



Ömer Calik, BSc.

Energieeffizienz von Kommissioniersystemen

Entwicklung einer Methode zur Bewertung der
Energieeffizienz von Ware-zur-Person Systemen

Masterarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades
Diplom-Ingenieurin/Diplomingenieur (Dipl.-Ing.)

Institut für Technische Logistik (ITL)

Betreuer: Dipl.-Ing.BSc. Thomas Stöhr

Beurteiler: Ass.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Norbert Hafner

Graz, Oktober 2017

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe. Das in TUGRAZonline hochgeladene Textdokument ist mit der vorliegenden Masterarbeit identisch.

Datum

Unterschrift

Danksagung:

Diese Diplomarbeit wurde zur Erlangung des akademischen Grades „Diplomingenieur Wirtschaftsingenieurwesen-Maschinenbau“ verfasst. Sie ist im Zuge meines Studiums an der TU Graz am Institut für Technische Logistik entstanden.

An erster Stelle geht mein besonderer Dank an Herrn Dipl. Ing. Thomas Stöhr für die Betreuung und Unterstützung bei der Masterarbeit.

Ein weiterer Dank geht an meine Freunde, die mich auf diesem Weg begleitet haben.

Zum Abschluss möchte ich meiner Familie für die Finanzierung meines Studiums und die durchgehende Unterstützung danken.

Kurzfassung:

Durch die globale Erwärmung, steigende Energiekosten, die Verknappung der Energieressourcen und die Forderungen nach umweltfreundlichen Produkten, gewinnt die Energieeffizienz zunehmend an Bedeutung.

Diese Masterarbeit befasst sich mit der Energieeffizienz der Ware-zur-Person-Kommissioniersysteme. Das Ziel dieser Arbeit ist es, eine Bewertungsmethode bezüglich der Energieeffizienz zu entwickeln.

Zur Erreichung dieses Ziels wird eine umfassende Literaturstudie durchgeführt. Aufbauend auf diesen Erkenntnissen wird eine Bewertungsmethode entwickelt, welche die Prozessschritte zur Bestimmung der Energieeffizienz beinhaltet.

Bei dieser Methode wird der Energiebedarf einer Kommissionierleistung gegenübergestellt. Zur Bestimmung des Energiebedarfes werden ein Lastkollektiv (Volllast, Teillast, Stillstand) und die Systemgrenzen festgelegt. Abschließend wird diese Methode an einem Beispiel exemplarisch angewendet.

Abstract:

Energy efficiency is made ever more significant by global warming, rising energy costs, scarcity of energy resources and the demand for environmentally friendly products.

This master's thesis examines the energy efficiency of goods-to-person order picking systems. Accordingly, the aim of the thesis is to develop an energy efficiency evaluation method.

To achieve this aim, a comprehensive literature review was conducted. Based on the findings, an evaluation method was developed that includes steps to determine energy efficiency indicators.

Using this method, energy demand is related to order picking performance. To determine energy demand, a load spectrum (full load, partial load and standby) and system boundaries are defined. Finally, this Method is applied to an example.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	6
1.1	Ausgangssituation und Problemstellung	6
1.2	Zielsetzung.....	9
1.3	Aufbau der Masterarbeit	10
2	Grundlagen des Kommissioniersystems	12
2.1	Begriffsdefinitionen.....	12
2.2	Aufbau eines Kommissioniersystems.....	13
2.2.1	Materialflusssystem.....	13
2.2.2	Organisationssystem.....	15
2.2.3	Informationssystem	16
2.3	Klassifizierung der Ware-zum-Kommissionierer- Systeme.....	18
2.4	Systembeispiele von Ware-zum-Kommissionierer-Systeme	19
2.4.1	Kommissionierstation mit AKL.....	19
2.4.2	Kommissionierstation mit Shuttlesystem.....	21
2.4.3	Kommissionierstation mit Karusselllager:	22
2.4.4	Paternosterregal	23
2.4.5	Automatische Kommissioniersysteme	24
2.5	Abgrenzung des Ware-zum-Kommissionierer-Systems	29
2.5.1	Ware-zur-Person-Arbeitsplatz.....	30
2.6	Klassifizierung der Kommissionierarbeitsplätze.....	34
2.7	Literaturstudie zur Energieeffizienz	37
2.7.1	Universität Stuttgart	37
2.7.2	Technische Universität München.....	38
2.7.3	Technische Universität Graz	39
2.7.4	Karlsruher Institut für Technologie.....	42
2.7.5	Forschungslücke.....	43
3	Kommissionierleistung.....	44
3.1	Einflussfaktoren auf die Kommissionierleistung	44
3.1.1	Ergonomie	46
3.1.2	Kommissionierer	46
3.1.3	Artikelgewicht.....	47
3.1.4	Artikelvolumen.....	47
3.1.5	Artikelheterogenität.....	47
3.1.6	Auftragsstruktur	48
3.2	Bearbeitungszeit	49
3.2.1	Basiszeit	49

3.2.2	Greifzeit.....	50
3.2.3	Totzeit.....	52
3.3	Definition der Kommissionierleistung	52
3.3.1	Definition 1- Anzahl der Picks pro Zeiteinheit	53
3.3.2	Definition 2- Anzahl der Positionen pro Zeiteinheit.....	53
3.3.3	Definition 3-Das kommissionierte Gesamtgewicht	54
3.3.4	Die effektive Kommissionierleistung.....	54
4	Energieeinsatz	55
4.1	Theorie der elektrischen Leistung	55
4.1.1	Leistung im Gleichstromkreis	55
4.1.2	Leistung im Wechselstromkreis	55
4.1.3	Leistung im Drehstromkreis.....	57
4.2	Systemgrenze.....	58
4.2.1	Systemgrenze von Ware-zur-Person-Arbeitsplatz	61
4.2.2	Systemgrenze von Ware-zum-Roboter-Arbeitsplatz	62
4.2.3	Systemgrenze von Ware-zum-Automat-Arbeitsplatz	63
4.3	Lastkollektiv	64
5	Ermittlung der Energieeffizienzkennzahlen.....	67
5.1	Anforderungen und Beobachtungsebenen.....	67
5.2	Energieeffizienzkennzahlen.....	69
5.3	Prozesshauptschritte zur Ermittlung der Effizienzkennzahlen	71
5.3.1	Planung.....	71
5.3.2	Messung	72
5.3.3	Analyse.....	72
5.4	Prozessschritte der Bewertungsmethode	74
5.5	Einflussgrößen auf die Energieeffizienz.....	75
6	Exemplarische Umsetzung	77
7	Zusammenfassung und Ausblick	82
8	Verzeichnisse:	84
8.1	Abbildungsverzeichnis	84
8.2	Tabellenverzeichnis	85
8.3	Literaturverzeichnis	86

1 Einleitung

1.1 Ausgangssituation und Problemstellung

Die Energie spielt in unserem Leben eine wesentliche Rolle. Man braucht die Wärme, elektrische Energie, Treibstoffe für Fahrzeuge etc., die aus unserem Alltag nicht wegzudenken sind. Die meisten Menschen sind für das Thema Energieeffizienz sensibilisiert worden und kaufen daher die energieeffizienten Haushaltsgeräte, die Energiesparlampen, energieeffiziente Fahrzeuge etc., um Energie zu sparen und einen Beitrag zum Klimaschutz leisten zu können.

Steigende Energiepreise, die Verknappung der Energieressourcen und Forderungen nach umweltfreundlichen Produkten stellen die gesamte Wirtschaft vor große Herausforderungen. Die Logistik kann daher entscheidend zu der Energieeffizienzverbesserung, der Ressourcenschonung und deutlichen Reduzierung der Emissionen beitragen, denn steigende Energiepreise zwingen die Logistikdienstleister dazu, für die dauerhafte Sicherstellung des wirtschaftlichen Erfolgs energieeffiziente Ansätze zu entwickeln (vgl. [1, p. 1]).

Da die Strompreiserhöhung maßgebend den wirtschaftlichen Erfolg der Unternehmen beeinflusst, gewinnt die Energieeffizienz aus wirtschaftlicher Sicht an Bedeutung (vgl. [2, p. 2]). Die Logistiksysteme werden als effizient bezeichnet, wenn man bei ihrer Gestaltung sowohl die Logistikkosten, als auch die Logistikleistungen betrachtet. D.h. Effizienzdenken fordert bei der Lösung von Logistikproblemen einen Kompromiss zwischen Kostenminimierung und Leistungsmaximierung (vgl. [3, p. 41]).

Sowohl aus ökonomischer als auch aus ökologischer Sicht wird die Energieeffizienz in den nächsten Jahren mehr und mehr an Bedeutung gewinnen. Daher wird die Intralogistik in Zukunft mit neuen Herausforderungen konfrontiert sein (Vgl. [4]).

In der Intralogistik wird hauptsächlich elektrischer Strom verwendet. Wenn die Entwicklung des Industriestrompreises seit dem Jahr 2000 betrachtet wird, zeigt es sich, dass die Preise um ca. 150 % angestiegen sind (Abbildung 1).

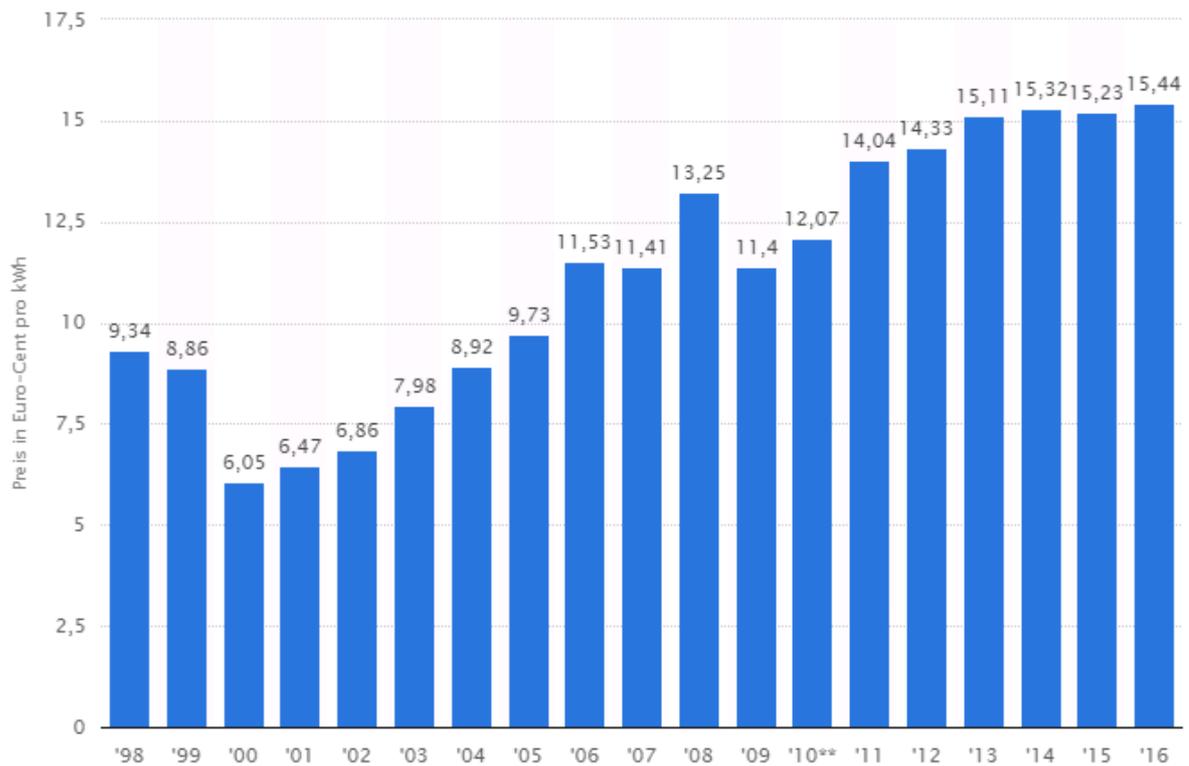


Abbildung 1: Entwicklung des Industriestrompreises in Deutschland 1998-2016([5])

Die Abbildung 2 zeigt, dass fast die Hälfte der Energiekosten der Intralogistik auf den Bereich der Förder-, Lager- und Kommissioniertechnik entfällt.

Supply Chain:



Intralogistik:



Abbildung 2: Energiekostenaufteilung eines führenden Logistikdienstleisters ([6])

Die Kommissionierung ist ein komplexer und personalintensiver Bereich in der Intralogistik (vgl. [7, p. v]) und verfolgt das Ziel, aus einer bereitgestellten Gesamtmenge (Sortiment) Teilmengen aufgrund der Aufträge zusammenzustellen (vgl. [8, p. 2]). Die Kommissionierung kann man als Herzstück der Distributions- und Logistikzentren bezeichnen. Die Faktoren, wie

Kommissionierqualität und Kommissioniergeschwindigkeit spielen eine elementare Rolle für die Kundenbindung. Für die Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen können die Kommissioniersysteme durch die Anpassung an Marktbedürfnisse einen entscheidenden Beitrag leisten. Parallel dazu verursacht die Kommissionierung einen beträchtlichen Teil der Logistikkosten, deswegen erfordern diese Kosten besondere Aufmerksamkeit (vgl. [9, p. 13]).

Ein Ware-zum-Kommissionierer-System kann durch die Vielzahl der technischen und organisatorischen Variationen realisiert werden. Daher gibt es eine große Bandbreite an unterschiedlichen Systemen für dieses Kommissionierprinzip (vgl. [10, p. 147]). Die große Vielfalt an Systemen ermöglicht keinen einfachen Vergleich hinsichtlich der Energieeffizienz. Außerdem existiert bis jetzt keine Methode, mit der die Energieeffizienz dieser Systeme verglichen werden kann. Ein Ware-zum-Kommissionier-System besteht grundsätzlich aus den drei Teilsystemen: Kommissionierlager, Fördermittel, Kommissionierarbeitsplatz (Abbildung 3). Die Energieeffizienz kann für jedes Teilsystem berechnet werden. Sie lässt sich für ein Kommissioniersystem jedoch nicht direkt aus der Summe der Energieeffizienz der Teilsysteme bestimmen, weil diese sich gegenseitig beeinflussen. Im Rahmen der anderen wissenschaftlichen Arbeiten wurde die Energieeffizienz der Teilsysteme Lager und Fördermittel bereits behandelt (Kapitel 2.7). Daher fokussiert sich diese Masterarbeit nur auf die Energieeffizienz der Kommissionierarbeitsplätze.

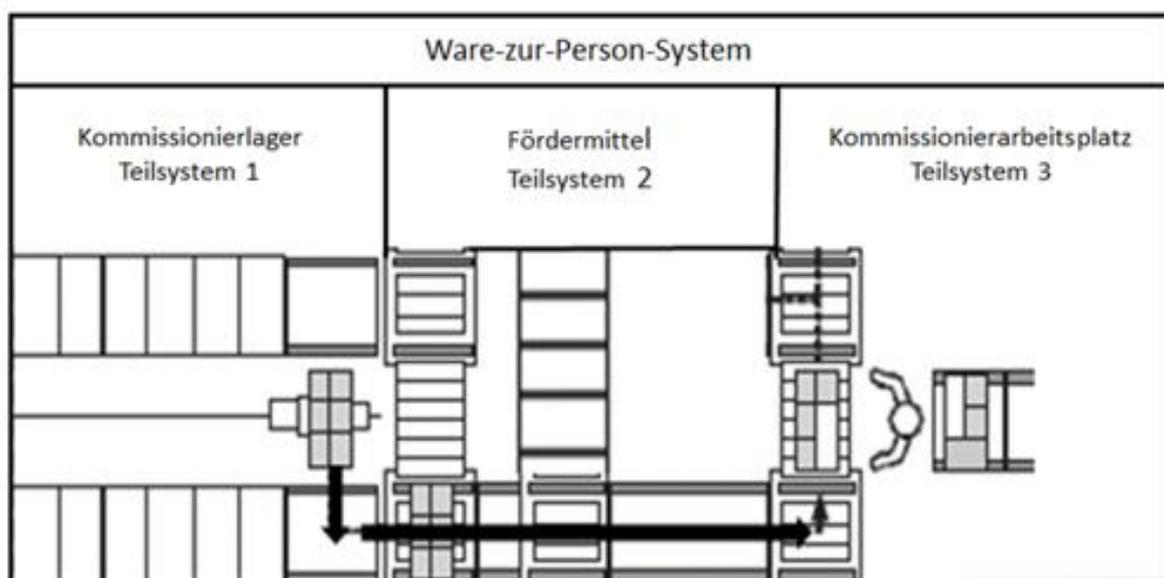


Abbildung 3: Teilsysteme des Ware-zum-Person- Systems (In Anlehnung an [11, p. 36])

1.2 Zielsetzung

Ziel dieser Masterarbeit ist eine Bewertungsmethode zu entwickeln, welche die unterschiedlichen Ware-zum-Kommissionierer-Arbeitsplätze hinsichtlich der Energieeffizienz vergleichen soll. Die zu bestimmenden Energieeffizienzkennzahlen sollen einen einfachen und schnellen Vergleich ermöglichen und zeigen, welcher Kommissionierarbeitsplatz für dieselbe Kommissionierleistung weniger Energie braucht und somit energieeffizienter ist. Zur Erreichung dieser Zielsetzung müssen theoretische Grundlagen in den Bereichen Energieeffizienz und Kommissionierung analysiert werden. Aufbauend auf diesen gewonnenen Erkenntnissen ist eine neue Bewertungsmethode abzuleiten.

Um dieses Ziel zu erreichen, werden folgende Fragen zu Beginn und während der Masterarbeit gestellt:

- Welche Methoden existieren bereits zum Vergleich dieser Systeme bezüglich der Energieeffizienz?
- Welche Methoden haben sich in der Gegenwart zum Vergleich dieser Systeme bezüglich der Kommissionierleistung etabliert?
- Wie erstellt man die Vergleichbarkeit?
- Wie kann man die Energieeffizienz berechnen?

Die Bewertungsmethode soll allgemeingültig und unabhängig vom Hersteller sein, um eine objektive Bewertung ermöglichen zu können.

1.3 Aufbau der Masterarbeit

Der Aufbau dieser Masterarbeit wird in der folgenden Abbildung 4 dargestellt.

Arbeitspaket	Inhalt
1. Einleitung	<ul style="list-style-type: none">• Ausgangssituation und Problemstellung• Zielsetzung• Aufbau
2. Grundlagen des Kommissioniersystems	<ul style="list-style-type: none">• Begriffsdefinition• Aufbau eines Kommissioniersystems• Klassifizierung• Systembeispiele der Ware-zum-Kommissionierer-Systeme• Abgrenzung der Ware-zum-Kommissionierer-Systeme• Literaturstudie zur Energieeffizienz
3. Kommissionierleistung	<ul style="list-style-type: none">• Einflussgrößen auf die Kommissionierleistung• Bearbeitungszeit• Definition der Kommissionierleistung
4. Energieeinsatz	<ul style="list-style-type: none">• Theorie der elektrischen Leistung• Systemgrenzen• Lastkollektiv
5. Ermittlung der Energieeffizienzkennzahlen	<ul style="list-style-type: none">• Prozessschritte zur Ermittlung der Kennzahlen• Einflussgrößen auf die Energieeffizienz
6. Exemplarische Umsetzung	<ul style="list-style-type: none">• Umsetzung am fiktiven Beispiel
7. Zusammenfassung und Ausblick	<ul style="list-style-type: none">• kurze Zusammenfassung• weitere Forschungsfragen

Abbildung 4: Aufbau der Masterarbeit

Nach der Einleitung werden in Kapitel 2 die Grundlagen des Kommissioniersystems beschrieben. In Kapitel 3 werden zunächst die Einflussgrößen auf die Kommissionierleistung bestimmt und die Kommissionierleistung definiert. In Kapitel 4 werden die Systemgrenzen und das Lastkollektiv zur Ermittlung und Berechnung des Energiebedarfes festgelegt. Das Kapitel 5 beinhaltet die Darstellung aller Prozessschritte zur Bestimmung der Energieeffizienzkennzahlen. In Kapitel 6 werden die Energieeffizienzkennzahlen exemplarisch umgesetzt. Das letzte Kapitel stellt eine kurze Zusammenfassung der Masterarbeit und einen Ausblick auf weitere Forschungsfragen dar.

2 Grundlagen des Kommissioniersystems

2.1 Begriffsdefinitionen

Nachfolgend werden wichtige Begriffe für diese Masterarbeit definiert.

Energieeffizienz: Sie beschreibt das Verhältnis von Ertrag (Leistung, Dienstleistung, Waren) zu Energieeinsatz(vgl. [12]).

$$\text{Energieeffizienz} = \frac{\text{Ertrag}}{\text{Energieeinsatz}}$$

Kundenauftrag: Dieser beinhaltet die Grundinformationen, die zur Durchführung der Kommissionierung notwendig sind. Ein Auftrag muss zumindest aus den Informationen zur Artikelidentifikation und zur Bestellmenge bestehen (vgl. [8, p. 3]).

Kommissionierauftrag: Dieser Auftrag entsteht durch die Verknüpfung des Kundenauftrags mit den kommissionierspezifischen Daten (z.B. Entnahmeort). Ein Kundenauftrag lässt sich auf mehrere Kommissionieraufträge verteilen oder ein Kommissionierauftrag kann aus mehreren Kundenaufträgen erzeugt werden (vgl. [8, p. 3]).

Position: Sie besteht aus einer Zeile des Kommissionierauftrags, die alle für die Kommissionierung eines Artikels erforderlichen Informationen (z.B. Entnahmeort, Entnahmemenge usw.) enthält (vgl. [8, p. 3]).

Pick: Unter dem Begriff Pick wird der Zugriff auf einen Artikel durch die Entnahme verstanden. Eine Position kann einen Pick oder mehrere Picks enthalten (vgl. [7, p. 9]).

Kommissionierer: Unter diesem Begriff versteht man sowohl die Person, welche die Kommissionierung durchführt, als auch den Roboter oder den Kommissionierautomaten (vgl. [9, p. 21]).

2.2 Aufbau eines Kommissioniersystems

In diesem Kapitel wird der Aufbau des Kommissioniersystems gezeigt. Ein Kommissioniersystem lässt sich in drei Teilsysteme unterteilen, aus denen dieses aufgebaut wird:

- Materialflusssystem
- Organisationssystem
- Informationssystem

2.2.1 Materialflusssystem

Unter Materialfluss versteht man die Prozesskette aller Vorgänge, bei denen ein Transformationsprozess entsteht, der eine Veränderung des Systemzustandes bezüglich Zeit, Ort, Menge, Zusammensetzung und Qualität ermöglicht (vgl. [7, p. 7]).

Anhand der in Abbildung 5 aufgezeigten Variationen können unterschiedliche Kommissioniersysteme realisiert werden.

Ein Materialflusssystem setzt sich aus den folgenden Prozessen zusammen:

- Transport der Güter zur Bereitstellung
- Bereitstellung
- Bewegung des Kommissionierers zur Bereitstellung
- Entnahme der Güter durch den Kommissionierer
- Transport der Güter zum Abgabeort
- Abgabe

Vorgang	Realisierungsmöglichkeiten			
Transport der Güter zur Bereitstellung	findet nicht statt	findet statt		
		eindimensional	zweidimensional	dreidimensional
		manuell	mechanisch	automatisch
Bereitstellung	statisch		dynamisch	
	zentral		dezentral	
	geordnet		ungeordnet	
Bewegung des Kommissionierers	findet nicht statt	findet statt		
		eindimensional	zweidimensional	dreidimensional
		manuell	mechanisch	automatisch
Entnahme der Waren	manuell		mechanisch	automatisch
	ein Teil pro Zugriff		mehrere Teile pro Zugriff	
Transport der Waren	findet nicht statt	findet statt		
		eindimensional	zweidimensional	dreidimensional
		manuell	mechanisch	automatisch
Abgabe	statisch		dynamisch	
	zentral		dezentral	
	geordnet		ungeordnet	

Abbildung 5: Grundfunktionen des Materialflusssystems (in Anlehnung an [8])

In einem Kommissioniersystem müssen alle diese Tätigkeiten nicht unbedingt ausgeführt werden, deswegen werden im Folgenden nur die Grundtätigkeiten erläutert (vgl. [7, p. 21]).

Bereitstellung:

Die Bereitstellung charakterisiert, auf welche Art und Weise der Kommissionierer die Güter zur Durchführung der Entnahme vorfindet (vgl. [8, p. 5]). Diese kann entweder statisch oder dynamisch erfolgen. Bei der statischen Bereitstellung geht der Kommissionierer zur Ware, z.B. in einem Regalfach (Person-zur-Ware-System). Bei der dynamischen Bereitstellung wird die Ware zum Kommissionierer transportiert (Ware-zur-Person-System). Bei der Bereitstellung ist auch zwischen zentraler oder dezentraler Bereitstellung zu unterscheiden. Unter zentral versteht man die Bereitstellung und Entnahme der Waren an einem festen Punkt. Beim dezentralen Fall erfolgt die Entnahme hingegen an verschiedenen Orten (vgl. [7, p. 22]).

Entnahme der Güter:

Die Entnahme der Artikel kann manuell, mechanisch und automatisch erfolgen. Bei der manuellen Prozedur verwendet der Kommissionierer kein technisches Hilfsmittel. Für den mechanischen Fall kommen vom Menschen gesteuerte Hilfsmittel (Greifer, Hebemittel) zum Einsatz. Die automatische Entnahme der Artikel erfolgt selbständig ohne menschliches Einwirken (vgl. [13, p. 216]).

