



HAW HAMBURG

Bachelorthesis

Vor- und Nachname:	Geb. am:	In:	Matrikel-Nr.:
Alejandra Cordon	21.08.1993	Guatemala	2224008

Titel: Gestaltung von Warehouse Management Systemen mit Technologien und organisatorischen Ansätzen der Industrie 4.0

Abgabedatum: 21.09.2018

Betreuender Professor: Herr Prof. Dr. Henning Kontny

Zweite Prüfende: Frau Julia Wagner

Fakultät Wirtschaft und Soziales

Department Wirtschaft

Studiengang:

Logistik / Technische Betriebswirtschaftslehre

Zusammenfassung

Diese Bachelorthesis befasst sich mit aktuellen Technologien bzw. organisatorischen Ansätzen der Industrie 4.0 und ihren Einfluss auf die Funktionalitäten der Warehouse Management Systeme. Zentraler Beitrag dieser Arbeit ist die Fragestellung, wie Warehouse Management Systeme sich mit der Implementierung neuer Technologien optimieren lassen. Im Mittelpunkt für die qualitative Forschung steht die Literaturrecherche.

Warehouse Management Systeme sind das Herzstück eines Lagers. Aus diesem Grund ist es für Lagerbetreiber von großer Bedeutung die Technologien und Ansätze einer Industrie 4.0 zu berücksichtigen, um den langfristigen Erfolg ihres Lagers und des Systems beizubehalten. Warehouse Management Systeme sind gefordert, sich entsprechend den Entwicklungsschritten der Technologie anzupassen.

Zweck der Forschung ist dem Leser Einblicke in die Grund- und Zusatzfunktionen eines Warehouse Management Systems sowie in sämtliche Technologien und organisatorische Ansätze der Industrie 4.0 zu verschaffen, um zu einem späteren Zeitpunkt verändernde Gestaltungsmöglichkeiten eines Warehouse Management Systems heranzuziehen. Besonders zu betonen ist das Bewertungssystem, das deutlich macht, wo die Verbesserungspotenziale liegen. Ein ständiges Modell zur Ergänzung bzw. Gestaltung eines WMS wird aufgrund der unterschiedlichen Anwendungsszenarien und abhängigen Einflussfaktoren in dem jeweiligen Unternehmen nicht gegeben sein. Jedenfalls sollten die Ergebnisse dieses Beitrags den Anwender eines WMS behilflich sein, sorgfältig abgewogene Entscheidungen zur Gestaltung und Verbesserung eines WMS in Kombination mit einer Industrie 4.0 leichter zu treffen.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	I
Abbildungsverzeichnis	IV
Tabellenverzeichnis.....	V
Abkürzungsverzeichnis	VI
1. Einleitung.....	1
1.1 Forschungsfrage	2
1.2 Aufbau der Arbeit	3
1.3 Vorgehensweise der Literaturrecherche.....	4
2. Begrifflichkeiten	6
2.1 Lagerverwaltungssystem	7
2.2 Warehouse Management System	10
2.3 Industrie 4.0.....	12
3. Funktionalitäten des Warehouse Management Systems.....	14
3.1 Kernfunktionen	14
3.1.1 Wareneingang	14
3.1.2 Lagerinterne Prozesse	15
3.1.3 Kommissionierung.....	16
3.1.4 Verpackung	16
3.1.5 Versand	16
3.2 Zusatzfunktionen	17
3.2.1 Yard Management.....	17
3.2.2. Cross Docking	17
4. Technologien und organisatorische Ansätze der Industrie 4.0	17
4.1 Cyber-physische Systeme	18
4.2 RFID	18
4.3 Cloud-Computing	19
4.4 Modularität.....	19
4.5 Shuttle Systeme	20
4.6 Dezentralisierung	21
4.7 Vertikale und horizontale Integration	22
5. Implementierung.....	23
5.1 Abgrenzung vor der Implementierung	23
5.2 Wareneingang und RFID	25
5.3 Lagerinterne Prozesse, Shuttle Systeme	28

5.4 Kommissionierung – RFID und Cyber-physische Systeme – Kiva-Systeme.....	29
5.5 Verpackung – RFID.....	31
5.6 Versand – vertikale und horizontale Integration	31
5.7 Modularisierung.....	33
5.8 Cloud - WMS.....	34
5.9 Dezentralisierung	36
5.10 Bewertung zur Optimierung von Technologien	37
6. Schlussbetrachtung.....	40
6.1 Kritische Stellungnahme	42
6.2 Ausblick	43
7. Literaturverzeichnis	VIII
8. Eidesstattliche Erklärung.....	XIV
9. Einverständniserklärung der Veröffentlichung.....	XV

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Fünfstufiges Automatisierungs-Dreieck.....	11
Abbildung 2: Integration von Industrie 4.0 in das WMS	25
Abbildung 3: Infrastruktur der WMS-Cloud	35

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Literatur nach Art der Quelle und Themabereich	6
Tabelle 2: Deckungsgleiche Terminologien eines Lagerverwaltungssystems	8
Tabelle 3: Definitionen einer Industrie 4.0	12
Tabelle 4: Bewertung der Technologien und organisatorischen Ansätze der I4.0	38

Abkürzungsverzeichnis

AGV	Automated Guides Vehicle
AS / RS	Automated Storage / Retrieval System
CPS	Cyber-physische Systeme
EDV	Elektronische Datenverarbeitung
ERP	Enterprise Resource Planning
IDC	International Data Corporation
I4.0	Industrie 4.0
LVS	Lagerverwaltungssystem
PDA	Personal Digital Assistant
PPS	Produktionsplanungs- und Steuerung
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
WMS	Warehouse Management System

1. Einleitung

Heutige Lagerhäuser und Fulfillment-Center werden immer wichtiger, um sicherzustellen, dass die Erwartungen der Kunden in Bezug auf pünktliche, vollständige und beschädigungsfreie Lieferungen erfüllt werden. Diese Komplexität kann nur mit Hilfe von hoch entwickelten Systemen bewältigt werden. Dies hat zu größeren Investitionen in Technologie und Automatisierung vor allem in die Logistik-Software geführt.¹ IDC Manufacturing Insights (2016) prognostiziert, dass bis Ende des Jahres 30% aller neuen Robotik-Implementierungen kollaborative Roboter sein werden und dass 45% der Top 200 globalen E-Commerce- und Omni-Channel-Retailing Unternehmen, Robotik für ihre Auftragsabwicklung, Warehousing und Auslieferung Operationen einsetzen werden. Überdies bestätigen Erkenntnisse der internationalen Marktstudie *Warehouse Management Systeme* des Fraunhofer-Instituts für Materialfluss und Logistik, dass der WMS-Markt weiter in Bewegung bleibt, denn der Funktionsumfang der WMS wächst stetig an.² Warehouse Management Systeme begegnen in Zeiten der Industrie 4.0 einer neuen Ära. Das traditionelle Lagerverwaltungssystem ist in der vierten industriellen Revolution nur in begrenzter Weise auf die Komplexität der heutigen Zeit vorbereitet. Deshalb haben intelligente Technologien das Interesse der Logistikbranche letztlich gerade deshalb erregt, weil sie auf die aktuellen Herausforderungen der Warenverwaltung zugehen: mehr Daten, mehr Waren, mehr Umschlag.³

In Bezug auf die oben genannten Fakten ist Veränderung die einzige Konstante für eine langfristige Marktfähigkeit, in einer Welt von neuen Kundenanforderungen, Volatilität und Dynamik. Wer Vorteile am Markt erzielen möchte, muss in der Lage sein, schnell und flexibel auf die sich verändernden Marktbedingungen zu reagieren. Diese Aussage gilt ebenso für den Fachbereich Warehousing. Der Bedarf nach flexiblen und wandelbaren Warehouse Management Systemen verstärkt sich durch die immer kürzer werdenden Lieferungs- und Planungszeiträume. Nur mit Hilfe der Technologien und organisatorischen Ansätze der Industrie 4.0 sind Warehouse Management Systeme bereit, schnelle und intuitive Informationen über den kompletten Lagerbetrieb zur Verfügung zu stellen. Warehouse Management Systeme sehen sich gezwungen eine andere Gestaltungsform anzunehmen. Für diesen Zweck bringt das Konzept der *Industrie 4.0* Trends in Informations- und Kommunikationstechnologien, der Automatisierung sowie einer zunehmenden Vernetzung über das Internet mögliche Lösungen.⁴ Mit den einzelnen Elementen der vierten industriellen Revolution werden Warehouse Management Systeme andere Bindeglieder in Betracht ziehen

¹ Vgl. 2017 (online, URL siehe Literaturverzeichnis) Statista.

² Vgl. Wolf, O. et al. 2000. Seite 1-4.

³ Vgl. Bodden-Streubühr, M. 2017. Seite 237.

⁴ Vgl. Roy, D.T. 2017. Seite 1.

müssen, die es zuvor noch nie gab. In der Vergangenheit lag der Fokus eines WMS auf der Optimierung innerbetrieblicher Transportaufträge, heute ist seine Fähigkeit zur kollaborativen Vernetzung gefragt.

Infolgedessen sollte Beitrag dieser Arbeit sein, Warehouse Management Systeme in einer neuen Sichtweise zu betrachten und klar darzustellen, wie sich ein solches System zusammensetzt. Das heißt, welche zusätzlichen Fähigkeiten und welche Industrie 4.0 Technologien ein Warehouse Management System ergänzen können, um die Herausforderungen des heutigen Markts bewältigen zu können. Die Anpassungen innerhalb eines WMS, die vorgenommen werden müssen, sind sowohl in Hinsicht auf technische Prozesse als auch auf organisatorischen Ansätze zu berücksichtigen.

Dabei ist wichtig zu erkennen, dass die Elemente der vierten industriellen Revolution von jedem Unternehmen selbst zu kombinieren und aufzubauen sind. Zu bedenken ist, was heute bereits möglich ist, kann morgen nicht mehr brauchbar sein. Mit Hilfe dieser Arbeit sollte den Unternehmen bewusst werden, dass Funktionalitäten, die sie heute in ein WMS integrieren, stets das Risiko bergen, dass diese in Zukunft durch disruptive Technologien ersetzt werden können. Bedeutet die Innovation neuer Funktionalitäten und Technologien, führt dazu bestehende Warehouse Management Systeme zu ersetzen. Darüber hinaus wird untersucht, inwieweit die Funktionalitäten der Komponenten der Industrie 4.0 die Funktionalitäten eines WMS ergänzen und optimieren können. Außer Acht wird jedoch nicht gelassen, dass manche Funktionalitäten ebenso den Funktionsumfang eines WMS benachteiligen können.

1.1 Forschungsfrage

Oberstes Ziel der Arbeit ist durch die wissenschaftliche Recherche und eigene Analysefähigkeit die Forschungsfrage:

Wie lassen sich Warehouse Management Systeme mit Technologien und organisatorischen Ansätze der Industrie 4.0 optimieren?

zu beantworten.

Die sich verändernden Herausforderungen der Märkte müssen mit adaptiv verändernden Systemen bewältigt werden. Der Fokus liegt auf der Optimierung der bestehenden Warehouse Management Systeme durch die Ergänzung von Komponenten und organisatorischen Methoden einer Industrie 4.0. Hieraus sollten neue Gestaltungen von Warehouse Management Systemen hergestellt werden.

Sekundärfragen, die für die erfolgreiche Beantwortung der primären Forschungsfrage behandelt und vorgelegt werden, sind:

- Wie ist der Aufbau eines Warehouse Management Systems? Wie ist es zusammengesetzt?
- Welche Funktionen sind in einem Warehouse Management System im Wesentlichen erforderlich? Welche zusätzlichen Funktionen gewinnen heute an Bedeutung?
- Welche Komponenten bzw. Technologien der Industrie 4.0 sind für ein WMS von Bedeutung? Welche organisatorischen Ansätze der I4.0 sind hiermit verbunden?
- Welche Funktionalitäten gibt es bereits auf dem WMS-Markt?
- Welche Entwicklungspotenziale der WMS gibt es? Was wird noch möglich sein?

1.2 Aufbau der Arbeit

Die Arbeit ist in sechs Kapitel gegliedert. Wichtig ist an dieser Stelle zu erwähnen, dass vor der inhaltlichen Auseinandersetzung mit dem Thema, die Vorgehensweise bei der Literaturrecherche eine große Bedeutung hat. Der Abschnitt ist die Grundlage für eine qualitative Arbeit. Hier werden wesentliche Merkmale sowie Kriterien der ausgewählten Literatur dargestellt. Im zweiten Kapitel folgt der Einstieg ins Thema, dabei werden die Hauptkonzepte Lagerverwaltungssystem, Warehouse Management System und Industrie 4.0 für die Ausarbeitung der Arbeit definiert. Ein grundlegendes Verständnis für die drei Begriffe ist Voraussetzung für den weiteren Ablauf der Arbeit.

Im dritten Kapitel werden die Funktionalitäten eines WMS in den Fokus gerückt. Aufgrund der Vielfältigkeit des Funktionsumfangs eines WMS werden die Funktionen, die nach der entsprechenden Auswertung der Recherche im Wesentlichen erforderlich sind, dargestellt. Ziel dieses Kapitels ist, den wesentlichen Funktionsumfang eines WMS vereinfacht darzustellen. Ebenfalls werden in diesem Abschnitt Zusatzfunktionalitäten dargestellt, die sich im Laufe der Zeit in einem WMS etabliert haben.

Im nächsten Kapitel werden die relevanten Technologien der Industrie 4.0 in Betracht gezogen, die für ein WMS eine relevante Verbesserung bringen können. Gleichzeitig werden organisatorische Ansätze für die Umsetzbarkeit dargestellt. In diesem Kapitel findet lediglich die Beschreibung der reinen Technologien und organisatorische Ansätze statt, die sich zu einem späteren Zeitpunkt in ein WMS integrieren lassen.

