

Masterarbeit

ENTWICKLUNG EINER AUTOMATISIERTEN KOMMISSIONIER- UND PALETTIERANLAGE

ausgeführt am



Fachhochschul-Masterstudiengang
Automatisierungstechnik-Wirtschaft

von

Markus Schön Bsc.

1610322004

betreut und begutachtet von
Dipl.- Ing. (FH) Werner Frissenbichler

Graz, im Jänner 2018

.....
Unterschrift

EHRENWÖRTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen nicht benützt und die benutzten Quellen wörtlich zitiert sowie inhaltlich entnommene Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

.....
Unterschrift

DANKSAGUNG

Meinem Betreuer aus dem Unternehmen RHI Magnesita in Trieben, Hrn. Schmickl André, möchte ich besonders für seine ambitionierte Unterstützung danken. Aufgrund der zahlreichen Abstimmungsgespräche konnte die zugrundeliegende Masterarbeit so verfasst werden, dass diese einen Mehrwert für das Unternehmen hervorruft. Außerdem danke ich allen Kolleginnen und Kollegen, welche einen Beitrag zu den abgehaltenen Projektbesprechungen geleistet haben.

Darüber hinaus gebührt mein Dank meinem Betreuer seitens der FH CAMPUS 02, Hrn. Dipl.- Ing (FH) Frissenbichler Werner. Sein Rat hat mir in der wissenschaftlichen Darstellung und der angewandten Methodik in einzelnen Passagen der Arbeit weitergeholfen.

Abschließend möchte ich mich bei meiner Lebensgefährtin bedanken, welche mich im Alltag stets unterstützt hat. Durch ihre Unterstützung konnte ich die Masterarbeit in der vorliegenden Qualität verfassen.

KURZFASSUNG

Die zunehmende Digitalisierung in Produktionsbetrieben konfrontiert viele Unternehmen mit neuen Herausforderungen. Um wettbewerbsfähig zu bleiben, investieren viele dieser Unternehmen in die Automatisierung von bewährten Produktionsprozessen. Einerseits haben diese zukunftsweisenden Investitionen viel Potential, andererseits bestehen jedoch auch bedeutende Risiken. Eine gesamtheitliche Betrachtung im Zuge der Entwicklung von automatisierten Systemen stellt sicher, dass die Potentiale bestmöglich ausgeschöpft und die Risiken reduziert werden.

Ziel dieser Masterarbeit war es, die optimale Automatisierungslösung für einen bewährten, manuellen Kommissionier- und Palettierprozess von feuerfesten Erzeugnissen, bei der Firma RHI Magnesita in Trieben, zu erarbeiten. Aufgrund der hohen Komplexität dieses Prozesses existierten mehrere Lösungsmöglichkeiten für dessen Automatisierung.

Zu Beginn der Arbeit wurden die besten verfügbaren Handhabungstechnologien für die Automatisierung des Prozesses aus der Theorie heraus erarbeitet und bewertet. Basierend auf dieser Bewertung wurde in weiterer Folge ein Anforderungsprofil für den betrachteten Prozess erstellt. Auf Basis dieses Anforderungsprofils wurden anschließend drei praktikable Anlagenkonfigurationen abgeleitet. Diese Anlagenkonfigurationen brachten sowohl bedeutende Chancen, als auch neue Aufgabenstellungen, in unterschiedlichen Ausprägungen für das Unternehmen, mit sich.

Das Ergebnis der darauffolgenden Conjoint - Analyse war die Identifikation jener Anlagenkonfiguration, die den zehn für das Unternehmen bedeutendsten Kriterien am besten entspricht. Für diese Anwendung, welche den größten Gesamtnutzen für das Unternehmen aufweist, wurde eine Funktionsbeschreibung erstellt. Ergänzend dazu wurde ein Leitfaden, welcher die weiteren Schritte in der Umsetzung dieser Lösung beschreibt, verfasst.

ABSTRACT

The digitization in the manufacturing sector has increased rapidly over the last few years. This fact confronts companies with new challenges. For this reason many of the companies invest in the automation of their key processes. On the one hand there is a lot of potential in these trendsetting investments, on the other hand there are also significant risks. A holistic consideration in the course of development of automated systems ensures an identification of the best potentials and a reduction of risks.

It was the aim of this thesis to find the optimal automation solution for a proven commissioning- and palletizing process applied in the manufacturing of refractory products at the company RHI Magnesita, which is located in Trieben. As the process is highly complex, there are many possible ways to automate it.

At the beginning of the consideration the best available handling - technologies for automating the process were figured out and evaluated. After that a requirement profile for the considered process based on the identified technologies was created. Based on the requirement profile three practical configurations were developed. These configurations entail both significant chances, and new task settings, in different manifestations for the company.

As a result the most practicable configuration was identified by doing a conjoint - analysis, which considered the ten most important criteria for the company. The function of the configuration with the biggest benefit for the company was described in detail. In addition a guideline was developed that describes those actions which have to be taken when implementing the configuration.

INHALTSVERZEICHNIS

1	Einleitung	1
1.1	Herausforderungen und Trends in der Intralogistik	1
1.1.1	Kommissionier- und Palettierapplikationen als Bestandteil der Intralogistik	2
1.2	Beschreibung der Ausgangssituation	3
1.3	Zielsetzung der Arbeit.....	5
2	Auslegungskriterien automatisierter Kommissionier- und Palettierapplikationen.....	6
2.1	Objektdetektion	7
2.1.1	Objekthandhabung ohne Objektdetektionsverfahren	7
2.1.2	Objektdetektion mittels eindimensionaler Lageerkennung	8
2.1.3	Objektdetektion mittels zweidimensionalem Bildverarbeitungsverfahren.....	8
2.1.4	Objektdetektion mittels dreidimensionalem Bildverarbeitungsverfahren	9
2.1.5	Auswahl und Grenzen geeigneter Objektdetektionsverfahren	10
2.2	Objekthandhabung, Greifbarkeit.....	11
2.2.1	Auswahl geeigneter Greifersysteme	12
2.2.2	Mechanische Greifer	14
2.2.3	Sauggreifer.....	14
2.3	Handhabungsgenauigkeit	16
2.3.1	Wiederholgenauigkeit	16
2.3.2	Positioniergenauigkeit.....	16
2.4	Tragfähigkeit	17
2.5	Aktionsgeschwindigkeit - Kundentakt, Linientakt, Arbeitstakt	18
2.5.1	Allgemeine Begriffserklärung einer schlanken „leanen“ Fertigung	18
2.5.2	Grundbewegungen automatisierter Handhabungsvorgänge	20
2.5.3	Beschreibung einer Primär-, Sekundäranalyse zur Arbeitstaktbewertung	22
2.6	Freiheitsgrade	24
2.6.1	Achsen eines Roboters	25
3	Roboterbauarten	26
3.1.1	Portalroboter	27
3.1.2	Schwenkarmroboter	28
3.1.3	Knickarmroboter.....	29
4	Überblick und Bewertung der beschriebenen Auslegungskriterien und Roboterbauarten	30
5	Automatisiertes Kommissionieren und Palettieren von Gütern in anderen Branchen	32
5.1	Kommissionieren und Palettieren in Verteilzentren.....	32
5.2	Kommissionieren und Palettieren von Lebensmitteln.....	33
5.3	Kommissionieren und Palettieren von Farbgebinden.....	34
5.4	Ableitung wesentlicher Erkenntnisse aus den beschriebenen Beispielanwendungen.....	34
6	Kommissionieren und Palettieren nach dem Brennvorgang in einem Tunnelofen	35
6.1	Erklärung und Herausforderung des betrachteten Prozessschrittes.....	35
6.1.1	Kommissionieraufgabe als Herausforderung des Prozessschrittes	36

6.2	Einflussfaktoren auf den Beladevorgang eines Tunnelofenwagens.....	38
6.3	Best Practice Anwendungen.....	40
6.3.1	Anwendung 1: Wagenbesätze mit niedriger Diversität.....	40
6.3.2	Anwendung 2: Wagenbesätze mit mittlerer Diversität.....	43
6.3.3	Anwendung 3: Wagenbesätze mit hoher Diversität.....	45
6.4	Entladevorgang der Produkte von den Tunnelofenwägen bei RHI Magnesita in Trieben.....	48
6.5	Bewertung und Schlussfolgerungen basierend auf den beschriebenen Anwendungen.....	50
7	Festlegung der Prozessgrenzen für die Entwicklung.....	52
8	Erhebung und Analyse relevanter Daten als Auslegungsbasis für die Anlagenentwicklung.....	54
8.1	Definition der für die Anlagenentwicklung relevanten Daten.....	54
8.2	Wahl des geeigneten Betrachtungszeitraumes.....	55
8.3	Durchführung der Datenerhebung und Datenanalyse.....	56
8.3.1	Datenerhebung und Datenanalyse beim Beladevorgang der Tunnelofenwägen.....	56
8.3.2	Ermittlung der Anzahl an zeitgleich handzuhabenden Fertigungsaufträgen an der Anlage..	58
8.3.3	Ermittlung der Produktanzahl auf potentiellen Trägermedien.....	60
9	Erarbeitung wesentlicher Inhalte als Grundlage der Entwicklung.....	64
9.1	Ermittlung der technischen Ausrüstung.....	65
9.2	Ermittlung von potentiellen Kommissionierlösungen.....	67
10	Ableitung von potentiellen Anlagenkonfigurationen.....	69
10.1	Anlagenkonfiguration 1 mit konventionellen Trägermedien und mehrlagigen Schlichtmustern.	72
10.2	Anlagenkonfiguration 2 mit Stahlpaletten und einlagigen Schlichtmustern.....	73
10.3	Anlagenkonfiguration 3 mit konventionellen und unkonventionellen Trägermedien.....	74
11	Ermittlung der für das Unternehmen optimalen Anlagenkonfiguration.....	75
11.1	Definition und Beschreibung der Bewertungskriterien je Anlagenkonfiguration.....	76
11.1.1	Wertstromdesign.....	76
11.1.2	Integration in den Bestand.....	78
11.1.3	Wirtschaftlichkeit.....	79
11.1.4	Ergonomische Arbeitsbedingungen.....	81
11.1.5	Transportfrequenzen zu bzw. von der Anlage.....	82
11.1.6	Produktionsflexibilität - Auswirkungen auf die Fertigungssteuerung.....	83
11.1.7	Qualitätsprüfung der Produkte.....	87
11.1.8	Investitionsrisiko.....	88
11.1.9	Erweiterbarkeit.....	90
11.1.10	Erforderliche Lagerfläche.....	92
11.2	Durchführung der Kriteriengewichtung.....	93
11.3	Erarbeitung der Teilnutzen der identifizierten Bewertungskriterien.....	94
11.4	Ermittlung der spezifischen Gesamtnutzen je Anlagenkonfiguration.....	95
12	Detaillierte Beschreibung der optimalen Kommissionier- und Palettieranlage.....	96
12.1	Leitfaden zur Beschreibung der weiteren Schritte in der Errichtung der Anlage.....	100
	Literaturverzeichnis.....	103
	Abbildungsverzeichnis.....	106
	Tabellenverzeichnis.....	109

Anhang 1: Datenauszug vom Beladevorgang der Tunnelofenwägen.....	111
Anhang 2: Auflistung der Produktformate mit Angabe der Produktanzahl je Trägermedium	115
Anhang 3: Investitionskostenerhebung	120

1 EINLEITUNG

Die zunehmende Globalisierung und Volatilität der Märkte ist für die meisten produzierenden Unternehmen unterschiedlichster Branchen, einer der größten Initiatoren für eine stetige Neuausrichtung bzw. Optimierung ihrer Produktionssysteme.

Sehr viele Unternehmen haben ihre innerbetrieblichen Produktionsabläufe aus diesem Grund nach den bekannten Lean Prinzipien organisiert.¹ Die Lean Prinzipien verfolgen das Ziel, jegliche Art von Verschwendung organisatorisch zu vermeiden und die Effizienz in der Produktion somit zu erhöhen.²

Aufgrund der Tatsache, dass selbst eine organisatorisch optimal ausgerichtete Produktion, die Wettbewerbsfähigkeit einer Unternehmung langfristig in vielen Fällen nicht sicherstellt, kommt der zunehmenden Automatisierung und Vernetzung von Prozessen erhebliche Bedeutung zu.

Ein hoher Automatisierungsgrad, welcher eine hohe maschinelle Orientierung eines Unternehmens belegt, führt in den meisten Fällen zu einer weiteren Erhöhung der Effizienz. Diese Effizienzerhöhung kann einerseits durch Substitution von menschlicher Arbeitskraft, andererseits durch schnellere, qualitativ höherwertige bzw. präzisere Arbeitsweise begründet sein.³ Zusätzlich kann durch die zunehmende Digitalisierung von Prozessen die Transparenz von produktionsrelevanten Informationen erhöht und somit eine effizientere, bedarfsorientierte Steuerung der Produktion ermöglicht werden.⁴

Um langfristig wettbewerbsfähig zu bleiben, ist demnach für produzierende Unternehmen sowohl das effiziente Lenken von bestehenden Systemen, als auch die effiziente Gestaltung von neuen Systemen, essentiell.

1.1 Herausforderungen und Trends in der Intralogistik

Die Intralogistik, oder auch unternehmensinterne Logistik, beinhaltet grundsätzlich die Organisation, Steuerung, Durchführung und Optimierung von allen innerbetrieblichen Waren- bzw. Materialflüssen. Ferner beinhaltet der Begriff auch die Organisation von Informationsflüssen innerhalb einer Organisationseinheit. Zu den bedeutendsten Prozessen in der Intralogistik gehören unter anderem Einlagerungs-, Auslagerungs-, Kommissionier-, bzw. Sortierprozesse von unterschiedlichen Gütern.⁵

Aufgrund der Tatsache, dass diese Prozesse einen wichtigen Bestandteil zur Produktivität eines Unternehmens darstellen, steht dessen stetige Optimierung im Fokus vieler Unternehmen. Dabei zählen Schlagwörter wie Industrie 4.0, Robotik und Personalisierung zu den aktuellen Trendthemen.⁶

¹ Vgl. Adolf/u.a. (2014), S. 3.

² Vgl. Adolf/u.a. (2014), S. 10.

³ Vgl. Stiller (2017), Online-Quelle [25.11.2017].

⁴ Vgl. Adolf/u.a. (2014), S. 10.

⁵ Vgl. Frissenbichler (2011), S. 36.

⁶ Vgl. Wolfenstein (2016), Online-Quelle [25.11.2017].

In zahlreichen Unternehmen wurden viele intralogistische Prozesse in der Vergangenheit manuell durchgeführt. Dabei kam es aber auch viel zu oft zu sogenannten Medienbrüchen innerhalb der Produktion, weil Informationen nicht überall und jederzeit zur Verfügung standen.⁷

Die Planung und Steuerung der Produktion musste auf vorhandener, teils lückenbehafteten Information aufbauen. Aus diesem Grund kam es immer wieder zu unterschiedlichsten Verschwendungen wie zum Beispiel hohen Lagerbeständen oder häufigen Transportwegen. Aufgrund der zunehmenden Digitalisierung und der intelligenten Vernetzung von logistischen Produktionsmaschinen, eröffnen sich für die Intralogistik neue Potentiale. Es können dadurch etwaige Informationen lückenlos und somit transparenter erfasst und miteinander in Verbindung gesetzt werden. Die Informationstransparenz ermöglicht eine bedarfsgerechte Planung und Steuerung der Produktion. Eine bedarfsgerechte Produktionsplanung trägt wiederum zu einer erheblichen Senkung von Verschwendung, wie z.B. Verringerung von Transportwegen, bei.⁸

Die damit einhergehende Erhöhung des Automatisierungsgrades führt zwar einerseits zu einer Steigerung der Produktionseffizienz, andererseits wird die Produktionsflexibilität dadurch oftmals negativ beeinflusst. Diese Tatsache konfrontiert viele Unternehmen mit neuen Herausforderungen. In der Bewältigung dieser Herausforderungen rückt der Faktor Mensch und dessen Ausbildungsstand, massiv in den Fokus. Konkret erfordert es hohes Know-how und ein fundiertes Technologieverständnis, um verfügbare Technologien zu bewerten und diese optimal in einer Applikation einzusetzen. Darüber hinaus muss ein Prozess, wenn dieser automatisiert werden soll, in geeigneter Weise dargestellt und interpretiert werden können. Dafür sind wiederum ein umfassendes Produktionsverständnis und eine systematische Vorgehensweise notwendig.

1.1.1 Kommissionier- und Palettierapplikationen als Bestandteil der Intralogistik

Kommissionier- und Palettiervorgänge sind zentrale Funktionen von verschiedensten Lagersystemen. Diese werden aus unterschiedlichsten Gründen teilweise automatisiert, teilweise noch manuell durchgeführt.

Automatisierte Applikationen wurden in der Vergangenheit aufgrund der hohen Anlagenkomplexität häufig gerätetechnisch getrennt ausgeführt. Das bedeutet, dass für jede Funktion eines Lagersystems ein eigenes Gerät (z.B. Industrieroboter) eingesetzt wurde. Das zunehmende technologische Know-how von Anbietern diverser Lagersysteme führt nun dazu, dass in der heutigen Zeit häufiger Funktionen vereinigt werden. Das hat zur Folge, dass ein Gerät zwei oder mehrere Funktionen innerhalb eines Lagersystems ausführt.⁹

Die Robotik, als universellste Handhabungstechnologie, ist dabei eine der führenden Technologien.¹⁰

⁷ Vgl. Adolf/u.a. (2014), S. 3.

⁸ Vgl. Adolf/u.a. (2014), S. 10.

⁹ Vgl. Günthner/Ulrich (2009), S. 11.

¹⁰ Vgl. Güsmann/u.a. (1998), S. 15.

Heutzutage finden sich bereits in zahlreichen Unternehmen immer wieder Industrieroboter, welche für zwei oder mehrere Funktionen eines Lagersystems eingesetzt werden. Diese funktionsvereinenden Roboterapplikationen zeichnen sich durch verhältnismäßig niedrige Investitionskosten und einem kleinen Bauraum aus. Andererseits erfordert die Auslegung und die Planung der Roboterapplikationen ein hohes Maß an Know-how. Zudem ist die erhöhte Taktzeit oftmals ein entscheidendes bzw. auch begrenzendes Kriterium in der Anlagenentwicklung.¹¹

1.2 Beschreibung der Ausgangssituation

Die Firma RHI Magnesita ist Markt- und Technologieführer in der Herstellung und Entwicklung von unterschiedlichsten feuerfesten Erzeugnissen. Die Grundstoffe der Erzeugnisse sind Magnesit und Dolomit. Sie sind unter anderem für die feuerfesten Eigenschaften der Erzeugnisse verantwortlich.

Zu den Einsatzbereichen der hergestellten Produkte zählen nahezu alle industriellen Prozesse, bei denen Temperaturen über 1200 °C auftreten. Diese sogenannten Hochtemperaturprozesse werden unter anderem von Kunden in der Stahl-, Zement-, Glas-, Kalk-, sowie der Nichteisenindustrie betrieben.

Am RHI Magnesita Produktionsstandort in Trieben werden unter anderem, geformte Feuerfestprodukte in unterschiedlichsten Losgrößen und Formaten hergestellt. Um die Inhalte dieser Masterarbeit nachvollziehen zu können, ist das Wissen über den Ablauf dieses Herstellprozesses erforderlich. Aus diesem Grund wird der Herstellprozess im Folgenden mithilfe der Abbildung 1 beschrieben.

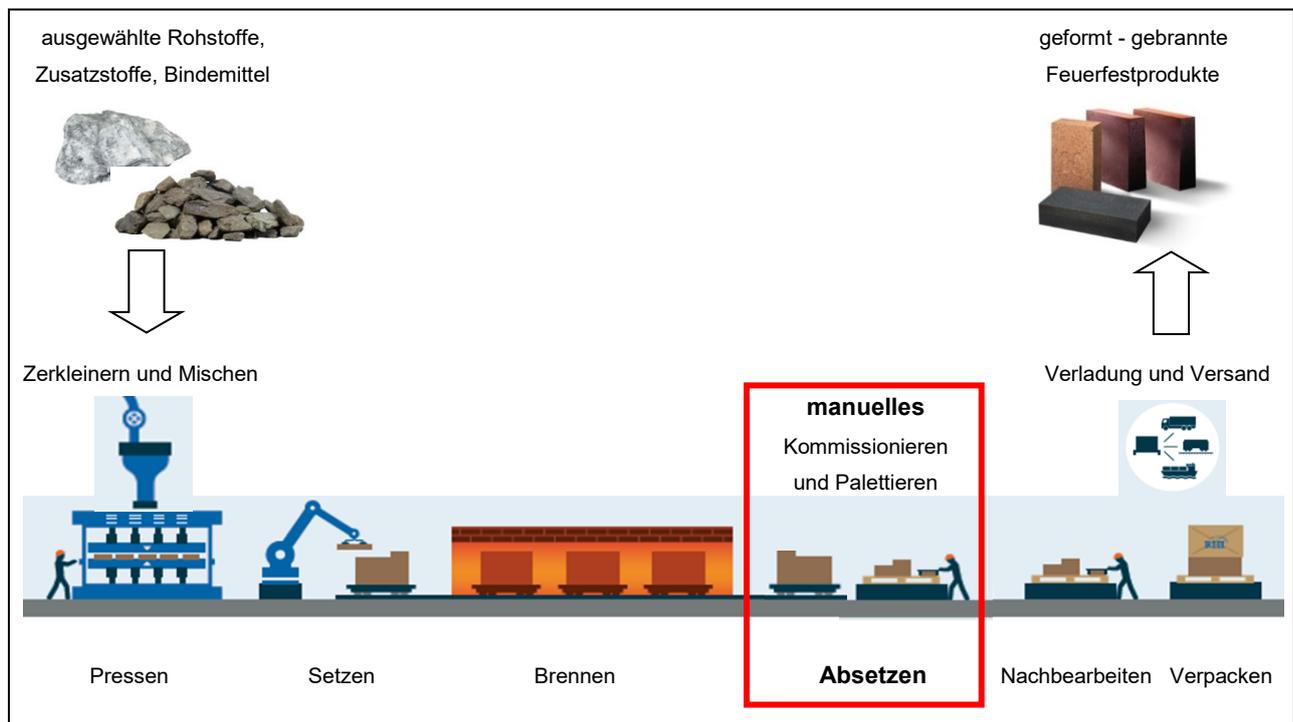


Abbildung 1: Herstellprozess geformt - gebrannter Feuerfestprodukte - Ausgangssituation, Quelle: in Anlehnung an Fa. RHI AG (2017), Online-Quelle [15.05.2017], S. 7.

¹¹ Vgl. Günthner/Ulrich (2009), S. 11 f.

Alle für die Produktion erforderlichen Einsatzmaterialien werden zum Unternehmen entweder per LKW oder per Bahn angeliefert und eingelagert. Die Materialien werden im ersten Schritt in unterschiedlichen Brech-, Sieb- bzw. Mahlaggregaten zerkleinert und in entsprechenden Korngrößen erneut eingelagert.

Anschließend werden die zwischengelagerten Materialien, gemeinsam mit etwaigen Zusatzstoffen bzw. Bindemitteln, nach vorgegebenen Rezepturen zu entsprechenden Chargen vermischt. Im nächsten Schritt wird die fertig gemischte Charge zu einer hydraulischen Presse transportiert und mit bis zu 2.000 Tonnen hydraulischer Presskraft verpresst.

Nach dem darauffolgenden Trocknungsprozess werden die durchschnittlich zwölf Kilogramm schweren Produkte von einem Knickarmroboter auf einen bereitgestellten Tunnelofenwagen gesetzt. Ein mit Produkten voll gesetzter Tunnelofenwagen weist dabei ein durchschnittliches Gewicht von etwa vier bis acht Tonnen auf und besteht aus Produkten von einem oder mehreren unterschiedlichen Fertigungsaufträgen.

Auf diesem Tunnelofenwagen gelangen die Produkte im nächsten Prozessschritt in den Tunnelofen. Im Tunnelofen werden die Produkte bei bis zu 1830 °C für eine Dauer von drei bis fünf Tage gebrannt.

Im Anschluss an den Brennprozess werden die noch ca. 300 bis 400 °C heißen Produkte auf unter 50 °C abgekühlt, sodass diese beim nachfolgenden Arbeitsplatz manuell vom Tunnelofenwagen abgesetzt werden können. Im Zuge dieses Prozessschrittes werden die Produkte auftragsrein kommissioniert und auf unterschiedliche Trägermedien palettiert. Sinngemäß befinden sich auf einem Trägermedium ausschließlich Produkte eines einzigen Fertigungsauftrags.

Die gebrannten Produkte auf den Trägermedien, werden anschließend bei Bedarf nachbearbeitet und abschließend verpackt und dem Versand übergeben.

Die einzelnen Prozesse sind bis einschließlich dem Brennprozess bereits teil- bzw. vollautomatisiert.

Der Absetzarbeitsplatz, sowie die darauffolgenden Arbeitsplätze in der Nachbearbeitung des Unternehmens werden ausschließlich manuell durchgeführt. Aufgrund permanenter Hebetätigkeiten sind die MitarbeiterInnen an den Arbeitsplätzen einer hohen körperlichen Belastung ausgesetzt. Darüber hinaus kann es durch den niedrigen Automatisierungsgrad zu sogenannten Medienbrüchen innerhalb der Produktion kommen.¹² Aus diesem Grund ist eine durchgängige, bedarfsgerechte sowie getaktete Fertigung nach den bekannten Lean Prinzipien nur begrenzt realisierbar.

¹² Vgl. Adolf/u.a. (2014), S. 10.

1.3 Zielsetzung der Arbeit

Das Ziel der Arbeit ist die Entwicklung einer Kommissionier- und Palettieranlage, welche die Tätigkeiten am Absatzplatz automatisiert durchführt. Um das Ziel zu verdeutlichen ist der angepasste Herstellprozess nach Realisierung der Anlage in der Abbildung 2 dargestellt.

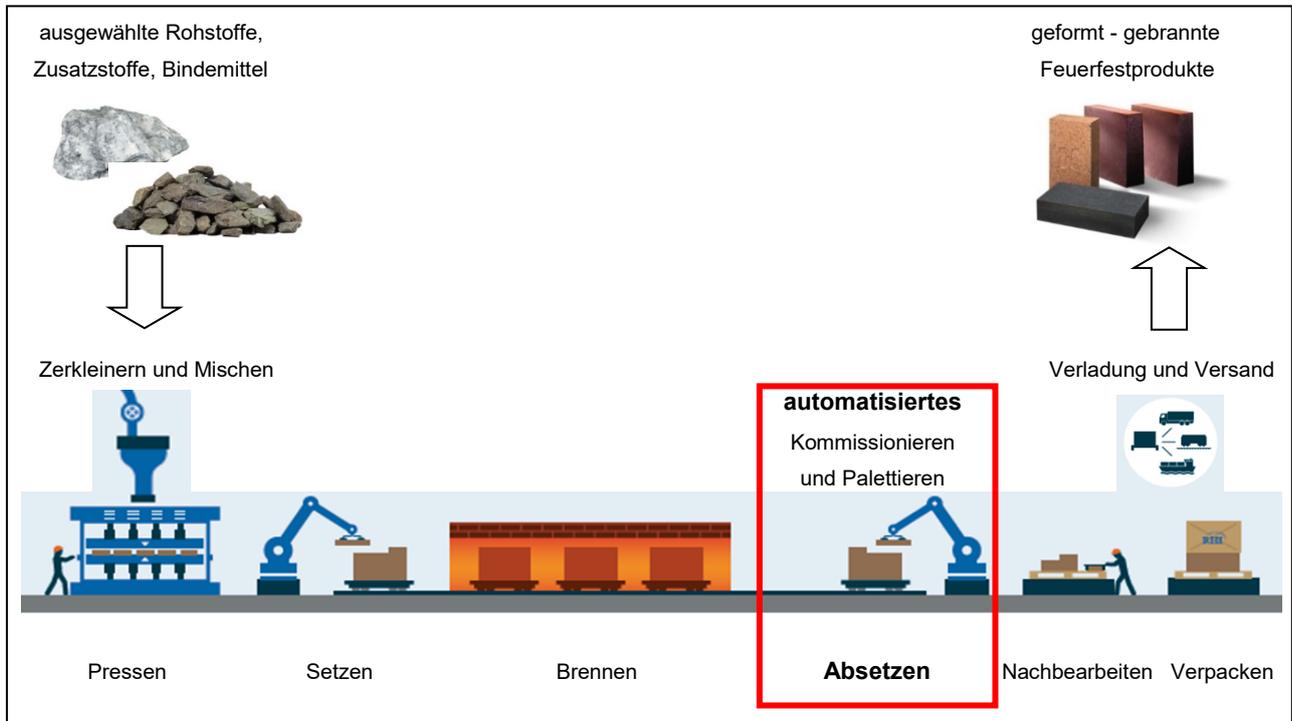


Abbildung 2: Herstellprozess geformt-gebrannter Feuerfestprodukte - Zieldarstellung,
 Quelle: in Anlehnung an Fa. RHI AG (2017), Online-Quelle [15.05.2017], S.7.

Die geplante Anlage soll die MitarbeiterInnen am Absatzplatz von der schweren körperlichen Arbeit entlasten. Zusätzlich soll durch den steigenden Automatisierungsgrad, eine lückenlose Informationstransparenz in der Produktion, sichergestellt werden.

Des Weiteren sollte in der Entwicklung der Anlage, die Möglichkeit einer nachfolgenden Automatisierung der Arbeitsplätze in der Nachbearbeitung des Unternehmens berücksichtigt werden. Um das zu bewerkstelligen, ist die Durchführung einer umfassenden Auftragsdatenanalyse essentiell.

In der Arbeit sollten darüber hinaus mehrere potentielle Anlagenkonfigurationen identifiziert und nach zu definierenden Kriterien bewertet werden. Diese Bewertung soll in weiterer Folge die Grundlage für die Identifikation der für das Unternehmen optimalen Anlagenkonfiguration darstellen.

2 AUSLEGUNGSKRITERIEN AUTOMATISierter KOMMISSIONIER- UND PALETTIERAPPLIKATIONEN

Kommissionier- und Palettierapplikationen sind zentrale Bestandteile der Handhabungstechnik. Um die Funktionen der einzelnen Applikationen verstehen zu können, werden als erstes die beiden Begriffe Palettieren und Kommissionieren beschrieben.

Begriffsbestimmung Palettieren:

Unter Palettieren versteht man allgemein das Stapeln von Gütern auf einer bereitgestellten Palette.¹³ Die Palette kann dabei lediglich als Trägermedium innerhalb eines Unternehmens oder auch für den Versand von Gütern außerhalb des Unternehmens verwendet werden. Das Palettieren ist also ein wichtiger Vorgang in der Intralogistik, welcher sicherstellt, dass Güter gesichert von A nach B transportiert werden können.

Begriffsbestimmung Kommissionieren:

Die Kommissionierung ist ein zentraler Prozess in der Intralogistik und aus diesem Grund für die Wettbewerbsfähigkeit und den wirtschaftlichen Erfolg einer Unternehmung von besonderer Wichtigkeit. Als Kommissionieren bezeichnet man das Bereitstellen einer Teilmenge von Gütern, aus einer zur Verfügung stehenden Gesamtmenge derselben Güter. Der Vorgang erfolgt bedarfsgerecht auf Grundlage eines Kommissionierauftrags. Der Ersteller des Auftrags kann dabei sowohl der Kunde, als auch die Produktion innerhalb eines Unternehmens sein. In der Praxis ist also immer, wenn die vorhandene Menge an Gütern höher ist, als die im Kommissionierauftrag angeforderte Menge, ein Kommissioniervorgang notwendig. Dieser Kommissioniervorgang umfasst dabei alle Vorgänge die notwendig sind, um die bedarfsgerechte Teilmenge zusammenzustellen.¹⁴

Für automatisierte Applikationen kommt in den meisten Fällen die Industrierobotik, als universellste und flexibelste Handhabungstechnologie, zum Einsatz.¹⁵ Aufgrund der Tatsache, dass in dieser Arbeit eine automatisierte Applikation entwickelt wird, nehmen die folgenden Unterkapitel ausschließlich Bezug auf den Teilbereich der Industrierobotik und deren spezifischen Auslegungskriterien.

Des Weiteren werden für jedes Auslegungskriterium technische Lösungsmöglichkeiten identifiziert und bewertet. Das theoretische Wissen über die existierenden Lösungsmöglichkeiten und dessen Besonderheiten ist notwendig, um in weiterer Folge die richtige Applikation für die Integration in einen bestehenden Prozess auswählen zu können. Auf existierende manuelle Applikationen und dessen Anforderungen wird in dieser Arbeit nicht näher eingegangen.

¹³ Vgl. Dudenredaktion (Hrsg.) (2009).

¹⁴ Vgl. Hompel/Sadowsky/Beck (2011), S. 3 f.

¹⁵ Vgl. Güsmann/u.a. (1998), S. V.

2.1 Objektdetektion

Immer kürzer werdende Produktlebenszyklen zwingen viele Unternehmen ihre Produkte besonders flexibel und in immer kleineren Losgrößen zu fertigen. Die notwendige Individualisierung wirkt sich dabei massiv auf die Ausführung von automatisierten Systemen aus. Die Robotersysteme müssen demnach immer öfter in der Lage sein, viele verschiedene Objekte in kürzester Zeit zu erkennen und diese in weiterer Folge punktgenau zu manipulieren.

Während früher Objekte für die Handhabung aufwendig positioniert werden mussten, kommen in der heutigen Zeit vermehrt leistungsstarke Sensoren und Datenverarbeitungstechnologien für die Objektdetektion zum Einsatz. Mithilfe dieser Technologien können Greifobjekte oder deren Ablageorte rasch identifiziert bzw. lokalisiert werden. Auf Basis von erfassten Daten kann der Roboter seine Bewegungen mittels speziellen Algorithmen planen. Diese Planung erhöht die Prozesssicherheit, sowie die Produktionsflexibilität und trägt ebenfalls zu einer Ausweitung des Einsatzbereichs von Industrierobotern bei. Aus diesem Grund kommen aufwändige Objektdetektionsverfahren bereits in vielen komplexen Kommissionier- bzw. Palettieraufgaben in der Intralogistik vieler Unternehmen zum Einsatz. Im Wesentlichen werden dabei zwei nennenswerte, optische Messprinzipien verwendet. Es handelt sich dabei einerseits um zweidimensionale, andererseits um dreidimensionale Bildverarbeitungssysteme, welche in den folgenden Kapiteln 2.1.3 und 2.1.4 beschrieben werden.¹⁶

Sofern die zu lösenden Handhabungsaufgaben weniger komplex sind, wird heutzutage in vielen Fällen kein, oder lediglich ein eindimensionales Objektdetektionsverfahren verwendet. Diese Applikationen werden im folgenden Kapitel 2.1.1 und Kapitel 2.1.2 beschrieben.

2.1.1 Objekthandhabung ohne Objektdetektionsverfahren

Wie bereits im Kapitel 2.1 erwähnt, gibt es neben den stark zunehmenden Applikationen mit hohen Flexibilitätsanforderungen in der heutigen Zeit nach wie vor Anwendungsgebiete, die ohne eine aufwändige Objektdetektion auskommen. Als Beispiel hierfür kann die Palettierung von definiert bereitgestellten, einheitlichen Objekten angeführt werden. In diesem Fall führt ein Roboter gleichbleibende, standardisierte Bewegungsabläufe durch. Die Abläufe werden im Roboterprogramm einmalig definiert und abgespeichert.

Um Bewegungsabläufe auf einfachem Wege zu definieren, verfügen viele der Robotersysteme über eine sogenannte Palettierfunktion. Mithilfe der Funktion kann ein gewünschtes, geografisches Ablagemuster auf Basis einer Startposition und der vorhandenen Palettierfläche generiert werden. Anhand der frei zu definierenden mittleren Abstände der Objekte in x-, y- sowie in z- Richtung, werden ausgehend von der Startposition, alle erforderlichen Greif-, bzw. Ablagepositionen durch sogenannte Unterprogramme automatisch generiert.¹⁷

¹⁶ Vgl. Günthner/Ulrich (2009), S. 35 f., zitiert nach: Ledermann (2005), S. 36 – 48., Fritsch (2004), S. 32 – 35., Wurll (2005), S. 47 – 55.

¹⁷ Vgl. Hesse/u.a (1998), S. 176.

Aufgrund der Tatsache, dass Applikationen ohne Objektdetektionsverfahren sämtliche Bewegungsabläufe ausschließlich auf Basis des statischen Programms durchführen, sind diese nicht in der Lage, Unregelmäßigkeiten (z.B. verrutschte Objekte) frühzeitig zu erkennen. Sie führen ihre Bewegungsabläufe unabhängig von der jeweiligen Situation, nach dem abgespeicherten Programmablauf durch.

Das führt in weiterer Folge zu einer Verminderung der Prozesssicherheit, gegenüber Applikationen mit Objektdetektionsverfahren. Für viele einfache Anwendungen reicht die vorhandene Prozesssicherheit allerdings aus, weshalb auf aufwändige Objektdetektionsverfahren vielfach verzichtet werden kann. Voraussetzung für die Anwendbarkeit von Applikationen ohne Objektdetektionsverfahren ist eine definierte Bereitstellung der Objekte, welche zuzüglich zur bekannten Identität, Auskunft über die Position sowie die Orientierung der einzelnen Greifobjekte gibt.

2.1.2 Objektdetektion mittels eindimensionaler Lageerkennung

In der Praxis werden diverse Objekte in vielen Anwendungen nicht definiert, sondern beispielsweise über unterschiedliche Fördersysteme (wie z.B. Förderbändern) dem Roboter der Reihe nach bereitgestellt. Aufgrund der Bewegung des Bandes ist zumindest ein Parameter, nämlich die Anordnung der Objekte in Längsrichtung des bewegten Bandes, undefiniert. Die Anordnung der Objekte in Querausrichtung des Bandes ist in vielen Fällen definiert.

Damit der Roboter die Objekte auf diesem Fördersystem sicher greifen kann, benötigt er also zumindest eine eindimensionale Lageinformation der bereitgestellten Objekte. Diese Information ermöglicht dem Roboter das sichere Greifen des Objektes.

Eine eindimensionale Lageerkennung gibt Auskunft über die Entfernung eines Greifobjekts zu einem bestimmten Bezugspunkt. Die Entfernung von Objekten kann dabei mit den unterschiedlichsten Sensoren und Wegmesssystemen erfasst werden. Häufig werden hierzu Lasermessungen, induktive bzw. kapazitive Analoggeber oder Ultraschallsensoren eingesetzt.¹⁸

Sollten die Greifobjekte in der Querrichtung des bewegten Bandes oder in deren Orientierung variieren, ist für die Sicherstellung einer sicheren Greifbewegung, bereits eine höherdimensionale Objektdetektion erforderlich. Diese Verfahren werden im folgenden Kapitel 2.1.3 und Kapitel 2.1.4 beschrieben.

2.1.3 Objektdetektion mittels zweidimensionalem Bildverarbeitungsverfahren

Günthner/Ulrich beschreiben das zweidimensionale Bildverarbeitungsverfahren wie folgt:¹⁹

Zweidimensionale Bildverarbeitungsverfahren ermitteln die Position von Objekten in einer Ebene, wobei die Lage im Raum dabei nicht festgestellt wird. Um dem eingesetzten Sensor das Finden eines bestimmten Suchobjektes zu ermöglichen, behilft man sich der sogenannten Merkmalssuche. Das bedeutet der eingesetzte Sensor sucht nach einem zuvor definierten Merkmal. Ein Merkmal kann dabei

¹⁸ Vgl. Jünemann/Beyer (1998), S. 263 f.

¹⁹ Vgl. Günthner/Ulrich (2009), S. 36 f., zitiert nach: Ledermann (2007), S. 31 – 44., Pannenkamp (2005) o.S., Wurll (2005), S. 47 – 55.

jede beliebige zweidimensionale Fläche, beispielsweise ein Rechteck oder ein Kreis, sein. Um die Merkmalsuche durchführen zu können, werden die erfassten Sensordaten mittels bestimmter Algorithmen vorverarbeitet. Die vorverarbeiteten Daten werden in weiterer Folge unterschiedlichen, aufwendigen Analyseverfahren zugeführt. Die Analyseverfahren erstellen einen sogenannten Merkmalsvektor, der das Suchobjekt zweidimensional erkennen lässt.

Die dritte Dimension und somit die Lage im Raum des Objektes, wird anwendungsabhängig entweder gar nicht, oder beispielsweise mit einem geeigneten Sensor am Robotergreifer näherungsweise erkannt. Die Datenerfassung am Greifer in Kombination mit bekannten Abmessungen diverser Suchobjekte, macht es möglich, von zweidimensionalen Daten auf dreidimensionale Daten zu schließen.

In Anwendungsfällen bei denen die Anforderung hinsichtlich Genauigkeit und Flexibilität gering sind, eignet sich das Verfahren sehr gut und wird deshalb auch in der Praxis sehr häufig eingesetzt. Sofern eine hohe Genauigkeit, Flexibilität und Prozesssicherheit gefordert ist, werden dreidimensionale Bildverarbeitungsverfahren eingesetzt.

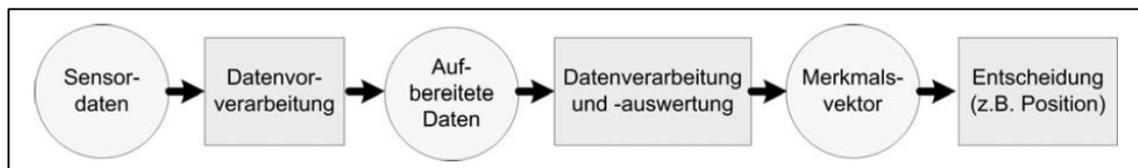


Abbildung 3: Schritte innerhalb eines zweidimensionalen Bildverarbeitungsverfahrens, Quelle: Günthner/Ulrich (2009), S. 36.

2.1.4 Objektdetektion mittels dreidimensionalem Bildverarbeitungsverfahren

Im Gegensatz zu zweidimensionalen Bildverarbeitungsverfahren, liefern dreidimensionale Bildverarbeitungsverfahren die Informationen über die Suchobjekte tatsächlich in drei Dimensionen. Deshalb ist, anders als bei zweidimensionalen Bildverarbeitungsverfahren, ein Reagieren auf ungeplante Situationen, möglich. Als Beispiel für eine ungeplante Situation kann das Verrutschen von Objekten auf einer Palette aufgrund von Vibrationen, angeführt werden. Ein häufig eingesetztes Verfahren ist dabei, neben vielen anderen vorhandenen Verfahren, das sogenannte zweidimensionale Lichtschnittverfahren in Kombination mit entsprechenden Bildverarbeitungssystemen.²⁰

Mit dem Lichtschnittverfahren können die Konturen eines Suchobjektes grundsätzlich zweidimensional erfasst werden. In diesem Verfahren wird ein Lichtstrahl unter einem bekannten Winkel auf die Oberfläche des Suchobjekts projiziert. Die Projektion des Lichtstrahls wird wiederum unter einem bestimmten Projektionswinkel zur Projektionsrichtung aufgezeichnet. Dafür kommen spezielle Hochgeschwindigkeitskameras zum Einsatz. Aus der Aufzeichnung des projizierten Lichtstrahls, lässt sich ein Höhenprofil errechnen. Sofern sich das gesamte Objekt durch den Lichtstrahl bewegt, können sämtliche Bilder übereinandergesetzt und somit das Objekt dreidimensional erfasst werden. Für eine ordnungsgemäße Funktion dieses Verfahrens ist es besonders wichtig, dass es zu keinen Abschattungen

²⁰ Vgl. Günthner/Ulrich (2009), S. 37., zitiert nach: Stein (2003), S.80 – 88., Wurl (2005), S. 47 – 55.

oder Lichteinflüssen am Suchobjekt kommt. Im Gegensatz zu zweidimensionalen Bildverarbeitungsverfahren zeichnet sich das Lichtschnittverfahren durch eine sehr hohe Geschwindigkeit von bis zu 1m/s aus. Die Auflösung liegt im Mikrometerbereich, wodurch eine höhere Genauigkeit und somit Prozesssicherheit gegenüber zweidimensionalen Verfahren erreicht wird.²¹

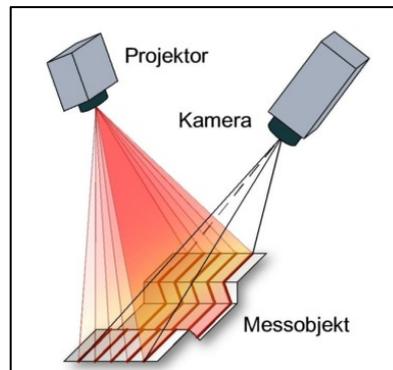


Abbildung 4: Messprinzip des Lichtschnittverfahrens - Triangulation; Quelle: Gandyra (2016 - 2017), Online-Quelle [26.11.2017].

2.1.5 Auswahl und Grenzen geeigneter Objektdetektionsverfahren

Die Auswahl der unter den Kapiteln 2.1.1 bis 2.1.4 genannten Objektdetektionsverfahren wird in erster Linie durch die Komplexität der jeweiligen Aufgabenstellung bestimmt. Darüber hinaus ist die gewünschte Prozesssicherheit ein weiteres wichtiges Auswahlkriterium. Je komplexer eine Aufgabenstellung ist, desto höherdimensionaler muss die Objektdetektion gewählt werden. Damit kann in den meisten Anwendungen ein sicheres Greifen von Objekten durch den Roboter und somit eine ausreichende Prozesssicherheit sichergestellt werden.

Bei allen optischen Messprinzipien gilt es dabei zu beachten, dass diese sehr anfällig auf wechselnde Lichtverhältnisse aus der Umgebung sind. Des Weiteren können Reflexionseigenschaften der Oberflächen bzw. Vibrationen von Objekten eine negative Auswirkung auf das Messergebnis haben. Essentiell für die Einsetzbarkeit von optischen Messsystemen ist demnach die richtige Abstimmung zwischen eingesetzten Kamerasystemen und der Umgebungsbeleuchtung.²²

Für die Sicherstellung eines reibungslosen Betriebs, sollten optische Messverfahren ausschließlich von Experten aufgebaut und in Betrieb genommen werden.

Während eindimensionale Objektdetektionsverfahren in vielen Fällen schnell und kostengünstig in Applikationen implementiert werden können, sind für zwei- respektive dreidimensionale Objektdetektionsverfahren bereits sehr aufwändige Sensoren notwendig. Diese Sensoren sind ebenfalls in der Lage Objekte lediglich eindimensional zu detektieren, jedoch ist dies in vielen Fällen zu teuer und wird deshalb in der Praxis kaum eingesetzt.²³

²¹ Vgl. Kostka (2017), Online-Quelle [26.11.2017].

²² Vgl. Günthner/Ulrich (2009), S. 38., zitiert nach: Ledermann (2005) S. 36 – 48., Pannenkamp (2005), o.S., Ledermann (2007), S. 31 – 44.

²³ Vgl. Jünemann/Beyer (1998), S. 263.

2.2 Objekthandhabung, Greifbarkeit

Die unterschiedlichen Möglichkeiten zur Handhabung von Objekten beeinflussen die Leistungsfähigkeit und Flexibilität von diversen, automatisierten Robotersystemen teils massiv. Aus diesem Grund ist die richtig ausgewählte Technologie die Grundlage für eine funktionierende, effiziente Objekthandhabung.

Bei einem Roboter ist der sogenannte Endeffektor das einzige Bindeglied zwischen den handzuhabenden Objekten und dem Roboter. Der Endeffektor kann in unterschiedlichsten Ausführungen vorkommen. Beispielsweise kann er aus komplexen Werkzeugen für Bearbeitungszwecke oder aus verschiedensten Greifersystemen für Handhabungsanwendungen bestehen. Bei Handhabungsanwendungen befindet sich der sogenannte Greifer am Ende des Roboterarmes und führt die eigentliche Bewegungsaufgabe durch. Alle anderen Bestandteile eines Roboters stellen lediglich die optimale Positionierung des Greifers sicher.²⁴

Der Robotergreifer kann dabei mit unterschiedlichen Befestigungsmechanismen, entweder manuell oder automatisiert mit dem Roboterarm verbunden werden.

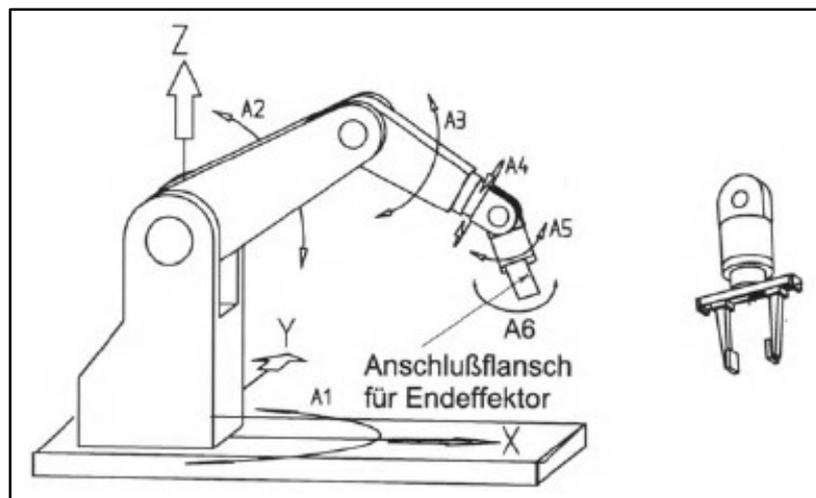


Abbildung 5: Knickarmroboter mit Parallelgreifer als Endeffektor, Quelle: Güsmann/u.a. (1998), S. 25.

Für Kommissionier- und Palettieraufgaben kommen aufgrund der hohen Flexibilitätsanforderungen, häufig Greiferwechselsysteme zum Einsatz. Diese Systeme ermöglichen den Einsatz von mehreren, einfach herzustellenden, sowie kostengünstigen Greifern innerhalb einer Applikation. Mithilfe der Wechselsysteme sind Roboter in der Lage, die Greifer vollautomatisch zu wechseln. Damit lassen sich sehr individuelle und vielseitige Aufgabenstellungen relativ kostengünstig bewerkstelligen. Der einzige wesentliche Nachteil der Systeme liegt im Zeitverlust, welcher durch die Durchführung eines Greiferwechsels eintritt. Bei häufigen Greiferwechseln kann die Leistungsfähigkeit einer Applikation signifikant beeinflusst werden.²⁵

²⁴ Vgl. Güsmann/u.a. (1998), S. 86.

²⁵ Vgl. Güsmann/u.a. (1998), S. 109.

Zu den Hauptaufgaben eines Greifers gehört nach Güsmann/u.a. das:²⁶

- Herstellen eines Kontaktes zwischen dem Greifobjekt und dem Greifer (form-, kraft-, oder stoffpaarige Verbindung)
- Manipulieren des Objektes (Ortsveränderung, Lageveränderung)
- Lösen des Kontaktes zwischen dem Greifobjekt und dem Greifer

Neben den genannten Hauptfunktionen können sich je nach Anwendung Nebenfunktionen wie z.B. die Informationsaufnahme durch Sensoren am Greifer etc. ergeben. Die Ausführung von diversen Nebenfunktionen ist sehr individuell gestaltbar, weshalb zahlreiche unterschiedliche Greifer am Markt existieren.

Existierende Greifersysteme werden nach Güsmann/u.a. nach den folgenden, bedeutendsten Aspekten gegliedert:²⁷

- nach dem Wirkprinzip (mechanisch, magnetisch, Saugkraft, Adhäsion etc.)
- nach der Anzahl an greifbaren Objekten (Einzel-, Zweifach-, Mehrfachgreifer etc.)
- nach der Art der Schließbewegung (bei mechanischen Systemen)

Die genannten Gliederungsaspekte können unabhängig voneinander auftreten und sich gegenseitig positiv, aber auch negativ beeinflussen.

2.2.1 Auswahl geeigneter Greifersysteme

Aufgrund der hohen Individualisierung von Greifersystemen ist die Kenntnis über deren Einsetzbarkeit, sowie die Eigenschaften der handzuhabenden Objekte essentiell. Erst ein optimal auf das Objekt abgestimmter Greifer kann Handhabungstätigkeiten mit hoher Genauigkeit verrichten.