Abgabe:

Unter der Abgabe wird die Ablage der angeforderten Artikel aus den Bereitstellereinheiten in eine Sammeleinrichtung oder auf einen Förderer verstanden. Analog zur Bereitstellung lässt sich dieser Vorgang in statisch-dynamisch und zentral-dezentral unterscheiden. Eine Abgabe der Entnahmeeinheit auf ein Fördermittel in Bewegung (Stetigförderer) wird als dynamische Abgabe bezeichnet. Eine Abgabe auf eine unbewegte Sammeleinrichtung wird als statisch bezeichnet. Beim zentralen Vorgang gibt es nur einen fest installierten Abgabepunkt. Demgegenüber gibt es bei dezentraler Ausführung unterschiedliche Abgabepunkte (vgl. [7, p. 26]).

2.2.2 Organisationssystem

Das Organisationssystem beschreibt die Struktur und die Steuerung des Kommissioniersystems und hat somit einen wichtigen Einfluss auf die Systemeffizienz. Wie in der Abbildung 6 gezeigt, lässt sich das Organisationssystem in drei Bereiche unterteilen: Aufbau-, Ablauf-, und Betriebsorganisation (vgl. [7, p. 32]).

Teilsysteme	Kriterien	Realisierungsmöglichkeiten	
Aufbauorganisation	Zonenaufteilung	einzonig	mehrzonig
Ablauforganisation	Sammeln	nacheinander	gleichzeitig
	Entnahme	artikelorientiert	auftragsorientiert
	Abgabe	artikelorientiert	auftragsorientiert
Betriebsorganisation	Auftragssteuerung	ohne Optimierung	mit Optimierung

Abbildung 6: Grundfunktionen des Organisationssystems (in Anlehnung an [8])

Aufbauorganisation:

Die Aufbauorganisation befasst sich mit der Strukturierung des betrachteten Kommissioniersystems in funktionale oder logische Bereiche, d.h. die Artikel werden nach den charakteristischen Eigenschaften zusammengefasst. Diese Aufteilung wird entweder wegen technischer Anforderungen der Artikeleigenschaften (Artikelgewichte, Artikelvolumina, sicherheitstechnische Anforderungen etc.) oder aus organisatorischen Gründen mit dem Optimierungsziel der Systemleistung verfolgt. Wenn es keine Aufteilung gibt, dann spricht man von einer einzonigen Aufbauorganisation. (Vgl. [13, p. 224]).

Ablauforganisation:

Im Rahmen der Ablauforganisation wird die Vorgehensweise bei der Zusammenstellung der Kundenaufträge bestimmt. Es wird zwischen auftragsweiser und artikelweiser sowie zwischen serieller und paralleler Bearbeitung der Kommissionierung unterschieden. Bei der auftragsweisen Kommissionierung besteht ein direkter Zusammenhang zwischen dem Kommissionierauftrag und dem Kundenauftrag. Bei der artikelweisen Methode werden in der ersten Stufe für mehrere Aufträge die Artikel gesammelt. In der zweiten Stufe erfolgt die Verteilung der kommissionierten Artikel zu entsprechenden Kundenaufträgen. Bei der parallelen Kommissionierung wird der Kommissionierauftrag in mehrere Kundenteilaufträge zerlegt und in verschiedenen Kommissionierungszonen gleichzeitig bearbeitet. Bei der seriellen Kommissionierung wird der Kommissionierauftrag sequentiell an mehreren Stationen bearbeitet (vgl. [13, p. 225]).

Betriebsorganisation:

Sie befasst sich mit der Einlastung von Kundenaufträgen in das Kommissioniersystem. Die Betriebsorganisation ist ein dynamisches Mittel, das auf wechselnde Anforderungen (wie z.B. saisonale Schwankungen der Aufträge, Priorisierung von Kunden und Aufträgen etc.) optimal reagiert (vgl. [13, p. 226]).

2.2.3 Informationssystem

Das Informationssystem spielt eine wesentliche Rolle für die Funktionalität und Effizienz eines Kommissioniersystems, da die geforderte Kommissionierleistung nur bei einer fehlerfreien, vollständigen, rechtzeitigen und bedarfsgerechten Erfassung, Verarbeitung und Bereitstellung der Informationen erbracht werden kann. Wie in der Abbildung 7 gezeigt, lässt sich das Informationssystem in die Auftragserfassung, die Auftragsaufbereitung, die Weitergabe und die Quittierung unterteilen (vgl. [7, p. 28]).

Vorgang	Realisierungsmöglichkeiten			
	Auftragserfassung	manuell	manuell/automatisch	automatisch
Auftragsaufbereitung	Teilauftrag		Einzelauftrag	Auftragsgruppen
	keine	manuell	manuell/automatisch	automatisch
Weitergabe	ohne Beleg		mit Beleg	
	Einzelposition		mehrere Positionen	
Quittierung	je Entnahmeeinheit		je Position	alle Positionen
	manuell		manuell/automatisch	automatisch

Abbildung 7: Grundfunktionen des Informationssystems (in Anlehnung an [8])

Auftragserfassung:

Die Auftragserfassung enthält alle Aktivitäten, die bei der Ermittlung der notwendigen Daten für eine Auftragsbearbeitung zu berücksichtigen sind. Aus Servicegründen werden dem Kunden oftmals verschiedene Alternativen der Auftragserteilung angeboten. Der Auftragseingang kann manuell oder automatisch erfolgen (vgl. [13, p. 221]).

Auftragsaufbereitung:

Der Kundenauftrag wird selten in einen Kommissionierauftrag umgewandelt. Meistens werden die Kundenaufträge durch die Verknüpfung mit den kommissionierspezifischen Daten in Kundenaufträge umgewandelt. Die daraus entstandene Kommissionierliste kann einen oder mehrere Kundenaufträge oder Teilaufträge eines Kundenauftrags enthalten (Vgl. [13, p. 223]).

Weitergabe:

Die Weitergabe der notwendigen Daten an den Kommissionierer kann entweder mit Beleg (Papierbogen) oder ohne Beleg (elektronisch) erfolgen. Die beleglose Informationsübertragung erfolgt durch mobile oder stationäre Terminals oder mit Hilfe der Fachanzeigen an den Regalfächern (Vgl. [13, p. 223]).

Quittierung:

Darunter versteht man die Kontrolle, die Bestätigung der durchgeführten Entnahmen und die Erfassung der eventuell abweichenden Entnahmen. Die Quittierung kann manuell (Abhaken der Position), manuell/automatisch (z.B. Eingabe in ein Datenterminal) oder automatisch (z.B. Barcode) erfolgen (vgl. [13, p. 223]).

2.3 Klassifizierung der Ware-zum-Kommissionierer- Systeme

Die Kommissioniersysteme lassen sich auf unterschiedliche Weise technisch gestalten. Die Abbildung 8 zeigt die Klassifizierung der Ware-zum-Kommissionierer-Systeme. Bei diesem Kommissioniersystem werden die Waren zum Kommissionierer befördert (dynamische Bereitstellung). Abschließend stellt die Entnahme ein weiteres Kriterium zur Klassifizierung dar (manuell oder automatisch).

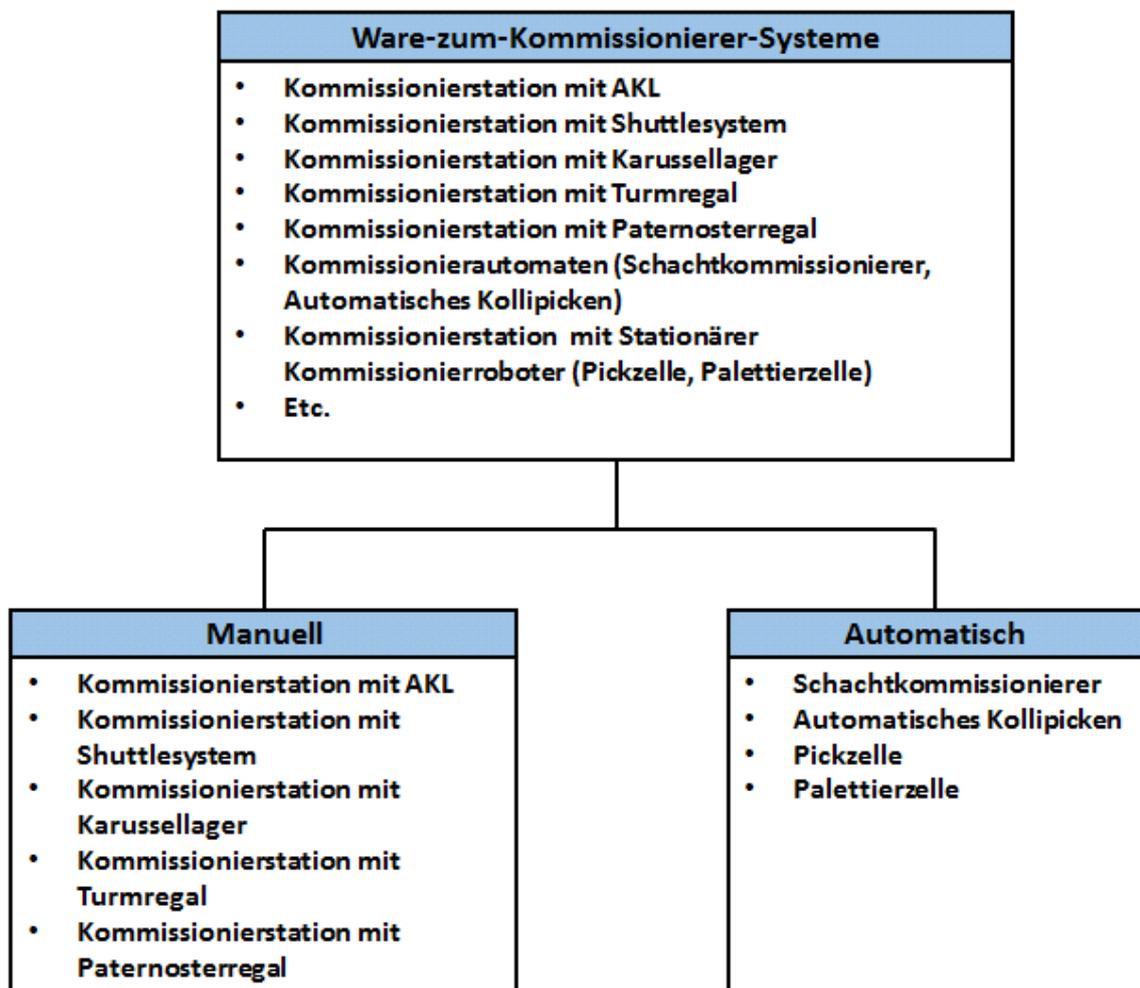


Abbildung 8: Klassifizierung der Ware-zum-Kommissionierer- Systeme (in Anlehnung an [7] und [14])

2.4 Systembeispiele von Ware-zum-Kommissionierer-Systeme

In diesem Kapitel werden die unterschiedlichen Ware-zum-Kommissionierer-Systeme dargestellt. Bei dem klassischen System werden die Artikelbehälter über eine Fördertechnik zum Kommissionierer befördert, der sich am Arbeitsplatz befindet (Abbildung 9).

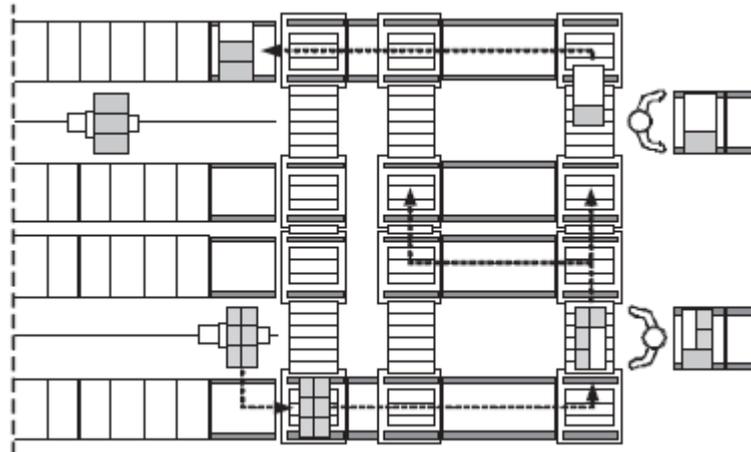


Abbildung 9 :Ware-zum-Kommissionierer-System ([11, p. 36])

2.4.1 Kommissionierstation mit AKL

Automatische Kleinteilelager (AKL) dienen zur Lagerung von kleinen Artikeln und werden durch ein sich zweidimensional bewegendes Regalbediengerät (RBG) mit dem Lastaufnahmemittel (LAM) bedient (Abbildung 10). Das RBG nimmt den Artikelbehälter mittels LAM auf und bringt diesen zum Übergabepunkt am Gassenanfang (vgl. [7, p. 76]). Als Lagereinheiten werden meistens Behälter (LxB bis zu 600x400mm, bis 50 kg) und Tablare (LxB bis zu 800x600mm, bis 200kg) verwendet. Die Höhe des RBG variiert zwischen 4 und 14 m. Die AKL sind besonders für die Fälle mit hoher Artikelanzahl, geringer bis mittlerer Lagermenge und geringer bis mittlerer Umschlagleistung geeignet. Durch die diversen Vorteile, wie hohe Kommissionierleistung (120-200 pos./h), sehr gute Ergonomie, hohe Wirtschaftlichkeit etc., hat sich das AKL sehr weit z.B. im Handel oder in der Industrie verbreitet (vgl. [9, p. 97]).

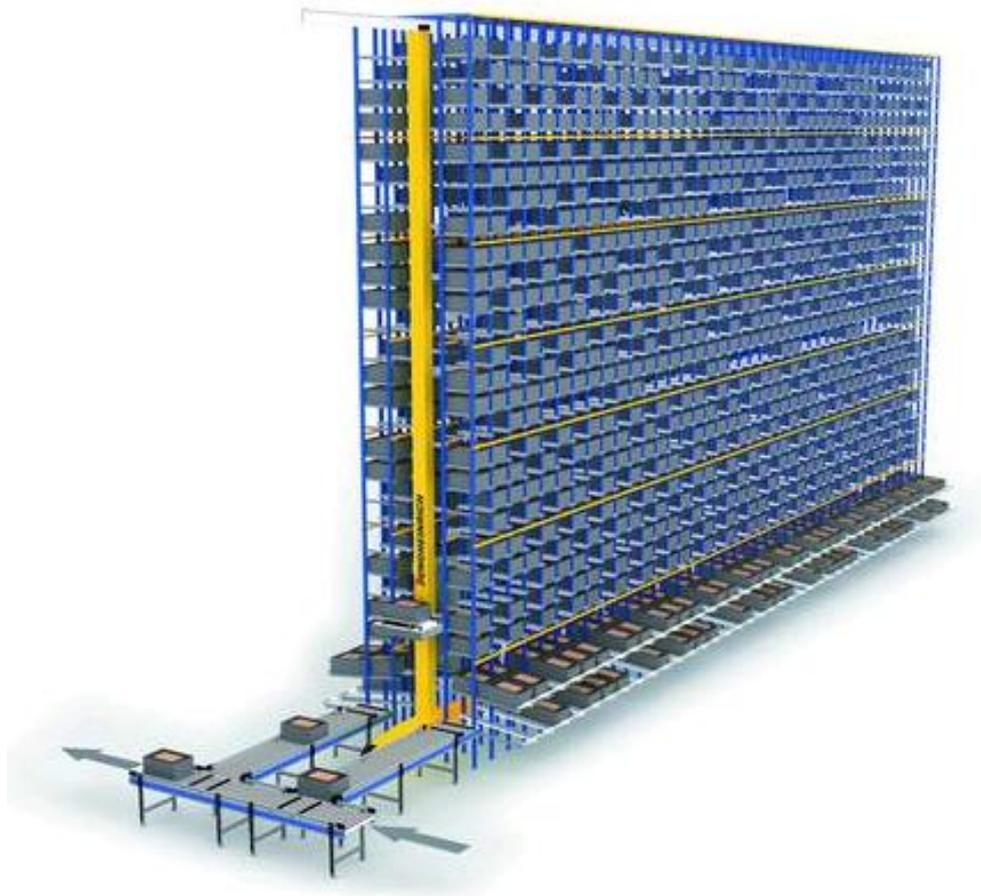


Abbildung 10: Automatisches Kleinteilelager ([15])

2.4.2 Kommissionierstation mit Shuttlesystem

Die Shuttlefahrzeuge bewegen sich schienengebunden entlang einer Gasse. Mithilfe der diversen Lastaufnahmemittel (z.B. Riemenförderer oder Ziehmechanismen) können die verschiedenen Behälter oder Kartonagen aufgenommen werden (Abbildung 11). Die Energieversorgung erfolgt durch Schleifleitungen, mitgeführte Akkus oder induktiv über die Schienen. Ein Shuttlefahrzeug bringt den Artikelbehälter an den Gassenanfang. Um den Behälter an den Übergabepunkt zu befördern, kommt der Vertikalförderer am Anfang der Gasse zum Einsatz. Neben Shuttlefahrzeugen existieren andere Systeme, wie z.B. Multishuttle-System, bei denen das Fahrzeug den Behälter bis zum Kommissionierarbeitsplatz transportiert. Dieses System bietet den Vorteil der Flexibilität von sich unabhängig voneinander bewegendes Fahrzeugen, d.h. bei sich verändernden Kapazitätsanforderungen können neue Fahrzeuge eingesetzt werden (vgl. [7, p. 78]).



Abbildung 11 : Shuttlesystem ([16])

2.4.3 Kommissionierstation mit Karusselllager:

Beim Karusselllager erfolgt der Antrieb über eine horizontal umlaufende Förderkette. Für das entsprechende Lagerfach wird die Kette so lange bewegt, bis sich die relevante Lagersäule am Entnahmepunkt befindet (Abbildung 12). Die Artikelbehälter, die sich nicht auf der Entnahmeebene befinden, können mit Hilfe eines Vertikalförderers zur Entnahmeebene des Kommissionierplatzes befördert werden. Nach der Auslagerung auf einen Vertikalförderer werden die Artikelbehälter auf die Ebene der Fördertechnik gebracht und zum Kommissionierer am Kommissionierarbeitsplatz befördert. Nach der Kommissionierung werden diese wieder zurückgelagert. Die Kommissionierung geschieht meist an der Stirnseite des Regals. Es ist auch möglich, mehrere dieser einzelnen Karussellregale in ein System zu integrieren (vgl. [7, p. 79]). Als Lagereinheiten werden meistens Behälter (L x B bis zu 600x400mm, bis 50 kg) verwendet. Karusselllager werden vor allem bei fehlender Raumhöhe eingesetzt und sind besonders für die Fälle mit mittlerer Artikelanzahl, geringer bis mittlerer Lagermenge pro Artikel und geringer bis mittlerer Umschlagleistung geeignet. Diese Systeme sind durch sehr gute Ergonomie und hohe Wirtschaftlichkeit in Bereichen von Handel und Industrie sehr verbreitet (vgl. [9, p. 98f]).



Abbildung 12 : Karusselllager ([17])

2.4.4 Paternosterregal

An zwei vertikal umlaufenden Ketten sind Regalböden oder Wannen befestigt. Die gelagerten Artikel in den Regalböden sind typischerweise Werkzeuge, Kleinteile oder Akten. Für den Zugriff auf die Artikel wird das Regal bewegt, bis sich der entsprechende Regalboden im Zugriffsbereich befindet (vgl. [7, p. 80]). Paternosterregale sind besonders für die Fälle mit hoher Artikelanzahl, geringer Lagermenge pro Artikel und geringer Umschlagleistung geeignet. Diese Regale sind in mehreren Bereichen von Industrie und Handel wirtschaftlich und anpassungsfähig einsetzbar. Aus wirtschaftlichen Gründen eignen sich diese Systeme nicht für große und komplexe Anwendungen (vgl. [9, p. 101]).



Abbildung 13: Paternosterregal ([18])

2.4.5 Automatische Kommissioniersysteme

Der Automatisierungsgrad ist in der Kommissionierung gering, jedoch ist die Automatisierung in der Kommissionierung im Wandel: Sowohl durch den starken Preisrückgang bei den maschinenbaulichen und elektronischen Komponenten, als auch durch die rasante Entwicklung in der Sensortechnik, der Bildanalyse und der Lageerkennung können neue Gestaltungsformen dieser Systeme entwickelt werden (vgl. [14, p. 1]).

2.4.5.1 Stationärer Kommissionierroboter:

Ein Kommissionierrobotersystem besteht aus drei wesentlichen Komponenten:

- Roboter
- Greifsystem
- Lageerkennungssystem

Die Roboter sind Handhabungsgeräte und unterscheiden sich hauptsächlich durch den Aufbau, die Bewegungsgeschwindigkeit und das maximale Gutgewicht. Die Güter können möglichst schonend mit dem Greifsystem gegriffen werden. Außer den Spezialgreifern können die Universalgreifer eine große Anzahl der unterschiedlichen Kommissioniergüter aufnehmen. Daher ist das Greifsystem entscheidend für den Einsatzbereich des Robotersystems. Bei komplexen Aufgaben spielt das Lageerkennungssystem eine wesentliche Rolle, weil die unterschiedlichen Kommissioniergüter gegriffen werden müssen. Vor allem bei bewegten Gütern hängt die Leistung des Systems von der Geschwindigkeit des Erkennungsalgorithmus ab (vgl. [14, p. 2]).

Palettierzelle:

Die dynamisch bereitgestellten Artikel werden mit Hilfe eines Greifsystems von den ortsfesten Kommissionierrobotern entnommen (Abbildung 14). Meistens werden die Knickarmroboter eingesetzt. Sie sind in der Lage, sich innerhalb eines bestimmten Radius vertikal und horizontal zu bewegen. Eventuell werden sie durch Sensoren geführt und können frei programmiert werden. Die Palettenbereitstellung erfolgt entweder durch Flurförderzeuge oder durch eine Palettenfördertechnik (vgl. [7, p. 82]). Die Greiftechnik (z.B. Vakuumgreifer oder Klemmgreifer) wird durch die Artikeleigenschaften (Gewicht, Abmessungen etc.) bestimmt (vgl. [19, p. 685]). Die Leistung kann in Abhängigkeit der Artikel (Gewicht, Volumen, etc.) variieren und über 800 Zyklen/h mit Lagengewichten bis zu 450 kg betragen (vgl. [14, p. 4]).

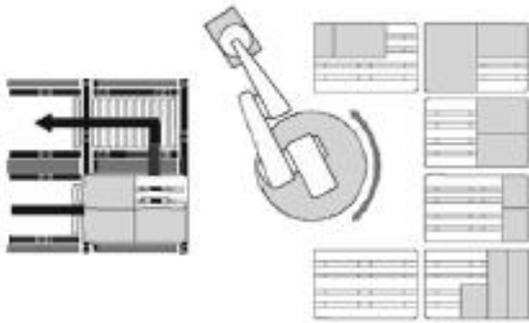


Abbildung 14 :Palettierzelle ([7, p. 82])

Pickzelle:

In der Pickzelle werden in der Regel die kleinen Einzelstückwaren kommissioniert (Abbildung 15). Die Schwierigkeit der Kommissionieraufgabe besteht darin, dass die sich bewegende Artikel des großen Sortiments individuell erkannt und produktspezifisch gehandhabt werden müssen. Zumeist werden die Delta-Roboter oder SCARA-Roboter eingesetzt. Meistens kommt die Sauggreifertechnik zum Einsatz. Zum Greifen und Abgeben der Artikel sind sehr leistungsfähige Lageerkennungssysteme erforderlich. Die Pickzellen werden hauptsächlich in der Pharma-, der Kosmetik- und der Lebensmittelindustrie eingesetzt (vgl. [14, p. 4]). Das Bildererkennungssystem bestimmt die Position der Artikel und steuert den Pickroboter. In Abhängigkeit der Auftragsstruktur können bis zu 20 Aufträge gleichzeitig bearbeitet werden. Mit diesem System kann eine Pickleistung von bis zu 2400 Picks pro Stunde erreicht werden. Die Artikel mit den maximalen Außenmaßen von 300 X 500 X 200 mm können kommissioniert werden (vgl. [20]).