Das Hauptaugenmerk der Arbeit liegt auf dem fünften Kapitel, denn in dem werden die behandelten Erkenntnisse von Kapitel 3 und Kapitel 4 auf eine Implementierung untersucht. Wie sich die Funktionalitäten eines WMS und die Technologien der Industrie 4.0 sowie die organisatorischen Ansätze des neuen Zeitalters zusammenfügen, wird hier erklärt. Es wird herausgearbeitet, in welcher Form die Technologien und organisatorischen Ansätze der Industrie 4.0 den Funktionsumfang eines WMS ergänzen und eine neue Gestaltung ergeben. Was bereits auf dem Markt möglich ist, wird mit Hilfe von Beispielen aus der Praxis erläutert. Was noch möglich sein wird und welche Auswirkungen die Kombination der Technologien und Systemen in der Zukunft haben können, wird mit Hilfe von Hypothesen aufgestellt. Anschließend findet eine Bewertung der Technologien bzw. organisatorischen Ansätze nach bestimmten Kriterien statt. Diese sollten dabei helfen, die Leistungen der Technologien an einem WMS zu messen.

Im letzten Kapitel wird eine Schlussbetrachtung, eine kritische Stellungnahme sowie einen Ausblick herausgezogen.

1.3 Vorgehensweise der Literaturrecherche

Basis zur erfolgreichen Beantwortung und Aufklärung der Forschungsfrage ist die Beschaffung verwertbarer Literatur. Dafür wird in diesem Abschnitt die systematische Erhebung, Auswertung und Interpretation von den verwendeten Daten charakterisiert.

Die vorliegende wissenschaftliche Arbeit sollte nicht nur objektive Daten liefern, d.h. nicht nur feststellen, was *ist*, sondern auch, was sein *soll*. Darauf stützend ist die Grundlage eine strukturierte methodische Herangehensweise für die Verwirklichung der qualitativen Forschung. Ein Fakt für eine qualitative Arbeit ist im ersten Schritt die Erhebung von nicht standardisierten Daten und deren Analyse mit speziellen, nicht statistischen Verfahren. Diesbezüglich ist es notwendig für eine hochwertige Datenerhebung sowie für die Qualitätssicherung dieser Arbeit das Wahlverhalten gegenüber der Literatur nach den bestimmten Kriterien zu beschreiben und darzustellen. Um die Auswahl der Daten eingrenzen zu können, wurde ein Differenzierungsgrad festgelegt. Die Einheitskriterien für die entsprechende Einstufung qualitativer Daten sind nach Kornmeier determiniert worden. Danach wurden die Daten auf ihre Objektivität, Reliabilität, Glaubwürdigkeit, Transferierbarkeit und Nutzen geprüft.⁵

⁵ Vgl. Kornmeier, M. 2016. Seite 37.

Im ersten Schritt hat es sich um das reine Sammeln von Daten gehandelt. Zu den wissenschaftlichen Arten von Informationsquellen gehören allgemeine und spezielle Lehrbücher, Fachzeitschriften, Handbücher, Dissertationen, Arbeitspapiere, Tageszeitungen sowie das Internet. Die gesamte Literatursammlung beträgt 47 Werke. Die Anwendung von Datenbanken ist hier auch zu berücksichtigen. Vertrauliche Datenbanken wie Beluga, Statista, ZBW, WISO, EBSCO wurden hier verwendet.

Der nächste Schritt war die Auswertung von den gesammelten Werken. Enorm wichtig und entscheidende Rolle zur Bestätigung der Qualität der Literaturrecherche sind die Bewertungskriterien, woran die Qualität gemessen werden kann. Insgesamt wurden sechs unterschiedlichen Kriterien ausgesucht, die die Frage beantworten sollte, ob die recherchierten Beiträge sich zur Lösung des Forschungsproblems eignen.

1. Titel des Beitrags: Darunter wurde analysiert, ob zwischen dem Titel der gefundenen Publikationen und dem Thema der eigenen wissenschaftlichen Arbeit tatsächlich ein Zusammenhang besteht.
2. Fachlicher Hintergrund des Verfassers: Der Beruf des Verfassers wurde geprüft. Ist er Wissenschaftler, Journalist oder Praktiker?
3. Erscheinungsjahr der Quelle: Ist die Literatur aktuell oder veraltet? Wenn sie veraltet ist, gibt es eine Begründung dafür?
4. Herkunft der verarbeitenden Quellen: Es wurde geprüft, ob der Verfasser Quellen auch aus einer fremdsprachigen Literatur berücksichtigt hat und nicht lediglich in dem eigenen Sprachraum.
5. Titel / Art / Zielgruppe der Publikationen: An wen wendet sich die Literatur? Ist der Anwendungsbereich passend?
6. Ausgewogenheit der verarbeitenden Quelle: Hat der Verfasser ein breites Spektrum von Publikationen verwendet?

Speziell in Bezug auf das Konzept Lagerverwaltungssystem ist es wichtig, den Zeitraum der herausgegebenen Literatur bzw. das dritte Kriterium anzusprechen. Da die Entfaltung und die ersten Anwendungen von Lagerverwaltungssystemen unklar sind, aber wiederum bereits seit 20 Jahren Erscheinungen über das Fachgebiet in der Literatur auftauchen, wurde hierbei diese Grenze gesetzt, da die Grundform eines solchen Systems unverändert blieb. Mehr zu der Begrifflichkeit wird im nächsten Kapitel veranschaulicht gemacht. Für den neueren Ausdruck im Sprachgebrauch „Warehouse Management Systeme“, der mehr oder weniger den deutschen Begriff Lagerverwaltungssystem abdeckt, ist es wichtig, Literatur mit einem Erscheinungsjahr ab dem Jahr 2000 anzuwenden. Unerlässlich wären Daten mit dem

erwähnten Zeitraum für das Konzept *Industrie 4.0* zu betrachten, da dieses Konzept in den letzten Jahren soliderer Grundlagen und eine fundierte Gestaltungsform entwickelt hat.

Der letzte und dritte Schritt im Verfahren der Literaturrecherche ist die Interpretation der ausgewerteten Daten. Im diesem Schritt ist es notwendig genauer zu sehen, welche zentrale Ergebnisse bzw. Aussagen in den Publikationen enthalten sind. Welches Forschungsproblem der Autor in seiner Arbeit gelöst hat und, ob diese Studie auch hilfreich für die eigene Forschungsfrage ist, muss analysiert werden. Zentrale Befunde zu finden, die für die eigene Arbeit relevant sein können, ist auch eine zentrale Aufgabe in diesem Teil des Verfahrens.

Tabelle 1 gibt einen Überblick, welche Art von Literatur in welchem Themengebiet in welcher Anzahl angewendet wurde.

Tabelle 1: Literatur nach Art der Quelle und Themabereich

Literatur nach Art der Quelle und Themabereich	
Buch	Anzahl
Lagerverwaltungssysteme	2
Warehouse Management Systeme	5
Industrie 4.0	13
Lagersysteme	4
Zeitschriftenartikel	
Lagerverwaltungssysteme	3
Warehouse Management Systeme	5
Industrie 4.0	8
Markt-Anbieter WMS	1
Studien	
Warehouse Management Systeme	1
Gesamtheit	
	42

2. Begrifflichkeiten

Drei Begriffe prägen die vorhandene Arbeit. Aufgrund der Variantenvielfalt von Definitionen der zu behandelnden Konzepte und irreführend nah beieinander liegenden Terminologien wird in diesem Kapitel mit Hilfe eines Bezugsrahmens untersucht, welche Variante am geeignetsten für die Ausarbeitung des Themas ist. Die drei Begriffe, die folglich anschaulich gemacht werden, sind: Lagerverwaltungssystem, Warehouse Management System und Industrie 4.0.

Ziel dieses Abschnitts ist, eigene Definitionen zu entwickeln, die den Zweck dieser Arbeit erfüllen und die Ergebnisse für Dritte nachvollziehbar und kritisierbar machen.

2.1 Lagerverwaltungssystem

Bevor der Begriff Lagerverwaltungssystem für den Zweck dieser Arbeit ausgelegt wird, ist es notwendig Schlüsselwörter heranzuziehen, die für das Konstrukt des Wortes relevant sind. Im ersten Schritt wird in diesem Abschnitt die ureigenste Funktion eines Lagers illustriert: die *Lagerverwaltung*.

Ausschlaggebend für die Organisation und für den Betrieb eines Lagers, abgesehen von den Lagerbetriebsstrategien, stellt die Lagerverwaltung dar.⁶ Sie schildert die Verbindungsstelle zwischen Wareneingang und Warenausgang. So ist ihre Hauptaufgabe die Ware während der Lagerung zu verwalten.⁷

Aufgrund der unterschiedlichen Anforderungen an große Distributionszentren, Aufträge in immer kürzerer Zeit zu bearbeiten und der steigenden Komplexität in den logistischen Prozessen, hat sich in den letzten Jahren die reine manuelle Lagerverwaltung gezwungen gesehen, die Unterstützung moderner IT-Technologien anzuwenden. Für die Verwaltung und Steuerung dieser hochkomplexen logistischen Systeme sind leistungsfähige Rechnersysteme mit hochentwickelter Software gefragt.⁸ In der heutigen Zeit der Digitalisierung wird vorausgesetzt, dass die Aufgaben einer Lagerverwaltung meist mit der softwareseitigen Unterstützung eines leistungsfähigen Lagerverwaltungssystems ausgeführt werden.⁹

Lagerverwaltungssysteme bestehen aus Hardware und Software.¹⁰ Sie bilden die unterschiedlichen Zusammenhänge eines oder mehrerer Lager ab und unterstützen die Ausführung sämtlicher Aufgaben des Lagers.¹¹ Auf die Funktionalitäten und Aufgaben wird im Kapitel 3 genauer eingegangen.

Wichtig ist zu unterscheiden, von welcher Art von System in diesem Zusammenhang gesprochen wird. Bei einem Lagerverwaltungssystem handelt es sich um ein Rechnerverbundsystem. Dies bedeutet, dass mindestens zwei Computer über

⁶ Vgl. Gudehus, T. 2010. Seite 565.

⁷ Vgl. proLogistik 2018. (online, URL siehe Literaturverzeichnis).

⁸ Vgl. Arnold, D. et al. 2004. Seite C2-50.

⁹ Vgl. Gudehus, T. 2010. Seite 566.

¹⁰ Vgl. Arnold, D. et al. 2004. Seite C2-50.

¹¹ Vgl. Stadler, H. 1998a. Seite 1.

Datenübertragungswege zu einem System zusammengeschlossen sind. Dadurch sind Lagerverwaltungsrechner in der Lage ohne manuelle Eingriffe miteinander zu kommunizieren.¹²

Da in dieser Arbeit nicht von einem manuellen Lagerverwaltungssystem gesprochen wird, eignet sich die Definition von Stadtler, die einen Schritt weitergeht: ein Lagerverwaltungssystem wird als ein EDV-Anwendungssystem bezeichnet, das alle für die Lagerung und Kommissionierung von Gütern wesentlichen statischen (ortfesten) und dynamischen (beweglichen) Komponenten eines oder mehrerer Lager abbildet.¹³

Zudem wurden im Rahmen der Recherche deckungsgleiche Terminologien für den Begriff Lagerverwaltungssystem aufgefunden. Um Missverständnisse zu vermeiden, werden anhand Tabelle 3 die unterschiedlichen Terminologien aufgezeigt, die gleichartige Merkmale wie das Konzept Lagerverwaltungssystem in der Literatur aufweisen.

Tabelle 2: Deckungsgleiche Terminologien eines Lagerverwaltungssystems

Begriff	Autor	Definition
Lagerverwaltungssystem	Hompel, M.ten / Schmidt, T	System, das Daten über den Lagerort und warespezifische Daten wie Artikel-Nr., Menge, Einlagerdatum, Bestand führt. ¹⁴
Materialflussverwaltungssystem	D.Arnold, H. Isermann, A. Kuhn, H. Tempelmeier	System, das Information, welches Material, an welchem Ort und in welcher Menge liegt. ¹⁵
Bestandsverwaltungssystem	K. Bichler, G.Riedel, F. Schöppach	System, das Menge und Ort der Bestände mitverwaltet. ¹⁶
Lagerverwaltungssoftware	Fraunhofer IML	Software zur Verwaltung von Mengen und Orten

¹² Vgl. 2018b (online, URL siehe Literaturverzeichnis).

¹³ Vgl. Stadtler, H. 1998b. Seite 1.

¹⁴ Vgl. Hompel, M. ten/Schmidt, T. 2010. Seite 8.

¹⁵ Vgl. Arnold, D. et al. 2004. Seite C4-16.

¹⁶ Vgl. Bichler, K. et al. 2013. Seite 22.

		(Lagerorten) und deren Beziehung zueinander. ¹⁷
--	--	--

Wie von den oben behandelten Inhalten in Tabelle 2 erschlossen werden kann, betrifft der Hauptteil im Kernbereich ein System zur Verwaltung von Mengen und Orten bzw. Lagerorten und überwiegend deren Bezug zueinander. Trotz der konformen Definitionen scheint in der Theorie und in der Praxis der Begriff Lagerverwaltungssystem viel angebrachter. Somit werden im Rahmen dieser Arbeit die vorgestellten Terminologien ausgeschlossen und lediglich mit dem Begriff *Lagerverwaltungssystem* weitergearbeitet.

Wenn ein hochgradig automatisiertes Lager komplexe sowie zeitkritische Aufgaben zu erfüllen hat, ist das Lagerverwaltungssystem der wichtigste Schalthebel. Die sicherste und effektivste Form der Lagerverwaltung heute ist eine separate, Echtzeit-orientierte Lagerverwaltungs- und Steuerungsebene mit einer direkten Online-Verbindung zu anderen Systemen. Die LVS Ebene wird in der Regel über mittlere Datentechnik (Low Cost Server, Workstations und PC Netzwerke) realisiert.¹⁸ Auf dem Markt werden leistungsfähige Lagerverwaltungsrechner mit entsprechender Standardsoftware angeboten. Da aber heutzutage die Anforderungen der Kunden individualisierter werden, ist es nicht mehr sinnvoll einen Standard für die logistischen Lagerzentren anzubieten und diesen als Unternehmer zu definieren. Denn viele dieser LVS bieten nicht die Möglichkeit alle benötigten Lagerstrategien abzubilden und enthalten überflüssige und im Einzelfall sinnlose Strategien und Funktionen.¹⁹ In diesem Hinblick sind modulare Lösungen gefragt, die sich an dem jeweiligen Kundenwunsch anpassen können.

