszeit von ca. 39 Sekunden.

Tabelle 10: Umlagern

Zeitschritt 1	Zeitschritt 2	Zeitschritt 3
 <p>Hinweg</p> <p>Dauer: 8,272</p>	 <p>Positionieren</p> <p>Dauer: 5,052</p>	 <p>Greifen- Lösen</p> <p>Dauer: 1,392</p>
Zeitschritt 4	Zeitschritt 5	Zeitschritt 6
 <p>Rückweg</p> <p>Dauer: 12,788</p>	 <p>Postitionieren</p> <p>Dauer: 9,448</p>	 <p>Greifen - Aufnehmen</p> <p>Dauer: 1,873</p>

8.4.5 Leerpalettenhandhabung

Die Roboterzelle kann über die Zuführstrecke mit Leerpaletten versorgt werden. Diese werden in der Zellenmitte auf einem Leerpalettenstapel zwischengelagert.



Abb. 8-20: Leerpalettengreifer (links) und Leerpalettenhandhabung (rechts)

Sind ausreichend Leerpaletten vorhanden, kann der Roboter eine Leerpalette vom Leerpalettenstapel auf die Abführstrecke legen. Ebenso kann eine leere Palette von der Zuführstrecke auf den Leerpalettenstapel überführt werden. Für diesen Prozess vergehen, je nach Ausgangsposition des Roboters und inkl. der Aufnahme des Leerpalettengreifers, ca. 30 sec. bzw. ca. 34 sec (Abb. 8-20).

Für das Stapeln von Leerpaletten vom Wareneingangsband auf den Leerpalettenstapel benötigt der Roboter ca. 2 sec. weniger, also je nach Ausgangsposition ca. 24 sec. bzw. bis 28 sec.

8.4.6 Ergebnisse aus den Versuchen

Bei den Versuchsexperimenten wurden beispielhaft die Leistungen für die einzelnen Materialflussfunktionen ermittelt. Die Experimente halfen, die Entstehung der einzelnen Prozessfunktionen zu untersuchen. Die einzelnen Versuche zu den Materialflussfunktionen wurden je Prozessschritt ausgewertet und analysiert. Hieraus ergaben sich Optimierungspotenziale für jede der hier festgelegten Zeitkomponenten:

- Verfahrzeit
- Positionierzeit
- Greifzeit

Als besonders lange hat sich die Positionierzeit herausgestellt. Der dahinterstehende Grund ist die Objekterkennung, die sehr viel Prozesszeit verursacht. Der Grund hierfür ist die Art der Objekterkennung.

Ebenfalls ein deutliches Zeitpotenzial lässt sich aus der langen Verfahrszeit erkennen. Hieraus ist zu schließen, dass bei nicht optimierten Bahnkurven sehr deutliche Leistungseinbußen im Vergleich zu den theoretischen Leistungsdaten des Roboters entstehen.

Aus den Versuchen kann geschlossen werden, dass die prozesskritischen Zeiten durch die Steuerungs- und Identifikationstechnik wesentlich beeinflusst werden. Das Potenzial einer Optimierung wurde mit Hilfe der Leistungsuntersuchungen in Abschnitt 6 unternommen. Die einzelnen Faktoren und der Umfang der Optimierungsmöglichkeiten hängen von den zu erfüllenden Funktionen und den Anwendungsanforderungen des betrachteten Szenarios ab. Wesentlich für eine hohe Systemleistung ist eine optimale Systemintegration der Roboterzelle.

8.5 Zusammenfassung Umsetzung

Mit dem Demonstrator in der Versuchshalle wurde die technische Umsetzbarkeit der Idee der Funktionsvereinigung und des erarbeiteten Konzepts „Lageranbindung“ in einem Fallbeispiel unter Beweis gestellt. Dabei wurde das Augenmerk nicht auf das Erreichen hoher Leistungsdaten gelegt, sondern auf die beispielhafte technische Konzeptrealisierung und die Analyse der technischen Randbedingungen.

Bei der technischen Integration der einzelnen Komponenten im Versuchsfeld stellte sich heraus, wie umfangreich die Integration des Greifers mit seiner Sensorik ist. Obwohl es sich hier um einheitliche Ladungsträger (KLT-Behälter) handelt, ist die technische Realisierung und das Erreichen einer akzeptablen Prozesssicherheit mit zeitlichem Aufwand verbunden und erfordert entsprechendes Know-How zur Systemintegration, welches allerdings als Dienstleistung am Markt angeboten wird. Dies ist bei der Investitionsrechnung in Kapitel 6 berücksichtigt.

Der Demonstrator bestätigt die Gültigkeit und Anwendbarkeit des Konzepts der Funktionsintegration und belegt die gerätetechnische Umsetzbarkeit.

9 Fazit und Ausblick

9.1 Zusammenfassung

Aufgabe des Projektes war die Entwicklung und Bewertung von Möglichkeiten zur geräte-technischen Vereinigung von Materialflussfunktionen (Ein-/Auslagern, Kommissionieren, Palettieren etc.) durch den in der Logistik wenig verbreiteten Technologiebereich der Robotik. Als Ergebnis liegen detaillierte Konzepte zur funktionsintegrierenden Lösung von logistischen Aufgaben im Lagerumfeld vor. Um die Praktikabilität der erarbeiteten Konzepte zu überprüfen, wurden die Voraussetzungen für die technische und organisatorische Realisierbarkeit der Funktionsvereinigung und deren Auswirkungen untersucht. Darüber hinaus wurden das Leistungspotenzial und die Wirtschaftlichkeit der Funktionsvereinigung in der Lagertechnik analysiert. Ergänzend zu diesen theoretischen Untersuchungen erfolgte die Umsetzung eines Demonstrators in der Forschungsstelle.

In einem ersten Schritt erfolgte die Analyse und Darstellung der technischen Grundlagen des Technologiebereichs der Robotik. Zudem wurden die Anforderungen und Möglichkeiten der Roboterintegration in die Logistik erarbeitet. Die elementare Aufgabe eines Industrieroboters in einem Materialflusssystem ist die Manipulation von Greifobjekten. Auf die Erfüllbarkeit von logistischen Funktionen mit einem Roboter hat die Greifbarkeit der Handhabungsobjekte daher entscheidende Bedeutung.

Die Materialflussfunktionen wurden in einem zweiten Schritt hinsichtlich ihrer einzelnen Handhabungsaufgaben analysiert. Maßgeblich für die Vereinigung der unterschiedlichen Materialflussfunktionen ist neben der technischen Realisierbarkeit die zeitliche und räumliche Vereinbarkeit. Vor diesem Hintergrund erfolgte eine Auswahl an kombinierbaren Materialflussfunktionen und die Ausarbeitung und Bewertung von theoretischen, geräteunabhängigen Lösungsalternativen. Neben sechs paarweisen Kombinationen wurden dabei fünf weitere Konzepte mit mehr als zwei kombinierten Funktionen erstellt und diskutiert. Eines der Konzepte, das die Funktionen Einlagern, Auslagern und Kommissionieren vereint, diente als Grundlage für den Aufbau eines Demonstrators an der Forschungsstelle, um die Potenziale der Funktionsvereinigung im praktischen Einsatz zu validieren. Die Auswirkungen auf angrenzende Technikbereiche wurden bei den angestellten Untersuchungen beachtet und die Anforderungen an die technischen Lösungen insbesondere in den Bereichen Sicherheit und Steuerung herausgestellt.