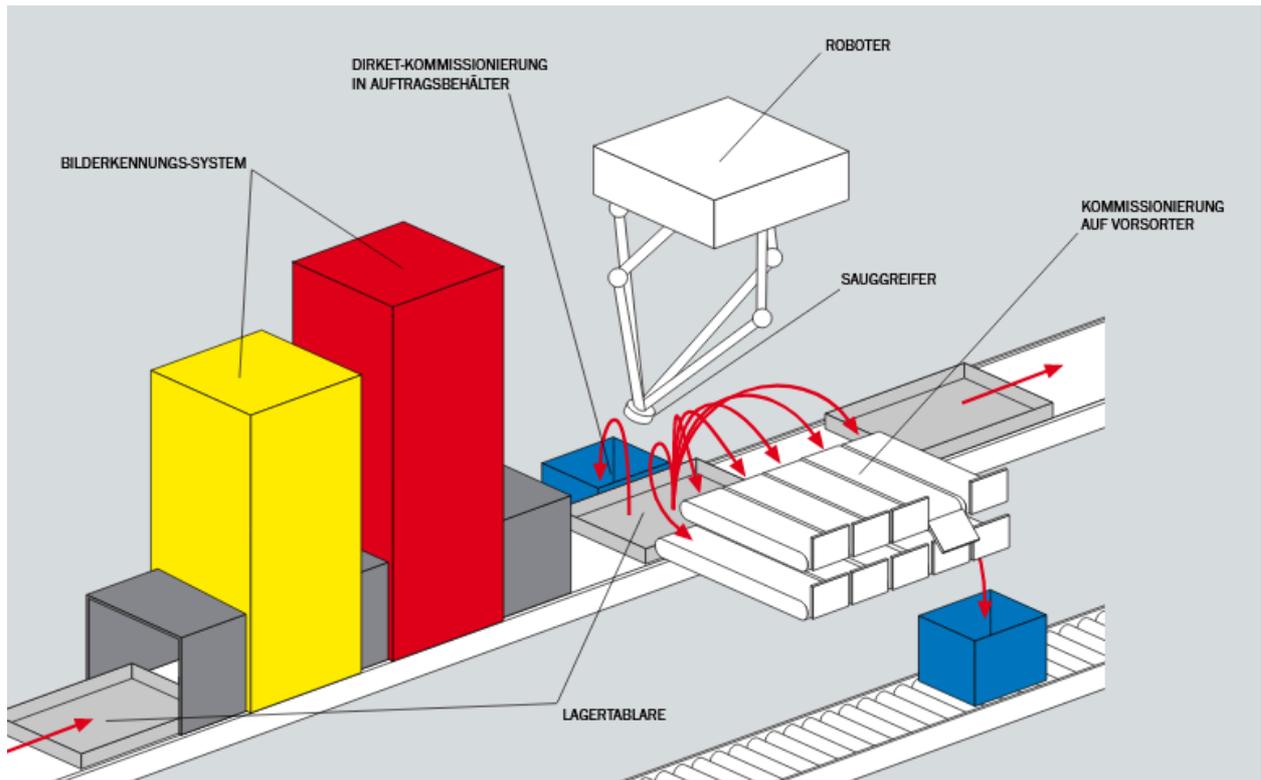


Abbildung 15 : SSI Robo-Pick ([20])

2.4.5.2 Kommissionierautomaten:

Schachtkommissionierer:

Die Schachtkommissionierer dienen zur automatischen Vereinzelung der bereitgestellten Artikel kleiner bis mittlerer Gewichte ($< 0,5$ kg). Sie können entweder in A-Form (Schnelldreher) oder in V-Form (Mittel- und Langsamdreher) aufgebaut werden (vgl. [14, p. 8]).

Wie in der Abbildung 16 gezeigt, befinden sich die Artikel übereinander gestapelt in den geneigten Schächten. Jeder Schacht verfügt über einen Auswerfer. Die Artikel werden auf das Gurtband geworfen, das sich mittig zwischen den beiden Schachtreihen befindet (vgl. [21, p. 236]). Nach dem Lesen des Barcodes eines Auftragsbehälters durch den Scanner werden alle Artikel gleichzeitig auf das Gurtband geworfen und in einem Trichter am Ende des Bandes gesammelt (vgl. [22, p. 404]). Die Größe des Schachtes kann individuell an die Artikelgröße angepasst werden, so dass dadurch eine optimale Raumausnutzung erreicht wird. Diese Art der Kommissionierung zählt zu den leistungsstärksten Kommissioniersystemen und kommt hauptsächlich in der Pharmaindustrie zum Einsatz. Einige Schnelldreherautomaten sind in der Lage bis zu 2400 Aufträge pro Stunde zu bearbeiten und weisen im Vergleich zur manuellen Kommissionierung eine sehr geringe Fehlerrate von 0,01 % auf (vgl. [7, p. 83f]). Demgegenüber liegt die Grenze dieses Systems in der manuellen Nachfüllung der Schächte. Daher muss der Füllstand der Schächte periodisch überwacht werden (vgl. [13, p. 244]).

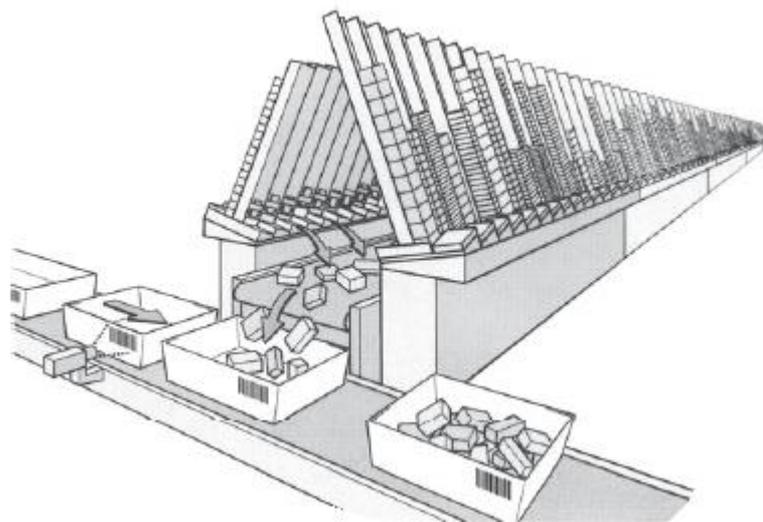


Abbildung 16 : Schachtkommissionierer A-Förmig ([22, p. 405])

Automatisches Kollipicken:

Zuerst werden die sortenreinen Paletten aus dem Palettenlager zur Depalettierzelle befördert, in der die Paletten lagenweise depalettiert werden. Danach werden die einzelnen Lagen ins AKL befördert, in dem sie gepuffert werden. Je nach dem Bedarf in der Kommissionierung werden die Kommissioniergüter über eine geeignete Fördertechnik sequenzgerecht bereitgestellt und durch einen Palettierroboter auf Paletten zusammengeführt (Abbildung 17). Die Steuerungssoftware sorgt für die optimale Volumennutzung, Stabilität der Ladeinheit, etc. Die Leistung liegt im Bereich von 2.500 bis 5.000 Gebinden pro Stunde. Der Einsatzbereich liegt im Lebensmitteleinzelhandel, vor allem die Distribution von Getränken, sowie von Obst und Gemüse (vgl. [14, p. 9]).

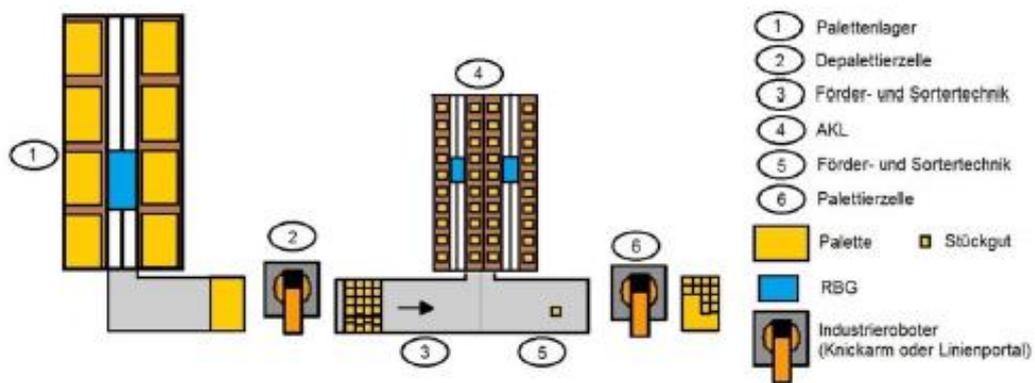


Abbildung 17 :Automatisches Kollipicksystem ([23])

2.5 Abgrenzung des Ware-zum-Kommissionierer-Systems

Ein Kommissioniersystem besteht aus zwei wichtigen Prozessen (Abbildung 18):

- Zusammenführungsprozess
- Bearbeitungsprozess

Im Zusammenführungsprozess finden die Zusammenführung von Kommissionierer (Person, Roboter, Kommissionierautomat) und der Artikel statt.

Der Bearbeitungsprozess besteht aus den Tätigkeiten, die an einem festen Ort ausgeführt werden ([7, p. 127]).

Ein Ware-zum-Kommissionierer-system besteht aus den drei Teilsystemen (siehe Abbildung 14):

- Kommissionierlager
- Fördermittel
- Kommissionierarbeitsplatz

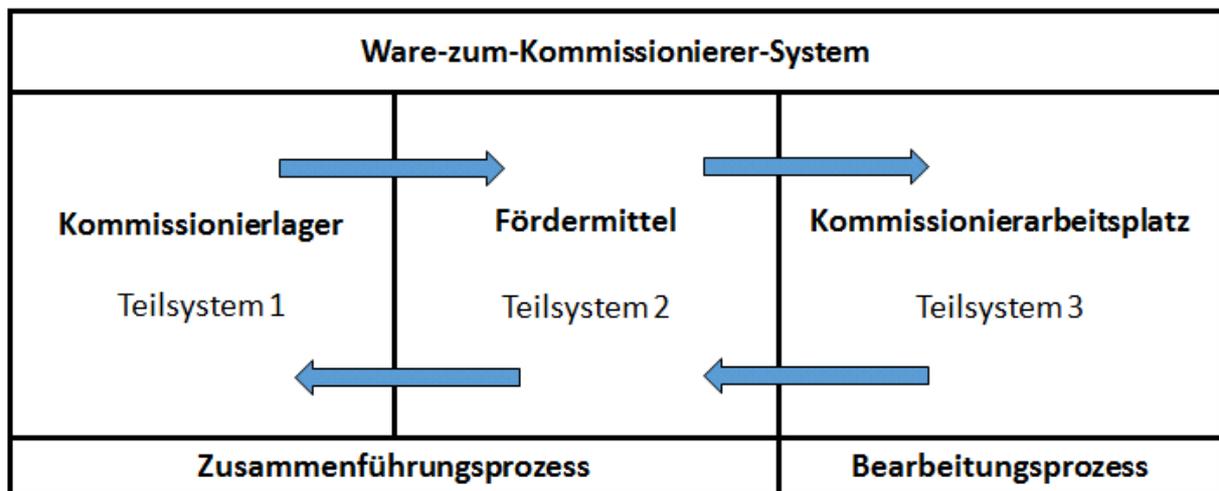


Abbildung 18. Ware-zum-Kommissionierer-System

Die Energieeffizienz kann für jedes Teilsystem berechnet werden. Die Energieeffizienz eines Kommissioniersystems lässt sich jedoch nicht unmittelbar aus der Energieeffizienz der Teilsysteme bestimmen, weil die gegenseitigen Einflüsse der Teilsysteme und deren Auswirkungen auf die gesamte Energieeffizienz berücksichtigt werden müssen (vgl. [11, pp. 2,15]). Außerdem wurde die Energieeffizienz der Teilsysteme Lager und Fördermittel im Rahmen der anderen wissenschaftlichen Arbeiten bereits behandelt (Kapitel 2.7). Diese Masterarbeit fokussiert sich daher auf die Energieeffizienz des Kommissionierarbeitsplatzes (Bearbeitungsprozess). Die Abbildung 19 zeigt die Abgrenzung des Kommissionierprozesses zu

den anderen Prozessen (z.B. Bereitstellungsprozess), dessen Energieeffizienz in dieser Masterarbeit behandelt wird.

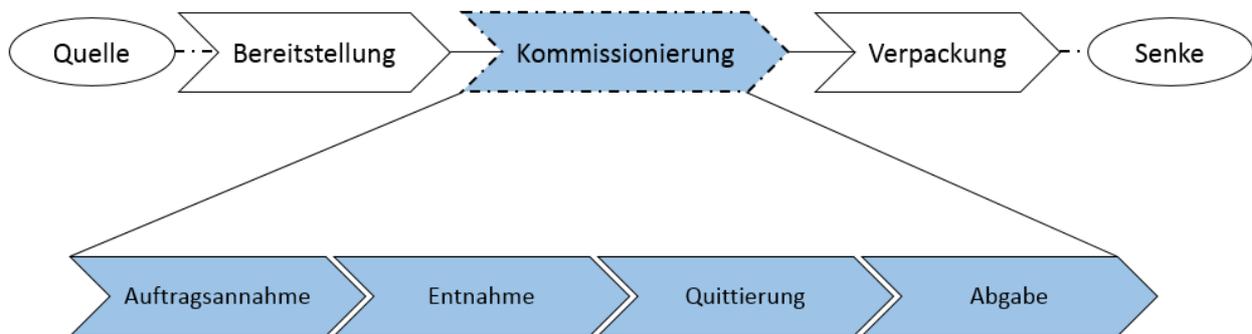


Abbildung 19: Abgrenzung des Kommissionierprozesses (vgl. in Anlehnung an [24, p. 14])

In Abhängigkeit von den Arteikeleigenschaften, Branche, Anforderungen, etc. werden folgende Kommissionierarbeitsplätze eingesetzt:

- Ware-zur-Person-Arbeitsplatz
- Ware-zum-Roboter-Arbeitsplatz
- Ware-zum-Kommissionierautomat-Arbeitsplatz

Der Ware-zum-Roboter-Arbeitsplatz und der Ware-zum-Kommissionierautomat-Arbeitsplatz werden schon im Kapitel 2.4.5 behandelt. Im Folgenden wird der Ware-zur-Person-Arbeitsplatz näher beschrieben.

2.5.1 Ware-zur-Person-Arbeitsplatz

Die Artikelbereitstellung erfolgt dynamisch. Sowohl die geringe Anzahl von Bereitstellplätzen als auch die Bewegung des Kommissionierers innerhalb eines bestimmten Kreises ermöglichen eine optimale Anpassung an alle Bereitstellplätze. Die optimale Ablagehöhe kann ebenso gestaltet werden. Die unnötigen Bück-Bewegungen können mithilfe eines Hubtisches vermieden werden.

Die Informationen werden im Idealfall über ein festinstalliertes Terminal im Blickfeld des Kommissionierers bereitgestellt, deshalb wird eine gerade Kopfhaltung möglich gemacht. Zusätzlich können die Anzahl der Entnahmemengen durch die Pick-by-Light-Anzeigen und die Anzahl der Abgabemenge durch die Put-to-Light-Anzeigen am Abgabebehälter angezeigt werden (vgl. [7, p. 122f]). In der Praxis können folgende Auftragsbearbeitungsformen eingesetzt werden (vgl. [9, p. 414]):

1:1-Kommissionierung: Von einem Artikelbehälter wird in einem Auftragsbehälter gepickt.

1:n-Kommissionierung: Von einem Artikelbehälter wird in mehrere Auftragsbehälter gepickt.

n:n-Kommissionierung: Aus mehreren Artikelbehälter wird in mehrere Auftragsbehälter kommissioniert.

Im Folgenden werden zwei Beispiele vom Ware-zur-Person-Arbeitsplatz aus der Praxis gezeigt:

- Pick-to-Bucket-Arbeitsplatz
- Pick-it-Easy Health-Arbeitsplatz

Pick-to-Bucket-Arbeitsplatz

Die Abbildung 20 zeigt einen Pick-to-Bucket-Arbeitsplatz, an diesem der Kommissionierer die angezeigte Stückzahl der Artikel entnimmt und sie in einen markierten Bucket legt. Wenn der Auftrag fertig ist, rutschen die Artikel auf ein zentrales Sammelband. Dieses befördert die Artikel zu einem automatischen Befüllpunkt. Mit dem Pick-to-Bucket kann eine Pickleistung von bis zu 1000 Picks pro Stunde erreicht werden. Dieses System ist für kleine und leichte Artikel geeignet (vgl. [25, p. 47]).

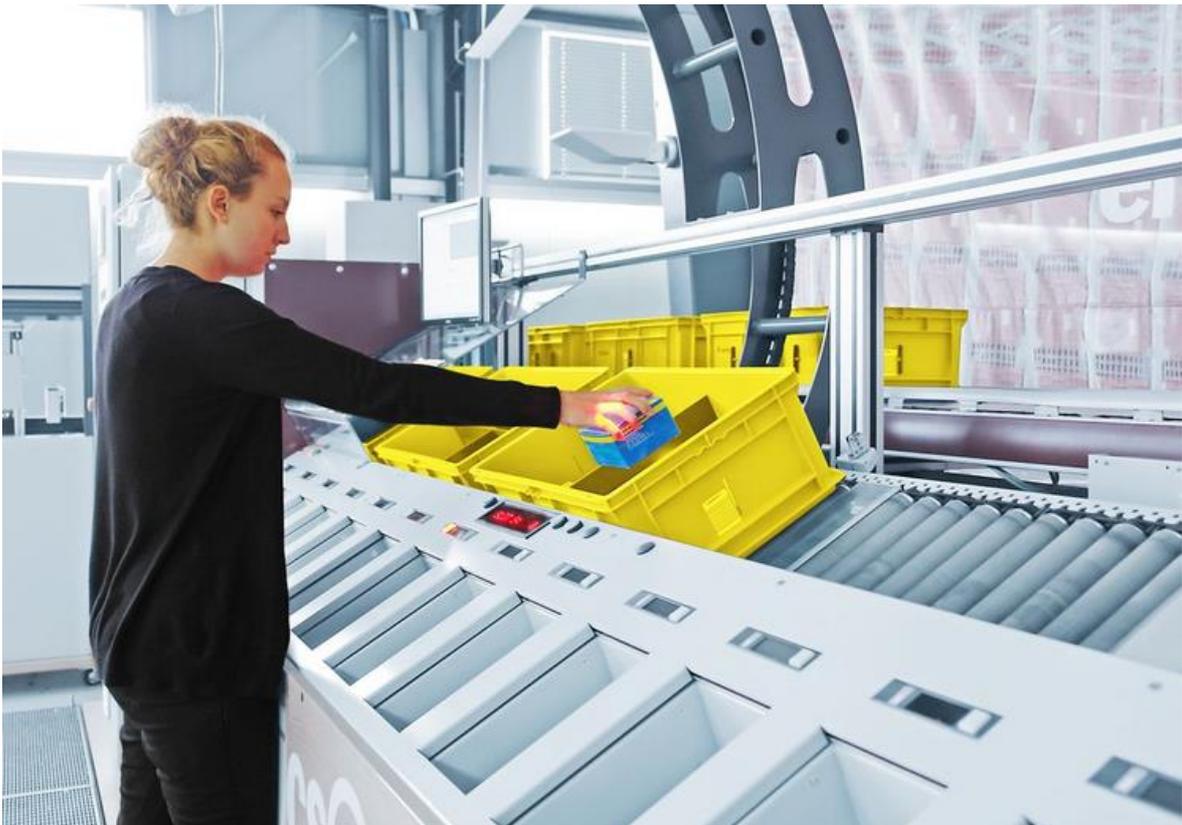


Abbildung 20 :Pick-to-Bucket-Arbeitsplatz

Pick-it-Easy Health-Arbeitsplatz

Pick-it-Easy Health ist ein modular aufgebauter, skalierbarer Arbeitsplatz, der für kleine und leichte Artikel geeignet ist (Abbildung 21). Mit dem Pick-it-Easy Health kann eine Leistung von 1000 Zugriffe pro Stunde erreicht werden (vgl. [26, p. 8]).



Abbildung 21 : Pick -it-Easy-Arbeitsplatz ([26])

2.6 Klassifizierung der Kommissionierarbeitsplätze

Die Ware-zur-Person-, Ware-zum-Roboter- und Ware-zum-Kommissionierautomat erfüllen die Kommissionieraufgabe, aber sie sind technisch unterschiedlich gestaltet. Es gibt eine Menge von verschiedenen Arten von Kommissionierarbeitsplätzen. Daher lassen sie sich untereinander nicht einfach vergleichen (Abbildung 22).

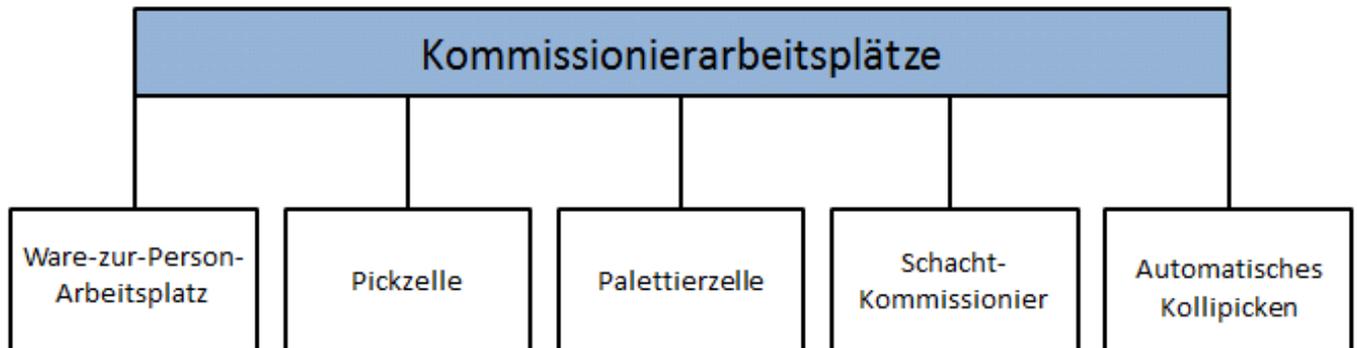


Abbildung 22 : Kommissionierarbeitsplätze

Zur Herstellung der Vergleichbarkeit müssen die Kommissionierarbeitsplätze klassifiziert werden. Basierend auf der Abbildung 23 können die Kommissionierarbeitsplätze dementsprechend eingeteilt werden.

	Ware-zur-Person-Arbeitsplatz	Pickzelle	Palettierzelle	Schachtkommissionierer	Automatisches Kollipicken
Art von Kommissioniergut	Einzelstückgut	Einzelstückgut	Einzel-/Sammelstückgut	Einzelstückgut	Einzel-/Sammelstückgut
Gewicht von Gut	niedrig	niedrig	niedrig bis mittel	niedrig (< 0,5 kg)	niedrig bis mittel
Handhabung heterogener Güter	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Kommissionierleistung pro h	bis 1000 Picks	bis 2400 Picks	3300 Kolli	10000-20000 Stück	2500-5000 Kolli
Bereitstellung	dynamisch-zentral	dynamisch-zentral	dynamisch-zentral	statisch-dezentral	dynamisch-zentral
Übergabe der Güter	geordnet	geordnet	palettiert	ungeordnet	geordnet

Abbildung 23 :Vergleich der Kommissionierarbeitsplätze ([14], [23], [25], [27])

Zunächst kann die Art des Kommissioniergutes als Ausgangspunkt zur Klassifizierung genommen werden.

- Klasse 1: Einzelstückgut (Ware-zur-Person-Arbeitsplatz, Pickzelle, Schachtkommis.)
- Klasse 2: Einzelstückgut/Sammelstückgut (Palettierzelle, Automatisches Picksystem)

Im Rahmen dieser Masterarbeit kann beispielweise nur die Klasse 1 betrachtet werden. Diese Klassifizierung ist nicht aussagekräftig und muss weiter eingeschränkt werden

Als ein weiteres Kriterium zur Klassifizierung kann das Gewicht des Gutes herangezogen werden. Im Schachtkommissionierer werden die Einzelstückgüter mit einem maximalen Gewicht von 0,5 kg kommissioniert. Daher können folgende vier Klassen exemplarisch vorgeschlagen werden:

- Klasse 1: 0-0,5 kg
- Klasse 2: 0,5-1 kg
- Klasse 3: 1-5 kg
- Klasse 4: ab 5 kg

Als letztes Kriterium zur Klassifizierung kann die Kommissionierleistung der Kommissionierplätze angewendet werden. In der Tabelle 1 wird die Klassifizierung der Vertikalförderer gezeigt. In ähnlicher Weise können die Kommissionierarbeitsplätze exemplarisch in folgenden Klassen eingeteilt werden.

- Klasse 1: $0-1000 \frac{\#}{h}$
- Klasse 2: $1000-2500 \frac{\#}{h}$
- Klasse 3: $2500-10000 \frac{\#}{h}$
- Klasse 4: ab $10000 \frac{\#}{h}$

Manuelle Sortierung	Automatische Sortierung(gering)	Automatische Sortierung(mittel)	Automatische Sortierung(hoch)
$1000 \frac{\#}{h}$	$1000-5000 \frac{\#}{h}$	$5000-10000 \frac{\#}{h}$	$< 10000 \frac{\#}{h}$

Tabelle 1 : Leistungsorientierte Systematisierung der Vertikalförderer (vgl. [28])

Die Artikelbehälter werden über einen Förderer zum Kommissionierer befördert. Die Stetigförderer werden in drei Klassen eingeteilt. Als Unterscheidungswert wird die Nennbelastung der Transporteinheit verwendet (vgl. [29, p. 12]):

- Klasse 1: 0 kg – 50 kg
- Klasse 2: 50 kg – 200 kg
- Klasse 3: 200 kg – 2500 kg

Beispielweise kann der Fokus bei den Untersuchungen nur auf den Kommissionierarbeitsplätzen der Klasse 1 mit einem maximalen Artikelgewicht von 0,5 kg und einem maximalen Kleinteilebehältergewicht von 50 kg liegen.

2.7 Literaturstudie zur Energieeffizienz

Zum Thema Energieeffizienz in der Intralogistik gibt es eine Vielzahl an Literaturstudien. Im Folgenden wird ein Überblick über die Forschungsprojekte und die Abschlussarbeiten gegeben.

2.7.1 Universität Stuttgart

Optimierung der Energieeffizienz von Intralogistikressourcen am Beispiel des Kettenförderers:

Zur Ermittlung des Energiebedarfes und Energieverbrauches werden die unterschiedlichen Methoden untersucht. Außerdem werden die Abhängigkeiten und die Wechselwirkungen der Einflussparameter auf den Energieverbrauch definiert. Aufbauend auf diesen Ergebnissen werden die Maßnahmen getroffen, die den Energieverbrauch von Intralogistikressourcen reduzieren (vgl. [30]).

Energieeffiziente Lagerplatzzuordnung in Hochregallagern:

Zur Verbesserung der Energieeffizienz der automatischen Hochregallager wird eine Strategie zur Lagerplatzzuordnung vorgestellt und bewertet, die den mittleren Energiebedarf von Einlagerungen und Auslagerungen senken kann, ohne dass der Umschlag reduziert wird.