Maßgeblich in der Welt von Lagerverwaltungssystemen ist nun der Begriff mit anglizistischer Herkunft *Warehouse Management System*. In der Praxis werden die Begriffe Lagerverwaltungssystem und Warehouse Management System aufgrund der Vereinfachung gern gleichgesetzt, nichtsdestotrotz zeigen die beiden Begriffe per Definition unterschiedliche Merkmale auf. Bevor eine endgültige Definition für das Konzept LVS festgelegt wird, ist Grundlage ein Verständnis für die Begrifflichkeit Warehouse Management System zu gewinnen.

¹⁷ Vgl. warehouse-logistics, F.-I.M. und L. 2018 (online, URL siehe Literaturverzeichnis).

¹⁸ Vgl. Walter, K. 2017 (online, URL siehe Literaturverzeichnis).

¹⁹ Vgl. Bichler, K. et al. 2013. Seite 23.

2.2 Warehouse Management System

In Zeiten der Globalisierung ergänzen immer öfter Fachbegriffe mit anglizistischer Herkunft das Vokabular in Logistik und Supply Chain Management. Per Definition ist es aber nicht sinnvoll den Begriff Lagerverwaltungssystem als Synonym für ein Warehouse Management System zu verwenden, auch wenn korrekt wörtlich übersetzt wird. Mit Hilfe der VDI-Richtlinie 3601 von 2015 wurde aufgeklärt, wo die genauen Unterschiede zwischen beiden Begrifflichkeiten liegen und welche Leistung ein IT-System bringen muss, damit es als WMS bezeichnet werden kann. Danach definiert ein Warehouse Management System (WMS) die Steuerung, Kontrolle und Optimierung von Lager- und Distributionssystemen. Neben den elementaren Funktionen eines Lagerverwaltungssystems beinhaltet der Leistungsumfang eines WMS umfangreiche Methoden und Mittel zur Kontrolle der Systemzustände und eine Auswahl von Betriebs- und Optimierungsstrategien. Schwerpunkt eines WMS liegt in der Führung und Optimierung von Lagersystemen.²⁰

Nichtsdestotrotz hat sich im Laufe der Recherche erwiesen, dass vor allem in der Praxis beide Begrifflichkeiten gern gleichgesetzt verwendet werden. Ein Grund hierfür könnte das Defizit in der Theorie sein, den Begriff Lagerverwaltungssystem weiter zu entwickeln und neu zu definieren aufgrund der Anpassungen und der neuen Gestaltung am System. Für den Zweck dieser Arbeit werden beide Konzepte gleich angewendet und wie folgt definiert:

Ein Lagerverwaltungssystem bzw. ein Warehouse Management System ist ein logistisches Rechnernetzsystem, das die unterschiedlichen Zusammenhänge eines oder mehrerer Lager für die Steuerung und Kontrolle von Lagersystemen abbildet und mitverwaltet und sich mit der Optimierung von Lagerstrategien beschäftigt.

Um die Produktivität zu steigern, müssen Warehouse Management Systeme in der Lage sein, in Echtzeit zu arbeiten, alle Prozesse innerhalb des Lagers zu verwalten und mit anderen Systemen des Unternehmens kommunizieren zu können. An dieser Stelle ergibt sich eine Reihe von Schnittstellen zu angrenzenden Systemen, deren Abgrenzung nicht immer leichtfällt. Ein WMS verfügt über eine Schnittstelle zu einem Warenwirtschaftssystem (Host), wie zum Beispiel SAP R/3. Darüber hinaus werden Änderungen an den Artikelstammdaten, Wareneingangsankündigungen und den zu bearbeitenden Aufträge an das WMS übermittelt. Das WMS meldet dem Host die verbuchten Wareneingänge, Warenausgänge (d.h. die Erfüllung von Aufträgen bzw. Abweichung bei Auftragsplittung) und Inventurbuchungen. Dazu interagiert ein WMS mit dem Materialflussrechner (MFR) und den

²⁰ Vgl. VDI Verein Deutscher Ingenieure e.V. 2015. Seite 2.

speicherprogrammierbaren Steuerungen (SPS). Auf dieser Ebene werden die Paletten- oder Behälterbewegungen gesteuert und überwacht. Zur Veranschaulichung: Ein WMS gibt beispielsweise die Anweisung „Auslagerung Palette PI14044 aus HRL-Gasse 16 und Transport zu Kommissionierplatz 3“ und diese wird von dem untergelagerten MFR ausgeführt.²¹

Die Abbildung 1 sollte die Architektur des WMS repräsentativ darstellen.

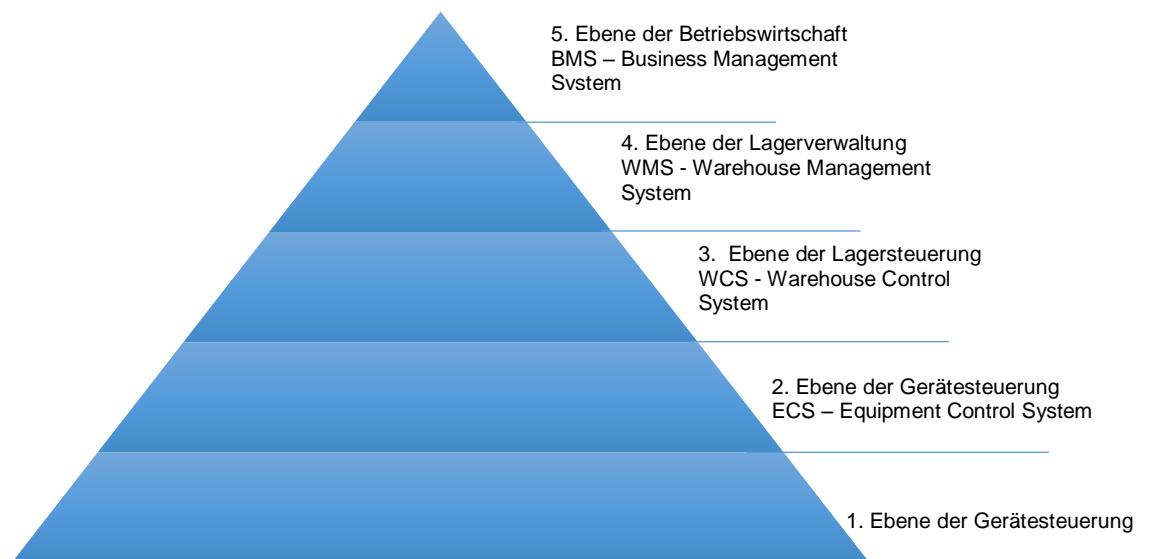


Abbildung 1: Fünfstufiges Automatisierungs-Dreieck²²

Ferner kann ein WMS Daten schnell verarbeiten und Bewegungen innerhalb des Lagers koordinieren. Es kann Berichte erstellen und große Mengen von Transaktionen verarbeiten, wie sie in E-Commerce-Vorgängen vorkommen. Die Einführung neuer Technologien in den Betrieb verbessert nicht nur die Wettbewerbsfähigkeit in einem herausfordernden Markt, sondern kann auch dazu beitragen, die ständig steigenden Kundenanforderungen zu erfüllen.²³

Insofern steht das Warehouse Management System in vielerlei Hinsicht im Mittelpunkt der Dinge. In der Vergangenheit wurden Lagerhäuser und ihre dazugehörigen Systeme lediglich als Kostentreiber angesehen. Heute gewinnt ein WMS an Bedeutung und ist der Dreh- und Angelpunkt, Güter in effiziente Bewegung zu bringen. Warehouse Management Systeme

²¹ Vgl. Arnold, D. et al. 2004. Seite C2-50.

²² Vgl. Egemin WMS (online, URL siehe Literaturverzeichnis).

²³ Vgl. Richards, G. 2018. Seite 234.

knüpfen die im Lager zu verrichtenden Vorgänge zusammen, bilden den Sammelpunkt unterschiedlicher Informationsquellen und bearbeiten diese Daten je nach Wunsch des Lagerbetreibers.²⁴

Heute benötigen die verändernden Herausforderungen innerhalb des Supply Chain einen Wandel in der Denkweise bei den Lagerbetreibern. Automatisierung und Robotik werden als eine lebensfähige und manchmal notwendige Alternative zu großen Arbeitsmengen betrachtet und haben durch die gemeinsame Kommunikation einen großen Einfluss auf das WMS. Unternehmen wie Amazon wenden bereits die Robotik in großem Umfang in ihren Lagern an. Kürzlich haben sie ein Patent für die Idee eines Lagers im Himmel erhalten, indem Aufträge in einem Luftschiff erfüllt werden und die Gegenstände von Drohnen geliefert werden.²⁵

Die nun zu bewältigende Herausforderung liegt in der Entwicklung flexibler Plattformen, die neue Technologien integrieren können. Industrie-4.0-konforme Komponenten, die sich hier als geeignet herausstellen, sind flexibel und individuell konfigurierbare Warehouse-Management-Systeme. Im Hinblick darauf werden Einblicke in das Konzept der Industrie 4.0 verschaffen.

2.3 Industrie 4.0

Die Welt erlebt eine Inflation der Begrifflichkeiten „4.0“. Es ist in aller Munde, nichtsdestotrotz scheint es schwer definierbar zu sein. Auf Grundlage der Literaturrecherche wurden Definitionen von aktuellen Erscheinungen in Tabelle 3 zusammengetragen.

Tabelle 3: Definitionen einer Industrie 4.0

Autor	Industrie 4.0
Leimeister (2015)	„bezeichnet in Anlehnung an bisher drei industrielle Revolutionen die Weiterentwicklungsstufe der Industrie ... wird ... die nächste Revolution beschrieben, welche die Produktion auf Basis von <u>Cyber-Physical-Systems</u> revolutioniert.“ ²⁶
Mertens (2017)	„technische Grundlage von Industrie 4.0 sind <u>„Cyber Physical Systems“</u> . Dies sind Betriebsmittel (z. B. Werkzeugmaschinen, Prüfgeräte, innerbetriebliche Transportfahrzeuge, Lagerautomaten, LKW), die mit eigenen Computern ausgestattet werden („embedded systems“). Die

²⁴ Vgl. Bodden-Streubühr, M. 2017. Seite 236.

²⁵ Vgl. Richards, G. 2018. Seite 459.

²⁶ Vgl. Leimeister, J.M. 2015. Seite 378.

	<i>Gegenstände können untereinander über Internet-ähnliche Netze Nachrichten („Internet der Dinge“) austauschen und sollen in weiteren Entwicklungsstufen ähnlich wie menschliche Disponenten miteinander verhandeln können“²⁷</i>
Plattform Industrie 4.0 (2017)	<i>„steht für die vierte industrielle Revolution, <u>einer neuen Stufe der Organisation und Steuerung der gesamten Wertschöpfungskette</u> über den Lebenszyklus von Produkten. Dieser Zyklus orientiert sich an den zunehmend individualisierten Kundenwünschen und erstreckt sich von der Idee, dem Auftrag über die Entwicklung und Fertigung, die Auslieferung eines Produktes an den Endkunden bis hin zum Recycling, einschließlich der damit verbundenen Dienstleistungen“²⁸</i>
Roth (2016)	<i>„umfasst die Vernetzung aller menschlichen und maschinellen Akteure über die komplette Wertschöpfungskette sowie die <u>Digitalisierung und Echtzeitauswertung</u> aller hierfür relevanten Informationen, mit dem Ziel die Prozesse der Wertschöpfung transparenter und effizienter zu gestalten, um mit intelligenten Produkten und Dienstleistungen den Kundennutzen zu optimieren.“²⁹</i>
Obermeier (2016)	<i>„beschreibt eine Form industrieller Wertschöpfung, die durch <u>Digitalisierung, Automatisierung sowie Vernetzung</u> aller an der Wertschöpfung beteiligten Akteure charakterisiert ist und auf Prozesse, Produkte oder Geschäftsmodelle von Industriebetrieben einwirkt.“³⁰</i>

Nach den oben vorliegenden Definitionen und Erklärungssätzen gibt es keine einheitliche Definition, die eine Industrie 4.0 erläutert. Übereinstimmend veranschaulichen folgende Gedanken und Technologien das Konzept der Industrie 4.0: Cyber-physical-Systems, Internet der Dinge, individualisierte Kundenwünsche, Vernetzung menschlicher und maschineller Akteure, Digitalisierung und Echtzeitauswertung, intelligente Produkte und verbundene Dienstleistungen.

Auf Grundlage von Beschreibungen, genannten Komponenten und Erklärungsansätzen wird für die vorliegende Arbeit Industrie 4.0 wie folgt definiert:

Industrie 4.0 bezeichnet eine vierte industrielle Revolution, die auf Basis von Cyber-Physischen-Systemen aufgebaut ist. Gegenstände sind über Internet-ähnliche Plattformen

²⁷ Vgl. Mertens, P. et al. 2017. Seite 96.

²⁸ Vgl. Energie, B. 2017. (online, URL siehe Literaturverzeichnis).

²⁹ Vgl. Roth, A. 2016. Seite 96.

³⁰ Vgl. Obermaier, R. 2016. Seite 8.

vernetzt und können sich untereinander austauschen und verhandeln. Sie nutzen das „Internet of Things“. Industrie 4.0 umfasst eine neue Stufe der Organisation und Steuerung der gesamten Wertschöpfungskette, die mit Hilfe von Digitalisierung und Echtzeitauswertungen Prozesse transparenter und effizienter gestalten lässt mit dem Ziel den Kundennutzen zu optimieren.

Die bisherige Analyse zeigt, dass I4.0 von einer Reihe von Technologien charakterisiert ist und durch eine Art von industrieller Wertschöpfung, die durch Digitalisierung, Automatisierung sowie Vernetzung aller an der Wertschöpfung beteiligten Akteure gekennzeichnet wird. Bevor im Kapitel 4 auf die Technologien und organisatorischen Ansätze der Industrie 4.0 tiefer eingegangen wird, werden die im Wesentlichen erforderlichen Funktionen eines WMS verfasst.

3. Funktionalitäten des Warehouse Management Systems

Ziel dieses Abschnitts ist die grundlegenden Funktionen eines WMS darzustellen, die von den Technologien und organisatorischen Ansätze einer Industrie 4.0 betroffen sind bzw. sein können. Die Funktionen sind in Kern- und Zusatzfunktionen aufgeteilt. Bei den Ersten hat der VDI auf Basis des WMS-Markts die Frage beantwortet, welche Funktionalitäten ein WMS erfüllen muss, um es als solches anzusehen. Nach diesem Schema (VDI Richtlinie 3601) wird auf die Funktionalitäten eingegangen, die für die Beantwortung der Forschungsfrage relevant sind. Zu den Zusatzfunktionen werden ebenfalls auf Basis der VDI Richtlinie die Funktionen wiedergegeben, die eine große Auswirkung auf die Optimierung von Warenhäusern haben.