Anschließend wurden Leistungs- und Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen für die Funktionsvereinigung durchgeführt und die entscheidenden Leistungs- und Kosteneinflüsse ermittelt. Auf die allgemeingültige Betrachtung folgten eine Kostenrechnung und eine Materialflusssimulation zur Leistungsermittlung am Beispiel des Demonstrators. Auf diese Weise konnten wesentliche Kostentreiber sowie Einflüsse auf die Leistung einer Roboterzelle systematisch aufgezeigt werden.

Planung, Aufbau und Inbetriebnahme des Demonstrators bildeten die Basis für praktische Versuche an der Forschungsstelle. Hierfür wurde u. a. ein spezieller Behältergreifer entwickelt. Die erfolgreiche Umsetzung des Demonstrators zeigt die Randbedingungen, das Potenzial und die tatsächliche Leistungsfähigkeit eines Industrieroboters zur Funktionsvereinigung in der Lagertechnik.

9.2 Ausblick

Nachdem sich in den letzten Jahren die Robotik im Bereich der Palettierung etabliert hat, wird die Robotik mittlerweile als Alternative zur konventionellen Materialflusstechnik wahrgenommen. Das im Forschungsprojekt untersuchte Prinzip der Funktionsintegration mit Hilfe von Roboter findet allerdings aktuell in der industriellen Praxis noch wenig Berücksichtigung.

Unter Zuhilfenahme der Ergebnisse dieses Forschungsprojekts ist es den kmU zukünftig leichter möglich, ihre spezifischen Anwendungsszenarien für die Funktionsintegration zu planen und zu einer fundierten Analyse der technisch-wirtschaftlichen Realisierbarkeit zu kommen. Ein aufwändiges Simulationsmodell ist für die aussagekräftige Ermittlung der Leistung der geplanten Roboterzelle von hoher Bedeutung. Im Laufe der Projektlaufzeit hat sich in diesem Zusammenhang herausgestellt, dass ein simulationsbasiertes, modulares Planungstool die Anwendbarkeit der erarbeiteten Erkenntnisse vereinfachen würde. Wegen der Anzahl und Verschiedenartigkeit der Umsetzungsmöglichkeiten ist das Modell modular aufzubauen. Die Entwicklung eines derartigen Werkzeugs könnte die konsequente Fortführung des vorliegenden Forschungsprojekts sein.

9.3 Fazit

Mit den im Forschungsprojekt „Funktionsvereinigung in der Lagertechnik“ erarbeiteten Grundlagen ist es kmU nun möglich, den funktionsintegrierenden Robotereinsatz in Materialflusssystemen systematisch zu planen und umzusetzen. Die entwickelte Methodik hilft bei der Untersuchung der kombinierbaren Materialflussfunktionen und die vorgestellten Konzepte zeigen die konkreten Potenziale der Funktionsvereinigung in der Materialflussplanung auf. Mit der Realisierung des Demonstrators in der Forschungsstelle konnte zudem eine erste

Referenz für die Umsetzung gegeben werden. Es konnten so die wesentlichen Einflüsse auf Leistung und Kosten eines funktionsintegrierten Materialflusssysteme untersucht und die allgemeingültige Methodik validiert werden. Die Auswirkungen auf angrenzende Technikbereiche wurden in den verschiedenen Untersuchungen beachtet und herausgestellt. Der Demonstrator bestätigt die Gültigkeit und Anwendbarkeit der Konzepte und kann so zu einer verstärkten Umsetzung der Forschungsergebnisse in der industriellen Praxis führen.

Das Ziel des Vorhabens wurde erreicht.

10 Literaturverzeichnis

- [abb-07] www.abb.de
Internetauftritt der ABB Asea Brown Boveri Ltd., Zürich. Letzter Zugriff: September 2008.
- [All-99] Allgayer, F.: Computergestützte Planung von Materialflußsystemen auf Basis Statischer Materialflüsse. München: Herbert Utz Verlag Wissenschaft 1999.
- [Arn-02] Arnold, D., Steckel, B: Video-Kommissionieren. In F+H Fördern und Heben 04/2002. S. 222-223.
- [Arn-04] Arnold, D.; Isermann, H.; Kuhn, A.; Tempelmeier, H. (Hrsg.): Handbuch Logistik. 2. Auflage. Berlin u.a.: Springer 2004.
- [Ble-99] Blessing, S.: Gestaltung der Materialflusststeuerung in dynamischen Produktionsstrukturen. Herbert Utz Verlag Wissenschaft. München 1999. (iwb Forschungsberichte 134).
- [Ber-05] Bergmann, F.: Automatisches Palettieren von Versandkartons. In: Schaft, R. D.; Westkämper, E. (Hrsg.): Roboter in der Intralogistik. Aktuelle Trends. Moderne Technologien. Neue Anwendungen. Stuttgart 2005. (Fraunhofer IPA Technologieforum F113) S. 60-77. [Bod-04] Bode, W.; Preuß, R. W.: Intralogistik in der Praxis. Komplettanbieter der Intralogistik. Suhl: WirtschaftsVerlag W.V. GmbH 2004.
- [Bul-94] Bullinger, H.-J., Lung, M.M.: Planung der Materialbereitstellung in der Montage. Stuttgart, B.G. Teuber 1994.
- [csi-07] www.csi-deutschland.de
Internetauftritt der CSi GmbH, Hamminkeln. Letzter Zugriff: September 2008.
- [DIN-30820] Deutsches Institut für Normung (DIN) (Hrsg.): DIN 30820 Teil. 1-5: Klein-Ladungs-Träger-System (KLT-System) Berlin: Beuth Verlag GmbH 1989.
- [DIN-55405] Deutsches Institut für Normung (DIN) (Hrsg.): DIN 55405 - Begriffe für das Verpackungswesen. Berlin: Beuth Verlag GmbH 2006.

- [DIN-EN-953] Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN EN 953 Sicherheit von Maschinen: Trennende Schutzeinrichtungen – Allgemeine Anforderungen an Gestaltung und Bau von feststehenden und beweglichen trennenden Schutzeinrichtungen. Berlin: Beuth Verlag GmbH 1997.
- [DIN-EN-999] Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN EN 999 Sicherheit von Maschinen: Anordnung von Schutzeinrichtungen im Hinblick auf Annäherungsgeschwindigkeiten von Körperteilen. Berlin: Beuth Verlag GmbH 2008.
- [DIN-EN-1088] Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN EN 1088 Sicherheit von Maschinen: Verriegelungseinrichtungen in Verbindung mit trennenden Schutzeinrichtungen. Berlin: Beuth Verlag GmbH 1995.
- [DIN-EN-ISO-12100-1] Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN EN ISO 12100-1 Sicherheit von Maschinen: Grundbegriffe, allgemeine Gestaltungsleitsätze Teil 1: Grundsätzliche Terminologie, Methodologie. Berlin: Beuth Verlag GmbH 2003.
- [DIN-EN-ISO-10218-1] Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN EN ISO 10218-1 Industrieroboter – Sicherheitsanforderungen Teil 1: Roboter. Berlin: Beuth Verlag GmbH 2006.
- [DIN-EN-ISO-10218-2] Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN EN ISO 10218-2 Industrieroboter – Sicherheitsanforderungen Teil 2: Robotersystem mit integration. Berlin: Beuth Verlag GmbH 2008.
- [DIN-EN-ISO-13850] Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN EN ISO 13850 Sicherheit von Maschinen: Not-Halt- Gestaltungsleitsätze. Berlin: Beuth Verlag GmbH 2008.
- [DIN-EN-ISO-13857] Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN EN ISO 13857 Sicherheit von Maschinen: Sicherheitsabstände gegen das Erreichen von Gefährdungsbereichen mit den oberen und unteren Gliedmaßen. Berlin: Beuth Verlag GmbH 2008.
- [DIN-EN-ISO-13849-1] Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN EN ISO 13849-1 Sicherheit von Maschinen: Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen Teil 1: Allgemeine Gestaltungsgrundsätze. Berlin: Beuth Verlag GmbH 2006.