Die Effizienz wird wie folgt beschrieben:

$$\text{Effizienz} = \frac{\text{Zielertrag}}{\text{erforderliche Mittel zur Ziellerreichung}}$$

Zur Maximierung der Effizienz gibt es hauptsächlich drei Möglichkeiten:

- Maximum-Prinzip: mit einem vorgegebenen Mitteleinsatz wird der Zielertrag maximiert.
- Minimum-Prinzip: mit einem vorgegebenen Zielertrag wird der Mitteleinsatz minimiert.
- Maximin-Prinzip: Mit einem geringen Mitteleinsatz wird ein möglichst hoher Zielertrag erreicht.

Im Bereich der automatischen Hochregallager wird der Umschlag als Nutzen definiert, der die Anzahl von Ein- und/oder Auslagerungen pro Zeiteinheit beschreibt. Die Energieeffizienz wird wie folgt beschrieben:

$$\text{Energieeffizienz} = \frac{\text{Ein- und/oder Auslagerungen}}{\text{Energieeinheit}}$$

Ein Simulationsmodell wird zur Energieeffizienzbewertung der Lagerstrategien zur Darstellung gebracht. Danach wird die neu entwickelte und explizit energieeffiziente Strategie mit bestehenden Strategien verglichen (vgl. [31, pp. 1-3]).

2.7.2 Technische Universität München

Energiebedarfsermittlung und Energieeffizienzbewertung von Regalbediengeräten in automatischen Kleinteilelagern:

Zur Bewertung von Regalbediengeräten bezüglich der Energieeffizienz wird eine Bewertungsmethode entwickelt. Als Grundlage wird die VDI-Richtlinie 4707 (Energieeffizienz von Aufzügen) verwendet. Als Erstes wird der repräsentative Energiebedarf während der gesamten Betriebszeit betrachtet (vgl. [2]):

- Stillstandsbedarf (Brachzeit)
- Fahrtbedarf (Nutzungszeit)

Der Energiebedarf des Regalbediengeräts wird durch die folgende Gleichung berechnet:

$$E_{ges} = \bar{P}_{Brach} * T_{Brach} + \bar{P}_{Nutz} * T_{Nutz}$$

\bar{P}_{Brach}	Mittlerer Leistungsbedarf während der Brachzeit
\bar{P}_{Nutz}	Mittlerer Leistungsbedarf während der Nutzungszeit
T_{Brach}	Brachzeit während der Betriebszeit
T_{Nutz}	Nutzungszeit während der Betriebszeit

Tabelle 2: Koeffizienten zur Berechnung des Energiebedarfes ([2])

Die Anteile der Nutzungszeit und der Brachzeit werden mit Hilfe der Nutzungskategorien bestimmt:

Nutzungskategorie	1	2	3	4	5
Nutzungsintensität	sehr selten	selten	gelegentlich	häufig	sehr häufig
Nutzungszeit[%]	10	30	50	70	90
Brachzeit [%]	90	70	50	30	10

Tabelle 3:Nutzungskategorien nach Nutzungsintensität ([2])

Die Energieeffizienz wird durch die folgende Gleichung definiert:

$$\text{Energieeffizienz} = \frac{\text{Energieaufwand}}{\text{Nutzen}} = \frac{\Psi}{\Phi}$$

Durch folgende Kenngrößen wird der Nutzen Φ berechnet:

- Die transportierte Nutzlast m_{nutz}
- Der erreichte Durchsatz λ
- Die Fläche der bedienten Regalwand $A = L * H$

$$\Phi = m_{\text{nutz}} * \lambda * A$$

Analytische Energiebedarfsbestimmung von Intralogistiksystemen in der Planungsphase:

Der Energiebedarf kann durch Schätzen, Berechnen, Messen und Simulieren erfolgen. Die Simulationen und die Messungen sind zeitlich sehr aufwendig in der Planungsphase, daher werden zur Ermittlung des Energiebedarfes von Stetigförderanlagen und Regalbediengeräten analytische Berechnungsmodelle entwickelt. Der analytische Ansatz in der Planungsphase bringt den Vorteil, dass die Variantenvergleiche sehr schnell ermöglicht werden können (vgl. [32]).

2.7.3 Technische Universität Graz

Forschungsprojekt effMFS:

Bei diesem Forschungsprojekt liegt der Fokus auf folgenden Bereichen (vgl. [33]):

- Entwicklung einer allgemeinen Bewertungsmethodik zum Energieeffizienzvergleich für Förder- und Lagergerät
- Bestimmung der Optimierungspotenziale zur Steigerung der Energieeffizienz

Dieses Forschungsprojekt ist als Grundlage für die folgenden Abschlussarbeiten verwendet.

Energieeffizienz von Materialflusssystemen (Untersuchungen am Bandförderer):

Zur Bewertung der Energieeffizienz wird eine Bewertungsmethode entwickelt. Bei dieser Methode wird der Energiebedarf der logistischen Leistung gegenübergestellt. Zur Bestimmung des Energiebedarfes wird ein Lastkollektiv definiert (Abbildung 24), welches die in der Praxis auftretenden Betriebszustände darstellt. Bei den Messungen am Bandförderer werden die

Rahmenbedingungen für die Vergleichbarkeit festgelegt. Abschließend werden zwei mögliche Verbesserungsmaßnahmen am Bandförderer untersucht (vgl. [29]).

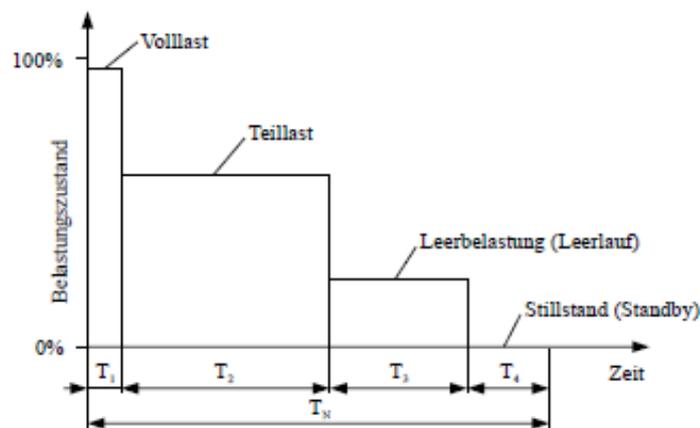


Abbildung 24: Typisches Lastkollektiv – Bandförderer ([29])

Zur Bewertung der Energieeffizienz wird spezifischer Energiebedarf E_C verwendet, der sich aus dem Kehrwert der Energieeffizienz ergibt:

$$E_C = \frac{\text{elektrischer Energieeinsatz}}{\text{logistischer Ertrag}}$$

Als logistischer Ertrag werden das Produkt der Strecke L_F mit der Anzahl der transportierten Einheiten X_i und die gesamte transportierte Masse M_{ges} und deren Weg verwendet (vgl. [29]):

$$E_{C1} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i * T_i}{\sum_{i=1}^n X_i * L_F}$$

$$E_{C2} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i * T_i}{\sum_{i=1}^n M_{ges} * L_F}$$

Energy Efficiency Benchmarking-Concepts for Material Flow Systems (Investigations on automated storage and retrieval systems):

Diese Masterarbeit untersucht und vergleicht Regalbediengeräte, Shuttle Systeme und Horizontale Karusselllager bezüglich der Energieeffizienz. Zur Bestimmung wird eine Bewertungsmethodik definiert, welche den Energiebedarf der logistischen Leistung

gegenüberstellt. Zur Ermittlung des Energiebedarfes wird ein Lastkollektiv definiert (Abbildung 25), welches aus den Betriebszuständen (Volllast, Teillast, Stillstand) besteht und den von den Bediengeräten anzufahrenden Referenzpunkten (Lagerplätzen) besteht. Abschließend werden die Prozessschritte für die ordnungsgemäße Messung beschrieben ([34]).

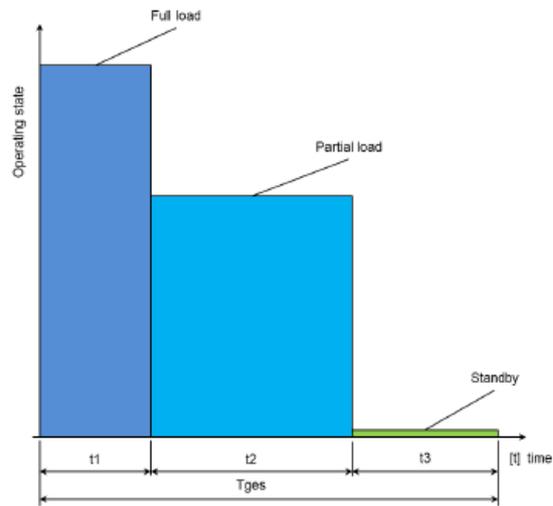


Abbildung 25: Lastkollektiv-Lagersysteme ([34])

Als logistischer Ertrag werden die gesamte Anzahl der Kleinladungsträger X_{ges} in einer bestimmten Zeiteinheit, die Gesamtanzahl der Doppelspiele N_{ges} in einer Zeiteinheit und die gesamte transportierte Masse M_{ges} verwendet (vgl. [34]).

$$E_{C1} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i * T_i}{\sum_{i=1}^n X_{ges}}$$

$$E_{C2} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i * T_i}{\sum_{i=1}^n N_{ges}}$$

$$E_{C3} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i * T_i}{\sum_{i=1}^n M_{ges}}$$

Beitrag zu einer energieeffizienten Materialflusstechnik (Grundlagen zur Ermittlung, zum Vergleich und zur Steigerung der Energieeffizienz):

Im Rahmen dieser Dissertation wird eine Bewertungsmethode bezüglich der Energieeffizienz entwickelt, validiert und exemplarisch angewendet. Diese Methode beinhaltet die Prozessschritte zur Ermittlung der Kennzahlen unter festgelegten Rahmenbedingungen, um eine neutrale Bewertung möglich zu machen und stellt die benötigte elektrische Energie der logistischen Leistung gegenüber. Außerdem werden die Leistungsverluste im Antriebsstrang und die Optimierungsmaßnahmen zur Energieeffizienzsteigerung bestimmt.

2.7.4 Karlsruher Institut für Technologie

Energiebetrachtung beim Lager- und Kommissioniervorgang:

Das Ziel des Forschungsprojektes ist die Betrachtung der Umweltaspekte der Fördermittel im Lager- und Kommissioniervorgang. Dadurch können die Aussagen über die Umweltauswirkungen getroffen werden. Die Höhe der einzelnen Umweltaspekte ist von einer Vielzahl von Einflussfaktoren (z.B. die Betriebsart, die technische Ausstattung des Antriebsstranges) abhängig. Die Quantifizierung der Umweltaspekte und die Aussage über die Umweltauswirkungen erfolgen mit dem EcoReport-Tool der Europäischen Kommission. Aus den Ergebnissen ist deutlich, dass die Nutzungsphase hauptsächlich die Umweltaspekte der Fördermittel beeinflusst. Daher werden die Umweltaspekte in der Nutzungsphase betrachtet. Eine Analyse dieser Lebensphase ist Mithilfe des EcoReport-Tools nicht möglich, da hier nur auf die Betrachtung des Gesamtenergiebedarfs fokussiert wird. Zur Analyse und Bewertung der Nutzungsphase wurden analytische Umweltaspekt-Modelle entwickelt. Mit Hilfe dieser Umweltaspekt-Modelle können auch die Energieeffizienzmaßnahmen getroffen werden (vgl. [35]).

Energieeffizienz in der Intralogistik:

Ziel des Forschungsprojektes itsowl-IASI ist es, intralogistische Prozesse gesamtheitlich von den untersten Komponenten bis zur Prozessführung zu analysieren und Lösungen hinsichtlich ihrer Energieeffizienz zu finden. Sowohl die Potentiale zur Reduzierung von Verlusten auf der Komponentenebene als auch die Energiesparpotentiale durch die intelligente Komponentenvernetzung sollen ermittelt werden (vgl. [36]).

2.7.5 Forschungslücke

Ein Ware-zum-Kommissionierer-System besteht grundsätzlich aus drei Teilsystemen: Lager, Fördermittel und Kommissionierarbeitsplatz. Die bisherigen wissenschaftlichen Arbeiten haben sich nur mit der Energieeffizienz der Lagersysteme und der Förderer beschäftigt. Daher zielt diese Masterarbeit darauf ab, eine Bewertungsmethode zum Energieeffizienzvergleich der Kommissionierarbeitsplätze zu entwickeln.

3 Kommissionierleistung

Die Kommissionierleistung wird durch die Anzahl der Aufträge, der Positionen, der Picks, etc. in einer bestimmten Zeiteinheit bestimmt.

Zur Erbringung der Kommissionierleistung transformiert ein Kommissionierarbeitsplatz innerhalb der festgestellten Systemgrenze den Input (Ressourcen) in Output (Leistung). Ein energieeffizientes Kommissioniersystem soll ein besonderes Ziel verfolgen, dass die Anforderungen und Aufgaben mit dem geringsten Energieeinsatz erfüllt werden (Abbildung 26).

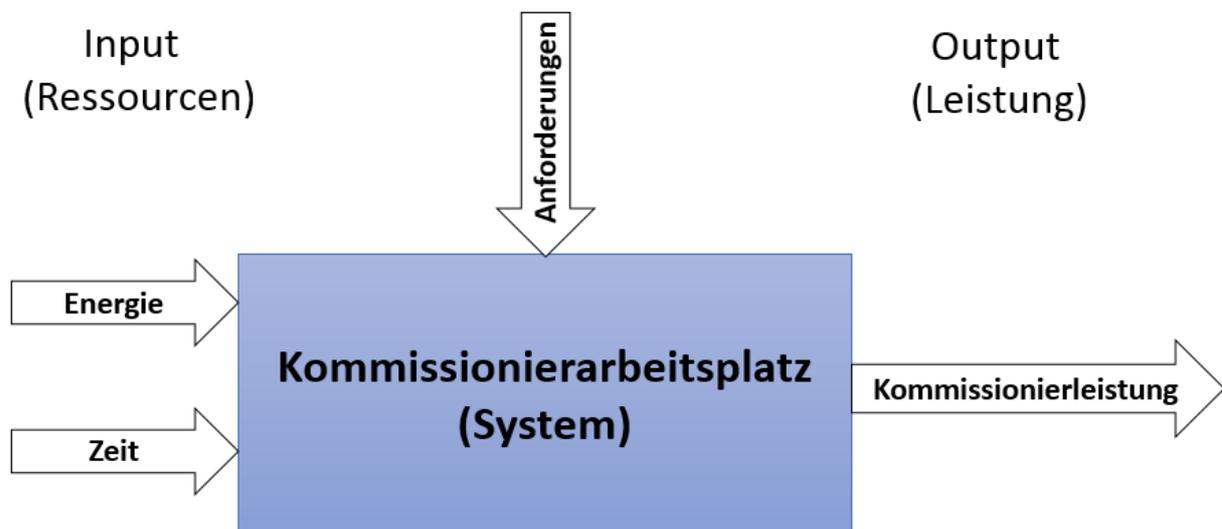


Abbildung 26 : Kommissionierarbeitsplatz als Transformation System ([37, p. 45])

Die Kommissionierleistung ist von vielen Einflussfaktoren abhängig und kann daher variieren. Im Folgenden werden die Einflussfaktoren auf die Kommissionierleistung betrachtet.

3.1 Einflussfaktoren auf die Kommissionierleistung

Die Kommissionierleistung hängt von vielen Faktoren ab, wie z.B. Bereitstellung, Ablauforganisation, Artikelstruktur (Gewicht, Abmessungen), Auftragsstruktur und von dem mentalen Zustand. ([22, p. 399]).

Die folgenden Einflussfaktoren werden von Siepenkort für Person-zur-Ware-Systeme festgestellt (vgl. [38, p. 56]):

- Bewegte Masse
- Bewegtes Volumen
- Kommissionierqualität

- Zurückgelegter Weg
- Bearbeitungszeit
- Kommissionierte Mengen

Sadowsky ermittelt die folgenden Einflussfaktoren für Person-zur-Ware-Systeme (vgl. [11, p. 47]):

- Artikelstruktur (Artikelabmessungen, Artikelgewicht, Anzahl der Artikel etc.)
- Auftragsstruktur (Auftragsgröße etc.)
- Infrastruktur (Ganglänge, Gangbreite etc.)
- Betriebsstrategien
- Arbeitsbedingungen

Die Articleigenschaften bestimmen die Gestaltung der Arbeitsplätze bzw. Greifplätze, Auftragsvolumina sowie den Kommissioniererbedarf (vgl. [9, p. 25]).

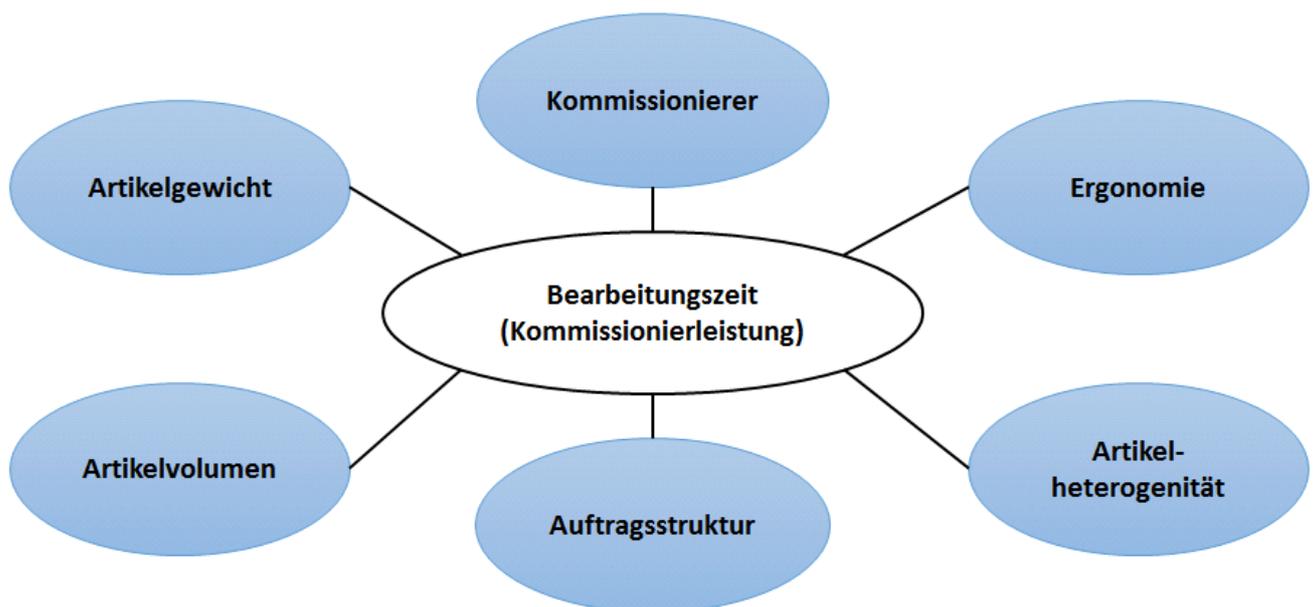


Abbildung 27 : Einflussfaktoren auf die Kommissionierleistung(Bearbeitungszeit)

Die Abbildung 27 zeigt wesentliche Einflussfaktoren, welche die Bearbeitungszeit bzw. die Kommissionierleistung beeinflussen. Diese Faktoren werden im Nachfolgenden näher beschrieben und müssen bei der Erhöhung bzw. der Analyse der Kommissionierleistung berücksichtigt werden.

3.1.1 Ergonomie

Unter der Ergonomie wird die Lehre der menschlichen Arbeit verstanden, die sich mit der optimalen Anpassung der Arbeitsbedingungen an den Menschen beschäftigt (vgl. [9, p. 156]). Dabei werden nicht nur technische Geräte und der Umgang mit ihnen, sondern auch das Raumklima, akustische Umstände und Licht am Arbeitsplatz berücksichtigt. (Vgl. [7, p. 112]).

Die Ergonomie verfolgt folgende Ziele:

- Die Humanität (die anforderungsgerechte Gestaltung der Arbeitsplätze, etc.)
- Die Wirtschaftlichkeit (Arbeitsablaufoptimierung, etc.)
- Die Arbeitssicherheit

Mit Hilfe der Ergonomie werden hohe Produktivität, beste Arbeitsqualität, hohe Mitarbeitermotivation, optimale Nutzung der Betriebsmittel, etc. garantiert (vgl. [9, p. 156]).

3.1.2 Kommissionierer

Die Hauptaufgabe des Kommissionierpersonals ist die Entnahmefunktion der zu kommissionierenden Waren. Obwohl die Automatisierung der Entnahmetätigkeit angestrebt wird, wird der Mensch in naher Zukunft in der Mehrzahl der Anwendungsfälle zur wirtschaftlichen Durchführung dieser Tätigkeit unverzichtbar sein. Automatische Systeme haben hohe Anforderungen an die Artikelhomogenität und sind relativ nicht anpassungsfähig. Der Einsatz dieser Systeme ist oftmals unwirtschaftlich (vgl. [39, p. 203]).

Der Mensch bringt im Vergleich zu automatischen Kommissioniereinrichtungen folgende Vorteile, die im Kommissionierbereich eine große Rolle spielen (vgl. [13, p. 227]):

1. **Hohe sensomotorische Fähigkeiten:** Die flexibel einsetzbaren Greiforgane des Menschen lassen sich praktisch ohne Zeitverlust an verschiedenen Artikeln anpassen. Die Handhabung von Artikeln mit unterschiedlichen Merkmalen, wie z.B. Zerbrechlichkeit, Form, Gewicht und Oberfläche, stellt kein Problem dar. Dementsprechend braucht ein Roboter generell eine große Menge von Greifer, um diese Herausforderung erfüllen zu können.
2. **Lernfähigkeit und Flexibilität:** Menschliche Kommissionierer können flexibel abgerufen und je nach Bedarf eingesetzt werden. Die Abdeckung der Leistungsspitzen erfolgt kurzfristig durch zusätzliche Kommissionierer, während bei automatischen

Kommissioniereinrichtungen die Beachtung solcher Leistungsspitzen schon in der Planphase erforderlich ist. Die Artikelstrukturänderungen bereiten dem menschlichen Kommissionierer normalerweise keine Probleme, während die Reaktion der automatischen Systeme auf diesen Fall empfindlich ist.

3. **Kosten:** Die Löhne für die Kommissioniertätigkeit sind relativ niedrig, da keine besonderen Qualifikationen erforderlich sind.

Der Mensch bringt auch die Nachteile mit sich und kann über einen längeren Zeitraum keine konstante Leistung bringen. Die Kommissionierleistung kann aufgrund der folgenden Faktoren schwanken (vgl. [13, pp. 228,229]).

- Physische Belastungen (z.B. falsche und/oder hohe Belastung der Wirbelsäule, etc.)
- Psychische Belastungen (z.B. hohe Konzentrationsanforderungen, Stress bei Arbeitsspitzen, etc.)
- Motivation (Prämienlohn, Anerkennung, Sicherheit des Arbeitsplatzes, etc.)

3.1.3 Artikelgewicht

Ein Artikel ist die kleinste Einheit eines Sortiments. Die Kommissionierleistung hängt von dem Artikelgewicht ab. Beispielweise benötigt ein Kommissionierer mehr Zeit, wenn die Artikel schwer sind. Daher liegt eine negative Korrelation zwischen dem Artikelgewicht und der Kommissionierleistung vor (vgl. [40]).

3.1.4 Artikelvolumen

Das Artikelvolumen ist relevant für die Kommissionierleistung (vgl. [38, p. 68]). Eine negative Korrelation besteht wahrscheinlich zwischen dem Artikelvolumen und der Kommissionierleistung (vgl. [41, p. 46]).

3.1.5 Artikelheterogenität

Eine weitere negative Korrelation besteht vermutlich zwischen der Artikelheterogenität und der Kommissionierleistung. (vgl. [41, p. 46]). Beispielweise kann eine hohe Artikelheterogenität für automatische Kommissioniersysteme die Schwierigkeiten verursachen (vgl. [42, p. 1]).

3.1.6 Auftragsstruktur

Jeder Auftrag besteht aus einer oder mehreren Positionen mit der definierten Artikelmenge. Die Auftragsstruktur wird durch folgende Merkmale beschrieben (vgl. [43]):

- Anzahl der Aufträge pro Zeiteinheit
- Auftragsgröße (Gewicht, Volumen)
- Anzahl der Positionen pro Auftrag
- Auftragsarten (Groß-, Mittel-, Kleinaufträge usw.)
- Zugriffe pro Position
- etc.

Die Auftragsstruktur hat einen entscheidenden Einfluss über die Auswahl des Kommissioniersystems (statische oder dynamische Bereitstellung), die Kommissionierorganisation, die Größe der Auftragsbehälter und die Art und Häufigkeit der Zugriffe (vgl. [9, p. 26]).

3.2 Bearbeitungszeit

Der Zeitbedarf, um die Kommissioniertätigkeit in einem Ware-zum-Kommissionierer-Arbeitsplatz zu erledigen, wird die Bearbeitungszeit t_B genannt.

Der Bearbeitungsprozess wird an einem festen Ort ausgeführt und besteht aus den folgenden Tätigkeiten (vgl. [7, p. 127]):

- Auftragsübernahme
- Vorbereitung des Sammelbehälters
- Entnahme (Pick)
- Sortierung
- Abgabe des Sammelbehälters

Die Bearbeitungszeit wird in die Basiszeit, Greifzeit und Totzeit unterteilt.

$$\text{Bearbeitungszeit} = \text{Basiszeit} + \text{Greifzeit} + \text{Totzeit}$$

$$t_B = t_{basis} + t_{greif} + t_{tot} \quad (3.1)$$

3.2.1 Basiszeit

Die Basiszeit t_{basis} beinhaltet folgende Tätigkeiten (vgl. [7, p. 133]):

- Auftragsübernahme
- Belegssortierung
- Aufnahme von Kommissionierbehältern
- Abgabe von Kommissionierbehältern
- etc.