Die Übersicht in der folgenden Abbildung 6 eignet sich als Unterstützung für die Auswahl eines geeigneten Greifers für viele Anwendungsfälle sehr gut. Es werden darin jene Greifertypen, welche in der Praxis häufig verwendet werden, bewertet. Die Übersicht repräsentiert dabei jedoch keine vollständige Bewertung aller vorhandenen Systeme und deren Einsatzgebiete.²⁸

²⁶ Vgl. Güsmann/u.a. (1998), S. 86.

²⁷ Vgl. Güsmann/u.a. (1998), S. 93.

²⁸ Vgl. Hesse/u.a (1998), S. 124.

Greifertyp		Parallelgreifer	Radialgreifer	Winkelgreifer	3-Punktgreifer	Saugergreifer
Masse	0,2 bis 1 kg	■	■	■	■	■
	1 bis 10 kg	■	□	■	■	■
	10 bis 50 kg	■□	□	■	■	■
	> 50 kg	□		■	■	■□
Abmessung	20 bis 50 mm	■	■	■	■	■
	50 bis 300 mm	■	□	■	■□	■
	300 bis 1000 mm	■		■	□	■
	> 1000 mm	■		■		■
Innengriff-Flächen		■		□	■	
Oberfläche	glatt	■	■	■	■	■
	rauh	■	■	■	■	■
	porös	■	□	□	□	□
	empfindlich	□			□	■
Rundteile	Scheibe	■□	■		■	■
	Kurzzyylinder	■	■	■	■	■
	Welle, Stange	■□		■		
Prismaticteile	Blockteil	■	■	■		■
	flach/kurz	□	■	□		■
	flach/lang			□		■
Kunststoffe		■	□	□		■
Textilien						□
Folien						■□
Glas		□	■□	■□	■□	■
Steingut		□	■□	■□	■□	□

Abbildung 6: Bewertung vorhandener Greifertypen, Quelle: Hesse/u.a (1998), S. 124 (leicht modifiziert).

Die Darstellung der einzelnen Greifertypen in Abbildung 6 verdeutlicht, dass sowohl der Parallel-, der Radial-, der Winkel-, als auch der Dreipunktgreifer ein mechanisches Wirkprinzip besitzt.

Der Sauggreifer wiederum, arbeitet nach einem pneumatischen Wirkprinzip. Diese Erkenntnis impliziert, dass in der Praxis sowohl mechanisch, als auch pneumatisch betriebene Greifer, für Handhabungsanwendungen eingesetzt werden.

Aus diesem Grund werden diese beiden Greifertypen im Folgenden allgemein betrachtet, ohne dabei auf existierende Ausprägungen, welche zum Teil sehr individuell und komplex sein können, genauer einzugehen.

2.2.2 Mechanische Greifer

Mechanische Greifer sind in der Praxis nach wie vor am häufigsten anzutreffen und kommen der manuellen Handhabung von Objekten rein optisch betrachtet am nächsten.²⁹ Zur Verrichtung einer Handhabungsaufgabe benötigen sie stets Kontakt zu mindestens zwei Flächen des Greifobjektes. Dabei kann es sich sowohl um Innen-, als auch um Außenflächen handeln.

Das Halten funktioniert durch Formschluss, Kraftschluss, oder einer Kombination aus beiden. Bei der Auswahl eines mechanischen Greifers ist es, wie bereits in Abbildung 6 erwähnt, erforderlich, die Eigenschaften des Greifobjektes genau zu kennen. Neben sehr vielseitig einsetzbaren Universalgreifern, werden mechanische Greifer in sehr vielen Fällen anwendungsspezifisch gefertigt und können dabei sehr komplex sein. Mechanische Greifer benötigen darüber hinaus einen Antrieb, um die für die jeweilige Handhabungsaufgabe erforderliche Bewegung ausführen zu können. Hierfür kommen in den meisten Fällen pneumatische Antriebe zum Einsatz. Neben den pneumatischen Antrieben sind in der Praxis ebenfalls hydraulische oder elektrische Modelle anzufinden.³⁰

Vorteile von mechanischen Greifern:

- funktioniert in Kombination mit nahezu allen Oberflächenbeschaffenheiten
- Objekte können sowohl durch Innengriff oder Außengriff manipuliert werden
- großer Einsatzbereich

Nachteile von mechanischen Greifern:

- eignet sich nur bedingt bei empfindlichen Objekten
- hohe Flächenpressungen zwischen dem Objekt und dem Greifer können auftreten³¹
- erfordert Kontakt zu mindestens zwei Flächen des Greifobjektes

2.2.3 Sauggreifer

Wie bereits im Kapitel 2.2.1 beschrieben führen Sauggreifer die Handhabungsaufgabe mithilfe eines pneumatischen Wirkprinzips durch. Dabei wird zwischen dem Greifer und dem handzuhabenden Objekt ein Vakuum aufgebaut. Durch dieses Vakuum entsteht eine Kraftpaarung zwischen dem Objekt und dem Greifer, welche das Manipulieren des Objektes ermöglicht.³²

²⁹ Vgl. Güsmann/u.a. (1998), S. 101.

³⁰ Vgl. Güsmann/u.a. (1998), S. 102 f.

³¹ Vgl. Hesse/u.a (1998), S. 124.

³² Vgl. Güsmann/u.a. (1998), S. 98.

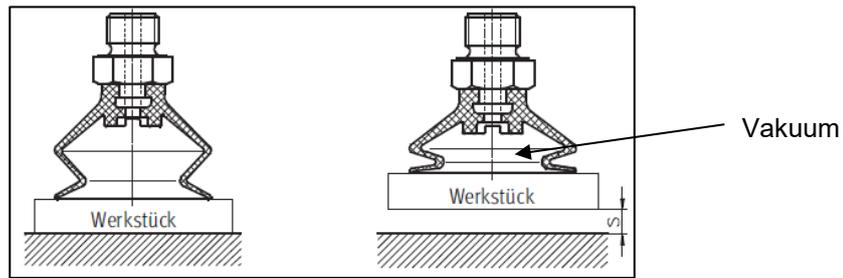


Abbildung 7: Funktionsprinzip eines Sauggreifers, Quelle: Fa. Festo (2017), Online-Quelle [26.11.2017], S. 38.

Die Vakuumtechnik eröffnet durch ihre Funktionsweise komplett neue Einsatzbereiche in der Handhabungstechnik und kommt dort zum Einsatz, wo mechanische Greifer an ihre Grenzen stoßen.³³

Sauggreifer werden nach Güsmann/ u.a. nach der Art der Vakuumerzeugung wie folgt unterteilt:³⁴

- Vakuum - Sauggreifer (aktive Vakuumerzeugung)
- Luftstrom - Sauggreifer (Venturi Prinzip)
- Haft - Sauggreifer (Luftverdrängung durch Pressverbindung)

In der Praxis kommt der Vakuum - Sauggreifer aufgrund seiner einfachen Implementierbarkeit und seiner individuellen Einsatzbereiche sehr häufig zum Einsatz. Dieser Greifer saugt aktiv die Luft an der Saugunterseite ab, wodurch in weiterer Folge ein Vakuum zwischen dem Greifer und dem Werkstück erzeugt wird. Der Luftdruck innerhalb des Vakuums ist geringer als der Atmosphärendruck, weshalb das Werkstück an den Sauger gedrückt wird. Grundsätzlich eignen sich Vakuum - Sauggreifer am besten für die Handhabung von Objekten mit glatten, luftundurchlässigen Oberflächen. Allerdings ist die Anpassungsfähigkeit der Greifer und dadurch auch deren Einsetzbarkeit, in den letzten Jahren signifikant fortgeschritten. Dieser Fortschritt ist auch der Grund weshalb bereits sehr viele unterschiedliche Objekte, mit unterschiedlichen Oberflächenbeschaffenheiten, Gewichten und Flächen, sicher gehandhabt werden können.³⁵

Die bedeutendsten Vorteile von Sauggreifern definieren Günthner/Ulrich wie folgt:³⁶

- Kontakt nur mit einer Fläche des Greifobjektes erforderlich
- sehr individueller und weit verbreiteter Einsatzbereich
- für die Handhabung empfindlicher Objekte in vielen Fällen geeignet

³³ Vgl. Fa. Festo (2017), Online-Quelle [26.11.2017], S. 16.

³⁴ Vgl. Güsmann/u.a. (1998), S. 98.

³⁵ Vgl. Fa. Festo (2017), Online-Quelle [26.11.2017], S. 37.

³⁶ Vgl. Günthner/Ulrich (2009) S. 33 f.

Die bedeutendsten Nachteile von Sauggreifern definieren Güsmann u.a. wie folgt:³⁷

- Zeitverlust durch Vakuumaufbau
- grundsätzlich schlechtere Positioniergenauigkeit als mechanische Greifersysteme
- Verformungsgefahr bei manchen Greifobjekten durch das Vakuum

2.3 Handhabungsgenauigkeit

Die Handhabungsgenauigkeit von Industrierobotern ist in der VDI - Richtlinie 2861 geregelt. Wesentliche Bestandteile dieser Richtlinie sind die beiden Begriffe Wiederholgenauigkeit und Positioniergenauigkeit.

In der VDI - Richtlinie wird das genaue Vorgehen für die Ermittlung dieser Genauigkeitskennwerte erläutert. Beispielsweise müssen zur Ermittlung der Wiederholgenauigkeit eines Industrieroboters dreißig unterschiedliche Messpositionen, je fünfmal angefahren werden.³⁸

Diese ermittelten Genauigkeitskennwerte sind für die richtige Auswahl einer Applikation essentiell. Während in der Praxis zahlreiche Applikationen auftreten, welche niedrige Genauigkeitskennwerte aufweisen, werden bei den meisten Kommissionier- bzw. Palettierapplikationen hohe, bis höchste Kennwerte gefordert.

Hesse u.a. beschreiben die beiden Begriffe Wiederholgenauigkeit und Positioniergenauigkeit wie im Kapitel 2.3.1 und Kapitel 2.3.2 ausgeführt:³⁹

2.3.1 Wiederholgenauigkeit

Zur Ermittlung der Wiederholgenauigkeit eines Industrieroboters wird ein zuvor definierter Messpunkt (Soll-Position) mehrere Male angefahren. Dabei ergibt sich eine Punktwolke mit den tatsächlich angefahrenen Positionen (Ist-Positionen) des Roboters, in der Nähe der Soll-Position. Die Wiederholgenauigkeit gibt nun den mittleren Abstand zwischen allen angefahrenen Positionen an. Der Abstand der Ist-Positionen zur Soll-Position ist für die Ermittlung der Wiederholgenauigkeit irrelevant.

2.3.2 Positioniergenauigkeit

Zur Ermittlung der Positioniergenauigkeit eines Industrieroboters wird ebenfalls ein zuvor definierter Messpunkt (Soll-Position) mehrere Male angefahren. Die tatsächlich angefahrenen Ist-Positionen ergeben dabei eine Punktwolke im Bereich der Soll-Position, die bei jedem zusätzlichen Anfahrvorgang wächst. Die Positioniergenauigkeit gibt nun den mittleren Abstand zwischen der Soll-Position und der am weitest entfernten Ist-Position an.

³⁷ Vgl. Güsmann/u.a. (1998), S. 98.

³⁸ Vgl. Güsmann/u.a. (1998), S. 27.

³⁹ Vgl. Hesse/u.a. (1996), S. 64 f.

Zur Verdeutlichung der Wiederhol-, respektive der Positioniergenauigkeit dient die folgende Abbildung 8.

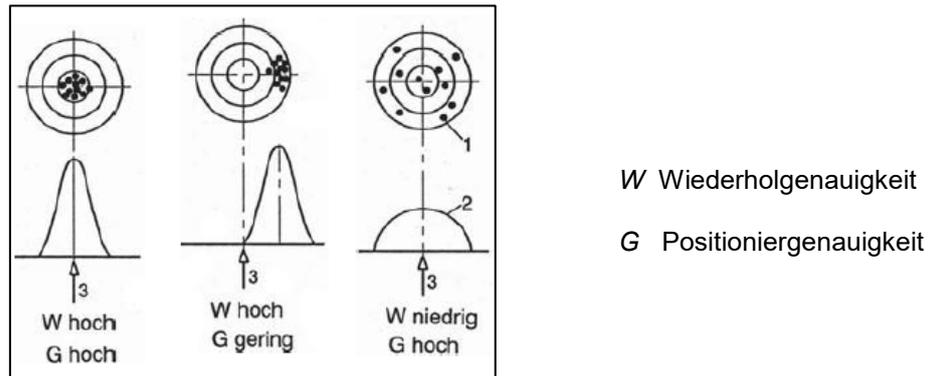


Abbildung 8: Wiederhol- und Positioniergenauigkeit von Industrierobotern, Quelle: Hesse/u.a (1998), S. 56.

2.4 Tragfähigkeit

Unabhängig davon, für welche Tätigkeit ein Roboter in der Praxis eingesetzt wird, ist die höchst zulässige Last welche er bewegen kann, begrenzt. Aufgrund der Tatsache, dass die Tragfähigkeitsleistung ein wesentliches Kriterium für die Auswahl eines bestimmten Industrieroboters sein kann, wurden sogenannten Belastungskenngrößen definiert. Grundsätzlich nimmt die Tragfähigkeitsangabe eines Roboters Bezug auf alle Lasten, welche ein Industrieroboter bewegt. Als Schnittstelle gilt hierbei der Anschlussflansch für den Endeffektor, welcher sich in der Regel am Ende der letzten Roboterachse befindet.⁴⁰

Zur einheitlichen Bestimmung der Tragfähigkeit eines Roboters, existieren laut Güsmann u.a. die folgenden fünf bedeutendsten Kenngrößen:⁴¹

- **Werkzeuglast:** ist jene Last des Greifers oder des Werkzeugs, welche direkt an den Anschlussflansch des Roboters angebracht wird.
- **Nutzlast:** ist jene Last, welche zusätzlich zur Werkzeuglast vom Roboter ohne Einschränkungen in der Arbeitsweise bewegt werden kann.
- **zusätzliche Nutzlast:** ist jene Last, mit der die Nutzlast überschritten werden darf, allerdings mit Einschränkungen in der Arbeitsweise des Roboters.
- **maximale Nutzlast:** ist die Summe aus Nutzlast und zusätzlicher Nutzlast.
- **Nennlast:** ist die Summe aus Werkzeuglast und Nutzlast.

Um ein besseres Verständnis der fünf genannten Kenngrößen zu vermitteln, werden diese in der folgenden Abbildung 9 schematisch dargestellt.

⁴⁰ Vgl. Güsmann/u.a. (1998), S. 24.

⁴¹ Vgl. Güsmann/u.a. (1998), S. 24 f.

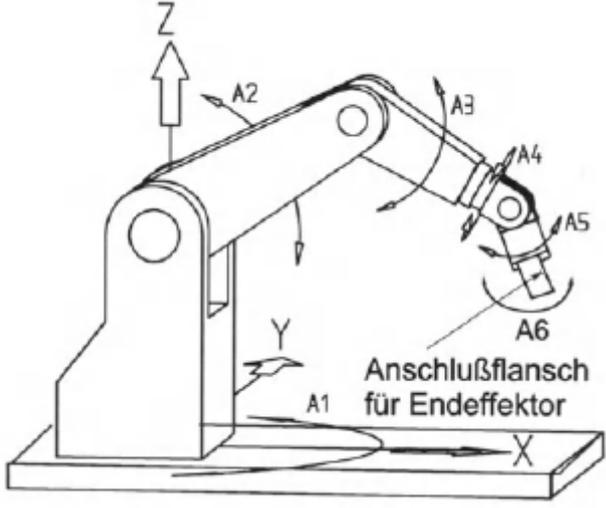
Eigengewicht des Roboters mit Schnittstelle	Werkzeuglast	Nutzlast	zus. Nutzlast
	Nennlast		
		max. Nutzlast	
			

Abbildung 9: Tragfähigkeitskenngrößen von Industrierobotern, Quelle: Güsmann/u.a. (1998), S. 25 (leicht modifiziert).

2.5 Aktionsgeschwindigkeit - Kundentakt, Linientakt, Arbeitstakt

Um eine beliebige Applikation in eine bestehende Produktionslinie implementieren zu können, sind einige Rahmenbedingungen in dessen Entwicklung zu berücksichtigen. Eine dieser Rahmenbedingungen ist die einzuhaltende Aktionsgeschwindigkeit. Die Herleitung und Bedeutung dieser Geschwindigkeit wird in den folgenden Unterkapiteln behandelt.

2.5.1 Allgemeine Begriffserklärung einer schlanken „leanen“ Fertigung

Aufgrund der Tatsache, dass die Lebenszyklen vieler Produkte in den letzten Jahren und Jahrzehnten stark abgenommen haben, veränderten sich die Nachfrageintervalle der Kunden. Diese Tatsache macht es für produzierende Unternehmen immer schwieriger, die volatile Nachfragekurve der Kunden mit ihrer unternehmensinternen Produktion wirtschaftlich zu synchronisieren.

Um die schwankende Kundennachfrage unter geringsten ökonomischen Einbußen zu befriedigen, betreiben viele Unternehmen ihre Produktion in Ausrichtung an einen sogenannten Kundentakt. Hierbei handelt es sich um eine bestimmte Form der Fließfertigung, wobei der Kunde zu jedem Zeitpunkt den Takt vorgibt.

Der Kundentakt wird dabei folgendermaßen ermittelt:

$$\text{Kundentakt} = \frac{\text{Netto – Produktionszeit}}{\text{Kundenbedarf}}$$

Formel 1: Allgemeine Berechnungsformel des Kundentaktes,
Quelle: in Anlehnung an Lean-Production-Expert (2017), Online-Quelle [26.11.2017].

Das folgende Beispiel stellt ein allgemeines Verständnis des Kundentaktes t sicher:

Angenommen ein Kunde wäre in der nächsten Stunde bereit, 20 Stück eines bestimmten Produktes abzunehmen. Um diesen Kunden zeitgerecht das gewünschte Produkt zur Verfügung zu stellen, ist es erforderlich die Produktion und den Verkauf auf den Kundentakt zu synchronisieren. Konkret müssten also die 20 nachgefragten Produkte innerhalb einer Stunde produziert und verkauft werden. Um dies zu bewerkstelligen ist folgender Kundentakt in der gesamten Produktion sowie im Verkauf einzuhalten.⁴²

$$t \left(\frac{\text{min}}{\text{Stk.}} \right) = \frac{60 \text{ min}}{20 \text{ Stk.}} = 3$$

Formel 2: Berechnungsformel des Kundentaktes für den dargestellten Beispielfall, Quelle: eigene Darstellung.

Bemerkung zur Ermittlung des Kundentaktes:

Die in die Berechnung des Kundentaktes in Formel 1 eingehende Produktionszeit ist die Netto - Produktionszeit, in welcher die gesamte Produktion tatsächlich wertsteigernd in Betrieb ist. Geplante Stillstände oder Wartungen jeglicher Art sind in dieser Produktionszeit nicht inbegriffen, da dies ansonsten das Ergebnis des erforderlichen Linientaktes verfälschen würde.

Für die Einbeziehung von ungeplanten Anlagenstehzeiten, welche beispielsweise durch Anlagenstörungen verursacht werden, gibt es von Unternehmen zu Unternehmen unterschiedliche Vorgehensweisen. Viele der Unternehmen berücksichtigen ungeplante Anlagenstillstände anhand von Erfahrungswerten anderer vergleichbarer Applikationen. Dadurch sinkt der erforderliche Kundentakt. Einige Unternehmen wiederum berücksichtigen keine ungeplanten Anlagenstehzeiten, um einer Überproduktion bei reibungslosem Produktionsbetrieb entgegen zu steuern. Mit dieser Vorgehensweise akzeptieren sie die Gefahr eines Lieferabrisses aufgrund eines ungeplanten Anlagenstillstandes.⁴³

Um alle innerbetrieblichen Prozesse mit dem Kundentakt zu synchronisieren, ist ein zusätzlicher Takt, der sogenannte Produktionstakt, erforderlich. Aufgrund der Tatsache, dass eine Produktion mit mehreren parallelen Arbeitsabläufen maximal so schnell durchlaufen werden kann wie der langsamste dieser Arbeitsabläufe, wird der Produktionstakt durch den Arbeitstakt des langsamsten Arbeitsablaufes bestimmt. Hierbei handelt es sich um den sogenannten Engpass bzw. das sogenannte Bottle - Neck innerhalb der Produktion. Wie zuvor bereits kurz beschrieben repräsentiert der Arbeitstakt jene Zeit, in welcher ein einzelner Arbeitsvorgang verrichtet wird. Er wird als dritter wesentlicher Takt in einer getakteten Fertigung angesehen. Gemessen wird der Arbeitstakt, wie die beiden anderen Takte, in Zeiteinheit je Produktionsleistung. Der Kundentakt ist dabei zu jedem Zeitpunkt der Zielwert und gleichzeitig aber auch der Höchstwert, auf den der Produktionstakt und sämtliche Arbeitstakte synchronisiert werden müssen.⁴⁴

⁴² Vgl. Lean-Production-Expert (2017), Online-Quelle [26.11.2017].

⁴³ Vgl. Olofsson (2017), Online-Quelle [26.11.2017].

⁴⁴ Vgl. Buck/u.a. (2012), S. 90 f.

Das Ziel einer schlanken „leanen“ Fertigung ist erreicht, wenn die optimale Kundenversorgung bei gleichzeitig ausschließlich wertsteigernden Tätigkeiten stattfindet. Sämtliche Verschwendungsarten wie beispielsweise Lose, Puffer, Lager, überflüssige Transporte, etc. sollten dabei beseitigt werden. Dieses Ziel würde durch Deckungsgleichheit zwischen Kundentakt, Produktionstakt und Arbeitstakt bestätigt sein.

2.5.2 Grundbewegungen automatisierter Handhabungsvorgänge

Die meisten Arbeitsabläufe in der Handhabungs- und Montagepraxis können nach Buck u.a. fünf wesentlichen Grundbewegungen zugeordnet werden. In diesem Kapitel sind diese fünf Grundbewegungen in Form eines Zeitprofils in der Abbildung 10 dargestellt und anschließend beschrieben:⁴⁵

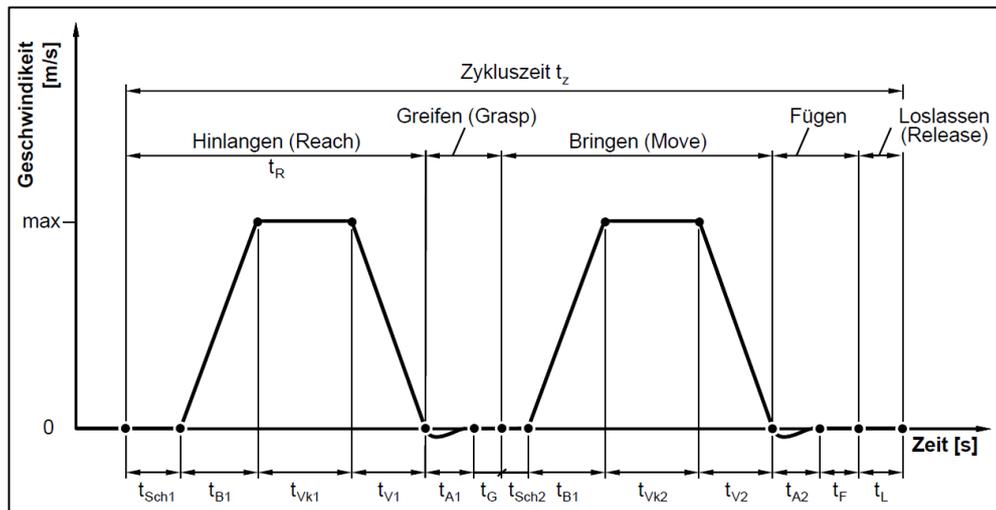


Abbildung 10: Zeitprofil eines automatisierten Handhabungsvorgangs nach MTM, Quelle: Buck/u.a. (2012), S. 74.

Das Verfahren, welches Bewegungsabläufe in Grundbewegungen unterteilt, nennt sich „Methods - Time Measurement“ - Verfahren. Darin werden den fünf Grundbewegungen zusätzlich sogenannte Normzeiten, welche auf Basis von Best - Practice - Werten ermittelt werden, zugewiesen. Die Zuweisung der Normzeiten ermöglicht eine darauffolgende, aussagekräftige Unterteilung in Primär- bzw. Sekundärvorgänge.

Nachfolgend wird das Verständnis des Zeitprofils aus Abbildung 10 anhand einer Beschreibung der fünf Grundbewegungen eines automatisierten Handhabungsvorgangs vertieft. Diese Beschreibung formuliert Buck u.a. wie folgt:⁴⁶

⁴⁵ Vgl. Buck/u.a. (2012), S. 54.

⁴⁶ Vgl. Buck/u.a. (2012), S. 73 - 76.

Hinlangen: Hierbei handelt es sich um den kompletten Bewegungsablauf des Roboters und des Robotergreifers, zwischen dem Loslassen des vorangegangenen und dem Greifen des aktuellen Greifobjektes.

Die Dauer der gesamten Grundbewegung setzt sich bei einem Roboter aus mehreren Teilzeiten, die in Abbildung 11 dargestellt sind, zusammen. Die Teilzeiten sind dabei wie folgt definiert:

t_{Sch} : Schaltzeit des Roboters

t_{B1} : Beschleunigungszeit des Roboters

t_{VK1} : Zeit konstanter Geschwindigkeit des Roboters

t_{V1} : Verzögerungszeit des Roboters

Die Zeiten t_{Sch} , t_{B1} sowie t_{V1} werden maßgeblich durch die Auswahl der Roboterbauart beeinflusst. Die Zeit t_{VK1} durch die Gestaltung des Arbeitsraums und der Bahnstrecke des Roboters definiert.

Greifen: Darunter versteht man ausschließlich den Bewegungsablauf des Robotergreifers, nicht jenen des Roboters selbst. Der Greifvorgang setzt sich dabei aus zwei Teilzeiten zusammen die wie folgt definiert sind:

t_{A1} : Ausschwingzeit des Roboters

t_G : Greifzeit

Die Ausschwingzeit t_{A1} ist jene Zeit die benötigt wird, um eine sichere, exakte Handhabung von Greifobjekten zu ermöglichen. Jene Applikationen ohne Ausschwingzeit weisen zwar oft kürzere Taktzeiten auf, diese gehen jedoch auch mit beträchtlichen Einbußen hinsichtlich Positioniergenauigkeit einher.

Die Greifzeit t_G ist jene Zeit die vergeht, währenddessen der Greifer das Greifobjekt in einer definierten Position unter Kontrolle bringt. Alle zum Greifen notwendigen Bewegungen des Greifers wie z.B. das Schließen der Greifbacken oder notwendige Drehbewegungen, sind Bestandteile der Greifzeit. Die Greifzeit t_G wird durch die Auswahl des Greifers einerseits und durch die lagegerechte Bereitstellung der Greifobjekte andererseits bestimmt.

Die Ausschwingzeit t_{A1} wird maßgeblich durch die handzuhabende Nennlast bestimmt.

Bringen: Unter dieser Grundbewegung versteht man den Bewegungsablauf des Roboters von der Greifposition bis zur definierten Ablageposition des Greifobjektes. Die Grundbewegung Bringen ist somit deckungsgleich mit der Grundbewegung Hinlangen, wird allerdings in entgegengesetzter Richtung aufgeführt.

Fügen: Bei einer Handhabungsaufgabe versteht man darunter den Bewegungsablauf des Robotergräfers, welche das definierte Ablegen des Greifobjekts ermöglicht. Für Applikationen in der Montagetechnik zählt ebenfalls ein mögliches Holen und Zurückbringen von Hilfswerkzeugen durch den Roboter, zur genannten Grundbewegung.

Ähnlich wie der Greifvorgang besteht auch der Fügevorgang aus den folgenden zwei Teilzeiten:

t_{A2} : Ausschwingzeit des Roboters

t_F : Fügezeit

Die Ausschwingzeit t_{A2} wird benötigt, um ein exaktes Positionieren von Greifobjekten zu gewährleisten.

Die Fügezeit t_F ist jene Zeit die vergeht, während das Greifobjekt durch den Greifer exakt positioniert wird. Sie wird durch die unterschiedlichen Anforderungen an die Positioniergenauigkeit bestimmt.

Loslassen: Die Grundbewegung Loslassen definiert das Ablegen, respektive das Freigeben von Greifobjekten, wie beispielsweise das Öffnen von mechanischen Greifbacken.

Für gewöhnlich ist für diese Grundbewegung der geringste Zeitaufwand, die sogenannte Loslasszeit t_L notwendig.

Das Wissen, dass sämtliche Arbeitsabläufe in die genannten fünf Grundbewegungen unterteilt werden können, dient als Grundlage für die folgende Durchführung einer Arbeitstaktbewertung. Diese Bewertung wird im folgenden Kapitel 2.5.3 durchgeführt.

2.5.3 Beschreibung einer Primär-, Sekundäranalyse zur Arbeitstaktbewertung

Wie aus der Definition des Arbeitstaktes aus Kapitel 2.5.1 hervorgeht, beinhaltet dieser, sofern der Arbeitsvorgang nicht verschwendungsfrei betrieben wird, sowohl wertsteigernde (primäre), als auch nicht wertsteigernde (sekundäre) Arbeitsabläufe.

Um den Arbeitstakt, oder auch die Taktzeit, einer Handhabungssapplikation im Detail zu untersuchen, hat sich die sogenannte Primär - Sekundäranalyse (kurz: PSA) bewährt. Im Zuge dieser Analyse werden sämtliche Arbeitsvorgänge eines gesamten Arbeitsablaufes in Primär-, bzw. Sekundärvorgänge unterteilt und in einem Diagramm dargestellt.

Die Definition der beiden Vorgänge, sowie den Nutzen der Analyse und die darauffolgende Ermittlung des Anlagenwirkungsgrades beschreibt Buck u.a. wie folgt: ⁴⁷

⁴⁷ Vgl. Buck/u.a. (2012), S. 49 f.

Primärvorgänge: sind alle Tätigkeiten, welche einen direkten Beitrag zur Wertschöpfung eines Produktes liefern.

Sekundärvorgänge: sind alle Tätigkeiten welche notwendig sind um Primärvorgänge zu ermöglichen, allerdings als eigenständige Vorgänge keinen direkten Beitrag zur Wertschöpfung eines Produktes liefern.

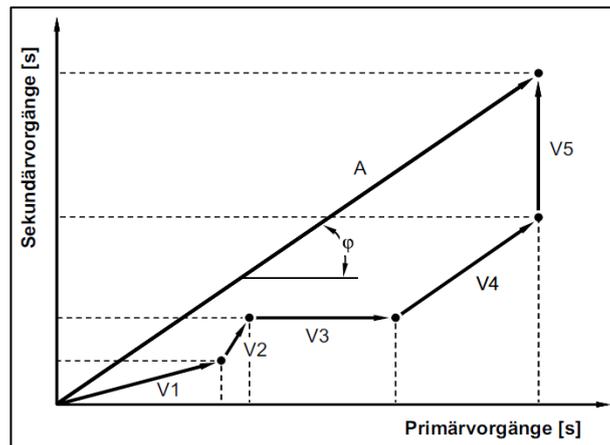


Abbildung 11: Primär - Sekundärbewertung eines Arbeitsablaufes mit fünf Arbeitsvorgängen, Quelle: Buck/u.a. (2012), S. 50.

Nutzen der Primär - Sekundäranalyse:

Eine Primär - Sekundäranalyse stellt Arbeitsvorgänge und deren Beitrag zur Wertsteigerung eines Arbeitsablaufes in einem Diagramm, wie in Abbildung 11 dargestellt, transparent dar.

Auf Basis dieser Darstellung kann der Anlagenwirkungsgrad, welcher eine wichtige Kenngröße für die Effizienz eines Arbeitsablaufes darstellt, wie folgt ermittelt werden:

$$Wm (\%) = \frac{\sum PV}{\sum PV + \sum SV} * 100$$

PV / s Primärvorgänge, *SV* / s Sekundärvorgänge, *Wm* / % Anlagenwirkungsgrad

Formel 3: Berechnung des Anlagenwirkungsgrades als Output der Primär - Sekundäranalyse, Quelle: Buck/u.a. (2012), S. 50.

Für die Entwicklung einer automatisierten Kommissionier- und Palettieranlage ist es essentiell, dass alle notwendigen Primärvorgänge optimal auf die jeweilige Aufgabenstellung ausgelegt werden. Etwaige Sekundärvorgänge sollten zudem weitestgehend vermieden werden, um den resultierenden Arbeitstakt und somit die Verschwendung auf ein Minimum zu reduzieren und den Anlagenwirkungsgrad zu erhöhen.

2.6 Freiheitsgrade

Grundsätzlich gibt der Freiheitsgrad an, in wie viele Richtungen sich ein Körper im Raum frei bewegen kann. Dabei sind sechs Freiheitsgrade die höchste Anzahl, welcher ein starrer Körper im Raum besitzen kann. Das bedeutet der Körper kann in sechs Richtungen im Raum frei bewegt werden. Die sechs Freiheitsgrade in einem dreidimensionalen Koordinatensystem ergeben sich aufgrund drei möglichen Längsbewegungen (Schiebungen) entlang der Hauptachsen, sowie drei Drehungen um dieselben Achsen. Betrachtet man nun die Freiheitsgrade eines Industrieroboters, so stellt man fest, dass sich dieser aus einer Kette von starren Körpern zusammensetzt, welche über unterschiedliche Gelenke miteinander verbunden sind. Es handelt sich hierbei um die sogenannten Achsen des Roboters, die als Gesamtsystem eine Starrkörperkette bilden. Der Freiheitsgrad einer Starrkörperkette wird als Getriebefreiheitsgrad bezeichnet. Der Getriebefreiheitsgrad gibt die Anzahl der voneinander unabhängig angetriebenen Achsen an. Damit ein Roboter ein Objekt im Raum beliebig anordnen kann, benötigt er zumindest sechs unabhängige Achsen. Wichtig ist, dass jene Achsen, welche in die selbe Richtung wirken, den Getriebefreiheitsgrad nicht beeinflussen, da diese wie ein einziges Gelenk zu verstehen sind.⁴⁸

Je nach Anordnung der unterschiedlichen Achsen, ergeben sich unterschiedliche Bauarten von Robotern, welche die Freiheitsgrade einer Anwendung und somit dessen Flexibilität und Einsatzbereich massiv beeinflussen.⁴⁹

⁴⁸ Vgl. Hesse/u.a (1998), S. 49 f.

⁴⁹ Vgl. Güsmann/u.a. (1998), S. 42.

2.6.1 Achsen eines Roboters

Wie bereits in Kapitel 2.6 erwähnt, werden die Freiheitsgrade eines Roboters durch dessen Achsen bestimmt.

Prinzipiell werden diese Achsen in Abhängigkeit ihrer Wirkungsrichtung zwischen rotatorisch und translatorisch unterschieden. Zusätzlich werden rotatorische Achsen, welche sich um sich selbst drehen als fluchtend und andere, welche über ein Drehgelenk bewegt werden, als nicht fluchtend bezeichnet. Bei translatorischen Achsen wird zwischen nicht fluchtenden Verschiebeachsen, fluchtenden Teleskopachsen, sowie Verfahrachsen unterschieden. Wesentlich dabei ist, dass jede Achse immer mit zwei Angaben beschrieben werden kann. Die erste Angabe legt fest, um welche Art einer rotatorischen bzw. translatorischen Achse es sich handelt. Die zweite Angabe gibt Auskunft über das Gelenk, sofern eines vorhanden ist.⁵⁰

Zur Verdeutlichung dieser Ausführungen dient das kinematische Ersatzschaltbild eines fünfachsigigen Knickarmroboters in Abbildung 12.

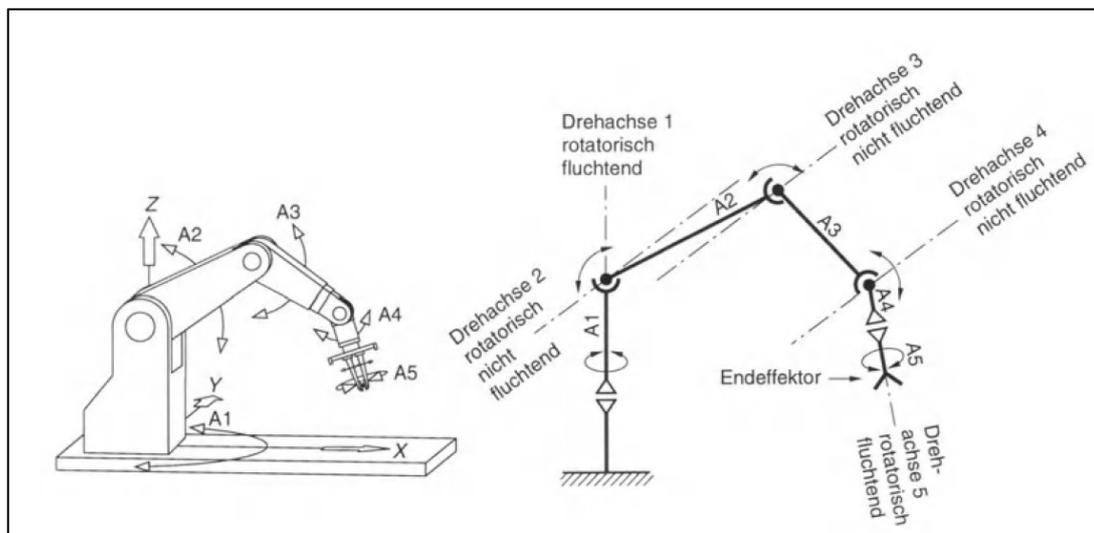


Abbildung 12: Kinematisches Ersatzschaltbild eines fünfachsigigen Knickarmroboters, Quelle: GÜSMANN/u.a. (1998), S. 39.

Ein Roboter benötigt drei Achsen, die sogenannten Hauptachsen, zur Lageschreibung. Darüber hinaus benötigt er weitere Nebenachsen für die Orientierung des Endeffektors. Die drei Hauptachsen können dabei entweder translatorisch oder rotatorisch sein und bestimmen durch die unterschiedlichen Konstellationen die Bauart des Roboters. Die Längenausdehnung dieser Hauptachsen ist des Weiteren entscheidend für den Arbeitsraum, einem weiteren wichtigen Kriterium von Roboterapplikationen.⁵¹

⁵⁰ Vgl. GÜSMANN/u.a. (1998), S. 36 f.

⁵¹ Vgl. GÜSMANN/u.a. (1998), S. 47.

3 ROBOTERBAUARTEN

Wie bereits in Kapitel 2 dieser Arbeit beschrieben, spielen essentielle Auslegungskriterien für die technische Realisierung einer Anwendung eine große Rolle. Die in den Kapiteln 2.3 bis 2.6 beschriebenen Auslegungskriterien werden dabei maßgeblich durch die Auswahl der Roboterbauart definiert. Aus diesem Grund kommt der Roboterbauart in Bezug auf die technische Realisierung einer Anwendung große Bedeutung zu.

Bei den beiden Auslegungskriterien aus Kapitel 2.1 und Kapitel 2.2 handelt es sich um universelle Auslegungskriterien, welche weitestgehend nicht von der gewählten Roboterbauart abhängig sind.

Die Bauart eines Roboters wird durch die unterschiedlichen Konstellationen seiner drei Hauptachsen bestimmt. Man spricht in diesem Kontext auch vom kinematischen Aufbau eines Roboters.⁵²

Die folgende Abbildung 13 liefert einen Überblick über vorhandene, kinematische Aufbauten und die zugehörigen Roboterbauarten.

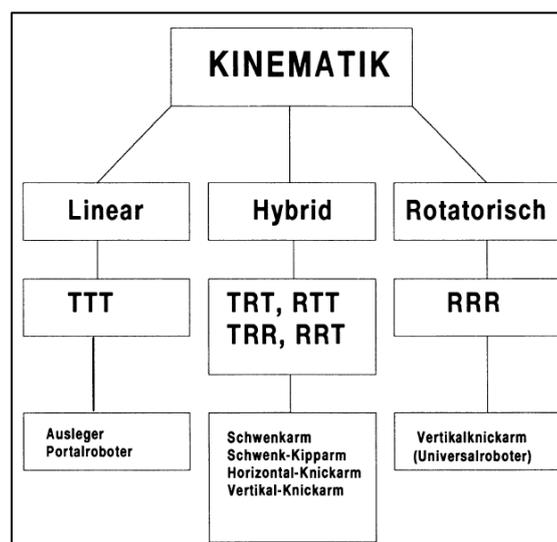


Abbildung 13: Überblick der kinematischen Aufbauten von Robotern, Quelle: Güsmann/u.a. (1998), S. 48.

Zur Verdeutlichung der Abbildung 13 wird im Folgenden für jeden möglichen, kinematischen Aufbau eine Roboterbauart näher betrachtet.

⁵² Vgl. Günthner/Ulrich (2009), S. 19.

3.1.1 Portalroboter

Portalroboter besitzen drei translatorische Hauptachsen und werden deshalb als Linearroboter bezeichnet. Aufgrund der Tatsache, dass ein Portalroboter ausschließlich lineare Bewegung durchführt, ist der resultierende Arbeitsraum kubisch. Der Portalroboter sowie die erforderlichen Antriebselemente befinden sich über einem sogenannten Portalfundament. Aufgrund dieser Anordnung bleibt der Boden innerhalb des Arbeitsbereiches vollständig frei. Bedingt durch die translatorischen Bewegungen der Hauptachsen, kann der Arbeitsbereich eines Portalroboters im Gegensatz zu anderen Roboterbauarten, sehr groß gewählt werden. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit den Arbeitsraum auf einfache Art und Weise zu vergrößern, sodass ein zweiter Portalroboter auf dem Portalfundament untergebracht werden kann.⁵³

Vielfach kommen in der Praxis Portalroboter mit zwei zusätzlichen, rotatorischen Nebenachsen vor. Bei diesen Robotern wird eine Kinematik mit fünf Freiheitsgraden erreicht.⁵⁴

Die bedeutendsten Vorteile, Nachteile sowie typische Einsatzgebiete definiert GÜsmann u.a. wie folgt:⁵⁵

- Vorteile:**
- größte Arbeitsräume realisierbar
 - Handhabung von hohen Nutzlasten möglich
 - gut erweiterbar
- Nachteile:**
- geringere Beweglichkeit als der Knickarmroboter
 - mittlere bis niedrige Positioniergenauigkeit aufgrund eigengewichtbedingter Verformungen des Portalfundaments

Typische Einsatzbereiche: Palettieren, Sortieren, Brennschneiden, Schweißen

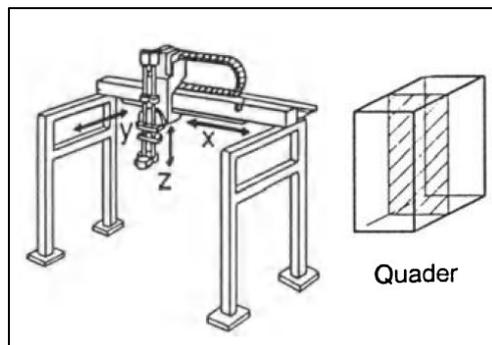


Abbildung 14: Portalroboter mit kubischem Arbeitsraum, Quelle: GÜsmann/u.a. (1998), S. 49.

⁵³ Vgl. GÜsmann/u.a. (1998), S. 48.

⁵⁴ Vgl. Günthner/Ulrich (2009), S. 20.

⁵⁵ Vgl. GÜsmann/u.a. (1998), S. 24.

3.1.2 Schwenkarmroboter

Ein Schwenkarmroboter besteht immer aus einer Mischung zwischen rotatorischen und translatorischen Hauptachsen. In der Praxis ist zumeist die erste Achse des Roboters rotatorisch ausgeführt, wodurch der für Schwenkarmroboter typische zylinderförmige Arbeitsraum entsteht. Mit einer anderen Konstellation der Hauptachsen kann mit einem Schwenkarmroboter ebenfalls ein halbkugelförmiger Arbeitsraum mit Hohlkern ausgebildet werden. Eine besondere und weit verbreitete Form des Schwenkarmroboters ist der sogenannten SCARA - Roboter. Die erste und zweite Achse des SCARA - Roboters liegen waagrecht und sind rotatorisch ausgeführt. Mit der dritten Achse kann ausschließlich die Höhe verstellt werden.⁵⁶

Günthner/Ulrich fassen die bedeutendsten Vorteile, Nachteile sowie typische Einsatzgebiete eines Schwenkarmroboters folgendermaßen zusammen:⁵⁷

- Vorteile:**
- hohe Positioniergenauigkeit
 - hohe Beschleunigungen möglich
 - kostengünstiger im Gegensatz zu Robotern mit sechs Achsen

- Nachteil:**
- geringere Beweglichkeit als der Knickarmroboter

Typische Einsatzbereiche: Verpacken, Palettieren, Beschicken von Maschinen

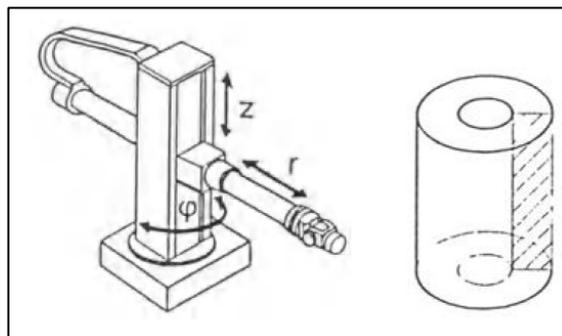


Abbildung 15: Schwenkarmroboter mit zylindrischem Arbeitsraum, Quelle: Güsmann/u.a. (1998), S. 49.

⁵⁶ Vgl. Güsmann/u.a. (1998), S. 49.

⁵⁷ Vgl. Günthner/Ulrich (2009), S. 24.

3.1.3 Knickarmroboter

Die drei Hauptachsen eines Knickarmroboters sind ausschließlich rotatorisch ausgeführt. Aufgrund dieser Ausführung kann der Knickarmroboter einen kugelförmigen Arbeitsraum abdecken.⁵⁸

In der Praxis wird der Knickarmroboter häufig mit bis zu drei zusätzlichen Nebenachsen ausgeführt.⁵⁹ Bei Ausführung von sechs Achsen ist der Knickarmroboter in der Lage, ein Objekt innerhalb des Arbeitsraumes beliebig anzuordnen.

Günthner/Ulrich stellen die bedeutendsten Vorteile sowie typische Einsatzgebiete eines Knickarmroboters wie nachfolgend angeführt dar:⁶⁰

- Vorteile:**
- größte Beweglichkeit aufgrund von bis zu sechs Achsen im Raum
 - beliebiges Umgreifen von Hindernissen möglich
 - sehr flexibel einsetzbar
- Nachteil:**
- kleiner Arbeitsraum im Gegensatz zu vielen anderen Roboterbauarten

Typische Einsatzbereiche: Palettieren, Etikettieren, Montage, Schweißen

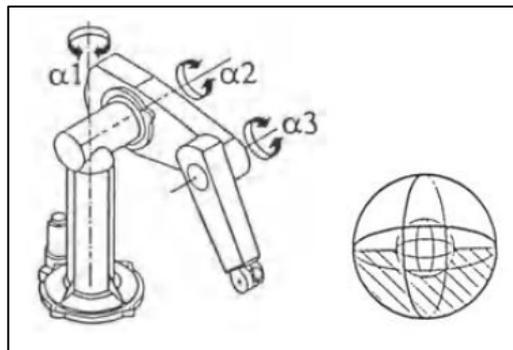


Abbildung 16: Knickarmroboter mit kugelförmigem Arbeitsraum, Quelle: Güsmann/u.a. (1998), S. 50.

⁵⁸ Vgl. Güsmann/u.a. (1998), S. 50.

⁵⁹ Vgl. Günthner/Ulrich (2009), S. 21.

⁶⁰ Vgl. Günthner/Ulrich (2009), S. 24.

4 ÜBERBLICK UND BEWERTUNG DER BESCHRIEBENEN AUSLEGUNGSKRITERIEN UND ROBOTERBAUARTEN

Um einen spezifischen Anwendungsfall technisch optimal zu realisieren, müssen die optimalen Ausprägungen der beschriebenen Auslegungskriterien für diesen Anwendungsfall ermittelt werden. Auf Basis dieser Ausprägungen kann die am besten geeignetste Roboterbauart, in Kombination mit einem geeigneten Objektdetektionsverfahren und einem geeigneten Greifsystem, ausgewählt werden.

In der Tabelle 1 sind die beiden universellen Auslegungskriterien Objektdetektion sowie Objekthandhabung angeführt und bewertet. Diese Kriterien sind für alle vorhandenen Roboterbauarten relevant. Zusätzlich sind in der folgenden Tabelle 2 die übrigen Auslegungskriterien, welche durch die Auswahl der Roboterbauart definiert werden, angeführt und bewertet.

universelles Auslegungskriterium - Objektdetektion				
Bewertungskriterium	ohne	eindimensional	zweidimensional	dreidimensional
notwendige, definierte Objektbereitstellung zum sicheren Greifen des Objekts	in allen Dimensionen	in Höhe, Orientierung und zur Querausrichtung des Messsystems	in Höhe und Orientierung	beliebige Objektbereitstellung
erreichte Prozesssicherheit	niedrig	mittel	mittel	hoch
Messgenauigkeit	nicht relevant	hoch	hoch	hoch
Wartungsaufwand	nicht relevant	niedrig	mittel	mittel
Störanfälligkeit	nicht relevant	niedrig	mittel	mittel
Geschwindigkeit	hoch	hoch	mittel	mittel
Kosten	nicht relevant	niedrig	mittel	hoch
universelles Auslegungskriterium - Objekthandhabung, Greifbarkeit				
Bewertungskriterium	Sauggreifer	mechanische Greifer		
Masse des Objekts	0,2 kg < x < 70 kg	0,2 kg < 70 kg < x (max. Tragfähigkeit des Roboters)		
Objektabmessungen	beliebig	beliebig		
erforderliche Oberflächenbeschaffenheit	glatt und dicht	beliebig		
mechanische Verformbarkeit	beliebig	gering bis mittel		
mindestens erforderliche Greifflächen	eine	zwei		
Wartungsaufwand	gering	gering		
Störanfälligkeit	gering	gering		
Geschwindigkeit	mittel	hoch		
Positioniergenauigkeit	mittel	hoch		
Flexibilität	hoch	mittel		

Tabelle 1: Bewertung der universellen Auslegungskriterien von Kommissionier- und Palettierapplikationen, Quelle: eigene Darstellung.

Auslegungskriterien welche durch Auswahl der Roboterbauart definiert werden			
Bewertungskriterium	Portalroboter	Schwenkarmroboter	Knickarmroboter
Arbeitsraum	klein bis groß	klein bis mittel	klein bis mittel
Erweiterbarkeit des Arbeitsraumes	hoch	mittel	hoch mittels Linear - Verfahrachse
Handhabungsgenauigkeit	niedrig bis mittel	hoch	hoch
Tragfähigkeit	hoch	mittel	mittel
Aktionsgeschwindigkeit	mittel bis hoch	hoch	mittel
Beweglichkeit	gering	mittel	hoch

Tabelle 2: Bewertung der durch die Roboterbauart definierten Auslegungskriterien von Kommissionier- und Palettierapplikationen, Quelle: eigene Darstellung.

Für Kommissionier- und Palettierroboter ist die Forderung nach einer hohen Aktionsgeschwindigkeit, bei möglichst exakter Objektdetektion sowie Handhabungsgenauigkeit charakteristisch. Des Weiteren sind in der Praxis bei vielen Anwendungen hohe Beweglichkeiten notwendig. Abhängig davon wie viele Kommissionier- bzw. Palettierplätze vom Roboter gleichzeitig bedient werden müssen, kann darüber hinaus der Arbeitsraum einer Anwendung eine wesentliche Forderung darstellen.⁶¹

⁶¹ Vgl. Hesse/u.a (1998), S. 318.

5 AUTOMATISIERTES KOMMISSIONIEREN UND PALETTIEREN VON GÜTERN IN ANDEREN BRANCHEN

In diesem Kapitel werden eingesetzte, automatisierte Kommissionier- und Palettieranwendungen aus den unterschiedlichsten Branchen beschrieben. Die Beschreibung verschafft der Leserin respektive dem Leser einen Überblick über mögliche Einsatzgebiete von Roboteranwendungen in der Intralogistik.