3.1 Kernfunktionen

3.1.1 Wareneingang

Ein Wareneingangsprozess umfasst die Ankündigung der Waren bis hin zum tatsächlichen Wareneingang und seiner Verbuchung. Der Materialfluss für das empfangene Unternehmen beginnt mit der Ankündigung der Lieferung durch den Lieferanten, das heißt mit der Avisierung vom Wareneingang. In dem Lieferavis bzw. Beleg teilt der Lieferant den Liefertermin und die Mengen der zu liefernden Materialien mit. So können frühzeitig Lieferverzögerungen oder Fehlmengen festgestellt werden.³¹

Der erste wichtige Schritt im Materialfluss eines Lagers ist die Warenannahme. Hier wird nach dem Lieferavis die eintreffende Lieferung mit der Bestellung abgeglichen. Im System folgt eine

³¹ Vgl. Hoppe, M./Käber, A. 2008. Seite 41.

Buchung des Frachtbriefes gegen das Avis. In größeren Lagersystemen werden Hofmanagementsysteme eingesetzt, die einen koordinierten Verkehrsfluss sowie Minimierung unnötiger Such- und Rangierfahrten gewährleisten sollten, dazu wird mehr im Abschnitt 3.2.1 Yard Management veranschaulicht gemacht. Weiterhin kommt die Qualitätsprüfung der eingetroffenen Ware. Mängelbehaftete Waren werden ebenfalls im System mit Sperrkennzeichen vermerkt und auf speziellen Lagerplätzen eingelagert.³² Die Waren, die keine Mängel aufweisen, werden je nach Lagerverwaltungssystem entweder manuell einem Lagerplatz oder per automatischer Lagerplatzzuordnung einem Lagerort zugewiesen und vom Lageristen jeweils vor Ort eingelagert.³³

Bei der Einlagerung aus dem Wareneingang in die Lagerbereiche wird die Lagerplatzsuche unter Berücksichtigung bestimmter Einlagerungsstrategien, wie Zulagern, Fixplatz, Leerplatzsuche, etc. und weiterer Kriterien wie physische Dimensionen, Artikelklassifikationen, Transporteinheitentypen, ABC-Klassifizierung, etc. ausgeführt.³⁴ Um flexibel reagieren zu können ist der Schlüssel, Kommunikationswege so kurz wie möglich zu gestalten.³⁵

3.1.2 Lagerinterne Prozesse

Unter lagerinternen Prozessen sind Funktionen der Umlagerung, Nachschub, Umbuchung, Inventur und Leitstand im Modul beinhaltet. Bei der ersten Funktion sind Transporte von Beständen, die manuell oder automatisch angestoßen werden und entweder ein festes Ziel vorgegeben haben oder nach Umlagerungsstrategien analog zur Einlagerung ausgeführt werden. Anwendung von Nachschüben finden Anstoß bei Mindest- und Maximalmengen von Beständen, die erreicht werden müssen. Nach Vorgaben des ERP-Systems wird eine permanente Inventur durchgeführt. Im Leitstand können alle Systemzustände bzw. Prozesse überwacht werden und in operative Abläufe kann eingegriffen werden. Beispielsweise können Umlagerungen angestoßen werden, Aufträge gestartet oder storniert werden, Materialflüsse bzw. Bereitstellungen nachvollzogen werden, Schnittstellen überwacht werden.³⁶

³² Vgl. Hompel, M. ten/Schmidt, T. 2010. Seite 25.

³³ Vgl. Hoppe, M./Käber, A. 2008. Seite 42.

³⁴ Vgl. 2018 (online, URL siehe Literaturverzeichnis).

³⁵ Vgl. 2008 (online, URL siehe Literaturverzeichnis).

³⁶ Vgl. 2018a (online, URL siehe Literaturverzeichnis).

3.1.3 Kommissionierung

In der Kommissionierung werden aus den Lagerbeständen die reservierten Bestände zusammengestellt und in den nachgelagerten Schritten Konsolidierung, Verpackung und Versand, zur Verfügung gestellt. Die Kommissionierung gilt zumeist als sehr personal- und zeitintensiv, da hier allgemein große Lagermengen physisch bewegt werden müssen. Aus diesem Grund kommen in dem Prozess alle möglichen förder- und lagertechnischen Systeme zum Einsatz. Die Effizienz in diesem Schritt hängt von Parametern wie Greifzeit und Wegzeit ab.³⁷

3.1.4 Verpackung

Nach der Kommissionierung der Ware werden diese in der Verpackung zusammengeführt. Es wird nochmals geprüft, ob der Auftrag vollständig ist und anschließend für den Transport verpackt und an die Stelle Versand weitergeleitet.³⁸ Sendungen müssen volumenoptimiert gebildet werden. In vielen Fällen wird auf die Fähigkeiten und Erfahrungen des Packpersonals gesetzt, für eine vorliegende Verpackungsmenge die richtige Verpackungseinheit zu bestimmen. In der Praxis kommt es jedoch häufig zum mehrfachen Umpacken, was entsprechend nicht effizient ist. Deshalb wird eine solche Funktionalität zunehmend in WMS integriert, die auf Basis einer Volumenberechnung des Kundenauftrags geeignete Versandgrößen ermittelt.³⁹

3.1.5 Versand

Beim Versand werden versandfertige Packstücke auf Versandflächen bereitgestellt, auf zugewiesene Touren verladen und die Frachtbelege gedruckt. Als erstes werden die jeweiligen Transportmittel ausgewählt, entsprechend geplant und bereitgestellt. Die Versandeinheiten müssen dazu nach Volumen und Gewicht optimal zusammengestellt werden. Zur Verladung sind die Transport- und Versandpapiere zu erstellen. Der Auftragsabschluss wird dokumentiert und eine Rückmeldung folgt an die Auftragsabwicklung.⁴⁰

³⁷ Vgl. Marc Hoppe/Käber, A. 2008. Seite 43.

³⁸ Ebenda. Seite 44.

³⁹ Vgl. Hompel, M./Schmidt, T. 2010. Seite 52.

⁴⁰ Vgl. Hoppe, M./Käber, A. Seite 42.

3.2 Zusatzfunktionen

3.2.1 Yard Management

Ein Yard illustriert die physische Organisationsstruktur eines Standortes außerhalb der Lagergrenzen. In einem Yard können Parkplätze, Wiegestellen oder auch Registrierpunkte verwaltet werden. Tore und Bereitstellzonen des Lagers bilden die Schnittstelle zu den Yard-Prozessen. Diese Funktion sorgt für Transparenz hinsichtlich des Bestandes auf dem Gelände und der geplanten Lieferungen, damit die Lageraktivitäten vorbereitet und Informationen an externe Partner weitergeleitet werden können. Mit der Zusatzfunktion Yard Management kann ein WMS seinen Funktionsumfang über das Lager hinaus erweitern. Es bildet eine Schnittstelle für die Übergabe der Waren aus und an den Transport. Durch die effektive Verwaltung aller ankommenden und abgehenden Lkw, Züge, Wechselbrücken und Container kann der Materialfluss im Lager optimiert und auf die ein- und ausgehenden Transporte abgestimmt werden. Dazu können mit den vorhandenen Daten die Umschlagsaktivitäten optimiert werden.⁴¹

3.2.2. Cross Docking

Ein WMS unterstützt alle gängigen Cross Docking Varianten. Beim Cross Docking findet keine Einlagerung der eingehenden Ware statt. Die Warenanlieferungen und Warenabgänge werden so aufeinander abgestimmt, dass die Ware direkt in den Versand gegeben wird. Somit findet im Lagersystem keine Vereinnahmung statt und das System ähnelt einem reinen Umschlagssystem mit den Zielen, Bestände zu senken, Effizienz zu steigern durch Vermeidung von Prozessschritten und eine effektive Sortierung nach Destinationen.⁴²

4. Technologien und organisatorische Ansätze der Industrie 4.0

Die Potenziale der Automatisierung, Digitalisierung, und Datenintegration sowie innovative Managementkonzepte eröffnen neue Möglichkeiten für das Warehousing von Morgen. Dieses Kapitel gibt zunächst einen Überblick über die Technologien der Industrie 4.0, die innovative technische Lösungen für ein Warehouse Management System anbieten können. Wie diese Technologien und Ansätze im Bezug zu einem Warehouse Management System stehen und welche Vor- und Nachteile sie mit sich bringen, wird näher im fünften Kapitel berücksichtigt. Hier handelt es sich um die reine Vorstellung der im nächsten Kapitel zu behandelnden Technologien. Organisatorische Ansätze wie Dezentralisierung und eine vertikale und horizontale Integration der Systeme, die für die erfolgreiche Implementierung der neuen

⁴¹ Vgl. Hoppe, M./Käber, A. 2008. Seite 566.

⁴² Vgl. Hompel, M. ten/Schmidt, T. 2010. Seite 69.

Technologien erforderlich sind, werden auch in diesem Abschnitt aufgezeigt.

4.1 Cyber-physische Systeme

Cyber-physische Systeme sind Objekte, die auf der Basis von eingebetteten Systemen bzw. binärwertigen digitalen Systemen, die mit der Fähigkeit zur Selbststeuerung ausgestattet sind, mittels Sensoren Daten erfassen und mittels eingebetteter Software aufbereiten und mit Hilfe von Aktoren auf reale Vorgänge einwirken. Sie kommunizieren über eine Dateninfrastruktur wie das Internet und verfügen über Mensch-Maschine-Schnittstellen. Sie können wiederum mit anderen CPS zu einem „Internet of Things“ verbunden werden.⁴³ Cyber-physische Systeme haben ein hohes wirtschaftliches Potenzial und ermöglichen neuartige industrielle Anwendungen. Beispiele sind selbststeuernde Logistiksysteme, integrierte Systeme zur Verkehrssteuerung oder intelligente Stromnetze.⁴⁴

4.2 RFID

Eine der Technologien, die bereits seit Jahren existiert und für eine Industrie 4.0 notwendig ist, ist das Identifikationssystem RFID (*Radio Frequency Identification*). Es ist ein zentrales Element zur Datenerhebung und Datenverarbeitung.⁴⁵ Ein RFID setzt sich aus einem Transponder und dem Lesegerät zusammen. Der Transponder befindet sich am Objekt. Das Lesegerät wird an der Stelle positioniert, an der die Identifikation der zu überwachenden Objekte stattfinden soll. Beide Teile besitzen jeweils eine Antenne zum Senden und Empfangen, sowie einen Chip für die Verarbeitung der Radiosignale. Die Daten werden auf diese Weise kontaktlos und nur auf Abruf übermittelt.⁴⁶ Besondere Eigenschaften eines RFID-Systems sind seine Langlebigkeit sowie sein gutes Handling um es an unterschiedlichen Materialien anzubringen. Mit einem Preis zwischen zehn Euro-Cent und einem Euro sind die Möglichkeiten der Anwendung in mehreren Branchen vorhanden, jedoch nicht unbegrenzt. Dies bedeutet, dass RFID-Chips abhängig vom Produkt kostengünstig und flexibel einsetzbar sind und Leistungen wie Lokalisierung, Überwachung, Steuerung, Autorisierung, Identifikation, Dokumentation und Authentifikation aus der Prozessebene herausbringen. Daten können direkt am Werkstück durch den RFID-Chip aktualisiert und dokumentiert werden. Dadurch werden Kosten eingespart und Produktivitätsvorteile bei der Qualitätssicherung flexibler und akkurater Datenerfassung geschaffen.⁴⁷

⁴³ Vgl. Obermaier, R. 2016. Seite 8.

⁴⁴ Vgl. Wurrll, C. 2017. Seite 155.

⁴⁵ Vgl. Siepmann, D./Graef, N. 2016. Seite 51.

⁴⁶ Vgl. Kern, C. 2007. Seite 33.

⁴⁷ Vgl. Siepmann, D./Graef, N. 2016. Seite 52.

Hervorzuheben bei der RFDI-Technologie ist ihre rasante Entwicklung und die Anzahl der Firmen, die sich mit ihrer Vermarktung befassen. Bis 2024 wird mit einem Marktvolumen von 27 Milliarden US Dollar geschätzt. ⁴⁸

4.3 Cloud-Computing

Das Cloud-Computing stellt ein entscheidendes Instrument zur Bereitstellung verschiedenster Dienstleistungen zur Datenerhebung und Datenverarbeitung über das Internet dar, um eine transparente Kommunikation der eingesetzten Automatisierungssysteme über die klassischen Unternehmensgrenzen hinweg zu ermöglichen. Aus der Sicht eines Unternehmens bedeutet das, dass sich ein Teil oder auch die gesamte IT-Infrastruktur nicht mehr lokal im Unternehmen befindet, sondern außerhalb bei externen Dienstleistern angemietet wird. Dabei können diese Cloud-Dienstleister auch geographisch fern angesiedelt sein. Das Cloud-Computing bietet im Gegensatz zu dem traditionellen Hosting enorme Vorteile in Themen der Ausfallsicherheit sowie der Flexibilität bei der Ressourcenbereitstellung. Es kann als Weiterentwicklung des traditionellen Hostings angesehen werden. Das Cloud-Computing verfügt über dedizierte Server bzw. Server für einen bestimmten Einsatzzweck und ist somit in der Lage, Datenverluste schnell und sicher durch Replikation zu vermeiden. In anderen Worten erfolgt hier eine mehrfache Speicherung der Daten an verschiedenen Orten. Ein weiterer Vorteil ist die Schnelligkeit der Bereitstellung der Daten, denn virtuelle Instanzen können in wenigen Minuten abgerufen werden, was im Vergleich zu dem traditionellen Hosting mehrere Stunden in Anspruch nimmt. Weiterhin kann durch den Einsatz von Cloud-Diensten die zusätzlich benötigte Rechenleistung dynamisch und mobil bereitgestellt werden. Die monolithische Steuerung wird aufgebrochen und teilweise in die Cloud verlagert. Die einzigen lokalen Ressourcen, die im Unternehmen vorhanden sind, sind Sensoren, um die Daten zu erfassen. Dies bringt den Vorteil, dass statische Schnittstellen wegfallen. So können CPS über die Cloud miteinander agieren und Informationen sowie Services über die Unternehmensgrenzen hinweg austauschen. ⁴⁹

4.4 Modularität

Eine wichtige Gestaltungsregel für eine Industrie 4.0 ist die Modularität. Die *Modularisierung* ist der Baustein für eine hohe Anpassungsfähigkeit im System. Ziel ist dabei die Wiederverwendung von einzelnen Elementen, die sich unter bestimmten Parametern und Kombinationen ausrichten lassen. Ein weiteres Merkmal ist ihre steuerungstechnische

⁴⁸ Vgl. Finkenzeller, K. 2015. Seite 2.