- [DIN-EN-ISO-14121] Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN EN ISO 14121 Sicherheit von Maschinen - Risikobeurteilung - Teil 1: Leitsätze. Berlin: Beuth Verlag GmbH 2007.
- [DIN-EN-ISO-14121-1] Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN EN ISO 14121-1 Sicherheit von Maschinen: Risikobeurteilung Teil 1: Leitsätze. Berlin: Beuth Verlag GmbH 2007.
- [DIN-EN-60204-1] Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN EN 60204-1 Sicherheit von Maschinen - Elektrische Ausrüstung von Maschinen - Teil 1: Allgemeine Anforderungen. Berlin: Beuth Verlag GmbH 2007.
- [DIN-EN-61496-1] Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN EN 61496-1 Sicherheit von Maschinen - Berührungslos wirkende Schutzeinrichtungen - Teil 1: Allgemeine Anforderungen und Prüfungen. Berlin: Beuth Verlag GmbH 2005.
- [DIN-EN-61496-3] Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN EN 61496-3 Sicherheit von Maschinen - Berührungslos wirkende Schutzeinrichtungen - Teil 3: Besondere Anforderungen an aktive optoelektronische diffuse Reflektion nutzende Schutzeinrichtungen. Berlin: Beuth Verlag GmbH 2005.
- [dlr-08] www.dlr.de
Internetauftritt des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt.
Letzter Zugriff: Spetember 2008.
- [Due-01] Dürrschmidt, S.: Planung und Betrieb wandlungsfähiger Logistiksysteme in der variantenreichen Serienproduktion, Herbert Utz Verlag Wissenschaften, München 2001.
- [EAD-06] EADS Space Transportation GmbH: Die „Intelligenz“ des Paketroboters. Bremen 2006.
- [fan-07] www.fanucrobotics.de
Internetauftritt der FANUC Robotics Deutschland GmbH, Neuhausen a. d. F.. Letzter Zugriff: September 2008.
- [Fis-04] Fischer, W.; Dittrich, L.: Materialfluss und Logistik. Potenziale vom Konzept bis zur Detailauslegung. 2.Auflage. Berlin: Springer 2004.

- [Fri-04] Fritsch, D.: Kommissionierroboter - von der Speziallösung zum wirtschaftlichen Standardprodukt.
In: LOGISTIK für Unternehmen 09/2004, S. 32-35.
- [Fri-06] Fritsch, D.; Wöltje, K.; Baumeister, G.; Spiekermann, U.; Lambert, G.; Zimmermann, U.; Wurl, C.; Richter, R.; Schmierer, G.; Schaaf, W.: Abschlussbericht für das Projekt Branchenunabhängige Basismodule für ein Kommissioniersystem - KomRob. Stuttgart 2006.
- [geb-07] www.gebhard-online.de
Internetauftritt von Gebhard Abfüll- und Verpackungstechnik, Hallbergmoos. Letzter Zugriff: März 2006.
- [Gud-73] Gudehus, T.: Grundlagen der Kommissioniertechnik. Dynamik der Warenvertei- und Lagersysteme. Essen: Girardet 1973.
- [Gün-07] Günthner, W.A.: Technische Innovationen für die Logistik. 1. Auflage. München: Huss-Verlag GmbH 2007.
- [Hah-07] Hahn-Woernle, C.: „Intralogistik und Automatisierung“.
In: Fraunhofer Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA: Roboter in der Intralogistik. Aktuelle Trends - Moderne Technologien - Neue Anwendungen. Stuttgart 2007. (Fraunhofer IPA Technologieforum F144), S. 7-12.
- [Hal-99] Haller, M.: Bewertung de Flexibilität automatischer Systeme der variantenreichen Großserienproduktion. München: Herbert Utz Verlag Wissenschat 1999.
- [Hei-06] Heidenblut, V.: Trends in der Kommissioniertechnik. Light und Voice liegen gut im Rennen.
In: Fördern und Heben 05/2006, S. 221-223.
- [hei-07] www.hgs-greifer.de
Internetauftritt von Heister-Greifer-Systeme, Bornheim. Letzter Zugriff: September 2008.
- [Hep-04] Heptner, K.: Strategie für die Erstellung von Systempaletten.
In: Distribution 02/2004, S. 29-30.

- [Hep-98] Heptner, K.: Einteilung der Lager nach ihrer Funktion. In: Dück, O. (Hrsg.): Lagerplanung, organisation und –optimierung. WEKA. Augsburg, 1998.
- [Hes-91] Hesse, S.: Greifer-Praxis. Greifer in der Handhabungstechnik. 1.Auflage. Würzburg: Vogel 1991.
- [Hes-93] Hesse, S.: Handhabungsmaschinen. 1. Auflage. Würzburg: Vogel-Verlag 1993.
- [Jün-89] Jünemann, R.: Materialfluß und Logistik. Systemtechnische Grundlagen mit Praxisbeispielen. Berlin: Beuth 1989.
- [kna-08] www.knapp.com
Internetauftritt der Knapp AG, Hart/Graz. Letzter Zugriff: September 2008.
- [Kle-05] Kleinendonk, N.: Automatisches Kommissionieren. Standard Industrie-Roboter vs. Spezialgerät. Vortrag LogiMAT 2005.
- [kom-07] www.komatec.de
Internetauftritt der Komatec Maschinenbau GmbH, Enkenbach-Alsenborn. Letzter Zugriff: September 2008.
- [Kor-01] Abschlussbericht KORINNA (Komponenten für Roboter in innovativen Anwendungen). Teilprojekt ISAS (Intelligentes Sensor-Aktor-System). Contract BMBF 02PV1060 68, 2001.
- [Kre-94] Kreuzer, E. J.: Industrieroboter. Berlin u.a.: Springer 1994.
- [KUK-00] KUKA: Handhaben von Getränkeboxen mit KR 180 PA. Bericht Nr. R171. Implementierung: 02.10.2000.
- [KUK-02] KUKA: Palettierroboter stapelt Kartons. Bericht Nr. R203. Implementierung: 01.04.2002.
- [KUK-03] KUKA: Palettieren von Molkereiprodukten. Bericht Nr. 258. Implementierung: 01.12.2003.
- [KUK-05a] KUKA. Safe Robot: Release 1.0 KUKA System Software (KSS) Release 5.4. Augsburg: KUKA Roboter GmbH 2005.
- [KUK-05b] KUKA: spez. KR150-3/180-2/210-2/240-2. Augsburg: KUKA Roboter GmbH 2005.