Im Zuge der Entwicklung der automatisierten Kommissionier- und Palettieranlage liegt ein wesentlicher Fokus in der Funktionsvereinigung. Das bedeutet, dass die Anlage sowohl die Kommissionierung, als auch die Palettierung der Greifobjekte, durchführen soll. Aus diesem Grund werden in den folgenden Unterkapiteln jene Anwendungen beschrieben, welche die beiden Funktionen ebenfalls in einer Anlage vereinigen. Bei den ausgewählten Anwendungen handelt es sich dabei lediglich um einen beispielhaften Exkurs.

5.1 Kommissionieren und Palettieren in Verteilzentren

Die folgende Anwendung vertreibt die Fa. Swisslog, ein global agierendes Automatisierungsunternehmen und ebenfalls Mitglied der KUKA Gruppe. Die Anwendung, welche unternehmensintern als ACPAQ bezeichnet wird, kommt in kleinen, mittleren oder großen Verteilzentren mit einem Durchsatz von bis zu 500.000 Packstücken am Tag zum Einsatz und wird von Fa. Swisslog wie folgt beschrieben:⁶²

Der in der Anwendung eingesetzte Palettierroboter der Fa. KUKA wird mittels Förderband mit den unterschiedlichsten Packstücken (Kartons, Behälter etc.) aus dem Lager beschickt. Die Anordnung der einzelnen Packstücke auf diesem Förderband ist vom jeweiligen Auftrag und dem zugrundeliegenden Schlichtmuster auf der Palette abhängig. Dieses Schlichtmuster kann mithilfe einer speziellen Palettiersoftware einfach erstellt werden.

Der gesamte logistische Prozess und somit alle Warenbewegungen im System, werden von einem übergeordneten Lagerverwaltungssystem gesteuert.

Sofern die Packstücke in der richtigen Reihenfolge und Anordnung zum Palettierroboter gelangen, ist dieser in der Lage, bis zu vier unterschiedliche Packstücke in einer einzigen Bewegung auf eine bereitgestellte Palette zu setzen. Dafür besitzt er einen speziell entwickelten, vierfachen, mechanischen Klemmgreifer, welcher eine sorgsame Handhabung von unterschiedlichen Packstücken ermöglicht. Mithilfe des Greifers erreicht der Palettierroboter einen Durchsatz von etwa 1.000 Packstücken pro Stunde.

⁶² Vgl. Fa. Swisslog, Online-Quelle [24.07.2017], S. 1 – 4.

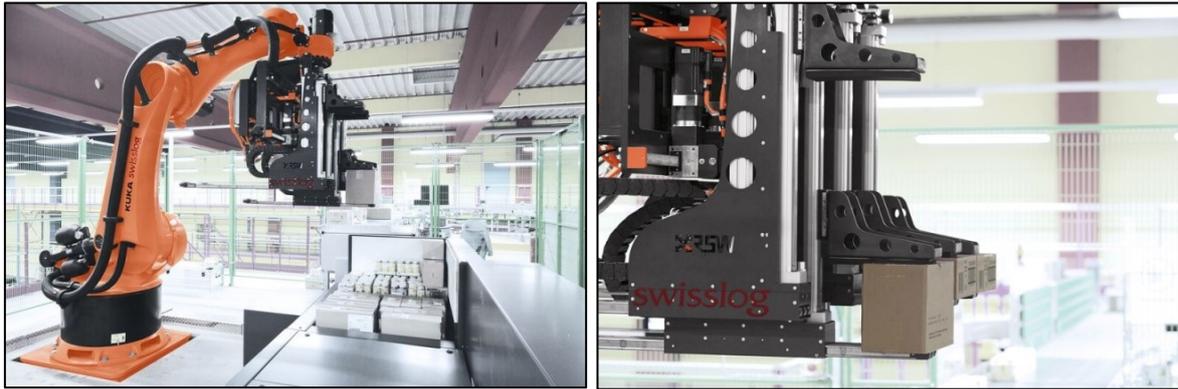


Abbildung 17: Beispielanwendung zum Kommissionieren und Palettieren in Verteilzentren,
Quelle: Fa. Swisslog, Online-Quelle [24.07.2017], S. 1 - 4.

5.2 Kommissionieren und Palettieren von Lebensmitteln

Die nachfolgende Anwendung wurde von der Dematic GmbH für den Einsatz in einer dänischen Supermarktkette entwickelt.⁶³

Der eingesetzte Knickarmroboter ist das Kernaggregat einer verketteten Anlage, welche aus bis zu fünf unterschiedlichen, sortenrein beschichteten Eingangspaletten, gemischt beschichtete Auftragspaletten zusammenstellt.

Zur Bewältigung der Handhabungsaufgabe ist der eingesetzte Roboter mit einem speziell konzipierten Universalgreifer ausgestattet. Dieser Greifer ist in der Lage, die drei wichtigsten Transportbehältnisse der Lebensmittel im Eingangsbereich entweder einfach oder zweifach, in einem Hebevorgang zu manipulieren. Der Roboter kann die Behältnisse in Abhängigkeit der Anforderungen von oben, unten oder durch seitlichen Druck aufnehmen. Darüber hinaus ist der Universalgreifer in der Lage, anfallende Leerpaletten aufzunehmen.



Abbildung 18: Beispielanwendung zum Kommissionieren und Palettieren von Lebensmitteln,
Quelle: Fa. Dematic (2014), Online-Quelle [24.07.2017].

⁶³ Vgl. Fa. Dematic (2014), Online-Quelle [24.07.2017].

5.3 Kommissionieren und Palettieren von Farbgebinden

In diesem Kapitel wird eine Anwendung von der Fa. roTeg beschrieben, welche ebenfalls von derselben Firma entwickelt wurde und beim Druckfarbenhersteller Fa. RUCO zum Einsatz kommt:⁶⁴

Die Fa. RUCO füllt die produzierten Druckfarben entweder in Kunststoffeimern oder in Dosen ab. Die einzelnen Dosen werden in weiterer Folge in unterschiedlichen Kartonagen verpackt.

Der Palettierroboter in dieser Anwendung ist in der Lage sowohl die Kunststoffeimern, als auch die Kartonagen, mittels speziell konfiguriertem Vakuumgreifer aufzunehmen. Der Anlagenbediener respektive die Anlagenbedienerin wählt lediglich die gewünschte Packart über eine grafische Bedienoberfläche aus, wodurch der richtige Bereich des Greifers aktiviert und eine Fehlbedienung ausgeschlossen wird. Mit der Auswahl der Packart wird ebenso das richtige Trägermedium ausgewählt, sowie das Schlichtmuster der Packstücke automatisch übernommen. Der Roboter bedient zwei Palettierplätze, auf denen die Trägermedien sortenrein, oder mit gemischten Packstücken (also mit Eimern und Kartonagen) bestückt werden können.



Abbildung 19: Beispielanwendung zum Kommissionieren und Palettieren von Farbgebinden, Quelle: Roteg, Brühl, Fraunhofer IML, race (2015), Online-Quelle [24.07.2017].

5.4 Ableitung wesentlicher Erkenntnisse aus den beschriebenen Beispielanwendungen

Die Beschreibung der einzelnen Beispielanwendungen zeigt, dass in der Praxis sehr häufig Anwendungen zum Einsatz kommen, welche aus einer einheitlich bereitgestellten Menge von unterschiedlichen Objekten, automatisiert kommissionieren und auftragsbezogen palettieren.

Für die Durchführung dieser beiden Funktionen kommen neben Portalrobotern für einfache Anwendungen, in den meisten Fällen Knickarmroboter zum Einsatz. Diese Roboter sind aufgrund ihrer hohen Beweglichkeit und Flexibilität, in nahezu allen Branchen weit verbreitet.

⁶⁴ Vgl. Roteg, Brühl, Fraunhofer IML, race (2015), Online-Quelle [24.07.2017].

6 KOMMISSIONIEREN UND PALETTIEREN NACH DEM BRENNVORGANG IN EINEM TUNNELOFEN

In der Herstellung von feuerfesten, keramischen Erzeugnissen werden unterschiedliche, auf das jeweilige Erzeugnis ausgerichtete Produktionsprozesse betrieben. Aufgrund der Wesentlichkeit für diese Arbeit werden im Anschluss ausschließlich vorhandene Kommissionier- und Palettieranwendungen nach dem Brennvorgang in einem Tunnelofen beschrieben. Die Vielzahl der anderen Anwendungen ist für die Entwicklung der Kommissionier- und Palettieranlage nicht relevant und wird aus diesem Grund nicht behandelt.

In der Branche existieren bereits einige Anwendungen, welche die beiden Funktionen Kommissionieren und Palettieren automatisiert durchführen. Um die Besonderheiten und Unterschiede dieser Anwendungen näher zu beschreiben, werden diese im folgenden Kapitel 6.3 als Best Practice Beispiele detailliert beschrieben.

Im Gegensatz dazu, beschreibt das darauffolgende Kapitel 6.4 den Ausgangszustand am RHI Magnesita Produktionsstandort in Trieben, an dem das Kommissionieren und Palettieren ausschließlich manuell durchgeführt wird. Die Inhalte aus diesem Kapitel fügen sich nahtlos an das Kapitel 1.2 an.

Um die folgenden Beschreibungen der unterschiedlichen Anwendungen nachvollziehen zu können, ist allerdings ein prozesstechnisches Grundverständnis erforderlich, welches eingehend im Kapiteln 6.1 und Kapitel 6.2 vermittelt wird.

6.1 Erklärung und Herausforderung des betrachteten Prozessschrittes

Generelles Ziel des betrachteten Kommissionier- und Palettierarbeitsplatzes ist es, die Produktbesätze von bereitgestellten Tunnelofenwägen auftragsrein auf ein geeignetes Trägermedium zu palettieren. Darüber hinaus kann der Fall eintreten, dass zusätzlich zum Fertigungsauftrag andere Faktoren berücksichtigt werden müssen. Als möglicher Faktor könnte beispielsweise die Maßhaltigkeit der einzelnen Produkte genannt werden.

In der dargestellten Abbildung 20 setzt sich der Produktbesatz am Tunnelofenwagen beispielsweise aus drei unterschiedlichen Kundenaufträgen sowie Produktformaten zusammen, welche farblich unterschiedlich dargestellt sind. Zusätzlich sind die gelb eingefärbten Brennhilfsmittel notwendig, um den Besatz am Tunnelofenwagen zu stabilisieren. Diese Brennhilfsmittel werden nicht an Kunden weitergegeben.

Am Kommissionier- und Palettierarbeitsplatz müssten in diesem Fall sämtliche Produkte vom Tunnelofenwagen, gemäß den Fertigungsaufträgen kommissioniert und auf die vier bereitgestellten Trägermedien palettiert werden. Sofern es weitere Kriterien für die Kommissionierung gäbe, wären diese zusätzlich zu berücksichtigen. Als Beispiel hierzu wurde in diesem Kapitel bereits die Maßhaltigkeit der Produkte angeführt.

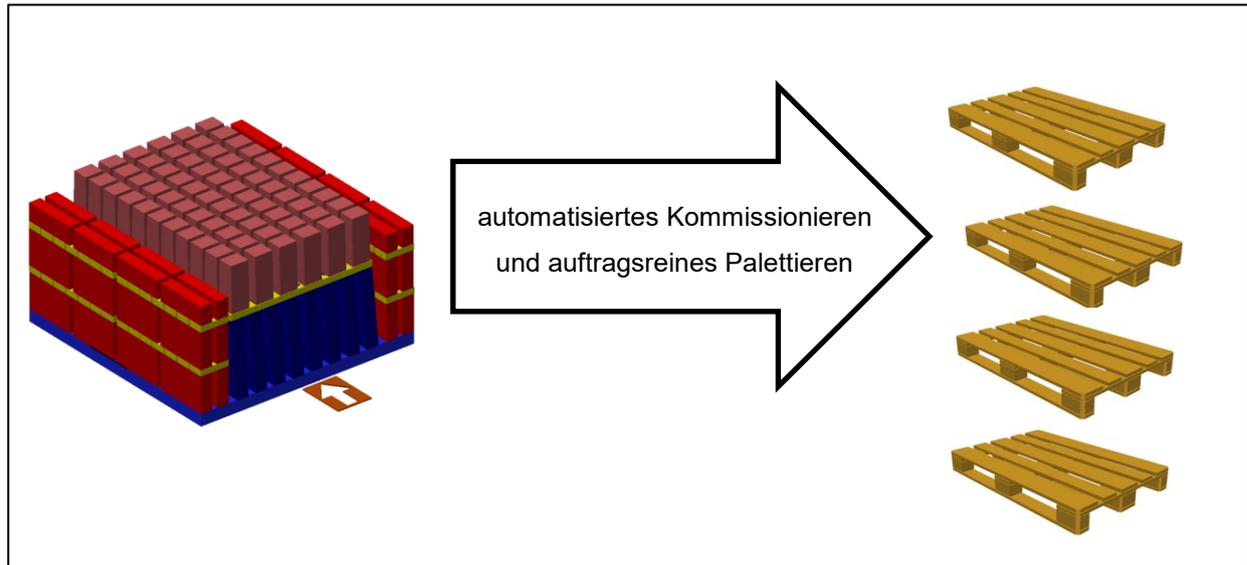


Abbildung 20: Prinzipdarstellung des Kommissionier- und Palettierarbeitsplatzes, Quelle: eigene Darstellung.

6.1.1 Kommissionieraufgabe als Herausforderung des Prozessschrittes

Die Komplexität beim Kommissionieren der einzelnen Produkte definiert den in Abbildung 20 dargestellten Prozessschritt. Diese Komplexität hängt in erster Linie von der Zusammensetzung der Produktbesätze auf den bereitgestellten Tunnelofenwägen ab.

Eine mögliche Berücksichtigung weiterer Kommissionierkriterien, wie beispielsweise die Maßhaltigkeit von Produkten, erhöht die Komplexität der eigentlichen Kommissionieraufgabe. In diesem Fall müsste zusätzlich zum Fertigungsauftrag, die Maßhaltigkeit der Produkte, in der Kommissionierung berücksichtigt werden.

Zusammengefasst ist die Kommissionieraufgabe das wesentliche Kriterium für die Automatisierung des Prozessschrittes. Die technische Ausführung von automatisierten Anwendungen wird in hohem Maße von der Kommissionieraufgabe definiert.

Um diese Tatsache in der Praxis zu untersuchen, wird nachfolgend zunächst ein Grundwissen über Tunnelofenwägen vermittelt. In weiterer Folge wird im Kapitel 6.3 die technische Ausführung der Best Practice Anwendungen in der Herstellung von feuerfesten, keramischen Erzeugnissen beschrieben.

In einer darauffolgenden Bewertung dieser Beschreibungen, wird der Bezug zur Komplexität der jeweiligen Kommissionieraufgabe hergestellt. Im letzten Schritt wird untersucht, in wie weit sich die unterschiedlichen Kommissionieraufgaben auf die technische Ausführung der Anwendungen auswirken.

Allgemeine Beschreibung eines Tunnelofenwagens nach Ebner:⁶⁵

Ein Tunnelofenwagen transportiert die zu brennenden Produkte innerhalb sowie außerhalb eines Tunnelofens. Dieser Transport wird in der Feuerfestbranche als Wagenumlauf bezeichnet. Damit ein Tunnelofenwagen diese Funktion ausführen kann, besteht dieser aus einem Wagengestell und einem darüber liegenden, feuerfesten Wagenplateau.

Das Wagengestell ist eine simple Stahlkonstruktion mit vier Rädern und einer sogenannten Wagenschürze auf der Längsseite des Gestells. Die Räder ermöglichen die Fortbewegung des Wagens auf entsprechenden Gleisanlagen und die Wagenschürze ist zur Abdichtung des Ofeninnenraumes mit dem Begehungskanal notwendig.

Das Wagenplateau besteht aus einem feuerfesten Aufbau, welcher das Wagengestell vor den hohen Temperaturen innerhalb des Tunnelofens schützt. Des Weiteren ist die Oberfläche dieses Aufbaus gleichzeitig die Setzfläche für unterschiedlichste Produkte mit bis zu neun Tonnen Gesamtgewicht. Die Summe aller am Plateau befindlichen Produkte inklusive der erforderlichen Brennhilfsmittel, welche nicht an Kunden weitergegeben werden, wird als Wagenbesatz bezeichnet.

Der Prozess in einem Tunnelofen läuft kontinuierlich ab, was bedeutet, dass sich zu jeder Zeit an jeder Position des Ofens ein Tunnelofenwagen befindet. Aufgrund der Tatsache, dass die einzelnen Wägen dabei dicht aneinander abschließen, ergibt sich eine Wagenkolonne innerhalb eines Tunnelofens. In der keramischen Industrie wird diese auch als vierte Wand des Tunnelofens bezeichnet.

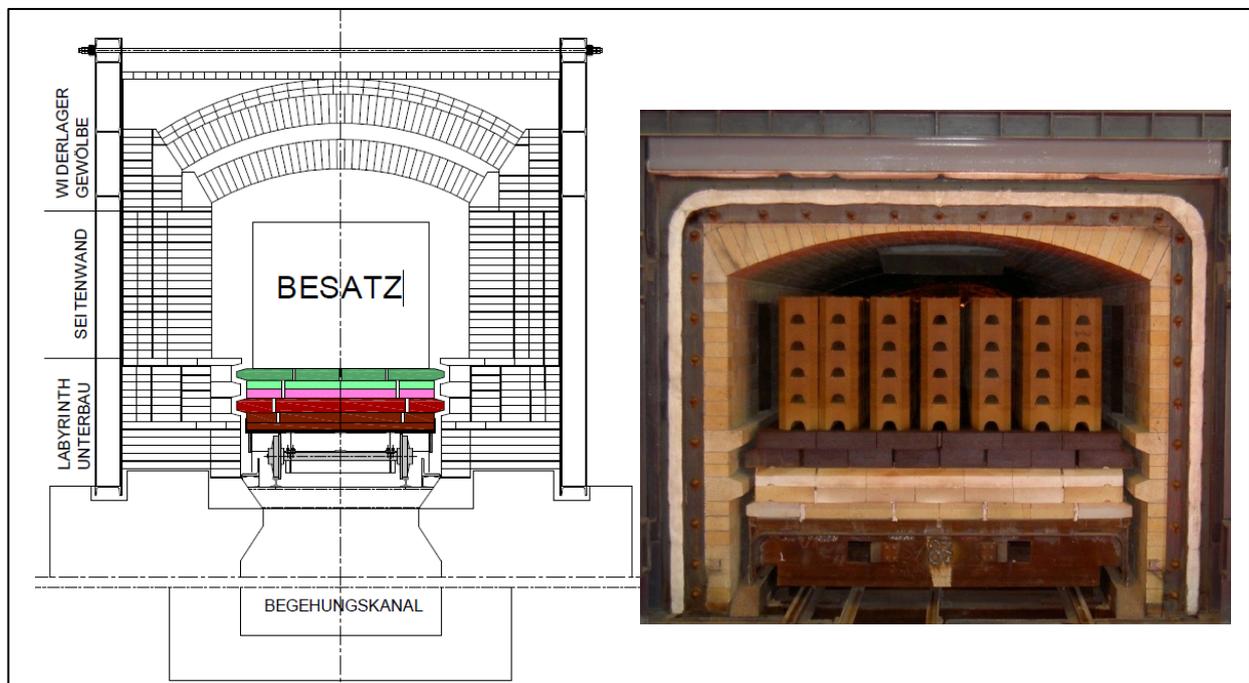


Abbildung 21: Darstellung eines Tunnelofenwagens inklusive Wagenbesatz innerhalb eines Tunnelofens, Quelle: Ebner (2005), S. 3 (leicht modifiziert).

⁶⁵ Vgl. Ebner (2005), S. 3.

6.2 Einflussfaktoren auf den Beladevorgang eines Tunnelofenwagens

In diesem Kapitel werden die wesentlichsten Einflussfaktoren auf den Beladevorgang eines Tunnelofenwagens beschrieben. Diese Einflussfaktoren bestimmen, je nach Ausprägung, den Wagenbesatz auf einem Tunnelofenwagen.

- Losgröße:

Die Losgröße von Fertigungsaufträgen definiert die Diversität von Wagenbesätzen maßgeblich. Je geringer die Losgröße der Fertigungsaufträge ist, desto mehr unterschiedliche Aufträge respektive Produktformate müssen auf einem Tunnelofenwagen gesetzt werden. Diese Tatsache wird durch die notwendige Berücksichtigung der nachfolgend genannten Einflussfaktoren begründet.

Bei Fertigungsaufträgen mit großen Losgrößen (Größenordnung: > 10.000 Stück) sind die Wagenbesätze oft einheitlich aufgebaut. Das bedeutet, dass sie sich ausschließlich aus Produkten eines einzelnen Kundenauftrags zusammensetzen. Sinngemäß sind dann auch die Produktformate auf einem Tunnelofenwagen einheitlich.

- Liefertermin:

Der Liefertermin entscheidet neben den anderen Einflussfaktoren hauptsächlich darüber, wann die Produkte eines Fertigungsauftrages auf die Tunnelofenwägen gesetzt werden. Darüber hinaus werden in vielen Produktionsstätten vom Liefertermin, Vorgaben für den Brennprozess im Tunnelofen abgeleitet. Diese Vorgaben können zum Beispiel die Brenntemperatur, die Durchlaufzeit oder unterschiedlichste atmosphärische Bedingungen sein.

- Qualität:

Der Brennprozess im Tunnelofen hat bei vielen Produkten den größten Einfluss auf deren Qualität. Deshalb sind die Qualitätsvorgaben im Zuge des Brennprozesses sehr vielfältig. Aus diesen Qualitätsvorgaben leiten sich komplexe Regeln für die Zusammensetzung der Wagenbesätze am Tunnelofenwagen ab. Diese Regeln zielen sowohl auf die physikalische, als auch auf die chemische Beständigkeit von diversen Produkten ab.

Beispielsweise gibt es Produkte, welche nur an genau definierten Stellen am Tunnelofenwagen positioniert werden dürfen. Andere Produkte wiederum, dürfen nicht direkt der Feuerung im Tunnelofen ausgesetzt sein, weshalb diese nicht in den äußersten Reihen des Wagenbesatzes aufgebracht werden dürfen. Bei einigen dieser Wägen werden die äußeren Reihen mit Brennhilfsmitteln gesetzt und somit die Produkte von der Feuerung abgeschirmt.

Bei sensiblen Produkten werden all diese komplexen Regeln von hochausgebildeten Mitarbeitern, bei der Erstellung der sogenannten Setzmuster berücksichtigt. Bei anderen Produkten wiederum, ist die Anordnung am Tunnelofenwagen nicht ausschlaggebend, weshalb es deutlich weniger Regeln bei der Zusammensetzung der Wagenbesätze einzuhalten gilt.

- Brenntemperatur im Tunnelofen:

Abhängig von der Rezeptur der unterschiedlichsten Produkte, variiert die geforderte Brenntemperatur in einem Tunnelofen. Diese Temperatur liegt dabei in der Haltezone im Bereich zwischen 1400 °C und 1830 °C. Sofern ein Tunnelofen für den Betrieb mit mehreren Brenntemperaturen eingesetzt wird, ist es erforderlich sogenannte Brennkampagnen zu bilden.

Innerhalb einer Brennkampagne wird der Tunnelofen auf einer konstanten Haltetemperatur betrieben. Aufgrund der Tatsache, dass ein Tunnelofen kontinuierlich mit neuen Tunnelofenwägen beschickt wird, entstehen nahtlose Übergänge zwischen den einzelnen Brennkampagnen.

In einigen Fällen werden diese Übergänge mit sogenannten Blindwägen, also Tunnelofenwägen ohne Produktbesatz, realisiert. Darüber hinaus gibt es auch Produkte, welche ohne Qualitätsverluste in den Übergängen, bei geringen Abweichungen zur optimalen Haltetemperatur, in den Tunnelofen geschoben werden können.

- Geometrischer Aufbau des Wagenbesatzes:

Abhängig vom jeweiligen Kundenaggregat sowie vom genauen Einbauort, weisen die einzelnen Produkte in deren Formaten starke Unterschiede auf. Das Produktformat gilt es beim Aufbau eines Wagenbesatzes zu berücksichtigen, sodass eine ausreichende Stabilität desselben sichergestellt werden kann. Es existieren dabei auch Produkte, welche ausschließlich in die oberste Lage eines Wagenbesatzes gesetzt werden können. Eine hohe Stabilität der Wagenbesätze ist essentiell, damit der Tunnelofenwagen und die darauf befindlichen Produkte, den weiteren innerbetrieblichen Transport unbeschadet überstehen. Darüber hinaus sollten sich die einzelnen Produkte am Wagen so wenig wie möglich bewegen, um den Entladevorgang derselben zu vereinfachen.

- Geometrie des Brennaggregats:

Die maximale Höhe des Wagenbesatzes wird von der Geometrie eines Tunnelofens begrenzt. Des Weiteren ist diese ausschlaggebend dafür, ob Brennhilfsmittel zur Stabilisierung der Wagenbesätze notwendig sind, oder nicht. Darüber hinaus spielt die Geometrie eines Tunnelofens für verfahrenstechnischer Aspekte, wie zum Beispiel die richtige Luftführung im Ofen, eine bedeutende Rolle.

- Besatzgewicht:

Als Besatzgewicht wird die Summe der Massen, aller am Wagenplateau aufgebrauchten Produkte sowie Brennhilfsmittel, bezeichnet. Abhängig von der Geometrie der Brennaggregate und den hergestellten Produkten, variiert das Besatzgewicht zwischen zwei und zehn Tonnen. Ein zu hohes oder zu niedrig gewähltes Besatzgewicht kann in Abhängigkeit der Produktbeständigkeit, negative Auswirkungen auf die Produktqualität haben. Des Weiteren hat das Besatzgewicht einen großen Einfluss auf den spezifischen Energieverbrauch eines Tunnelofens.

6.3 Best Practice Anwendungen

In diesem Kapitel werden drei automatisierte Kommissionier- und Palettieranlagen nach dem Brennvorgang in einem Tunnelofen beschrieben. Die drei Anwendungen weisen eine unterschiedliche Diversität der Wagenbesätze auf den bereitgestellten Tunnelofenwägen auf.

Die wesentlichen Unterschiede der drei Anwendungen werden mithilfe einer technischen Beschreibung und einer darauffolgenden Gegenüberstellung und Bewertung verdeutlicht. Darüber hinaus wird die Aussage, dass die Diversität eines Wagenbesatzes maßgeblich die technische Ausführung von Automatisierungslösungen bestimmt, in der Praxis auf Richtigkeit überprüft.

6.3.1 Anwendung 1: Wagenbesätze mit niedriger Diversität

Die folgende Anwendung besteht aus zwei Roboterzellen, welche über eine vollautomatische Schiebebühne mit vollen Tunnelofenwägen beschickt werden. Die Aufgabe der beiden eingesetzten Knickarmroboter ist es, die Produkte von den Tunnelofenwägen auf ein gemeinsames Förderhilfsmittel definiert abzulegen.

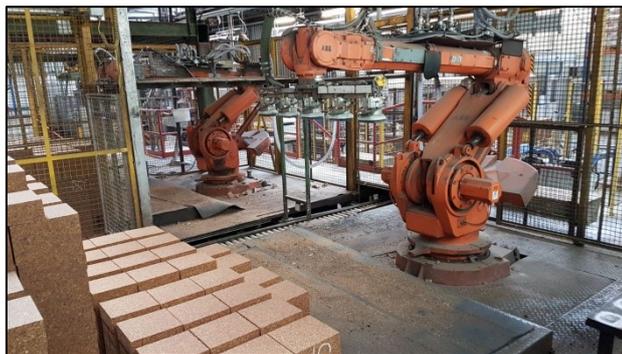


Abbildung 22: Anwendung 1, zwei redundante Roboterzellen für den Entladevorgang der Produkte, Quelle: eigene Darstellung.

Am Förderhilfsmittel werden die Produkte in weiterer Folge vollautomatisch hinsichtlich qualitätsrelevanter Anforderungen überprüft. Jene Produkte, welche den hohen Qualitätsanforderungen entsprechen, werden auf einer Seite automatisch mit Karton beklebt und mit einer speziellen Farbe signiert. Der Karton sichert den richtigen Einbauabstand der Produkte in den Kundenaggregaten und die Signierung gibt Auskunft über die richtige Einbaulage. Jene Produkte, welche den Qualitätsanforderungen nicht entsprechen werden vollautomatisch von der Anlage ausgeschleust und anschließend recycelt.

Im Anschluss daran setzen zwei mechanische Klemmgreifer die qualitätsgeprüften, beklebten und signierten Produkte auf eine automatisch bereitgestellte Versandpalette, welche bereits im Vorfeld automatisch mit einer Bodenfolie belegt wurde.

Die beschichtete Versandpalette wird anschließend über weitere Förderhilfsmittel einer Verpackungsanlage zugeführt. Dort erfolgt die versandfertige Verpackung inklusive Kennzeichnung. Die versandfertige Palette wird im letzten Schritt von einem Hubstapler ausgeschleust.

Technische Ausführung der Anwendung 1:

Wie bereits in der Beschreibung der Auslegungskriterien von automatisierten Kommissionier- und Palettieranlagen erwähnt, ist die Information über die genaue Lage und Orientierung der Greifobjekte notwendig, um ein sicheres Greifen eines Roboters sicherzustellen. Die Information kann entweder durch eine definierte Bereitstellung von Objekten oder durch geeignete Objektdetektionsverfahren sichergestellt werden. Darüber hinaus spielt die vom Anwender gewünschte Prozesssicherheit der Anwendung ebenfalls eine bedeutende Rolle.

In der folgenden Abbildung 23 ist zu sehen, dass die Produktformate auf den bereitgestellten Tunnelofenwägen einheitlich sind. Begründet wird dies durch die hohen Losgrößen der Kundenaufträge, welche sich über mehrere, aufeinanderfolgende Tunnelofenwägen verteilen. Abhängig von den unterschiedlichen Abmessungen der Kundenaggregate, können unterschiedliche Produktformate gewünscht sein. Die Anzahl der möglichen Formate ist allerdings sehr niedrig, weshalb sich der Handhabungsvorgang für das automatisierte Greifen und Ablegen der Produkte leicht automatisieren lässt.

Im konkreten Anwendungsfall wurden die Produkte bereits in einem vorangegangenen Prozessschritt automatisiert auf die Tunnelofenwägen gesetzt. Aufgrund der Tatsache, dass mit dieser Anlage ausschließlich ein paar wenige Produktformate gesetzt werden, wurden sämtliche Greif- und Ablagepositionen in einer statischen Roboterprogrammierung, formatbezogen definiert.

Durch die manuelle Auswahl des aktuellen Produktformats führt der Roboter das entsprechende Programm sequenzweise aus und generiert das gewünschte Besatzmuster am Tunnelofenwagen. Die Besatzmuster auf den Tunnelofenwägen sind standardisiert und bei gleichen Produktformaten einheitlich.

Nach dem darauffolgenden Brennprozess in einem Tunnelofen, gelangen die Tunnelofenwägen vollautomatisch zu einer der beiden Roboterzellen in der dargestellten Abbildung 23.

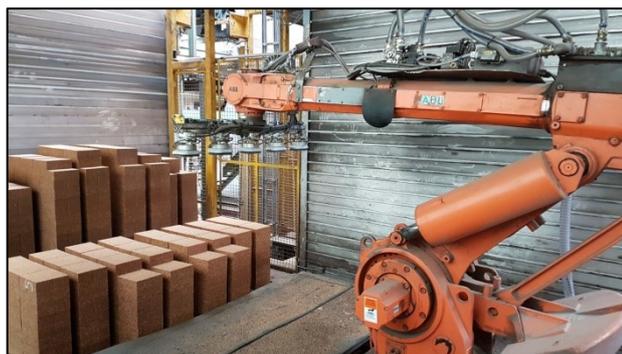


Abbildung 23: Anwendung 1, Tunnelofenwagen mit einheitlichem Wagenbesatz in Entladeposition, Quelle: eigene Darstellung.

Anhand einer manuellen Auswahl des Produktformats direkt an den Roboterzellen, kann wiederum das geeignete Roboterprogramm aufgerufen und sequenzweise abgearbeitet werden. Bevor der Entladevorgang gestartet wird, vermessen die eingesetzten Roboter noch vollautomatisch das Wagenplateau des Tunnelofenwagens. Dadurch erhalten sie die exakte Position des Wagens und die Startposition für den Entladevorgang ist definiert.

Aufgrund der Tatsache, dass die Anlage mit keinem zusätzlichen Objektdetektionsverfahren ausgestattet ist, sind die tatsächlichen Positionen der Produkte auf den Tunnelofenwägen nicht bekannt. Bei der Handhabung der Produkte werden ausschließlich die theoretischen Greif- und Ablagepositionen, welche im statischen Roboterprogramm definiert sind, angefahren.

Ungeplante Ereignisse, wie zum Beispiel das Verrutschen eines Produktes auf einem Tunnelofenwagen, werden von der Anlage nicht vorausschauend erkannt. Erst wenn es zu etwaigen Komplikationen während des Entladevorganges kommt, erfolgt eine Fehlermeldung und der Roboter bleibt stehen. Aufgrund der einheitlichen Wagenbesätze und der leicht handzuhabenden Produkte, reicht die Prozesssicherheit dieser Anlage allerdings aus, weshalb auf zusätzliche Objektdetektionsverfahren bewusst verzichtet wird.

Ausgehend von den beiden Roboterzellen werden sämtliche Produkte mittels Förderhilfsmitteln vollautomatisch weitertransportiert. Auf den Förderhilfsmitteln durchlaufen die Produkte in weiterer Folge eine automatisierte Qualitätsprüfung. Des Weiteren erfolgt eine automatische Kennzeichnung und Signierung. Am Ende der Förderhilfsmittel erfolgt die automatische Palettierung der Produkte. Hierzu werden zwei mechanische Klemmgreifer verwendet, wovon einer davon in der folgenden Abbildung 24 dargestellt ist. Damit der Klemmgreifer die Produkte sicher manipulieren kann, benötigt dieser zumindest eine eindimensionale Lageinformation der Produkte. Die erforderliche Information wird über ein Wegmesssystem, welches direkt am Fördersystem angebracht ist, bereitgestellt. Mithilfe dieser Lageinformation manipuliert der Klemmgreifer vier Produkte in einem Arbeitsvorgang und setzt diese auf ein 90° verdrehtes Förderhilfsmittel definiert ab.

Auf dem Förderhilfsmittel, welches ebenfalls mit einem Wegmesssystem ausgestattet ist, gelangen die Produkte zu einem weiteren mechanischen Klemmgreifer. Mithilfe dieses Klemmgreifers werden die einzelnen Produkte in weiterer Folge versandfertig auf bereitgestellte Holzpaletten aufgebracht.

Die dafür benötigten Versandpaletten werden mittels Hubstapler in einem Leerpalettenmagazin eingespeist und nach Bedarf automatisch über ein Förderhilfsmittel entnommen. Ein automatischer Folienaufleger sorgt dafür, dass jede Leerpalette mit einer Plastikfolie belegt wird, bevor die erste Lage der Produkte darauf abgelegt wird. Die Positioniergenauigkeit für die Bereitstellung der Leerpaletten ist nicht bedeutend hoch, weshalb eine einfache Lichtschranke für die Positionierung der Palette zum Einsatz kommt. Für die richtige Ausrichtung der Produkte auf der Palette sorgt ein mechanischer Anschlag auf einer Seite der Palette. Die beschichtete Versandpalette gelangt in weiterer Folge automatisch zu einer Verpackungsanlage, welche im Rahmen dieser Arbeit nicht näher betrachtet wird.



Abbildung 24: Anwendung 1, Palettierung mittels mechanischem Klemmgreifer, Quelle: eigene Darstellung.

6.3.2 Anwendung 2: Wagenbesätze mit mittlerer Diversität

Die Anlage besteht aus drei Knickarmrobotern und wird über eine Schiebebühne vollautomatisch mit beladenen Tunnelofenwägen beschickt. Der erste Knickarmroboter greift die Produkte auf den bereitgestellten Tunnelofenwägen und legt diese auf ein Förderhilfsmittel ab.



Abbildung 25: Anwendung 2, Entladen der Tunnelofenwägen auf ein Förderhilfsmittel, Quelle: eigene Darstellung.

Auf dem Förderhilfsmittel werden die unterschiedlichen Produkte ausgerichtet, einer optischen Qualitätskontrolle unterzogen, nach Bedarf vermessen und in Abhängigkeit der Messergebnisse sogenannten Kalibrierklassen zugeordnet.

Im Anschluss daran werden die entsprechenden Produkte in Abhängigkeit der Kalibrierklasse signiert. Jene Produkte ohne Kalibrierklassen werden bereits vor der Vermessung in die richtige Lage gebracht, entsprechend signiert und bei Bedarf einseitig mit Kartons beklebt.

Die beiden anderen Knickarmroboter befinden sich im hinteren Bereich des Förderhilfsmittels und führen die Palettierung der Produkte auf bereitgestellte Versandpaletten durch. Dieser Vorgang erfolgt auftragsbezogen und unter Berücksichtigung der zuvor ermittelten Kalibrierklassen. Bei der Palettierung hat jeder der beiden Roboter Zugriff auf vier Palettierplätze, wobei zwei der Palettierplätze als Drehtische realisiert sind. Eine Drehung der Drehtische ermöglicht den Zugriff eines Roboters auf sechs Palettierplätze.



Abbildung 26: Anwendung 2, Auftragsreines Palettieren der Produkte, Quelle: eigene Darstellung.

Im letzten Schritt der Anlage wird die beschlichtete Versandpalette mittels Hubstapler ausgeschleust, sowie eine weitere Leerpalette für den nächsten Palettiervorgang definiert bereitgestellt.

Technische Ausführung der Anwendung 2:

Wie in der Abbildung 25 zu erkennen, sind die Produktformate auf den Tunnelofenwägen, wie bereits in der Anwendung 1, einheitlich. Die Produkte werden in einem vorhergehenden Prozessschritt bereits automatisiert und definiert auf die Tunnelofenwägen gesetzt. Für jedes Produktformat wird im Zuge dieses Arbeitsschrittes grundsätzlich ein standardisiertes Besatzmuster erstellt. Diese Erstellung erfolgt CAD-gestützt und dient als Grundlage des statischen Roboterprogramms. In dem Roboterprogramm werden sämtliche Bewegungsabläufe des Roboters definiert. Die formatabhängig erstellten Wagenbesätze werden abgespeichert, sodass bei wiederkehrendem Auftreten desselben Produktformats, darauf zugegriffen werden kann.

Der Entladevorgang der Produkte von den Tunnelofenwägen erfolgt in gleicher Art und Weise. Aufgrund der Tatsache, dass die Besatzmuster vom Beladevorgang bereits bekannt sind, dienen diese als Vorlage für das ebenfalls CAD-gestützt, erstellte Roboterprogramm.

Um sämtliche Produktformate manipulieren zu können, ist der eingesetzte Knickarmroboter mit mehreren, speziell konzipierten Robotergreifern ausgestattet. Aufgrund der zumeist sehr hohen Losgrößen mit einheitlichen Produktformaten ist der Greiferwechsel ausschließlich manuell vorzunehmen. Für die Sicherstellung der optimalen Greifposition werden die bereitgestellten Tunnelofenwägen, in Abhängigkeit der Robotersequenz, über einen Zahnstangenantrieb verfahren.

Analog zur Anwendung 1 verfügt auch diese Anwendung über kein zusätzliches Objektdetektionsverfahren. Das bedeutet, dass die Handhabungsvorgänge des Roboters ausschließlich auf Basis der generierten Besatzmuster durchgeführt werden. Eine zusätzliche Erfassung der tatsächlichen Ist-Positionen der Produkte erfolgt nicht.

Aufgrund der einheitlichen und stabilen Wagenbesätze, kann auch ohne Verifizierung der Ist-Positionen eine sehr hohe Prozesssicherheit erreicht werden. Deshalb wird auf ein zusätzliches Objektdetektionsverfahren bewusst verzichtet.

Nach dem Ablegen der Produkte auf dem Förderhilfsmittel, werden diese vollautomatisch weitertransportiert. Im Zuge dieses Transports werden die Produkte in Abhängigkeit der Formate, in Querrichtung zum Förderhilfsmittel ausgerichtet, sowie nach Erfordernis über ein mechanisches Drehkreuz in die richtige Lage für den optimalen Durchlauf der darauffolgenden Anlagenteile gebracht.

Die lagekorrigierten Produkte werden in weiterer Folge direkt am Förderhilfsmittel einer optischen Qualitätsprüfung unterzogen. Bestimmte Produktformate werden anschließend mit einer Laser - Differenzmessung, im Durchlaufverfahren berührungslos vermessen. Die Messergebnisse werden unmittelbar ausgewertet und das vermessene Produkt einer sogenannten Kalibrierklasse zugewiesen. In Abhängigkeit der Kalibrierklasse werden die entsprechenden Produkte in weiterer Folge einseitig signiert. Jene Produkte ohne Kalibrierklassen, werden bereits vor der Laservermessung automatisch signiert und bei Bedarf einseitig mit Kartons beklebt.

In weiterer Folge werden sämtliche Produkte am Förderhilfsmittel zu einem der beiden Palettierroboter transportiert. Damit die beiden Knickarmroboter die Produkte am Förderhilfsmittel sicher greifen können, benötigen diese zumindest eine zweidimensionale Lageinformation der Produkte.

Aufgrund der Tatsache, dass sämtliche Produkte in Querrichtung zum Förderhilfsmittel bereits ausgerichtet wurden, ist nunmehr die Lageinformation in Längsrichtung des Förderhilfsmittels von Interesse. Diese Information wird über ein Wegmesssystem am Förderhilfsmittel erfasst, womit die Greifpositionen der Roboter eindeutig definiert sind.

Beide Palettierroboter können manuell mit unterschiedlichen, in Abhängigkeit der Produktformate konzipierten, Greifern ausgestattet werden. Als Greifer werden dabei sowohl mechanische Klemmgreifer, als auch Vakuumgreifer eingesetzt.

In Abhängigkeit von Fertigungsauftrag und Kalibrierklasse, werden die Produkte auf eine bereitgestellte Versandpalette gesetzt. Die Schlichtmuster auf den Paletten werden in gleicher Weise wie die Besatzmuster auf den Tunnelofenwägen, CAD-gestützt und formatabhängig generiert und abgespeichert. Über den gewöhnlichen Palettiervorgang hinaus sind die Palettierroboter in der Lage, sogenannte Gitterfolien als Zwischenlagen vollautomatisch einzulegen.

Die Bereitstellung der Leerpalette erfolgt auf allen Palettierplätzen manuell mittels Hubstapler. Auf den Palettierplätzen stellen mechanische Anschläge eine definierte Bereitstellung der Paletten sicher, sodass ein zusätzliches Objektdetektionsverfahren für die Identifikation der Palette nicht erforderlich ist. Die beschichtete Palette wird im letzten Schritt manuell mittels Hubstapler ausgeschleust und wiederum gegen eine Leerpalette getauscht.

In Abhängigkeit der Produkte wird die beschichtete Versandpalette mittels Hubstapler zum nachfolgenden Prozessschritt transportiert.

6.3.3 Anwendung 3: Wagenbesätze mit hoher Diversität

Die folgende Anlage wird analog zu den bereits beschriebenen Anlagen, über eine automatische Schiebebühne mit vollen Tunnelofenwägen beschickt. Die Entladung dieser Tunnelofenwägen wird in drei nebeneinander aufgebauten Roboterzellen, durch Knickarmroboter durchgeführt. Im Unterschied zu den bereits beschriebenen Anlagen werden die einzelnen Produkte beim Entladevorgang nicht auf ein Förderhilfsmittel gesetzt, sondern auf eine von jeweils zwei in einer Roboterzelle bereitgestellten Stahlpaletten, einlagig aufgebracht.



Abbildung 27: Anwendung 3, Entladen der Tunnelofenwägen auf bereitgestellte Stahlpaletten, Quelle: eigene Darstellung.

Diese ausschließlich einlagig beschichteten Stahlpaletten dienen als Trägermedium für den gesamten innerbetrieblichen Transport der Produkte. Ausgehend von den drei Roboterzellen, werden die beschichteten Stahlpaletten vollautomatisch zuerst in ein Zwischenlager und in weiterer Folge über eine Hängebahn in ein Hochregallager befördert. Die leeren Palettierplätze werden im Zuge dessen wieder vollautomatisch mit Leerpaletten beschickt.



Abbildung 28: Anwendung 3, Darstellung von links: Zwischenlager / Hängebahn / Hochregallager, Quelle: eigene Darstellung.

Im Hochregallager findet die fertigungsauftragsbezogene Kommissionierung statt. Die Beschickung aller nachfolgenden Prozesse, wie beispielsweise diverse Nachbearbeitungsprozesse oder die versandfertige Palettierung, wird ebenfalls vom Hochregallager aus gesteuert. Aus dem Hochregallager können bis zu sechs aufeinandergestapelte Stahlpaletten vollautomatisch ausgelagert und mittels einer Schiebebühne zu den nachfolgenden Prozessen befördert werden.

Technische Ausführung der Anlage 3:

Wie in der folgenden Abbildung 29 zu sehen, ist die Diversität der Wagenbesätze in dieser Anwendung sehr hoch. Aufgrund der kleinen Losgrößen und der hohen Produktvielfalt müssen bis zu sechs unterschiedliche Kundenaufträge sowie Produktformate, auf einem Tunnelofenwagen gesetzt werden. Diese Tatsache führt in weiterer Folge dazu, dass im Gegensatz zu den bereits beschriebenen Anlagen, jeder Wagenbesatz individuell generiert werden muss. Die hohe Individualität stellt wiederum eine große Herausforderung für die Automatisierung der Handhabungsaufgabe dar.



Abbildung 29: Anwendung 3, Beladene Tunnelofenwagen mit hoher Diversität, Quelle: eigene Darstellung.

Zur Bewerkstelligung der Handhabungsaufgabe werden die Besatzmuster bereits beim Beladen der Produkte auf die Tunnelofenwägen, CAD-gestützt generiert. Aufgrund der Tatsache, dass bei dieser Anwendung kein Wagenbesatz einem anderen gleicht, ist es allerdings nicht möglich die Besatzmuster formatabhängig zu erstellen, abzuspeichern und wiederkehrend aufzurufen.

Jeder einzelne Wagenbesatz muss unter Berücksichtigung komplexer Regeln, welche sich aufgrund der Ausprägungen der Einflussfaktoren aus Kapitel 6.2 ergeben, CAD-gestützt generiert werden. Diese Tätigkeit erfordert eine sehr hohe Kompetenz der MitarbeiterInnen. Definierte Stützpunkte am Plateau der Tunnelofenwägen in Kombination mit den Abmessungen der einzelnen Produkte aus einem CAD-System, ermöglichen die dynamische Errechnung der Besatzmuster und der Roboterbewegungen.

Beim Entladevorgang der Produkte von den bereitgestellten Tunnelofenwägen wird in weiterer Folge auf die beim Beladevorgang erstellten Besatzmuster zugegriffen.

Anders als bei den beiden bereits beschriebenen Anlagen, besitzt diese Anlage ein zusätzliches dreidimensionales Objektdetektionsverfahren. Mithilfe dessen werden die theoretischen Quelldaten aus dem CAD-System, mit den gemessenen Ist-Daten im sogenannten Best-Fit-Verfahren korrigiert. Dieses zusätzliche Objektdetektionsverfahren ist notwendig, um bei der bestehenden Diversität der Wagenbesätze ein sicheres Greifen des Roboters zu ermöglichen und eine hohe Prozesssicherheit sicherstellen zu können.

Die einlagigen Schlichtmuster für die Beladung der definiert bereitgestellten Stahlpaletten, werden ebenfalls über dasselbe CAD-System generiert. Auf den Stahlpaletten befinden sich ausschließlich einheitliche Formate, weshalb diese Generierung formatbezogen stattfinden kann. Jede beschichtete Stahlpalette wird im Anschluss an deren Beladung, vollautomatisch in ein Zwischenlager transportiert.

Ausgehend von diesem Zwischenlager werden jeweils zwei Stahlpaletten übereinander gestapelt und mittels einer Hängebahn, in ein Hochregallager transportiert. Im Hochregallager werden die einlagig geschichteten Stahlpaletten in Bezug auf den Fertigungsauftrag kommissioniert. Von dort aus wird ebenso die Beschickung aller darauffolgenden Prozesse gesteuert. Der Entladevorgang der gebrannten Produkte aus dem Hochregallager erfolgt vollautomatisch. Es werden bis zu sechs aufeinander gestapelte, auftragsreine Stahlpaletten entladen, welche in weiterer Folge über eine Schiebebühne zu den nachfolgenden Prozessen transportiert werden.

Einer dieser nachfolgenden Prozesse ist die versandfertige Palettierung, welche in der folgenden Abbildung 30 dargestellt ist. Die Stahlpaletten werden über ein Stapel-, Entstapelsystem an der Palettieranlage vereinzelt und einem Knickarmroboter zugeführt. Der Roboter greift die einzelnen Produkte auf den Stahlpaletten und legt diese auf ein Förderhilfsmittel ab. Dort werden die Produkte entsprechend kontrolliert und signiert. Am Ende des Förderhilfsmittels sitzt ein zweiter Knickarmroboter, welcher die Produkte auf eine bereitgestellte Versandpalette palettiert.

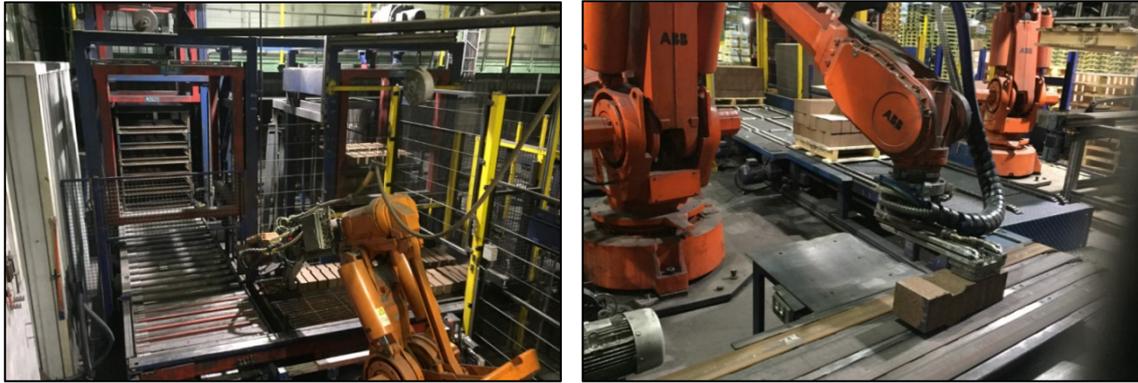


Abbildung 30: Anwendung 3, Palettieranlage mit Stapel-, Entstapelsystem für Stahlpaletten, Quelle: eigene Darstellung.

6.4 Entladevorgang der Produkte von den Tunnelofenwägen bei RHI Magnesita in Trieben

Das folgende Kapitel beschreibt die Ausgangssituation am RHI Magnesita Produktionsstandort in Trieben. Im Zuge des betrachteten Entladevorganges wird sowohl das Kommissionieren, als auch das Palettieren aller am Standort gebrannten Produkte durchgeführt.

Die bestehende Anwendung setzt sich aus zwei parallel aufgebauten Entladelinien, welche beide über eine Umsetzbühne mit vollen Tunnelofenwägen beschickt werden, zusammen. Die Diversität der einzelnen Wagenbesätze ist dabei sehr hoch. Die beladenen Tunnelofenwägen werden in den Entladelinien auf jeweils eine Hebebühne, dessen Höhe manuell verstellt werden kann, positioniert.



Abbildung 31: Ausgangssituation - Bereitstellung der beladenen Tunnelofenwägen, Quelle: eigene Darstellung.

Ausgehend von der Hebebühne werden die Wagenbesätze auf den Tunnelofenwägen mit einem Manipulator, welcher als mechanischer Klemmgreifer ausgeführt ist, paketweise auf ein Transportband umgesetzt. Sämtliche Bewegungen des Manipulators werden dabei von den MitarbeiterInnen mittels Handbediengerät vorgegeben.