⁴⁹ Vgl. Siepman, D./Graef, N. 2016. Seite 54-56.

Kapselung und Selbständigkeit, mit der sie innerhalb des Systems agieren können.⁵⁰ Da die Modularisierung die Aufteilung eines Gesamtsystems in mehrere kleine Fragmente darstellt, bietet sie die Möglichkeit, sich in abgeschlossenen Subsystemen auszutauschen. Somit garantiert sie die Vernetzungs- und Wandlungsfähigkeit der Module untereinander.⁵¹

Modulare Architekturen besitzen folgende Eigenschaften:

- Austauschbarkeit: Module können beispielsweise auf eine Basiseinheit oder Plattform in verschiedenen Kombinationen aufgestellt werden.
- Standardisierung der Schnittstellen zwischen den Modulen: Inhalte der Interaktion sind festgelegt.
- Relative Autonomie der Module gegenüber Veränderungen: Vielfältige Veränderungen können an den Modulen vorgenommen werden, ohne das Gesamtsystem verändern zu müssen (zum Beispiel bei Vergrößerung des Funktionsumfangs eines Systems oder der Speicherkapazität).⁵²

Zu erwähnen an dieser Stelle ist der hohe Koordinationsaufwand in Abhängigkeit von der Modularisierung der Systeme. Je höher die Modularisierung, desto mehr müssen die Module aufeinander abgestimmt werden. Ein Bedarf an Koordination ergibt sich dann, wenn zwischen den Modulen Schnittstellen und Interdependenzen bestehen. Daher müssen sie auf ein gemeinsames Ziel abgestimmt und koordiniert werden.

4.5 Shuttle Systeme

Obwohl Shuttle Systeme in Lagerhäusern bereits seit 15 Jahren angewendet werden, ist ihre Weiterentwicklung lange noch nicht abgeschlossen. Da die Autonomie der Systeme sehr ausgeprägt ist, sind sie für eine Industrie 4.0 von Bedeutung. Dazu sind die Kerneigenschaften von Shuttle-Systemen Dynamik, Redundanz und Skalierbarkeit. Diese Attribute unterstützen dabei die Herausforderung des heutigen Marktumfelds. Somit sollten die Effizienz eines Lagers und die dazugehörigen Prozesse optimiert werden. Inwieweit sich ein solches Lagesystem mit der Anwendung genannter Technologie optimieren lässt, hängt vom Einzelfall ab. Deshalb ist eine wichtige Voraussetzung, sich die Schwächen und Stärken des Systems bis ins Detail anzuschauen.⁵³

⁵⁰ Vgl. Günthner, W. et al. 2014. Seite 3.

⁵¹ Vgl. Schedlbauer, M. 2008. Seite 55.

⁵² Vgl. Eitelwein, O. et al. 2012. Seite 80.

⁵³ Vgl. Volker, J. 2014. Seite 139.

Shuttle Systeme sind als Paletten- wie auch im Behälter- und Kartonbereich im Einsatz. Fokus nehmen die Kleinteile-Shuttles, die sich durch zwei wesentliche Merkmale unterscheiden lassen: Ebenengebundenheit und Gassengebundenheit. Wesentliche Vor- und Nachteile eines Gassen- und ebenengebundene Shuttles, sind die hohen Leistungen, die erreicht werden können, wenn bei dieser Ausführung pro Regalebene ein Shuttle vorhanden ist. Es bleibt in der Ebene sowie in der dazugehörigen Gasse, führt automatisch Ein- und Auslagerungen durch und dient diese über Ein- und Auslagerungsstiche einem oder mehreren Liften an. Damit diese Art von System seine Leistungsfähigkeit beibehalten kann, ist die Kapazität der Lifte der entscheidende Faktor. Aus diesem Grund kann bei zunehmender Regalhöhe die Liftleistung sinken. Der Lift muss in diesem Fall längere Strecken fahren, um Ware aufzunehmen und abzugeben.⁵⁴

Auf der anderen Seite können bei gassen- und nichtebengebundenen Shuttle Systemen mehrere Ebenen bedient und mit Hilfe eines Vertikalförderers von Ebene zu Ebene transportiert werden. So ist einer der Vorteile dieser Variation eine niedrigere Anzahl von Shuttles im Gesamtsystem, die gleichmäßig ausgelastet werden können. Die Liftleistung ist jedoch durch den Einsatz der Liftplattform für den Transfer der Shuttles niedrig, denn der Weg wird blockiert. Die höheren Flexibilitätsansprüche der Endabnehmer können nur durch ein hochflexibles Lagesystem bewältigt werden. Intelligente Shuttles sorgen durch verschiedene Variationen für einen schnelleren und reibungslosen Materialfluss und für eine gleichmäßige Auslastung im System.⁵⁵ Wie diese Technologie die WMS-Prozesse weiter optimiert, darauf wird im nächsten Kapitel genauer eingegangen.

4.6 Dezentralisierung

Ein organisatorischer Ansatz einer Industrie 4.0 ist die Dezentralisierung der Systeme. Mit der Dezentralisierung wird ein Prozess in dezentrale Einheiten so zerlegt, dass diese Einheiten lokale Anpassungen und Veränderungen vornehmen können, ohne das Gesamtsystem zu benachteiligen. Mit den Technologien der Industrie 4.0 ist eine Kommunikation zwischen den Systemen möglich, sodass ein Netzwerk gebildet wird. Da eine zentralisierte hierarchische Organisation den Kontroll- und Machtfaktor Information bei wachsender Prozesskomplexität und –dynamik nicht mehr beherrschen kann, gibt die zentrale Instanz nur noch Liefertermine und logistische Ziele vor. Während des Auftragsdurchlaufs stimmen die Arbeitssysteme sich danach untereinander ab.⁵⁶ Um den Herausforderungen der heutigen Zeit gerecht zu werden,

⁵⁴ Ebenda.

⁵⁵ Ebenda.

⁵⁶ Vgl. Jahn, M. 2017. Seite 5.

sind schnellere Entscheidungswege notwendig. Die Folge: Organisatorische Hierarchien werden abgebaut und so entwickelt sich eine dezentrale Selbstorganisation.⁵⁷

4.7 Vertikale und horizontale Integration

Damit ein Cyber-physisches System in Gang kommt, ist ein wichtiger organisatorischer Ansatz eine vertikale und horizontale Integration. Ein Cyber-physisches System kann nur durch eine vertikale Integration Industrie 4.0 relevanter Systeme eine effiziente Datenerhebung und – Verarbeitung in die Systemlandschaft eines Unternehmens garantiert werden. Im ersten Schritt muss festgelegt werden, dass bei einer vertikalen Integration unternehmensinterne Systeme in einer Hierarchie angeordnet sind. Dabei werden Schnittstellen zum Datenaustausch zwischen den entstehenden Hierarchieebenen aufgebaut, die darauffolgend ein einstimmiges und durchgängiges System ermöglichen. Diese Datenflüsse sind an der Hierarchieordnung ausgerichtet. Diese Art der Integration kann nur durch den Einsatz einheitlicher Schnittstellen und Standards zur Maschine-zu-Maschine-Kommunikation gewährleistet werden. Das heißt, Sensoren, Aktoren, eingebettete Systeme unabhängig der Quelle und Senke müssen miteinander zu verbinden sein. Das Ergebnis ist eine Echtzeit-Kommunikation sowie eine Interaktion zwischen den Komponenten.⁵⁸

Hierdurch wird eine automatisierte Erhebung und Sammlung relevanter Daten erreicht, die danach bereinigt und ausgewertet werden. Optimierte Anweisungen auf Basis eines PPS Systems optimieren die Ansätze weiterer beteiligter Systeme.

Bei einer horizontalen Integration handelt es sich um die Einbindung von Systemen von externen Parteien, wie zum Beispiel von Kunden, Lieferanten, Dienstleistern sowie verteilten Unternehmensstandorten. Dazwischen verläuft in die eigene vertikale Systemlandschaft ein Material-, Energie, und Informationsfluss. Ein dynamisches Wertschöpfungsnetzwerk über die Unternehmensgrenzen hinweg wird durch die effiziente horizontale Integration von Echtzeit synchronisierbarem Austausch von unternehmensinternen und –externen Daten geschaffen.⁵⁹

Durch die Verknüpfung der vertikalen und horizontalen Integration im Kontext von Industrie 4.0 ergeben sich enorme Vorteile in der Wettbewerbsfähigkeit eines Unternehmens. CPS können auf dieser Weise Prozesse in kurzen Zeitabständen anforderungsgerecht anpassen

⁵⁷ Vgl. Lasi, H. et al. 2014. Seite 261.

⁵⁸ Vgl. Siepman, D./Graef, N. 2016. Seite 37.

⁵⁹ Ebenda.

und Leerzeiten verhindern. Außerdem werden durch die Anwendung von zusätzlichen Regelungs- und Steuerungstechniken im Ressourcen- und Energieverbrauch Vorteile erzeugt, die zu einer höheren Produktivität des gesamten Wertschöpfungsnetzwerkes führen.⁶⁰

5. Implementierung

Im vergangenen Kapitel wurden Technologien und organisatorische Ansätze dargestellt, die sämtlichen Vorteile auf die heutigen Geschäftssysteme bringen können. Inwieweit die genannten Technologien besonders ein WMS optimieren lassen, wird in diesem Kapitel dargelegt. Hierbei liegt das Augenmerk auf der Umsetzung der vorgestellten Technologien zur Ergänzung der Funktionalitäten eines WMS. Zudem wird untersucht, wo sämtliche Entwicklungspotenziale bestehen und wie diese in der Zukunft aussehen können. Schließlich wird mit Hilfe eines Beispiels dargestellt, wie die folgende Implementierung aussehen könnte. Teilweise werden die Technologien, die bereits auf dem Markt Anwendung finden, mit Beispielen aus der Praxis präsentiert.

5.1 Abgrenzung vor der Implementierung

Bevor explizit auf die konkrete Anwendung bzw. Umsetzung eingegangen wird, müssen Rahmenbedingungen, Regeln und Zielvorgaben, im Sinne einer Spezifikation berücksichtigt werden. Denn für den wissenschaftlichen Zugang zur Optimierung muss eine detaillierte Beschreibung des zu optimierenden Systems vorliegen, denen es unterworfen wird. Dafür ist es notwendig zu definieren, was unter Optimierung in der Welt eines WMS verstanden wird. Allgemein stammt das Wort Optimierung bzw. Optimieren aus dem Lateinischen „optima“ und beschreibt den Vorgang der Verbesserung einer Sache oder eines Prozesses. Es handelt sich um die Suche nach der besten Lösung. Ein Optimum liegt vor, wenn es keine bessere Lösung eines Problems gibt.⁶¹

Um die beste Lösung zu finden, müssen in erster Linie die Verbesserungspotenziale bzw. neue Anforderungen des Systems erkannt werden. Die Funktionsweisen eines WMS haben sich im Laufe der Zeit und vor allem mit dem Eintritt der Digitalisierung stark gewandelt und verändern sich noch weiter. Ihre Fähigkeit zur kollaborativen Vernetzung mit den Systemen des Automatisierung-Dreiecks (siehe Abbildung 1) ist gefragt und Voraussetzung für einen durchgängigen Ablauf des Lagerbetriebs. Die immer höheren Erwartungen der Kunden, in kürzeren Lieferzeiten zu liefern sowie die kürzeren Planungszeiträume, wecken einen

⁶⁰ Ebenda.

⁶¹ Vgl. Dittes, F.-M. 2015. Seite 1-2.

verstärkten Bedarf nach flexiblen und adaptiven Systemen. Sie müssen in der Lage sein, Daten in Echtzeit zu verarbeiten sowie Prozesse echtzeitnah zu simulieren. Schnelle und intuitive Informationen können nur mit einem hohen Automatisierungsgrad erreicht werden. Dies bedeutet jedoch nicht die manuelle Abschaffung im Lager, sondern vielmehr, dass die Arbeit der Mitarbeiter aufgewertet und unterstützt wird. Zudem erfordern die Veränderungen am Markt die Verknüpfung neuer Elemente im System. Ebenso liegt der Fokus auf den Kunden und die individuellen Schwerpunktsetzungen erfordern teilweise einen anderen Aufbau eines WMS. Somit wird eine Umstrukturierung eines WMS gefordert, die nicht nur technisch, sondern auch auf einer organisatorischen Ebene Auswirkungen hat.

Konkret wird in dieser Arbeit ein WMS optimiert, wenn nach den im Abschnitt 5.10 definierten Bewertungskriterien die Erhöhung von Leistungszahlen im Lager mit Hilfe Industrie 4.0 Technologien nachgewiesen werden kann. Weiter muss identifiziert werden, für wen die Lösung geeignet ist und welches Ziel verfolgt wird. Dabei ist auch der zeitliche Kontext zu beachten, denn was heute passend und optimal scheint, kann morgen anders aussehen.

Im Laufe der Literaturrecherche wurde die Erkenntnis gewonnen, dass die Zielgruppe eines WMS von vielseitigen Einflussfaktoren abhängig sein kann. Es ist nicht möglich eine Lösung zu pauschalisieren, die zeigt, für wen ein WMS mit den dazugehörigen Technologien angemessen ist. Anwender können Klein-, Mittel, oder Großunternehmen aus unterschiedlichen Sektoren sein. Ausschlaggebend sind die Auslöser für die Anforderung eines WMS, im Vordergrund steht der Effizienzgewinn. Zu dem zählen unter anderem: Rationalisierung oder Erhöhung der Leistungskennzahlen durch Einführung neuer Technologien, Integration von zusätzlichen wertschöpfenden Tätigkeiten im Lager, Änderung der Auftragsstruktur durch verändertes Bestellverhalten, Zukunftssicherung durch die Ablösung veralteter Hard- und Software, neue Schnittstellen zu übergeordneten ERP- und PPS-Systemen. Zusammenfassend, soweit der gegenwärtige Status einer Lagerverwaltung den Anforderungen im Lagerbetrieb nicht mehr entspricht, entsteht das Bedürfnis ein neues WMS einzuführen oder das vorhandene zu verbessern.⁶²

Ziel in diesem Abschnitt ist herauszustellen, wie die neuen Technologieentwicklungen die Gestaltung zur Optimierung der Teilsysteme eines WMS beeinflussen. Es geht darum, einen Überblick darüber zu gewinnen, welche zukünftigen Anwendungsmöglichkeiten sich aus den Technologien und organisatorischen Ansätze der Industrie 4.0 ergeben können. Anschließend werden im nächsten Abschnitt die Funktionalitäten von Kapitel 3 in Verbindung mit den Technologien aus Kapitel 4 zusammengesetzt und mögliche Anwendungen interpretiert.