Die Basiszeit liegt zwischen 5 bis 10 % der Kommissionierzeit und kann durch optimale Arbeitsvorbereitung, Schulung des Personals und optimale Bereitstellung verkürzt werden (vgl. [22, p. 398]).

3.2.2 Greifzeit

Die Greifzeit t_{greif} umfasst die Zeit von der Artikelentnahme bis zum Ablegen der Artikelmenen an den Bereitstellplätzen. Sie beinhaltet folgende Tätigkeiten:

- Hinlangen
- Aufnehmen
- Befördern
- Ablegen

Manche Tätigkeiten, wie z.B. Etikettieren oder Beschriften, werden für die Berechnung der Greifzeit nicht berücksichtigt (vgl. [7, p. 133]).

Wie in der Abbildung 28 gezeigt, hängt die Greifzeit von folgenden Faktoren ab (vgl. [42, p. 2]):

- Schwierigkeit des Greifens (z.B. vermischt liegend)
- Greiftiefe
- Greifhöhe
- Ablagehöhe
- Ablagetiefe
- Artikelabmessungen
- der Anzahl der Entnahmeeinheiten pro Position
- Artikelgewicht
- etc.

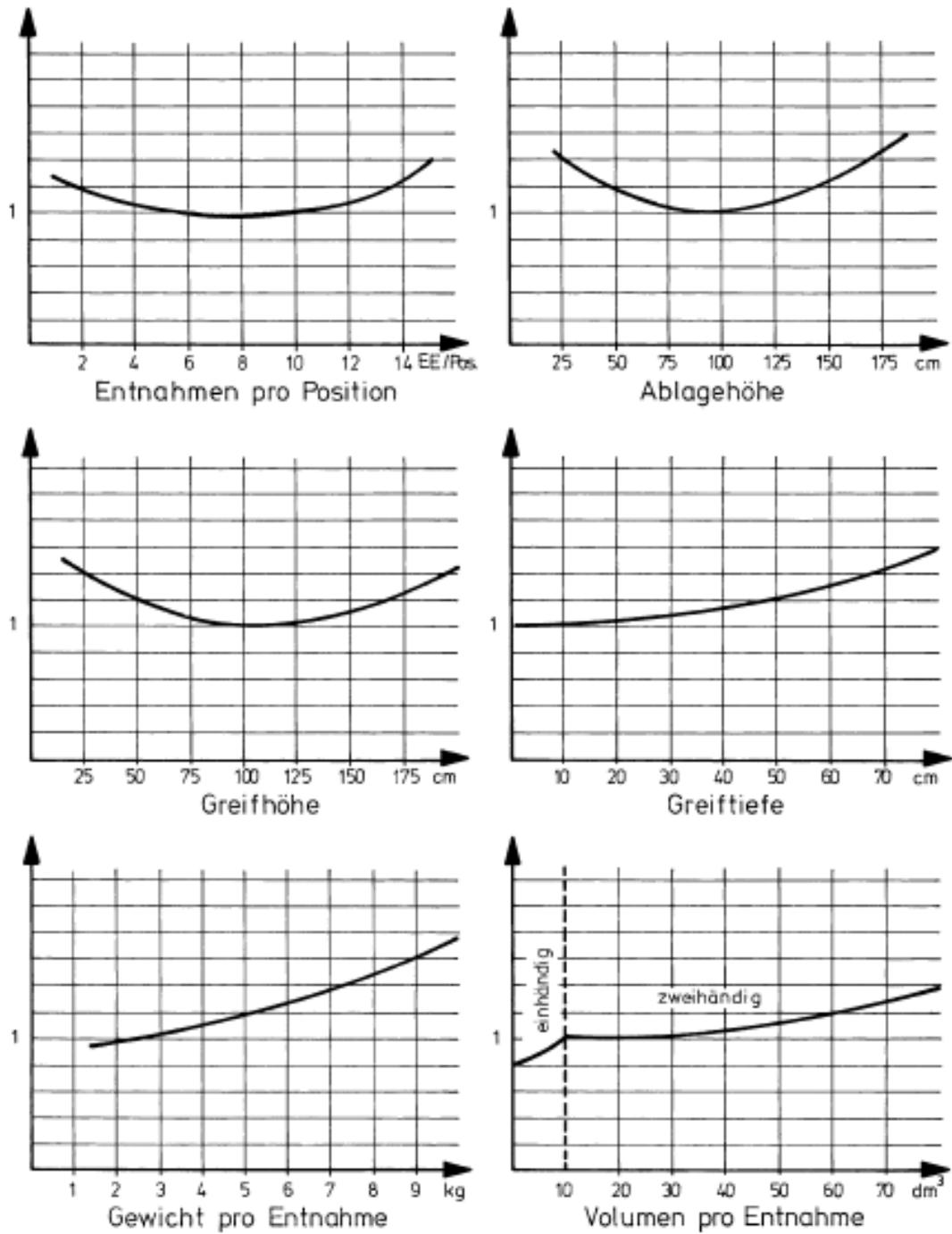


Abbildung 28: Einflussgrößen auf die Greifzeit ([44])

3.2.3 Totzeit

Die Totzeit t_{tot} ist eine unproduktive aber unvermeidbare Zeit. Sie umfasst die Tätigkeiten (vgl. [7, p. 133]):

- Lesen
- Suchen
- Identifizieren
- Aufreißen von Packungen
- etc.

Die Totzeit beträgt ca. 10 bis 35% der Kommissionierzeit und kann durch optimale Arbeitsbedingungen, Informationshilfen, Schulung des Personals und beleglose Kommissionierung verkürzt werden ([22, p. 399]).

3.3 Definition der Kommissionierleistung

Die Kommissionierleistung gibt an, wie viele Aufträge, Positionen oder Picks, etc. in einer bestimmten Zeiteinheit bearbeitet werden müssen (vgl. [7, p. 215]).

Wie in der Abbildung 29 gezeigt, kann die Kommissionierleistung auf unterschiedliche Weise berechnet bzw. definiert werden.

	Bezeichnung	Beispiel
A1	Positionen pro Zeiteinheit	Anzahl Positionen pro h
A2	Picks pro Zeiteinheit	Anzahl Picks pro h
A3	Gesamtgewicht pro Zeiteinheit	Anzahl kg pro h
A4	Volumen pro Zeiteinheit	Anzahl m ³ pro h
A5	Kommissionieraufträge pro Zeiteinheit	Anzahl Komm.-Aufträge pro h

Abbildung 29 : Definition der Kommissionierleistung (vgl. [45, p. 19])

Die ersten drei Kennzahlen zur Kommissionierleistung wurden für diese Masterarbeit ausgewählt und im Folgenden näher betrachtet (vgl. [24, pp. 207-209]):

3.3.1 Definition 1- Anzahl der Picks pro Zeiteinheit

Diese Kennzahl gibt die Summe aller Picks an, die in einer bestimmten Zeiteinheit kommissioniert wurden. Diese übliche Kennzahl ist für die Leistungsanalyse geeignet und wird bei Reorganisation und Neuplanung von einem Kommissioniersystem als Grundlage verwendet.

$$\text{Kommissionierleistung } K_{L1} = \frac{\sum \text{Picks}}{\text{Zeiteinheit}} \quad \left[\frac{\#}{h} \right]$$

Die Pickleistung ergibt sich durch die Multiplikation des Pick-Durchsatzes PL_i mit dem Zeitanteil T_i des betrachteten Betriebszustandes. Durch die Summe aller Pickleistungen wird die Kommissionierleistung K_{L1} in der definierten Zeiteinheit T_N berechnet:

$$K_{L1} = \sum_{i=1}^n PL_i * T_i \quad (3.2)$$

Unter optimalen Umständen können die Leistungen, wie z.B. bis zu 1000 Picks pro Stunde, erreicht werden. Wenn der Kommissionierer neben dem Pickvorgang scannen, wiegen, etikettieren etc. muss, dann kann die Leistung 150 Picks pro Stunde betragen (vgl. [9, p. 414]).

3.3.2 Definition 2- Anzahl der Positionen pro Zeiteinheit

Diese Kennzahl ist die Summe aller Positionen, die in einer bestimmten Zeit kommissioniert wurden. Diese dient als Grundlage für die Leistungsbeurteilung und den Systemvergleich und ein Maß für die Produktivität. Bei Reorganisation und Neuplanung von einem Kommissioniersystem kann diese Kennzahl verwendet werden

$$\text{Kommissionierleistung } K_{L2} = \frac{\sum \text{Positionen}}{\text{Zeiteinheit}} \quad \left[\frac{\#}{h} \right]$$

Die Positionleistung eines Betriebszustandes ergibt sich durch die Multiplikation des Position-Durchsatzes POL_i mit dem Zeitanteil T_i . Die Kommissionierleistung K_{L2} wird in der Gesamtdauer T_N durch folgende Gleichung berechnet:

$$K_{L2} = \sum_{i=1}^n POL_i * T_i \quad (3.3)$$

3.3.3 Definition 3-Das kommissionierte Gesamtgewicht

Diese Kennzahl setzt sich aus den Gewichten der Artikel, die in einer bestimmten Zeiteinheit kommissioniert worden sind, zusammen. Diese Kennzahl zeigt den Durchsatz der Kommissionierung bezüglich des Gewichtes und wird dann verwendet, wenn bei der Leistungsbeurteilung der Fokus auf dem Gewicht liegt.

$$\text{Kommissionierleistung } K_{L3} = \frac{\sum \text{Artikelgewichte}}{\text{Zeiteinheit}} \quad \left[\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right]$$

Die Gewichtleistung eines Betriebszustandes ergibt sich durch die Multiplikation des Gewicht-Durchsatzes G_i mit dem Zeitanteil T_i . Die Kommissionierleistung K_{L3} wird durch folgende Gleichung berechnet:

$$K_{L3} = \sum_{i=1}^n G_i * T_i \quad (3.4)$$

3.3.4 Die effektive Kommissionierleistung

Die effektive Kommissionierleistung ist die Leistung, die tatsächlich erreicht wird. Diese wird durch folgende Formel bestimmt.

$$\text{Effektive Kommissionierleistung} = \text{Kommissionierleistung} * \eta_{ver} * \eta_{aus} \quad (3.5)$$

η_{ver} kennzeichnet die Verfügbarkeit des Kommissionierers und η_{aus} kennzeichnet die Auslastbarkeit des Kommissionierers. Ein Kommissionierer (Mensch oder Maschine) ist nicht immer für die geforderte Leistung verfügbar. Daher umfasst die Verfügbarkeit die produktiven und unproduktiven Arbeitszeiten (z.B. technische Ausfallzeiten). Folgende Erfahrungswerte der Verfügbarkeit η_{ver} können für die Leistungsberechnung in Betracht gezogen werden (vgl. [46, p. 769]):

- Exzellente Arbeitsbedingungen und geringe Arbeitsbelastungen: ca. 90%
- Gute Arbeitsbedingungen und mittlere Arbeitsbelastungen: ca. 85%
- Weniger gute Arbeitsbedingungen und hohe Arbeitsbelastung: ca. 80%

4 Energieeinsatz

4.1 Theorie der elektrischen Leistung

4.1.1 Leistung im Gleichstromkreis

Bei Gleichstrom ändern sich die Stärke und die Richtung des elektrischen Stroms nicht. Die im Verbraucher umgesetzte Leistung P ergibt sich aus dem Produkt der elektrischen Spannung und der elektrischen Stromstärke:

$$P = U * I \quad (4.1)$$

Zur Bestimmung der Leistung müssen einfach die Spannung und der Strom gemessen werden (vgl. [47, p. 155]).

4.1.2 Leistung im Wechselstromkreis

Der Strom und die Spannung haben einen sinusförmigen Verlauf und sind abhängig von der Zeit. \hat{U} und \hat{I} sind die Amplituden, also die höchsten Werte. Hierbei entstehen die Phasenwinkel (φ_u, φ_i).

$$u(t) = \hat{U} * \sin(\omega t + \varphi_u) \quad (4.2)$$

$$i(t) = \hat{I} * \sin(\omega t + \varphi_i) \quad (4.3)$$

Die Effektivwerte werden durch folgende Gleichungen berechnet:

$$\hat{U} = \sqrt{2} * U \quad (4.4)$$

$$\hat{I} = \sqrt{2} * I \quad (4.5)$$

Zur Berechnung der momentanen Leistung werden die Momentanwerte miteinander multipliziert:

$$p(t) = u(t) * i(t) = \hat{U} * \hat{I} * \sin(\omega t + \varphi_u) * \sin(\omega t + \varphi_i) \quad (4.6)$$

Mit Hilfe von $\sin(\alpha) * \sin(\beta) = 0,5 * (\cos(\alpha - \beta) - \cos(\alpha + \beta))$ erhält man:

$$p(t) = U * I * \cos(\varphi_u - \varphi_i) - U * I * \cos(2\omega t + \varphi_u + \varphi_i) \quad (4.7)$$

Die mittlere Leistung P bestimmt man durch Mittelung von p(t) über eine Periode T:

$$P = \overline{p(t)} = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) \cdot dt \quad (4.8)$$

Wenn die Gleichung 4.7 in Gleichung 4.8 eingesetzt wird, dann erhält man folgende Gleichungen:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T U * I * \cos(\varphi_u - \varphi_i) dt - \frac{1}{T} \int_0^T U * I * \cos(2\omega t + \varphi_u + \varphi_i) dt \quad (4.9)$$

$$P = U * I * \cos(\varphi_u - \varphi_i) \quad (4.10)$$

Mit $\varphi = \varphi_{ui} = \varphi_u = \varphi_i$ kann die mittlere Leistung einfach mit folgender Formel berechnet werden. Diese mittlere Leistung wird als Wirkleistung P bezeichnet, die tatsächlich wirkt.

$$P = U * I * \cos(\varphi) \quad (4.11)$$

Die Blindleistung Q liefert keinen Beitrag zur Energieübertragung und entsteht durch Speicherverhalten. Diese Leistung pendelt hin und her zwischen Quelle und Verbraucher.

$$Q = U * I * \sin(\varphi) \quad (4.12)$$

Die Scheinleistung S ist das Produkt der Effektivwerte von Spannung und Strom:

$$S = U * I \quad (4.13)$$

Das Verhältnis zwischen Wirk- und Scheinleistung wird als Leistungsfaktor $\cos(\varphi)$ bezeichnet (vgl. [47, p. 155f]):

$$\cos(\varphi) = \frac{P}{S} \quad (4.14)$$

4.1.3 Leistung im Drehstromkreis

Drehstrom ist ein Wechselstrom mit drei Phasen und wird in Generatoren mit drei Wicklungen (um 120° versetzt) erzeugt. Das Netz besteht aus den stromführenden Leitungen (L1, L2, L3), dem Neutraleiter (N) und dem Schutzleiter (PE). Zwischen dem Außenleiter und dem Neutraleiter herrscht die Spannung 230 V. Zwischen zwei Außenleitern herrscht die Spannung 400 V (Abbildung 30). Beim Drehstrom wird die Leistung mit dem Verkettungsfaktor $\sqrt{3}$ berechnet. Die Wirkleistung wird durch folgende Gleichung definiert ([48, p. 429f]):

$$P = \sqrt{3} * U * I * \cos(\varphi) \quad (4.15)$$

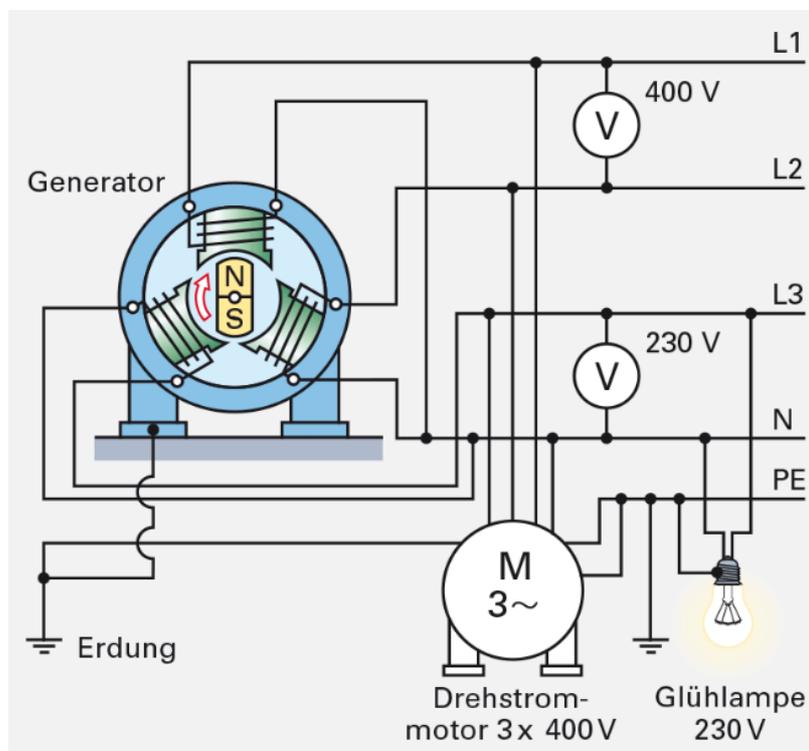


Abbildung 30 : Generator für Drehstrom [[48, p. 429]

Der Energieverbrauch ist das Integral der Leistung über die Zeit:

$$E = \int_{t_0}^t P dt \quad (4.16)$$

Im Folgenden werden die Systemgrenzen und die Betriebszustände festgelegt, die zur Ermittlung und Berechnung des Energieeinsatzes erforderlich sind.

4.2 Systemgrenze

Zur Bewertung der Energieeffizienz ist die Festlegung der Systemgrenzen notwendig. Der Kommissionierprozess am Arbeitsplatz wird durch eine große Anzahl an Geräten realisiert, welche die elektrische Energie verbrauchen. Zur Ermittlung des Energieeinsatzes müssen die Systemgrenzen und die Messpunkte für 3 Arbeitsplatzvariationen festgelegt werden. Innerhalb der Systemgrenze werden alle elektrischen Komponenten, wie z.B. die benötigten Fördermittel, Stellglied, Steuerung, Pick-Roboter, Auswurfvorrichtung, etc. betrachtet, welche zum Kommissionieren von Artikeln erforderlich sind. Die Heizung, die Beleuchtung, etc. werden beim Energieverbrauch nicht betrachtet.

Aufgrund der Vielzahl der technischen Realisierungsmöglichkeiten lassen sich die Kommissionierarbeitsplätze nicht so einfach vergleichen. Daher wird der Kommissionierarbeitsplatz als eine Black Box betrachtet, um von Hersteller unabhängig zu sein, weil die internen Prozesse beim Black-Box-System nicht berücksichtigt werden (Abbildung 31). Das heißt, es werden nur die in das System eintretende Energie und die aus dem System austretende Kommissionierleistung betrachtet (vgl. [49, p. 18]).

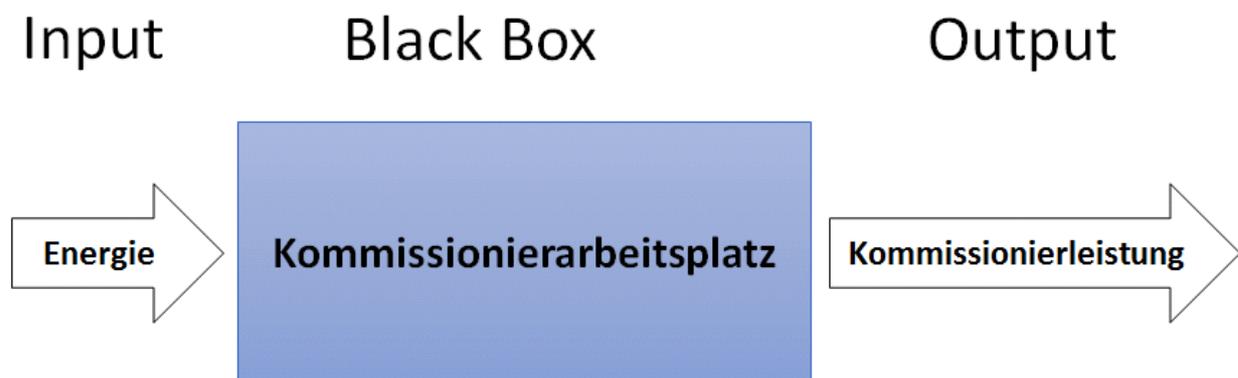


Abbildung 31 : Kommissionierarbeitsplatz als Black Box

Die Abbildung 32 zeigt die Systemgrenze des Ware-zum-Kommissionierer-Arbeitsplatzes innerhalb des Kommissioniersystems. Aus einem Kommissionierlager werden die Artikel bereitgestellt. Nach der Kommissionierung werden die Artikelbehälter wieder ins Kommissionierlager zurücktransportiert. Die Auftragsbehälter werden über eine Fördertechnik zum Kommissionierer befördert. Die Auftragsbehälter werden über eine Fördertechnik zum Kommissionierer befördert.

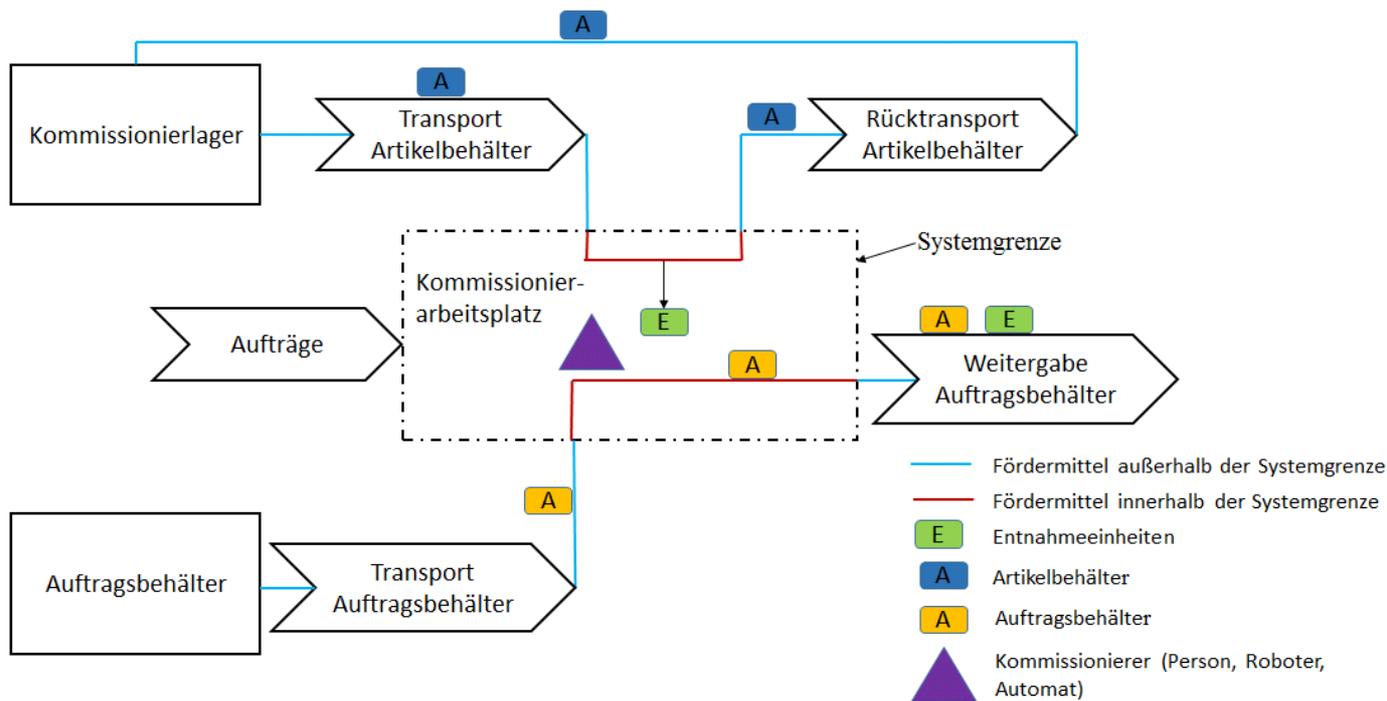


Abbildung 32 : Systemgrenze des Kommissionierarbeitsplatzes (vgl. [50, p. 41])

Innerhalb der Systemgrenze befinden sich mehrere Komponenten, welche elektrische Energie verbrauchen. Daher gibt es mehrere Messpunkte. Im Fall des Drehstroms müssen zur Leistungsmessung drei Stromgrößen und drei Spannungsgrößen gemessen werden. In diesem Fall liegt das Problem daran, dass die Messung der mehreren Messpunkte gleichzeitig erfolgen muss und daher aufwendiger ist.

Ein anderes Problem besteht darin, dass mehrere Kommissionierarbeitsplätze sich in einer Kommissionieranlage befinden, deswegen stellt sich die Frage, welcher Kommissionierarbeitsplatz betrachtet wird und wie die Systemgrenze bestimmt wird. Beispielsweise zeigt die Abbildung 33 eine Kommissionieranlage mit drei Kommissionierarbeitsplätzen. Es wird in diesem Fall vorgeschlagen, dass die gesamte Kommissionierleistung, bzw. der gesamte Energiebedarf gemessen und dann durch drei dividiert wird.