Abbildung 32: Ausgangssituation - Entladen der Tunnelofenwägen mittels Manipulator, Quelle: eigene Darstellung.

Die einzelnen Produkte werden in weiterer Folge vom Transportband, manuell auf eine bereitgestellte Palette aufgebracht. Dieser Vorgang erfolgt auftragsrein und nach genau vorgegebenen Schichtmustern, welche formatabhängig sowie fertigungsauftragsbezogen sind.

Jene Produktformate, welche nicht mit dem mechanischen Klemmgreifer gehandhabt werden können, werden unmittelbar vom Tunnelofenwagen auf die entsprechende Palette aufgebracht. Hierbei kommen für den Großteil des Produktportfolios konventionelle Paletten zum Einsatz. Diese Paletten werden sowohl unternehmensintern, als auch unternehmensextern eingesetzt. Der Transport der Trägermedien erfolgt innerhalb des Unternehmens ausschließlich mittels Hubstaplern.

Eine Entladelinie verfügt über vier bis sechs Palettierplätze, welche jeweils rund um das Transportband angeordnet sind. Alle erforderlichen Nebentätigkeiten, wie beispielsweise das Einlegen von Folien und Kartons oder das Signieren einzelner Produkte, werden ebenso manuell durchgeführt.

Im Zuge dieses manuellen Palettiervorgangs werden die Produkte des Weiteren gereinigt und einer optischen Qualitätsprüfung unterzogen. Jene Produkte, welche den Qualitätsanforderungen nicht entsprechen, werden separat auf eine Palette aufgebracht. In Abhängigkeit des nachfolgenden Arbeitsschrittes werden die einzelnen Produkte entweder versandfertig oder nach entsprechenden Vorgaben des nachfolgenden Prozesses, palettiert.



Abbildung 33: Ausgangssituation - manuelle, auftragsbezogene Palettierung der Produkte, Quelle: eigene Darstellung.

Die auf unterschiedlichen Trägermedien aufbrachten Produkte werden anschließend mittels Hubstapler entweder zu den nachfolgenden Produktionsprozessen oder direkt zur Verpackungsanlage transportiert.

6.5 Bewertung und Schlussfolgerungen basierend auf den beschriebenen Anwendungen

Um die Unterschiede der beschriebenen Best Practice Anwendungen weiter zu verdeutlichen, werden dessen Besonderheiten in der folgenden Tabelle 3 übersichtlich zusammengefasst.

Überblick und Bewertung der beschriebenen Best Practice Anwendungen			
Bewertungskriterium	Anwendung 1	Anwendung 2	Anwendung 3
Relation der durchschnittlichen Losgrößen von Fertigungsaufträgen	hoch	mittel bis hoch	gering
Diversität der Wagenbesätze	gering	mittel	hoch
gemittelte Anzahl an Fertigungsaufträgen bzw. Produktformaten auf einem Tunnelofenwagen	einer	einer	zwei bis sechs
Kommissionierkriterium	keines	Kundenauftrag, Maßhaltigkeit	Kundenauftrag
Komplexität der Kommissionieraufgabe	keine	mittel	hoch
die Realisierung der Kommissionieraufgabe erfolgt durch / im	keine	Palettierroboter	Palettierroboter, Hochregallager
Kommissionierart	keine	Roboter zur Ware	Roboter zur Ware
Absetzort der Produkte nach den Tunnelofenwägen	Förderband	Kettenförderer	Stahlpaletten mit Stützen
Bearbeitungsschritte nach dem Absetzvorgang	nein	ja	ja
Zeitgleich bedienbare Palettierplätze eines Palettieraggregats	einer (auf konventionelle Paletten)	vier (auf konventionelle Paletten)	zwei (auf Stahlpaletten mit Stützen)
automatische Qualitätsprüfung	ja - Klangprüfung, Maßhaltigkeit	ja - Maßhaltigkeit	nein
Automatisierungsgrad	hoch	hoch	hoch
Generierung der Besatzmuster auf den Tunnelofenwägen	statisch, Teach-In Verfahren und Vermessung des Wagenplateaus	statisch, Software-gestützte Generierung des Roboterprogramms	dynamisch, CAD-gestützte Generierung des Roboterprogramms und Vermessung des Wagenplateaus

Tabelle 3: Besonderheiten der drei beschriebenen Best Practice Anwendungen, Quelle: eigene Darstellung.

Die technische Beschreibung der Best Practice Anwendungen unter dem Kapitel 6.3 macht deutlich, dass die Anwendungen im Grunde zwar dieselben Funktionen ausführen, die einzelnen Anwendungsdesigns jedoch deutliche Unterschiede aufweisen. Die Betrachtung der Tabelle 3 mit den Besonderheiten der drei Anwendungen verdeutlicht darüber hinaus die Tatsache, dass die Komplexität der Kommissionieraufgabe, den betrachteten Prozessschritt definiert.

Bei näherer Betrachtung sieht man, dass die Diversität der Wagenbesätze respektive die Anzahl an Kundenaufträgen auf einem Tunnelofenwagen, maßgeblich durch die Losgrößen der Kundenaufträge bestimmt werden. Diese Tatsache hat wiederum einen bedeutenden Einfluss auf die Komplexität beim Kommissionieren. Um die Auswirkung der Kommissionierkomplexität auf die technische Ausrüstung der Anwendungen zu untersuchen, werden die Anwendungen in der Tabelle 4 im Kontext zu den im Kapitel 4 zusammengefassten Auslegungskriterien betrachtet.

Best Practice Anwendungen im Kontext zu den Auslegungskriterien und Roboterbauarten				
Bewertungskriterium	Ausprägungen			
Objektdetektion beim Entladevorgang vom Tunnelofenwagen	keine 	eindimensional	zweidimensional	dreidimensional 
Objekthandhabung, Greifbarkeit beim Entladevorgang vom Tunnelofenwagen	Sauggreifer 	mechanische Greifer 	manueller Greiferwechsel 	automatischer Greiferwechsel 
Applikation beim Entladevorgang vom Tunnelofenwagen	Portalroboter	Schwenkarm - roboter	Knickarm - roboter 	mechanischer Klemmgreifer
Objektdetektion beim Palettiervorgang	keine	eindimensional 	zweidimensional 	dreidimensional
Objekthandhabung, Greifbarkeit beim Palettiervorgang	Sauggreifer 	mechanische Greifer 	manueller Greiferwechsel 	automatischer Greiferwechsel 
Applikation beim Palettiervorgang	Portalroboter	Schwenkarm - roboter	Knickarm - roboter 	mechanischer Klemmgreifer 

Tabelle 4: Darstellung der technischen Ausrüstung der beschriebenen Best Practice Anwendungen, Quelle: eigene Darstellung.

Die Betrachtung der Tabelle 4 bestätigt, dass die Komplexität der Kommissionieraufgabe, die technische Ausführung der beschriebenen Auslegungskriterien maßgeblich beeinflusst. Darüber hinaus wird die technische Ausführung zusätzlich von der gewünschten Flexibilität und Prozesssicherheit der Anwendung bestimmt.

Bei der Betrachtung der technischen Ausführung der Anwendung 3 zeigt sich, dass diese im Gegensatz zu den beiden anderen Anwendungen, mit einem komplexen dreidimensionalen Objektdetektionsverfahren ausgestattet ist. Darüber hinaus sind die Roboter, auf Grund der vielen unterschiedlichen Produktformate und der kleinen Losgrößen der Fertigungsaufträge, mit zahlreichen speziell konzipierten Greifern sowie automatischen Greiferwechselsystemen ausgestattet. Die Summe dieser einzelnen Aspekte macht das Anlagendesign der Anwendung 3 komplexer, als jene der Anwendungen 1 und 2.

Zusammengefasst kann festgestellt werden, dass sich aufgrund der zu berücksichtigenden Einflussfaktoren bei der Generierung der Wagenbesätze, ein wesentlicher Unterschied zu den betrachteten Kommissionier- und Palettieranlagen in anderen Branchen ergibt. Dieser Unterschied liegt in der Bereitstellung der Produkte, welche aufgrund der vielen beschriebenen Einflussfaktoren aus Kapitel 6.2, nicht immer einheitlich erfolgen. Aufgrund dessen erhöht sich die Komplexität der Kommissionieraufgabe, was wiederum bedeutende Auswirkungen auf die notwendige Roboter- und Greiftechnik und dessen Programmierung hat.

7 FESTLEGUNG DER PROZESSGRENZEN FÜR DIE ENTWICKLUNG

In diesem Kapitel werden die relevanten Prozessgrenzen definiert, um in weiterer Folge eine für das Unternehmen optimale Kommissionier- und Palettieranlage entwickeln zu können. Innerhalb dieser Grenzen erfolgen anschließend die Datenerhebung und die Datenanalyse. Auf Basis deren Ergebnissen werden im nächsten Schritt wichtige Kriterien für die Entwicklung der Anlage abgeleitet. Sämtliche Daten außerhalb der Prozessgrenzen werden in der Entwicklung nicht berücksichtigt.

Bei der Betrachtung des Herstellprozesses der Produkte kommen grundsätzlich fünf Prozesse für eine Datenerhebung in Betracht. Im Folgenden wird untersucht, an welchem bzw. welchen dieser Prozesse die beste Datengrundlage zur Verfügung steht und somit eine Datenerhebung am effektivsten erscheint.

Wie bereits im Kapitel 6.2 erwähnt, ist die Erstellung der Wagenbesätze auf den einzelnen Tunnelofenwägen von einigen essentiellen Einflussfaktoren abhängig. Aufgrund der Tatsache, dass kleinste Anpassungen der Wagenbesätze zu weitreichenden Auswirkungen führen können, werden die bestehenden Wagenbesätze in der Entwicklung der Anlage als gegeben angenommen.

Alle relevanten Wagenbesätze innerhalb des Betrachtungszeitraumes wurden auf der am Standort vorhandenen, teilautomatisierten Setzanlage, CAD-gestützt generiert. In der Datenbank dieser Anlage stehen bereits viele Daten, welche für das Entleeren der Tunnelofenwägen essentiell sind, zur Verfügung. Aufgrund der hohen Datenverfügbarkeit ist der Prozessschritt Setzen ein Schwerpunkt in der Datenerhebung.

In der dargestellten Abbildung 34 ist zu sehen, dass zusätzlich zum Setzprozess, die Prozesse bis inklusive der Verpackungsanlage für eine Datenerhebung in Betracht kommen.

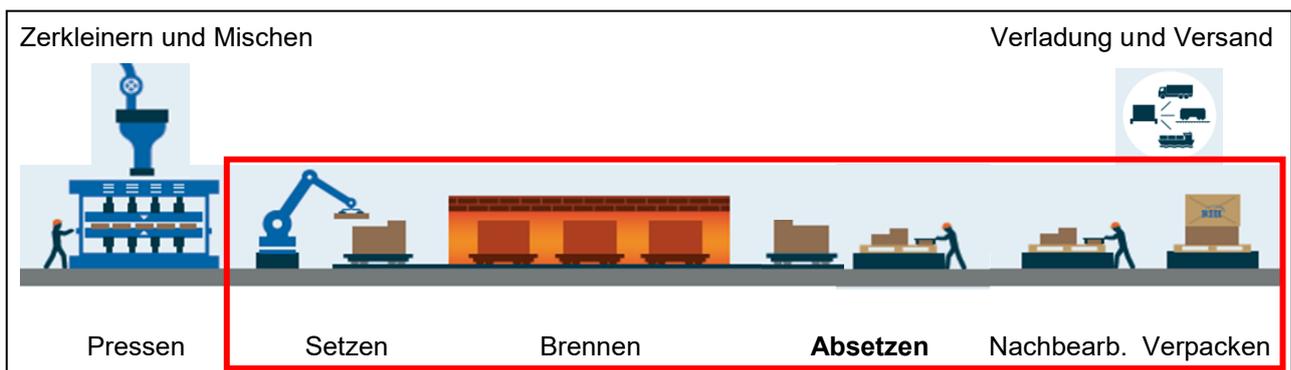


Abbildung 34: Herstellprozess mit Definition der Prozessgrenzen für die Entwicklung,
Quelle: in Anlehnung an Fa. RHI AG (2017), Online-Quelle [15.05.2017], S.7.

Um in weiterer Folge eine genauere Aussage treffen zu können, erfolgt nun eine detailliertere Betrachtung der Produktströme. Die Produktströme werden in der folgenden Abbildung 35 in Form einer Prozesskette dargestellt. Mithilfe dieser Prozesskette können mögliche weitere Schwerpunkte für die Datenerhebung systematisch identifiziert werden.

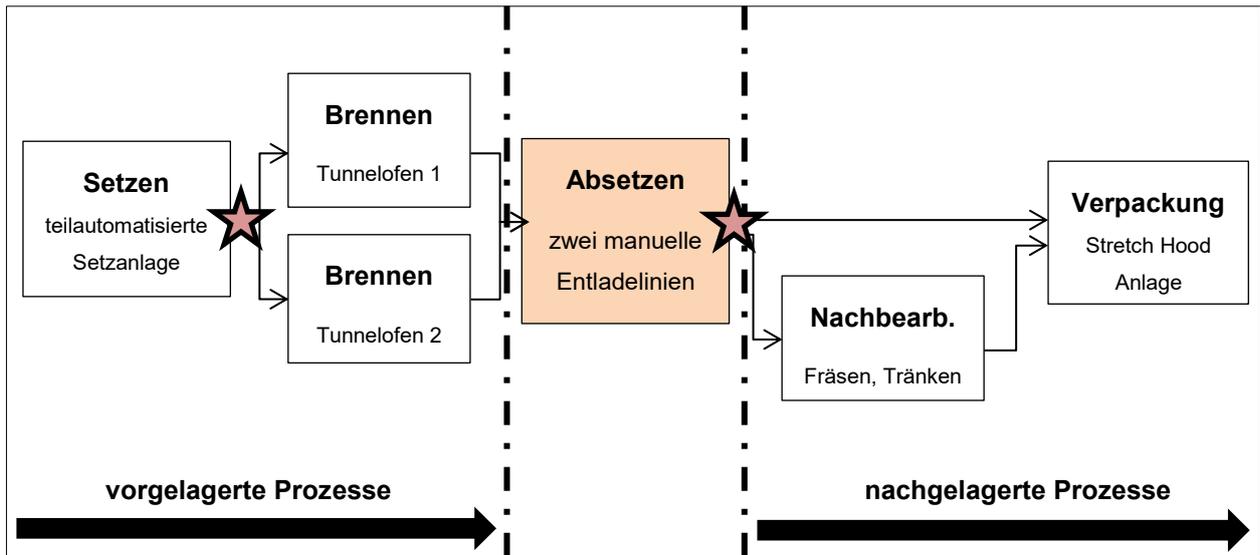


Abbildung 35: Prozesskette als Grundlage für die Datenerhebung im Zuge der Entwicklung, Quelle: eigene Darstellung.

Wie die Prozesskette in Abbildung 35 verdeutlicht, kommen für die Entwicklung der Kommissionier- und Palettieranlage drei vorgelagerte, sowie zwei nachgelagerte Prozessschritte in Betracht.

Zusätzlich zu dem bereits beschriebenen Schwerpunkt bei der teilautomatisierten Setzanlage, kann ein weiterer Schwerpunkt für die Datenerhebung identifiziert werden. Dieser befindet sich unmittelbar an den beiden am Produktionsstandort in Trieben vorhandenen Entladelinien.

Auf diesen Entladelinien erfolgt der manuelle Entladevorgang der Tunnelofenwägen, sowie der Kommissionier- und Palettiervorgang der einzelnen Produkte auf unterschiedliche Paletten.

Der jeweilige Prozessschritt nach dem Palettiervorgang der Produkte definiert dabei das Schlichtmuster und somit die Produktanzahl auf den Paletten. Die Produktanzahl ist wiederum für die Entwicklung der Anlage relevant, weshalb an dieser Stelle der zweite Schwerpunkt der Datenerhebung liegt.

Zusammengefasst werden sämtliche Daten, welche die Grundlage der Entwicklung bilden, an zwei strategischen Stellen erhoben. Eine strategische Stelle bildet die Datenbank der teilautomatisierten Setzanlage, die zweite wiederum stellt der manuelle Palettiervorgang der einzelnen Paletten an den Entladelinien dar.

Zur Verdeutlichung sind die beiden Schwerpunkte in der Abbildung 35 in Form eines Sterns dargestellt.

8 ERHEBUNG UND ANALYSE RELEVANTER DATEN ALS AUSLEGUNGSBASIS FÜR DIE ANLAGENENTWICKLUNG

In diesem Kapitel werden die für die Entwicklung notwendigen Daten definiert und in weiterer Folge an den identifizierten Schwerpunkten aus Abbildung 35 erhoben. Im Anschluss an die Erhebung werden die Daten im selben Kapitel analysiert. Auf Basis der Analyseergebnisse kann ein Anforderungsprofil, welches die Basis für die technische Ausführung der Kommissionier- und Palettieranlage darstellt, erstellt werden.

8.1 Definition der für die Anlagenentwicklung relevanten Daten

Um die optimale, technische Lösung für die im Kapitel 2 beschriebenen Auslegungskriterien zu eruieren, sind folgende Informationen von Interesse:

- Anzahl an unterschiedlichen Fertigungsaufträgen auf einem Tunnelofenwagen:

Für die Eruierung erforderlicher Palettierplätze und somit für die Ermittlung des notwendigen Arbeitsraumes des Roboters, ist die Anzahl an unterschiedlichen Kundenaufträgen auf einem Tunnelofenwagen wichtig.

- Anzahl an unterschiedlichen Formaten:

Die Anzahl an unterschiedlichen Formaten spielt bei der Auswahl von Robotergreifern, bzw. deren Wechselsystemen eine wesentliche Rolle.

- Losgrößen der Fertigungsaufträge und deren Verteilung auf einzelne Tunnelofenwägen:

Die Losgrößen der Fertigungsaufträge und deren Verteilung auf einzelne Tunnelofenwägen geben Auskunft über deren Durchlaufzeit innerhalb der geplanten Anlage.

- Produktgewicht:

Die maximalen sowie minimalen Produktgewichte entscheiden über die notwendige Tragfähigkeit einer Applikation, sowie über den geeignetsten Greifertyp.

- Reihenfolge der einzelnen Tunnelofenwägen:

Die Reihenfolge, in der die einzelnen Tunnelofenwägen zur Kommissionier- und Palettieranlage gelangen, in Kombination mit den bereits beschriebenen Daten, ermöglicht die Ermittlung der exakten Anzahl an unterschiedlichen Kundenaufträgen an der Anlage.

- Produktanzahl auf den Trägermedien:

Die Anzahl an Produkten auf diversen Trägermedien beeinflusst die Anzahl an notwendigen Palettierplätzen. Für die Entwicklung der optimalen Anlage sind diese unbedingt erforderlich.

8.2 Wahl des geeigneten Betrachtungszeitraumes

Für die richtige Dimensionierung der geplanten Anlage spielt der optimale Betrachtungszeitraum für die Erhebung der Daten eine wichtige Rolle. Für die Definition des Zeitraums ist es zuerst erforderlich, die Durchlaufzeit eines Produktes innerhalb der im Kapitel 7 beschriebenen Prozesse zu ermitteln.

Als relevante Durchlaufzeit wird hierbei jene gemittelte Zeit betrachtet, die sich ein Produkt auf den Tunnelofenwägen befindet. Zum besseren Verständnis ist jener Bereich, in der die Durchlaufzeit von Interesse ist, in der folgenden Abbildung 36 dargestellt.

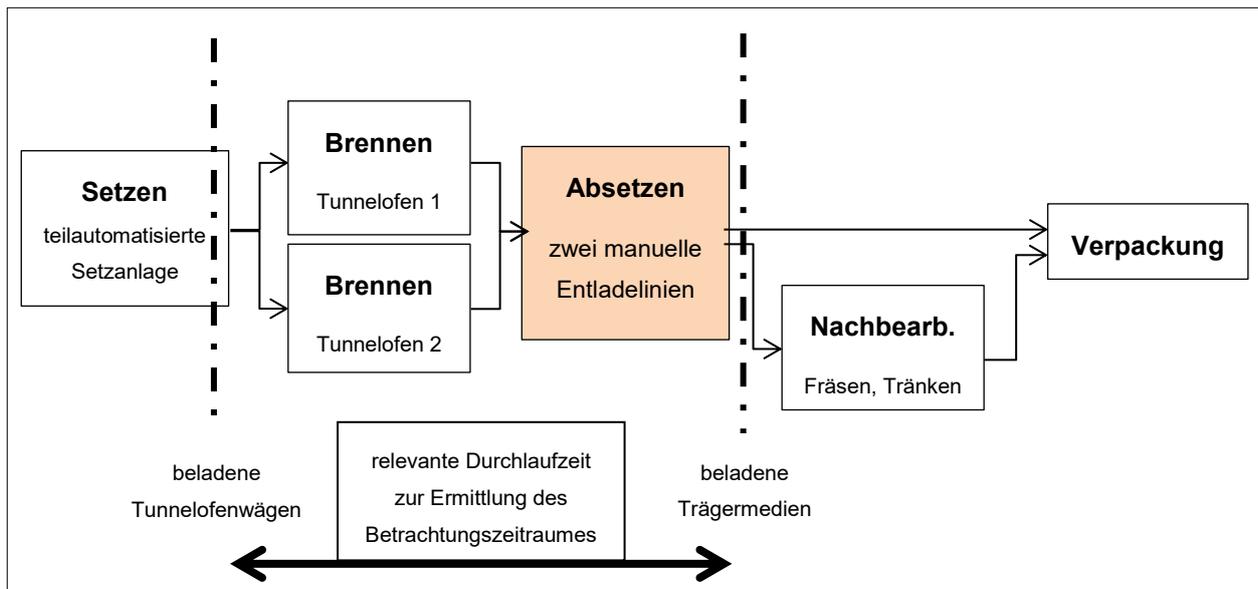


Abbildung 36: Darstellung der relevanten Durchlaufzeit für die Ermittlung des Betrachtungszeitraumes, Quelle: eigene Darstellung.

Abhängig von diversen Einflussfaktoren wie beispielsweise die Produktionsauslastung, der Liefertermin oder die aktuellen Brenntemperaturen in den Tunnelöfen, variiert die Anzahl der am Tag in einen bzw. in die beiden Tunnelöfen geschobenen Tunnelofenwägen. Die genannten Faktoren wirken sich unmittelbar auf die in Abbildung 36 dargestellte Durchlaufzeit aus. Die Durchlaufzeit liegt dabei im Bereich zwischen drei und sieben Tagen. Für die Ermittlung des optimalen Betrachtungszeitraumes reicht die Annahme einer gemittelten Durchlaufzeit von fünf Tagen aus, weshalb diese in weiterer Folge angesetzt wird.

Um in der Betrachtung die gesamte Produktionsvielfalt am RHI Magnesita Produktionsstandort Trieben möglichst optimal zu berücksichtigen, ist auf Basis der ermittelten Durchlaufzeit ein Betrachtungszeitraum von zumindest zwei Monaten zu wählen.

Zur Verifizierung des gewählten Zeitraums, wird zusätzlich eine Auswertung vom 01.07.2017 bis zum 01.09.2017 an der teilautomatisierten Setzanlage durchgeführt. Die Auswertung zeigt, dass im gewählten Zeitraum 794 Tunnelofenwägen mit insgesamt 376 unterschiedlichen Fertigungsaufträgen, beladen wurden.

Aufgrund dieser Datenverfügbarkeit kann der zweimonatige Betrachtungszeitraum bestätigt werden. Demnach werden alle im folgenden Kapitel 8.3 dargestellten Daten, auf Basis der genannten Erkenntnisse im Zeitraum von 01.07.2017 bis 01.09.2017 erhoben.

8.3 Durchführung der Datenerhebung und Datenanalyse

In diesem Kapitel werden alle Daten erhoben, welche die Basis für die Entwicklung der Palettier- und Kommissionieranlage darstellen. Die Datenerhebung erfolgt an den beiden ermittelten Schwerpunkten aus Abbildung 35.

8.3.1 Datenerhebung und Datenanalyse beim Beladevorgang der Tunnelofenwägen

Im Zuge des Beladevorganges werden sämtliche Besatzmuster der einzelnen Tunnelofenwägen CAD-gestützt generiert. Auf Basis der generierten Besatzmuster berechnet der an der Anlage eingesetzte Knickarmroboter dynamisch seine Bewegungsabläufe.

In der Datenbank der Anlage stehen wesentliche Informationen, wie Produktformate, Fertigungsaufträge, Stückzahlen, sowie Produktgewichte zur Verfügung. Die einzelnen Datensätze werden im Kontext zur Robotersequenz generiert und abgespeichert. Zur Nachvollziehbarkeit der Daten, sind diese in der folgenden Tabelle 5 beispielhaft, anhand eines einzelnen Tunnelofenwagens, dargestellt. Im gesamten Betrachtungszeitraum wurden dieselben Daten für alle anderen 793 Tunnelofenwägen erhoben. Die Auflistung dieser Daten über einen repräsentativen Zeitraum befindet sich im Anhang 1 der Masterarbeit.

Wagen Nr.	Robotersequenz	Setzhilfe	Fertigungsauftrag	Format	Stück	Gewicht in kg
3536	1	FALSCH	43635751	45/0	8	22,41
	2	FALSCH	43635751	45/0	8	22,41
	3	WAHR	00000009	2	14	6,00
	4	FALSCH	43635751	45/0	8	22,41
	5	FALSCH	43635751	45/0	8	22,41
	6	FALSCH	43638819	45/40	32	22,34
	7	FALSCH	43638819	45/40	32	22,34
	8	FALSCH	43638819	45/40	32	22,34
	9	FALSCH	43638819	45/40	32	22,34
	10	FALSCH	43635751	45/0	8	22,41
	11	FALSCH	43635751	45/0	8	22,41
	12	WAHR	00000009	2	14	6,00
	13	WAHR	00000009	2	70	6,00
	14	WAHR	00000009	2	14	6,00
	15	FALSCH	43636136	2G16	21	6,38
	16	FALSCH	43636136	2G16	21	6,38
	17	FALSCH	43636136	2G16	84	6,38
	18	FALSCH	43636136	2G16	84	6,38
	19	FALSCH	43636136	2G16	84	6,38
	20	FALSCH	43635751	45/0	8	22,41
	21	FALSCH	43635751	45/0	8	22,41
	22	WAHR	00000009	2	14	6,00
	23	FALSCH	43636136	2G16	21	6,38
	24	FALSCH	43636136	2G16	21	6,38

Tabelle 5: Datenauszug aus der Datenbank vom Beladevorgang eines Tunnelofenwagens, Quelle: eigene Darstellung.

Die dargestellte Tabelle 5 zeigt, dass der Wagenbesatz des Tunnelofenwagens mit der Nummer 3536, im Zuge von 24 Robotersequenzen erstellt wurde. Am Tunnelofenwagen befanden sich vier unterschiedliche Fertigungsaufträge sowie Produktformate. Darüber hinaus waren in den Sequenzen 3, 12, 13, 14 Brennhilfsmittel notwendig, um sämtliche Einflussfaktoren aus dem Kapitel 6.2 zu berücksichtigen.

Es befanden sich am Tunnelofenwagen in Summe 528 Produkte sowie 126 Brennhilfsmittel. Die Produktgewichte lagen im Bereich zwischen 6,38 kg und 22,41 kg. Zusammen mit den Setzhilfen, welche jeweils 6,00 kg schwer waren, ergab sich für den Tunnelofenwagen ein Besatzgewicht von 7.192 kg.

Die Ausweitung der Datenerhebung auf den gesamten Betrachtungszeitraum führt zu folgenden Ergebnissen:

Betrachtungsgegenstand	Ergebnis
Anzahl an gesetzten Tunnelofenwägen	794
Anzahl an gesetzten Produkten (inkl. Brennhilfsmitteln)	356.603 (276.787 ohne Brennhilfsmittel)
Anzahl der gesetzten Fertigungsaufträge	376
Anzahl an unterschiedlichen Produktformaten (inkl. Brennhilfsmitteln)	226
Verteilung an untersch. Produktformaten (inkl. Brennhilfsmitteln) auf einem Tunnelofenwagen	$2 \leq x \leq 8$ (Median: 6)
Verteilungsbreite der Produktgewichte	4,68 kg $\leq x \leq$ 40,36 kg
Verteilung der Losgrößen der Fertigungsaufträge	$6 \leq x \leq 14.442$ (Median: 275)
Verteilung der Fertigungsaufträge auf die Tunnelofenwägen	$1 \leq x \leq 63$ (Median: 2)
Verteilung der Anzahl an Fertigungsaufträgen auf einem Tunnelofenwagen	$1 \leq x \leq 6$ (Median: 3)
Summe aller Besatzgewichte = gesetzte Tonnage (exkl. Brennhilfsmitteln)	4.021 Tonnen
Verteilung der Besatzgewichte auf einem Tunnelofenwagen (exkl. Brennhilfsmitteln)	1.723 kg $\leq x \leq$ 7.314 kg
Verteilung der Produktanzahl auf einem Tunnelofenwagen (inkl. Brennhilfsmitteln)	$118 \leq x \leq 902$ (Median: 493)

Tabelle 6: Überblick der Datenerhebung beim Beladevorgang der Produkte auf die Tunnelofenwägen, Quelle: eigene Darstellung.

Die in der Tabelle 6 dargestellten Werte zeigen, dass die Informationen aus der Datenbank sehr detailliert zu Verfügung stehen. Aufgrund der Tatsache, dass sich die Wagenbesätze auf den Tunnelofenwägen bis zur geplanten Kommissionier- und Palettieranlage nicht mehr verändern, müssen die Daten nicht erneut an einer der folgenden Prozesse erhoben werden.

Zusätzlich zu den Daten aus Tabelle 6, ist für die Anlagenentwicklung die Reihenfolge der einzelnen Tunnelofenwägen, sowie die Produktanzahl auf den einzelnen Trägermedien relevant. Diese beiden Kriterien werden im folgenden Kapitel 8.3.2 und Kapitel 8.3.3. erarbeitet.

8.3.2 Ermittlung der Anzahl an zeitgleich handzuhabenden Fertigungsaufträgen an der Anlage

Wie bereits im Kapitel 7 kurz beschrieben, kann die Reihenfolge der einzelnen Tunnelofenwägen einen Einfluss auf die Entwicklung der Anlage haben. Konkret kann sich dadurch die Anzahl an Fertigungsaufträgen an der Anlage erhöhen. Aufgrund der Mehranzahl an Fertigungsaufträgen an der Anlage, würde die Komplexität der Kommissionieraufgabe zunehmen. Deshalb muss die Reihenfolge der Tunnelofenwägen beim Entladevorgang in der Anlagenauslegung berücksichtigt werden.

Verursacht durch die folgenden Faktoren kann die Reihenfolge der Tunnelofenwägen beim Entladevorgang, von der Reihenfolge beim Beladevorgang, abweichen:

- unterschiedliche Durchlaufzeiten der beiden Tunnelöfen:

Sofern sich im Unternehmen beide Tunnelöfen gleichzeitig in Betrieb befinden, werden diese ausgehend von der teilautomatisierten Setzanlage, mit beladenen Tunnelofenwägen beschickt. Die Durchlaufzeit der einzelnen Wägen in den Tunnelöfen wird durch unterschiedliche Faktoren beeinflusst. Als bedeutendste Einflussfaktoren gelten dabei einzuhaltende Liefertermine, sowie die aktuelle Produktionsauslastung.

Eine Änderung der Reihenfolge der Tunnelofenwägen entsteht, wenn es produktionstechnisch nicht möglich ist, die Durchlaufzeiten der beiden Tunnelöfen zu synchronisieren bzw. den Beladevorgang der Tunnelofenwägen auf die unterschiedlichen Durchlaufzeiten zu synchronisieren.

- kein Produktionsfluss zwischen Beladung und Entladung der Tunnelofenwägen:

Eine Änderung der Reihenfolge der Tunnelofenwägen kann ebenfalls auftreten, wenn die Produktionsströme zwischen der Beladung und der Entladung der Tunnelofenwägen nicht fließen. Konkret würde dieser Fall eintreten, wenn beispielsweise Tunnelofenwägen beladen werden, diese aber nicht unmittelbar in einen der beiden Tunnelöfen geschoben, sondern in einem Pufferlager zwischengelagert werden. Sofern die Tunnelofenwägen nicht unter Berücksichtigung der Reihenfolge beim Beladevorgang aus dem Pufferlager abgerufen werden, unterscheidet sich die Reihenfolge beim Entladen von jener beim Beladen der Tunnelofenwägen. Diese Tatsache tritt unabhängig von den Durchlaufzeiten der beiden Tunnelöfen auf.

Die zuvor beschriebene Synchronisation des Beladevorgangs mit den Durchlaufzeiten der Tunnelöfen erweist sich in der Praxis als umsetzbar. Aus diesem Grund wird im Zuge der folgenden Auswertungen vorausgesetzt, dass die Reihenfolge der Tunnelofenwägen beim Beladen, jener Reihenfolge der Tunnelofenwägen beim Entladen, entspricht.

Das Ziel der folgenden Auswertung ist die Ermittlung der maximalen Anzahl an Fertigungsaufträgen an der geplanten Kommissionier- und Palettieranlage. Diese Anzahl definiert die Kommissionieraufgabe und ist für die Entwicklung der Anlage wesentlich. Wie bereits in der Tabelle 6 beschrieben, befinden sich auf einem einzelnen Tunnelofenwagen innerhalb des Betrachtungszeitraumes maximal sechs Fertigungsaufträge. Aus der Tabelle 6 geht ebenfalls hervor, dass sich einzelne Fertigungsaufträge auf mehrere Tunnelofenwägen verteilen können. Aufgrund dessen muss die Ermittlung der maximalen Anzahl an offenen Fertigungsaufträgen an der Anlage, den Durchlauf aller Tunnelofenwägen

berücksichtigen. Das Ergebnis kann von der Maximalanzahl von Fertigungsaufträgen auf einem einzelnen Tunnelofenwagen abweichen. Um diese Tatsache zu verifizieren wurde in erster Instanz die Anzahl an Fertigungsaufträgen auf einzelnen Tunnelofenwägen ausgewertet und in der Abbildung 37 dargestellt.

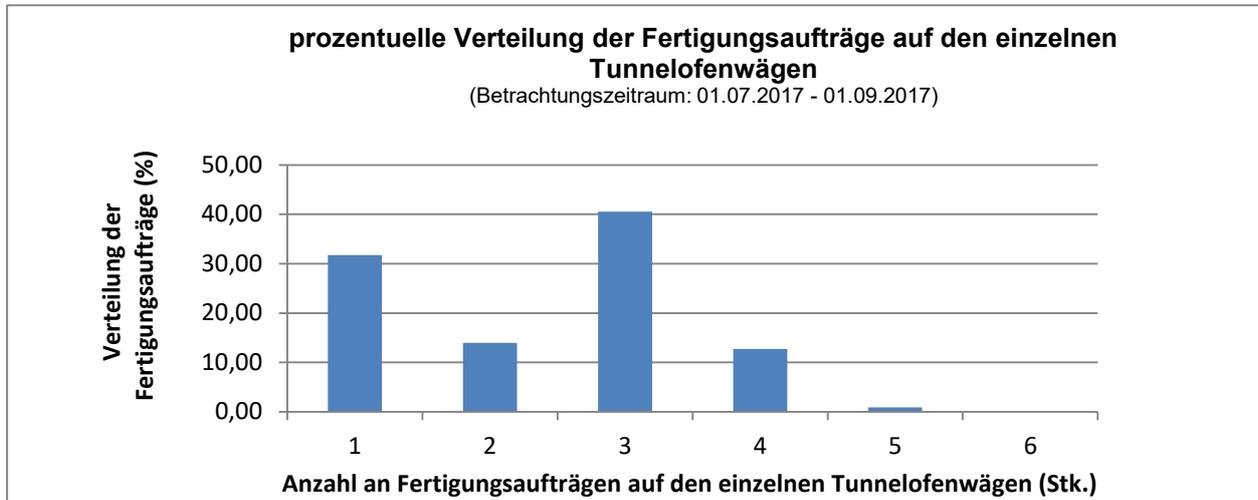


Abbildung 37: Anzahl an Fertigungsaufträgen auf einzelnen Tunnelofenwägen, Quelle: eigene Darstellung.

Die Betrachtung der Abbildung 37 bestätigt die Maximalanzahl von sechs Fertigungsaufträgen auf einem Tunnelofenwagen. Häufig wurden Tunnelofenwägen mit drei oder lediglich einem Fertigungsauftrag beladen.

Analog zur Abbildung 37 wird die Anzahl der offenen Fertigungsaufträge in der Abbildung 38 im Durchlauf aller Tunnelofenwägen ermittelt. Ein Fertigungsauftrag gilt dabei noch als offen, wenn im Zuge des Entladevorgang bis fünf aufeinanderfolgende Tunnelofenwägen auftreten, auf denen der Fertigungsauftrag nicht vorkommt. Erst, wenn ein Entladevorgang eines einzelnen Fertigungsauftrags von mehr als fünf Tunnelofenwägen unterbrochen wird, wird der Fertigungsauftrag an der Anlage ausgeschleust und manuell fertig kommissioniert und palettiert.

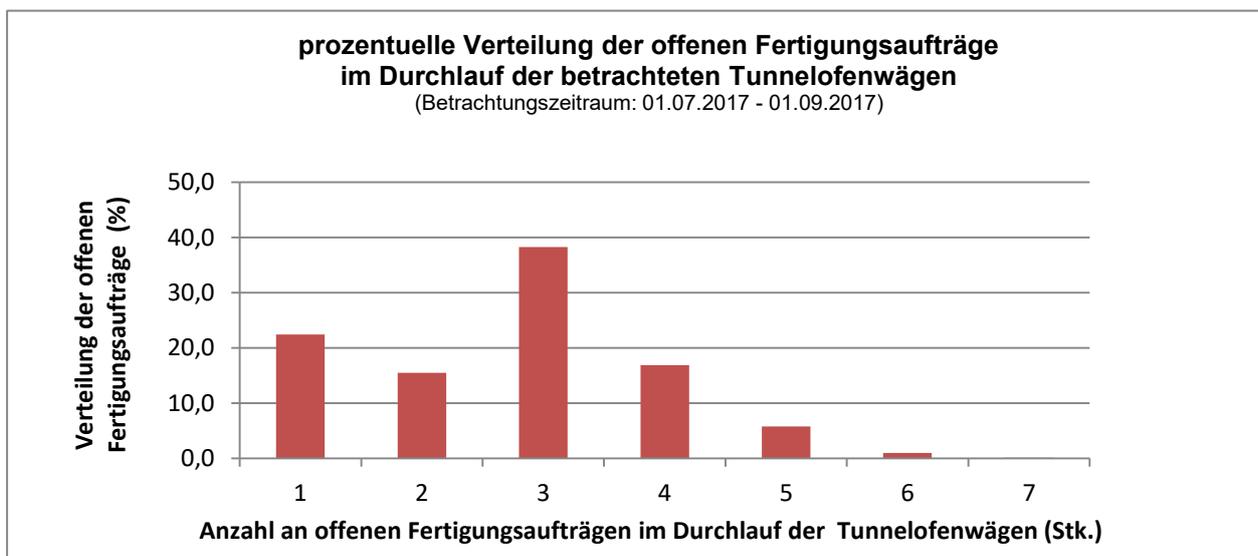


Abbildung 38: Anzahl an offenen Fertigungsaufträgen im Durchlauf der betrachteten Tunnelofenwägen, Quelle: eigene Darstellung.

Die Betrachtung der Abbildung 38 bestätigt die Aussage, dass die maximale Anzahl an Fertigungsaufträgen im Durchlauf der Tunnelofenwägen, von jener Anzahl auf einem einzelnen Tunnelofenwagen, abweichen kann. Aus der Abbildung 38 lässt sich darüber hinaus entnehmen, dass im Durchlauf der Tunnelofenwägen innerhalb des Betrachtungszeitraumes eine maximale Anzahl von sieben Fertigungsaufträgen aufgetreten ist. Häufig waren es drei, vier oder lediglich ein offener Fertigungsauftrag.

8.3.3 Ermittlung der Produktanzahl auf potentiellen Trägermedien

Die Anzahl der unterschiedlichen Produkte auf potentiellen Trägermedien ist zur Ermittlung der notwendigen Kommissionier- und Palettierplätze der Anlage relevant. Zudem können mögliche Pufferplätze innerhalb der geplanten Anlage daraus abgeleitet werden. Mit dem Wissen über die Produktanzahl auf den Trägermedien lässt sich darüber hinaus die Zeit von notwendigen Einschleuse- und Ausschleusevorgängen der Trägermedien ermitteln. Im Zuge der Anlagenentwicklung wurden zwei Trägermedien als potentiell eingestuft. Der genaue Aufbau und die Funktion dieser Trägermedien werden in weiterer Folge detailliert beschrieben.

- Stahlpaletten mit Stützen und einlagigem Schlichtmuster:

Die innerbetrieblich auch als Umlaufpaletten bezeichneten Trägermedien, werden ausschließlich innerhalb eines Unternehmens für den Weitertransport diverser Produkte genutzt. Dabei zeichnen sie sich durch eine sehr hohe Robustheit aus. Im Gegensatz zu konventionellen Paletten, werden metallische Umlaufpaletten ausschließlich einlagig mit Produkten beschichtet.

Aufgrund der Stützen lassen sich die Stahlpaletten sehr gut stapeln. Die Stapel können maximal sechs Umlaufpaletten hoch sein und somit mit einem Hubstapler sehr gut transportiert werden. Aufgrund des hohen Eigengewichts der Paletten, können diese nicht manuell manipuliert werden. Deshalb müssen sämtliche Prozesse, welche von Umlaufpaletten beschickt werden, darauf angepasst sein.

In der im Kapitel 6.3.3 beschriebenen Anwendung 3 wird der innerbetriebliche Materialtransport mit Umlaufpaletten organisiert. Alle nachgelagerten Prozesse sind in diesem Fall mit Stapel-, Entstapelsystemen ausgestattet. Die erwähnten Systeme ermöglichen eine Beschickung der Prozesse mit Stapeln, bestehend aus maximal sechs Umlaufpaletten. Die Stapelung sowie die Entstapelung der Umlaufpaletten, erfolgt dort vollautomatisch.

Zusammengefasst erfordert eine Umlaufpalette als innerbetriebliches Trägermedium, die Kompatibilität mit allen damit beschickten Prozessen.



Abbildung 39: Beispielhafte Darstellung von aufeinandergestapelten, einlagig beschichteten Stahlpaletten mit Stützen, Quelle: eigene Darstellung.

- konventionelle Holzpaletten mit mehrlagigem Schlichtmuster:

Im Ausgangszustand werden innerhalb des Unternehmens ausschließlich konventionelle Holzpaletten für den Weitertransport von Produkten eingesetzt. Innerhalb der in Abbildung 35 dargestellten nachgelagerten Prozesse, werden sämtliche Produkte auf unterschiedlichsten Holzpaletten transportiert. Für den innerbetrieblichen Transport kommen ausschließlich Hubstapler zum Einsatz.

Der Überbegriff Holzpaletten steht für alle Arten von hölzernen Paletten, welche im Moment im Unternehmen für den Produkttransport genutzt werden. Diese kommen häufig nicht nur innerbetrieblich, sondern auch außerbetrieblich für den Transport zu den Kunden, zum Einsatz.

Sämtliche Produkte, welche direkt nach dem Kommissionier- und Palettiervorgang verpackt werden, werden nach einem vorgegebenen Schlichtmuster kompakt aneinander palettiert. Dieses Schlichtmuster ist in der folgenden Abbildung 40 beispielhaft dargestellt.



Abbildung 40: Beispielhafte Darstellung einer mehrlagig, kompakt beschichteten, konventionellen Holzpalette, Quelle: eigene Darstellung.

Bei Produkten mit Nachbearbeitungsaufwand erfolgt die Palettierung nicht kompakt. Aus diesem Grund finden, im Gegensatz zur kompakten Palettierung, weniger Produkte auf einer Holzpalette Platz. Diese sogenannte lose Palettierung ist in der folgenden Abbildung 41 dargestellt.

Die Art der Palettierung ist notwendig, um den Prozessanforderungen der nachgelagerten Nachbearbeitungsprozesse, gerecht zu werden. Konkret sind Abstände zwischen den einzelnen Produkten erforderlich, damit diese in einem Medium getränkt werden können.



Abbildung 41: Beispielhafte Darstellung von mehrlagig, lose beschichteten, konventionellen Holzpaletten, Quelle: eigene Darstellung.

Die folgende Ermittlung der Produktanzahl auf den potentiellen Trägermedien erfolgt formatabhängig. Es werden einlagig beschichtete, metallische Umlaufplatten, dicht beschichtete Holzpaletten, sowie lose beschichtete Holzpaletten betrachtet. Um die Art und Weise der Erhebung nachvollziehen zu können, ist diese beispielhaft anhand von fünf unterschiedlichen Produktformaten dargestellt. Die vollständige Auflistung aller Produktformate innerhalb des Betrachtungszeitraumes, befindet sich im Anhang 2 dieser Arbeit.

Format-bezeichnung:	Produktgewicht: in kg:	Stückzahl: kompakt beschichtete, konventionelle Palette	Stückzahl: lose beschichtete, konventionelle Palette	Stückzahl: einlagig beschichtete Stahlpalette
OSS17A	25,89	42	36	10
1	5,68	231	196	44
1-76	6,38	204	173	39
1C30G739	15,67	90	77	16
1C375G739	19,58	72	61	13

Tabelle 7: Beispielhafter Datenauszug aus der Ermittlung der Produktanzahl auf den potentiellen Trägermedien, Quelle: eigene Darstellung.

Für die Anlagenauslegung sind ausschließlich die maximale, sowie die minimale Stückzahl eines Produktformats auf einem einzelnen Trägermedium interessant.

Diese Stückzahlen werden in der folgenden Tabelle 8 aus sämtlichen Produktformaten innerhalb des Betrachtungszeitraumes ermittelt und für jedes Trägermedium separat dargestellt.

	kompakt beschichtete, konventionelle Palette	lose beschichtete, konventionelle Palette	einlagig geschichtete Stahlpalette
minimale Produktanzahl	28	24	6
maximale Produktanzahl	288	245	53

Tabelle 8: Darstellung der minimalen und maximalen Produktanzahl auf den potentiellen Trägermedien, Quelle: eigene Darstellung.

Werden die ermittelten Stückzahlen in weiterer Folge in Relation zur Taktzeit der geplanten Anlage gesetzt, können die Zeitintervalle für den Wechsel der Trägermedien ermittelt werden.

Diese Zeitintervalle sind für die Entwicklung der Anlage sehr interessant, da sich daraus die notwendigen Transportintervalle der Trägermedien ableiten.

Um das kürzeste, sowie das längste Zeitintervalle eines Palettiervorgangs je Trägermedium ermitteln zu können, wird in erster Instanz die maximal zulässige Taktzeit der Anlage berechnet.

Aufgrund der Tatsache, dass alle Tunnelofenwägen, welche auf der teilautomatisierten Setzanlage beladen werden, auf der automatisierten Kommissionier- und Palettieranlage entladen werden sollen, ist die Produktionskapazität der beiden Anlagen gleich groß. Die maximale Produktionskapazität beträgt 29.000 Tonnen.

Der Ermittlung der maximalen Taktzeit liegen folgende Daten zugrunde:

maximale Produktionskapazität A/t	29.000 t
prognostizierte jährliche Betriebsdauer der Anlage B/h	8.500 h
Betriebsart der Anlage C	kontinuierlich – 24 h / 7 d
mittleres Produktgewicht D/kg	12 kg
Anzahl der zu handhabenden Produkte in einer Minute E/Stk.	?
maximale Taktzeit der Anlage t/s	?

Tabelle 9: Datentabelle für die Ermittlung der maximal zulässigen Taktzeit der Anlage, Quelle: eigene Darstellung.

Auf Basis der in Tabelle 9 dargestellten Daten kann die Anzahl an Produkten, welche innerhalb einer Minute auf der geplanten Anlage kommissioniert und palettiert werden müssen, wie folgt ermittelt werden:

$$E \text{ (Stk.)} = \frac{A * 1000}{B * 60 * D} = 4,74$$

Formel 4: Berechnung der Anzahl an handzuhabenden Produkten in einer Minute, Quelle: eigene Darstellung.

Betrachtet man nun ausschließlich ein Produkt, so kann die maximal zulässige Taktzeit der Anlage berechnet werden:

$$t \text{ (s)} = \frac{60}{E} = 12,66 \approx 12$$

Formel 5: Berechnung der maximal zulässigen Taktzeit der geplanten Anlage, Quelle eigene Darstellung.

Die Ermittlung der maximal zulässigen Taktzeit der Anlage auf Basis der in Tabelle 9 dargestellten Daten, ergibt zwölf Sekunden. Mit dieser Taktzeit ergeben sich die folgenden kürzesten, sowie längsten Zeitintervalle für die Wechsellvorgänge der beladenen Trägermedien.

	kompakt beschichtete, konventionelle Palette	lose beschichtete, konventionelle Palette	einlagig beschichtete Stahlpalette	6er - Stapel Stahlpaletten
kürzestes Zeitintervall	336	288	72	432
längstes Zeitintervall	3.456	2.940	636	3.816

Tabelle 10: Darstellung der kürzesten sowie längsten Zeitintervalle für die Wechsellvorgänge von beladenen Trägermedien, Quelle: eigene Darstellung.

9 ERARBEITUNG WESENTLICHER INHALTE ALS GRUNDLAGE DER ENTWICKLUNG

Auf Basis der Ergebnisse der durchgeführten Datenanalyse aus Kapitel 8 werden in diesem Kapitel zwei wesentliche Inhalte der Anlagenentwicklung erarbeitet.

Die beiden Inhalte werden separat und mit dem Einsatz unterschiedlicher Methoden erarbeitet und dargestellt. Im Kapitel 9.1 wird die Auswahl der optimalen Robotertechnik, anhand eines sogenannten Entscheidungsstammbaumes durchgeführt. Im folgenden Kapitel 9.2 werden potentielle Kommissionierlösungen mittels einer Methode der Variantenbildung ermittelt.

Die Inhalte dieser beiden Kapitel bilden die Grundlage für die Identifikation der optimalen Kommissionier- und Palettieranlage. Die Zusammenhänge der Kapitel sind in der folgenden Tabelle 11 veranschaulicht.