⁶² Vgl. Hompel, M. ten/Schmidt, T. 2010. Seite 298.

Abbildung 2 stellt eine Verbindung zwischen den zu untersuchenden Ergänzungen zur Gestaltung eines WMS her.

Funktionalitäten eines WMS vs. Technologien und org. Ansätze der I4.0

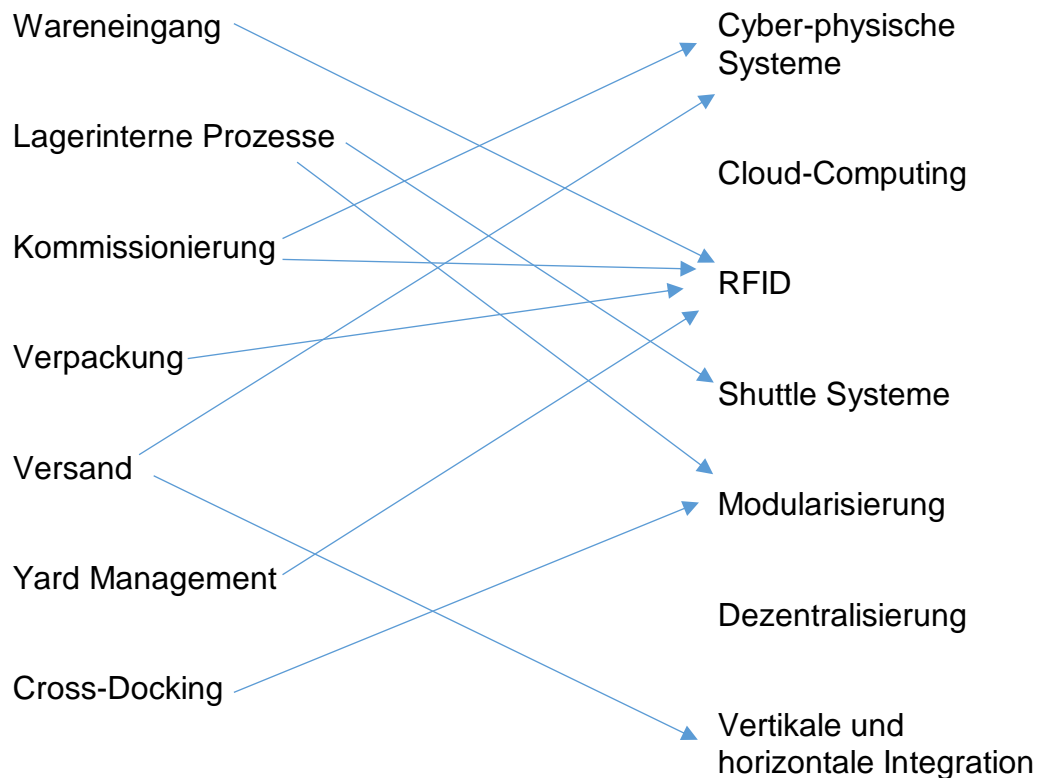


Abbildung 2: Integration von Industrie 4.0 in das WMS

5.2 Wareneingang und RFID

Im Wareneingang werden technische und organisatorische Arbeiten durchgeführt. Entladen, Puffern, Sortieren, neu Verpacken, Zusammenstellen und Vorbereiten der Einlagerung. Zudem wird bei der Wareneingangskontrolle bestätigt, ob das richtige Produkt in der richtigen Menge und zu den richtigen Konditionen zur richtigen Zeit eingetroffen ist. Aus diesem Grund sind informatorische Tätigkeiten auszuführen, wie das Eingeben und Einlesen der eingegangenen Ware in das LVS, Mengenprüfung und Qualitätskontrolle. Zudem werden in diesem Bereich eine Reihe manueller Tätigkeiten ausgeführt, die für ihre hohe Fehleranfälligkeit bekannt sind. Dementsprechend ist es notwendig diese Aktivitäten zu unterstützen. Zur Dokumentation des Wareneingangs und Datenerfassung bringt das technische Hilfsmittel des RFIDs die Automatisierung der Dokumentationstätigkeiten.⁶³

⁶³ Vgl. Glock, C./Grosse, E. 2017. Seite 57.

Ein RFID-System muss erkennen, welche Ware in welche Richtung bewegt wird. Die Ware wird nicht mehr lediglich identifiziert, es wird dazu lokalisiert und erkannt in welche Richtung sie sich bewegt.⁶⁴ Dieses macht eine lückenlose Verfolgung von innerbetrieblichen und intralogistischen Warenströmen über Pulkerfassungen ohne manuelle Eingriffe der Mitarbeiter möglich. Dies garantiert dem Unternehmen eine ganzheitliche Optimierung der Liefer- und Produktionsnetzwerke. Weiter nutzt das System die RFID-Technologie und GPS-Technologie, um Echtzeitdaten zu erhalten. Das intelligente Warehouse-Management-System ist darauf ausgelegt, den Anwendern die beiden Hauptbestandteile der Warehouse-Management- und Logistik-Management-Services zur Verfügung zu stellen und die intelligente Überwachung und Verwaltung des gesamten Lagerlebenszyklus von Materialien zu realisieren.⁶⁵

Am Beispiel der Schadenerfassung am Wareneingang wird mit Hilfe von Warencans der Zustand der Ware erfasst und eine entsprechende Aktion veranlasst. Ein Bild der Ware wird im System hintergelegt und kann somit jederzeit zur Prüfung aufgerufen werden. Auf Basis des Bildes und des Gewichts kann das System eine gezielte Aussage zum Zustand der Waren liefern. Ein weiteres Beispiel liefern Container Gates mit OCR (Optical Character Recognition). Sobald ein LKW in einem solchen Gate eintrifft, erfolgt das Öffnen der Schranke Richtung Yard nach Prüfung der Validität der Container ID durch elektronische Avisen. Diese Avisen können gespeicherte Informationen an RFID Tags übertragen. So wird die Ware automatisch vom System geprüft, erkannt und weitere Prozesse werden ohne menschliche Hilfe eingeleitet.⁶⁶

Die RFID-Technologie zählt zu den meist angewendeten Entwicklungen der Industrie 4.0. Somit sind zahlreiche Möglichkeiten zu ihrer Anwendung bekannt. Wie diese in der Zukunft im Zusammenspiel mit einem WMS aussehen können, wird zunächst in einem potenziellen Zukunftsszenario dargestellt.

Wenn ein fahrerloses Fahrzeug vor Ort ankommt, wird sein RFID-Tag gelesen und das Fahrzeug zur entsprechenden Ladebucht geführt. Beim Erreichen des Gebäudes, öffnet sich die Rolltorpforte, ebenso wie die Ladentür, und die Schienen mit dem Anhänger werden mit Schienen verbunden, die mit dem Lagerhaus verbunden sind. Der Förderer wird aktiviert und die Paletten werden entladen. Die Paletten werden durch das Portal bewegt, wo jede einzelne Palette und der Artikelanhänger gelesen und die Daten direkt an das WMS gesendet werden. Ein AGV wird die Palette zu ihrem relevanten Ort bringen, sei es die Versandstelle für das

⁶⁴ Ebenda.

⁶⁵ Vgl. Mao, J. et al. 2018.

⁶⁶ Vgl. Bodden-Streubühr, M. 2017. Seite 241.

Cross-Docking oder in die Tiefenlagerung. Wenn die Produkte für den Kommissionierbereich bestimmt sind, werden sie roboterartig entkernt und jede Produktschicht wird in einen Behälter zur Weiterlieferung in den AS / RS-Lagerbereich für Kleinladungen gelegt. Lieferanten werden über Unstimmigkeiten informiert und ihre Zahlungen entsprechend angepasst.

Lose beladene Anhänger werden mit einem Roboterarm entladen. Das System steuert alle Bewegungen mit dem Lager, ohne dass es erforderlich ist, Auswahllisten auszudrucken, mit PDAs zu kommunizieren oder Sprachanweisungen an Menschen zu senden.

Das papierlose Lager sollte Realität werden. Alle Artikel sind RFID gekennzeichnet und werden im gesamten Lager verfolgt. Sobald eine Bestellung eingegangen ist, sendet das Mini-Ladesystem den Behälter, der die Produkte enthält, zu einer Kommissionierstation und ein Roboter mit Sauggreifern und einer Kamera liest den RFID-Chip oder vergleicht sein Bild mit dem der Bestellung, nimmt das Produkt und legt es in einen anderen Behälter oder Karton für den Versand. Das Problem wird darin bestehen, die Komplexität zu verwalten. Die Anforderungen an einzelne Artikel, die aus Kartons kommissioniert werden, werden weiterhin Probleme für ein vollautomatisiertes Lager darstellen. Das Wachstum der Interneteinkäufe und Bestellungen für einzelne Artikel wird die Lagerbetreiber weiterhin vor Herausforderungen stellen, so dass menschliche Eingriffe weiterhin eine grundlegende Anforderung darstellen.⁶⁷

Dieses Szenario ruft weitere Überlegungen auf den Plan. Denn eine der unklaren Fragestellungen, die heute bereits eine sehr große Herausforderung stellt, ist die Kommunikation bzw. Programmiersprache zwischen den verschiedenen Komponenten und Systemen. Dabei spielt die vorhandene Systemarchitektur eine wichtige Rolle. Im Laufe der Werksammlung wurde die Erkenntnis gewonnen, dass nicht jedes WMS die benötigten Schnittstellen für eine reibungslose Kommunikation mit einem beliebigen ERP-System unterstützt. Zudem kann es auch vorkommen, dass nicht jeder an die Lagerverwaltung gekoppelte, nachgelagerte Prozess sich problemlos in jede WMS-Software integrieren lässt.⁶⁸ Folgend kann festgestellt werden, dass die IT-Fähigkeiten eines Unternehmens einen zunehmenden Einfluss haben und sie der Schlüssel für den reibungslosen Betrieb zwischen den Systemen im Lager sind. Konkret auf die RFID-Technologie gesehen, muss gewährleistet werden, dass die entsprechende Infrastruktur für die Einbindung geschaffen wird. Diese Infrastruktur kann jedoch die Anschaffung eines neuen WMS bedingen, wenn die RFID-Funktionsweise nicht im bestehenden WMS vorhanden ist. Somit können weitere Kosten verursacht werden.

⁶⁷ Vgl. Richards, G. 2018. Seite 461.

⁶⁸ Vgl. Walter, K. 2017. (online, URL siehe Literaturverzeichnis).

5.3 Lagerinterne Prozesse, Shuttle Systeme

Shuttle-Systeme erweitern den Funktionsumfang eines WMS. Die Technologie entspricht den aktuellen Anforderungen der Lager- und Kommissioniersysteme, unter anderem bei den lagerinternen Prozessen die Aufgabe der Umlagerung von Artikelbehältern in den Regalen. Shuttles sind als kleine und schnelle Fahrzeuge gekennzeichnet. Ihre Gestaltung macht den Einsatz mehrere Shuttles in der gleichen Lagergasse möglich. Somit ist die Verarbeitungskapazität von Shuttle-Systemen maßgeblich höher als die der herkömmlichen Regalbediengerätsysteme. Diese Systeme sind modular aufgebaut, so ist ihre Konfiguration genau auf die verfügbare und benötigte Fläche abgestimmt. Darauf aufbauend spricht ihr Einsatz für kurze Durchlaufzeiten und schnellere Lieferungen. Die eingehenden Bestellungen ins WMS werden zum WCS weitergeleitet und von dieser Ebene aus werden die Shuttles gesteuert. Bei dem weiteren Ablauf wird dem Shuttle-System der Auftrag erteilt, die Behälter mit den benötigten Artikeln aus den Regalen zu entnehmen und zur richtigen Kommissionierstation zu transportieren. Zunächst nimmt ein Bediener die konkrete Anzahl Artikel aus den Behältern und stellt sie in die entsprechende Versandverpackung hinein. Voraussetzung für die effiziente Umsetzung dieses Systems ist die Fähigkeit, die Behälter zum richtigen Zeitpunkt und mit der richtigen Sequenzierung zum Kommissionierbereich zu befördern.⁶⁹

Ein Vorteil, den besonders Kleinteile-Shuttles aufweisen, ist der niedrige Energieverbrauch bei Massen von ca. 5 kg bis 150kg pro Gerät. Zudem trägt dieses dazu bei, dass Shuttles nur aktiviert werden, wenn ein Lagerauftrag vorliegt. Es darf jedoch nicht außer Acht gelassen werden, dass die Vertikaltransporte durch die Lifte zur Verbrauchsbewertung rufen und ihre hohe Dynamik ein wesentlicher Treiber der Energiekosten ist.

Bei einem Shuttle-Lager gibt es zudem die Alternative zur agentenbasierten Steuerung. Das bedeutet, dass das System, dezentral gesteuert wird. Die Komponenten Shuttle, Lift und Fördertechnik kommunizieren direkt miteinander, ohne eine zentrale Ebene. Das WMS stellt in diesem Fall nur noch den Auftragspool pro Gasse zur Verfügung und die Shuttles stehen je nach Verfügbarkeit und Transportweg für diese Aufträge bereit. Hierbei sorgen intelligente Algorithmen dafür, dass keine Aufträge unerfüllt bleiben. Der Vorteil hier besteht darin, dass im Gegensatz zu zentral gesteuerten Systemen das Wachstum nicht zur gleichen Zeit Komplexität bedeutet. Erweiterungen können leicht implementiert werden, ohne dass andere Instanzen und Strategien Maßnahmen durchführen müssen.⁷⁰

Dabei ist die Rolle eines WMS zu betrachten, denn die Möglichkeit, dass Shuttle Systeme sich dezentral steuern lassen, könnte die Anwendung eines WMS als überflüssig darstellen.