- [KUK-07] www.kuka.com
Internetauftritt der KUKA Roboter GmbH, Augsburg. Letzter Zugriff: September 2008.
- [KUK-99a] KUKA: Handhaben von Getränkeverpackungen. Bericht Nr. R150. Implementierung: 17.03.1999.
- [KUK-99b] KUKA: Anbringen von Codezetteln. Bericht Nr. R159-1. Implementierung: 01.11.1999.
- [Lam-06] Lambert, G.: Moderne Verfahren der Objekterkennung und Lokalisierung für Anwendungen in der Logistik. Vortrag. Augsburg 2006.
- [Led-05] Ledermann, T.: Effiziente Bildverarbeitung für die Logistik.
In: Schaft, R. D.; Westkämper, E. (Hrsg.): Roboter in der Intralogistik. Aktuelle Trends. Moderne Technologien. Neue Anwendungen. Stuttgart 2005. (Fraunhofer IPA Technologieforum F113), S. 36-48.
- [Led-07] Ledermann, T.: Bildverarbeitungssysteme für Handhabungsaufgaben im innerbetrieblichen Materialfluss.
In: Fraunhofer Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA: Roboter in der Intralogistik. Aktuelle Trends - Moderne Technologien - Neue Anwendungen. Stuttgart 2007. (Fraunhofer IPA Technologieforum F144), S. 31-44.
- [Les-05] Lessau, T.: Palettieren von Säcken und Fässern in der chemischen Industrie
In: Schaft, R. D.; Westkämper, E. (Hrsg.): Roboter in der Intralogistik. Aktuelle Trends. Moderne Technologien. Neue Anwendungen. Stuttgart 2005. (Fraunhofer IPA Technologieforum F113), S. 49-59.
- [log-07a] www.logistik-bilder.de
Internetauftritt der Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e. V., München. Letzter Zugriff: September 2008.
- [Mar-99] Martin, H.: Praxiswissen Materialflußplanung. Transportieren Handhaben Lagern Kommissionieren. Braunschweig: Vieweg 1999.

- [Meh-91] Mehldau, M.: Beitrag zur Teilautomatisierung des Materialflusses als Instrument logistischer Systemgestaltung.
In: Baumgarten, H.: Schriftenreihe der Bundesvereinigung Logistik (BVL): Band 25. München: Huss-Verlag 1991.
- [NN-99] N.N.: Roboter kommissioniert Holztüren auftragsbezogen im Hochregallager.
In: Logistik für Unternehmen 09/1999, S. 50-51.
- [NN-00] N. N.: Kräftige Helfer. Kein Marktsegment für Roboter wächst derzeit schneller als das Palettieren.
In: Materialfluss 03/2000, S. 57-58.
- [NN-06a] N. N.: Depalettier-Problem für viele Produkte gelöst.
In: Materialfluss Spektrum 04/2006, S.20.
- [NN-06b] N. N.: Die Ware schneller zum Kunden bringen.
In: Materialfluss Logistik Effizient 07/2006, S. 22-25.
- [NN-06c] N. N.: Maßgeschneiderter Portalroboter. Wenig Platz und hohe Anforderungen an die Hygiene - das waren die Herausforderungen, die die neuen Palettierroboter beim Pharmahersteller Merckle zu leisten haben.
In: Materialfluss 10/2006, S. 18-19.
- [NN-06d] N. N.: Rasant, dynamisch und flexibel.
In: Materialfluss Logistik Effizient 07/2006, S. 32-35.
- [NN-06f] N. N.: Modulare Robotersysteme in der Intralogistik. Von der Speziallösung zum wirtschaftlichen Standardprodukt.
In: *Interaktiv* Fraunhofer IPA 3.2006, S. 6-9.
- [Pan-05] Pannenkamp, J.: Fertigungsmesstechnik - Einführung in die Bildverarbeitung. Vorlesungsskriptum: Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb der Universität Stuttgart 2005.
- [Pfo-94] Pfohl, H.-C.: Logistikmanagement: Funktionen und Instrumente. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag 1994.
- [rei-07] www.reisrobotics.de
Internetauftritt der Reis GmbH & Co. KG Maschinenfabrik, Obernburg. Letzter Zugriff: September 2008.

- [Rop-99] Ropohl, G.: Allgemeine Technologie – Eine Systemtheorie der Technik. 2. Auflage. München, Wien: Carl Hanser Verlag 1999.
- [Ref-90] REFA – Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e. V.: Planung und Betrieb komplexer Produktionssysteme. München: Hanser Verlag 1990.
- [Sch-04] Schütze, R.: Automatisches Kommissionieren mit Regalbediengerät;
In: VDI-Gesellschaft Fördertechnik, Materialfluss, Logistik: 14. Deutscher Materialfluss-Kongress. Intralogistik, Innovation und Praxis. Düsseldorf: VDI-Verlag 2005. (VDI-Berichte Nr. 1882).
- [Sch-06a] Schnoor, B.: Körperkanten erschließen Produktvielfalt. Roboter können in Warenverteilzentren körperlich schwere Arbeit ersetzen.
In: industrie.de 02/2006, S.36.
- [Sch-06b] Schaaf, W. H.; Mäder, K.-H.: Vacuum Layer Grippers: Applications, System Concepts and Key Issues.
In: VDI Wissensforum IWB GmbH (Hrsg.): Robotik 2006. Düsseldorf: VDI 2006. (VDI-Berichte 1956).
- [Sch-06c] SCHUNK GmbH & Co. KG: Katalog Greifmodule Automation. Lauffen/Neckar 2006.
- [Sch-06d] SCHUNK GmbH & Co. KG: Katalog Roboterzubehör Automation. Lauffen/Neckar 2006.
- [Sch-06e] Schaaf, W.; Richter, R.: Modularer Greiferbaukasten. Komponenten und Anwendungsbeispiele. Augsburg 2006.
- [Sch-07] Schaaf, W.: Flexible Greifsysteme für die Intralogistik.
In: Fraunhofer Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA: Roboter in der Intralogistik. Aktuelle Trends - Moderne Technologien - Neue Anwendungen. Stuttgart 2007. (Fraunhofer IPA Technologieforum F144), S. 13-30.
- [Sev-00] Severin, H. G.: Roboter erfüllen Kundenwünsche.
In: Hebezeuge und Fördermittel 03/2000, S. 158-161

- [Sev-07] Severin, H. G.: Kommissionieren und Palettieren von Getränken mit Robotern.
In: Fraunhofer Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA: Roboter in der Intralogistik. Aktuelle Trends - Moderne Technologien - Neue Anwendungen. Stuttgart 2007. (Fraunhofer IPA Technologieforum F144), S. 69-80.
- [soc-07] www.socosystem.de
Internetauftritt der SOCO SYSTEM GmbH, Oberhausen. Letzter Zugriff: September 2008.
- [som-08] www.sommer-automatic.de/
Sommer-automatic GmbH & Co. KG. Zugriff: September 2008.
- [Spi-05] Spiekermann, U.: Intralogistik und Automatisierung.
In: Schaft, R. D.; Westkämper, E. (Hrsg.): Roboter in der Intralogistik. Aktuelle Trends. Moderne Technologien. Neue Anwendungen. Stuttgart 2005. (Fraunhofer IPA Technologieforum F113) S. 9-16.
- [Sta-93] Stapf, B.: Belegfreie Auftragsbearbeitung am Beispiel des Industrie-Zulieferers Bossard Verbindungstechnik.
In: VDI-Berichte Nr. 1051 „Kommissionieren“. Düsseldorf: VDI-Verlag 1993, S. 75-86.
- [Ste-03] Stein, N.: Bildverarbeitung in der Distributionslogistik. Grundlagen und Einsatzmöglichkeiten.
In: VDI-Gesellschaft Fördertechnik, Materialfluss, Logistik: 12. Deutscher Materialfluss-Kongress. Technologie für die Intralogistik. Düsseldorf: VDI-Verlag 2003. (VDI-Berichte Nr. 1744). S. 80-88.
- [VDI-2385] Verein Deutscher Ingenieure (VDI)(Hrsg.): VDI 2385 Leitfaden für die Materialflussgerechte Planung von Industrieanlagen. Berlin: Beuth Verlag GmbH 1998.
- [VDI-2411] Verein Deutscher Ingenieure (Hrsg.): VDI 2411 Begriffe und Erläuterungen im Förderwesen. Berlin: Beuth Verlag GmbH 1970.
- [VDI-2515] Verein Deutscher Ingenieure (Hrsg.): Pressemitteilung zur Richtlinie VDI 2515 Blatt 1 Identträger in Stückgut-Fördersystemen; Strichcode (Barcode) vom 07.11.1994.