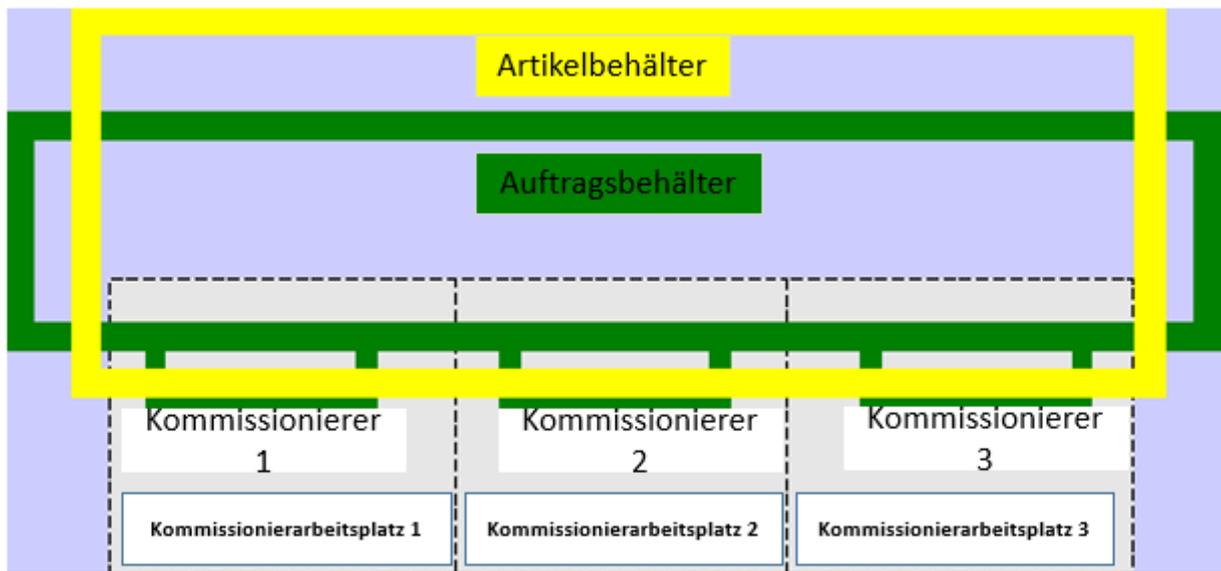


Abbildung 33: Kommissionieranlage mit drei Kommissionierarbeitsplätzen (in Anlehnung an [50, p. 43])

4.2.1 Systemgrenze von Ware-zur-Person-Arbeitsplatz

Abbildung 34 zeigt die Systemgrenze von Ware-zur-Person-Arbeitsplatz, die zur Ermittlung und Berechnung des Energiebedarfes verwendet wird.

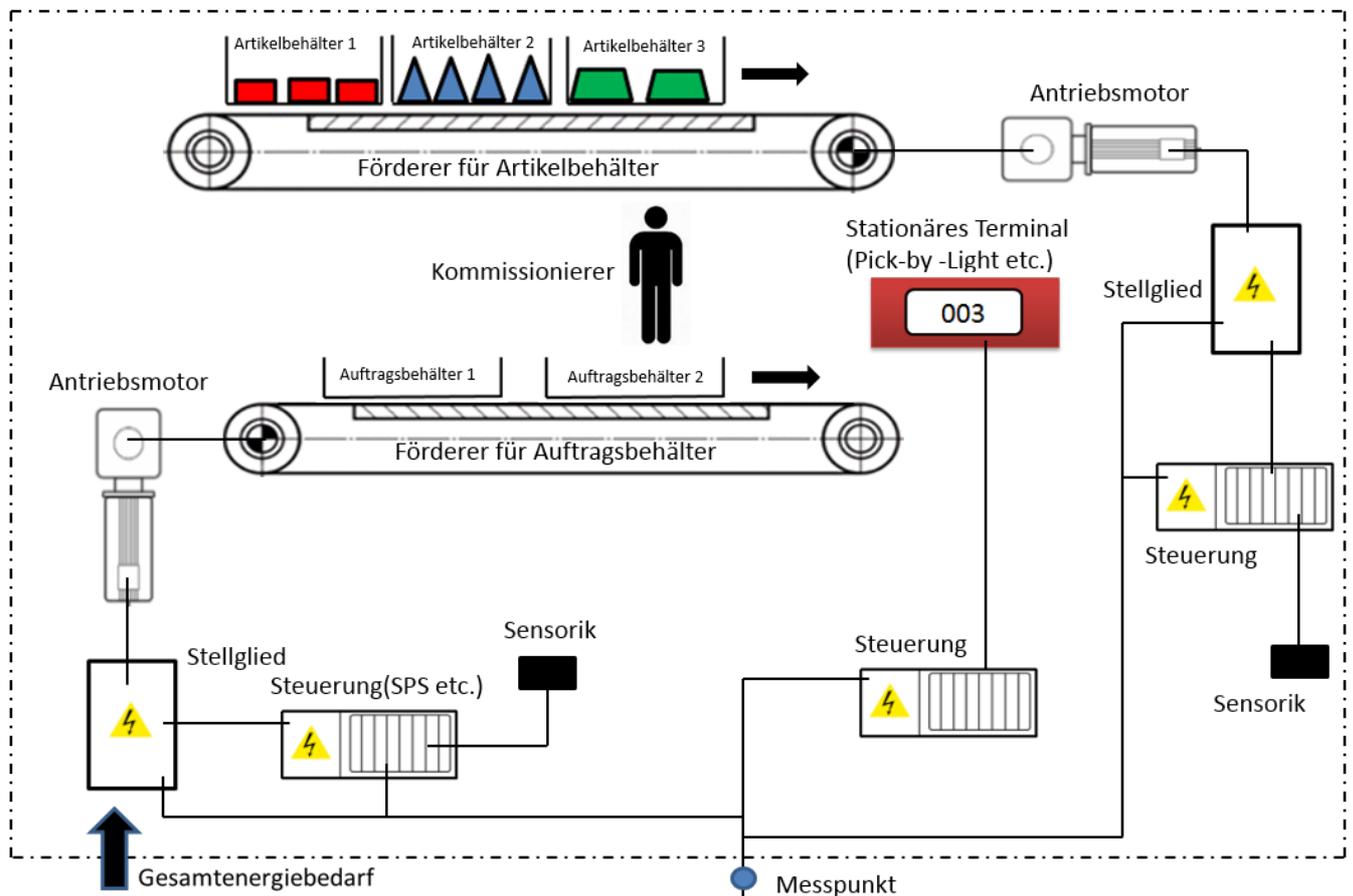


Abbildung 34 : Systemgrenze für Ware-zur-Person Kommissionierarbeitsplatz

Alle Geräte, die innerhalb der Systemgrenze liegen, verbrauchen elektrische Energie und sind für die Kommissionierleistung notwendig (Antriebsmotoren, Steuerung, Stationäres Terminal, etc.). Zur Messung des gesamten Energieverbrauches müssen passende Messpunkte festgelegt werden. Es soll auch bestimmt werden, welcher Teil der Förderer innerhalb der Systemgrenze betrachtet wird (siehe Abbildung 32).

4.2.2 Systemgrenze von Ware-zum-Roboter-Arbeitsplatz

Abbildung 35 stellt die Systemgrenze von Ware-zum-Roboter-Arbeitsplatz dar, die zur Ermittlung und Berechnung des Energiebedarfes festgelegt wird.

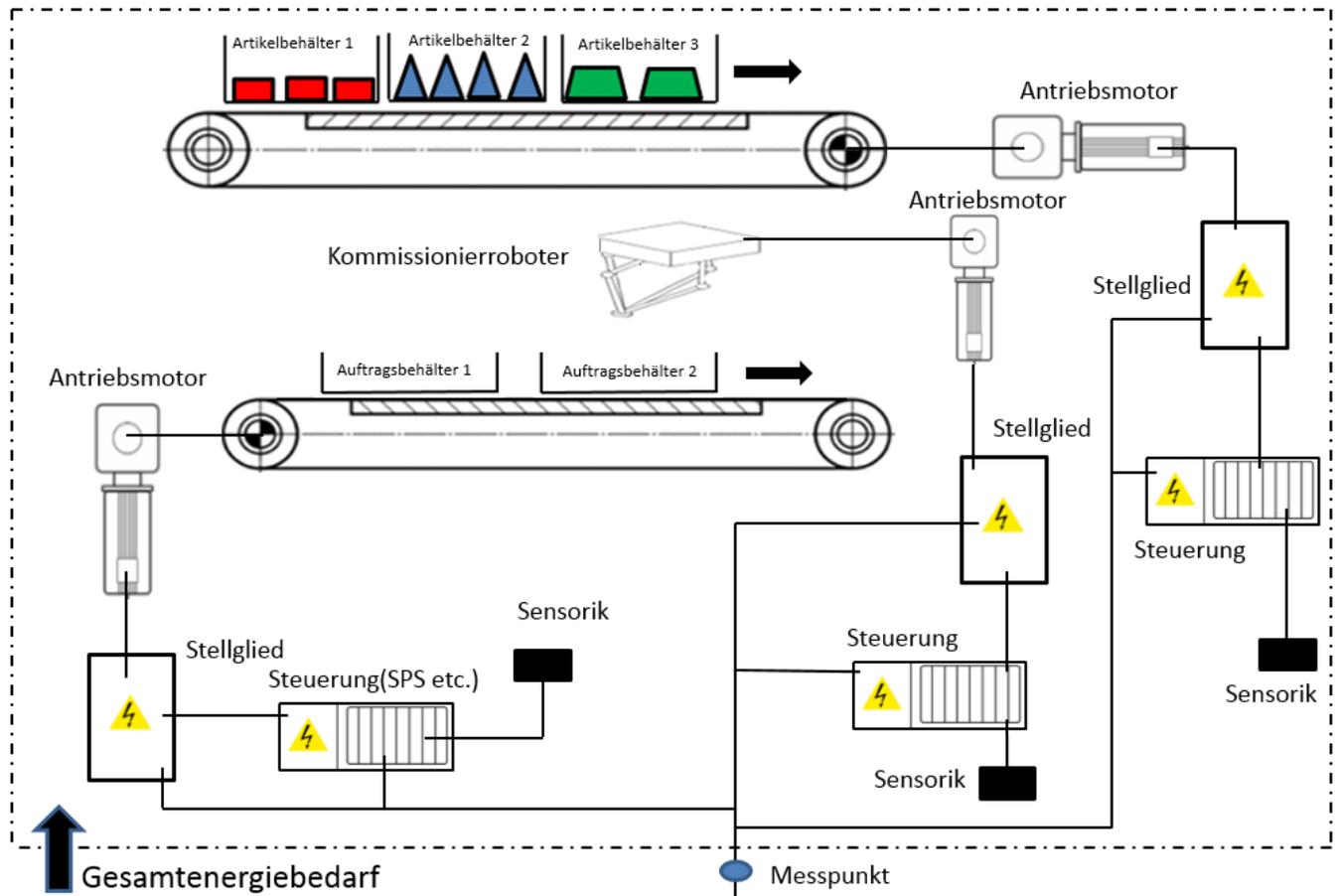


Abbildung 35 : Systemgrenze für Ware-zum-Roboter Kommissionierarbeitsplatz

Es werden alle Komponenten innerhalb der Systemgrenze gemessen, welche elektrische Energie verbrauchen und für die Kommissionierleistung notwendig sind (Antriebsmotor, Sensorik, Steuerung, etc.). Zur Messung des gesamten Energieverbrauchs müssen geeignete Messpunkte bestimmt werden. Es soll auch geklärt werden, welcher Teil der Fördermittel innerhalb des Systems betrachtet wird (siehe Abbildung 32).

4.2.3 Systemgrenze von Ware-zum-Automat-Arbeitsplatz

Abbildung 36 zeigt die Systemgrenze von Ware-zum-Automat-Arbeitsplatz, die zur Ermittlung und Berechnung des Energiebedarfs gezogen wird.

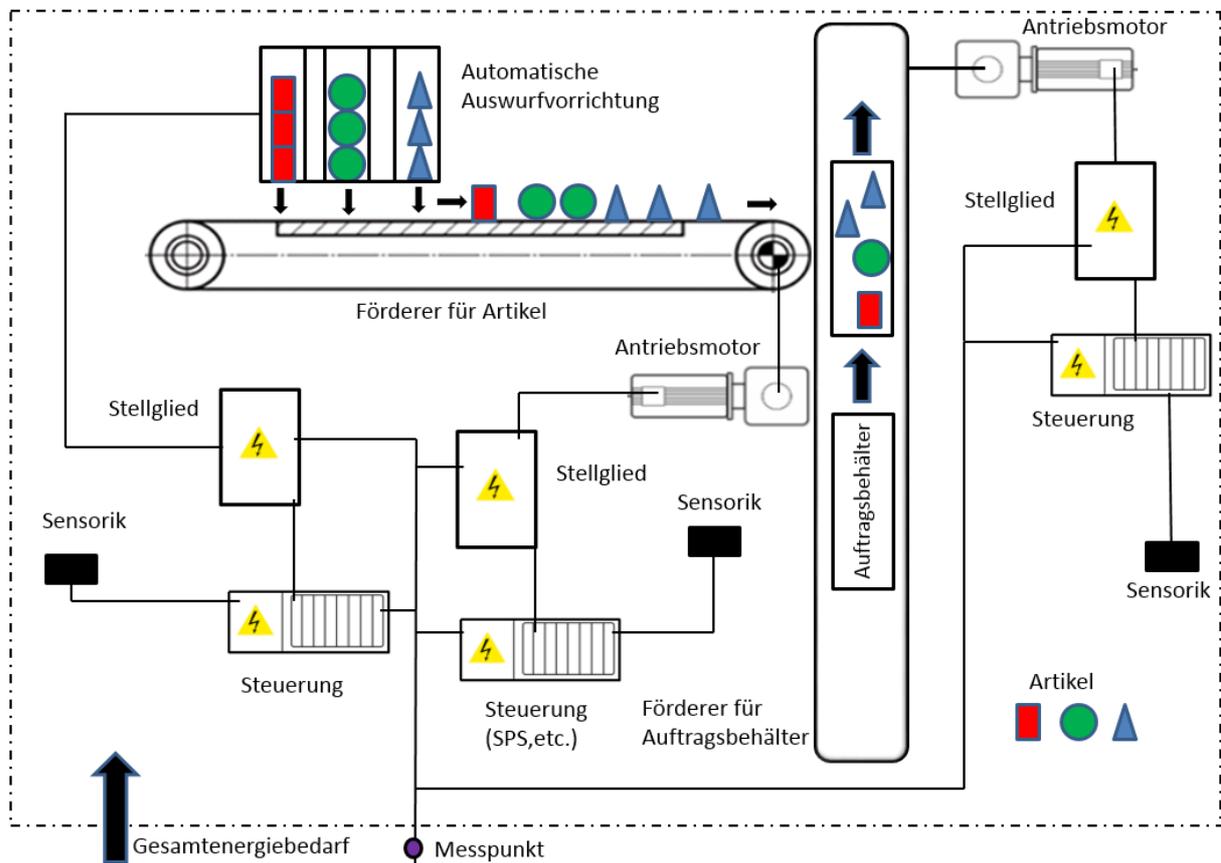


Abbildung 36 :Systemgrenze für Schachtkommissionierer

Alle Geräte innerhalb der Systemgrenze verbrauchen elektrische Energie und leisten einen Beitrag zur Kommissionierleistung (Antriebsmotor, Steuerung, automatische Auswurfvorrichtung). Zur Messung des gesamten Energieverbrauchs müssen passende Messpunkte festgelegt werden. Die Grenzen der Förderer innerhalb der Systemgrenze sollen auch bestimmt werden (siehe Abbildung 32).

4.3 Lastkollektiv

Es muss vorher geklärt werden, in welchen Betriebszuständen der Energieeinsatz ermittelt wird. Beispielweise ist die Kommissionierung nur im Volllastbetrieb nicht realistisch. Die momentane Leistungsaufnahme variiert je nach Betriebszustand, deswegen müssen alle relevanten Betriebszustände bestimmt werden.

Zur Ermittlung und Messung des Energieeinsatzes wird ein Lastkollektiv vorgeschlagen, welches aus folgenden Betriebszuständen besteht:

- Volllast
- Teillast
- Stillstand

Dieses Lastkollektiv definiert sich vor allem über die Lastgrade und variiert je nach dem Zeitabschnitt des Jahres. Beispielweise ist der Zeitanteil von Volllast in der Weihnachtszeit hoch, aber im Sommer eher gering, wenn z.B. die Versandhändler (Amazon, Ebay, etc.) betrachtet werden.

Der zeitliche Anteil T_i und die Pickleistung für jeden Betriebszustand müssen zur Überführung ins Lastkollektiv bestimmt werden. Die Abbildung 37 zeigt ein typisches Lastkollektiv, das als Referenz für den Energieeffizienzvergleich verwendet werden kann.

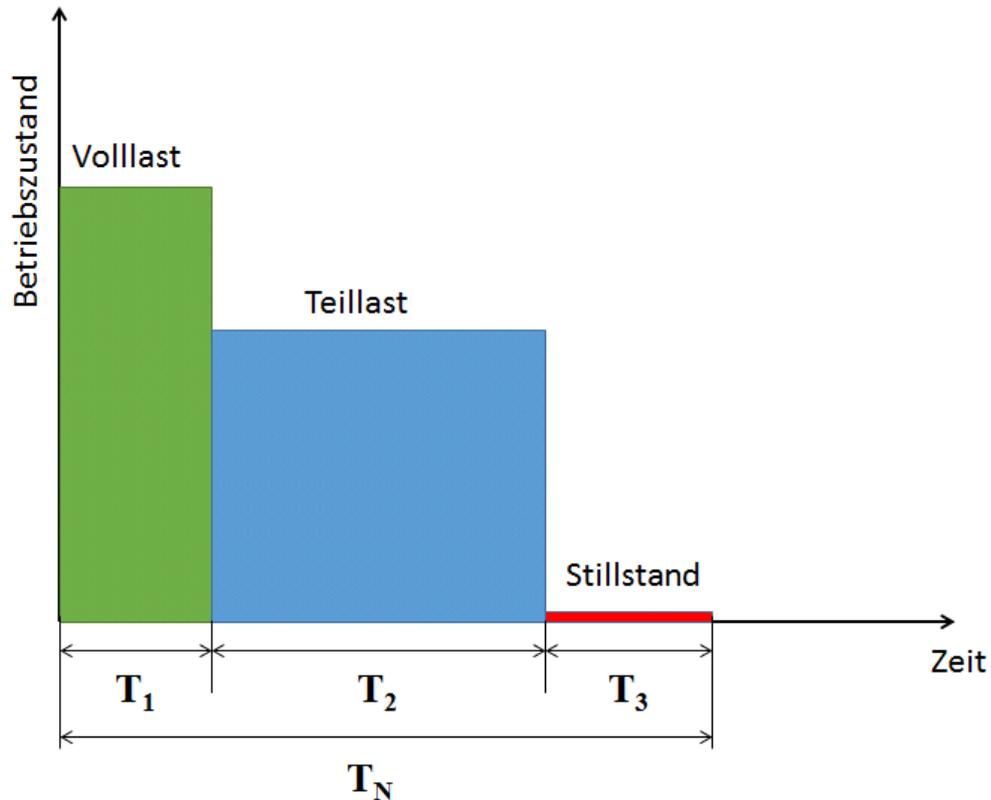


Abbildung 37 :Exemplarische Referenzbelastung

Diese Betriebszustände werden durch diese Referenzbelastung erreicht und werden am Kommissionierarbeitsplatz abgebildet. Unter diesen Betriebszuständen wird der Gesamtenergiebedarf ermittelt. Die Gesamtdauer T_N der Referenzbelastung ist die Summe aller einzelnen Zeiteile der Betriebszustände.

$$T_N = \sum_0^i T_i \quad [s] \quad (4.17)$$

Anhand eines Prozentsatzes t_i werden die Zeiteile T_i der Betriebszustände berechnet.

$$T_i = T_N * t_i \quad [s] \quad (4.18)$$

Die unterschiedlichen Pickleistungen in den Betriebszuständen müssen noch berechnet werden. Durch die Gewichtung ϑ_i wird die Pickleistung des betrachteten Betriebszustandes ermittelt.

$$PL_i = PL_N * \vartheta_i \quad \left[\frac{\#}{h}\right] \quad (4.19)$$

Mit Ausnahme vom Stillstand bleibt die Fördergeschwindigkeit konstant. Die Tabelle 4 zeigt die Koeffizienten, die exemplarisch für diese Masterarbeit festgelegt wurden.

Betriebszustand	Prozentsatz t_i der Zeitanteile T_i	Prozentsatz ϑ_i der Pickleistungen PL_i
Volllast	20 %	90 %
Teillast	60 %	50 %
Stillstand	20 %	0 %

Tabelle 4 . Koeffizienten der Referenzbelastung

Die Bestimmung des Energieeinsatzes ist eine messtechnische Aufgabe, die unter den festgelegten Messbedingungen durchgeführt werden muss. Der Energieeinsatz für eine bestimmte Kommissionieraufgabe hängt vom betrachteten Kommissioniersystem ab, das die Kommissionieraufgabe erfüllt. Der erforderliche Energieeinsatz wird durch die Multiplikation der mittleren Leistungen P_i der jeweiligen Betriebszustände mit den dazugehörigen Zeitanteilen T_i ermittelt (vgl. [29, p. 15ff]).

$$E_E = \sum_{i=1}^n P_i * T_i = P_1 * T_1 + P_2 * T_2 + \dots + P_n * T_n \quad [J] \quad (4.20)$$

5 Ermittlung der Energieeffizienzkennzahlen

Das folgende Kapitel entwirft einen Ansatz zur Entwicklung der Bewertungsmethode. Diese Methode wird allgemein hergeleitet und soll eine objektive Bewertung ermöglichen. Es werden Betrachtungsbereich, Klassifizierung, mathematische Definition der Energieeffizienzkennzahlen und Prozessschritte zur Ermittlung der Kennzahlen betrachtet.

5.1 Anforderungen und Beobachtungsebenen

Ziel dieser Masterarbeit ist es, Energieeffizienzkennzahlen zu entwickeln, welche die verschiedenen Kommissionierarbeitsplätze bezüglich der Energieeffizienz vergleichen. Solche Energieeffizienzkennzahlen sind nicht bekannt und werden daher geschaffen. Diese sollen sowohl als Entscheidungshilfe, als auch als Hilfsmittel für F&E-Entscheidungen dienen. Die Abbildung 38 zeigt die Anforderungen, die Aussage und den Nutzen dieser Energieeffizienzkennzahlen (vgl. [51, p. 41]).

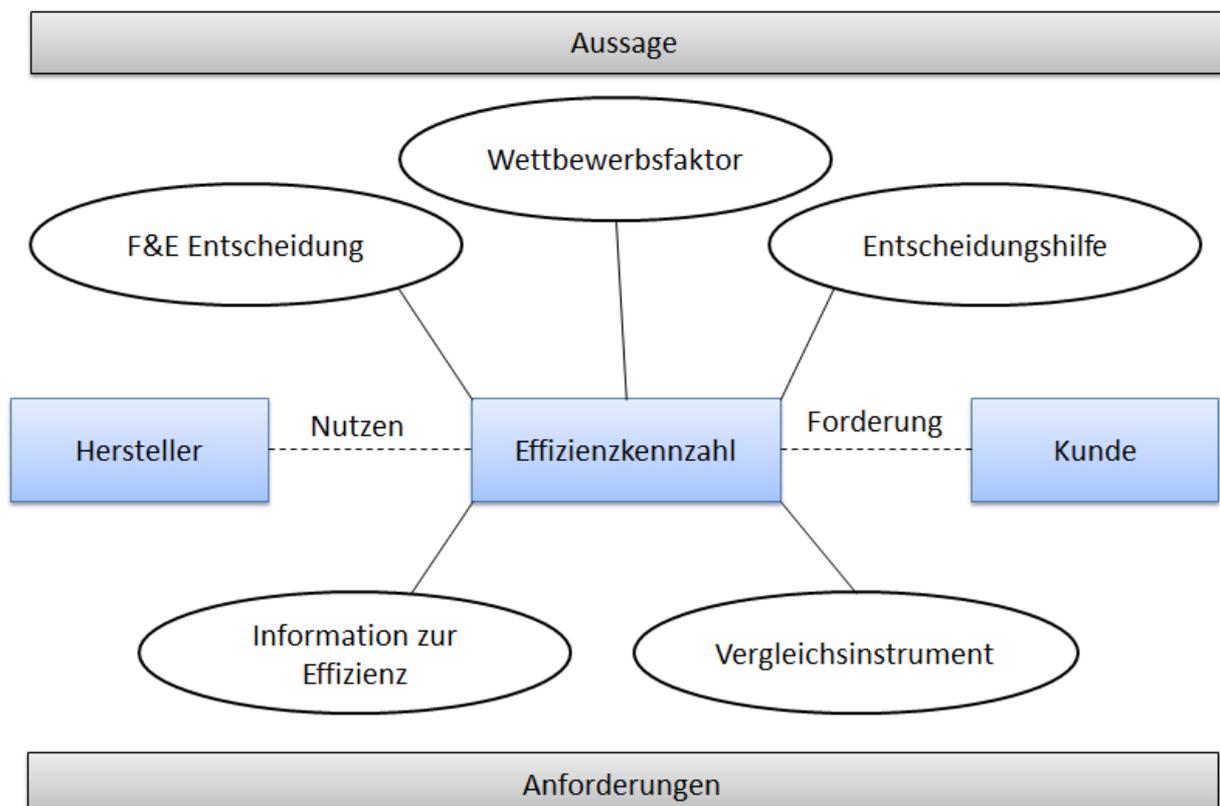


Abbildung 38 : Anforderungen, Aussagen und Nutzen der Energieeffizienzkennzahlen (in Anlehnung an [51, p. 42])

Für die Energieeffizienzkennzahlen soll ein Beobachtungsfeld festgelegt werden. Wie in der Abbildung 39 gezeigt, lässt sich das Materialflusssystem in vier Bereiche unterteilen: Anlagenebene, Prozessebene, Geräteebene und Komponentenebene. Die Anzahl der Komponenten steigt von oben nach unten, wodurch die Form einer Pyramide entsteht. Auf der Anlagenebene werden die erforderlichen Prozesse dargestellt. Die Prozessebene umfasst mehrere Geräte, daher wird der Kommissionierarbeitsplatz dieser Ebene zugeordnet. Auf der Geräteebene werden die notwendigen Elemente für den Materialfluss betrachtet (z.B. Stetigförderer). Die Komponentenebene enthält die Bausteine für die Geräteebene (Motoren, Getriebe, Umrichter, etc. (vgl. [51, p. 42])).