⁶⁹ Vgl. Hebezeuge Fördermittel 2017.(online, URL siehe Literaturverzeichnis).

⁷⁰ Vgl. Volker, J. 2014. Seite 144.

Objekte, die intelligent werden, werden direkt mit jeder einzelnen Komponente eines Lagersystems kommunizieren, d.h. auch mit Aufträgen. Somit würden die Anweisungen eines WMS an ein Shuttle System ausfallen.

5.4 Kommissionierung – RFID und Cyber-physische Systeme – Kiva-Systeme

Die manuelle Kommissionierung hat sich als eine der komplexesten und fehleranfälligen Aufgaben erwiesen, die in der Industrie zu finden sind. Zur Unterstützung hierbei wurden bereits viele Kommissionierassistenzsysteme vorgeschlagen wie zum Beispiel *Pick-by-Light*. Der Einsatz von RFID im Bereich der Kommissionierung ermöglicht dazu die Identifizierung der Ware und der Entnahmefächer. Eine der innovativsten Neuentwicklungen auf dem RFID-Markt ist der „Hands-Free“-Reader. Dabei wird bei der Kommissionierung erreicht, dass es zu keinen Unterbrechungen im Arbeitsablauf kommt, denn der Reader wird direkt am Körper des Kommissionierers angebracht und ermöglicht es, dass die Hände zur Kommissionierung frei bleiben.⁷¹

Die wesentlichen Vorteile an einem WMS mit den beschriebenen Anwendungen sind die erhöhte Transparenz der Arbeitsvorgänge und die Verfügung aktueller Daten. Darauf folgend werden mithilfe der Betreuung des Systems und den zusätzlichen Technologien weniger Fehler gemacht und gleichzeitig werden die Mitarbeiter unterstützt. Zudem wird Zeit allein bei der Erkennung von Artikeln gespart.

Eine weitere Technologie, die Anwendung in den Kommissionieraufträgen findet, sind Cyber-physische Systeme. Zunächst wird diese am Beispiel des „Kiva-Systems“ erläutert. Das Kiva Konzept besteht aus mehreren mobilen Robotern, frei konfigurierbaren Regalen und manuellen Arbeitsstationen. Aufgrund der einfachen Anpassbarkeit der Regale an unterschiedliche Produkte und Verpackungen sowie der leichten Skalierbarkeit der Gesamtflotte, gilt das Konzept als optimale Kommissionierlösung für den schnelllebigen Online-Versandhandel. Das Kiva-Konzept automatisiert das Kommissionieren und ist ein eindeutiges Beispiel für ein Cyber-physisches System. Sobald ein Kommissionierauftrag an eine Arbeitsstation zugeteilt wird, fragt diese das Lager an, in welchem Regal sich die gewünschten Artikel befinden. Nach Kenntnisnahme des Lagerorts erfolgt dann autonom die Beauftragung eines Roboters unter Berücksichtigung der aktuellen Verkehrssituation und des jeweiligen Ladezustandes der Roboter. Direkt wenn das Regal bei der Arbeitsstation ankommt, werden zwischen dem Regal und der Arbeitsstation Daten ausgetauscht, um die Mitarbeiter bei ihrer Tätigkeit zu unterstützen. Nach Abschluss des Kommissioniervorgangs geht das Regal

⁷¹ Vgl. Glock, C./Grosse, E. 2017. Seite 139.

zurück oder transportiert sich zu einer anderen Arbeitsstation. Ein übergeordnetes System berechnet ständig den Lagerort für künftige Kommissionieraufträge. So kann sich das mobile Lager dem aktuellen Bestellverlauf anpassen. Durch die frei konfigurierbaren Regale, zeigt das mobile Lager ihre robuste Adaptivität.⁷²

Nach der Beschreibung der oben genannten Technologie ist zu bedenken, wie sich mit einem WMS integrieren lässt und welche Gestaltung ein WMS nimmt. In der Regel besteht die primäre Schnittstelle eines Kiva-Systems aus einem Warehouse-Management-System. Die einfache Art, über die Interaktion zwischen einem WMS und einem Kiva-System nachzudenken, besteht darin, sich Kiva als die Sortierzone für die Vorwärtssortierung und -platzierung vorzustellen, die innerhalb des einrichtungsweiten Bereichs der WMS-Steuerung enthalten ist. Inventar von Lagerorten, die im WMS definiert sind, werden in das Kiva-System übertragen. Aufträge werden vom WMS zur Verarbeitung an das Kiva-System übergeben. Alle Operationen innerhalb der Kiva-Zone werden durch das Kiva-Hardware- und Softwaresystem abgewickelt und abgeschlossene Bestellungen kommen aus dem Kiva-System. Diese Aufträge werden an das WMS zurückgegeben, um den Versand oder andere nachgelagerte Transaktionen zu verwalten. Dies ist eine Vereinfachung dessen, was tatsächlich passiert, aber es ist ein guter Ausgangspunkt, um die Beziehung zwischen den beiden Systemen zu beschreiben.⁷³

In Bezug auf die Interaktion beider Systeme spielt die Softwarekomponente der Kiva-Lösung, das sogenannte Kiva Material Handling System (MHS), eine große Rolle gegenüber des WMS. Dieses Element verfolgt und steuert alle Prozesse innerhalb des Kiva-Systems. Es integriert sich direkt in das WMS und tauscht verschiedene Arten von Informationen mit ihm aus. Das MHS ist nicht dazu gedacht, ein WMS zu ersetzen, obwohl es einige Überschneidungen in der Funktionalität gibt. Stattdessen verwaltet das MHS alle Kiva-Geräte (Roboter, Stationen und drahtlose Infrastruktur) zusammen mit der Inventur, Bestellungen und Arbeiten in der Kiva-Zone, d.h. es nimmt Fokus auf physische Position. Das MHS meldet den Betriebsstatus und die Transaktionen an das WMS zurück. Während ein WMS der gängigste Enterprise-Touch-Point für Kiva MHS ist, verwenden einige Betriebe keine WMS-Pakete. In diesen Fällen ist das MHS mit ERP-Systemen oder Auftragsverwaltungssystemen verbunden. Kiva bietet eine agentenbasierte Integrationsschicht als Teil des MHS-Standardsoftwarepakets, das die erforderlichen Nachrichtensätze an und von WMS und anderen Unternehmenssystemen überträgt. Daraus kann entnommen werden, dass es eine moderate Überlappung der

⁷² Vgl. Volker, J. 2014. Seite 168.

⁷³ Vgl. Robotics Tomorrow 2011. (online, URL siehe Literaturverzeichnis).

Funktionalität zwischen Kiva- und WMS-Anwendungen gibt, aber die Hauptaufgabe des Kiva-Systems besteht darin, als vorgelagerte Pick & Pack-Zone innerhalb der gesamten vom WMS verwalteten Prozesse und Operationen des Distributionszentrums zu agieren.⁷⁴

Trotz der vielfältigen Optimierungen eines Kiva-Systems wie das weltklasse Genauigkeitslevel für Bestellungen und Inventar ist künftig zu berücksichtigen, dass diese Technologie als eine disruptive Technologie gegenüber einem WMS vorkommen kann. Denn es hat bereits angefangen, Funktionalitäten des WMS zu übernehmen. Weitere Einflussfaktoren bei der Umsetzung eines Kiva-Systems, die zu beachten sind, sind der Konfigurationsaufwand sowie die Sicherheitslinien.

5.5 Verpackung – RFID

Ein fehleranfälliger Prozess stellt der manuelle Packvorgang nach der Kommissionierung der Ware dar. Es werden oft falsche Artikel verpackt, Artikel vergessen oder falsche Verpackungseinheiten gewählt. Verbesserungspotenziale hat der RFID-Reader in diesem Bereich gezeigt, da dieser prüft, welche Ware gepackt werden bzw. wurden. Entlang der Lieferkette kann mithilfe der RFID-Technologie enorm viel Zeit gespart und so die Effizienz gesteigert werden. Manuelle Zähl-, Scan-, Erfassung- und Kontrollvorgänge lassen sich mit RFID vereinfachen und beschleunigen. Hier können die RFID-Reader direkt am oder unter dem Paktisch angebracht oder mobile Handgeräte eingesetzt werden. Bei der Auswahl der Reader sind hier die technischen Umstände zu bedenken.⁷⁵

Wie in den früheren Abschnitten erwähnt wurde, ist zu beachten, dass die Einbindung der RFID bzw. die RFID-Funktionsweise in einem WMS enthalten sein muss. Nur so können alle Informationen über den Verpackungsprozess im System richtig definiert werden und je nach Bedarf auf diese Daten zurückgegriffen werden.

5.6 Versand – vertikale und horizontale Integration

Nachdem die Ware verpackt wurde, besteht die Aufgabe darin, den Versand kostenoptimal an den Kunden auszuliefern.⁷⁶ Allein die verstärkten Entwicklungstechnologien können nicht zu einer optimalen Umsetzung eines WMS führen. Hier ist viel mehr die Verfügbarkeit von richtigen Informationen zur richtigen Zeit am richtigen Ort innerhalb des Systems von Bedeutung sowie ein gewisser Grad der Autonomie von den Fördertechnikmodulen. Nur so

⁷⁴ Ebenda.

⁷⁵ Vgl. Glock, C./Grosse, E. 2017. Seite 139.

⁷⁶ Vgl. Marc Hoppe/Käber, A. 2008. Seite 44.

können kurzfristige Änderungen aufwandsarm und kostengünstig an den verändernden Rahmenbedingungen angepasst werden.⁷⁷ Organisatorisch wird hier von einer vertikalen und horizontalen Integration gesprochen. Diese hat einen starken positiven Einfluss auf die Bereitstellung von pünktlichen und reibungslosen Lieferungen.

Im Bereich Versand werden die Verpackungseinheiten zu Versandeinheiten je nach Priorität zusammengestellt und die Verladung der Ware wird initiiert. Das heißt, dass im ersten Schritt ein Transportdienstleister ausgesucht wird oder eigene Transportmittel koordiniert werden. Hinzu kommt, dass die Versandeinheiten nach Volumen und Gewicht optimal zusammengestellt werden müssen. All diese Aufgaben und Informationen können sich mit der Unterstützung eines WMS ausführen lassen. Dennoch muss ein WMS über die entsprechenden Schnittstellen zu einer vertikalen und horizontalen Integration verfügen, um die Versandeinheiten möglichst effizient zu positionieren. Auf diese Art und Weise kann das System eine genauere Unterstützung liefern, in welcher Reihenfolge die Versandeinheiten zu entladen sind und je nach Gewicht und Volumen einen effizienteren Vorschlag machen, welche Verpackungseinheit zu wählen ist.

In diesem Zusammenhang sollten zwei zentrale Begrifflichkeiten betont werden, die den Fokus in den heutigen Systemen gewonnen haben, auch im WMS, Vernetzung und Integration. Zunehmendes Networking führt zur Integration sowohl auf horizontaler als auch auf vertikaler Ebene. Informationssysteme und Technologien müssen Hand in Hand arbeiten. So können die intelligenten Technologien eine schnellere Auftragsabwicklung sowie verkürzte Lager- und Transportwege erreichen, die gleichzeitig gewährleisten, dass die Ware schnellstmöglich bei dem Kunden ankommt. Aufgrund der Systemkomplexität in vielen Lagern wirken sich Veränderungen auf horizontaler Ebene auf den Ablauf der vertikalen Ebene aus. Wenn beispielsweise eine Verkürzung der Lieferzeiten auf der horizontalen Ebene verlangt wird, modifizieren und integrieren sich die unterschiedlichen Stellen des Distributionsnetzwerkes. Durch die Optimierung einzelner Netzwerkkomponenten werden Zeit und Kosten im Lager eindeutig reduziert. Ein effizienzfähiges und agierendes Netzwerk trägt weiterhin zur multidimensionalen Prozessoptimierung bei, indem Maßnahmen übergreifende Auswirkungen auf die Systeme besitzen.⁷⁸

⁷⁷ Vgl. Glock, C./Grosse, E. 2017. Seite 80-81.

⁷⁸ Vgl. Bodden-Streubühr, M. 2017. Seite 235.

5.7 Modularisierung

In diesem Abschnitt wird unter Modularisierung nicht eine bestimmte Funktionalität eines WMS eins zu eins verglichen, es handelt sich vielmehr um ein Konstrukt, das das System als Ganzes optimieren kann. Da ein WMS aus einer Software und Hardware besteht, wird in diesem Teil der Aufbau der Software in den Fokus gerückt.

Im vorherigen Kapitel wurde Modularisierung als der Baustein für eine hohe Anpassungsfähigkeit im System definiert. Denn im Vergleich zu einer starren Software ist eine Anpassungsfähigkeit und Flexibilität nicht zu erreichen. Bei Modifizierungen im Code müsste es jedes Mal bei null anfangen und aus diesem Grund wäre dies ein zu kostenaufwändiger Ansatz. Die Lösung ist die Anwendung softwareseitiger Programm-Module. Damit können IT-Systeme mehr Funktionen erfüllen und je nach Bedarf angepasst werden. Auf diese Weise können Funktionen im System, die dem Bedarf eines Anwenders nicht entsprechen, eingespart werden. Dadurch wird die Bearbeitungszeit des Systems verkürzt, denn das System wird nur auf die anzuwendenden Funktionen beschränkt.⁷⁹ Weitere positive Effekte der Modularisierung sind, dass Systeme eines Unternehmens sich im Vergleich zu ihren Wettbewerbern besser an Veränderungen anpassen können und so schneller Produkte an den Kunden liefern können. So verbessert sich die strategische Flexibilität eines WMS. Überdies wird schneller ein höherer Kundennutzen erzeugt, was einen Markterfolg verspricht. Ferner verbessern sich die Leistungszahlen wie Durchlaufzeiten, Lieferzeiten und Liefertreue. Schlussfolgernd sind Unternehmen finanziell profitabler. Dazu gilt bei dem modularen Aufbau der Software-Systeme die Zusammenstellung als kostengünstig, denn diese findet nur einmal statt, nach der Programmierung der Einzelmodule.⁸⁰

Weiterhin muss berücksichtigt werden, dass die Funktionsfähigkeit der Einzelmodule gesichert werden muss. Heutige Lagerverwaltungssysteme bestehen aus bis zu 2000 Modulen. In diesem Fall muss überlegt werden, wie die einzelnen Module voneinander abhängen und wie Interdependenzen zu behandeln sind. Denn die Funktionsfähigkeit eines Einzelmoduls hat einen Einfluss auf den gesamten Aufbau der einzelnen Module. Damit eine Software brauchbar ist, muss eine gewisse Modularität bestehen. Modularität entsteht durch Planung. Ohne die Planung des Softwareaufbaus ist eine Modularität nicht möglich und damit auch keine funktionsfähige Software.