- [VDI-2860] Verein Deutscher Ingenieure (Hrsg.): VDI-Richtlinie 2860. Montage- und Handhabungstechnik. Handhabungsfunktionen, Handhabungseinrichtungen; Begriffe, Definitionen, Symbole.. Berlin: Beuth 2006.
- [VDI-3590/1] Verein Deutscher Ingenieure (Hrsg.): VDI-Richtlinie 3590 Blatt 1. Kommissioniersysteme. Grundlagen. Berlin: Beuth 2006.
- [VDI-3590/2] Verein Deutscher Ingenieure (Hrsg.): VDI-Richtlinie 3590 Blatt 2. Kommissioniersysteme. Systemfindung. Berlin: Beuth 2006.
- [VDI-3629] Verein Deutscher Ingenieure (Hrsg.): VDI-Richtlinie 3629. Organisatorische Grundfunktionen im Lager. Berlin: Beuth 2006.
- [VDI-3633/1] Verein Deutscher Ingenieure (Hrsg.): VDI-Richtlinie 3633 Blatt 1. Simulation von Logistik-, Materialfluß- und Produktionssystemen – Grundlagen. Berlin: Beuth 2000.
- [VDI-3968] Verein Deutscher Ingenieure (Hrsg.): VDI-Richtlinie 3968 Blatt 1. Sicherung von Ladeeinheiten. Anforderungsprofil. Berlin: Beuth 2006.
- [VDI-4415] Verein Deutscher Ingenieure (Hrsg.): VDI-Richtlinie 4415. Automatisierte Kommissionierung. Berlin: Beuth 2006.
- [Wes-00] Westkämper, E.: Ansätze zur Wandlungsfähigkeit von Unternehmen.
In: wt Werkstatttechnik online 90 (2000) H. 1/2, S. 22-26.
- [Wec-95] Weck, M.: Werkzeugmaschinen I (Maschinenarten und Anwendungsbereiche). 6., neu bearbeitete Auflage. Berlin u.a.: Springer 2005.
- [Wie-02] Wiendahl, H.-P.: Wandlungsfähigkeit – Schlüsselbegriff der zukunftsfähigen Fabrik
In: wt Werkstatttechnik online 92 (2002) 4, S. 122-127.
- [Wil-05] Wilke, M.: Wandelbare automatisierte Materialflusssysteme für dynamische Produktionsstrukturen.
München: Herbert Utz Verlag 2006.
- [Woe-06] Woernle, C.: Robotertechnik. Vorlesungsskriptum: Lehrstuhl für Technische Dynamik der Universität Rostock 2006.

- [Woh-05] Wohlfahrt, A.: Reibschlüssige Greifsysteme für die automatische Handhabung im Materialfluss.
In: Logistics Journal 2005.
- [Wol-04] Wolf, A.; Steinmann, R.: Greifer in Bewegung. Faszination der Automatisierung von Handhabungsaufgaben. München: Hanser 2004.
- [Wol-05] Wolf, A.: Greiftechnik - der Schlüssel zu neuen Roboteranwendungen.
In: Schaft, R. D.; Westkämper, E. (Hrsg.): Roboter in der Intralogistik. Aktuelle Trends. Moderne Technologien. Neue Anwendungen. Stuttgart 2005. (Fraunhofer IPA Technologieforum F113) S. 21-35
- [Wur-02a] Wurll, C.: "Pick From Pallet" - Automated Order Picking with Industrial Rots.
In: VDI-Berichte Nr. 1679 "Robotik 2002 – Leistungsstand – Anwendungen – Visionen - Trends". 19./20.06.2002
- [Wur-02b] Wurll, C.: "Pick From Belt" - Automated Order Picking with Industrial Robots;
In: International Symposium on Robotics. Stockholm. 07.-11.10.2002
- [Wur-04] Wurll, C.: Kommissionieren mit Robotern.
In: Bey, I. (Hrsg.): Karlsruher Arbeitsgespräche 2004. Wege zur individualisierten Produktion. Karlsruhe: Forschungszentrum Karlsruhe GmbH 2004. S. 271-280.
- [Wur-05] Wurll, C.: Robogistics - Robotik und Logistik im Wandel der Zeit.
In: VDI-Gesellschaft Fördertechnik, Materialfluss, Logistik: 14. Deutscher Materialfluss-Kongress. Intralogistik, Innovation und Praxis. Düsseldorf: VDI-Verlag 2005. (VDI-Berichte Nr. 1882). S. 47-55.
- [Zäh-03] Zäh, M: Reaktionsszenario Minifabrik.
In: wt Werkstatttechnik online 93 (2003) H. 9, S. 646-650.
- [Zäh-05] Zäh, M.: Montage, Handhabung, Industrieroboter. Vorlesungsskriptum: Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften der TU München 2005.

11 Anhang

11.1 Ausführungen „Paarweiser Vergleich“

Einlagern

„Einlagern“ und „Auslagern“: Zwischen diesen Funktionen findet stets das eigentliche Lagern, im Sinne von Aufbewahren, statt. Ist dies nicht der Fall, entfällt sowohl das Ein- als auch das Auslagern. Auch wenn eine zeitliche Kombination der beiden Funktionen nicht sinnvoll ist, können diese räumlich zusammengelegt werden. Ein- und Auslagerung erfolgen im Lager und der Lagervorzone und benötigen ähnliche oder gleiche Infrastruktur, wie Förderer oder den Anschluss an ein Warenwirtschafts- oder Lagerverwaltungssystem.

„Einlagern“ und „Kommissionieren“: Im Einzelfall kann es sinnvoll sein, in der Zusammensetzung einzulagern, in der die Ware beim Ausliefern benötigt wird. Direkt vor dem Einlagern findet dann die (Vor-)Kommissionierung statt. Für diesen Fall ist eine erfolgreiche Kombination der beiden Funktionen denkbar.

„Einlagern“ und „Verpacken“: Die Ware gelangt erst nach der Auslagerung in die Versandverpackung und kann deshalb nicht bereits beim Einlagern verpackt werden. Eine Ausnahme stellt vorkommissionierte Ware dar. Wenn diese einen hohen Anteil an allen Einlagerungsvorgängen hat, ist es zweckmäßig, sie einzubeziehen. Die Funktionen Einlagern und Verpacken unterscheiden sich sehr stark und benötigen keine gemeinsame Infrastruktur. Also ist auch eine räumliche Kombination nicht zielführend.

„Einlagern“ und „Prüfen“: Das Prüfen der Ladeinheit ist häufig Teil der Einlagerung. Eine Integration der Funktionen bietet sich sowohl räumlich als auch zeitlich an. Bei vielen Lagern vervollständigt eine Prüfeinrichtung den Einlagerungspunkt (E-Punkt).

„Einlagern“ und „Inventur“: Jede Ware durchläuft im Standardfall das Lager. Ausnahmen bilden z.B. Güter bei Cross-Docking-Vorgängen oder Artikel, die direkt in der Kommissionierung benötigt werden. Die Inventur muss alle Artikel erfassen. Deshalb ist es sinnvoll, die Inventur bei der Einlagerung durchzuführen, die fast der gesamte Warenstrom passiert. Güter, die nicht eingelagert werden, müssen statistisch berücksichtigt oder an anderer Stelle gezählt werden. Grundsätzlich können auf diese Art und Weise Mengenveränderungen (z.B. durch Diebstahl), die im Lager geschehen, nicht erkannt werden. Gegebenenfalls ist die Durchführung der Inventur beim Auslagern zu bevorzugen.