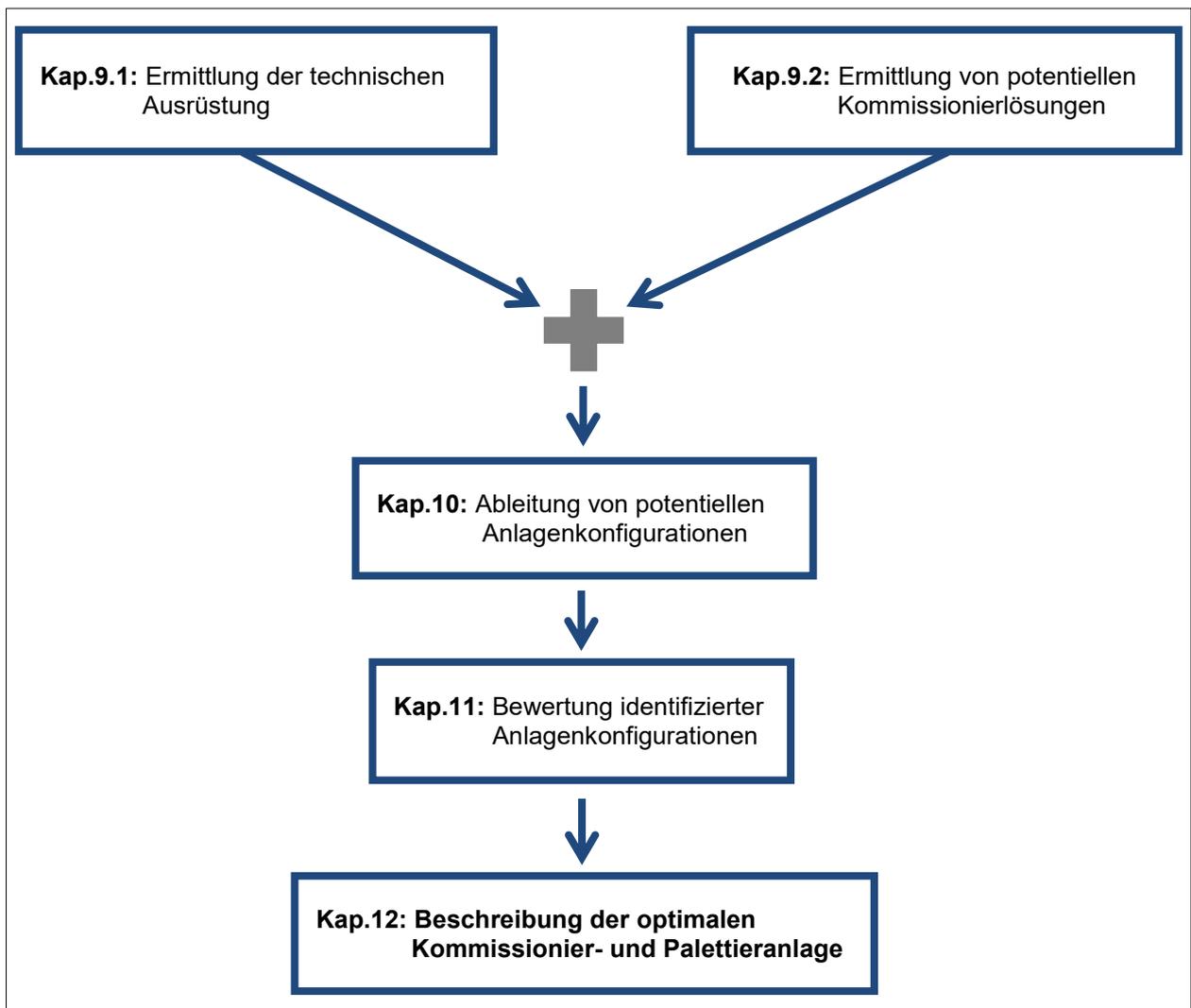


Tabelle 11: Lösungsweg zur Ermittlung der für das Unternehmen optimalen Kommissionier- und Palettieranlage, Quelle: eigene Darstellung.

9.1 Ermittlung der technischen Ausrüstung

Die Auswahl der optimalen Robotertechnik für den betrachteten Anwendungsfall erfolgt im Kontext der im Kapitel 4 zusammengefassten Auslegungskriterien. Das Auswahlprozeder anhand eines Entscheidungsstammbaumes stellt sicher, dass die Auswahl faktengestützt und nachvollziehbar durchgeführt wird.

Die Interpretation des Entscheidungsstammbaumes ist in der unten dargestellten Tabelle 12 beispielhaft erklärt. Die dargestellte Raute beinhaltet eine Anforderung, welche die optimale Robotertechnik erfüllen muss. Die Definition dieser Anforderung erfolgt auf Basis der erhobenen und analysierten Daten aus dem vorangegangenen Kapitel 8.

Schlussendlich wird jene Ausführung ausgewählt, welche alle definierten Anforderungen innerhalb der Rauten eines Entscheidungsstammbaumes, erfüllt. In der Spalte links neben den Entscheidungsstammbäumen befindet sich je nach Bedarf eine Begründung, weshalb die genannten Ausführungen die Anforderungen erfüllen oder nicht erfüllen.

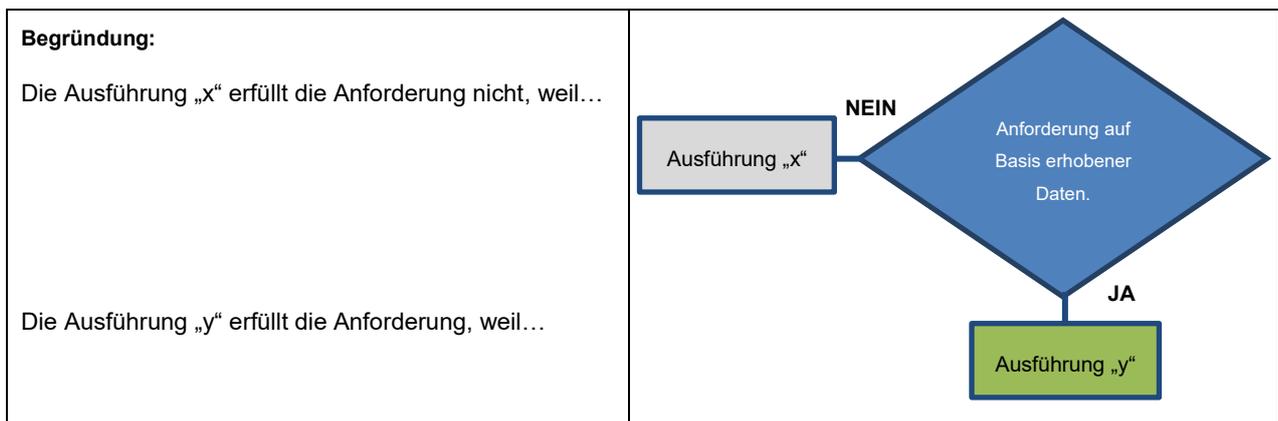


Tabelle 12: Beschreibung der Vorgehensweise bei der Erstellung der Entscheidungsstammbäume, Quelle: eigene Darstellung.

Objektdetektion	<p>Begründung:</p> <p>Die theoretischen Positionen der Produkte auf den Tunnelofenwägen sind zwar vom Beladevorgang bekannt, jedoch kann das Verrutschen der Produkte bis zum Entladevorgang nicht ausgeschlossen werden. Deshalb können die tatsächlichen Positionen von den theor. Positionen abweichen. Das Entladen ohne Objektdetektionsverfahren ist grundsätzlich möglich, jedoch für das Erreichen einer hohen Prozesssicherheit nicht geeignet.</p>	<pre> graph TD D1{Objekte beliebig bereitgestellt & theor. Positionen bekannt.} D1 -- NEIN --> B1[eindimensional, zweidimensional] D1 -- JA --> B2[ohne, dreidimensional] D2{hohe Prozesssicherheit} B2 --> D2 D2 -- NEIN --> B3[ohne] D2 -- JA --> B4[dreidimensional] style B4 fill:#90EE90 </pre>
Objekthandhabung, Greifbarkeit	<p>Begründung:</p> <p>Die Anforderungen an die Wagenbesätze der einzelnen Tunnelofenwägen und an die Palettschichtmuster sind sehr hoch. Um diesen gerecht zu werden können einzelne Produkte nur an einer Fläche manipuliert werden.</p> <p>* Fertigungsaufträge (FAUF's) * Tunnelofenwagen (TOW)</p>	<pre> graph TD D1{Objektgewicht: 4,68 kg bis 40,36 kg} D1 -- NEIN --> B1[keine Ausführungen] D1 -- JA --> B2[Sauggreifer, mechanische Greifer] D2{Objektoberfläche: glatt, dicht} B2 --> D2 D2 -- NEIN --> B3[keine Ausführungen] D2 -- JA --> B4[Sauggreifer, mechanische Greifer] D3{max. eine Greiffläche} B4 --> D3 D3 -- NEIN --> B5[mechanische Greifer] D3 -- JA --> B6[Sauggreifer] D4{Φ Anzahl an FAUF's/TOW = 3} B6 --> D4 D4 -- NEIN --> B7[manuelles Greiferwechselsystem] D4 -- JA --> B8[automatisches Greiferwechselsystem] style B8 fill:#90EE90 </pre>

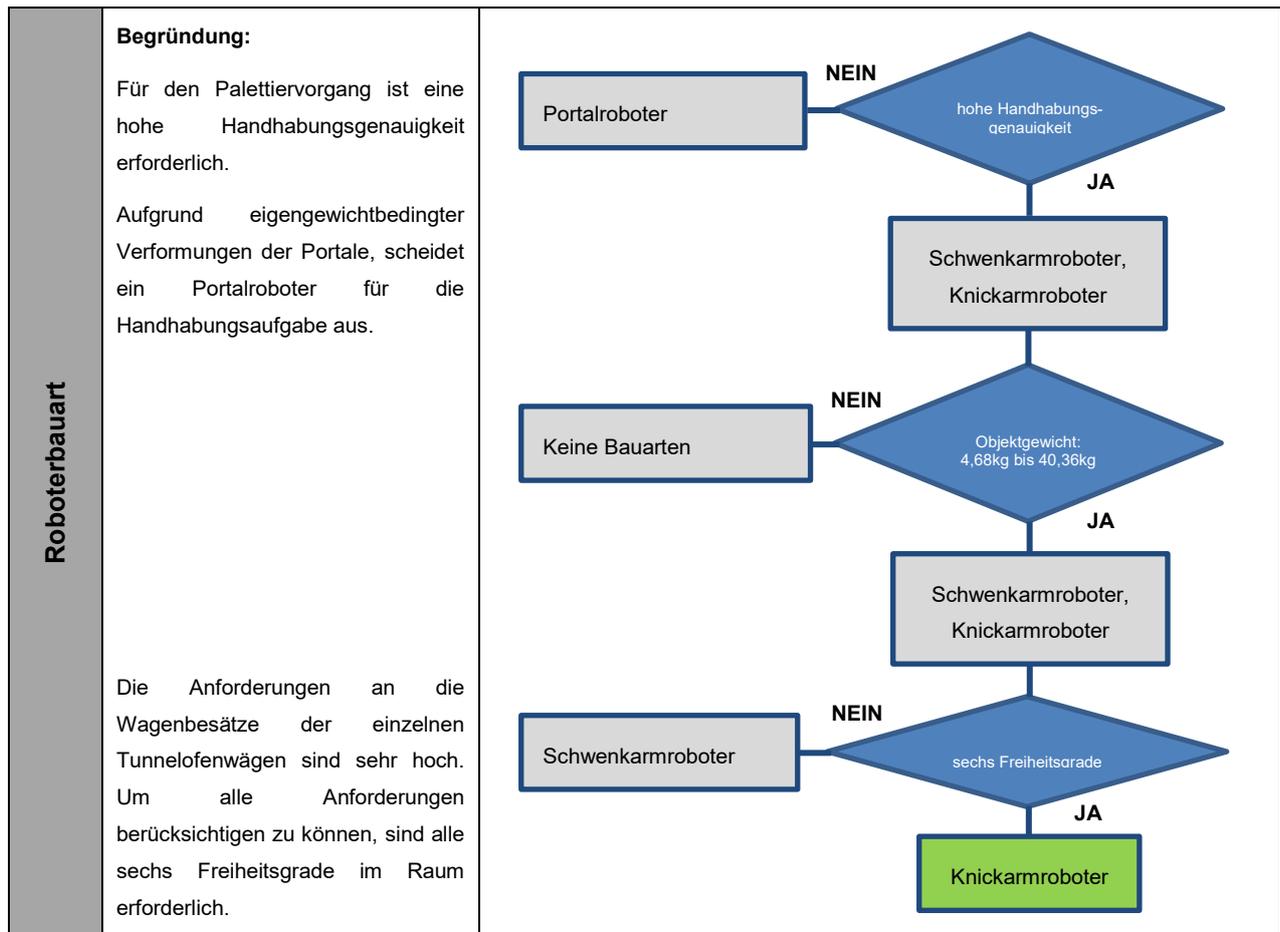


Tabelle 13: Entscheidungsstammbaum zur Auswahl der für den Anwendungsfall optimalen Robotertechnik, Quelle: eigene Darstellung.

Die Betrachtung der beiden Entscheidungsstammbäume aus Tabelle 12 und Tabelle 13 ermöglicht die Identifikation der optimalen Robotertechnik.

Wie in den grünen Feldern dargestellt, eignet sich ein Knickarmroboter aufgrund seiner hohen Flexibilität am besten für die Ausführung der Handhabungsaufgabe. Durch den Einsatz eines dreidimensionalen Objektdetektionsverfahren kann eine hohe Prozesssicherheit sichergestellt werden. Die Kombination mit unterschiedlichen Sauggreifern und der Einsatz eines automatischen Greiferwechselsystems, stellt die optimale technische Ausführung für den betrachteten Anwendungsfall dar.

9.2 Ermittlung von potentiellen Kommissionierlösungen

Für die Entwicklung der geplanten Anlage ist zusätzlich zur Robotertechnik aus Kapitel 9.1 die optimale Kommissionierlösung von Interesse. Diese Lösung hat in weiterer Folge einen großen Einfluss auf die Konfiguration der Gesamtanlage. Die Ermittlung und Bewertung von potentiellen Kommissionierlösungen wird auf Basis der im Kapitel 8 erhobenen und analysierten Informationen durchgeführt.

Die vorhandenen relevanten Informationen werden in der folgenden Tabelle 14, in Form einer Variantendarstellung dargestellt. Diese Darstellung eignet sich aufgrund der hohen Übersichtlichkeit und Nachvollziehbarkeit sehr gut, für die Identifikation mehrerer möglicher Lösungswege.

Erarbeitung wesentlicher Inhalte als Grundlage der Entwicklung

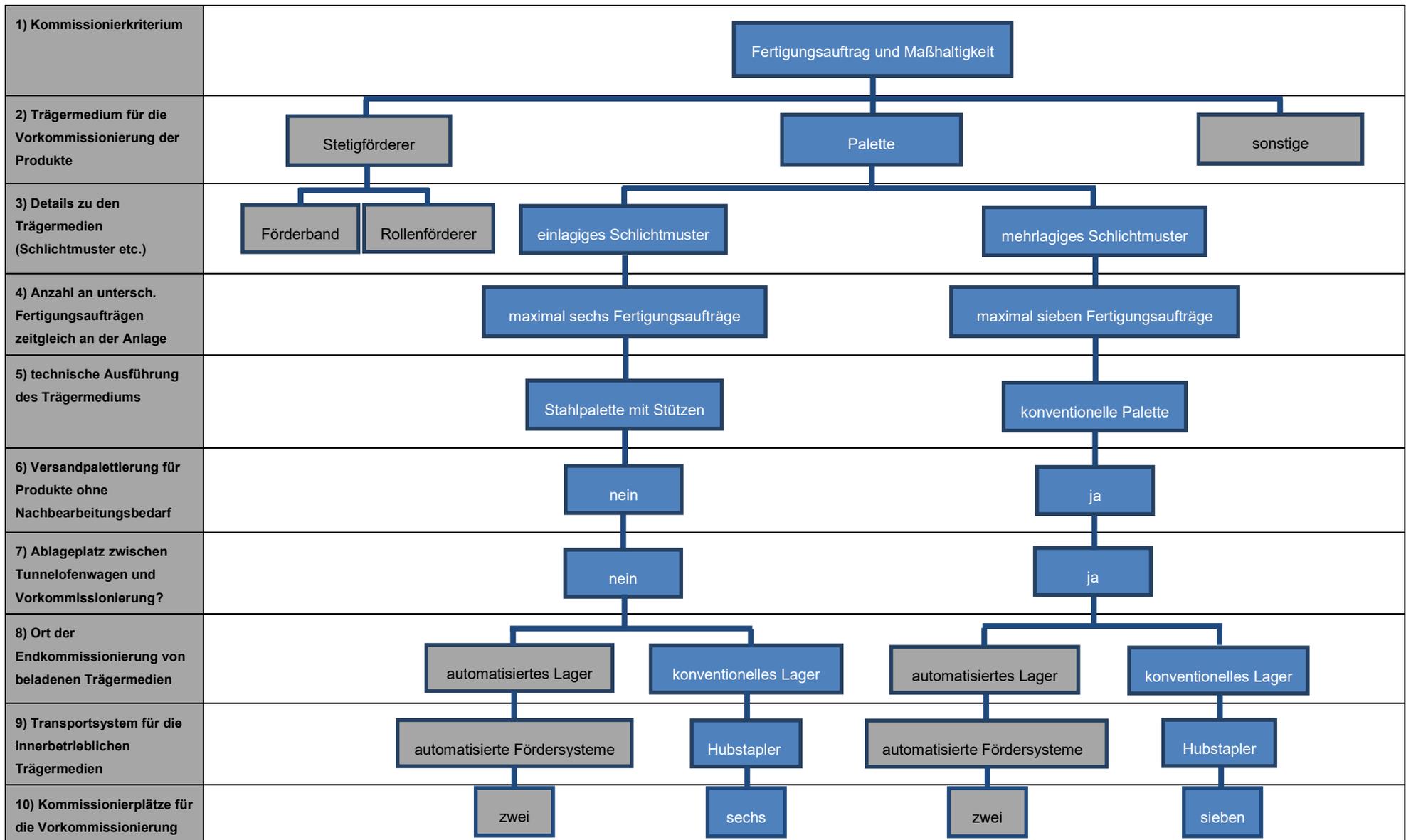


Tabelle 14: Variantendarstellung zur Ermittlung und Bewertung von potentiellen Kommissionierlösungen, Quelle: eigene Darstellung.

10 ABLEITUNG VON POTENTIELLEN ANLAGENKONFIGURATIONEN

In diesem Kapitel werden potentielle Anlagenkonfigurationen auf Basis der in Kapitel 9 dargestellten Tabelle 13 und Tabelle 14 abgeleitet. Die in Tabelle 13 dargestellten Entscheidungsstammbäume legen dabei die Auswahl, der für den gegebenen Anwendungsfall optimalen Robotertechnik, eindeutig fest.

Etwas anders sieht das für die Auswahl der optimalen Lösung der betrachteten Kommissionieraufgabe aus. Wie in Tabelle 14 ersichtlich, resultieren aus den dargestellten Informationen, mehrere potentielle Wege zur Bewältigung der Kommissionieraufgabe. Die Kombination zwischen den potentiellen Lösungswegen und der optimalen Robotertechnik, ermöglicht die Ableitung von möglichen Konfigurationen der Gesamtanlage. Diese werden in weiterer Folge in den folgenden Unterkapiteln separat dargestellt und beschrieben.

Um die Beschreibungen der potentiellen Anlagenkonfigurationen nachvollziehen zu können, ist im Vorfeld ein Verständnis für die dargestellte Tabelle 14 notwendig. Dieses Verständnis wird im Folgenden unter Berücksichtigung der laufenden Nummerierung innerhalb der Tabelle vermittelt:

- 1) Kommissionierkriterium:

Sämtliche Produkte, welche auf einzelnen Tunnelofenwägen nicht auftragsrein zur geplanten Anlage gelangen, müssen an dieser auftragsrein kommissioniert werden. Darüber hinaus gibt es Fertigungsaufträge mit unterschiedlichen Anforderungen an die Maßhaltigkeit. Sinngemäß sind der Fertigungsauftrag und die Maßhaltigkeit jene Kriterien, welche in der Kommissionierung berücksichtigt werden müssen.

- 2) Trägermedium für die Vorkommissionierung der Produkte:

Der gesamte Kommissioniervorgang wird in den meisten Fällen in zwei Schritten durchgeführt. Im ersten Schritt werden die Produkte an der geplanten Anlage auf sogenannte Trägermedien auftragsrein und unter Berücksichtigung der Maßhaltigkeit vorkommissioniert. Jene Fertigungsaufträge mit hohen Losgrößen erstrecken sich jedoch über mehrere Trägermedien. Aus diesem Grund erfolgt im zweiten Schritt die Endkommissionierung dieser Aufträge, bei der Zusammenführung der Produkte aller relevanten Trägermedien im konventionellen Lager.

Wie in Tabelle 14 dargestellt, wurden für die Vorkommissionierung unterschiedliche Trägermedien betrachtet. Für das Unternehmen konnte ausschließlich eine Palette, als potentielles Trägermedium identifiziert werden. Die Verwendung anderer Trägermedien wie beispielsweise jene von Stetigförderern oder autonomen Robotern, wäre zwar theoretisch möglich, würde allerdings erhebliche Investitionsaufwände mit sich bringen. Aus diesem Grund werden diese Trägermedien nicht weiter betrachtet und in der Tabelle 14 grau dargestellt.

- 3) Details zu den Trägermedien (Schlichtmuster etc.):

Eine Palette kann, ganz egal wie diese ausgeführt ist, auf unterschiedliche Arten mit Produkten beschichtet werden. Grundsätzlich kann die Vielfalt an unterschiedlichen Schlichtmustern zwischen einlagig und mehrlagig unterschieden werden.

- 4) Anzahl an unterschiedlichen Fertigungsaufträgen zeitgleich an der Anlage:

Die Anzahl an Lagen der Schlichtmuster impliziert in weiterer Folge die Anzahl an Produkten, welche auf einer Palette Platz finden. Weiterführend werden die Zeitintervalle der einzelnen Palettiervorgänge dadurch beeinflusst. Aufgrund der Tatsache, dass einlagige Schlichtmuster in kürzeren Zeitintervallen generiert werden können, kommen zeitgleich maximal sechs Fertigungsaufträge zur Anlage. Dabei handelt es sich um jene Anzahl an Fertigungsaufträgen, welche sich maximal auf einem einzelnen Tunnelofenwagen befindet.

Bei mehrlagigen Schlichtmustern kann es der Fall sein, dass der Palettiervorgang eines einzelnen Trägermediums über mehrere Tunnelofenwägen andauert. Aus diesem Grund können wie die Abbildung 38 verdeutlicht, bis zu sieben Fertigungsaufträge zeitgleich an der Anlage auftreten. Dabei handelt es sich wiederum um jene Anzahl, welche im Durchlauf der einzelnen Tunnelofenwägen maximal zur gleichen Zeit an der Anlage auftritt.

- 5) technische Ausführung des Trägermediums:

Grundsätzlich kommen zwei unterschiedliche Ausführungen der Paletten, welche bereits im Kapitel 8.3.3 beschrieben wurden, in Betracht.

Einerseits handelt es sich bei einlagigem Schlichtmuster um eine spezielle Stahlpalette mit entsprechenden Stützen. Die Stützen ermöglichen das Stapeln der Paletten, wodurch die Produkte auf den Trägermedien effizienter von A nach B transportiert werden können.

Andererseits werden bei mehrlagigen Schlichtmustern konventionelle Holzpaletten unterschiedlichster Bauart eingesetzt.

- 6) Versandpalettierung an der Anlage für Produkte ohne Nachbearbeitungsbedarf:

Während sich die Stahlpaletten ausschließlich für den unternehmensinternen Bereich eignen, können konventionelle Paletten auch unternehmensextern, für den Versand der Produkte eingesetzt werden. Bei Verwendung von konventionellen Holzpaletten können sämtliche Produkte ohne Nachbearbeitungsbedarf, unmittelbar an der geplanten Anlage auf die Versandpalette aufgebracht werden. Hierbei handelt es sich im Unternehmen um etwa 40 - 50 % des gesamten Produktportfolios.

- 7) Ablageplatz zwischen Tunnelofenwagen und Vorkommissionierung:

Bei der Generierung von einigen, mehrlagigen Schlichtmustern handelt es sich bei der Ablagefläche einzelner Produkte, um jene Fläche, zu welcher auch der Robotergreifer beim Entladevorgang vom Tunnelofenwagen Kontakt hat. Um die Produkte auf dieser Fläche ablegen zu können, ist aus diesem Grund ein zusätzliches Ablegen vor dem eigentlichen Palettiervorgang notwendig.

Im Gegensatz dazu gibt es bei einlagigen Schlichtmustern keinen Fall, bei dem die Ablagefläche der Produkte auch zwingend die Greiffläche beim Entladevorgang vom Tunnelofenwagen ist. Deshalb ist kein Ablegen der Produkte zwischen dem Entlade- und dem Palettiervorgang erforderlich.

- 8) Ort der Endkommissionierung von beladenen Trägermedien:

Die bereits im Punkt 2 erwähnte Endkommissionierung der einzelnen Produkte auf den vorkommissionierten Trägermedien, kann auf unterschiedliche Arten erfolgen. Grundsätzlich kann diese jedoch auf konventionellem, oder auf automatisiertem Weg durchgeführt werden.

Im Ausgangszustand des Unternehmens wird die Endkommissionierung ausschließlich konventionell durchgeführt. Aufgrund der Tatsache, dass eine automatisierte Lösung erhebliche Investitionsaufwände mit sich bringen würde, kommt für die Entwicklung der Anlage ausschließlich die konventionelle Ausführung in Betracht. Automatisierte Lösungen wurden dennoch betrachtet und in der Tabelle 14 in grau dargestellt.

- 9) Transportsystem für die innerbetrieblichen Trägermedien:

Als Transportsystem für eine konventionelle Endkommissionierung der Produkte auf den Trägermedien, kommt ausschließlich ein Hubstapler in Betracht. Mit diesem können sowohl konventionelle Trägermedien in 2er - Stapeln, als auch Stahlpaletten in 6er - Stapeln, transportiert werden.

-10) Kommissionierplätze für die Vorkommissionierung:

Auf Basis des verwendeten Trägermediums und dessen Schlichtmuster, kann die maximale Anzahl an unterschiedlichen Fertigungsaufträgen, welche zeitgleich zur Anlage gelangen, ermittelt werden.

Aufgrund der Tatsache, dass die einzelnen Produkte auf den Trägermedien stark zum Verrutschen neigen, sollten diese im Zuge des Palettiervorgangs möglichst wenig bewegt werden.

Um das zu bewerkstelligen muss der Vorgang als sogenannter „Roboter zur Ware“ - Vorgang realisiert werden. Aufgrund dieser Realisierung ist die maximale Anzahl an unterschiedlichen Fertigungsaufträgen die sich zeitgleich an der Anlage befinden, auch die notwendige Anzahl an Kommissionierplätzen.

10.1 Anlagenkonfiguration 1 mit konventionellen Trägermedien und mehrlagigen Schlichtmustern

In der Anlagenkonfiguration 1 werden als innerbetriebliche Trägermedien diverse Holzpaletten mit mehrlagigem Schlichtmuster eingesetzt. Auf diesen Paletten erfolgt die Vorkommissionierung der einzelnen Produkte, nach bereits erfolgtem Entladevorgang vom Tunnelofenwagen. Alle innerbetrieblichen Transportwege der Trägermedien werden mit Hubstaplern realisiert. Diese Konstellation repräsentiert den Ausgangszustand innerhalb des Unternehmens, weshalb bei einer Umsetzung keine Anpassung von nachgelagerten Prozessen notwendig wäre.

Aufgrund der notwendigen „Roboter zur Ware“ - Kommissionierung, stehen die einzelnen Trägermedien während des Kommissionier- und Palettiervorgangs still. Es bewegt sich ausschließlich der Roboter, wodurch zur Bewältigung der Kommissionieraufgabe, sieben Kommissionierplätze erforderlich sind. Diese Anzahl berücksichtigt den Durchlauf aller Tunnelofenwägen innerhalb des Betrachtungszeitraumes, wie bereits im Kapitel 8.3.2 und Kapitel 10 beschrieben.

Das minimale Zeitintervall für das Ausschleusen einer Palette nach dem Palettiervorgang liegt bei dieser Anlagenkonfiguration bei 288 Sekunden. Mit einem zusätzlichen Pufferplatz für jeden der sieben Kommissionierplätze könnte das Zeitintervall auf 576 Sekunden angehoben werden.

Die Holzpalette als Trägermedium ermöglicht die direkte Versandpalettierung jener Produkte, welche keinen Nachbearbeitungsbedarf, aufweisen. Für die richtige Orientierung dieser Produkte auf der Versandpalette, ist vor dem Palettiervorgang ein zusätzliches Ablegen der Produkte erforderlich. Mithilfe dieses Ablagevorganges kann der eingesetzte Knickarmroboter die Produkte auf der richtigen Seite greifen und infolgedessen die Versandpalettierung durchführen.

Am Ablageort besteht die Möglichkeit, eine visuelle Qualitätsprüfung der Produkte vorzunehmen. Am RHI Magnesita Produktionsstandort in Trieben weisen in etwa 40 - 50 % des aktuellen Produktportfolios keinen Nachbearbeitungsbedarf auf. Die direkte Versandpalettierung an der Anlage, führt zu einer wesentlichen Optimierung des Wertstroms bei allen Produkten ohne Nachbearbeitungsbedarf. In der folgenden Abbildung 42 ist die Kommissionierlösung der Anlagenkonfiguration 1 in Form eines grünen Pfades dargestellt. Dieser grüne Pfad symbolisiert den Lösungsweg dieser Anlagenkonfiguration und bezieht sich auf die zuvor dargestellte und detailliert beschriebene Tabelle 14.

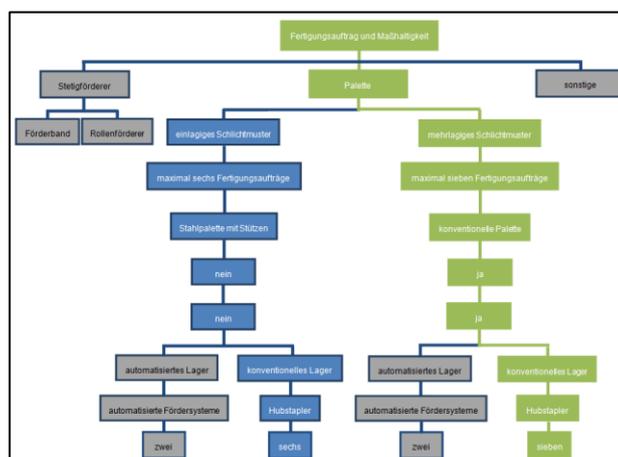


Abbildung 42: Lösungsweg zur Bewältigung der Kommissionieraufgabe in Anlagenkonfiguration 1, Quelle: eigene Darstellung.

10.2 Anlagenkonfiguration 2 mit Stahlpaletten und einlagigen Schlichtmustern

In der Anlagenkonfiguration 2 werden als innerbetriebliche Trägermedien Stahlpaletten mit Stützen und einlagigem Schlichtmuster eingesetzt. Im Gegensatz zur Anlagenkonfiguration 1 kann die Vorkommissionierung der einzelnen Produkte auf die Paletten, unmittelbar im Zuge des Entladevorgangs vom Tunnelofenwagen durchgeführt werden. Das ist möglich, da die Orientierung der Produkte auf den Stahlpaletten, aufgrund des einlagigen Schlichtmusters, grundsätzlich frei wählbar ist. Die Ablagefläche der Produkte muss demnach in keinem Fall jene Fläche sein, zu welcher der Roboter im Zuge der Manipulation der Produkte Kontakt hat. Bei direkter Entladung der Produkte auf bereitgestellte Stahlpaletten ist lediglich zu prüfen, ob der Roboter alle Kommissionierplätze bedienen kann. Sollte das nicht der Fall sein, ist ein zusätzlicher Ablageort für Produkte vor der Palettierung sinnvoll. An diesem Ort kann eine visuelle Qualitätskontrolle der Produkte durchgeführt werden.

Aufgrund der Tatsache, dass die verwendeten Stahlpaletten ausschließlich als innerbetriebliche Trägermedien dienen, ist eine Versandpalettierung im Zuge der Anlage nicht möglich. Des Weiteren erfordert die Verwendung von Stahlpaletten eine Anpassung aller damit beschickten Prozesse. Dazu zählen sowohl etwaige Prozesse in der Nachbearbeitung des Unternehmens, als auch die versandfertige Palettierung, auf welcher die Manipulation der Produkte von den Stahlpaletten, auf die Versandpaletten durchgeführt wird. Diese Anlage ist mit automatischen Stapelsystemen ausgestattet. Die Stapelsysteme sind in der Lage, bis zu sechs Stahlpaletten aufeinander zu stapeln. Mit Hubstaplern werden die Stapel von der Anlage entnommen und zu den entsprechenden Prozessen transportiert. Alle beschickten Prozesse müssen demnach mit einer sogenannten Stapel-, Entstapeleinrichtung für Stahlpaletten ausgestattet sein. Das minimale Zeitintervall für das Ausschleusen eines Stapels von der geplanten Anlage liegt bei 432 Sekunden. Während in der Anlagenkonfiguration 1 die mehrlagig beschichteten Paletten stets fertig beschichtet werden müssen, kann der Palettiervorgang einer einlagig beschichteten Stahlpalette, zu jederzeit unterbrochen werden. Aus diesem Grund wird die Kommissionierkomplexität reduziert und es sind lediglich sechs Kommissionierplätze erforderlich. Diese Anzahl entspricht wiederum jener Maximalanzahl an unterschiedlichen Fertigungsaufträgen auf einem einzelnen Tunnelofenwagen. In der folgenden Abbildung 43 ist die Kommissionierlösung der Anlagenkonfiguration 2 in Form eines grünen Pfades dargestellt, welcher einen weiteren Lösungsweg aus der Tabelle 14 symbolisiert.

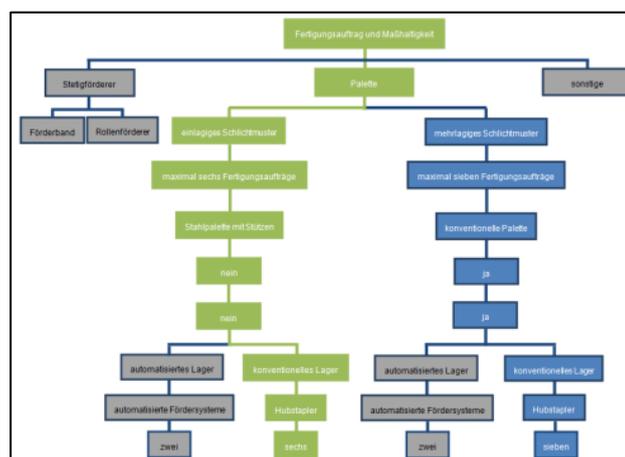


Abbildung 43: Lösungsweg zur Bewältigung der Kommissionieraufgabe in Anlagenkonfiguration 2, Quelle: eigene Darstellung.

10.3 Anlagenkonfiguration 3 mit konventionellen und unkonventionellen Trägermedien

Die Anlagenkonfiguration 3 repräsentiert eine Mischform der zwei bereits beschriebenen Konfigurationen aus dem Kapitel 10.1 und dem Kapitel 10.2.

Es kommen zwei unterschiedliche Arten von Trägermedien zum Einsatz. In etwa 40 - 50 % des Produktportfolios, welches keinen Nachbearbeitungsbedarf erfordert, wird direkt an der geplanten Anlage versandpalettiert. Die Versandpalettierung wird nach vorgegebenen Schlichtmustern mehrlagig auf konventionelle Trägermedien ausgeführt. Analog zur Anlagenkonfiguration 1 ist hierfür ein Ablageplatz vor dem eigentlichen Palettiervorgang erforderlich.

Die restlichen 50 - 60 % des Produktportfolios erfordern einen Nachbearbeitungsbedarf und können demnach an der Anlage nicht versandpalettiert werden. Diese Produkte werden, analog zur Anlagenkonfiguration 2, einlagig auf Stahlpaletten mit Stützen aufgebracht. Die Anlage verfügt ebenfalls über automatische Stapelsysteme, welche bis zu sechs Stahlpaletten aufeinander stapeln können. Die Erstellung dieser Stapel erfolgt auftragsrein und unter Berücksichtigung der Maßhaltigkeit der Produkte.

Bei Fertigungsaufträgen mit hohen Losgrößen wird die Endkommissionierung der Produkte auf den Stapeln, in einem konventionellen Lager vorgenommen. Der innerbetriebliche Transport der Stapel wird mit Hubstaplern organisiert. Wie bereits im Kapitel 10.2 beschrieben, müssen Prozesse, damit diese mit Stahlpaletten beschickt werden können, mit automatischen Stapel-, Entstapeleinrichtungen ausgestattet sein. Die Umsetzung der Anlagenkonfiguration 3 erfordert demnach eine vorhergehende Anpassung aller beschickten Prozesse.

Aufgrund der Tatsache, dass in dieser Anlagenkonfiguration zwei unterschiedliche Trägermedien verwendet werden, hängt die erforderliche Anzahl und Ausführung der Kommissionierplätze stark vom Produktmix ab. Bei einer Auslegung nach aktuellem Produktmix, muss die Anlage zur Bewältigung der Kommissionieraufgabe über sieben Kommissionierplätze verfügen. Auf vier dieser sieben Plätze erfolgt die Kommissionierung und Palettierung auf Stahlpaletten. Diese Kommissionierplätze müssen demnach mit automatischen Stapelsystemen ausgestattet sein. An den restlichen drei Kommissionierplätzen erfolgt die Versandpalettierung auf konventionelle Holzpaletten. Die Zeitintervalle für das Ausschleusen von Trägermedien sind analog zu den beiden Kapiteln 10.1 und 10.2.

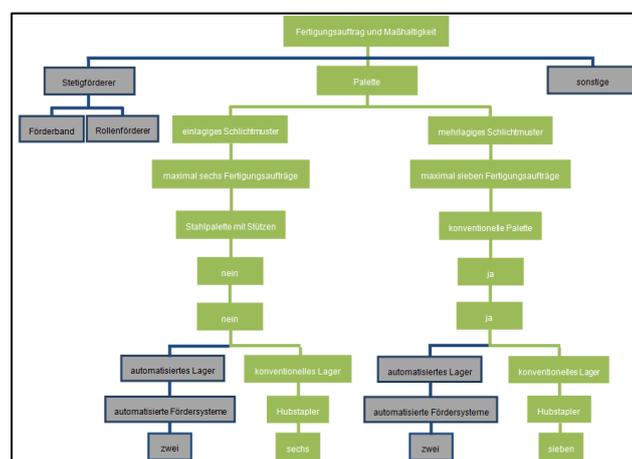


Abbildung 44: Lösungsweg zur Bewältigung der Kommissionieraufgabe in Anlagenkonfiguration 3, Quelle: eigene Darstellung.

11 ERMITTLUNG DER FÜR DAS UNTERNEHMEN OPTIMALEN ANLAGENKONFIGURATION

Nachfolgend werden die im Kapitel 10 beschriebenen Anlagenkonfigurationen nach bestimmten Kriterien, welche ebenfalls in diesem Kapitel definiert werden, bewertet. Für die Durchführung dieser Bewertung wird eine Conjoint-Analyse durchgeführt.

Die Conjoint-Analyse ist eine sogenannte multivariate Analyseverfahren. Mithilfe dieser Methode kann aus den Teilnutzen einzelner Kriterien einer Konfiguration, der Gesamtnutzen für das Unternehmen bestimmt werden.⁶⁶ Die für das Unternehmen optimale Anlagenkonfiguration ist schlussendlich jene Konfiguration mit dem höchsten Gesamtnutzen. Vor der Durchführung der Conjoint-Analyse, wird im ersten Schritt die genaue Vorgehensweise anhand der Abbildung 45 verdeutlicht.

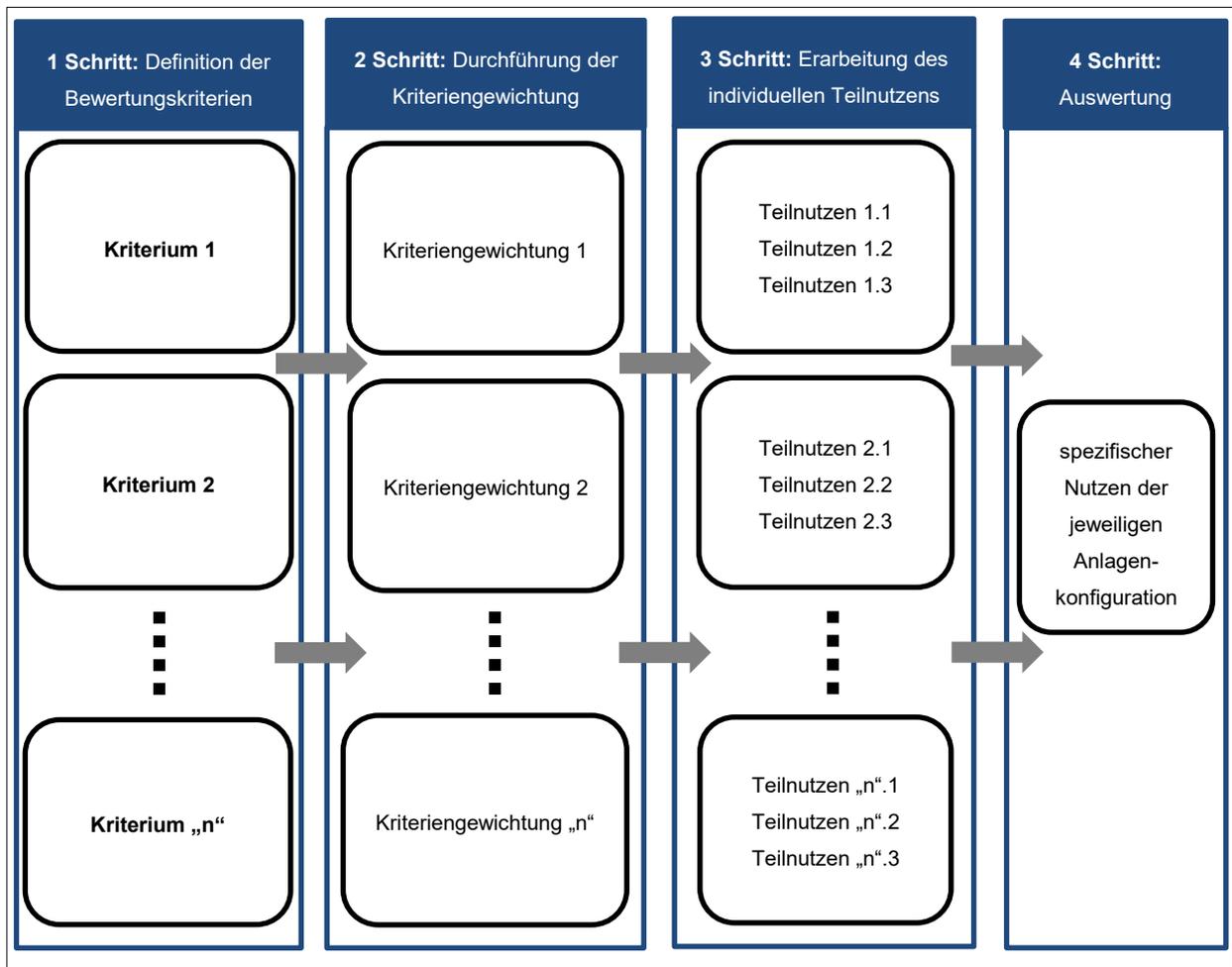


Abbildung 45: Beschreibung der Vorgehensweise in der Durchführung der Conjoint - Analyse, Quelle: Bichler (2009), S. 60 (leicht modifiziert).

Wie in Abbildung 45 dargestellt, liegt der erste Schritt im Zuge der Ermittlung der optimalen Anlagenkonfiguration, in der Definition und Beschreibung der Bewertungskriterien. Dieser Schritt wird im folgenden Kapitel 11.1 durchgeführt. Darauf aufbauend werden die identifizierten Bewertungskriterien im

⁶⁶ Vgl. Simon (2017), Online-Quelle [26.11.2017].

Kapitel 11.2 paarweise betrachtet und somit zueinander gewichtet. Im dritten Schritt werden die Teilnutzen der einzelnen Kriterien je Anlagenkonfigurationen festgelegt, sodass im letzten Schritt der Gesamtnutzen der einzelnen Anlagenkonfigurationen ermittelt werden kann. Die genaue Vorgehensweise der vier Schritte wird vor der Durchführung des jeweiligen Schrittes detailliert beschrieben.

11.1 Definition und Beschreibung der Bewertungskriterien je Anlagenkonfiguration

Um die Anlagenkonfigurationen einer Bewertung unterziehen zu können, werden in diesem Abschnitt zunächst sämtliche Bewertungskriterien festgelegt. Des Weiteren wird für jedes Bewertungskriterium, die Ausprägung und somit die Datengrundlage für die darauffolgende Bewertung erarbeitet.

11.1.1 Wertstromdesign

In der Tabelle 15 sind die Wertströme der drei potentiellen Anlagenkonfigurationen separat dargestellt. Die Anlagenkonfigurationen werden darin von der geplanten Kommissionier- und Palettieranlage, bis einschließlich zur Verpackung, betrachtet. Die Produktströme sind in der Tabelle mit Pfeilen und die Anlagen mit Vierecken dargestellt.

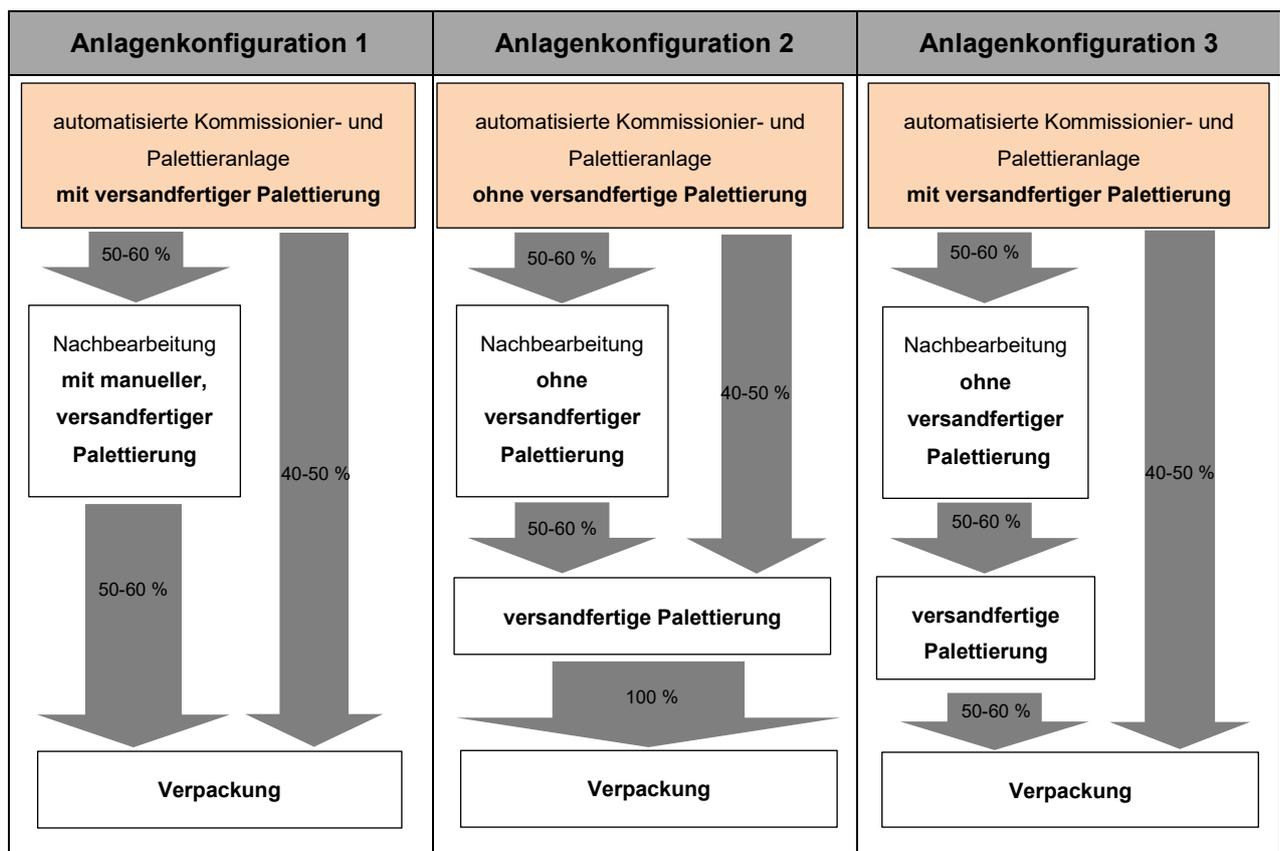


Tabelle 15: Wertstromdesign der drei potentiellen Anlagenkonfigurationen, Quelle: eigene Darstellung.

Die Tabelle 15 verdeutlicht, dass sich die Wertströme in Abhängigkeit der gewählten Anlagenkonfiguration voneinander unterscheiden.

Die genauen Unterschiede werden nachfolgend detailliert beschrieben.

- Wertstromdesign in Anlagenkonfiguration 1:

In dieser Anlagenkonfiguration werden alle Produkte von der geplanten Anlage auf konventionelle Trägermedien aufgebracht. Die beladenen Trägermedien werden anschließend mit Hubstaplern bedarfsabhängig innerhalb des Unternehmens weitertransportiert.

In etwa 50 - 60 % des Produktportfolios durchlaufen nachgelagerte Bearbeitungsprozesse, welche eine lose Beschichtung der einzelnen Produkte auf die Trägermedien erfordern. Am Ende dieser Bearbeitungsprozesse werden die genannten Produkte manuell auf Versandpaletten aufgebracht und anschließend der Verpackungsanlage zugeführt.

Im zweiten Produktstrom, mit einem Anteil von etwa 40 - 50 % des Produktportfolios, werden die Produkte nach der geplanten Anlage nicht mehr bearbeitet. Deshalb findet die versandfertige Palettierung dieser Produkte automatisiert, im Zuge der geplanten Anlage, statt. Nach erfolgter versandfertiger Palettierung erfolgt die Verpackung der beladenen Trägermedien auf einer Verpackungsanlage.

Zusammengefasst erfolgt die versandfertige Palettierung der Produkte in der Anlagenkonfiguration 1 dezentral und wird sowohl manuell, als auch automatisiert durchgeführt.

- Wertstromdesign in Anlagenkonfiguration 2:

Wie bereits in Kapitel 10.2 erwähnt, werden in der Anlagenkonfiguration 2 alle Produkte von der geplanten Anlage einlagig auf Stahlpaletten mit Stützen aufgebracht. Die einzelnen Stahlpaletten werden bis zu sechsfach aufeinander gestapelt und mit Hubstaplern bedarfsabhängig innerhalb des Unternehmens weitertransportiert. Sämtliche Bearbeitungsprozesse müssen adaptiert werden, damit diese mit den Stapeln, bestehend aus bis zu sechs Stahlpaletten, beschickt werden können.

Um die Produkte versandfertig palettieren zu können, ist eine zusätzliche Palettieranlage erforderlich. Auf dieser Anlage werden alle Produkte von den Stahlpaletten auf Versandpaletten umgesetzt.

Die versandfertige Palettierung der Produkte erfolgt in der Anlagenkonfiguration 2 ausschließlich zentral und automatisiert und wird auf der zusätzlich notwendigen Palettieranlage durchgeführt.

- Wertstromdesign in Anlagenkonfiguration 3:

In der Anlagenkonfiguration 3 werden die Produkte in Abhängigkeit der Arbeitspläne auf unterschiedliche Trägermedien aufgebracht. Konkret werden jene Produkte mit Bearbeitungsbedarf einlagig auf Stahlpaletten und jene Produkte ohne Nachbearbeitungsbedarf versandfertig auf Holzpaletten aufgebracht. Aus diesem Grund ist der Wertstrom für 40 - 50 % des Produktportfolios analog dem Wertstrom aus der Anlagenkonfiguration 1.

Aufgrund der Tatsache, dass die restlichen 50 - 60 % des Produktportfolios auf Stahlpaletten aufgebracht werden, ist auch in der Anlagenkonfiguration 3 eine Anpassung aller damit beschickten Prozesse notwendig. Um die Produkte in weiterer Folge wieder von den Stahlpaletten auf Versandpaletten umsetzen zu können, ist wie bei Anlagenkonfiguration 2 eine zusätzliche Palettieranlage erforderlich.

Die versandfertige Palettierung der Produkte erfolgt hier ebenfalls dezentral an zwei eigenständigen Anlagen und wird ausschließlich automatisiert durchgeführt.

11.1.2 Integration in den Bestand

Die Integration der geplanten Anlage in den Bestand wird im Wesentlichen durch die folgenden Faktoren bestimmt:

- Trägermedium
- Platzbedarf der geplanten Anlage
- Platzbedarf im Lager
- Anschlussleistungen (elektrisch, pneumatisch etc.)
- Anbindung an die bestehende IT im Unternehmen (Datenkommunikationstechnologien)

In den einzelnen Anlagenkonfigurationen kommen unterschiedliche Trägermedien zum Einsatz. Diese haben einen großen Einfluss auf die Integration in den Bestand. Die restlichen, aufgelisteten Faktoren treten bei allen Anlagenkonfigurationen in vergleichbarer Art und Weise auf.

Um die Unterschiede in der Integration der einzelnen Anlagenkonfigurationen darzustellen, wird aus diesem Grund in der folgenden Abbildung 16 der Bezug zu den verwendeten Trägermedien hergestellt.