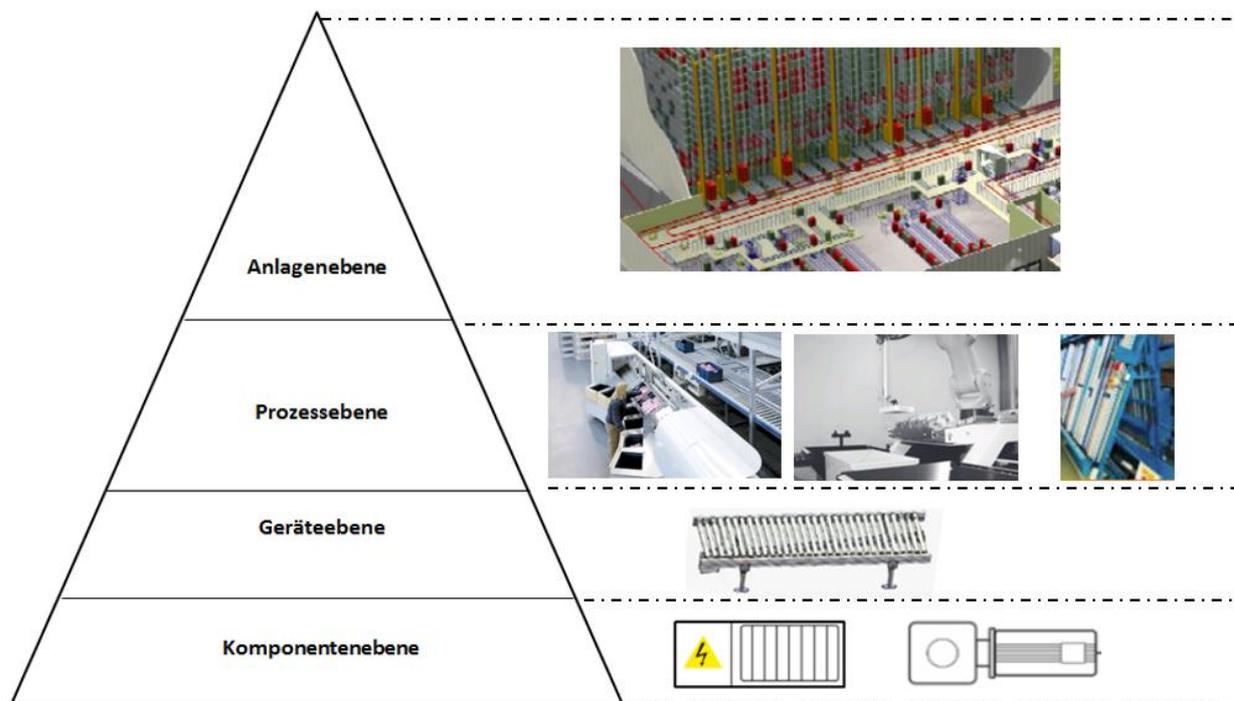


Abbildung 39 : Beobachtungsebenen der Kennzahlen (in Anlehnung an [52, p. 5])

5.2 Energieeffizienzkennzahlen

Wie bereits in Kapitel 2.1 erwähnt, beschreibt die Energieeffizienz das Verhältnis von Ertrag (Leistung, Dienstleistung, Waren) zu Energieeinsatz.

Die Kennzahlen sind Instrumente, die zum Vergleichen, Beurteilen, Kontrollieren und Planen eingesetzt werden können (vgl. [22, p. 10]). Es wird zwischen absoluten und relativen Kennzahlen unterschieden. Absolute Kennzahlen entstehen durch die Messung oder Berechnung (z.B. Durchlaufzeit). Bei den relativen Kennzahlen, wie z.B. Anzahl der Picks pro Zeiteinheit, werden mindestens zwei Werte ins Verhältnis gesetzt (vgl. [53, p. 199]). Wie in der Abbildung 40 dargestellt, sind die Energieeffizienzkennzahlen relativ, da sie Input und Output in Beziehung setzen (vgl. [51, p. 44]).

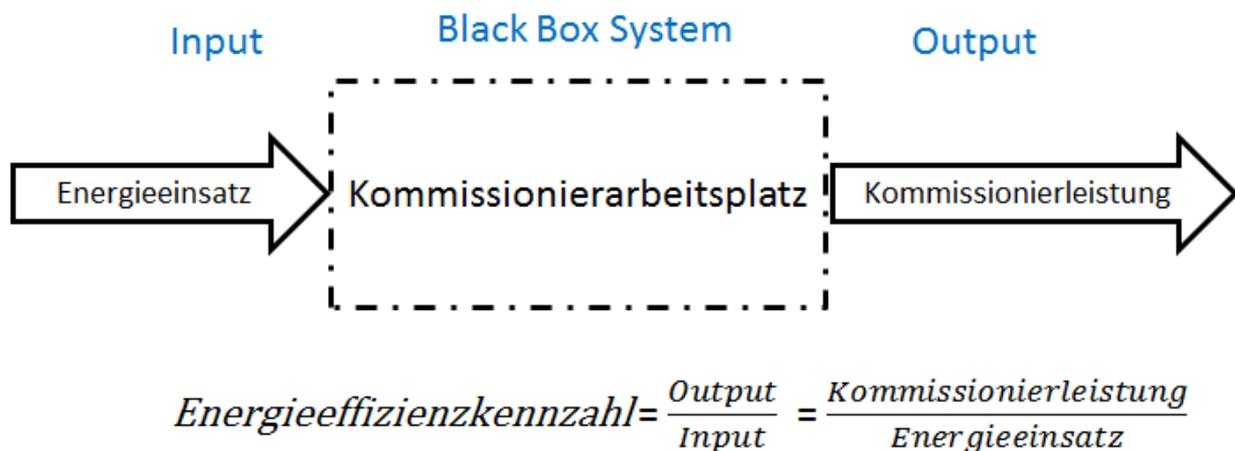


Abbildung 40 : Systembetrachtung zur Energieeffizienz an Kommissionierplätzen (in Anlehnung an [51, p. 44])

Zur Bestimmung der Energieeffizienzkennzahlen müssen die Kommissionierleistung und der Energieeinsatz in der definierten Zeiteinheit ermittelt werden. In Kapitel 3.3 wird die Kommissionierleistung unterschiedlich definiert. Aufgrund der Vielzahl an Definitionen können verschiedene Energieeffizienzkennzahlen bestimmt werden. Im Folgenden werden die möglichen Energieeffizienzkennzahlen beschrieben:

Energieeffizienzkennzahl 1:

Als Kommissionierleistung wird die Summe aller Picks, die in einer bestimmten Zeiteinheit kommissioniert werden, verwendet.

$$E_{eff1} = \frac{\sum \text{Picks pro Zeiteinheit}}{\text{Energieeinsatz}}$$

Energieeffizienzkennzahl 2:

Als Kommissionierleistung wird die Summe aller Positionen, die in einer bestimmten Zeit kommissioniert werden, betrachtet.

$$E_{eff2} = \frac{\sum \text{Positionen pro Zeiteinheit}}{\text{Energieeinsatz}}$$

Energieeffizienzkennzahl 3:

Als Kommissionierleistung wird die Summe aller Artikelgewichte, die in einer bestimmten Zeit kommissioniert werden, berücksichtigt.

$$E_{eff3} = \frac{\sum \text{Artikelgewichte pro Zeiteinheit}}{\text{Energieeinsatz}}$$

5.3 Prozesshauptschritte zur Ermittlung der Effizienzkennzahlen

In diesem Kapitel werden die notwendigen Prozesshauptschritte zur Ermittlung der Energieeffizienzkennzahlen festgestellt, welche eine reproduzierbare Vorgehensweise ermöglichen sollen. Für die Vergleichbarkeit müssen die Rahmenbedingungen benannt werden. Die festgelegten Prozessschritte müssen allgemeingültig und unabhängig von der betrachteten Technologie definiert werden. Dieser Prozess besteht aus drei Hauptschritten: Planung, Messung und Analyse (Abbildung 41).



Abbildung 41 : Die Prozesshauptschritte

5.3.1 Planung

Der erste Prozesshauptschritt ist die Planung, die zur Durchführung von Messungen erforderlich ist.

Festlegungen:

In Kapitel 5.1 werden die unterschiedlichen Ebenen des Materialflusssystems dargestellt: Anlagenebene, Prozessebene, Geräteebene und Komponentenebene. Für das Untersuchungsobjekt (Kommissionierarbeitsplatz) wird die entsprechende Betrachtungsebene festgelegt. Zur Berechnung der Parameter während der Messung, müssen die technischen Nenndaten des Untersuchungsobjektes gesammelt werden. Die internen und externen Parameter, wie z.B. Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Leistungsversorgung, Frequenz etc., müssen im Toleranzbereich liegen. Während der Messung müssen daher die Rahmenbedingungen festgelegt und eingehalten werden. Beispielsweise muss die Frequenz von 50 Hz mit einer Toleranz von $\pm 0,4$ Hz oder die Temperatur von 20 °C mit einer Toleranz ± 4 °C eingehalten werden. In Kapitel 4.3 wird ein Lastkollektiv festgelegt, das den typischen Betrieb eines Kommissioniersystems

repräsentiert. In Kapitel 4.2 werden die Systemgrenzen der Kommissionierarbeitsplätze zur Bestimmung der Messstellen festgelegt. (vgl. [51, pp. 61-63]).

Bestimmung des Messablaufs:

Alle Parameter der Betriebszustände müssen für das Lastkollektiv festgelegt und berechnet werden. Zur Durchführung der Messungen werden diese Parameter am Untersuchungsobjekt eingestellt. Die Anzahl der benötigten Artikelbehälter wird zur Abbildung der Referenzbelastung ermittelt. Zur Erreichung der gewünschten Mittelwertbildung muss eine gewisse Anzahl der Messwiederholungen durchgeführt werden. Dadurch können die Schwankungen in der Messung ausgeglichen werden.

5.3.2 Messung

Vorbereitung:

Die in der Planung festgelegten Messgeräte müssen für den Einsatz bereitgestellt und aufgebaut werden. Die notwendige Anzahl der Artikelbehälter muss für die Referenzbelastung vorbereitet werden. Das Untersuchungsobjekt muss aufgebaut und mit Strom versorgt werden. Vor der eigentlichen Messung muss eine Testmessung durchgeführt werden, damit die gemessenen Werte auf Plausibilität geprüft werden können.

Durchführung:

Unter den vorgegebenen Messbedingungen müssen die Messungen durchgeführt werden, damit die Wiederholbarkeit und die Vergleichbarkeit der Kennzahlen sichergestellt werden. Die festgelegten Belastungen werden am Untersuchungsobjekt eingestellt und danach werden die verschiedenen Messungen durchgeführt. Während der Messungen müssen alle Ergebnisse dokumentiert werden (vgl. [51, p. 66]).

5.3.3 Analyse

Nach der Erfassung müssen die gemessenen Werte zur weiteren Verarbeitung exportiert werden. Diese müssen anschließend auf ihre Plausibilität geprüft werden. Nach der Filterung und Aufbereitung der Daten muss ein Mittelwert gebildet werden, der im Nachhinein für die Berechnung der Energieeffizienzkennzahlen verwendet wird.

Alle wichtigen Daten müssen dokumentiert werden, welche die Nachvollziehbarkeit der Energieeffizienzkennzahlen ermöglichen. Abschließend wird ein Abschlussbericht erstellt, der folgende Punkte enthält (vgl. [51, p. 67]):

- Messvorbereitungen
- Messbedingungen
- Messergebnisse
- Berechnete Kennzahlen
- Klassifizierung
- etc.

5.4 Prozessschritte der Bewertungsmethode

Die erforderlichen Prozessschritte werden in der folgenden Abbildung 42 zur Darstellung gebracht. Außerdem werden die Informationen zwischen den Schritten gezeigt, die für die Vorgehensweise notwendig sind. Diese systematische und reproduzierbare Vorgehensweise ermöglicht die Analyse und die Bewertung der Kommissionierarbeitsplätze bezüglich der Energieeffizienz.

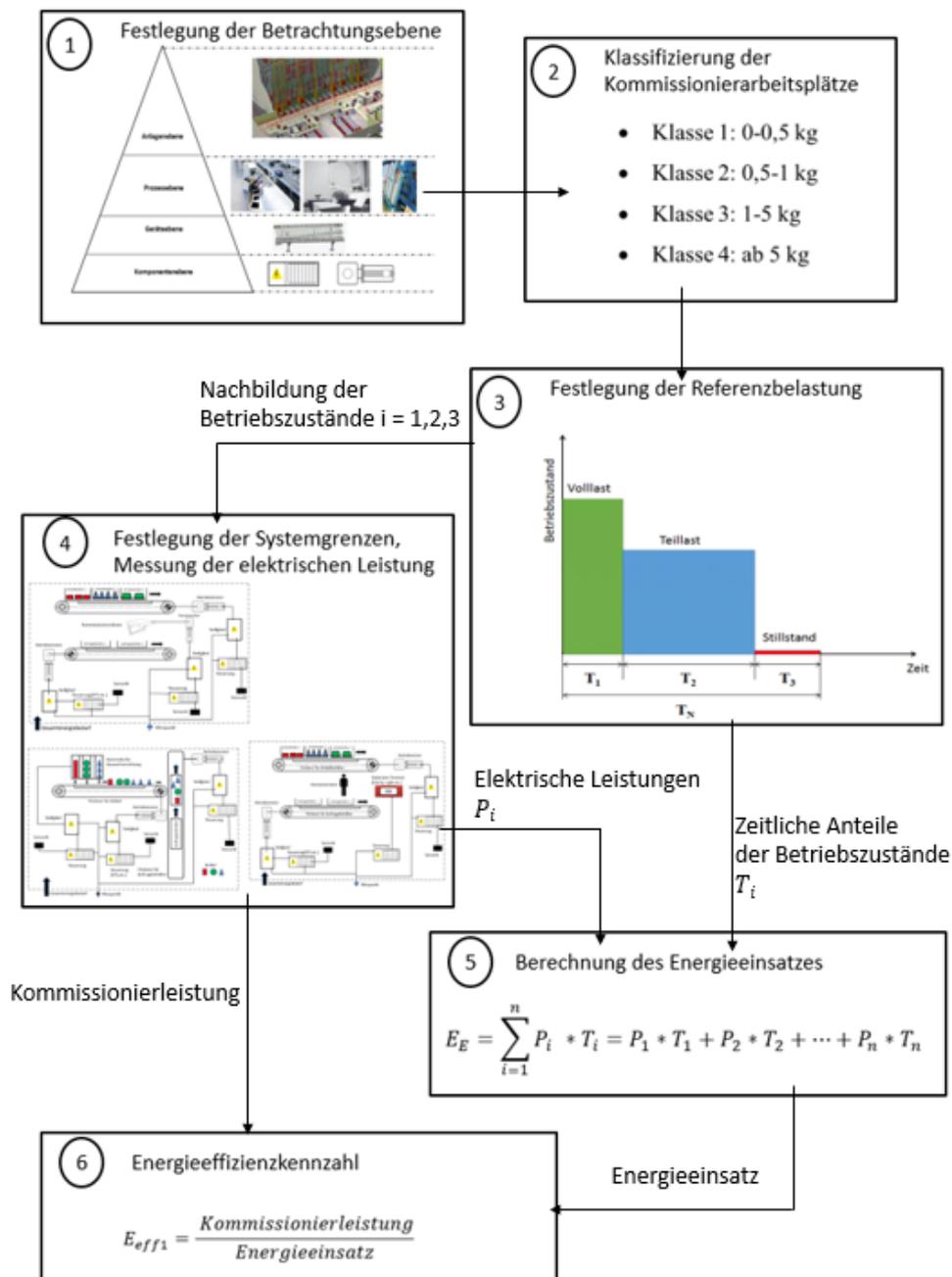


Abbildung 42 : Prozessschritte zur Bestimmung der Energieeffizienzkennzahlen

5.5 Einflussgrößen auf die Energieeffizienz

Für die Optimierung der Energieeffizienz gibt es drei Hauptfaktoren (Abbildung): Konstruktion, optimaler Betrieb, Instandhaltung (Abbildung 43).

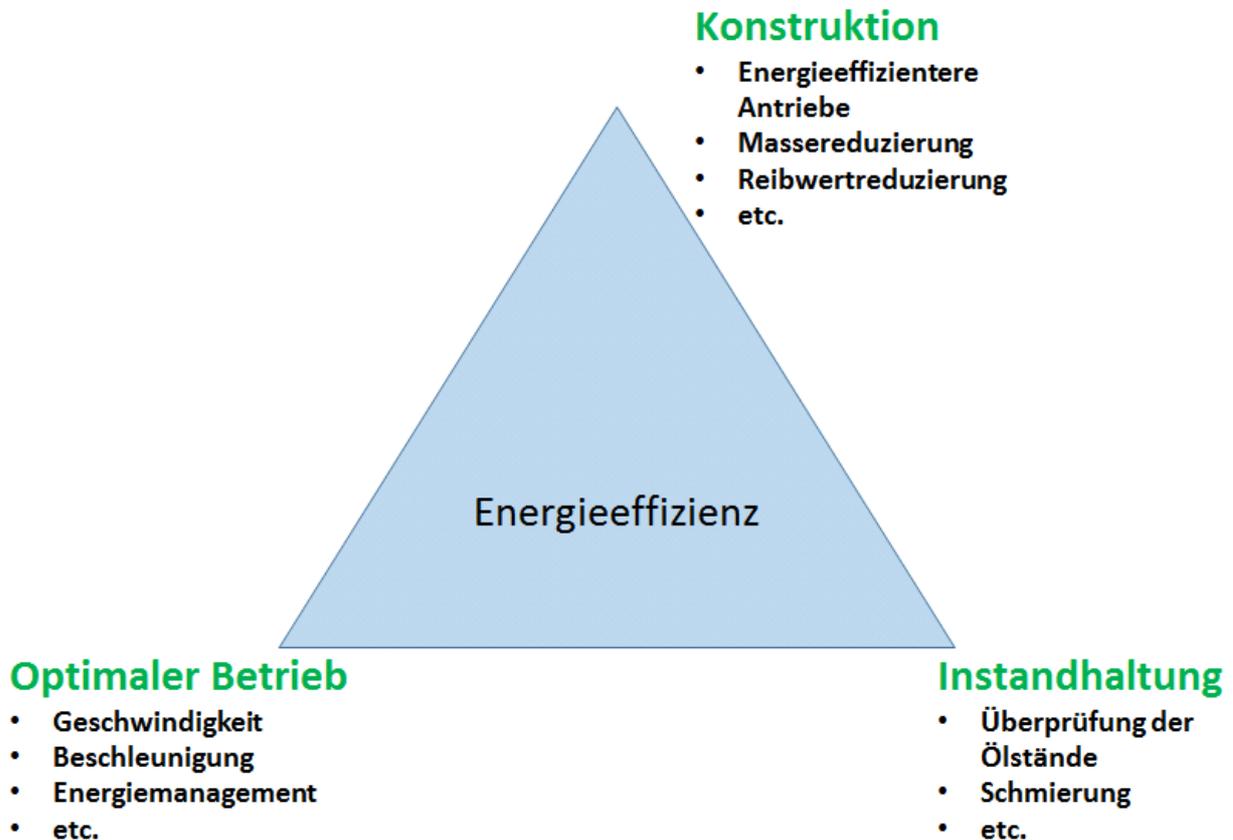


Abbildung 43: Einflussfaktoren auf die Energieeffizienz (in Anlehnung an [54])

Konstruktion: Zur Verbesserung der Energieeffizienz sollen sowohl die Antriebe mit besseren Wirkungsgraden, als auch die Materialien, welche zur Widerstandsbeiwert- und Reibwertreduzierung einen Beitrag leisten, eingesetzt werden. Durch die Material-, Massereduzierung wird auch die Energieeffizienz optimiert (vgl. [54])

Optimaler Betrieb: Während der Nutzungsphase kann eine Verbesserung der Energieeffizienz durch die Steuerung des Teilsystems bzw. des Gesamtsystems erreicht werden. Die Nutzungsfaktoren, wie Geschwindigkeit oder Beschleunigung können optimiert werden. Durch die Einführung des Energiemanagementsystems kann die Energieeffizienz gesteigert werden (vgl. [54]).

Instandhaltung: Durch eine optimale Instandhaltung können sowohl die Steigerung der Verfügbarkeit der Intralogistikressourcen, als auch die Reduzierung der Auswirkungen des Verschleißes entstehen. Die Fehlfunktionen und die Optimierungspotentiale der eingesetzten Betriebsmittel müssen unter die Lupe genommen werden (vgl. [54]).

6 Exemplarische Umsetzung

In diesem Kapitel wird die in Kapitel 5 entwickelte Bewertungsmethode exemplarisch angewendet. Zur exemplarischen Umsetzung der Bewertungsmethode wird ein Szenario definiert. Die Energieeffizienz hängt von der Anzahl der Kommissionierer (Person, Roboter, Kommissionierautomat) am Arbeitsplatz ab. Daher soll bei den Untersuchungen nur ein Kommissionierer eingesetzt werden. Technische Daten des Szenarios werden in der Tabelle 5 dargestellt.

Art des Kommissioniergutes	Einzelstückgut
Nenn-Pickleistung PL_N pro h	2000 Picks/h
Maximales Artikelgewicht	0,5 kg
Maximales Artikelbehältergewicht	50 kg

Tabelle 5: Technische Daten des Kommissionierarbeitsplatzes

Im Kapitel 4.3 wurden die Koeffizienten dargestellt, die exemplarisch für diese Masterarbeit festgelegt wurden. Die Tabelle 6 zeigt die Betriebszustände, die am Szenario abgebildet werden.

Betriebszustand	Prozentsatz t_i der Zeitanteile T_i	Prozentsatz ϑ_i der Pickleistungen PL_i	Pickleistungen PL_i
Volllast	20 %	90 %	$1800 \frac{\#}{h}$
Teillast	60 %	50 %	$1000 \frac{\#}{h}$
Stillstand	20 %	0 %	$0 \frac{\#}{h}$

Tabelle 6 : Betriebszustände des Szenarios

Gesamtenergieeinsatz:

Die Tabelle 7 stellt die geschätzten Leistungen für drei Betriebszustände dar, da es kein Prüfstand zur Verfügung stand. Zur Bestimmung des Energieeinsatzes werden die Leistungsaufnahmen P_i mit den dazugehörigen Zeiteinheiten T_i multipliziert. Die Gesamtdauer der Referenzbelastung wird mit T_N vorgegeben und beträgt 1 Stunde.

Elektrische Leistungsaufnahme	Szenario	Prozentsatz t_i
Volllast-Leistungsaufnahme P_1	1500 W	20 %
Teillast-Leistungsaufnahme P_2	1200 W	60 %
Stillstand-Leistungsaufnahme P_3	100 W	20 %

Tabelle 7 :Die geschätzten Energieleistungsaufnahmen

$$E_E = \sum_{i=1}^n P_i * T_i = P_1 * T_1 + P_2 * T_2 + \dots + P_n * T_n \quad [J]$$

$$E_E = \sum_{i=1}^n P_i * T_i = T_N * (P_1 * t_1 + P_2 * t_2 + \dots + P_n * t_n) \quad [J]$$

$$E_E = \sum_{i=1}^n P_i * T_i = 3600s (1500 W * 0,2 + 1200 W * 0,6 + 100 W * 0,2) = 3744 kJ$$

Kommissionierleistung :

Als Kommissionierleistung wird die Anzahl der Picks pro Zeiteinheit betrachtet, die durch folgende Gleichung berechnet wird:

$$K_L = \sum_{i=1}^n PL_i * T_i = T_N * (PL_1 * t_1 + PL_2 * t_2 + \dots + PL_N * t_N)$$

$$K_L = \sum_{i=1}^n PL_i * T_i = 1 h * (1800 * 0,2 + 1000 * 0,6 + 0 * 0,2) = 960 \#$$

Bei der Leistungsmessung wird es vorausgesetzt, dass ein Pick einem einzigen Artikel entspricht, da mehrere Artikel mit einem Pick aufgenommen werden können.

Energieeffizienzkennzahlen:

Energieeffizienz beschreibt das Verhältnis von Ertrag (Kommissionierleistung) zu Energieeinsatz.

$$\text{Energieeffizienz} = \frac{\text{Ertrag}}{\text{Energieeinsatz}}$$

$$E_{eff1} = \frac{\sum \text{Picks pro Zeiteinheit}}{\text{Energieeinsatz}} = \frac{K_L}{E_E}$$

$$E_{eff1} = \frac{960}{3744} = 0,256 \frac{\#}{kJ}$$

Anhand der in Kapitel 5.5 beschriebenen Vorgehensweise können die Energieeffizienzkennzahlen berechnet werden. Diese Berechnung erfolgt durch eine einfache mathematische Formel und kann daher in der Praxis einfach umgesetzt werden. Diese Methode wird unabhängig vom Hersteller entwickelt und ist daher allgemeingültig.