„Einlagern“ und „Einlagerung vorbereiten“: Grundsätzlich finden die vorbereitenden Schritte zwar zeitnah, jedoch vor dem Einlagern statt. Um Wege zu vermeiden, können die Bereiche nahe beieinander liegen. Hier stellt sich die Frage, ob unter anderem die Palettierung direkt bei der Einlagerung ablaufen muss oder ob dadurch Probleme auf Grund des Platzbedarfes entstehen.

„Einlagern“ und „Funktionen nach der Auslagerung“: Da diese Funktionen stets durch das Lagern und Auslagern getrennt sind, ist eine zeitliche Zusammenfassung unmöglich. Auch räumlich kann eine Kombination nicht sinnvoll sein, weil keine Gemeinsamkeiten in den Abläufen und bei der benötigten Technik existieren.

„Einlagern“ und „Etikettieren“: Etikettieren ist wesentlicher Bestandteil der Einlagerung und ist deshalb vielerorts bereits in den Einlagerungsprozess integriert. Oftmals befindet sich beispielsweise am Förderer zum Hochregallager ein Etikettierer, der die Ware kennzeichnet.

„Einlagern“ und „Ladung sichern“: Es kann notwendig sein, die (Paletten-)Ladung vor dem Einlagern zu sichern. Vor allem wenn vorbereitende Schritte stattgefunden haben, die zu neuen Ladeeinheiten geführt haben, muss dies geprüft werden. Beispiele für Prozessschritte vor dem Einlagern sind Zulagern und sortenreines Umpacken von Mischpaletten.

„Einlagern“ und „Identifizieren“: In jedem Fall muss im Zuge der Einlagerung eine Identifizierung der Ware erfolgen. Entweder geschieht dies durch einen Mitarbeiter, der die Ware z.B. durch einen beiliegenden Lieferschein identifiziert oder es existiert ein Scanner, der die Ware automatisch erfasst. Die Ware kann erst eingelagert und gebucht werden, wenn ihre Identität bekannt ist.

„Einlagern“ und „Vereinzeln & Zusammenfassen“: Die beiden Funktionen sind sich nicht ähnlich. Dennoch kann es Fälle geben, in denen (De-)Palettieraufgaben eng an das Einlagern geknüpft werden. Diese Situation tritt ein, wenn aus den angelieferten Palettenladungen neue Einheiten zum Einlagern gebildet werden.

Auslagern

„Auslagern“ und „Kommissionieren“: Der Auslagerungsprozess unterscheidet sich sehr deutlich von der Kommissionierung. Eine zeitliche Zusammenlegung der Funktionen bringt keine Vorteile. Räumliche Nähe von Auslagerung und Bereitstellung für die Kommissionierung ist wegen der kurzen Wege sinnvoll, obwohl keine oder fast keine Infrastruktur gemeinsam genutzt wird.

„Auslagern“ und „Verpacken“: Die Lagereinheit entspricht normalerweise nicht der Verkaufs- oder Versandeinheit. Deshalb ist es unmöglich die gelagerte Ware direkt, d.h. ohne Schritte zur Kommissionierung, zu verpacken. Zeitlich fallen Auslagern und Verpacken deshalb nur in Ausnahmefällen zusammen. Während der Auslagerungsprozess kaum Platz benötigt, muss beim Verpacken Bereitstellfläche für Verpackungsmaterial und Ware vorhanden sein. Technik, die beide Funktionen nutzen, existiert nicht. Aus diesem Grund ist eine räumliche Kombination ebenfalls nicht zweckmäßig.

„Auslagern“ und „Prüfen“: Beim Auslagern kann es nötig sein, die Ware auf Schäden zu prüfen, die beim Lagern entstanden sind. In der Praxis erkennen z.B. Einrichtungen zur Konturenkontrolle, ob die Ware fehlerfrei ausgelagert wurde.

„Auslagern“ und „Inventur“: Genau wie beim Einlagern kann es wirtschaftlich sein, die Inventur beim Auslagern durchzuführen. Für die Durchführung der Inventur beim Auslagern spricht, dass alle Veränderungen der Menge bis zum Zeitpunkt der Auslagerung, der während des Lagerprozesses relativ spät eintritt, erfasst werden.

„Auslagern“ und „Einlagern vorbereiten“: Ein gleichzeitiges Durchführen der beiden Funktionen ist nicht sinnvoll. Räumlich treffen sie sich jedoch in der Lagervorzone. Es gibt demnach die Möglichkeit eine innerbetriebliche Infrastruktur vorzusehen, die beide Funktionen nutzen.

„Auslagern“ und „Funktionen nach der Auslagerung“: Zeitliche und räumliche Nähe sind anzustreben, um die Prozesse zu beschleunigen. Eine Integration ist durch die Unterschiede der Funktionen jedoch erschwert. Nach der Auslagerung finden vor allem Palettiervorgänge statt, während es sich beim Auslagern in erster Linie um einen Förderprozess handelt.

„Auslagern“ und „Etikettieren“: Soll Ware aus dem Lager direkt versendet werden, kann ein erneutes Etikettieren erforderlich sein. Die Ware erhält ihre Versanddaten dann sofort nach der Auslagerung in Form eines Etiketts oder eines Lieferscheins. Dieser Fall tritt immer ein, wenn vollständige Lagereinheiten ausgeliefert werden.

„Auslagern“ und „Ladung sichern“: Fordert ein Kunde eine komplette Lagereinheit an, so gelangt diese direkt nach dem Auslagern in den Versand und überspringt die Kommissionierung. Aus diesem Grund folgt hier das Sichern der Ladeinheit unmittelbar auf den Auslagerungsvorgang. Eine Kombination dieser Funktionen ist somit von Vorteil.

„Auslagern“ und „Identifizieren“: Erst durch die Identifikation der Ware kann der korrekte Auslagerungsvorgang festgestellt und die Ware zu ihrem neuen Zielort gefördert werden.

Die Identifikation der Ware ist deshalb Teil der Auslagerung und es befindet sich in jedem Fall ein Identifikationspunkt (I-Punkt) am Auslagerungspunkt (A-Punkt) des Lagers.

„Auslagern“ und „Vereinzeln & Zusammenführen“: Normalerweise findet das Vereinzeln und Zusammenführen der Ware nach dem Auslagern statt. Prinzipiell unterscheidet sich das Auslagern, das vorwiegend aus dem Fördern ganzer Lagereinheiten besteht, wesentlich vom Vereinzeln und Zusammenführen. In Ausnahmefällen kann eine Kombination der Funktionen zeitlich und räumlich dennoch sinnvoll sein.

Kommissionieren

„Kommissionieren“ und „Verpacken“: Eine konsequente Integration der beiden Funktionen findet sich beim Pick & Pack-Ansatz. Das Zusammenfassen der Kommissionier- und Verpackungstätigkeiten bietet sich auf Grund der Ähnlichkeit der Abläufe und der Möglichkeit der gleichzeitigen Ausführung an und ist in fast jeder Situation sinnvoll und richtig.

„Kommissionieren“ und „Prüfen“: Häufig findet nach der Kommissionierung eine Warenkontrolle, z.B. eine Gewichtsprüfung, statt. Es kann aber auch nötig sein, die Ware bereits während des Kommissionierens zu prüfen. Triff dies zu, ist eine räumliche und zeitliche Zusammenfassung der beiden Tätigkeiten eine sinnvolle Lösung.