Bewertungs-kriterien	Ausgangszustand	Anlagen-konfiguration 1	Anlagen-konfiguration 2	Anlagen-konfiguration 3
Trägermedium	konventionell	konventionell	Stahlpaletten mit Stützen	Stahlpaletten mit Stützen und konventionell
Beschlichtungsart	mehrlagig	mehrlagig	einlagig	einlagig und mehrlagig
versandfertige Palettierung	dezentral im Zuge des letzten Prozessschrittes	dezentral im Zuge des letzten Prozessschrittes	zentral auf einer Palettieranlage	dezentral auf einer Palettieranlage und der geplanten Anlage
Beschickung der nachgelagerten Prozesse	mit konventionellen, mehrlagig beschichteten Holzpaletten	mit konventionellen, mehrlagig beschichteten Holzpaletten	mit 6er - Stapel Stahlpaletten, jeweils einlagig beschichtet	mit 6er - Stapel Stahlpaletten, jeweils einlagig beschichtet
erforderliche Anlagenteile zur Integration der Kommissionier- und Palettieranlage in den Bestand	nicht relevant	- Kommissionier- und Palettieranlage	- Kommissionier- und Palettieranlage - Palettieranlage zur Versandpalettierung - Anpassung der beschickten Prozesse an die geänderten Trägermedien	- Kommissionier- und Palettieranlage - Palettieranlage zur Versandpalettierung - Anpassung der beschickten Prozesse an die geänderten Trägermedien

Tabelle 16: Bewertung der Anlagenkonfigurationen hinsichtlich der Integration in den Bestand, Quelle: eigene Darstellung.

Die Betrachtung der Tabelle 16 macht den Unterschied der einzelnen Anlagenkonfigurationen, hinsichtlich dessen Integration in den Bestand des Unternehmens deutlich. Die Tatsache, dass die

Anlagenkonfiguration 1, im Hinblick aller relevanten Bewertungskriterien dem Ausgangszustand im Unternehmen entspricht, lässt dessen Integration in den Bestand am einfachsten erscheinen. Die Anlagenkonfigurationen 2 und 3 erfordern eine zusätzliche Anpassung aller nachgelagerten Prozesse. Die genannte Anpassung ermöglicht die Beschickung der Prozesse mit den 6er - Stapeln an Stahlpaletten. Zudem ist eine Palettieranlage, welche die einzelnen Produkte von den Stahlpaletten, versandfertig auf Holzpaletten umsetzt, unbedingt erforderlich. Diese Tatsache lässt die Integration der Anlagenkonfiguration 2 und Anlagenkonfiguration 3, im Gegensatz zur Anlagenkonfiguration 1, schwieriger erscheinen. Die Integration ist hier zwar möglich, jedoch mit höheren Investitionsmitteln verbunden, welche im nächsten Kapitel 11.1.3 dargestellt sind.

11.1.3 Wirtschaftlichkeit

Abhängig von der gewünschten Anlagenkonfiguration variieren die erforderlichen Investitionsmittel. Die Investitionsmittel wurden für die im Kapitel 3 beschriebenen Konfigurationen anhand der sogenannten Dreipunktmethode ermittelt.

In der folgenden Tabelle 17 sind die einzelnen Kostenpositionen je Anlagenkonfiguration ausgewiesen, welche eine Unsicherheit von +/- 30 % aufweisen. Ergänzend dazu befindet sich die gesamte Investitionskostenerhebung im Anhang 3 der Arbeit.

Kostenposition	Anlagenkonfiguration 1	Anlagenkonfiguration 2	Anlagenkonfiguration 3
Elektrotechnik, MSR - Technik	515.000 €	468.000 €	515.000 €
Mechanik	1.220.000 €	675.000 €	1.420.000 €
Robotik	1.498.000 €	1.170.000 €	1.498.000 €
Sicherheitstechnik	94.000 €	94.000 €	94.000 €
sonstige	199.000 €	114.000 €	199.000 €
Kosten (nur Anlage)	3.526.000 €	2.521.000 €	3.726.000 €
zusätzliche Trägermedien	0 €	840.000 €	420.000 €
Anpassung beschickter Prozesse oder zusätzliche Anlagen(-teile)	0 €	1.822.000 € (Palettieranlage) 1.285.000 € (Anpassungen)	1.822.000 € (Palettieranlage) 1.285.000 € (Anpassungen)
Gesamtkosten	3.526.000 € (+/- 30 %)	6.468.000 € (+/- 30 %)	7.253.000 € (+/- 30 %)

Tabelle 17: Ergebnisse der Investitionskostenerhebung für die potentiellen Anlagenkonfigurationen, Quelle: eigene Darstellung.

Die Daten in der Tabelle 17 bestätigen die Behauptung aus Kapitel 11.1.2, dass die Realisierung von Anlagenkonfiguration 2 und Anlagenkonfiguration 3, im Gegensatz zu jener von Anlagenkonfiguration 1, einen höheren Investitionsaufwand erfordert. Begründet wird diese Tatsache durch die Notwendigkeit einer Palettieranlage, sowie durch die Anpassungen von nachgelagerten Prozessen.

Die Palettieranlage ist unbedingt erforderlich, um die Produkte von den Stahlpaletten auf Versandpaletten umzusetzen. Ein manuelles Umsetzen ist aufgrund der einlagigen Beschichtung der Paletten zeitökonomisch nicht zielführend. Damit die nachgelagerten Prozesse mit den Stahlpaletten beschickt werden können, ist eine Anpassung der entsprechenden Prozesse ebenfalls unbedingt erforderlich.

Um die Wirtschaftlichkeit der potentiellen Anlagenkonfigurationen beurteilen zu können, sind zusätzlich zum Investitionsaufwand, die erwarteten jährlichen Erträge von Bedeutung. Mithilfe dieser Erträge wird im Folgenden für jede Konfiguration der sogenannte primäre Return on Invest (primärer ROI) ermittelt. Der primäre ROI ist eine statische Betrachtung und setzt zu tätige Aufwände, mit den zu erwartenden jährlichen Erträgen ins Verhältnis. Das Ergebnis dieser Kennzahl ist die Zeitdauer in Jahren, in dem sich ein getätigter Aufwand amortisiert.

Der primäre ROI wurde für die drei potentiellen Anlagenkonfigurationen ermittelt und ist in Tabelle 18 dargestellt. Darüber hinaus wird eine dynamische Refinanzierung für jede Anlagenkonfiguration ermittelt. Dieser Refinanzierungsrechnung liegt eine Abschreibungsdauer von zehn Jahren zugrunde.

	Anlagenkonfiguration 1	Anlagenkonfiguration 2	Anlagenkonfiguration 3
Aufwände:	3.526.000 € (+/- 30 %)	6.468.000 € (+/- 30 %)	7.253.000 € (+/- 30 %)
Reduktion der Personalkosten	- 447.000 €	- 699.000 €	- 699.000 €
sonstige Kostenreduktionen	- 24.000 €	- 44.000 €	- 44.000 €
jährliche Erträge	- 471.000 €	- 743.000 €	- 743.000 €
primärer ROI	7,49 Jahre	8,71 Jahre	9,76 Jahre
Abschreibungsdauer	10 Jahre		
jährliche Abschreibung	352.600 €	646.800 €	725.300 €
Refinanzierung (dynamisch)	ca. 15 Jahre	ca. 18 Jahre	ca. 20 Jahre

Tabelle 18: Darstellung der Wirtschaftlichkeit der potentiellen Anlagenkonfigurationen, Quelle: eigene Darstellung.

Aus Tabelle 18 ist zu entnehmen, dass sich die primären ROI's der drei Anlagenkonfigurationen zwischen sieben und zehn Jahren befinden. Jener primäre ROI der Anlagenkonfiguration 1 ist mit 7,49 Jahren am niedrigsten und somit sind die Aufwände für diese Konfiguration am schnellsten wieder refinanziert. In der Anlagenkonfiguration 1 sind die jährlichen Erträge zwar am niedrigsten, was wiederum durch die niedrigeren Aufwände kompensiert wird.

Die dynamische Betrachtung der Wirtschaftlichkeit ergibt eine Refinanzierung der Anlagenkonfigurationen zwischen 15 und 20 Jahren.

Aufgrund der Tatsache, dass in der Anlagenkonfiguration 2 und 3 sämtliche Bearbeitungsprozesse an die Stahlpaletten angepasst werden müssen, erfolgt an diesen Prozessen keine manuelle, versandfertige Palettierung mehr. Wie bereits in Tabelle 15 dargestellt, wird die versandfertige Palettierung der Produkte mit Nachbearbeitungsaufwand, in den beiden Anlagenkonfigurationen ausschließlich automatisiert, auf der zusätzlichen Palettieranlage, durchgeführt. Dadurch sind die jährlichen Erträge um 272.000 Euro höher als jene der Anlagenkonfiguration 1.

11.1.4 Ergonomische Arbeitsbedingungen

Eine wesentliche Zielsetzung für die Automatisierung des betrachteten Prozesses liegt in der Entlastung der ArbeitnehmerInnen von schwerer körperlicher Arbeit. Um die körperliche Beanspruchung zu bewerten, wurde die sogenannte Leitmerkmalsmethode angewandt. Bei der Leitmerkmalsmethode handelt es sich um eine anerkannte Methode zur Bewertung von Lastenhandhabungen am Arbeitsplatz.

Neben dem Gewicht des Handhabungsobjektes fließen in diese Bewertung zusätzliche Faktoren, wie beispielsweise die Zeitgewichtung sowie die Arbeitsplatzgestaltung, ein. Das Ergebnis der Leitmerkmalsmethode ist ein Wert zwischen 0 und 350.

Damit Unternehmen den ermittelten Wert besser interpretieren können, existieren entsprechende Wertebereiche mit genannten Empfehlungen:

- <10** geringe Beanspruchung, Gesundheitsgefährdung durch körperliche Überbeanspruchung ist unwahrscheinlich
- 10 bis <25** erhöhte Beanspruchung, eine körperliche Überbeanspruchung von normal belastbaren Personen ist nicht wahrscheinlich
- 25 bis <50** wesentlich erhöhte Beanspruchung, körperliche Überbeanspruchung von normal belastbaren Personen ist möglich, Gestaltungsmaßnahmen sollten angedacht werden
- >50** hohe Belastung, körperliche Überbeanspruchung ist wahrscheinlich, Gestaltungsmaßnahmen sollten zeitnah forciert werden

Die Ergebnisse der angewandten Leitmerkmalsmethode sind in der Tabelle 19 dargestellt.

Ausgangszustand	Anlagenkonfiguration 1	Anlagenkonfiguration 2	Anlagenkonfiguration 3
60	4	4	4

Tabelle 19: Ergebnisse der Leitmerkmalsmethode zur Beurteilung der körperlichen Beanspruchung, Quelle: eigene Darstellung.

Wie die Ergebnisse in Tabelle 19 zeigen, ist die körperliche Beanspruchung der MitarbeiterInnen im Ausgangszustand, mit einem Wert von 60, hoch.

Bei jeder der drei potentiellen Anlagenkonfigurationen würde sich die körperliche Beanspruchung gleichermaßen signifikant, auf einen Wert von 4, reduzieren.

Zusammengefasst kann mit jeder der drei Anlagenkonfigurationen die Zielsetzung hinsichtlich einer ausreichenden Entlastung der MitarbeiterInnen, in gleichem Maße erreicht werden.

11.1.5 Transportfrequenzen zu bzw. von der Anlage

Aufgrund der Tatsache, dass der Automatisierungsgrad der drei Anlagenkonfigurationen vergleichbar ist, ergeben sich für den bzw. die AnlagenbedienerInnen ähnliche Tätigkeiten. Diese Tätigkeiten sind:

- die visuelle Qualitätsprüfung an einzelnen Produkten
- das manuelle Palettieren von ausgespeisten, halbfertig geschichtete Paletten (in Ausnahmefällen)
- Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten bei stillstehender und freigeschalteter Anlage
- das Bereitstellen von leeren Trägermedien und Hilfsmaterialien (mittels Hubstapler)
- der Abtransport von fertig palettierten Trägermedien (mittels Hubstapler)
- die Anlagenreinigung
- die Anlagenbedienung und Anlagenüberwachung

Die kürzesten Zeitintervalle für das Ausspeisen von beladenen Trägermedien wurden bereits im Kapitel 8.3.3 errechnet und sind in Tabelle 10 dargestellt. In der Tabelle 20 werden die Daten aus Tabelle 10 herangezogen und den potentiellen Anlagenkonfigurationen, gemäß den darin verwendeten Trägermedien, zugeordnet.

	Anlagenkonfiguration 1	Anlagenkonfiguration 2	Anlagenkonfiguration 3
kürzestes Zeitintervall ohne Pufferplatz	288 Sekunden	432 Sekunden	288 Sekunden

Tabelle 20: Darstellung der kürzesten Zeitintervalle für den Abtransport von beladenen Trägermedien, Quelle: eigene Darstellung.

In Tabelle 20 ist ersichtlich, dass die kürzesten Zeitintervalle für das Ausspeisen von beladenen Trägermedien, in Anlagenkonfiguration 1 und 3 auftreten. Die AnlagenbedienerInnen müssen in diesen beiden Anlagenkonfigurationen im schlechtesten Fall alle 288 Sekunden, Tätigkeiten an der Anlage verrichten. Zu diesen Tätigkeiten zählen unter anderem das Ausspeisen von fertig palettierten Trägermedien, sowie das Einspeisen von leeren Trägermedien respektive Hilfsmaterialien. Bei der Anlagenkonfiguration 2 müssen im schlimmsten Fall alle 432 Sekunden Tätigkeiten an der Anlage verrichtet werden.

Bei allen Anlagenkonfigurationen besteht jedoch die Möglichkeit, Pufferplätze für die vorgesehene Anzahl an Kommissionierplätzen, in der Entwicklung zu berücksichtigen. Jeder vorgesehene Pufferplatz verdoppelt das kürzeste Zeitintervall für das Ausspeisen von beladenen Trägermedien.

Bei der Interpretation der genannten Zeitintervalle ist wesentlich, dass die genannten Transportintervalle ausschließlich unter Berücksichtigung der getroffenen Annahmen in Kapitel 8.3 ermittelt wurden. Veränderungen dieser Annahmen, wie beispielsweise die maximale Anzahl an Fertigungsaufträgen auf einem Tunnelofenwagen oder die Reihenfolge derselben beim Entladevorgang, können sich massiv auf die Transportintervalle auswirken.

11.1.6 Produktionsflexibilität - Auswirkungen auf die Fertigungssteuerung

Die Produktionsflexibilität der geplanten Anlage wird grundsätzlich durch dessen Auslegung bestimmt. Aufgrund einer fundierten Datenerhebung und Datenanalyse, welche in Kapitel 8 durchgeführt wurde, sollte die Produktionsflexibilität möglichst hoch sein. Wie bei jeder Anlage, gibt es jedoch auch für den Betrieb der geplanten Anlage, Grenzen. Diese Grenzen werden durch folgende Festlegungen, welche auf Basis der erhobenen und analysierten Daten definiert wurden, ausgedrückt:

- die Reihenfolge der Tunnelofenwägen bei der Beladung entspricht der Reihenfolge der Tunnelofenwägen bei der Entladung (wie in Kapitel 8.3.2 ausgeführt)
- maximale Anzahl an Fertigungsaufträgen zeitgleich an der Anlage (wie in Kapitel 8.3.2 ausgeführt)
- maximales Produktgewicht (wie in Tabelle 6 dargestellt)

Wie bereits in den Kapiteln 10.1 bis 10.3 beschrieben, unterscheidet sich die Kommissionierkomplexität unter den drei potentiellen Anlagenkonfigurationen. Hauptverantwortlich dafür sind die unterschiedlichen Trägermedien. Der Palettiervorgang von einlagig beschichteten Stahlpaletten kann, im Gegensatz zu mehrlagig beschichteten konventionellen Trägermedien, jederzeit unterbrochen werden. Diese Tatsache erhöht die Produktionsflexibilität der Anlagenkonfiguration 2, im Gegensatz zu den beiden anderen Anlagenkonfigurationen.

Sollte sich die maximale Anzahl an Fertigungsaufträgen auf der geplanten Anlage aus irgendwelchen Gründen erhöhen, kann dieses Szenario in Anlagenkonfiguration 2 mit dem Unterbrechen eines aktuellen Palettiervorgangs, berücksichtigt werden. Dabei könnten sich lediglich die Zeitintervalle für den Abtransport von beladenen Trägermedien verkürzen. In der Anlagenkonfiguration 3 ist dieses Vorgehen nur begrenzt möglich, da lediglich vier der sieben Kommissionierplätze analog der Anlagenkonfiguration 2 ausgeführt sind.

Die Anlagenkonfiguration 1 bietet keine automatisierte Möglichkeit, eine erhöhte Anzahl an Fertigungsaufträgen zu kommissionieren und zu palettieren. Unterbrochene Palettiervorgänge können ausschließlich manuell fortgesetzt werden.

Zur Verdeutlichung ist die Sachlage in der folgenden Tabelle 21 anhand eines beispielhaften Szenarios dargestellt. In diesem Szenario gelangen drei Tunnelofenwägen mit Produkten von jeweils vier Fertigungsaufträgen zur geplanten Anlage.

Die drei Tunnelofenwägen werden der Reihe nach entladen. Die farbliche Darstellung der Wägen signalisiert, dass sich auf dem Tunnelofenwagen 1 und dem Tunnelofenwagen 3 dieselben Fertigungsaufträge befinden. Am Tunnelofenwagen 2 befinden sich jedoch vier andere Fertigungsaufträge. Jene Fertigungsaufträge, welche mit (NB) gekennzeichnet sind, werden in einem nachfolgenden Prozessschritt nachbearbeitet. Sämtliche Aufträge ohne die genannte Kennzeichnung weisen keinen Nachbearbeitungsbedarf auf und werden nach dem Entladevorgang versandfertig palettiert.



Nr. des Tunnelofen-wagens	Fertigungsaufträge auf den einzelnen Tunnelofenwägen	Fertigungsaufträge auf der Anlage in Anlagenkonfiguration 1	Fertigungsaufträge auf der Anlage in Anlagenkonfiguration 2	Fertigungsaufträge auf der Anlage in Anlagenkonfiguration 3
	Fertigungsauftrag 1 (NB) Fertigungsauftrag 2 (NB) Fertigungsauftrag 3 Fertigungsauftrag 4	Fertigungsauftrag 1 (NB) Fertigungsauftrag 2 (NB) Fertigungsauftrag 3 Fertigungsauftrag 4	Fertigungsauftrag 1 (NB) Fertigungsauftrag 2 (NB) Fertigungsauftrag 3 Fertigungsauftrag 4	Fertigungsauftrag 1 (NB) Fertigungsauftrag 2 (NB) Fertigungsauftrag 3 Fertigungsauftrag 4
	Fertigungsauftrag 5 (NB) Fertigungsauftrag 6 (NB) Fertigungsauftrag 7 Fertigungsauftrag 8	Fertigungsauftrag 1 (NB) Fertigungsauftrag 2 (NB) Fertigungsauftrag 3 Fertigungsauftrag 4 Fertigungsauftrag 5 (NB) Fertigungsauftrag 6 (NB) Fertigungsauftrag 7 Fertigungsauftrag 8	Fertigungsauftrag 5 (NB) Fertigungsauftrag 6 (NB) Fertigungsauftrag 7 Fertigungsauftrag 8	Fertigungsauftrag 3 Fertigungsauftrag 4 Fertigungsauftrag 5 (NB) Fertigungsauftrag 6 (NB) Fertigungsauftrag 7 Fertigungsauftrag 8
	Fertigungsauftrag 1 (NB) Fertigungsauftrag 2 (NB) Fertigungsauftrag 3 Fertigungsauftrag 4	Fertigungsauftrag 1 (NB) Fertigungsauftrag 2 (NB) Fertigungsauftrag 3 Fertigungsauftrag 4	Fertigungsauftrag 1 (NB) Fertigungsauftrag 2 (NB) Fertigungsauftrag 3 Fertigungsauftrag 4	Fertigungsauftrag 1 (NB) Fertigungsauftrag 2 (NB) Fertigungsauftrag 3 Fertigungsauftrag 4
max. Anzahl an Fertigungsaufträgen:		acht	vier	sechs

Tabelle 21: Beispielhaftes Szenario zur Verdeutlichung der Unterschiede in der Kommissionieraufgabe der Anlagenkonfigurationen, Quelle: eigene Darstellung.

Das beispielhafte Produktionsszenario in Tabelle 21 verdeutlicht, dass die Produktionsflexibilität der Anlagenkonfiguration 2, im Gegensatz zu den anderen beiden Anlagenkonfigurationen, höher ist. Aufgrund der einlagig beschichteten Stahlpaletten kann in der Anlagenkonfiguration 2 der Palettiervorgang jederzeit unterbrochen werden. Das geschieht, indem die einlagig beschichteten Stahlpaletten von der Anlage ausgeschleust und somit die Kommissionierplätze der geplanten Anlage bei jedem Wechsel der Tunnelofenwägen entleert werden können.

Aus diesem Grund ist die Anzahl an Fertigungsaufträgen auf der Anlage in Anlagenkonfiguration 2, in allen Fällen jene Anzahl der Fertigungsaufträge auf einem einzelnen Tunnelofenwagen. Die Möglichkeit die Trägermedien jederzeit ausschleusen zu können, erhöht die Produktionsflexibilität. Es kann dadurch lediglich eine deutliche Reduktion der in Kapitel 11.1.5 ermittelten Transportintervalle eintreten.

Im Gegensatz dazu werden in der Anlagenkonfigurationen 1 die Produkte mehrlagig auf konventionelle Holzpaletten aufgebracht. In der Praxis erstrecken sich die einzelnen Fertigungsaufträge oftmals über mehrere Tunnelofenwägen. Diese Tatsache ist in der Tabelle 21 durch die Fertigungsaufträge 1 bis 4, welche sowohl am Tunnelofenwagen 1, als auch am Tunnelofenwagen 3 vorkommen, angedeutet. Aus produktionstechnischen Gründen kann es also vorkommen, dass die Fertigungsaufträge nicht geschlossen zur geplanten Anlage gelangen, sondern von einzelnen Tunnelofenwägen mit Produkten anderer Fertigungsaufträge, unterbrochen werden.

Aufgrund der mehrlagigen sowie teils versandfertigen Palettierung können die einzelnen, teilweise beschichteten Paletten, nicht von der Anlage ausgeschleust werden. Diese Tatsache führt in weiterer Folge dazu, dass Produkte einzelner Fertigungsaufträge Kommissionierplätze einnehmen, obwohl diese Fertigungsaufträge nicht am Tunnelofenwagen in der Entladeposition vorkommen. In letzter Instanz wirkt sich das auf die Produktionsflexibilität sowie auf die Komplexität der daraus resultierenden Kommissionieraufgabe aus.

Aufgrund der Tatsache, dass in der Anlagenkonfiguration 3 unterschiedliche Trägermedien verwendet und diese zum Teil einlagig, zum Teil mehrlagig beschichtet werden, treffen die zuvor genannten Situationen in gleicher Art und Weise, jedoch in Abhängigkeit vom Produktmix, auf.

Neben den genannten Festlegungen wirken sich die folgenden Faktoren, unabhängig von der Anlagenkonfiguration, ebenfalls auf die Performance der geplanten Anlage aus:

- Veränderungen der Losgrößen von Fertigungsaufträgen (wie in Tabelle 6 dargestellt)
- Veränderungen im Produktmix

Die aufgelisteten Faktoren spielen für die Produktionsflexibilität der Anlage eine eher untergeordnete, jedoch nicht unbedeutende Rolle.

Zusammengefasst wird die Produktionsflexibilität der drei potentiellen Anlagenkonfigurationen, grundsätzlich durch getroffene Festlegungen im Zuge der Anlagenauslegung eingeschränkt. Diese Festlegungen wurden auf Basis fundierter Daten ermittelt und sind für alle drei Anlagenkonfigurationen zutreffend.

Es gibt jedoch einige Besonderheiten der einzelnen Anlagenkonfigurationen, welche in diesem Unterkapitel detailliert beschrieben wurden. Diese führen dazu, dass die Produktionsflexibilität der Anlagenkonfiguration 2, gefolgt von Anlagenkonfiguration 3 am höchsten ist.

Die Produktionsflexibilität der Anlagenkonfigurationen 1 ist aufgrund der Tatsache, dass das gesamte Produktportfolio mehrlagig auf konventionelle Trägermedien aufgebracht wird, am geringsten.

Die erarbeiteten Erkenntnisse sind in der folgenden Tabelle 21 übersichtlich zusammengestellt:

mögliche Szenarien	Anlagenkonfiguration 1	Anlagenkonfiguration 2	Anlagenkonfiguration 3
Die Reihenfolge der Tunnelofenwägen beim Beladevorgang entspricht nicht der Reihenfolge beim Entladevorgang.	hohe Auswirkung Die Palettiervorgänge können nicht unterbrochen werden. Die Anzahl an offenen Fertigungsaufträgen an der Anlage nimmt unter Umständen deutlich zu.	keine Auswirkung Die Palettiervorgänge können jederzeit unterbrochen werden.	mittlere Auswirkung Die Palettiervorgänge können nur bei Produkten mit Nachbearbeitungsbedarf unterbrochen werden. Die Anzahl an offenen Fertigungsaufträgen an der Anlage nimmt unter Umständen deutlich zu.
Die Anzahl der maximalen Fertigungsaufträge auf einem Tunnelofenwagen steigt an.	hohe Auswirkung Die Kommissionieraufgabe kann nicht mehr vollautomatisiert durchgeführt werden. Die Fertigungsaufträge müssen manuell palettiert werden.	mittlere Auswirkung Die Transportfrequenzen zu bzw. von der Anlage nehmen ab.	hohe Auswirkung Die Kommissionieraufgabe kann nicht mehr vollautomatisiert durchgeführt werden. Die Fertigungsaufträge müssen manuell palettiert werden.
Die Losgrößen der Fertigungsaufträge gehen stark zurück.	mittlere Auswirkung Die Nettoproduktivzeit der Anlage nimmt ab (vermehrte Greiferwechsel etc.).	mittlere Auswirkung Die Nettoproduktivzeit der Anlage nimmt ab (vermehrte Greiferwechsel etc.).	mittlere Auswirkung Die Nettoproduktivzeit der Anlage nimmt ab (vermehrte Greiferwechsel etc.).
Der Produktmix verändert sich.	mittlere Auswirkung Die Produktivität der Anlage wird beeinflusst.	mittlere Auswirkung Die Produktivität der Anlage wird beeinflusst.	hohe Auswirkung Die Produktivität der Anlage wird beeinflusst. Aufgrund der unterschiedlichen Trägermedien kann es bei Änderungen im Produktmix zu Engpässen an den Kommissionierplätzen kommen.

Tabelle 22: Auswirkung von möglichen Szenarien auf die Produktionsflexibilität der Anlagenkonfigurationen, Quelle: eigene Darstellung.

11.1.7 Qualitätsprüfung der Produkte

Die Produkte, welche von der geplanten Anlage manipuliert werden, müssen im Zuge der Anlage hinsichtlich der folgenden Schadensbilder geprüft werden können:

- Kantenschäden der Produkte
- Rissbildung an der Oberfläche der Produkte

Dabei reicht, aufgrund unzureichend ausgereifter automatisierter Prüfmethode, vorerst die Möglichkeit einer manuellen, visuellen Prüfung im Zuge der Anlage aus. Das repräsentiert ebenfalls den Ausgangszustand innerhalb des Unternehmens.

Lediglich für die Nachrüstung von etwaigen automatisierten Prüfeinrichtungen, sollte in der Entwicklung der Anlage ausreichend Platz berücksichtigt werden.

In der dargestellten Tabelle 23 werden die einzelnen Anlagenkonfigurationen, im Hinblick auf die Prüfung der beiden oben genannten Schadenbilder, bewertet.

	Ausgangszustand	Anlagen- konfiguration 1	Anlagen- konfiguration 2	Anlagen- konfiguration 3
Kantenschäden	optische Begutachtung	optische Begutachtung	optische Begutachtung	optische Begutachtung
Rissbildung	optische Begutachtung	optische Begutachtung	optische Begutachtung	optische Begutachtung
Grad der Automatisierung	100 % manuell	100 % manuell	100 % manuell	100 % manuell
Ort der Prüfung	im Zuge des manuellen Palettiervorgangs	Ablageplatz zw. Entlade- und Palettiervorgang	Ablageplatz zw. Entlade- und Palettiervorgang	Ablageplatz zw. Entlade- und Palettiervorgang

Tabelle 23: Bewertung der Qualitätsprüfung der Produkte an den potentiellen Anlagenkonfigurationen, Quelle: eigene Darstellung.

Aus der Tabelle 23 geht hervor, dass der Ort für die Qualitätsprüfung der Produkte bei allen drei Anlagenkonfigurationen der Ablageort zwischen dem Entlade- und dem Palettiervorgang der Produkte ist. An diesem Ort können darüber hinaus jederzeit automatisierte Prüfeinrichtungen nachgerüstet werden.

Zusammengefasst gibt es im Hinblick auf die Qualitätsprüfung der Produkte keine Unterschiede unter den potentiellen Anlagenkonfigurationen. Aufgrund der Tatsache, dass die Prüfung in erster Instanz ausschließlich visuell erfolgen soll, ergibt sich auch keine Änderung gegenüber dem Ausgangszustand innerhalb des Unternehmens.

11.1.8 Investitionsrisiko

Als Investitionsrisiko wird die Gesamtheit sämtlicher Risiken verstanden, welche ohne das Setzen von Gegenmaßnahmen, nach der Umsetzung einer bestimmten Anlagenkonfiguration auftreten können. Sowohl die Investitionsrisiken, als auch die Gegenmaßnahmen, wurden im Zuge eines Brainstormings identifiziert und mithilfe einer Risikomatrix bewertet.

Die verwendete Risikomatrix ist in Abbildung 46 dargestellt und wie folgt zu interpretieren:

In der vertikalen Achse der Matrix ist die Eintrittswahrscheinlichkeit des betrachteten Risikos aufgetragen. In der horizontalen Achse ist die Konsequenz, welche bei dem Eintreten des betrachteten Risikos zu erwarten ist, aufgetragen.

Das Risiko ist demnach eine Funktion zwischen Eintrittswahrscheinlichkeit und Konsequenz.

Es wird innerhalb der Matrix je nach Höhe in drei unterschiedlichen Farben dargestellt. Der rote Bereich repräsentiert ein hohes, der orange Bereich ein mittleres und der gelbe Bereich ein geringes Risiko.

Eintrittswahrscheinlichkeit	e wahrscheinlich	e0	e1	e2	e3	e4	e5
	d möglich	d0	d1	d2	d3	d4	d5
	c unwahrscheinlich	c0	c1	c2	c3	c4	c5
	b sehr unwahrscheinlich	b0	b1	b2	b3	b4	b5
	a am unwahrscheinlichsten	a0	a1	a2	a3	a4	a5
		0 keine Folgen	1 unbedeutend	2 wenig	3 mäßig	4 bedeutend	5 signifikant
		Konsequenz					

Abbildung 46: Risikomatrix als Werkzeug für die Bewertung von Risiken, Quelle: eigene Darstellung.

Alle im Brainstorming identifizierten Risiken sind in Tabelle 24, mit samt den Ergebnissen der Risikobewertung aufgelistet. Darüber hinaus wurden für alle identifizierten Risiken erforderliche Gegenmaßnahmen abgeleitet und ebenfalls in der Tabelle 24 dokumentiert.

Wesentlich ist, dass einige Risiken in gleichem Maße bei allen drei potentiellen Anlagenkonfigurationen auftreten können. Andere Risiken treten spezifisch bei einzelnen Anlagenkonfigurationen auf, wodurch Unterschiede unter den einzelnen Konfigurationen entstehen. Deshalb ist das Investitionsrisiko ein bedeutendes Bewertungskriterium, innerhalb der im Kapitel 11.2 durchgeführten Conjoint - Analyse.

Ermittlung der für das Unternehmen optimalen Anlagenkonfiguration

Ifd. Nr.:	Risiken	Anlagen-konfiguration 1	Anlagen-konfiguration 2	Anlagen-konfiguration 3	erforderliche Gegenmaßnahmen
1	Ein veränderter Produktmix führt unter Umständen dazu, dass die Kommissionierplätze nicht ausreichen, um die Kommissionieraufgabe zu bewältigen.	d2	d1	d3	- Abstimmung mit dem Vertrieb und der Produktionsleitung im Zuge der Anlagenauslegung - Möglichkeit zur manuellen Entladung von Tunnelofenwägen sicherstellen
2	Ein verändertes Produktportfolio beeinflusst die Anlagenperformance negativ.	c3	c2	c3	- Abstimmung mit dem Vertrieb und der Produktionsleitung im Zuge der Anlagenauslegung
3	Eine fehlende Qualifikation der MitarbeiterInnen führt zu erhöhten Stillständen der Anlage.	d3	d3	d3	- laufende Schulungen der MitarbeiterInnen im Zuge der Umsetzung - Abstimmung mit der Produktionsleitung, Technikleitung und Geschäftsführung
4	Veränderte Setzmuster führen zu Komplikationen beim Entladevorgang der Tunnelofenwägen.	b4	b4	b4	- Abstimmung mit der Produktionsleitung im Zuge der Anlagenauslegung
5	Es treten Komplikationen beim Entladevorgang der Tunnelofenwägen durch versinterte (stark aneinander haftende) Produkte auf.	d3	d3	d3	- Feldversuch durchführen
6	Die angenommene Synchronisation der Prozesse gelingt in der Praxis nicht. → Die Anzahl an Fertigungsaufträgen an der Anlage steigt signifikant an.	c4	c2	c4	- die Synchronisation der Prozesse über repräsentativen Zeitraum testen - Abstimmung mit der Produktion im Zuge der Anlagenauslegung
7	Die Zeitintervalle für den Abtransport der Trägermedien sind in der Praxis nicht bewältigbar.	c3	b3	c3	- ausreichend Pufferplätze in der Entwicklung der Anlage berücksichtigen
8	Innovative, technische Lösungen führen zu Komplikationen im Anlagenbetrieb.	c4	c2	c4	- Fokus im Detail Engineering - Feldversuch durchführen

Tabelle 24: Auflistung und Bewertung von identifizierten Investitionsrisiken, Quelle: eigene Darstellung.

Aus der Dokumentation der Risiken in Tabelle 24 ist zu entnehmen, dass die potentiellen Anlagenkonfigurationen teils gleiche, teil unterschiedliche Investitionsrisiken, besitzen. Um die Unterschiede zwischen den Konfigurationen berücksichtigen zu können, ist eine Zusammenfassung der identifizierten Risiken sinnvoll. Diese Zusammenfassung ist in der Tabelle 25 dargestellt.

	Anlagenkonfiguration 1	Anlagenkonfiguration 2	Anlagenkonfiguration 3
Anzahl aller Risiken	8	7	8
Anzahl geringer Risiken	0	2	0
Anzahl mittlerer Risiken	6	5	6
Anzahl hoher Risiken	2	0	2

Tabelle 25: Zusammenfassung der identifizierten Risiken je Anlagenkonfiguration, Quelle: eigene Darstellung.

Wie in der Tabelle 25 dargestellt, ist das Investitionsrisiko der Anlagenkonfiguration 2 am geringsten. Die Höhe der Investitionsrisiken der Anlagenkonfigurationen 1 und 3 ist gleichwertig.

Um die identifizierten Risiken vor der Umsetzung einer Anlagenkonfiguration weitestgehend zu reduzieren, wurden in der Tabelle 24 Gegenmaßnahmen definiert.

Im Zuge der Errichtung einer der drei Anlagen, sollte nach der Umsetzung der gelisteten Gegenmaßnahmen, eine erneute Risikobewertung durchgeführt werden. Für diese Risikobewertung hat sich in der Praxis die sogenannte Hazop - Analyse bewährt. Die genaue Vorgehensweise in der Durchführung dieser Analyse wird in dieser Arbeit nicht näher beschrieben.

11.1.9 Erweiterbarkeit

Aus der Taktzeitberechnung in Tabelle 9 geht hervor, dass die geplante Kommissionier- und Palettieranlage auf eine maximale, jährliche Produktionskapazität von 29.000 Tonnen ausgelegt sein soll. Diese Tonnage wird im Unternehmen bereits automatisiert auf die einzelnen Tunnelofenwägen aufgebracht, sodass die CAD-Daten der einzelnen Wagenbesätze, für den Entladevorgang vorhanden sind.

Die technische Produktionskapazität der Linie liegt unter Annahme einer Verfügbarkeit von 90 % bei 63.000 Tonnen. Das bedeutet, dass im Falle einer hohen Produktionsauslastung bis zu 34.000 Tonnen manuell auf die Tunnelofenwägen aufgebracht werden. Um im Falle dieser hohen Auslastung die gesamte Produktionstonnage automatisiert manipulieren zu können, ist eine Erweiterung der bestehenden Setzanlage und der geplanten Kommissionier- und Palettieranlage um 117 % erforderlich.

Aufgrund der notwendigen CAD-Daten der Wagenbesätze beim Entladevorgang, ist die Erweiterung der bestehenden Setzanlage vor jener der Kommissionier- und Palettieranlage umzusetzen.

Im Folgenden wird ausschließlich die Erweiterung der geplanten Kommissionier- und Palettieranlage betrachtet. Die Erweiterung der bestehenden Setzanlage wird in dieser Betrachtung vorausgesetzt.

Damit im Falle einer unvorhergesehenen Anlagenstörung weiterhin in etwa 50 % der möglichen Produktionstonnage automatisiert entladen werden kann, ist eine Verkettung der geplanten Kommissionier- und Palettieranlage nicht zielführend.

Sinngemäß bringt eine Erweiterung der Anlage als eigenständige Anlage, bedeutende Vorteile mit sich. Tritt in diesem Fall eine unvorhergesehene Anlagenstörung an einer der beiden Anlagen auf, kann die andere Anlage weiterbetrieben und somit in etwa 50 % der Produktionstonnage weiterhin automatisiert entladen werden.

Für eine mögliche, nachfolgende Erweiterung der geplanten Kommissionier- und Palettieranlage sind die folgenden Aspekte in der Entwicklung der Anlage zu berücksichtigen:

- Platzbedarf für die Errichtung der zweiten Kommissionier- und Palettieranlage
- Sicherstellung der notwendigen Infrastruktur (z.B. elektrische Anschlussleistung, Druckluft)
- Möglichkeit einer manuellen Entladung der Tunnelofenwägen im Zuge der Errichtungsphase
- Möglichkeit einer manuellen Entladung der Tunnelofenwägen im Betrieb

In der Berücksichtigung der aufgelisteten Aspekte ist es egal, welche der drei Anlagenkonfigurationen zur Umsetzung kommt.

11.1.10 Erforderliche Lagerfläche

Wie sich aus Tabelle 14 entnehmen lässt, ist das Lager bei allen drei potentiellen Anlagenkonfigurationen konventionell organisiert und als Blocklager ausgeführt. Die einzelnen beschichteten Trägermedien werden mit Hubstaplern eingelagert respektive ausgelagert.

Aufgrund der Tatsache, dass die verwendeten Trägermedien unterschiedliche Abmessungen aufweisen und auch eine unterschiedliche Anzahl an Produkten aufnehmen können, ergeben sich Unterschiede im Flächenbedarf des Lagers. In der folgenden Tabelle wurden die erforderlichen Lagerflächen je Anlagenkonfiguration ermittelt und der maximal vorhandenen Fläche gegenübergestellt. Dadurch konnte der sogenannte Lagernutzungsgrad ermittelt werden.

	Ausgangs- zustand	Anlagen- konfiguration 1	Anlagen- konfiguration 2	Anlagen- konfiguration 3
durchschnittliche Ware in Arbeit in Tonnen	800	800	800	800
durchschnittliches Besatzgewicht auf einem Trägermedium in Tonnen	0,9	0,9	0,25	0,25 60 % Stahlpaletten 0,9 40 % konventionell
Anzahl an Trägermedien im Lager mit 800 Tonnen Ware in Arbeit in Stk.	889	889	3.200	356 konventionell 1.920 Stahlpaletten 2.276 gesamt
maximale Anzahl an Trägermedien in einem Stapel des Blocklagers in Stk.	4	4	12	12 60 % Stahlpaletten 4 40 % konventionell
Anzahl an erforderlichen Stellplätzen mit 800 Tonnen Ware in Arbeit in Stk.	222	222	267	160 Stahlpaletten 89 konventionell 249 gesamt
Flächenbedarf für einen Stellplatz in m ²	1,2	1,2	1,7	1,7 60 % Stahlpaletten 1,2 40 % konventionell
erforderliche Lagerfläche mit 800 Tonnen Ware in Arbeit in m ²	267	267	454	272 Stahlpaletten 107 konventionell 379 gesamt
vorhandene Lagerfläche in m ²	732	567	567	517
vorhandene Stellplätze in Stk.	610	472	333	200 60% Stahlpaletten 189 40% konventionell 389 gesamt
Lagernutzungsgrad in %	36 %	47 %	80 %	75 %

Tabelle 26: Ermittlung des Lagernutzungsgrades je Anlagenkonfiguration, Quelle: eigene Darstellung.

Am Lagernutzungsgrad aus Tabelle 26 ist zu sehen, dass die vorhandene Lagerfläche in allen drei potentiellen Anlagenkonfigurationen ausreicht. Der notwendige Platzbedarf für die Lagerung der einzelnen Produkte ist in jeder Anlagenkonfiguration gegeben.

11.2 Durchführung der Kriteriengewichtung

In diesem Kapitel werden die zehn definierten Bewertungskriterien aus Kapitel 11.1 zueinander gewichtet. Die Bewertungskriterien werden dabei jeweils paarweise betrachtet. Im Zuge dieser Betrachtung wird die Bedeutsamkeit der einzelnen Bewertungskriterien ermittelt.

Die paarweise Betrachtung erfolgt durch eine Punktevergabe zwischen null und fünf, wobei die Summe der beiden bewerteten Kriterien stets den Wert fünf ergeben muss. Mithilfe dieser Vorgehensweise werden die Bedeutsamkeiten der Kriterien zueinander ins Verhältnis gesetzt. Die Punktevergabe erfolgt durch ein ExpertInnenteam innerhalb des Unternehmens.

Am Ende der Bewertung ist das Bewertungskriterium mit der höchsten Punktezahl das bedeutendste. Bei dem Kriterium mit der niedrigsten Punktezahl wiederum, handelt es sich um das unbedeutendste. Die Gewichtung der Bewertungskriterien ist essentiell, um in weiterer Folge den Gesamtnutzen der Anlagenkonfigurationen für das Unternehmen ermitteln zu können.

Ranking nach Bedeutsamkeit	Bewertungskriterien	Bedeutsamkeit in %
1	Wirtschaftlichkeit	12,4%
1	Ergonomische Arbeitsbedingungen	12,4%
3	Produktionsflexibilität - Auswirkungen auf die Fertigungssteuerung	11,3%
4	Qualitätsprüfung der Produkte	10,5%
5	Wertstromdesign	10,1%
6	Erweiterbarkeit	9,9%
7	Investitionsrisiko	9,6%
8	Integration in den Bestand	9,3%
9	Transportfrequenzen zu/von der Anlage	9,2%
10	Erforderliche Lagerfläche	5,3%
SUMME:		100,0%

Tabelle 27: Ergebnisse aus der durchgeführten paarweisen Kriteriengewichtung, Quelle: eigene Darstellung.

Aus den Ergebnissen der paarweisen Betrachtung in Tabelle 27 lässt sich entnehmen, dass die Wirtschaftlichkeit sowie die ergonomischen Arbeitsbedingungen mit jeweils 12,4 % für das Unternehmen am wichtigsten sind. Dicht gefolgt von der Produktionsflexibilität mit 11,3 % sowie der Qualitätsprüfung der Produkte mit 10,1 %.

Im Gegensatz dazu haben die erforderliche Lagerfläche, die Transportfrequenzen zu / von der Anlage sowie die Integration in den Bestand für das Unternehmen weniger Bedeutung.

Die ermittelten Bedeutsamkeiten werden in weiterer Folge bei der Berechnung der Gesamtnutzen der einzelnen Anlagenkonfiguration berücksichtigt.

11.3 Erarbeitung der Teilnutzen der identifizierten Bewertungskriterien

In diesem Kapitel werden die Teilnutzen der einzelnen Bewertungskriterien für jede Anlagenkonfiguration separat definiert. Die Bewertung erfolgt ebenfalls anhand eines Punktesystems von null bis fünf. Das bedeutet für den höchsten Nutzen werden fünf Punkte, sowie für den niedrigsten Nutzen null Punkte vergeben. Die Punktevergabe wurde von einem ExpertInnenteam innerhalb des Unternehmens durchgeführt. Als Grundlage hierfür dienen die im Kapitel 11.1 erarbeiteten Ausprägungen der einzelnen Bewertungskriterien.

Das Ergebnis der Teilnutzendefinition ist in der folgenden Abbildung 47 in Form einer Grafik dargestellt.

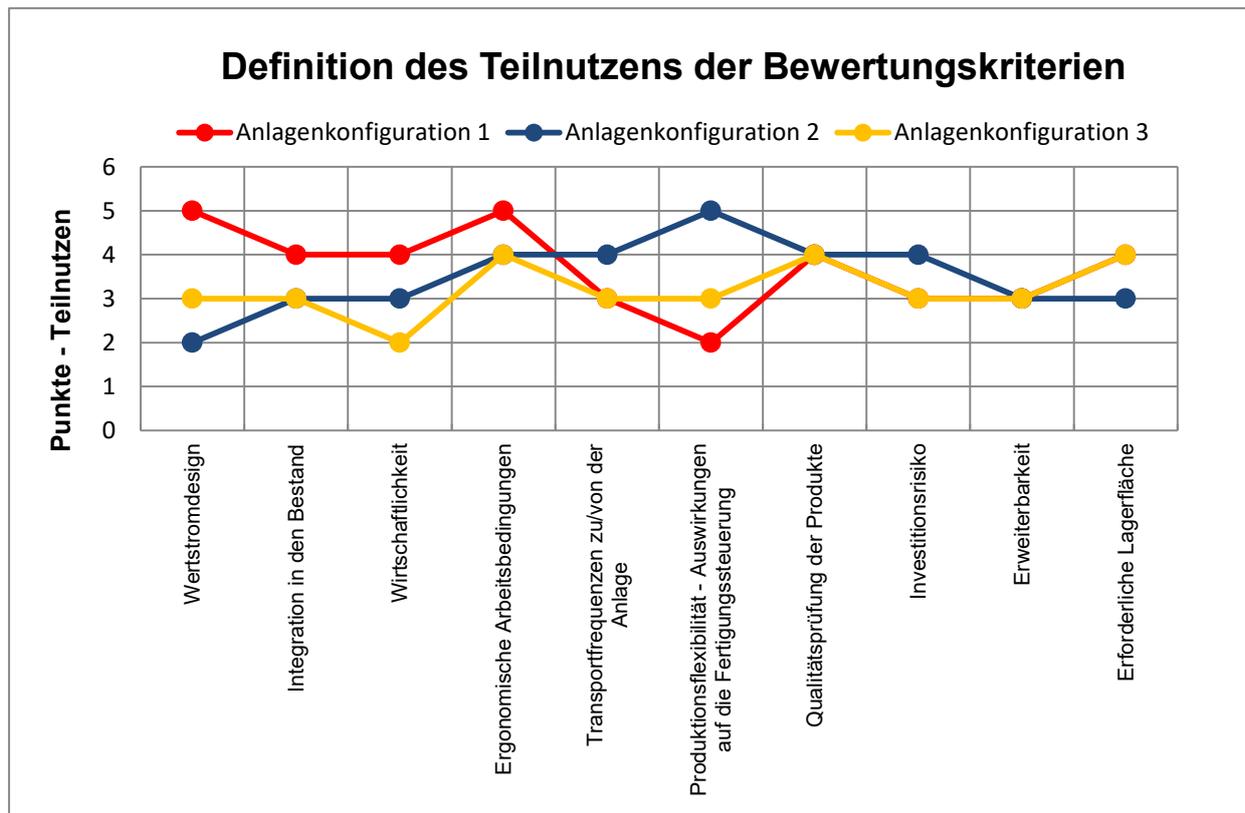


Abbildung 47: Teilnutzen der einzelnen Ausprägungen je Bewertungskriterium, Quelle: eigene Darstellung.

Grundsätzlich ist aus Abbildung 47 zu entnehmen, dass die einzelnen Anlagenkonfigurationen teils ähnliche, teils aber auch sehr deutliche Unterschiede in den Teilnutzen der identifizierten Bewertungskriterien aufweisen.

Im Detail weist die Anlagenkonfiguration 1 bei den Kriterien Wertstromdesign, Integration in den Bestand, Wirtschaftlichkeit sowie ergonomische Arbeitsbedingungen den höchsten Teilnutzen auf. Dem gegenüber hat die Anlagenkonfiguration 2 einen hohen Teilnutzen in den Kriterien Transportfrequenzen zu bzw. von der Anlage, Produktionsflexibilität sowie dem Investitionsrisiko. Die Anlagenkonfiguration 3 wiederum, weist in nahezu allen Bewertungskriterien einen durchschnittlichen Teilnutzen auf.

Um aus diesen individuellen Teilnutzen, einen Gesamtnutzen je Anlagenkonfiguration ableiten zu können, werden im folgenden Kapitel 11.4 gewichtete Punkte je Anlagenkonfiguration berechnet. Im Zuge dieser Berechnung wird die Gewichtung der Kriterien aus Tabelle 27 berücksichtigt.

11.4 Ermittlung der spezifischen Gesamtnutzen je Anlagenkonfiguration

Um die optimale Anlagenkonfiguration aus der durchgeführten Kriteriengewichtung in Kapitel 11.2, sowie der definierten Teilnutzen in Kapitel 11.3 identifizieren zu können, wird in diesem Kapitel der spezifische Gesamtnutzen je Anlagenkonfiguration ermittelt.

Diese Ermittlung ist in der folgenden Tabelle 28 dargestellt:

Bewertungskriterium	Gew. %	max. gew. Punkte	Anlagenkonfiguration 1		Anlagenkonfiguration 2		Anlagenkonfiguration 3	
			Punkte Teilnutzen	gew. Punkte	Punkte Teilnutzen	gew. Punkte	Punkte Teilnutzen	gew. Punkte
Wertstromdesign	10,1%	0,5	5	0,5	2	0,2	3	0,3
Integration in den Bestand	9,3%	0,5	4	0,4	3	0,3	3	0,3
Wirtschaftlichkeit	12,4%	0,6	4	0,5	3	0,4	2	0,2
Ergonomische Arbeitsbedingungen	12,4%	0,6	5	0,6	4	0,5	4	0,5
Transportfrequenzen	9,2%	0,5	3	0,3	4	0,4	3	0,3
Produktionsflexibilität	11,3%	0,6	2	0,2	5	0,6	3	0,3
Qualitätsprüfung der Produkte	10,5%	0,5	4	0,4	4	0,4	4	0,4
Investitionsrisiko	9,6%	0,5	3	0,3	4	0,4	3	0,3
Erweiterbarkeit	9,9%	0,5	3	0,3	3	0,3	3	0,3
Erforderliche Lagerfläche	5,3%	0,3	4	0,2	3	0,2	4	0,2
SUMME	100%	5,00		3,7		3,5		3,2

Tabelle 28: Ermittlung des Gesamtnutzens je Anlagenkonfiguration, Quelle: eigene Darstellung.

Aus der Tabelle 28 ist zu entnehmen, dass die Anlagenkonfiguration 1 mit 3,7 gewichteten Punkten den höchsten Gesamtnutzen aufweist. An zweiter Stelle befindet sich die Anlagenkonfiguration 2 mit 3,5 gewichteten Punkten. Mit lediglich 3,2 gewichteten Punkten besitzt die Anlagenkonfiguration 3 den geringsten Gesamtnutzen für das Unternehmen.

Aufgrund dieses Ergebnisses kann festgestellt werden, dass die Anlagenkonfiguration 1 die für das Unternehmen optimale Anlagenkonfiguration repräsentiert. Die detaillierte Betrachtung der gewichteten Punkte verdeutlicht darüber hinaus, dass die Kriterien Wirtschaftlichkeit, ergonomische Arbeitsbedingungen, Integration in den Bestand sowie das Wertstromdesign, die ausschlaggebenden Kriterien für das gute Ergebnis der Anlagenkonfiguration 1 sind.

Um ein besseres Verständnis für die optimale Anlagenkonfiguration zu schaffen, wird dessen technische Ausführung sowie dessen Funktion im folgenden Kapitel 12 detailliert beschrieben.