Basierend auf den gewonnenen Informationen aus den vorherigen Kapiteln können folgende Punkte bezüglich der Energieeffizienz beachtet werden:

1. Die Energieeffizienz ist ein wichtiges und verbesserungswürdiges Thema und kann nicht einfach interpretiert werden. Sie hängt von einer Vielzahl von Parametern ab, daher kann die Energieeffizienz der Kommissionierarbeitsplätze durch die Optimierungsmaßnahmen verbessert werden.
2. Durch die Umsetzung der ergonomischen Maßnahmen (Arbeitsplatzgestaltung, Arbeitsablaufoptimierung, etc.) kann die Kommissionierleistung verbessert werden. Diese Maßnahmen führen daher zur Erhöhung der Energieeffizienz.

3. Durch konstruktive Maßnahmen, regelmäßige Instandhaltung und Optimierung des Betriebs kann die Energieeffizienz gesteigert werden. Im Folgenden werden einige Energiesparmaßnahmen aufgelistet, die einen Beitrag zur Energieeffizienz leisten können.
 - Einsatz der energieeffizienteren Antriebe
 - Einsatz der Materialien zur Reibwertreduzierung
 - Energiemanagement
 - Instandhaltung (Schmierung, Überprüfung der Ölstände etc.)

4. Die menschliche Kommissionierleistung kann schwer bestimmt werden. Über einen längeren Zeitraum kann der Mensch aufgrund der Müdigkeit, fehlender Konzentration, fehlender Motivation, etc. keine konstante Leistung bringen. Aus diesem Grund kann die Leistung im Laufe des Arbeitstages schwanken. Demgegenüber bringt z.B. ein Roboter eine konstante Leistung. Daher muss die effektive Kommissionierleistung betrachtet werden, um den menschlichen Einfluss auf die Ergebnisse nicht berücksichtigen zu müssen.

5. Eine Position kann einen Pick oder mehrere Picks enthalten. Wie in der Tabelle 8 zu sehen ist, weist der Kommissionierarbeitsplatz 1 höhere Kommissionierleistung im Vergleich zum Kommissionierarbeitsplatz 2 auf, wenn die Anzahl der Picks pro Stunde betrachtet werden. Wenn man die Anzahl der Positionen pro Stunde betrachtet, dann weist die Kommissionierleistung 2 höhere Kommissionierleistung auf. Daher kann die Energieeffizienzbeurteilung variieren, je nachdem, welche Kommissionierleistung als Nutzen definiert wird.

	Kommissionierarbeitsplatz 1	Kommissionierarbeitsplatz 2
Picks pro Stunde	900 Picks	700 Picks
Positionen pro Stunde	120 Positionen	270 Positionen

Tabelle 8 : Die fiktiven Kommissionierleistungen von zwei Arbeitsplätzen

6. Wenn der Kommissionierer neben dem Pickvorgang andere Tätigkeiten, wie z.B. Scannen, Etikettieren, etc. durchführen muss, wird die Pickleistung verschlechtert.
7. An einem Ware-zur-Person-Arbeitsplatz verbraucht der Mensch keine elektrische Energie im Vergleich zum Roboter oder Kommissionierautomat. Aus diesem Grund muss diese Situation bei den Untersuchungen berücksichtigt werden.
8. Innerhalb der Systemgrenze befinden sich mehrere Messpunkte, daher ist es aufwendig, diese Messpunkte gleichzeitig zu messen.
9. Die Systemgrenzen der Kommissionierarbeitsplätze können nicht allgemeingültig definiert werden. Daher sind die Systemgrenzen nicht exakt definierbar.

7 Zusammenfassung und Ausblick

Aufgrund steigender Energiepreise und höherer Umweltschutzanforderungen wird es für die Logistikdienstleister immer wichtiger, energieeffiziente Ansätze zu entwickeln. Außerdem spielt die Kommissionierung eine wesentliche Rolle für die Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen.

Ein Ware-Zur-Person-Kommissioniersystem besteht aus den drei Teilsystemen Kommissionierlager, Fördermittel und Kommissionierarbeitsplatz. Die Leistung eines Kommissioniersystems lässt sich indirekt bestimmen, da die gegenseitigen Einflüsse der Teilsysteme und deren Auswirkungen auf die Gesamtleistung berücksichtigt werden müssen. Deswegen liegt der Fokus dieser Masterarbeit auf der Energieeffizienz der Kommissionierarbeitsplätze.

Im Rahmen dieser Masterarbeit wurde eine Bewertungsmethode entwickelt, welche die unterschiedlichen Ware-zum-Kommissionierer-Arbeitsplätze hinsichtlich der Energieeffizienz vergleicht. Zur Erreichung dieses Ziels wird eine umfassende Literaturstudie durchgeführt. Wegen diversen Definitionen der Kommissionierleistung können mehrere Energieeffizienzkennzahlen bestimmt werden. Die große Vielfalt an Ware-zum-Kommissionierer-Arbeitsplätzen ermöglicht keinen einfachen Vergleich hinsichtlich der Energieeffizienz.

Diese Masterarbeit bringt den Nutzen, dass zum ersten Mal eine Bewertungsmethode bezüglich der Energieeffizienz der Ware-zum-Kommissionierer-Arbeitsplätze entwickelt wurde. Diese Methode kann als Basis für praktische oder wissenschaftliche Arbeiten dienen.

Der Energieeffizienzvergleich der Kommissionierarbeitsplätze ist aus den folgenden Gründen schwierig:

- Keine allgemeingültigen Systemgrenzen können exakt definiert werden.
- Sehr unterschiedliche Kommissionierarbeitsplätze
- Schwierige Bestimmung der menschlichen Kommissionierleistung
- Leistungsvergleich zwischen Mensch und Maschine (Roboter und Automat) ist schwierig.
- Zur Messung der elektrischen Leistung gibt es mehrere Messpunkte innerhalb der Systemgrenze, daher ist die gleichzeitige Messung der elektrischen Leistung aufwendig.

Daher ist die Umsetzung des Energieeffizienzvergleichs aufwendig, wenn überhaupt möglich.

Abschließend können folgende Punkte im Rahmen anderer Abschlussarbeiten oder Forschungsprojekte behandelt werden:

- Umsetzung der entwickelten Bewertungsmethode in die Praxis am realen Kommissionierarbeitsplatz
- Entwicklung einer Bewertungsmethode zur Energieeffizienz des gesamten Ware-zum-Kommissionierer-Systems
- Entwicklung einer Bewertungsmethode zur Energieeffizienz des gesamten Person-zur-Ware-Kommissioniersystems
- Optimierungsmaßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz der untersuchten Kommissionierarbeitsplätze

8 Verzeichnisse:

8.1 Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1: ENTWICKLUNG DES INDUSTRIESTROMPREISES IN DEUTSCHLAND 1998-2016([5]).....	7
ABBILDUNG 2: ENERGIEKOSTENAUFTEILUNG EINES FÜHRENDEN LOGISTIKDIENSTLEISTERS ([6])	7
ABBILDUNG 3: TEILSYSTEME DES WARE-ZUR-PERSON- SYSTEMS (IN ANLEHNUNG AN [11, P. 36])	8
ABBILDUNG 4: AUFBAU DER MASTERARBEIT	10
ABBILDUNG 5: GRUNDFUNKTIONEN DES MATERIALFLUSSSYSTEMS (IN ANLEHNUNG AN [8]).....	14
ABBILDUNG 6: GRUNDFUNKTIONEN DES ORGANISATIONSSYSTEMS (IN ANLEHNUNG AN [8])	15
ABBILDUNG 7: GRUNDFUNKTIONEN DES INFORMATIONSSYSTEMS (IN ANLEHNUNG AN [8]).....	17
ABBILDUNG 8: KLASSIFIZIERUNG DER WARE-ZUM-KOMMISSIONIERER- SYSTEME (IN ANLEHNUNG AN [7] UND [14])18	
ABBILDUNG 9 :WARE-ZUM-KOMMISSIONIERER-SYSTEM ([11, P. 36])	19
ABBILDUNG 10: AUTOMATISCHES KLEINTEILELAGER ([15]).....	20
ABBILDUNG 11 : SHUTTLESYSTEM ([16]).....	21
ABBILDUNG 12 : KARUSSELLLAGER ([17])	22
ABBILDUNG 13: PATERNOSTERREGAL ([18])	23
ABBILDUNG 14 :PALETTIERZELLE ([7, P. 82])	25
ABBILDUNG 15 : SSI ROBO-PICK ([20]).....	26
ABBILDUNG 16 : SCHACHTKOMMISSIONIERER A-FÖRMIG ([22, P. 405]).....	27
ABBILDUNG 17 :AUTOMATISCHES KOLLIPICKSYSTEM ([23]).....	28
ABBILDUNG 18.WARE-ZUM-KOMMISSIONIERER-SYSTEM	29
ABBILDUNG 19: ABGRENZUNG DES KOMMISSIONIERPROZESSES (VGL. IN ANLEHNUNG AN [24, P. 14]).....	30
ABBILDUNG 20 :PICK-TO-BUCKET-ARBEITSPLATZ.....	32
ABBILDUNG 21 : PICK -IT-EASY-ARBEITSPLATZ ([26])	33
ABBILDUNG 22 : KOMMISSIONIERARBEITSPLÄTZE	34
ABBILDUNG 23 :VERGLEICH DER KOMMISSIONIERARBEITSPLÄTZE ([14], [23], [25], [27]).....	35
ABBILDUNG 24:TYPISCHES LASTKOLLEKTIV –BANDFÖRDERER ([29]).....	40
ABBILDUNG 25: LASTKOLLEKTIV-LAGERSYSTEME ([34])	41
ABBILDUNG 26 : KOMMISSIONIERARBEITSPLATZ ALS TRANSFORMATION SYSTEM ([37, P. 45])	44
ABBILDUNG 27 : EINFLUSSFAKTOREN AUF DIE KOMMISSIONIERLEISTUNG(BEARBEITUNGSZEIT).....	45
ABBILDUNG 28: EINFLUSSGRÖßEN AUF DIE GREIFZEIT ([44])	51
ABBILDUNG 29 : DEFINITION DER KOMMISSIONIERLEISTUNG (VGL. [45, P. 19])	52
ABBILDUNG 30 : GENERATOR FÜR DREHSTROM [[48, P. 429]).....	57
ABBILDUNG 31 : KOMMISSIONIERARBEITSPLATZ ALS BLACK BOX	58
ABBILDUNG 32 : SYSTEMGRENZE DES KOMMISSIONIERARBEITSPLATZES (VGL. [50, P. 41]).....	59
ABBILDUNG 33: KOMMISSIONIERANLAGE MIT DREI KOMMISSIONIERARBEITSPLÄTZEN (IN ANLEHNUNG AN [50, P. 43])	60
ABBILDUNG 34 : SYSTEMGRENZE FÜR WARE-ZUR-PERSON KOMMISSIONIERARBEITSPLATZ	61
ABBILDUNG 35 : SYSTEMGRENZE FÜR WARE-ZUM-ROBOTER KOMMISSIONIERARBEITSPLATZ	62
ABBILDUNG 36 :SYSTEMGRENZE FÜR SCHACHTKOMMISSIONIERER	63
ABBILDUNG 37 :EXEMPLARISCHE REFERENZBELASTUNG	65
ABBILDUNG 38 : ANFORDERUNGEN, AUSSAGEN UND NUTZEN DER ENERGIEEFFIZIENZKENNZAHLEN (IN ANLEHNUNG AN [51, P. 42])	67
ABBILDUNG 39 : BEOBACHTUNGSEBENEN DER KENNZAHLEN (IN ANLEHNUNG AN [52, P. 5])	68
ABBILDUNG 40 : SYSTEMBETRACHTUNG ZUR ENERGIEEFFIZIENZ AN KOMMISSIONIERPLÄTZEN (IN ANLEHNUNG AN [51, P. 44]).....	69
ABBILDUNG 41 : DIE PROZESSHAUPTSCHRITTE	71
ABBILDUNG 42 : PROZESSCHRITTE ZUR BESTIMMUNG DER ENERGIEEFFIZIENZKENNZAHLEN	74
ABBILDUNG 43: EINFLUSSFAKTOREN AUF DIE ENERGIEEFFIZIENZ (IN ANLEHNUNG AN [54]).....	75

8.2 Tabellenverzeichnis

TABELLE 1 : LEISTUNGSORIENTIERTE SYSTEMATISIERUNG DER VERTIKALFÖRDERER (VGL. [28]).....	36
TABELLE 2: Koeffizienten zur Berechnung des Energiebedarfes ([2])	38
TABELLE 3:NUTZUNGSKATEGORIEN NACH NUTZUNGSINTENSITÄT ([2])	38
TABELLE 4 . Koeffizienten der Referenzbelastung	66
TABELLE 5: TECHNISCHE DATEN DES KOMMISSIONIERARBEITSPLATZES	77
TABELLE 6 : BETRIEBSZUSTÄNDE DES SZENARIOS.....	77
TABELLE 7 :DIE GESCHÄTZTEN ENERGIELEISTUNGS-AUFNAHMEN.....	78
TABELLE 8 : DIE FIKTIVEN KOMMISSIONIERLEISTUNGEN VON ZWEI ARBEITSPLÄTZEN	80

8.3 Literaturverzeichnis

- [1] „Bundesvereinigung Logistik,“ November 2013, URL <http://www.bvl.de/energieeffizienz>. [Zugriff am 19 Mai 2017].
- [2] R. F. Ertl, „Energiebedarfsermittlung und Energieeffizienzbewertung von Regalbediengeräten in automatischen Kleinteilelagern-Dissertation-München,“ 2016, URL <http://www.fml.mw.tum.de/fml/images/Publikationen/Ertl%20Rainer.pdf>. [Zugriff am 24 September 2017].
- [3] H. C. Pfohl, Logistiksyste-me-Betriebswirtschaftliche Grundlagen, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2000.
- [4] G. A. Willibald und P. Tenerowicz, „Wege zu einer energieeffizienten Intralogistik-Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik (fml)-Technische Universität München,“ URL http://www.fml.mw.tum.de/fml/images/Publikationen/2009_27%20BRAUWELT%20-%20Wege%20zu%20einer%20energieeffizienten%20Intralogistik.pdf. [Zugriff am 2 September 2017].
- [5] „Statista,Industriestrompreise* (inklusive Stromsteuer) in Deutschland in den Jahren 1998 bis 2016 (in Euro-Cent pro Kilowattstunde),“ URL <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/252029/umfrage/industriestrompreise-inkl-stromsteuer-in-deutschland/>. [Zugriff am 01 05 2017].
- [6] „logistik-heute,“ URL http://www.logistik-heute.de/sites/default/files/logistik-heute/fachforen/green_logistics_2010_07_jahn_pdf_16512.pdf. [Zugriff am 18 05 2017].
- [7] M. ten Hompel, V. Sadowsky und M. Beck, Kommissionierung-Materialflusssysteme 2-Planung und Berechnung der Kommissionierung in der Logistik, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2011.
- [8] VDI-Richtlinie 3590-Kommissioniersysteme Grundlagen, Blatt 1, Berlin: Beuth-Verlag Berlin, 1994.
- [9] M. Pulverich und J. Schietinger, Handbuch Kommissionierung-Effizient picken und packen, München: Heinrich Vogel, 2009.
- [10] C. Engelhardt-Nowitzki, O. Nowitzki und B. Krenn, Praktische Anwendung der Simulation im Materialflussmanagement, Wiesbaden: Gabler, 2008.
- [11] V. Sadowsky, „Beitrag zur analytischen Leistungsermittlung von Kommissioniersystemen-Dissertation- Fakultät Maschinenbau Universität Dortmund,“ Juli 2007, URL <https://eldorado.tu-dortmund.de/bitstream/2003/29922/1/Dissertation.pdf>. [Zugriff am 8 September 2017].
- [12] E. UNION, RICHTLINIE 2006/32/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 5. April 2006 über Endenergieeffizienz, 2006.
- [13] R. Jünemann und T. Schmidt, Materialflußsysteme-Systemtechnische Grundlagen, Berlin Heidelberg New york: Springer-Verlag, 2000.

- [14] A. Martini, U. Stache und F. Trencker, „Automatische Kommissionierung: Neue Lösungen für ein altes Problem-Universität Siegen, Logistik für Produktionsunternehmen,“ URL <http://docplayer.org/51189607-Automatische-kommissionierung-neue-loesungen-fuer-ein-altes-problem.html>. [Zugriff am 9 September 2017].
- [15] „www.jungheinrich.at,“ [Online]. Available: <http://www.jungheinrich.at/regale-und-lagereinrichtung/kleinteilelagerung-statisch/automatisches-kleinteilelager-akl/>. [Zugriff am 15 06 2017].
- [16] URL <https://www.ssi-schaefer.com/de-de/produkte/lagern/kleinladungstraeger/lager-shuttle-systeme/einebenen-shuttle-system-cuby--9286>. [Zugriff am 5 6 2017].
- [17] URL <http://www.directindustry.de/prod/kardex-remstar/product-37211-247673.html>. [Zugriff am 3 7 2017].
- [18] URL <http://www.kardex-remstar.de/de/dynamische-lager-loesungen/vertikale-karusselllager.html>. [Zugriff am 23 6 2017].
- [19] D. Arnold, A. Kuhn, H. Isermann, H. Tempelmeier und K. Furmans, Handbuch Logistik, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2008.
- [20] „www.ssi-schaefer.ch,“ URL http://www.ssi-schaefer.ch/fileadmin/ssi/documents/navigationbaum/logistiksysteme/kommissioniersysteme/automatische_kommissionierung/robopick/Robo-Pick_de.pdf. [Zugriff am 7 September 2017].
- [21] H. Martin, Praxiswissen Materialflußplanung: Transportieren, Handhaben, Lagern, Braunschweig/Wiesbaden: Vieweg, 1999.
- [22] H. Martin, Transport-und Lagerlogistik, wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag, 2011.
- [23] Prof. Stache, „Universität Siegen Logistik für Produktionsunternehmen -Automatisierung in der Kommissionierung - aktuelle Entwicklungen und zukünftige Perspektiven,“ januar 2017, URL https://www.unisiegen.de/smi/aktuelles/20174_01_18_ukus_veranstaltung_auto._kommissionierung.pdf. [Zugriff am 17 September 2017].
- [24] J. Machowiak und C. Goldscheid, Ganzheitliche Bewertung und Optimierung manueller Arbeitsplätze in Kommissioniersystemen, Dortmund: Fraunhofer Institut Materialfluss und Logistik, 2005.
- [25] G. Anzinger, „Hochdynamische Lager- und Kommissioniersysteme und die erforderlichen Arbeitsplätze,“ URL https://www.iwl.de/images/stories/events-presse/logistik.../iwl_logistiktag_v3b.pdf. [Zugriff am 9 September 2017].
- [26] „Pick-it-Easy - Deutsche Messe AG,“ URL donar.messe.de/exhibitor/cemat/2016/.../pick-it-easy-arbeitsplaetze-ger-447854.pdf. [Zugriff am 25 08 2017].
- [27] H. Wannewetch, Integrierte Materialwirtschaft, Logistik und Beschaffung, 5.Auflage: Springer Verlag, 2014.

- [28] D. Jodin und M. ten Hompel, Sortier- und Verteilsysteme, Berlin Heidelberg: Springer Verlag, 2012.
- [29] A. Ketter, Energieeffizienz von Materialflusssystemen-Masterarbeit, Graz: Technische Universität Graz, 2014.
- [30] A. Hoppe und K. H. Wehking, „Logistics Journal(2012)-Institut für Fördertechnik und Logistik-Universität Stuttgart-Optimierung der Energieeffizienz von Intralogistikressourcen am Beispiel des Kettenförderers,“ URL <https://www.logistics-journal.de/proceedings/2012/3433/10-hoppe-wgtl2012.pdf>. [Zugriff am 20 Oktober 2017].
- [31] T. Sommer und K. H. Wehking, „Logistics Journal(2013)-Energieeffiziente Lagerplatzzuordnung in Hochregallagern-Institut für Fördertechnik und Logistik-Universität Stuttgart,“ URL <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0009-14-37724>. [Zugriff am 20 Oktober 2017].
- [32] S. Habenicht, R. Ertl und W. A. Günthner, „Analytische Energiebedarfsbestimmung von Intralogistiksystemen in der Planungsphase-Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik-Technische Universität München- Logistics Journal (2013),“ URL <http://www.fml.mw.tum.de/fml/images/Publikationen/habenicht%202013wgtl.pdf>. [Zugriff am 22 Oktober 2017].
- [33] F. LOTTERSBERGER, N. HAFNER und D. JODIN, „Graz University of Technology, Institute of Logistics Engineering-EFFICIENCY INDICATORS FOR BENCHMARK AND IMPROVEMENT OF ENERGY EFFICIENCY ON AUTOMATED MATERIAL FLOW SYSTEMS,“ , URL [https://pure.tugraz.at/portal/en/publications/efficiency-indicators-for-benchmark-and-improvement-of-energy-efficiency-on-automated-material-flow-systems\(cc776230-efc4-4e3a-b86d-ed8af7192198\).html](https://pure.tugraz.at/portal/en/publications/efficiency-indicators-for-benchmark-and-improvement-of-energy-efficiency-on-automated-material-flow-systems(cc776230-efc4-4e3a-b86d-ed8af7192198).html). [Zugriff am 22 Oktober 2017].
- [34] M. Schadler, Energy Efficiency Benchmarking-Concepts for Material Flow Systems (Investigations on automated storage and retrieval systems)-MASTER’S THESIS-Graz University of Technology, 2015.
- [35] M. u. Braun , „Energiebetrachtung beim Lager- und Kommissioniervorgang-Logistics Journal(2012)-Institut für Fördertechnik und Logistiksysteme (IFL)-Karlsruher Institut für Technologie,“ URL <https://www.logistics-journal.de/proceedings/2012/3448/13-braun-wgtl2012.pdf>. [Zugriff am 25 Oktober 2017].
- [36] M. Köster, H. Borcharding und u.a., „Energieeffizienz in der Intralogistik,“ 2013. [Online]. Available: werkstattstechnik.de/library/common/416.pdf. [Zugriff am 26 Oktober 2017].
- [37] J. Wisser, „Der Prozess Lagern und Kommissionieren im Rahmen des Distribution Center Reference Model-Institutes für Fördertechnik und Logistiksysteme Universität Karlsruhe -Dissertation,“ 2009, URL <https://publikationen.bibliothek.kit.edu/1000011509/1048684>. [Zugriff am 9 September 2017].
- [38] A. Siepenkort, „Methode zur Messung und Bewertung der individuellen Kommissionierleistung in „Person-zur-Ware“-Systemen-Dissertation-Institut für Fördertechnik

und Logistik der Universität Stuttgart,“ 2013, URL https://elib.uni-stuttgart.de/bitstream/11682/4536/1/Diss_ASiepenkort_IFT.pdf. [Zugriff am 7 September 2017].

[39] C. Schulte, Logistik: Wege zur Optimierung der Supply Chain, München: Vahlen-Verlag, 7. Auflage.

[40] M. Stinson und K.-H. Wehking, Leistungsbewertung und -optimierung in der manuellen Kommissionierung, Institut für Fördertechnik und Logistik- Universität Stuttgart, 2012.

[41] M. Russell Stinson, T. Sommer und K.-H. Wehking, „Abschlußbericht-Bewertung und Optimierung der Effizienz manueller Tätigkeiten in der Kommissionierung (Eskom)-Universität Stuttgart-Institut für Fördertechnik und Logistik,“ URL https://www.bvl.de/files/441/481/522/Abschlussbericht_17236N_FS1.pdf

[42] S. Galka und W. Günthner, Einfluss von Arteikeigenschaften auf die Entnahmezeit in Kommissioniersystemen, Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik- Technische Universität München.

[43] VDI 3590-Kommissioniersysteme Systemfindung, Blatt 2, Berlin: Beuth-Verlag, 2002.

[44] T. Tudehus, Logistik 2, 4. auflage: Springer Verlag , 2012.

[45] VDI 4490 -Operative Logistikkennzahlen von Wareneingang bis Versand, Beuth Verlag, 2004.

[46] T. Gudehus, Logistik-Grundlagen,Strategien,Anwendungen, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2004.

[47] T. Mühl, Einführung in die elektrische Messtechnik, 4. Auflage: Springer Verlag, 2014 .

[48] J. u. Bartenschlager, Fachkunde Metall, 57. Auflage: Europa Lehrmittel, 2013.

[49] H.-J. Mathar und J. Scheuring, Unternehmenslogistik, 2.Auflage, 2012.

[50] M. ten Hompel und u.a., Simulationsgestützte Grobplanung von Kommissioniersystemene-Forschungsbericht, Fraunhofer Institut Materialfluss und Logistik , 2007.

[51] F. Lottersberger, beitrug zu einer energieeffizienten materialflusstechnik grundlagen zur Ermittlung zum Vergleich und Steigerung der Energieeffizienz-Dissertation, Graz: Institut für Technische Logistik-TU Graz, 2016.

[52] N. Hafner und F. Lottersberger, Energy Efficiency in Material Flow Systems (effMFS).

[53] H. J. Mathar und J. Scheuring, Logistik für technische Kaufleute und HWD, Zürich: 2.Auflage, 2011.

[54] „www.hebezeuge-foerdermittel.de -Wie lässt sich der Energiebedarf bestimmen und bewerten?“,“

URL

http://www.hebezeugefoerdermittel.de/sites/default/files/Fachartikel/HF0213_Energieeffizienz_Stetigfoerderanlagen_Teil1_web.pdf. [Zugriff am 29.8.2017].