„Kommissionierung“ und „Inventur“: Damit die Inventur im Bereich der Kommissionierung durchgeführt werden kann, muss die Anforderung erfüllt sein, dass (fast) alle Waren an dieser Stelle erfasst werden können. Wird ein Großteil der Ware kommissioniert, so erfüllt der Bereich Kommissionierung diese Bedingung, und eine Kombination von Kommissionierung und Inventur ist grundsätzlich möglich. Dennoch wird es sinnvoller sein, die Inventur am Ein- oder Auslagerungspunkt des Lagers durchzuführen. Hier gestaltet sich die Durchführung der Inventur einfacher, weil die gesamte Ware bei automatischen Lagern den E- oder A-Punkt auf einem Förderer passiert. Prinzipiell gelten diese Überlegungen nur, wenn eine permanente Inventur als Inventurverfahren festgelegt ist.

„Kommissionierung“ und „Einlagerung vorbereiten“: Außer wenn vorkommissionierte Ware eingelagert wird, finden die betrachteten Funktionen stets zu unterschiedlichen Zeiten statt. Dennoch sind die Funktionen Umpacken, Zulagern und Vereinzeln den Kommissionieraufgaben sehr ähnlich sein. Deshalb kann gleiche Infrastruktur genutzt werden und eine räumliche Zusammenfassung zu Einsparungen führen.

„Kommissionierung“ und „Funktionen nach der Auslagerung“: Die Funktionen nach der Auslagerung können im weitesten Sinne der Kommissionierung zugeordnet werden. Das Packen von System- oder Mischpaletten für den Versand entspricht einer Kommissionierung von Gebinden und Artikeln, die auf Paletten abgegeben werden. Insofern ist eine räumliche und zeitliche Kombination anzustreben.

„Kommissionieren“ und „Etikettieren“: Während der Kommissionierung kann es vorkommen, dass Artikel etikettiert werden. Auf diesen zusätzlichen Arbeitsschritt verzichtet ein effizientes Kommissioniersystem und kennzeichnet nur die gesamte Versandeinheit neu.

„Kommissionieren“ und „Ladung sichern“: Innerhalb der Kommissionierung werden die einzelnen Artikel verpackt. Entstehen hier bereits Palettenladungen, so ist die Integration der Ladungssicherung sowohl zeitlich als auch räumlich sinnvoll.

„Kommissionierung“ und „Identifizierung“: Ist eine eindeutige Zuordnung zwischen Bereitstellort und Ware möglich, so kann auf eine Identifizierung der Ware verzichtet werden. Meist ist das Identifizieren der Ware bei der Entnahme der Artikel jedoch unumgänglich und vor allem bei manueller Kommissionierung natürlicherweise in den Prozess integriert.

„Kommissionieren“ und „Vereinzeln & Zusammenfassen“: Betrachtet man das Vereinzeln und Zusammenfassen auf Artikelebene, so sind die beiden Vorgänge identisch. Das Vereinzeln und Zusammenfassen steht hier jedoch für alle Formen des Palettierens oder Depalettierens und befasst sich mit der Handhabung ganzer Gebinde. Auf Grund der unterschiedlichen Handhabungsobjekte ist eine Kombination nicht zweckmäßig.

Verpacken

„Verpacken“ und „Prüfen“: Sind die vorangehenden Prozessschritte mit Unsicherheiten verbunden, so dass eine fehlerfreie Zusammenstellung der Ware nicht sichergestellt ist, muss das Verpacken nochmals mit einem Prüfvorgang verbunden werden. Eine aufwändige Prüfung scheidet auf Grund fehlender Wirtschaftlichkeit meist aus. Eine Alternative ist eine einfache Gewichtsprüfung zur Feststellung der korrekten Kommissionierung, die gut mit dem Verpackungsprozess kombiniert werden kann.

„Verpacken“ und „Inventur“: Es ist nicht sinnvoll beim Verpacken eine Inventur durchzuführen, da nicht die gesamte Ware verpackt wird. Es ist unmöglich, an dieser Position die Bestände vollständig zu erfassen.

Verpacken und Einlagerung vorbereiten, Verpacken und nach der Auslagerung, Verpacken und Ladung sichern bzw. Verpacken und Vereinzeln & Zusammenführen (Palettieren und Depalettieren): Die Aufgaben arbeiten mit sehr unterschiedlichen Objekten. Das Verpacken befasst sich mit Artikeln, die anderen Funktionen mit ganzen Gebinden. Es handelt sich um völlig verschiedenartige Handhabungsschritte. Deshalb bringt eine Kombination der Funktionen keine Vorteile.

„Verpacken“ und „Etikettieren“: Beim Verpacken entstehen neue logistische Einheiten, die zur weiteren Identifizierung etikettiert werden. Deshalb sind diese Funktionen in der Praxis ganz selbstverständlich zusammengefasst.

„Verpacken“ und „Identifizieren“: Im Normalfall muss die zu verpackende Ware nicht erneut identifiziert werden. Die verpackte Ware erhält sofort ihr kennzeichnendes Etikett, d.h. ihre Identität ist in diesem Moment bekannt. Dennoch muss für die Zuordnung des Etiketts die Ware identifiziert sein. Stellt dies nicht der Standort der Ware sicher, so ist eine Identifizierung der Ware unbedingt notwendig.

Prüfen

„Prüfen“ und „Inventur“: Die Inventur ist eine Art der Prüfung. Sie stellt die Menge der verschiedenen Artikel fest. Deshalb benötigen beide Funktionen in der Regel ähnliche Ressourcen. Ob eine zeitliche Integration möglich ist, entscheidet die Position an der geprüft wird. Nur wenn beinahe die gesamte Ware diese Stelle passiert, ist eine Integration der Inventur umsetzbar.

„Prüfen“ und „Einlagerung vorbereiten“ bzw. „Prüfen“ und „Auslagerung nachbereiten“: Die Ware zu prüfen, während sie vor oder nach dem Lagern umgepackt wird, bringt keine neue Erkenntnis, denn interessant ist der Zustand der Ware alleine oder innerhalb der neu entstandenen Einheit, nicht jedoch beim Umpacken. Demzufolge kann eine Prüfung nur vor oder nach den beiden anderen Funktionen sinnvoll sein. Eine Kombination, sowohl zeitlich als auch räumlich, scheidet damit aus.

„Prüfen“ und „Etikettieren“: Beim Prüfen ändert sich die logistische Einheit nicht. Ein erneutes Etikettieren ist also unnötig. Beim Prüfvorgang wird die Ware aber genau positioniert. Dies kann für das Etikettieren hilfreich sein.

„Prüfen“ und „Ladung sichern“: Vor dem Sichern der Ladung muss die Fehlerfreiheit der Ladung geprüft werden. Die Zusammenlegung der beiden Aufgaben ist von großem Nutzen.

Aus diesem Grund ist vielen Anlagen zur Ladeeinheitensicherung z.B. eine Konturenkontrolle vorgeschaltet.

„Prüfen“ und „Identifizieren“: Das Ergebnis einer Prüfung ist nur im Zusammenhang mit der Identität des geprüften Gutes sinnvoll. Eine Zusammenfassung der beiden Funktionen ist in jedem Fall angebracht.

„Prüfen“ und „Vereinzeln & Zusammenfassen“: Die Prüfung selbst kann nicht sinnvoll in den Palettiervorgang integriert werden. Eine Kombination ist deshalb nicht von Vorteil.

Inventur

„Inventur“ und „Identifizieren“: Die Identifikation ist zwingend in die Inventur zu integrieren, sonst ist eine Inventur unmöglich.