12 DETAILLIERTE BESCHREIBUNG DER OPTIMALEN KOMMISSIONIER- UND PALETTIERANLAGE

Wie aus der Tabelle 28 in Kapitel 11.4 zu entnehmen, ist die Anlagenkonfiguration 1 jene Anwendung mit dem höchsten spezifischen Gesamtnutzen. Aus diesem Grund repräsentiert diese Anwendung die für das Unternehmen optimale Kommissionier- und Palettieranlage.

Um näher auf die technische Ausführung der Anlagenkonfiguration 1 einzugehen, wird diese im Folgenden anhand eines dreidimensionalen Anlagenlayouts, welches in Abbildung 48 dargestellt ist, beschrieben. Der Fokus dieser Beschreibung liegt auf den einzelnen Arbeitsabläufen der Anlage, sowie der vorgesehenen Anlagenteile.

Die gesamte Anlagenkonfiguration 1 wird in sieben wesentliche Anlagenbereiche unterteilt. Die Nummerierung der einzelnen Bereiche erfolgt in Richtung des Wertstroms. Die Nummerierung soll eine hohe Nachvollziehbarkeit der folgenden Beschreibung sicherstellen.

Die folgenden Inhalte wurden im Zuge der Anlagenentwicklung in den unterschiedlichsten Kapiteln dieser Masterarbeit erarbeitet. Um die Nachvollziehbarkeit der Beschreibung so hoch wie möglich zu gestalten, wird bewusst auf Verweise zu anderen Kapiteln der Masterarbeit verzichtet.

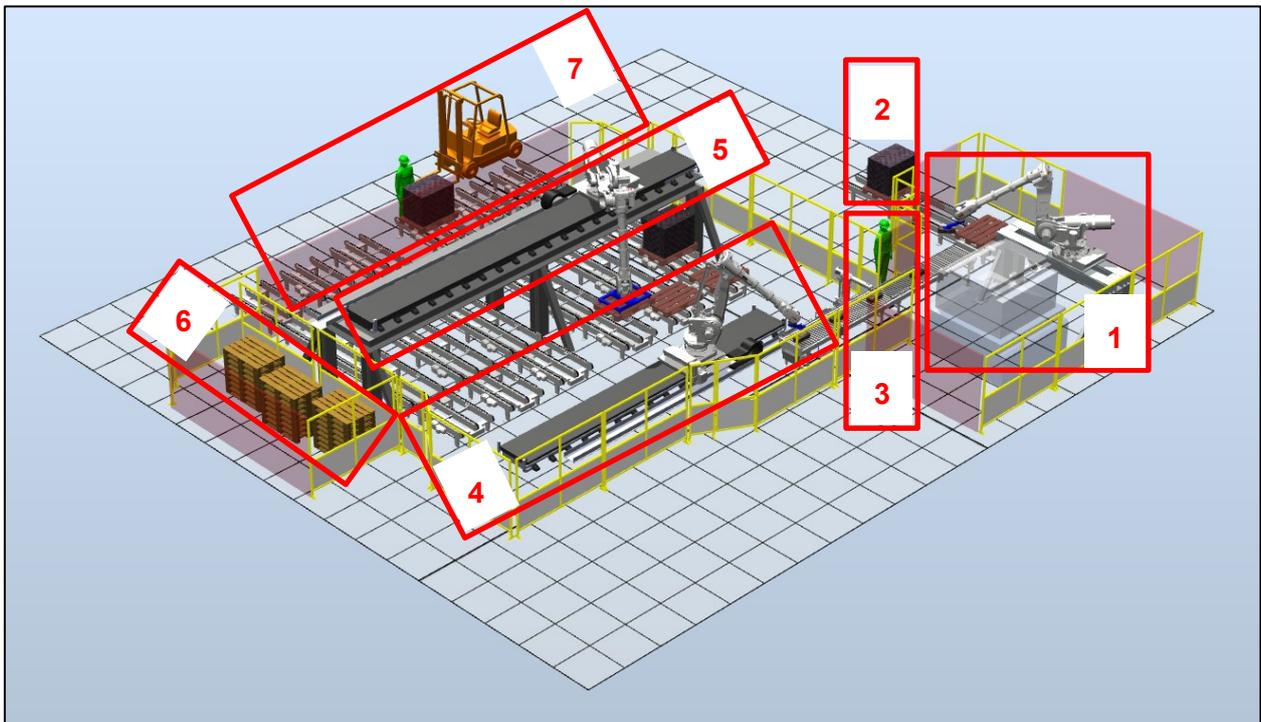


Abbildung 48: Dreidimensionales Anlagenlayout der optimalen Anlagenkonfiguration, Quelle: eigene Darstellung.

1) Entladestation mit Entladeroboter:

Die dargestellte Entladestation besteht aus einer Roboterzelle, welche über eine vollautomatische Schiebebühne mit beladenen Tunnelofenwägen beschickt wird. Der Tunnelofenwagen in der Zelle wird definiert an einem vorvermessenen Platz bereitgestellt.

Die Hauptaufgabe des Knickarmroboters ist es, die Produkte auf dem Tunnelofenwagen zu greifen und diese auf ein Förderhilfsmittel definiert abzulegen. Zur Bewältigung dieser Aufgabe werden die Positionen der Produkte auf den Tunnelofenwägen, mit einem dreidimensionalen Objektdetektionsverfahren erfasst. Anschließend werden die vom Beladevorgang bereits vorhandenen, theoretischen Positionen der Produkte, mit den gemessenen Positionen abgeglichen. Mithilfe des Abgleichs ist der Roboter in der Lage, sämtliche Bewegungsabläufe dynamisch zu planen und im Roboterprogramm zu berücksichtigen.

Damit der Knickarmroboter die unterschiedlichsten Produkte manipulieren kann, ist dieser mit mehreren, speziell konzipierten Sauggreifern ausgestattet. Die einzelnen Sauggreifer sind auf die unterschiedlichsten Wagenbesätze sowie Produktformate abgestimmt. Mit einem zusätzlichen Greiferwechselsystem ist der Roboter darüber hinaus in der Lage, die Greifer automatisch zu wechseln.

2) Palettenförderer zum Ausspeisen von Brennhilfsmitteln:

Die Brennhilfsmittel auf den Tunnelofenwägen sind bei vielen Produkten notwendig, um die Wagenbesätze stabil auszubilden. Aufgrund der Tatsache, dass die Brennhilfsmittel nicht an Kunden weitergegeben werden können, müssen diese von der Kommissionier- und Palettieranlage ausgespeist werden.

Der Ausspeisevorgang wird direkt vom Entladeroboter durchgeführt. Über einen Palettenförderer wird dem Roboter jeweils eine leere, konventionelle Palette zugeführt. Die Position der Palette wird über eine gewöhnliche Lichtschranke festgestellt.

Aufgrund der Tatsache, dass die Formate der Brennhilfsmittel auf der Palette einheitlich sind, ist für diesen Palettiervorgang kein Objektdetektionsverfahren notwendig. Die Palette befindet sich für die gesamte Dauer des Palettiervorgangs an derselben Position. Nach Beendigung des Palettiervorgangs wird die beschichtete Palette automatisch ausgespeist, mit einem Hubstapler abtransportiert und nach Möglichkeit dem Beladevorgang der Tunnelofenwägen wieder zugeführt.

3) Förderhilfsmittel mit visueller Qualitätskontrolle der Produkte:

Sämtliche Produkte werden ausgehend von der Entladezelle, über ein Förderhilfsmittel zum Palettierroboter transportiert. Auf diesem Förderhilfsmittel erfolgt als Erstes eine automatische Oberflächenreinigung der Produkte. Die Oberflächenreinigung wird mit einer vierseitigen Bürsteinrichtung, welche die Produkte der Reihe nach durchlaufen, durchgeführt.

Im nächsten Schritt passieren die Produkte auf dem Fördersystem die visuelle Qualitätskontrolle. An dieser Stelle werden sowohl Kantenschäden als auch Risse augenscheinlich überprüft. Die fehlerhaften Produkte können über eine manuelle Eingabe, welche z.B. an einem Touch - Panel erfolgen kann, der Anlage mitgeteilt werden.

Mithilfe der manuellen Eingabe erkennt der darauffolgende Palettierroboter die fehlerhaften Produkte, woraufhin dieser die Produkte in ein bereitgestelltes Behältnis ablegt. Die fehlerhaften Produkte können im Anschluss daran recycelt werden. Die Anlage ist baulich so ausgeführt, dass an der Stelle der visuellen Kontrolle, zu einem späteren Zeitpunkt eine automatisierte Qualitätsprüfung nachgerüstet werden kann.

Im Anschluss an die visuelle Qualitätsprüfung wird die Maßhaltigkeit bestimmter Produkte über eine Laser-Differenzmessung erfasst. In Abhängigkeit der Messergebnisse werden die vermessenen Produkte, sogenannten Kalibrierklassen zugewiesen. Die Kalibrierklasse stellt zusätzlich zum Fertigungsauftrag ein weiteres Kommissionierkriterium, welches der Palettierroboter berücksichtigen muss, dar.

Eine Etikettier- und Signiervorrichtung sorgt für die richtige Kennzeichnung der unterschiedlichen Produkte. Abhängig von den Anforderungen können die Produkte mit einer Farbsignierung oder mit einem Etikett versehen werden.

Mit dem Einsatz eines eindimensionalen Objektdetektionsverfahren wird sowohl der Laser - Differenzmessung, als auch der Etikettier- und Signierstation, die Position der Produkte in Längsrichtung zum Förderhilfsmittel mitgeteilt. Sofern die Produkte in Querrichtung zum Förderhilfsmittel ausgerichtet werden können, reicht diese Information aus. Sollten einzelne Produkte aus etwaigen Gründen nicht ausgerichtet werden können, müsste ein zweidimensionales Objektdetektionsverfahren eingesetzt werden.

Mithilfe des Förderhilfsmittels gelangen die einzelnen Produkte in weiterer Folge zum Palettierroboter. Damit der Palettierroboter die Produkte am Förderhilfsmittel sicher greifen kann, wird ebenfalls ein eindimensionales oder ein zweidimensionales Objektdetektionsverfahren eingesetzt.

4) Palettierroboter auf linearer Verfahrachse und Kommissionierplätze:

Wie bereits am Ende des dritten Aufzählungspunktes erwähnt, gelangen die Produkte über ein Förderhilfsmittel einzeln zum Palettierroboter. Der Palettierroboter greift die Produkte an einer definierten Stelle am Band. Die exakte Position der Produkte wird dabei über geeignete Objektdetektionsverfahren festgestellt.

Aufgrund der Tatsache, dass der Handhabungsvorgang des Entladeroboters mit jenem des Palettierroboters vergleichbar ist, verfügt der Palettierroboter über eine ähnliche Ausrüstung. Er ist als Knickarmroboter ausgeführt und kann über ein automatisches Greiferwechselsystem auf die unterschiedlichsten, speziell konzipierten Sauggreifer zugreifen. Die unterschiedlichsten Greifer ermöglichen dem Roboter das sichere Manipulieren aller Produkte sowie das Generieren der unterschiedlichsten Palettenschichtmuster.

Der Palettierroboter befindet sich auf einer linearen Verfahrachse. Dadurch vergrößert sich dessen Arbeitsraum und der Palettierroboter ist in der Lage, auf sechs Kommissionierplätze gleichzeitig zuzugreifen. Diese Anzahl an Kommissionierplätzen weicht um einen Platz von den Ergebnissen der Datenanalyse in Abbildung 38 ab. Der siebente Kommissionierplatz wurde bewusst nicht ausgeführt, da es lediglich in einem Fall innerhalb des Betrachtungszeitraumes vorkam, dass sich zeitgleich

sieben Fertigungsaufträge auf der Anlage befanden. Sinngemäß können an der in Abbildung 48 dargestellten Anlage, sechs Fertigungsaufträge zeitgleich kommissioniert und palettiert werden.

Auf den sechs Kommissionierplätzen werden die konventionellen Trägermedien von einem Hilfsroboter automatisch und positionsgenau bereitgestellt. Aufgrund der genauen Bereitstellung ist für den Palettiervorgang kein weiteres Objektdetektionsverfahren zur Ermittlung des Ablageortes der Produkte notwendig.

Die gewünschten Palettenschichtmuster werden CAD-gestützt vom Anlagenbedienpersonal erstellt. Aufgrund der Tatsache, dass die Paletten ausschließlich auftragsrein beschichtet werden, können die Schichtmuster formatbezogen abgespeichert werden. Bei wiederkehrendem Auftreten desselben Formats kann das abgespeicherte Schichtmuster aufgerufen werden.

Bei bestimmten Produkten wird zusätzlich zum Fertigungsauftrag, die Kalibrierklasse in der Kommissionierung berücksichtigt. Diese Berücksichtigung erfolgt vollautomatisch und in Abhängigkeit der Ergebnisse der Laser-Differenzmessung am Fördersystem vor dem Palettierroboter.

Es besteht auf jedem der sechs Kommissionierplätze die Möglichkeit, die Trägermedien entweder versandfertig oder lose zu beschichten. Bei der versandfertigen Palettierung stellt der Hilfsroboter alle erforderlichen Hilfsmaterialien wie z.B. Einlagekartons definiert zur Verfügung.

5) Hilfsroboter auf linearer Verfahrachse:

Der Hilfsroboter sorgt für die Bereitstellung aller notwendigen Hilfsmaterialien, für die unterschiedlichsten Palettiervorgänge. In der Ausführung seiner Funktion hat der Roboter Zugriff auf unterschiedliche, konventionelle Trägermedien, welche ihm über ein entsprechendes Lager bereitgestellt werden. Die Beschickung des Lagers erfolgt ausschließlich mit dem Hubstapler.

Die Aufstellung des Hilfsroboters auf einer linearen Verfahrachse vergrößert seinen Arbeitsbereich. Dadurch ist der Hilfsroboter in der Lage, die Trägermedien an allen sechs Kommissionierplätzen positionsgenau bereitzustellen. Somit müssen die Trägermedien während des gesamten Palettiervorgangs nicht bewegt werden. Diese Ausführung reduziert die Anlagenkomplexität wesentlich, da für den Palettiervorgang weder ein Objektdetektionsverfahren, noch ein aufwändiges Bewegen und Zentrieren der Trägermedien, erforderlich ist.

Neben der Manipulation der Trägermedien ist der Hilfsroboter in der Lage, die für die versandfertige Palettierung notwendigen Kartonagen zu greifen. Die Bereitstellung der Kartonagen erfolgt ebenfalls mit einem Hubstapler.

6) Lager für konventionelle Trägermedien sowie Hilfsmaterialien:

In diesem konventionell organisierten Lager werden alle notwendigen Trägermedien und Hilfsmaterialien bereitgestellt. Die Ein- und Auslagerung der einzelnen Güter erfolgt ausschließlich mit Hubstaplern. Aufgrund der Tatsache, dass die Bereitstellung aller möglichen Trägermedien die Lagergröße überschreiten würde, muss der/die HubstaplerfahrerIn die Organisation des Lagers selbstständig, in Abhängigkeit der Fertigungsaufträge, durchführen. Der Hilfsroboter ist mit einem Universalgreifer ausgestattet, welcher das Aufnehmen aller vorhandenen Trägermedien ermöglicht.

7) Pufferplätze sowie Schnittstellen für das Auspeisen der beladenen Trägermedien:

Um die Transportfrequenzen zu bzw. von der Anlage zu erhöhen, wurden Pufferplätze für jeden Kommissionierplatz vorgesehen. Diese Pufferplätze sind als Palettenfördersysteme ausgeführt und ermöglichen die Zwischenlagerung von fertig beschichteten Paletten. Mithilfe von konventionellen Lichtschranken ist es möglich, die beladenen Paletten entsprechend deren Positionierung zu verfahren.

Am Ende der Palettenfördersysteme erfolgt die Entnahme der einzelnen beladenen Paletten mittels Hubstapler. In weiterer Folge werden die beladenen Paletten entweder zu den nachfolgenden Prozessen oder zu der Verpackungsanlage transportiert. Alle beschickten Prozesse werden unverändert betrieben und durch die neu errichtete Kommissionier- und Palettieranlage nicht beeinflusst.

12.1 Leitfaden zur Beschreibung der weiteren Schritte in der Errichtung der Anlage

In diesem Kapitel wird ein Leitfaden für das Unternehmen erstellt, welcher sich aus den gewonnenen Erkenntnissen aus der Entwicklung der geplanten Anlage ableitet.

Die einzelnen Schritte in diesem Leitfaden werden in der folgenden Abbildung 49 chronologisch gereiht und mit einer laufenden Nummer versehen. Diese Aneinanderreihung soll für das Unternehmen eine nachvollziehbare Vorgehensweise für die Errichtung der optimalen Kommissionier- und Palettieranlage sicherstellen. Der genaue Zeitpunkt für die Umsetzung der einzelnen Punkte hängt maßgeblich von der Bereitstellung der Ressourcen vom Top Management ab. Aus diesem Grund sind in der folgenden Abbildung lediglich die ungefähren Zeitspannen, ohne Definition von exakten Zeitpunkten, für die einzelnen Schritte festgehalten. Mit Bezug auf die laufende Nummer erfolgt in weiterer Folge eine kurze textuelle Beschreibung der gelisteten Schritte.

Ifd. Nr.:	Schritte in der Projektrealisierung	Monate															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	Detail-Engineering mit Engineeringpartner	■	■	■	■												
2	HAZOP-Analyse			■	■	■											
3	Sicherstellen der notwendigen MitarbeiterInnenqualifikation					■	■	■									
4	Ausschreibung gemäß des Detail-Engineerings				■												
5	Angebotsverhandlungen und Auftragsvergabe						■										
6	Errichtung der Anlage							■	■	■	■	■	■	■			
7	Verifizierung der vorhandenen MitarbeiterInnenqualifikation												■				
8	Inbetriebnahme der Anlage und Start des Probebetriebs														■	■	
9	FMEA-Analyse zur strategischen Ersatzteilbevorratung											■	■	■			
10	Anlage ist betriebsbereit																■

Abbildung 49: Leitfaden für die Umsetzung der optimalen Anlagenkonfiguration, Quelle: eigene Darstellung.

1) Detail-Engineering mit Engineeringpartner:

Um in weiterer Folge eine Ausschreibung an Anlagenlieferanten durchführen zu können, muss die Planungsgenauigkeit der identifizierten Anlagenkonfiguration weiter erhöht werden. Die Detailplanung setzt auf den Entwicklungsergebnissen dieser Arbeit auf und sollte optimaler Weise unter Einbeziehung eines externen Partners durchgeführt werden.

2) HAZOP-Analyse:

In der Tabelle 24 wurden unterschiedliche Investitionsrisiken für die optimale Kommissionier- und Palettieranlage identifiziert. Um die Investitionsrisiken zu reduzieren wurden zusätzlich Gegenmaßnahmen definiert.

Damit tatsächlich alle vorhandenen Risiken vor der Projektumsetzung erkannt werden, sollte parallel zum Detail-Engineering erneut eine Risikoanalyse durchgeführt werden. Für die Durchführung dieser Analyse bietet sich die sogenannte HAZOP-Analyse (Hazard and Operability Study-Analyse) aufgrund der systematischen Vorgehensweise besonders gut an.

3) Sicherstellen der notwendigen MitarbeiterInnenqualifikation:

Die geplante Anlage ist ein Schlüsselaggregat in der Fertigung des Unternehmens. Aus diesem Grund sollte die Maschinenverfügbarkeit so hoch wie möglich sein. Um dies zu bewerkstelligen sollte für die Anlage eine vorbeugende Instandhaltungsstrategie gewählt werden.

In der Praxis wird die Strategie oftmals durch fix eingeplante Anlagenstehzeiten realisiert. An diesen Stehzeiten erfolgt eine Reinigung der Anlage durch das Bedienpersonal, sowie die Wartung aller notwendigen Anlagenteile durch das Instandhaltungspersonal. Alternativ dazu könnten die Anlagenstehzeiten auch zustandsorientiert, in Abhängigkeit von aussagekräftigen Anlagenparametern, eingeplant werden.

Aufgrund der Tatsache, dass sowohl der Automatisierungs-, als auch der Innovationsgrad der Anlage sehr hoch sind, ist eine hohe MitarbeiterInnenqualifikation für die Bedienung und Wartung der Anlage erforderlich. Deshalb sollte bereits vor der Errichtung der Anlage, mit der Ausarbeitung eines adäquaten Schulungsplanes gestartet werden. Anerkannte Methoden wie beispielsweise Total Productive Maintenance sollten dabei angedacht werden.

4) Ausschreibung auf Basis des Detail-Engineerings:

Eine Ausschreibung an mögliche Anlagenlieferanten sollte auf Basis der Ergebnisse des Detail-Engineerings durchgeführt werden.

5) Angebotsverhandlungen und Auftragsvergabe:

Mit zumindest drei unterschiedlichen Anlagenlieferanten sollten Preisverhandlungen durchgeführt werden. Die Auftragsvergabe erfolgt im Anschluss an den Bestbieter.

6) Errichtung der Anlage:

Für die Errichtung der Kommissionier- und Palettieranlage ist ein Zeitraum von sechs Monaten vorgesehen. Im Zuge des Detail-Engineerings sollte auf jeden Fall der exakte Aufstellungsort der Anlage feststehen.

7) Verifizierung der vorhandenen MitarbeiterInnenqualifikation

Gegen Ende der Errichtungsphase sollte der Wissensstand der AnlagenbedienerInnen nochmals verifiziert werden. Nach Bedarf sind erneute Schulungen noch vor oder zeitgleich mit Inbetriebnahme der Anlage anzudenken.

Aufgrund der Tatsache, dass in der Inbetriebnahmephase der größte Lerneffekt besteht, sollte diese auf jedem Fall vom zukünftigen Stammpersonal begleitet werden.

8) Inbetriebnahme der Anlage und Start des Probetriebs

Nach einer Errichtungsphase von etwa sechs Monaten startet die Inbetriebnahme der Anlage. In Abhängigkeit der MitarbeiterInnenkompetenz dauert diese Phase in etwa zwischen ein und zwei Monate.

9) FMEA-Analyse zur strategischen Ersatzteilbevorratung

Um eine hohe Anlagenverfügbarkeit zu gewährleisten, sollte eine FMEA-Analyse gegen Ende der Errichtungsphase durchgeführt werden. Die Analyse verfolgt in erster Linie das Ziel einer risikobasierten, strategischen Ersatzteilbevorratung. Darüber hinaus kann etwaiger Schulungs- und Wartungsbedarf daraus abgeleitet werden.

10) Anlage ist betriebsbereit

Nach etwa 16 Monaten ist die Anlage voll betriebstüchtig und kann in der Produktionsplanung berücksichtigt werden.

LITERATURVERZEICHNIS

Gedruckte Werke (13)

Adolf, Thomas; Bauer, Wilhelm; Berger, Ulrich; Biffel Stefan; Bildstein, Andreas; Biswas, Gautam; Bodden-Streubühr, Michael; Breuninger, Jurek; Bubeck, Alexander; Bunte, Andreas; Bürger, Thomas; Chen, Xinyu; Daniluk, Damian; Diedrich, Christian; Diemer, Johannes; Dohrmann, Lars; Dorchain, Marc; Dürkop, Lars; Dworschak, Bernd; Eilert, Björn; Ekaputra, J. Fajar; Feldmann, Stefan; Flad, Stefan; Forstner, Lisa; Frank, Ursula; Freund, Marco; Furman, Kai; Fürstenberg, Kay; Göhner, Peter; Graeser, Olaf; Großmann, Christian; Gruhler, Matthias; Hadlich, Thomas; Hauptvogel, Annika; Hegmanns, Tobias; Heinke, André; Henke, Michael; Hirsch-Kreinsen, Hartmut; Hoffmann, Josef-Franz; Hoppe, Gerd; Hoppe, Stefan; Huemer, Christian; Jandt, Silke; Japerneite, Jürgen; Jost, Jana; Jungbluth, Volker; Kappel, Gerti; Kastner, Wolfgang; Kaufmann, Thomas; Kerner, Sören; Khorasgani, Hamed; Kinnebrew, S. John; Kirks, Thomas; Kirsch, Christopher; Kleinemeier, Michael; Kleinert, Stefan; Klemp, Eric; Klug, Matthias; Knoll, Thomas; Kovalenko, Olga; Kubach, Uwe; Lappe, Dennis; Lautz, Alexander; Lechler, Armin; Lehmann, Christian; Lewandowski, Marco; Liggesmeyer, Peter; Loskyll, Matthias; Lucke, Dominik; Lüder, Arndt; Machill, Herbert; Marschall, Kevin; Mättig, Benedekt; Mayer, Felix; Mazak, Alexandra; Mordinyi, Richard; Niggemann, Oliver; Overmeyer, Ludger; Pantförder, Dorothea; Papenfort, Josef; Podszus, Florian; Popova-Dlugosch, Severina; Potente, Till; Pottebaum, Jens; Prestifilippo, Giovanni; Regulin, Daniel; Reuter, Christina; Riedl, Matthias; Rösch, Susanne; Roßnagel, Alexander; Sabou, Marta; Schatz, Anja; Schlechtendahl, Jan; Schlick, Jochen; Schmidt, Nicole; Schöning, Harald; Schreiber, Andreas; Schuh, Günther; Schütz, Daniel; Seibold, Zázilia; Seidelmann, Joachim; Shchekutin, Nikita; Sinsel, Alexander; Soder, Johann; Städter, Philip; Steegmüller, Dieter; Steininger, Heinrich; Stephan, Peter; Stichweh, Heiko; Tauchnitz, Thomas; Teucke, Michael; Thoben, Klaus-Dieter; Thron, Mario; Tragl, Karl; Trapp, Mario; Trapp, Thies Uwe; Trenkle, Andreas; Voigt, Tobias; Volgmann, Sören; Wegener, Dieter; Wehberg, Götz; Weißenberger, Benedikt; Werthmann, Dirk; Weyrich, Michael; Wimmer, Manuel; Winkler, Dietmar; Wolf, Oliver; Wurll, Christian; Zaiser, Helmut; Zürn, Michael; (2014): *Handbuch Industrie 4.0 Bd.2*, Springer Vieweg, Berlin

Bichler, Axel; Trommsdorff, Volker; Baier, Daniel; Bruschi, Michael; Teichert, Thorsten; Shehu, Edlira; Weiber, Rolf; Mühlhans, Daniel; Böhler, Heymo; Scigliano, Dino; Herrmann, Andreas; Huber, Frank; Regier, Stefanie; Balderjahn, Ingo; Hedergott, Doreen; Peyer, Mathias; Baumgartner, Bernhard; Steiner, J. Wienfried; Gaul, Wolfgang; Decker, Reinhold; Bornemeyer, Claudia; Neibecker, Bruno; Kohler, Thomas; Bass, Stephan; Freiherr von Forstner, Michael; Szuppa, Stefan; Männche, Steffen; Wartenberg, Frank; Oexler, Petra; (2009): *Conjointanalyse Methoden-Anwendungen-Praxisbeispiele*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2009, Cottbus

Buck, Hartmut; Burisch, Arne; Busch, Felix; Deuse, Jochen; Hartel, Marco; Hartung, Jochen; Hegenscheidt, Matthias; Hesse, Stefan; Hesselbach, Jürgen; Höhne, Günter; Löchte, Christian; Lotter, Bruno; Lotter, Edwin; Nyhuis, Peter; Raatz, Annika; Schmidt, Andreas; Wagner, Carsten; Wiendahl, Hans-Peter; Witzgall, Elmar; Wrege, Jan; (2012): *Montage in der industriellen Produktion*, Springer Vieweg, Berlin

Dudenredaktion (Hrsg.) (2009): *Duden Band 1. Die deutsche Rechtschreibung: Das umfassende Standardwerk auf der Grundlage der neuen amtlichen Regeln*, 25. Auflage, Dudenverlag, Mannheim

Ebner (2005): *Tunnelofen - Wagen, Handbuch für Praktiker, ohne Verlagsangaben*, Breitenau

Frissenbichler (2011): *Skriptum - Fördertechnik und Logistik Teil 1*, ohne Verlagsangaben, Graz

Günthner, A. Willibald ; Ulrich, Lammer (2009): *Funktionsvereinigung in der Lagertechnik*, ohne Verlagsangaben, München

Güsmann, B.; Giesecke, P.; Hesse, S.; Seitz, G.; Bartenschlager, J.; Hebel, H.; Schmidt, G.; Schnell, G.; Kaspers, W.; Küfner, H.-J.; Heinrich, B.; Vogt, W.; (1998): *Handhabungstechnik mit Robotertechnik*, Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, Wiesbaden

Hesse, St.; Güsmann, B.; Giesecke, P.; Seitz, G.; Bartenschlager, J.; Hebel, H.; Schmidt, G.; Kasper, W.; Küfner, H.J.; Heinrich, B.; Vogt, W.; Konold, P.; Reger, H.; (1998): *Industrieroboterpraxis: automatisierte Handhabung in der Fertigung*, Springer Fachmedien Wiesbaden, Braunschweig

Hesse, St.; Güsmann, B.; Giesecke, P.; Seitz, G.; Schnell, G.; Amelig, W.; Weck, M.; Kuhn, A.; Reinhardt, A.; Wiendahl, H-P.; (1996): *Robotik, Grundwissen der beruflichen Bildung*, Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig

Hompel, Michael; Sadowsky, Volker; Beck, Maria; (2011): *Kommissionierung, Materialflusssysteme 2 - Planung und Berechnung der Kommissionierung in der Logistik*, Springer - Verlag, Berlin - Heidelberg

Jünemann, Reinhardt; Beyer, Andreas (1998): *Steuerung von Materialfluss- und Logistiksystemen*, Springer Verlag Berlin Heidelberg 1998, Dortmund

Pannenkamp, J. (2005): *Fertigungsmesstechnik - Einführung in die Bildverarbeitung, Vorlesungsskriptum: Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb der Universität Stuttgart*, ohne Verlagsangaben, Stuttgart

Wissenschaftliche Artikel (5)

Fritsch, D. (2004): *Kommissionierroboter - von der Speziallösung zum wirtschaftlichen Standardprodukt*, in: *Logistik für Unternehmen*, S. 32 - 35.

Ledermann, T. (2005): *Effiziente Bildverarbeitung für die Logistik*, in: *Roboter in der Intralogistik. Aktuelle Trends. Moderne Technologien. Neue Anwendungen*, S. 36 - 48.

Ledermann, T. (2007): *Bildverarbeitungssysteme für Handhabungsaufgaben im innerbetrieblichen Materialfluss*, in: *Fraunhofer Institut für Produktionstechnik und Automatisierung. Aktuelle Trends - Moderne Technologien - neue Anwendungen*, S. 31 - 44.

Stein, N. (2003): *Bildverarbeitung in der Distributionslogistik. Grundlagen und Einsatzmöglichkeiten*, in: *VDI-Gesellschaft Fördertechnik, Materialfluss, Logistik, 12. Deutscher Materialfluss Kongress, Technologie für die Intralogistik/2003*, VDI Verlag 2003, S. 80 - 88.

Wurll, C. (2005): *Robogistics - Robotik und Logistik im Wandel der Zeit.*, in: *VDI - Gesellschaft Fördertechnik, Materialfluss, Logistik, 14/2005*, VDI-Verlag 2005, S. 47 - 55.

Online-Quellen (12)

Fa. Dematic (2014): *Youtube*

<https://www.youtube.com/user/DematicEuropa/videos>

[Stand: 24.07.2017]

Fa. Festo (2017): *Grundlagen der Vakuumtechnik, Kurzübersicht*

https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/9916/Grundlagen_Vakuumtechnik.pdf

[Stand: 26.11.2017]

Fa. RHI AG (2017): *Konzernpräsentation*

<https://www.rhi-ag.com/>

[Stand: 15.05.2017]

Fa. Swisslog: *Swisslog*

www.swisslog.com/acpaq

[Stand: 24.07.2017]

Gandyra (2016 - 2017): *Dr. Gandyra*

<https://www.dr-gandyra.com/fachliches/3d-messtechnik/s30/#img0440>

[Stand: 26.11.2017]

Kostka, Günther (2017): *Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS*

<https://www.iis.fraunhofer.de/de/ff/zfp/tech/optische-3d-messtechnik.html>

[Stand: 26.11.2017]

Lean-Production-Expert (2017): *Lean Production Expert*

<http://www.lean-production-expert.de/lean-production/kudentakt.html>

[Stand: 26.11.2017]

Olofsson (2017): *World Class Manufacturing*

http://world-class-manufacturing.com/de/takt_time/takt_time.html

[Stand: 26.11.2017]

Roteg, Brühl, Fraunhofer IML, race (2015): *Palettierroboter*

<http://www.palettierroboter.com/applikationen/farbeimer/>

[Stand: 24.07.2017]

Simon, Clausen, (2017): *Gabler- Lexikon*

<http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/3153/conjoint-analyse-v7.html>

[Stand: 26.11.2017]

Stiller, Gudrun (2017): *Wirtschaftslexikon 24*

<http://www.wirtschaftslexikon24.com/e/automatisierungsgrad/automatisierungsgrad.htm>

[Stand: 25.11.2017]

Wolfenstein, Konrad (2016): *Intralogistik*

<http://intralogistik.tips/intralogistik-trends-2016/>

[Stand: 25.11.2017]

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Herstellprozess geformt - gebrannter Feuerfestprodukte - Ausgangssituation, Quelle: in Anlehnung an Fa. RHI AG (2017), Online-Quelle [15.05.2017], S. 7.	3
Abbildung 2: Herstellprozess geformt - gebrannter Feuerfestprodukte - Zieldarstellung, Quelle: in Anlehnung an Fa. RHI AG (2017), Online-Quelle [15.05.2017], S.7.	5
Abbildung 3: Schritte innerhalb eines zweidimensionalen Bildverarbeitungsverfahrens, Quelle: Günthner/Ulrich (2009), S. 36.	9
Abbildung 4: Messprinzip des Lichtschnittverfahrens - Triangulation; Quelle: Gandyra (2016 - 2017), Online-Quelle [26.11.2017].	10
Abbildung 5: Knickarmroboter mit Parallelgreifer als Endeffektor, Quelle: Güsmann/u.a. (1998), S. 25.	11
Abbildung 6: Bewertung vorhandener Greifertypen, Quelle: Hesse/u.a (1998), S. 124 (leicht modifiziert).....	13
Abbildung 7: Funktionsprinzip eines Sauggreifers, Quelle: Fa. Festo (2017), Online-Quelle [26.11.2017], S. 38.	15
Abbildung 8: Wiederhol- und Positioniergenauigkeit von Industrierobotern, Quelle: Hesse/u.a (1998), S. 56.	17
Abbildung 9: Tragfähigkeitskenngößen von Industrierobotern, Quelle: Güsmann/u.a. (1998), S. 25 (leicht modifiziert).	18
Abbildung 10: Zeitprofil eines automatisierten Handhabungsvorgangs nach MTM, Quelle: Buck/u.a. (2012), S. 74.	20
Abbildung 11: Primär - Sekundärbewertung eines Arbeitsablaufes mit fünf Arbeitsvorgängen, Quelle: Buck/u.a. (2012), S. 50.	23
Abbildung 12: Kinematisches Ersatzschaltbild eines fünfsichtigen Knickarmroboters, Quelle: Güsmann/u.a. (1998), S. 39.	25
Abbildung 13: Überblick der kinematischen Aufbauten von Robotern, Quelle: Güsmann/u.a. (1998), S. 48.	26
Abbildung 14: Portalroboter mit kubischem Arbeitsraum, Quelle: Güsmann/u.a. (1998), S. 49.	27
Abbildung 15: Schwenkarmroboter mit zylindrischem Arbeitsraum, Quelle: Güsmann/u.a. (1998), S. 49.	28
Abbildung 16: Knickarmroboter mit kugelförmigem Arbeitsraum, Quelle: Güsmann/u.a. (1998), S. 50.	29

Abbildung 17: Beispielanwendung zum Kommissionieren und Palettieren in Verteilzentren, Quelle: Fa. Swisslog, Online-Quelle [24.07.2017], S. 1 - 4.....	33
Abbildung 18: Beispielanwendung zum Kommissionieren und Palettieren von Lebensmitteln, Quelle: Fa. Dematic (2014), Online-Quelle [24.07.2017].	33
Abbildung 19: Beispielanwendung zum Kommissionieren und Palettieren von Farbgebinden, Quelle: Roteg, Brühl, Fraunhofer IML, race (2015), Online-Quelle [24.07.2017].....	34
Abbildung 20: Prinzipdarstellung des Kommissionier- und Palettierarbeitsplatzes, Quelle: eigene Darstellung.	36
Abbildung 21: Darstellung eines Tunnelofenwagens inklusive Wagenbesatz innerhalb eines Tunnelofens, Quelle: Ebner (2005), S. 3 (leicht modifiziert).	37
Abbildung 22: Anwendung 1, zwei redundante Roboterzellen für den Entladevorgang der Produkte, Quelle: eigene Darstellung.	40
Abbildung 23: Anwendung 1, Tunnelofenwagen mit einheitlichem Wagenbesatz in Entladeposition, Quelle: eigene Darstellung.	41
Abbildung 24: Anwendung 1, Palettierung mittels mechanischem Klemmgreifer, Quelle: eigene Darstellung.	42
Abbildung 25: Anwendung 2, Entladen der Tunnelofenwägen auf ein Förderhilfsmittel, Quelle: eigene Darstellung.	43
Abbildung 26: Anwendung 2, Auftragsreines Palettieren der Produkte, Quelle: eigene Darstellung.	43
Abbildung 27: Anwendung 3, Entladen der Tunnelofenwägen auf bereitgestellte Stahlpaletten, Quelle: eigene Darstellung.	45
Abbildung 28: Anwendung 3, Darstellung von links: Zwischenlager / Hängebahn / Hochregallager, Quelle: eigene Darstellung.	46
Abbildung 29: Anwendung 3, Beladene Tunnelofenwägen mit hoher Diversität, Quelle: eigene Darstellung.	46
Abbildung 30: Anwendung 3, Palettieranlage mit Stapel-, Entstapelsystem für Stahlpaletten, Quelle: eigene Darstellung.	48
Abbildung 31: Ausgangssituation - Bereitstellung der beladenen Tunnelofenwägen, Quelle: eigene Darstellung.	48
Abbildung 32: Ausgangssituation - Entladen der Tunnelofenwägen mittels Manipulator, Quelle: eigene Darstellung.	49
Abbildung 33: Ausgangssituation - manuelle, auftragsbezogene Palettierung der Produkte, Quelle: eigene Darstellung.	49

Abbildung 34: Herstellprozess mit Definition der Prozessgrenzen für die Entwicklung, Quelle: in Anlehnung an Fa. RHI AG (2017), Online-Quelle [15.05.2017], S.7.	52
Abbildung 35: Prozesskette als Grundlage für die Datenerhebung im Zuge der Entwicklung, Quelle: eigene Darstellung.	53
Abbildung 36: Darstellung der relevanten Durchlaufzeit für die Ermittlung des Betrachtungszeitraumes, Quelle: eigene Darstellung.	55
Abbildung 37: Anzahl an Fertigungsaufträgen auf einzelnen Tunnelofenwägen, Quelle: eigene Darstellung.	59
Abbildung 38: Anzahl an offenen Fertigungsaufträgen im Durchlauf der betrachteten Tunnelofenwägen, Quelle: eigene Darstellung.	59
Abbildung 39: Beispielhafte Darstellung von aufeinandergestapelten, einlagig beschichteten Stahlpaletten mit Stützen, Quelle: eigene Darstellung.	60
Abbildung 40: Beispielhafte Darstellung einer mehrlagig, kompakt beschichteten, konventionellen Holzpalette, Quelle: eigene Darstellung.	61
Abbildung 41: Beispielhafte Darstellung von mehrlagig, lose beschichteten, konventionellen Holzpaletten, Quelle: eigene Darstellung.	61
Abbildung 42: Lösungsweg zur Bewältigung der Kommissionieraufgabe in Anlagenkonfiguration 1, Quelle: eigene Darstellung.	72
Abbildung 43: Lösungsweg zur Bewältigung der Kommissionieraufgabe in Anlagenkonfiguration 2, Quelle: eigene Darstellung.	73
Abbildung 44: Lösungsweg zur Bewältigung der Kommissionieraufgabe in Anlagenkonfiguration 3, Quelle: eigene Darstellung.	74
Abbildung 45: Beschreibung der Vorgehensweise in der Durchführung der Conjoint - Analyse, Quelle: Bichler (2009), S. 60 (leicht modifiziert).	75
Abbildung 46: Risikomatrix als Werkzeug für die Bewertung von Risiken, Quelle: eigene Darstellung.	88
Abbildung 47: Teilnutzen der einzelnen Ausprägungen je Bewertungskriterium, Quelle: eigene Darstellung.	94
Abbildung 48: Dreidimensionales Anlagenlayout der optimalen Anlagenkonfiguration, Quelle: eigene Darstellung.	96
Abbildung 49: Leitfaden für die Umsetzung der optimalen Anlagenkonfiguration, Quelle: eigene Darstellung.	100

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Bewertung der universellen Auslegungskriterien von Kommissionier- und Palettierapplikationen, Quelle: eigene Darstellung.	30
Tabelle 2: Bewertung der durch die Roboterbauart definierten Auslegungskriterien von Kommissionier- und Palettierapplikationen, Quelle: eigene Darstellung.....	31
Tabelle 3: Besonderheiten der drei beschriebenen Best Practice Anwendungen, Quelle: eigene Darstellung.	50
Tabelle 4: Darstellung der technischen Ausrüstung der beschriebenen Best Practice Anwendungen, Quelle: eigene Darstellung.	51
Tabelle 5: Datenauszug aus der Datenbank vom Beladevorgang eines Tunnelofenwagens, Quelle: eigene Darstellung.	56
Tabelle 6: Überblick der Datenerhebung beim Beladevorgang der Produkte auf die Tunnelofenwägen, Quelle: eigene Darstellung.	57
Tabelle 7: Beispielhafter Datenauszug aus der Ermittlung der Produktanzahl auf den potentiellen Trägermedien, Quelle: eigene Darstellung.....	62
Tabelle 8: Darstellung der minimalen und maximalen Produktanzahl auf den potentiellen Trägermedien, Quelle: eigene Darstellung.	62
Tabelle 9: Datentabelle für die Ermittlung der maximal zulässigen Taktzeit der Anlage, Quelle: eigene Darstellung.	63
Tabelle 10: Darstellung der kürzesten sowie längsten Zeitintervalle für die Wechselvorgänge von beladenen Trägermedien, Quelle: eigene Darstellung.....	63
Tabelle 11: Lösungsweg zur Ermittlung der für das Unternehmen optimalen Kommissionier- und Palettieranlage, Quelle: eigene Darstellung.	64
Tabelle 12: Beschreibung der Vorgehensweise bei der Erstellung der Entscheidungsstammbäume, Quelle: eigene Darstellung.	65
Tabelle 13: Entscheidungsstammbaum zur Auswahl der für den Anwendungsfall optimalen Robotertechnik, Quelle: eigene Darstellung.....	67
Tabelle 14: Variantendarstellung zur Ermittlung und Bewertung von potentiellen Kommissionierlösungen, Quelle: eigene Darstellung.	68
Tabelle 15: Wertstromdesign der drei potentiellen Anlagenkonfigurationen, Quelle: eigene Darstellung.	76
Tabelle 16: Bewertung der Anlagenkonfigurationen hinsichtlich der Integration in den Bestand, Quelle: eigene Darstellung.	78

Tabelle 17: Ergebnisse der Investitionskostenerhebung für die potentiellen Anlagenkonfigurationen, Quelle: eigene Darstellung.	79
Tabelle 18: Darstellung der Wirtschaftlichkeit der potentiellen Anlagenkonfigurationen, Quelle: eigene Darstellung.	80
Tabelle 19: Ergebnisse der Leitmerkmalsmethode zur Beurteilung der körperlichen Beanspruchung, Quelle: eigene Darstellung.	81
Tabelle 20: Darstellung der kürzesten Zeitintervalle für den Abtransport von beladenen Trägermedien, Quelle: eigene Darstellung.	82
Tabelle 21: Beispielhaftes Szenario zur Verdeutlichung der Unterschiede in der Kommissionieraufgabe der Anlagenkonfigurationen, Quelle: eigene Darstellung.	84
Tabelle 22: Auswirkung von möglichen Szenarien auf die Produktionsflexibilität der Anlagenkonfigurationen, Quelle: eigene Darstellung.	86
Tabelle 23: Bewertung der Qualitätsprüfung der Produkte an den potentiellen Anlagenkonfigurationen, Quelle: eigene Darstellung.	87
Tabelle 24: Auflistung und Bewertung von identifizierten Investitionsrisiken, Quelle: eigene Darstellung.	89
Tabelle 25: Zusammenfassung der identifizierten Risiken je Anlagenkonfiguration, Quelle: eigene Darstellung.	90
Tabelle 26: Ermittlung des Lagernutzungsgrades je Anlagenkonfiguration, Quelle: eigene Darstellung.	92
Tabelle 27: Ergebnisse aus der durchgeführten paarweisen Kriteriengewichtung, Quelle: eigene Darstellung.	93
Tabelle 28: Ermittlung des Gesamtnutzens je Anlagenkonfiguration, Quelle: eigene Darstellung.	95
Tabelle 29: Datenauszug vom Beladevorgang von zehn Tunnelofenwägen, Quelle: eigene Darstellung.	114
Tabelle 30: Auflistung der Produktformate mit Angabe der Produktanzahl je Trägermedium, Quelle: eigene Darstellung.	119
Tabelle 31: Investitionskostenerhebung der Anlagenkonfiguration 1 nach der Dreipunktmethode, Quelle: eigene Darstellung.	121
Tabelle 32: Investitionskostenerhebung der Anlagenkonfiguration 2 nach der Dreipunktmethode, Quelle: eigene Darstellung.	123
Tabelle 33: Investitionskostenerhebung der Anlagenkonfiguration 3 nach der Dreipunktmethode, Quelle: eigene Darstellung.	126

ANHANG 1: DATENAUSZUG VOM BELADEVORGANG DER TUNNELOFENWÄGEN

Innerhalb des Betrachtungszeitraumes von 01.07.2017 bis 01.09.2017 wurden insgesamt die Daten von 794 Beladevorgängen ausgewertet. Aufgrund der Tatsache, dass es innerhalb dieser Masterarbeit nicht möglich ist die gesamten Daten abzubilden, wird in der Tabelle 29 der Beladevorgang von zehn Tunnelofenwägen dargestellt. Dieser Datenauszug vermittelt einen repräsentativen Überblick über die Verfügbarkeit der Daten und stellt eine hohe Nachvollziehbarkeit der durchgeführten Datenanalyse in Kapitel 8.3.1 dieser Arbeit sicher.