„Inventur“ und „weitere Funktionen“: Eine Kombination der Inventur mit anderen Funktionen als den bereits genannten ist nicht zielführend, da die Anforderungen für die Inventur nicht erfüllt sind oder die Inventur nicht in die Funktionen integriert werden kann.

Einlagerung vorbereiten und Funktionen nach der Auslagerung

„Einlagerung vorbereiten“ und „Funktionen nach der Auslagerung“: Beide Aufgaben nutzen gleiche Ressourcen. Durch die räumliche Kombination kann ein und dieselbe Materialflusstechnik beiden Funktionsgruppen dienen. Zeitlich sind die vor- und nachbereitenden Aufgaben trotzdem immer getrennt.

„Einlagerung vorbereiten“ oder „nach der Auslagerung“ und „Etikettieren“, „Einlagerung vorbereiten“ oder „nach der Auslagerung“ und „Ladung sichern“, „Einlagerung vorbereiten“ oder „nach der Auslagerung“ und „Identifizieren“ bzw. „Einlagerung vorbereiten“ oder „nach der Auslagerung“ und „Vereinzeln & Zusammenführen“: Beim Vorbereiten der Ware zur Einlagerung entstehen neue Einheiten, die etikettiert und evtl. gesichert werden. Außerdem sind die Funktionen, die das Einlagern vorbereiten, ausnahmslos Spezialfälle von Vereinzeln und Zusammenführen. Deshalb erscheinen alle betrachteten Kombinationsmöglichkeiten sinnvoll.

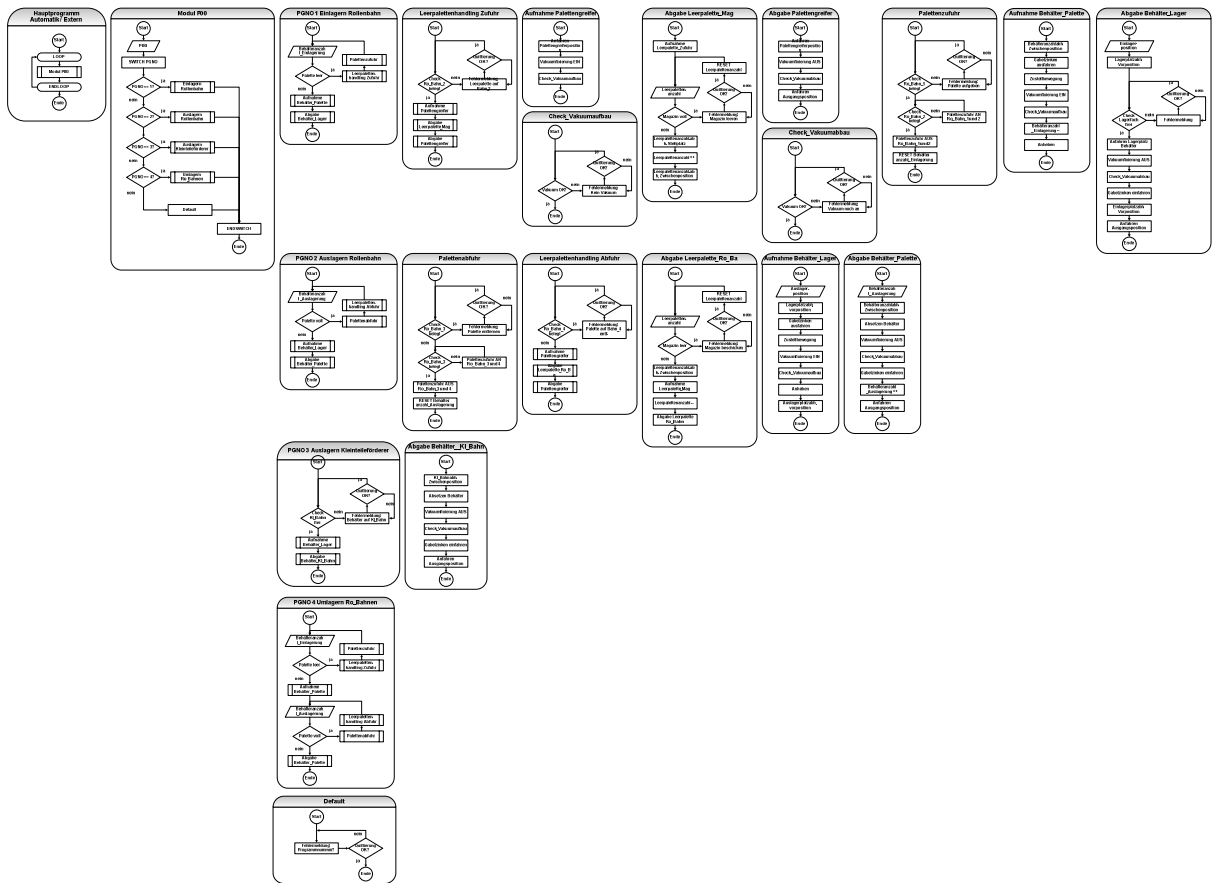
Etikettieren, Ladung sichern und Identifizieren

„Etikettieren“ und „Ladung sichern“, „Etikettieren“ und „Identifizieren“ bzw. „Etikettieren“ und „Vereinzeln & Zusammenfassen“: Immer wenn neue Einheiten entstehen, müssen diese etikettiert werden. Dazu muss deren Identität bekannt sein. Die aufgeführten Funktionen eignen sich gut für eine Integration der Etikettierung.

„Ladung sichern“ und „Identifizieren“ bzw. „Ladung sichern“ und „Vereinzeln & Zusammenfassen“: Die Identifizierung muss unabhängig von der Ladungssicherung stattfinden. Direkt auf die Palettieraufgaben folgt meist die Sicherung der Ladeeinheiten. Zeitliche und räumliche Nähe ist deshalb sehr sinnvoll.

Identifizieren und Vereinzeln & Zusammenfassen: Nur identifizierte Ware kann zielgerichtet manipuliert werden. Eine Ausnahme entsteht, wenn der Auftrag immer gleich bleibt, wie z.B. beim Depalettieren. Generell gilt jedoch, eine Identifizierung muss zeitlich und räumlich unmittelbar beim Vereinzeln oder Zusammenführen stattfinden.

11.2 Steuerung der Roboterzelle „Lageranbindung“



11.3 Vorträge

Präsentation des Forschungsprojektes durch Demonstration:

- 16. Deutschen Materialfluss-Kongress, VDI Gesellschaft für Fördertechnik Materialfluss Logistik am 29. und 30. März 2007, TU München
- 17. Deutschen Materialfluss-Kongress, VDI Gesellschaft für Fördertechnik Materialfluss Logistik am 03. und 04. April 2008, TU München
- Tag der Logistik an der TUM am 17.04.2008, TU München

11.4 Veröffentlichungen

Internet:

- liz-news:
<http://www.fml.mw.tum.de/fml/images/liz/Download/liz-News%2003-2007.pdf>
<http://www.fml.mw.tum.de/fml/images/liz/Download/liz-News%2002-2008.pdf>
- logistics.de:
[http://logistics.de/logistik/branchen.nsf/129E47DDEEB441A7C125721F0030AC56/\\$File/funktionsvereinigung_in_der_lagertechnik_lammer_tumuenchen.pdf](http://logistics.de/logistik/branchen.nsf/129E47DDEEB441A7C125721F0030AC56/$File/funktionsvereinigung_in_der_lagertechnik_lammer_tumuenchen.pdf)

Zeitschriftenbeiträge:

- INDUSTRIEMAGAZIN: Interview im Industriemagazin 09/2008, S. 104-106. Wien, Industriemagazin Verlag GmbH 2008.

ISBN: 978-3-941702-00-4