Wagen Nr.	Robotersequenz	Setzhilfe	Fertigungsauftrag	Format	Stück	Gewicht in kg	Datum
3536	5	FALSCH	43635751	45/0	8	22,41	01.07.2017
3536	22	WAHR	00000009	2	14	6,00	01.07.2017
3536	23	FALSCH	43636136	2G16	21	6,38	01.07.2017
3536	24	FALSCH	43636136	2G16	21	6,38	01.07.2017
3536	6	FALSCH	43638819	45/40	32	22,34	01.07.2017
3536	7	FALSCH	43638819	45/40	32	22,34	01.07.2017
3536	8	FALSCH	43638819	45/40	32	22,34	01.07.2017
3536	2	FALSCH	43635751	45/0	8	22,41	01.07.2017
3536	4	FALSCH	43635751	45/0	8	22,41	01.07.2017
3536	11	FALSCH	43635751	45/0	8	22,41	01.07.2017
3536	13	WAHR	00000009	2	70	6,00	01.07.2017
3536	18	FALSCH	43636136	2G16	84	6,38	01.07.2017
3536	20	FALSCH	43635751	45/0	8	22,41	01.07.2017
3536	14	WAHR	00000009	2	14	6,00	01.07.2017
3536	15	FALSCH	43636136	2G16	21	6,38	01.07.2017
3536	16	FALSCH	43636136	2G16	21	6,38	01.07.2017
3536	17	FALSCH	43636136	2G16	84	6,38	01.07.2017
3536	9	FALSCH	43638819	45/40	32	22,34	01.07.2017
3536	1	FALSCH	43635751	45/0	8	22,41	01.07.2017
3536	3	WAHR	00000009	2	14	6,00	01.07.2017
3536	10	FALSCH	43635751	45/0	8	22,41	01.07.2017
3536	12	WAHR	00000009	2	14	6,00	01.07.2017
3536	19	FALSCH	43636136	2G16	84	6,38	01.07.2017
3536	21	FALSCH	43635751	45/0	8	22,41	01.07.2017
3537	1	FALSCH	43635751	45/0	8	22,41	01.07.2017
3537	2	FALSCH	43635751	45/0	8	22,41	01.07.2017
3537	3	WAHR	00000009	2	14	6,00	01.07.2017
3537	17	FALSCH	43636136	2G16	84	6,38	01.07.2017
3537	18	FALSCH	43636136	2G16	84	6,38	01.07.2017
3537	19	FALSCH	43636136	2G16	84	6,38	01.07.2017
3537	20	FALSCH	43635751	45/0	8	22,41	01.07.2017
3537	5	FALSCH	43635751	45/0	8	22,41	01.07.2017
3537	14	WAHR	00000009	2	14	6,00	01.07.2017
3537	16	FALSCH	43636136	2G16	21	6,38	01.07.2017
3537	21	FALSCH	43635751	45/0	8	22,41	01.07.2017
3537	23	FALSCH	43636136	2G16	21	6,38	01.07.2017
3537	10	FALSCH	43635751	45/0	8	22,41	01.07.2017
3537	11	FALSCH	43635751	45/0	8	22,41	01.07.2017
3537	12	WAHR	00000009	2	14	6,00	01.07.2017
3537	8	FALSCH	43638819	45/40	32	22,34	01.07.2017
3537	9	FALSCH	43638819	45/40	32	22,34	01.07.2017

Anhang 1: Datenauszug vom Beladevorgang der Tunnelofenwägen

Wagen Nr.	Robotersequenz	Setzhilfe	Fertigungsauftrag	Format	Stück	Gewicht in kg	Datum
3537	7	FALSCH	43638819	45/40	32	22,34	01.07.2017
3537	6	FALSCH	43638819	45/40	32	22,34	01.07.2017
3537	4	FALSCH	43635751	45/0	8	22,41	01.07.2017
3537	13	WAHR	00000009	2	70	6,00	01.07.2017
3537	15	FALSCH	43636136	2G16	21	6,38	01.07.2017
3537	22	WAHR	00000009	2	14	6,00	01.07.2017
3537	24	FALSCH	43636136	2G16	21	6,38	01.07.2017
3538	12	WAHR	00000009	2	14	6,00	01.07.2017
3538	13	WAHR	00000009	2	70	6,00	01.07.2017
3538	14	WAHR	00000009	2	14	6,00	01.07.2017
3538	15	FALSCH	43635751	45/0	8	22,41	01.07.2017
3538	1	FALSCH	43635751	45/0	8	22,41	01.07.2017
3538	10	FALSCH	43635751	45/0	8	22,41	01.07.2017
3538	17	FALSCH	43636136	2G16	24	6,38	01.07.2017
3538	19	FALSCH	43636136	2G16	8	6,38	01.07.2017
3538	24	WAHR	00000009	2	14	6,00	01.07.2017
3538	3	WAHR	00000009	2	14	6,00	01.07.2017
3538	4	FALSCH	43635751	45/0	8	22,41	01.07.2017
3538	5	FALSCH	43635751	45/0	8	22,41	01.07.2017
3538	22	FALSCH	43635751	45/0	8	22,41	01.07.2017
3538	23	FALSCH	43635751	45/0	8	22,41	01.07.2017
3538	6	FALSCH	43638819	45/40	32	22,34	01.07.2017
3538	20	FALSCH	43635735	2GG10	55	12,88	01.07.2017
3538	21	FALSCH	43635735	2GG10	1	12,88	01.07.2017
3538	8	FALSCH	43638819	45/40	32	22,34	01.07.2017
3538	7	FALSCH	43638819	45/40	32	22,34	01.07.2017
3538	9	FALSCH	43638819	45/40	32	22,34	01.07.2017
3538	25	FALSCH	43635735	2GG10	14	12,88	01.07.2017
3538	2	FALSCH	43635751	45/0	8	22,41	01.07.2017
3538	11	FALSCH	43635751	45/0	8	22,41	01.07.2017
3538	16	FALSCH	43635751	45/0	4	22,41	01.07.2017
3538	18	FALSCH	43636136	2G16	24	6,38	01.07.2017
3539	6	FALSCH	43638819	45/40	32	22,34	01.07.2017
3539	7	FALSCH	43638819	45/40	32	22,34	01.07.2017
3539	8	FALSCH	43638819	45/40	32	22,34	01.07.2017
3539	9	FALSCH	43638819	45/40	32	22,34	01.07.2017
3539	13	WAHR	00000009	2	70	6,00	01.07.2017
3539	22	WAHR	00000009	2	15	6,00	01.07.2017
3539	17	FALSCH	43641717	KR63E	66	7,61	01.07.2017
3539	18	FALSCH	43641717	KR63E	66	7,61	01.07.2017
3539	10	FALSCH	43635740	30/20	12	14,72	01.07.2017
3539	23	FALSCH	43635740	30/20	12	14,72	01.07.2017
3539	24	FALSCH	43635740	30/20	6	14,72	01.07.2017
3539	1	FALSCH	43635740	30/20	12	14,72	01.07.2017
3539	15	FALSCH	43635740	30/20	12	14,72	01.07.2017
3539	16	FALSCH	43635740	30/20	6	14,72	01.07.2017
3539	2	FALSCH	43635740	30/20	12	14,72	01.07.2017
3539	4	FALSCH	43635740	30/20	12	14,72	01.07.2017
3539	11	FALSCH	43635740	30/20	12	14,72	01.07.2017
3539	20	FALSCH	43635740	30/20	12	14,72	01.07.2017
3539	5	FALSCH	43635740	30/20	12	14,72	01.07.2017
3539	21	FALSCH	43635740	30/20	12	14,72	01.07.2017
3539	3	WAHR	00000009	2	15	6,00	01.07.2017
3539	12	WAHR	00000009	2	15	6,00	01.07.2017
3539	14	WAHR	00000009	2	15	6,00	01.07.2017

Anhang 1: Datenauszug vom Beladevorgang der Tunnelofenwägen

Wagen Nr.	Robotersequenz	Setzhilfe	Fertigungsauftrag	Format	Stück	Gewicht in kg	Datum
3539	19	FALSCH	43641717	KR63E	33	7,61	01.07.2017
3540	3	WAHR	00000009	2	15	6,00	01.07.2017
3540	20	WAHR	00000009	2	15	6,00	01.07.2017
3540	14	WAHR	00000009	2	15	6,00	01.07.2017
3540	12	WAHR	00000009	2	15	6,00	01.07.2017
3540	13	WAHR	00000009	2	70	6,00	01.07.2017
3540	1	FALSCH	43635740	30/20	12	14,72	01.07.2017
3540	2	FALSCH	43635740	30/20	12	14,72	01.07.2017
3540	4	FALSCH	43635740	30/20	12	14,72	01.07.2017
3540	18	FALSCH	43635740	30/20	12	14,72	01.07.2017
3540	19	FALSCH	43635740	30/20	12	14,72	01.07.2017
3540	21	FALSCH	43638875	T15D631	18	9,97	01.07.2017
3540	7	FALSCH	43638819	45/40	32	22,34	01.07.2017
3540	9	FALSCH	43638819	45/40	32	22,34	01.07.2017
3540	10	FALSCH	43635740	30/20	12	14,72	01.07.2017
3540	11	FALSCH	43635740	30/20	12	14,72	01.07.2017
3540	5	FALSCH	43635740	30/20	12	14,72	01.07.2017
3540	16	FALSCH	43638875	T15D631	72	9,97	01.07.2017
3540	6	FALSCH	43638819	45/40	32	22,34	01.07.2017
3540	8	FALSCH	43638819	45/40	32	22,34	01.07.2017
3540	15	FALSCH	43638875	T15D631	18	9,97	01.07.2017
3540	17	FALSCH	43638875	T15D631	72	9,97	01.07.2017
3541	13	WAHR	00000009	2	70	6,00	01.07.2017
3541	14	WAHR	00000009	2	15	6,00	01.07.2017
3541	3	WAHR	00000009	2	15	6,00	01.07.2017
3541	12	WAHR	00000009	2	15	6,00	01.07.2017
3541	22	WAHR	00000009	2	15	6,00	01.07.2017
3541	15	FALSCH	43638875	T15D631	18	9,97	01.07.2017
3541	16	FALSCH	43638875	T15D631	9	9,97	01.07.2017
3541	6	FALSCH	43638819	45/40	32	22,34	01.07.2017
3541	7	FALSCH	43638819	45/40	32	22,34	01.07.2017
3541	8	FALSCH	43638819	45/40	32	22,34	01.07.2017
3541	17	FALSCH	43638819	45/40	36	22,34	01.07.2017
3541	19	FALSCH	43638819	45/40	10	22,34	01.07.2017
3541	4	FALSCH	43635740	30/20	12	14,72	01.07.2017
3541	5	FALSCH	43635740	30/20	12	14,72	01.07.2017
3541	21	FALSCH	43635740	30/20	12	14,72	01.07.2017
3541	23	FALSCH	43638875	T15D631	20	9,97	01.07.2017
3541	24	FALSCH	43638875	T15D631	8	9,97	01.07.2017
3541	1	FALSCH	43635740	30/20	12	14,72	01.07.2017
3541	10	FALSCH	43635740	30/20	12	14,72	01.07.2017
3541	26	FALSCH	43638875	T15D631	9	9,97	01.07.2017
3541	9	FALSCH	43638819	45/40	32	22,34	01.07.2017
3541	18	FALSCH	43638819	45/40	36	22,34	01.07.2017
3541	2	FALSCH	43635740	30/20	12	14,72	01.07.2017
3541	11	FALSCH	43635740	30/20	12	14,72	01.07.2017
3541	20	FALSCH	43635740	30/20	12	14,72	01.07.2017
3541	25	FALSCH	43638875	T15D631	18	9,97	01.07.2017
3543	2	FALSCH	43639396	TG14/175	28	12,77	01.07.2017
3543	3	FALSCH	43639396	TG14/175	27	12,77	01.07.2017
3543	4	FALSCH	43639396	TG14/175	28	12,77	01.07.2017
3543	5	FALSCH	43639396	TG14/175	27	12,77	01.07.2017
3543	6	FALSCH	43639396	TG14/175	28	12,77	01.07.2017
3543	1	FALSCH	43639396	TG14/175	27	12,77	01.07.2017
3544	14	WAHR	00000009	2	15	6,00	01.07.2017

Anhang 1: Datenauszug vom Beladevorgang der Tunnelofenwägen

Wagen Nr.	Robotersequenz	Setzhilfe	Fertigungsauftrag	Format	Stück	Gewicht in kg	Datum
3544	3	WAHR	00000009	2	15	6,00	01.07.2017
3544	12	WAHR	00000009	2	15	6,00	01.07.2017
3544	22	WAHR	00000009	2	15	6,00	01.07.2017
3544	17	FALSCH	43638825	35/8	40	17,38	01.07.2017
3544	15	FALSCH	43635739	30/40	12	14,72	01.07.2017
3544	16	FALSCH	43635739	30/40	6	14,72	01.07.2017
3544	6	FALSCH	43638825	35/8	40	17,38	01.07.2017
3544	7	FALSCH	43638825	35/8	40	17,38	01.07.2017
3544	8	FALSCH	43638825	35/8	40	17,38	01.07.2017
3544	9	FALSCH	43638825	35/8	40	17,38	01.07.2017
3544	5	FALSCH	43635739	30/40	12	14,72	01.07.2017
3544	23	FALSCH	43635739	30/40	12	14,72	01.07.2017
3544	24	FALSCH	43635739	30/40	6	14,72	01.07.2017
3544	1	FALSCH	43635739	30/40	12	14,72	01.07.2017
3544	10	FALSCH	43635739	30/40	12	14,72	01.07.2017
3544	19	FALSCH	43635739	30/40	36	14,72	01.07.2017
3544	21	FALSCH	43635739	30/40	12	14,72	01.07.2017
3544	2	FALSCH	43635739	30/40	12	14,72	01.07.2017
3544	4	FALSCH	43635739	30/40	12	14,72	01.07.2017
3544	11	FALSCH	43635739	30/40	12	14,72	01.07.2017
3544	20	FALSCH	43635739	30/40	12	14,72	01.07.2017
3544	18	FALSCH	43638825	35/8	40	17,38	01.07.2017
3544	13	WAHR	00000009	2	75	6,00	01.07.2017
3545	12	WAHR	00000009	2	15	6,00	01.07.2017
3545	13	WAHR	00000009	2	75	6,00	01.07.2017
3545	22	WAHR	00000009	2	15	6,00	01.07.2017
3545	3	WAHR	00000009	2	15	6,00	01.07.2017
3545	9	FALSCH	43638825	35/8	40	17,38	01.07.2017
3545	10	FALSCH	43635739	30/40	12	14,72	01.07.2017
3545	11	FALSCH	43635739	30/40	12	14,72	01.07.2017
3545	17	FALSCH	43638825	35/8	40	17,38	01.07.2017
3545	18	FALSCH	43638825	35/8	40	17,38	01.07.2017
3545	6	FALSCH	43638825	35/8	40	17,38	01.07.2017
3545	8	FALSCH	43638825	35/8	40	17,38	01.07.2017
3545	1	FALSCH	43635739	30/40	12	14,72	01.07.2017
3545	2	FALSCH	43635739	30/40	12	14,72	01.07.2017
3545	19	FALSCH	43635739	30/40	25	14,72	01.07.2017
3545	20	FALSCH	43635739	30/40	12	14,72	01.07.2017
3545	4	FALSCH	43635739	30/40	12	14,72	01.07.2017
3545	15	FALSCH	43635739	30/40	12	14,72	01.07.2017
3545	24	FALSCH	43635739	30/40	6	14,72	01.07.2017
3545	5	FALSCH	43635739	30/40	12	14,72	01.07.2017
3545	16	FALSCH	43635739	30/40	6	14,72	01.07.2017
3545	21	FALSCH	43635739	30/40	12	14,72	01.07.2017
3545	23	FALSCH	43635739	30/40	12	14,72	01.07.2017
3545	7	FALSCH	43638825	35/8	40	17,38	01.07.2017
3545	14	WAHR	00000009	2	15	6,00	01.07.2017
3546	3	FALSCH	43639396	TG14/175	27	12,77	02.07.2017
3546	4	FALSCH	43639396	TG14/175	28	12,77	02.07.2017
3546	5	FALSCH	43639396	TG14/175	27	12,77	02.07.2017
3546	6	FALSCH	43639396	TG14/175	28	12,77	02.07.2017
3546	2	FALSCH	43639396	TG14/175	28	12,77	02.07.2017
3546	1	FALSCH	43639396	TG14/175	27	12,77	02.07.2017

Tabelle 29: Datenauszug vom Beladevorgang von zehn Tunnelofenwägen, Quelle: eigene Darstellung.

ANHANG 2: AUFLISTUNG DER PRODUKTFORMATE MIT ANGABE DER PRODUKTANZAHL JE TRÄGERMEDIUM

In der Tabelle 30 sind sämtliche Produktformate aus dem Betrachtungszeitraum vom 01.07.2017 bis zum 01.09.2017 angeführt. Zusätzlich sind das jeweilige Gewicht der Produkte sowie die Produktanzahl auf den einzelnen, potentiellen Trägermedien angeführt.

Format-bezeichnung	Produktgewicht in kg	Stückzahl kompakt beschichtete, konventionelle Palette	Stückzahl lose beschichtete, konventionelle Palette	Stückzahl einlagig beschichtete Stahlpalette
0SS17A	25,89	42	34	10
1	5,68	231	185	44
1-76	6,38	204	163	39
1C30G739	15,67	90	72	16
1C375G739	19,58	72	58	13
1C42G739	22,18	54	43	11
1C42G739NL	21,73	54	43	12
1C50G739	26,40	48	38	9
1C50G739NR	25,52	48	38	10
1D30N535	16,70	92	74	15
1D30N822	23,39	69	55	11
1GB16-76	9,66	138	110	26
1GB24-76	9,66	138	110	26
1GG10-76	12,90	72	58	19
1GG16-76	12,90	92	74	19
1GG24-76	12,90	92	74	19
1H10-76	6,43	199	159	39
1H16-76	6,39	220	176	39
1H6-76	6,39	219	175	39
1HL16-76	9,60	155	124	26
1HL6-76	9,60	155	124	26
1L	8,09	159	127	31
1LB-76	13,62	93	74	18
1P0	9,02	134	107	28
2	6,00	244	195	42
20/0	9,63	151	121	26
20/20	9,60	128	102	26
218A	10,69	96	77	23
220	12,23	109	87	20
25/16	12,04	106	85	21
25/30	12,04	101	81	21
25/30/117	10,59	144	115	24
25/40	12,04	111	89	21
25/60	12,04	106	85	21
25/B	18,64	60	48	13
2-50	4,68	288	230	53
2-76	7,58	179	143	33
2G16	6,38	200	160	39
2GB10	9,66	130	104	26
2GB24	9,66	144	115	26
2GG10	12,84	79	63	19
2GG24	12,84	93	74	19
2GG50	12,84	82	66	19
2GG6	12,84	96	77	19

Anhang 2: Auflistung der Produktformate mit Angabe der Produktanzahl je Trägermedium

Format-bezeichnung	Produktgewicht in kg	Stückzahl kompakt beschichtete, konventionelle Palette	Stückzahl lose beschichtete, konventionelle Palette	Stückzahl einlagig beschichtete Stahlpalette
2HL10	9,57	120	96	26
ZR857	21,69	66	53	12
2L	9,86	141	113	25
2L-76	11,30	112	90	22
2LB-76	17,11	78	62	15
2Q28-76	7,72	179	143	32
30/0	14,45	88	70	17
30/20	14,44	89	71	17
30/20S50	12,39	91	73	20
30/36	14,44	102	82	17
30/40	14,44	85	68	17
30/70	14,44	89	71	17
30/70/126	15,99	81	65	16
30/70S50	12,39	88	70	20
30/B	22,07	59	47	11
33X/117	30,78	36	29	8
35/0	17,17	67	54	15
35/20	16,85	69	55	15
35/40	17,06	68	54	15
35/8	17,06	69	55	15
35/80	16,85	69	55	15
3-76	10,36	120	96	24
3-76ZR	11,49	80	64	22
3B152-76	11,17	k.A.	k.A.	22
3B-76	16,47	72	58	15
3H10-76	10,98	118	94	23
3H16-76	10,98	106	85	23
3H24-76	11,29	107	86	22
3H50-76	10,33	115	92	24
3HD526	10,07	117	94	25
3L-76	16,47	84	67	15
3LB-76	24,72	46	37	10
3X/117	15,39	84	67	16
40/0	19,50	63	50	13
40/0NF	19,20	80	64	13
40/20	19,50	66	53	13
40/80-76A	14,16	91	73	18
40/8-76	14,68	112	90	17
40/B	29,79	42	34	8
40/BNF	28,76	55	44	9
45/0	21,67	52	42	12
45/20	21,67	52	42	12
45/40	22,34	51	41	11
45/60	21,80	54	43	11
45/90	21,67	52	42	12
45/90S50	20,04	55	44	12
45/B	32,53	34	27	8
50/20	24,83	51	41	10
50/40	24,83	61	49	10
618A	11,43	96	77	22
A12X9X3-21/2	16,12	72	58	16
A131/2X41/2X3N2	9,07	155	124	28
A40/3264D	17,43	59	47	14
A9X41/2X3-21/2	5,82	234	187	43
AMTWD	21,83	60	48	11
A-T	38,88	28	22	6
AV-T	40,36	28	22	6

Anhang 2: Auflistung der Produktformate mit Angabe der Produktanzahl je Trägermedium

Format-bezeichnung	Produktgewicht in kg	Stückzahl kompakt beschichtete, konventionelle Palette	Stückzahl lose beschichtete, konventionelle Palette	Stückzahl einlagig beschichtete Stahlpalette
B425	11,50	120	96	22
BC40G616	24,66	48	38	10
BC40G739	29,20	k.A.	k.A.	9
BC55G616	33,88	36	29	7
BCK1	16,32	52	42	15
BLMC1M	28,20	42	34	9
BR9/79M	35,27	k.A.	k.A.	7
BRD1G	23,04	54	43	11
B-T1L	38,60	28	22	6
B-T1R	38,60	28	22	6
CSTWD	20,38	41	33	12
DH634/475	18,34	k.A.	k.A.	14
FDTZ-E10	15,69	k.A.	k.A.	16
FDTZ-E12	18,25	k.A.	k.A.	14
FZ36243	10,91	132	106	23
FZ46721	10,57	k.A.	k.A.	24
G082	14,54	98	78	17
G083	18,10	74	59	14
G153	21,02	63	50	12
G22	12,90	109	87	19
G33	15,18	85	68	16
G51	9,70	148	118	26
G52	12,20	111	89	20
GB081	16,79	61	49	15
GB082	21,80	52	42	11
GB083	27,13	40	32	9
GB21	15,18	68	54	16
GB22	19,36	60	48	13
GB31	14,73	71	57	17
GB32	18,74	62	50	13
GB33	22,76	48	38	11
GB51	14,51	76	61	17
GB52	18,30	63	50	14
HT11	11,17	105	84	22
JDE11A	27,51	39	31	9
K9X3X41/2-31/2	5,98	231	185	42
K9X3X41/2-4	6,35	230	184	39
KA63-131/2A	11,31	120	96	22
KEL1	21,96	60	48	11
KEL3	23,09	52	42	11
KLZ6A/54A	8,76	160	128	29
KLZ6B/73A	10,47	136	109	24
KR33	9,90	115	92	25
KR33A	9,27	124	99	27
KR63E	7,61	152	122	33
MIP-G1	21,55	56	45	12
MIP-G1/916	29,22	40	32	9
MIP-G2	14,35	104	83	17
MIP-G2/916	19,49	80	64	13
PF1	10,69	125	100	23
PF2	13,43	87	70	19
PF3	16,13	78	62	15
PFQ43	15,04	78	62	17
PFQ43-70	11,69	104	83	21
PFT2	12,91	96	77	19
PP300-117	31,91	36	29	8
Q081-76	9,90	144	115	25

Anhang 2: Auflistung der Produktformate mit Angabe der Produktanzahl je Trägermedium

Format-bezeichnung	Produktgewicht in kg	Stückzahl kompakt beschichtete, konventionelle Palette	Stückzahl lose beschichtete, konventionelle Palette	Stückzahl einlagig beschichtete Stahlpalette
QIT-10A	16,84	64	51	15
QIT-11A	12,63	88	70	20
QIT-15A	10,64	115	92	23
R205SC/88	13,01	111	89	19
RTM106	13,45	91	73	19
RTM107	20,16	56	45	12
RTM108	16,24	72	58	15
RTM109	24,36	46	37	10
RTM112	20,70	56	45	12
RTM113	19,52	56	45	13
RTM148	23,02	48	38	11
RTM167	31,10	47	38	8
S12X6X3	11,33	128	102	22
S12X6X41/2ZH2	15,77	63	50	16
S12X6X4ZH2	14,02	85	68	18
S12X9X3ZH2	15,77	42	34	16
S12X9X41/2ZH2	23,65	42	34	11
S131/2X6X3	12,74	113	90	20
S131/2X6X3ZH1	11,82	120	96	21
S131/2X6X4	17,15	82	66	15
S131/2X9X3	19,22	66	53	13
S15X41/2X3	10,56	135	108	24
S15X6X3	14,63	112	90	17
S15X6X41/2ZH1	19,72	54	43	13
S15X6X4ZH2	17,52	70	56	14
S15X9X3ZH2	19,71	56	45	13
S15X9X41/2ZH2	29,57	36	29	8
S18X6X3ZH1	15,77	66	53	16
S18X9X3ZH2	23,65	44	35	11
S35-83,4	23,34	64	51	11
S9X41/2X3	6,33	221	177	40
S9X6X3	8,77	175	140	28
S9X6X4	11,33	134	107	22
S9X6X41/2ZH2	11,82	115	92	21
S9X9X3	13,17	97	78	19
S9X9X3ZH1	11,82	92	74	21
S9X9X41/2ZH2	17,74	54	43	14
SL564	5,27	261	209	47
SL676	6,23	220	176	40
SL864	5,20	260	208	48
T15D631	9,97	k.A.	k.A.	25
TG14/175	12,77	113	90	20
TL14/175	11,06	120	96	23
TL17/175	13,37	66	53	19
VDB/45	39,01	36	29	6
VDB91C1	6,61	169	135	38
W12X6X3-23/4	11,22	136	109	22
W12X9X3-2	14,23	81	65	18
W12X9X3-21/2	16,12	72	58	16
W12X9X3-23/4	16,85	72	58	15
W131/2X41/2X3-2	7,92	181	145	32
W131/2X6X4N10	15,60	97	78	16
W131/2X9X4N11	23,42	54	43	11
W131/2X9X4N28	23,51	48	38	11
W15X6X3-2	11,81	129	103	21
W15X6X3-21/2	12,99	120	96	19
W15X6X3-23/4ZH1	12,60	90	72	20

Anhang 2: Auflistung der Produktformate mit Angabe der Produktanzahl je Trägermedium

Format- bezeichnung	Produktgewicht in kg	Stückzahl kompakt beschichtete, konventionelle Palette	Stückzahl lose beschichtete, konventionelle Palette	Stückzahl einlagig beschichtete Stahlpalette
W15X6X4-31/4	17,12	89	71	15
W15X6X4-325/64	17,44	88	70	14
W15X9X3-23/4ZH2	18,90	60	48	13
W15X9X4-31/4	25,66	44	35	10
W15X9X4-37/32	25,81	44	35	10
W161/2X6X4N14	18,57	72	58	13
W18X6X4-31/16	20,00	72	58	13
W18X6X4-33/32	20,28	68	54	12
W18X8X4-33/16	27,14	51	41	9
W18X9X4-31/16	29,98	36	29	8
W24X6X4-225/32	25,84	48	38	10
W9X41/2X3-21/2	5,82	233	186	43
WLAK310	15,57	62	50	16
WMCS8	14,94	95	76	17

Tabelle 30: Auflistung der Produktformate mit Angabe der Produktanzahl je Trägermedium, Quelle: eigene Darstellung.

ANHANG 3: INVESTITIONSKOSTENERHEBUNG

In den folgenden Tabellen sind die Investitionskostenerhebungen der drei potentiellen Anlagenkonfigurationen dargestellt. Die Erhebungen wurden anhand der sogenannten Dreipunktmethode durchgeführt.

Bei der Dreipunktmethode werden je Kostenelement drei Werte definiert. Dabei handelt es sich um den wahrscheinlichsten, den minimalsten sowie den maximalsten Wert. Aus den drei definierten Werten wird in der genannten Methode der erwartete Wert ermittelt. Dieser erwartete Wert ist für die Gesamtkostenermittlung relevant und somit in der grau eingefärbten Spalte dargestellt.

Investitionskostenerhebung der Anlagenkonfiguration 1:

Kostengruppe	Kostenelement	Most Likely in €	Min. in €	Max. in €	erwarteter Wert in €
sonstige	Behörden	2.500	1.500	5.000	2.750
sonstige	Risikobeurteilung, Gesamt CE	7.000	4.000	15.000	7.833
sonstige	Hauptprojektleiter	56.000	40.000	96.000	60.000
sonstige	Demontage Altanlagen	7.000	5.000	10.000	7.167
Elektrik	Netzwerkinfrastruktur	20.000	10.000	35.000	20.833
sonstige	externes Engineering 1	15.000	10.000	30.000	16.667
sonstige	externes Engineering 2	15.000	10.000	30.000	16.667
sonstige	internes Engineering	63.600	42.400	84.800	63.600
sonstige	Werkstattstunden mechanisch	10.600	7.950	23.850	12.367
sonstige	Werkstattstunden elektrisch	10.600	7.950	23.850	12.367
Sicherheitstechnik	Sicherheitstechnik 1	7.000	5.000	15.000	8.000
Mechanik	Gleisanlage	40.000	32.000	48.000	40.000
Mechanik	Tunnelofenwagen (TOW) Transporteinrichtung	130.000	112.000	150.000	130.333
Mechanik	TOW - Transport Programmierung & Steuerung	45.000	40.000	60.000	46.667
Mechanik	TOW - Transport Montage & IBN	35.000	30.000	50.000	36.667
Mechanik	TOW - Transporteinrichtung 2	44.000	40.000	60.000	46.000
Robotik	Absetzroboter	57.000	55.000	65.000	58.000
Robotik	(Savemove, FTP; I/O Karten, Profibus, Load...)	30.000	25.000	40.000	30.833
Robotik	Single Controller	10.000	9.000	12.000	10.167
Robotik	TeachPanel	6.000	5.000	8.000	6.167
Robotik	Ventilaufbau für Werkzeuge+ Vakuumpumpe	25.000	20.000	30.000	25.000
Robotik	Werkzeugwechselsysteme Losteil	15.000	11.250	18.750	15.000
Robotik	Werkzeugwechselsysteme Fixteil	2.830	2.830	2.830	2.830
Robotik	Werkzeugbahnhof	12.000	8.000	20.000	12.667
Robotik	Steinvermessung	200.000	150.000	350.000	216.667
Robotik	Werkzeuge	87.500	37.500	150.000	89.583
Sicherheitstechnik	Sicherheitstechnik 2	40.000	35.000	55.000	41.667
Mechanik	Blindbesatzförderer	40.000	30.000	55.000	40.833
Robotik	Steinreinigung am TOW	100.000	50.000	250.000	116.667
Elektrik	Software	45.000	30.000	80.000	48.333
Mechanik	TOW - Positioniereinrichtung	25.000	20.000	40.000	26.667
Mechanik	Roboterpodest	11.000	5.000	15.000	10.667
Mechanik	Begehbühne	50.000	25.000	60.000	47.500
Mechanik	Taktband Einzelstein	43.000	25.000	75.000	45.333
Elektrik	Beleuchtung	12.000	7.000	20.000	12.500
Elektrik	elektrische Einspeisung	6.500	5.000	10.000	6.833
Elektrik	Druckluft, Wasser	6.000	5.000	10.000	6.500
Mechanik	Steinreinigung am Band	35.000	25.000	60.000	37.500
Mechanik	Bruchabtransport	10.000	7.000	15.000	10.333
Robotik	Palettierroboter	114.000	110.000	130.000	116.000
Robotik	lineare Verfahreneinrichtung	170.000	100.000	200.000	163.333

Anhang 3: Investitionskostenerhebung

Robotik	(Savemove, FTP; I/O Karten, Profibus, Load...)	60.000	50.000	80.000	61.667
Robotik	Single Controller	20.000	18.000	24.000	20.333
Robotik	TeachPanel	12.000	10.000	16.000	12.333
Robotik	Ventilaufbau für Werkzeuge+ Vakuumpumpe	50.000	40.000	60.000	50.000
Robotik	Werkzeugwechselsysteme Fixteil	21.000	15.750	26.250	21.000
Robotik	Werkzeugwechselsysteme Losteil	5.660	5.660	5.660	5.660
Robotik	Werkzeugbahnhof	24.000	16.000	40.000	25.333
Robotik	Steinvermessung	80.000	70.000	120.000	85.000
Robotik	Werkzeuge	122.500	52.500	210.000	125.417
Robotik	Leerpalettenmagazine	25.000	12.000	40.000	25.333
Robotik	Leerpalettenroboter	57.000	55.000	65.000	58.000
Robotik	(Savemove, FTP; I/O Karten, Profibus, Load...)	30.000	25.000	40.000	30.833
Robotik	Single Controller	10.000	9.000	12.000	10.167
Robotik	TeachPanel	6.000	5.000	8.000	6.167
Robotik	Ventilaufbau für Werkzeuge+ Vakuumpumpe	12.000	10.000	20.000	13.000
Robotik	Werkzeug für Palettenhandling	12.000	7.000	20.000	12.500
Mechanik	Kartonagenmagazin	1.500	1.000	4.000	1.833
Mechanik	Folienspender	12.000	8.000	17.000	12.167
Mechanik	Lamellenförderer mit Zentrierung	420.000	300.000	480.000	410.000
Sicherheitstechnik	Sicherheitstechnik	40.000	35.000	70.000	44.167
Elektrik	Elektrik allgemein	330.000	250.000	450.000	336.667
Elektrik	Programmierung IBN	75.000	50.000	100.000	75.000
Mechanik	Montagearbeiten	50.000	35.000	85.000	53.333
Mechanik	Baumaßnahmen	130.000	100.000	170.000	131.667
Robotik	Drucker	26.000	25.000	30.000	26.500
Mechanik	Spendesystem + Einhausung	60.000	50.000	85.000	62.500
Elektrik	IT Anbindung	7.000	5.000	15.000	8.000
Robotik	Etikettierroboter komplett inkl. Werkzeug	45.000	35.000	65.000	46.667
Mechanik	Infrastrukturmaßnahmen	30.000	20.000	35.000	29.167
Gesamtkosten der Anlagenkonfiguration 1:					3.525.907

Tabelle 31: Investitionskostenerhebung der Anlagenkonfiguration 1 nach der Dreipunktmethode, Quelle: eigene Darstellung.

Investitionskostenerhebung der Anlagenkonfiguration 2:

Kostengruppe	Kostenelement	Most Likely in €	Min. in €	Max. in €	erwarteter Wert in €
sonstige	Behörden	2.500	1.500	5.000	2.750
sonstige	Risikobeurteilung, Gesamt CE	7.000	4.000	15.000	7.833
sonstige	Hauptprojektleiter	24.000	16.000	32.000	24.000
sonstige	Demontage Altanlagen	7.000	5.000	10.000	7.167
Elektrik	Netzwerkinfrastruktur	20.000	10.000	35.000	20.833
sonstige	externes Engineering 1	15.000	10.000	30.000	16.667
sonstige	externes Engineering 2	15.000	10.000	30.000	16.667
sonstige	internes Engineering	13.000	10.400	26.000	14.733
sonstige	Werkstattstunden mechanisch	10.400	7.800	23.400	12.133
sonstige	Werkstattstunden elektrisch	10.400	7.800	23.400	12.133
Mechanik	Gleisanlage	40.000	32.000	48.000	40.000
Mechanik	TOW – Transporteinrichtung 1	130.000	112.000	150.000	130.333
Mechanik	TOW - Transport Programmierung & Steuerung	45.000	40.000	60.000	46.667
Mechanik	TOW - Transport Montage & IBN	35.000	30.000	50.000	36.667
Mechanik	TOW – Transporteinrichtung 2	44.000	40.000	60.000	46.000
Robotik	Absetzroboter	57.000	55.000	65.000	58.000
Robotik	(Savemove, FTP; I/O Karten, Profibus)	30.000	25.000	40.000	30.833
Robotik	Single Controller	10.000	9.000	12.000	10.167
Robotik	TeachPanel	6.000	5.000	8.000	6.167
Robotik	Ventilaufbau für Werkzeuge + Vakuumpumpe	25.000	20.000	30.000	25.000
Robotik	Werkzeugwechselsysteme Fixteil	15.000	11.250	18.750	15.000
Robotik	Werkzeugwechselsysteme Losteil	2.830	2.830	2.830	2.830
Robotik	Werkzeugbahnhof	12.000	8.000	20.000	12.667
Robotik	Steinvermessung	200.000	150.000	350.000	216.667

Anhang 3: Investitionskostenerhebung

Robotik	Werkzeuge	87.500	37.500	150.000	89.583
Sicherheitstechnik	Sicherheitstechnik	87.000	75.000	140.000	93834
Mechanik	Blindbesatzförderer	40.000	30.000	55.000	40.833
Robotik	Steinreinigung am TOW	100.000	50.000	250.000	116.667
Elektrik	Software	45.000	30.000	80.000	48.333
Mechanik	TOW - Positioniereinrichtung	25.000	20.000	40.000	26.667
Mechanik	Roboterpodest	11.000	5.000	15.000	10.667
Mechanik	Begehbühne	50.000	25.000	60.000	47.500
Mechanik	Taktband	43.000	25.000	75.000	45.333
Elektrik	Beleuchtung, Arbeitsplatzgestaltung	12.000	7.000	20.000	12.500
Elektrik	elektrische Einspeisung	6.500	5.000	10.000	6.833
Elektrik	Medienversorgung	6.000	5.000	10.000	6.500
Mechanik	Steinreinigung am Band	70.000	50.000	120.000	75.000
Mechanik	Bruchabtransport	10.000	7.000	15.000	10.333
Robotik	Palettierroboter	57.000	55.000	65.000	58.000
Robotik	(Savemove, FTP; I/O Karten, Profibus)	30.000	25.000	40.000	30.833
Robotik	Single Controller	10.000	9.000	12.000	10.167
Robotik	TeachPanel	6.000	5.000	8.000	6.167
Robotik	Ventilaufbau für Werkzeuge+ Vakuumpumpe	25.000	20.000	30.000	25.000
Robotik	Werkzeugwechselsysteme Losteil	15.000	11.250	18.750	15.000
Robotik	Werkzeugwechselsysteme Fixteil	2.830	2.830	2.830	2.830
Robotik	Werkzeughof	12.000	8.000	20.000	12.667
Robotik	Steinvermessung	40.000	35.000	60.000	42.500
Robotik	Werkzeuge	87.500	37.500	150.000	89.583
Robotik	ULP-Handling Roboter	110.000	100.000	150.000	115.000
Robotik	ULP-Palettenstellplätze	180.000	100.000	250.000	178.333
Elektrik	Elektrik allgemein, Programmierung, IBN	365.000	275.000	500.000	372.500
Mechanik	Montage incl. Baumaßnahmen	119.000	74.000	168.000	119.666
Anlagenkosten:					2.520.743
Trägermedium	2.400 Stk. Stahlpaletten mit Stützen	840.000	780.000	900.000	840.000
Anlagenkosten inklusive Trägermedien:					3.360.743
Mechanik	ULP Stapel & Entstapelsystem	200.000	150.000	170.000	186.667
Robotik	MCC Laser für ULP abräumen	50.000	40.000	75.000	52.500
Robotik	Robotersockel	4.500	3.000	8.000	4.833
Robotik	Vereinzelungsroboter	57.000	55.000	65.000	58.000
Robotik	(Savemove, FTP; I/O Karten, Profibus)	30.000	25.000	40.000	30.833
Robotik	Single Controller	10.000	9.000	12.000	10.167
Robotik	TeachPanel	6.000	5.000	8.000	6.167
Robotik	Ventilaufbau für Werkzeuge+ Vakuumpumpe	25.000	20.000	30.000	25.000
Robotik	Werkzeugwechselsysteme	6.000	4.500	7.500	6.000
Robotik	Werkzeugwechselsysteme	2.830	2.830	2.830	2.830
Robotik	Werkzeughof	12.000	8.000	20.000	12.667
Robotik	Werkzeuge	35.000	15.000	60.000	35.833
Mechanik	Taktband	80.000	65.000	100.000	80.833
Robotik	Drucker	26.000	25.000	30.000	26.500
Mechanik	Spendesystem + Einhausung	60.000	50.000	85.000	62.500
Elektrik	IT Anbindung	7.000	5.000	15.000	8.000
Robotik	Etikettierroboter komplett inkl. Werkzeug	45.000	35.000	65.000	46.667
Robotik	MCC Laser am Taktband	25.000	20.000	40.000	26.667
Robotik	Palettierroboter	57.000	55.000	65.000	58.000
Robotik	Savemove, FTP; I/O Karten, Profibus)	30.000	25.000	40.000	30.833
Robotik	Single Controller	10.000	9.000	12.000	10.167
Robotik	TeachPanel	6.000	5.000	8.000	6.167
Robotik	Ventilaufbau für Werkzeuge+ Vakuumpumpe	25.000	20.000	30.000	25.000
Robotik	Werkzeugwechselsysteme Losteil	6.000	4.500	7.500	6.000
Robotik	Werkzeugwechselsysteme Fixteil	2.830	2.830	2.830	2.830
Robotik	Werkzeughof	12.000	8.000	20.000	12.667
Robotik	Werkzeuge	35.000	15.000	60.000	35.833
Robotik	Robotersockel 1	4.500	3.000	8.000	4.833
Robotik	Robotersockel 2	4.500	3.000	8.000	4.833

Anhang 3: Investitionskostenerhebung

Robotik	Leerpalettenroboter	57.000	55.000	65.000	58.000
Robotik	(Savemove, FTP; I/O Karten, Profibus)	30.000	25.000	40.000	30.833
Robotik	Single Controller	10.000	9.000	12.000	10.167
Robotik	TeachPanel	6.000	5.000	8.000	6.167
Robotik	Ventilaufbau für Werkzeuge+ Vakuumpumpe	25.000	20.000	30.000	25.000
Robotik	Werkzeuge	12.000	7.000	20.000	12.500
Mechanik	Förderer für Vollpaletten	90.000	50.000	150.000	93.333
Mechanik	Palettenmagazin	25.000	12.000	40.000	25.333
Mechanik	Entnahmezelle	18.000	14.000	30.000	19.333
Mechanik	Etikettierzelle	10.000	7.000	15.000	10.333
Mechanik	Palettierzelle	20.000	15.000	25.000	20.000
Mechanik	Palettenmanipulation	40.000	35.000	50.000	40.833
Elektrik	Elektrik allgemein	343.000	271.000	437.000	346.667
sonstige	CE Kennzeichnung	12.000	5.000	15.000	11.333
Mechanik	Montagearbeiten	80.000	50.000	120.000	81.667
sonstige	IBN & Produktionsbegleitung	45.000	35.000	70.000	47.500
Mechanik	mechanische Projektunterstützung	7.950	5.300	21.200	9.717
Elektrik	elektrische Projektunterstützung	7.950	5.300	21.200	9.717
sonstige	Bsp. Umstellung von Verpackungsanlage	k.A.	k.A.	k.A.	-
Mechanik	Fundamente, Stahlarbeiten	30.000	20.000	50.000	31.667
sonstige	Hauptprojektleiter	12.000	8.000	32.000	14.667
Mechanik	Steinreinigung am Band vierseitig	35.000	25.000	60.000	37.500
Palettieranlage gesamt:					1.822.093
Mechanik	Hubeinrichtungen bei den Tränkbecken	120.000	84.000	180.000	124.000
Mechanik	Vorratsbehälter	65.000	50.000	100.000	68.333
Elektrik	Pumpen & Instrumentierung	150.000	100.000	240.000	156.667
sonstige	Retro Fit Trockner (Mauerung)	65.000	40.000	120.000	70.000
Mechanik	neue Wagen für den Trockner 1	120.000	105.000	225.000	135.000
Mechanik	Gleisanlage neu für den Trockner	20.000	16.000	24.000	20.000
sonstige	Gleisanlage tiefer legen (Baumeister)	150.000	100.000	250.000	158.333
Sicherheitstechnik	Sicherheitstechnik	60.000	40.000	100.000	63.333
sonstige	Baumeisterarbeiten allgemein (Tränke ..)	35.000	25.000	60.000	37.500
Mechanik	Adapt. Wärmeauskopplung von Tunnelofen	40.000	25.000	70.000	42.500
Elektrik	Steuerung Elektrotechnik	46.200	42.900	59.400	47.850
sonstige	CE - Kennzeichnung	9.000	8.000	15.000	9.833
Mechanik	mechanische Projektunterstützung	7.950	5.300	21.200	9.717
Elektrik	elektrische Projektunterstützung	15.900	10.600	26.500	16.783
sonstige	Hauptprojektleiter	24.000	16.000	40.000	25.333
Mechanik	ULP Stapel & Entstapelungssystem	170.000	150.000	250.000	180.000
Anpassungen relevanter Prozesse für die Beschickung mit Stahlpaletten:					1.285.183
Gesamtkosten der Anlagenkonfiguration 2					6.468.019

Tabelle 32: Investitionskostenerhebung der Anlagenkonfiguration 2 nach der Dreipunktmethode, Quelle: eigene Darstellung.

Investitionskostenerhebung der Anlagenkonfiguration 3:

Kostengruppe	Kostenelement	Most Likely in €	Min. in €	Max. in €	erwarteter Wert in €
sonstige	Behörden	2.500	1.500	5.000	2.750
sonstige	Risikobeurteilung, Gesamt CE	7.000	4.000	15.000	7.833
sonstige	Hauptprojektleiter	56.000	40.000	96.000	60.000
sonstige	Demontage Altanlagen	7.000	5.000	10.000	7.167
Elektrik	Netzwerkinfrastruktur	20.000	10.000	35.000	20.833
sonstige	externes Engineering 1	15.000	10.000	30.000	16.667
sonstige	externes Engineering 2	15.000	10.000	30.000	16.667
sonstige	internes Engineering	63.600	42.400	84.800	63.600
sonstige	Werkstattstunden mechanisch	10.600	7.950	23.850	12.367
sonstige	Werkstattstunden elektrisch	10.600	7.950	23.850	12.367

Anhang 3: Investitionskostenerhebung

Sicherheitstechnik	Sicherheitsausrüstung	7.000	5.000	15.000	8.000
Mechanik	Gleisanlage	40.000	32.000	48.000	40.000
Mechanik	TOW – Transporteinrichtung 1	130.000	112.000	150.000	130.333
Mechanik	TOW - Transport Programmierung & Steuerung	45.000	40.000	60.000	46.667
Mechanik	TOW - Transport Montage & IBN	35.000	30.000	50.000	36.667
Mechanik	TOW – Transporteinrichtung 2	44.000	40.000	60.000	46.000
Robotik	Absetzroboter	57.000	55.000	65.000	58.000
Robotik	(Savemove, FTP; I/O Karten, Profibus, Load...)	30.000	25.000	40.000	30.833
Robotik	Single Controller	10.000	9.000	12.000	10.167
Robotik	TeachPanel	6.000	5.000	8.000	6.167
Robotik	Ventilaufbau für Werkzeuge+ Vakuumpumpe	25.000	20.000	30.000	25.000
Robotik	Werkzeugwechselsysteme Loseil	15.000	11.250	18.750	15.000
Robotik	Werkzeugwechselsysteme Fixteil	2.830	2.830	2.830	2.830
Robotik	Werkzeughnhof	12.000	8.000	20.000	12.667
Robotik	Steinvermessung	200.000	150.000	350.000	216.667
Robotik	Werkzeuge	87.500	37.500	150.000	89.583
Sicherheitstechnik	Sicherheitstechnik	40.000	35.000	55.000	41.667
Mechanik	Blindbesatzförderer	40.000	30.000	55.000	40.833
Robotik	Steinreinigung am TOW	100.000	50.000	250.000	116.667
Elektrik	Software	45.000	30.000	80.000	48.333
Mechanik	TOW Positioniereinrichtung	25.000	20.000	40.000	26.667
Mechanik	Roboterpodest	11.000	5.000	15.000	10.667
Mechanik	Begehbühne	50.000	25.000	60.000	47.500
Mechanik	Taktband	43.000	25.000	75.000	45.333
Elektrik	Beleuchtung, Schöner Wohnen,	12.000	7.000	20.000	12.500
Elektrik	elektrische Einspeisung	6.500	5.000	10.000	6.833
Elektrik	Druckluft, Wasser	6.000	5.000	10.000	6.500
Mechanik	Steinreinigung am Band	35.000	25.000	60.000	37.500
Mechanik	Bruchabtransport	10.000	7.000	15.000	10.333
Robotik	Palettierroboter	114.000	110.000	130.000	116.000
Robotik	Verfahrenrichtung	170.000	100.000	200.000	163.333
Robotik	(Savemove, FTP; I/O Karten, Profibus, Load...)	60.000	50.000	80.000	61.667
Robotik	Single Controller	20.000	18.000	24.000	20.333
Robotik	TeachPanel	12.000	10.000	16.000	12.333
Robotik	Ventilaufbau für Werkzeuge+ Vakuumpumpe	50.000	40.000	60.000	50.000
Robotik	Werkzeugwechselsysteme	21.000	15.750	26.250	21.000
Robotik	Werkzeugwechselsysteme	5.660	5.660	5.660	5.660
Robotik	Werkzeughnhof	24.000	16.000	40.000	25.333
Robotik	Steinvermessung	80.000	70.000	120.000	85.000
Robotik	Werkzeuge	122.500	52.500	210.000	125.417
Robotik	Leerpalettenmagazine	25.000	12.000	40.000	25.333
Robotik	Leerpalettenroboter	57.000	55.000	65.000	58.000
Robotik	(Savemove, FTP; I/O Karten, Profibus, Load...)	30.000	25.000	40.000	30.833
Robotik	Single Controller	10.000	9.000	12.000	10.167
Robotik	TeachPanel	6.000	5.000	8.000	6.167
Robotik	Ventilaufbau für Werkzeuge+ Vakuumpumpe	12.000	10.000	20.000	13.000
Robotik	Werkzeug f. Palettenhandling	12.000	7.000	20.000	12.500
Mechanik	Kartonagenmagazin	1.500	1.000	4.000	1.833
Mechanik	Folienspender	12.000	8.000	17.000	12.167
Mechanik	4 ULP Stapel & Entstapelungssystem	550.000	460.000	1000000	610.000
Sicherheitstechnik	Sicherheitstechnik	40.000	35.000	70.000	44.167
Elektrik	Elektrik	330.000	250.000	450.000	336.667
Elektrik	Programmierung IBN	75.000	50.000	100.000	75.000
Mechanik	Montage	50.000	35.000	85.000	53.333
Mechanik	Baumaßnahmen	130.000	100.000	170.000	131.667
Robotik	Drucker	26.000	25.000	30.000	26.500
Mechanik	Spendesystem + Einhausung	60.000	50.000	85.000	62.500
Elektrik	IT	7.000	5.000	15.000	8.000
Robotik	Etikettierroboter komplett inkl. Werkzeug	45.000	35.000	65.000	46.667
Mechanik	Infrastrukturmaßnahmen	30.000	20.000	35.000	29.167

Anhang 3: Investitionskostenerhebung

Anlagenkosten:					3.725.907
Trägermedium	1.200 Stk. Stahlpaletten mit Stützen	420.000	390.000	450.000	420.000
Anlagenkosten inklusive Trägermedien:					4.145.907
Mechanik	ULP Stapel & Entstapelungssystem	200.000	150.000	170.000	186.667
Robotik	MCC Laser für ULP abräumen	50.000	40.000	75.000	52.500
Robotik	Robotersockel	4.500	3.000	8.000	4.833
Robotik	Vereinzelungsroboter	57.000	55.000	65.000	58.000
Robotik	(Savemove, FTP; I/O Karten, Profibus)	30.000	25.000	40.000	30.833
Robotik	Single Controller	10.000	9.000	12.000	10.167
Robotik	TeachPanel	6.000	5.000	8.000	6.167
Robotik	Ventilaufbau für Werkzeuge+ Vakuumpumpe	25.000	20.000	30.000	25.000
Robotik	Werkzeugwechselsysteme	6.000	4.500	7.500	6.000
Robotik	Werkzeugwechselsysteme	2.830	2.830	2.830	2.830
Robotik	Werkzeugbahnhof	12.000	8.000	20.000	12.667
Robotik	Werkzeuge	35.000	15.000	60.000	35.833
Mechanik	Taktband	80.000	65.000	100.000	80.833
Robotik	Drucker	26.000	25.000	30.000	26.500
Mechanik	Spendesystem + Einhausung	60.000	50.000	85.000	62.500
Elektrik	IT Anbindung	7.000	5.000	15.000	8.000
Robotik	Etikettierroboter komplett inkl. Werkzeug	45.000	35.000	65.000	46.667
Robotik	MCC Laser am Taktband	25.000	20.000	40.000	26.667
Robotik	Palettierroboter	57.000	55.000	65.000	58.000
Robotik	Savemove, FTP; I/O Karten, Profibus)	30.000	25.000	40.000	30.833
Robotik	Single Controller	10.000	9.000	12.000	10.167
Robotik	TeachPanel	6.000	5.000	8.000	6.167
Robotik	Ventilaufbau für Werkzeuge+ Vakuumpumpe	25.000	20.000	30.000	25.000
Robotik	Werkzeugwechselsysteme Fixteil	6.000	4.500	7.500	6.000
Robotik	Werkzeugwechselsysteme Losteil	2.830	2.830	2.830	2.830
Robotik	Werkzeugbahnhof	12.000	8.000	20.000	12.667
Robotik	Werkzeuge	35.000	15.000	60.000	35.833
Robotik	Robotersockel	4.500	3.000	8.000	4.833
Robotik	Robotersockel	4.500	3.000	8.000	4.833
Robotik	Leerpalettenroboter	57.000	55.000	65.000	58.000
Robotik	(Savemove, FTP; I/O Karten, Profibus)	30.000	25.000	40.000	30.833
Robotik	Single Controller	10.000	9.000	12.000	10.167
Robotik	TeachPanel	6.000	5.000	8.000	6.167
Robotik	Ventilaufbau für Werkzeuge + Vakuumpumpe	25.000	20.000	30.000	25.000
Robotik	Werkzeuge	12.000	7.000	20.000	12.500
Mechanik	Förderer für Vollpaletten	90.000	50.000	150.000	93.333
Mechanik	Palettenmagazin	25.000	12.000	40.000	25.333
Mechanik	Entnahmezelle	18.000	14.000	30.000	19.333
Mechanik	Etikettierzelle	10.000	7.000	15.000	10.333
Mechanik	Palettierzelle	20.000	15.000	25.000	20.000
Mechanik	Palettenmanipulation	40.000	35.000	50.000	40.833
Elektrik	Elektrik allgemein	343.000	271.000	437.000	346.667
sonstige	CE Kennzeichnung	12.000	5.000	15.000	11.333
Mechanik	Montagearbeiten	80.000	50.000	120.000	81.667
sonstige	IBN & Produktionsbegleitung	45.000	35.000	70.000	47.500
Mechanik	mechanische Projektunterstützung	7.950	5.300	21.200	9.717
Elektrik	elektrische Projektunterstützung	7.950	5.300	21.200	9.717
sonstige	Bsp. Umstellung von Verpackungsanlage	k.A.	k.A.	k.A.	-
Mechanik	Fundamente, Stahlarbeiten	30.000	20.000	50.000	31.667
sonstige	Hauptprojektleiter	12.000	8.000	32.000	14.667
Mechanik	Steinreinigung am Band vierseitig	35.000	25.000	60.000	37.500
Palettieranlage gesamt:					1.822.093
Mechanik	Hubeinrichtungen bei den Tränkbecken	120.000	84.000	180.000	124.000
Mechanik	Vorratsbehälter	65.000	50.000	100.000	68.333
Elektrik	Pumpen & Instrumentierung	150.000	100.000	240.000	156.667
sonstige	Retro Fit Trockner (Mauerung)	65.000	40.000	120.000	70.000

Anhang 3: Investitionskostenerhebung

Mechanik	neue Wagen für den Trockner 1	120.000	105.000	225.000	135.000
Mechanik	Gleisanlage neu für den Trockner	20.000	16.000	24.000	20.000
sonstige	Gleisanlage tiefer legen (Baumeister)	150.000	100.000	250.000	158.333
Sicherheitstechnik	Sicherheitstechnik	60.000	40.000	100.000	63.333
sonstige	Baumeisterarbeiten allgemein (Tränke ..)	35.000	25.000	60.000	37.500
Mechanik	Adapt. Wärmeauskopplung von Tunnelofen	40.000	25.000	70.000	42.500
Elektrik	Steuerung Elektrotechnik	46.200	42.900	59.400	47.850
sonstige	CE Kennzeichnung	9.000	8.000	15.000	9.833
Mechanik	mechanische Projektunterstützung	7.950	5.300	21.200	9.717
Elektrik	elektrische Projektunterstützung	15.900	10.600	26.500	16.783
sonstige	Hauptprojektleiter	24.000	16.000	40.000	25.333
Mechanik	ULP Stapel & Entstapelsystem	170.000	150.000	250.000	180.000
Anpassungen relevanter Prozesse für die Beschickung mit Stahlpaletten:					1.285.183
Gesamtkosten der Anlagenkonfiguration 3					7.253.183

Tabelle 33: Investitionskostenerhebung der Anlagenkonfiguration 3 nach der Dreipunktmethode, Quelle: eigene Darstellung.