Im Fall eines WMS können die Prozesse, wie zum Beispiel der Wareneingang, der

⁷⁹ Vg. 2008d (online, URL siehe Literaturverzeichnis).

⁸⁰ Vgl. 2008d (online, URL siehe Literaturverzeichnis).

innerbetriebliche Transport oder die Inventur, als eigene Module angesehen werden.⁸¹

5.8 Cloud - WMS

Nach der Befragung des deutschen Verbands für Informations- und Kommunikationstechnik, Bitkom, an 67 Prozent der vom Verband mittelständigen IKT-Unternehmen wurde festgestellt, dass Cloud-Computing das Topthema im deutschen IT-Mittelstand ist.⁸² Zukünftig wird zudem bis 2020 ein Marktvolumen im Bereich Cloud-Services in Deutschland von 16,6 Milliarden Euro prognostiziert.⁸³ Hiermit wird bestätigt, dass die Anwendung von Cloud-Computing positive Erwartungen verspricht. Dementsprechend wird speziell auf die Implementierung eines Cloud-WMS eingegangen.

Die Haupteigenschaft eines Cloud-Warehouse-Management-Systems besteht darin, dass über eine Verbindung mit dem Internet darauf zugegriffen wird, sodass die Plattform jederzeit von Ihrem Anbieter verwaltet wird. Cloud baut auf früheren Erfolgen im Bereich Software-as-a-Service (SaaS) auf, aber die neuesten Systeme sind dank verbesserter Verarbeitungsgeschwindigkeiten, Datenzugriff, Dashboards und anderer Warehouse-Funktionen einen Schritt weiter. Bei einem Cloud-WMS werden das System und die Daten auf einem separaten oder privaten Server, basierend auf dem Anbieter gehostet, was zusätzlich Schutz bietet. Die Daten befinden sich hinter einer Vielzahl von Sicherheitsprotokollen, mit denen eingeschränkt werden kann, wer auf die Daten zugreifen kann und was jede Person sehen kann. Der Hauptvorteil eines Cloud-WMS besteht darin, dass die Kosten für die Installation und die Infrastruktur, die im Lager benötigt werden, sinken.⁸⁴ Wie in Abbildung 3 zu sehen ist, enthält das WMS seine Funktionalität aus der Cloud und somit ist die Softwareinstallation auf dem lokalen Server des Anwenders nicht mehr nötig. Des Weiteren findet ein Austausch der Daten zwischen dem ERP-System und MFR-System statt.⁸⁵

Ferner sind Cloud-Strukturen so gestaltet, dass die Ressourcen sehr schnell und flexibel je nach Bedarf bereitgestellt werden können und der Nutzer bezahlt tatsächlich nur für die benötigten Applikationen. Vor allem für Kleinunternehmen mit kleinen IT-Abteilungen ist der Vorteil, dass große Teile der IT-Verwaltung outgesourct werden können.⁸⁶ Weiterhin bietet das Cloud-Computing mehrere Möglichkeiten zum Produktivitätsgewinn und zu verbesserten

⁸¹ Vgl. Hompel, M. ten/Schmidt, T. 2010. Seite 224.

⁸² Vgl. 2018g (online, URL siehe Literaturverzeichnis).

⁸³ Vgl. 2018h (online, URL siehe Literaturverzeichnis).

⁸⁴ Vgl. 2018f (online, URL siehe Literaturverzeichnis).

⁸⁵ Vgl. 2018f (online, URL siehe Literaturverzeichnis).

⁸⁶ Vgl. Kubach, U. 2017. Seite 186.

Business-Modellen an. Nichtsdestotrotz haben Umfragen gezeigt, dass nur eine Minderheit der mittelständigen Logistiker über ein WMS oder ein ERP-System verfügt.

Es sollte berücksichtigt werden, dass Cloud-Dienste eine neue Leistungsebene ermöglichen könnten. Cloudbasierte Systeme sind in der Lage, die Zeit vom Eingang der Anfrage bis zur Auslieferung der Ware drastisch zu senken. Üblicherweise wird die Ware an zentrale Hubs gesendet und bei Bestellungen von dort aus an die dezentralisierten Hubs ausgeliefert, ein Vorgang, der nur die Auslieferungszeit verzögert. Die Software sollte in diesem Fall per Cloud die bestellte Ware im jeweils günstigsten gelegenen Hub finden und auf diese Weise die prompte Lieferung von dessen Standort aus ermöglichen. Somit würde hier der Umweg über den Zentralhub entfallen. Voraussetzung ist lediglich ein Zugangsgerät und die Verbindung zum Internet.⁸⁷

Der Nachteil an einem Cloud-Dienst ist, dass die einzelnen Lizenzen der Anwender gezahlt werden müssen und diese Kosten fallen monatlich an. Schließlich wird möglicherweise mehr über die Lebensdauer des WMS bezahlt. Aus diesem Grund ist es von großer Bedeutung unterschiedliche Preisooptionen zu erwerben und diese untereinander zu vergleichen. Neben dem Faktor Kosten sind sämtliche Bereiche wie Sicherheit, Zugriff, Skalierbarkeit, Anpassung und Support von großer Bedeutung bei der Akquirierung eines Cloud-WMS.⁸⁸



Abbildung 3: Infrastruktur der WMS-Cloud⁸⁹

⁸⁷ Vgl. Weirauch, P. 2015. Seite 80.

⁸⁸ Vgl. 2018f (online, URL siehe Literaturverzeichnis).

⁸⁹ Vgl. 2018f (online, URL siehe Literaturverzeichnis).

5.9 Dezentralisierung

Im früheren Abschnitt wurde festgelegt, dass eine dezentrale Steuerung autonomer logistischer Objekte aufgrund der Konzeptentwicklung von neuen Informations- und Kommunikationstechnologien ermöglicht werden soll, um die Flexibilität und Reaktivität eines Systems auf die sich dynamisch verändernden äußeren Einflüsse zu gewährleisten.⁹⁰ Dabei wird dieser Ansatz konkret auf ein Warehouse Management System übertragen und überprüft, welche Verbesserungspotentiale zur Optimierung des WMS diese bringen kann. Allerdings wurde im Laufe der Recherche nachgewiesen, dass der organisatorische Ansatz ein System dezentral zu gestalten, wie es beispielsweise bei Produktionsstätten vorkommt, sich noch in einer sehr frühen Phase in Bezug auf Software-Systeme befindet. Aus diesem Grund werden eigene Beziehungen zwischen den Elementen eines WMS und der Dezentralisierung hergestellt. Zudem werden die Eigenschaften eines idealen dezentralen WMS charakterisiert.

In erster Linie ist die Idee von Industrie 4.0 unter anderem ein außergewöhnliches Konzept zur Steuerung von vielfältigen Prozessen, welches der klassischen Steuerung mit zentralen Entscheidungsmechanismen und starren Grenzen entgegensteht. Im Gegensatz dazu kommen dezentral verteilte Systeme zum Einsatz, welche über das Internet der Dinge und Dienste eine geographisch verteilte Steuerung der Lagermittel ermöglichen.⁹¹ Dieses Prinzip schließt an das zuvor beschriebene Konzept der Technologie des Cloud-Computing. Die Entwicklung, weg von einer ortsgebunden, unflexiblen Steuerung, wird als dezentrale Steuerung definiert. Dazu kommt allein die Architektur der Software-Systeme: die Modularisierung. Die Intelligenz der Software wird dezentral in Form von Modulen aufgebaut bzw. programmiert. Auf der anderen Seite ist zu beachten, dass die dezentrale Steuerung von Systemen einen höheren Zeitaufwand für die Konfiguration der einzelnen Elemente verursachen kann.

Damit ein WMS als eigenständiges dezentrales System beschrieben werden kann, müssen Komponenten reibungslos miteinander arbeiten, flexibel auf Änderungen reagieren und ihre Aufgaben schnell und kostengünstig erledigen, um eine hohe Effizienz in der Supply-Chain zu erreichen. Zudem arbeitet das WMS unabhängig von einem ERP-System. Hierbei wird das Ziel einer dezentralen Entscheidungsfähigkeit des Systems verfolgt.⁹²

⁹⁰ Vgl. Wycisk, C. 2009. Seite 4.

⁹¹ Vgl. Siepmann, D./Graef, N. 2016. Seite 40.

⁹² Vgl. Hoppe, M./Käber, A. 2008.

5.10 Bewertung zur Optimierung von Technologien

Nach Einblicken in die Funktionsweisen und in die sämtlichen Technologien der Industrie 4.0 in Verbindung mit einem WMS, muss bewertet werden, welche Technologien sich am einfachsten in ein WMS einbinden lassen. Für die Realisierung einer Industrie 4.0 müssen alle der vorgestellten Technologien in Kombination eingesetzt werden.

Da es für ein Unternehmen oft schwierig ist eine Entscheidung nach einer komplexen Gesamtbetrachtung zu treffen, wird eine Einzelbetrachtung der einzuführenden Technologien vorgezogen. Diese wird nach selbst ausgewählten Bewertungskriterien gemessen und soll dem Unternehmen eine höhere Transparenz der nachfolgenden Aspekte und Kriterien aufzeigen.

Die zu betrachtenden Aspekte sind Kosten, Handling, Zeitersparnis, Transparenzerhöhung und Umsatzwachstum der behandelnden Technologien. Diese Maßstäbe werden im ersten Schritt kurz und individuell reflektiert. Ferner wird die Schwere der Pro- und Contra-Argumente der jeweiligen Technologie danach abgewogen und in Tabelle 6 eingetragen. Infolgedessen werden die zentralen Aussagen über die Erfüllung der Optimierung der einzelnen Technologien nach den genannten Merkmalen analysiert.

Ob sich die Umstellung auf eine neue Technologie aufgrund der Kosten lohnt, lässt sich nicht pauschal beantworten. Jedes Unternehmen muss individuell ein Kosten-Nutzen-Modell für den Einsatz der einzuführenden Technologie erstellen, denn den hohen Einsparungspotentialen stehen hohe Anschaffungskosten gegenüber. Zusätzliche Kosten, die noch entstehen können und sich nicht genau beziffern lassen, sind: Anpassungskosten, Softwarekosten, Integrationskosten, Instandhaltungskosten und die Schulungskosten. Diese variieren von Fall zu Fall. Kosten spielen eine zentrale Rolle in vielfältigen Bereichen des Unternehmens und sind deshalb ein ausschlaggebendes Kriterium zur Bewertung von Rationalisierungs- und Optimierungsmaßnahmen.

Unter Handling wird die mehr oder weniger umständliche oder einfache Handhabung der Technologien verstanden. Hier sollten Faktoren wie die Ausrichtung der Technik, die Komplexität der Anwendung, Greifbarkeit, ihre Nutzerfreundlichkeit und das Verständnis der Mitarbeiter gegenüber der Technologie berücksichtigt werden.

In dem turbulenten Markt von heute kann nur ein langfristiger Erfolg gesichert werden, wenn agil und mit einer höheren Geschwindigkeit auf die Ansprüche der Kunden reagiert werden kann. Daraus folgt, dass die Implementierung von Technologien und Ansätzen die Zeitersparnis bzw. Schnelligkeit der Prozesse gewährleisten müssen. Die hochkomplexe Technik sollte dazu beitragen, dass Prozesse im Lager mittels des WMS schneller ausgeführt werden.

Die Prozesstransparenz schafft die erforderliche Basis für Optimierungen, um die Effektivität und Effizienz der Unternehmensabläufe zu steigern. Nach diesem Kriterium sollten die Technologien danach beurteilt werden, inwieweit sie beispielsweise Suchzeiten bzw. Reaktionszeiten im Lager minimieren und somit die Transparenz erhöhen können. Letzteres bringt die Chancen und Risiken der Technologien zum Ausdruck: das Umsatzwachstum. Die Erweiterung und Integration neuer Technologien in ein WMS sollten Umsatzwachstum versprechen können. Denn Investitionen werden nur getätigt, wenn sie Verbesserungen in Form von Gewinn oder höhere Leistungszahlen versprechen.

Zunächst wird in Tabelle 4 der jeweiligen Technologie ein Wert nach den oben beschriebenen Kriterien angegeben. Die Technologie mit der höchsten Anzahl an Pluszeichen, ist für das Unternehmen am wirtschaftlichsten und einfachsten einzuführen. Im Gegensatz dazu eignet sich die Technologie bzw. der organisatorische Ansatz mit der niedrigsten Anzahl von Pluszeichen nicht oder sehr begrenzt für die Optimierung eines WMS.

Tabelle 4: Bewertung der Technologien und organisatorischen Ansätze der I4.0

Technologie	Bewertungskriterien					Ergebnis
	Kosten	Handlung	Zeitersparnis	Transparenzerhöhung	Umsatzwachstum	
RFID	/	+	+	+	+	4+
CPS	-	-	+	+	+	3+
Shuttle-Systeme	-	+	+	+	+	4+
Cloud-Computing	+	+	+	+	+	5+
Modularisierung	+	-	+	/	+	3+
Dezentralisierung	/	/	+	+	/	2+
Vertikale und horizontale Integration	/	-	+	+	+	3+

/ Neutral, + Mehrwert, - Minuswert

Der Einsatz des RFID hat sich als eine der vorteilhaftesten Technologien in Verbindung mit einem WMS erwiesen. Vor allem, weil es aufgrund seines guten Handlings in den meisten Prozessen - vom Wareneingang bis zum Warenausgang - im WMS Anwendung finden kann. Dass Objekte eine eigene ID und eine Speichermöglichkeit besitzen, ist der Schlüssel für die Transparenzerhöhung. Damit kann durch akkurate Daten genau nachverfolgt und im WMS abgebildet werden, wann was wo stattgefunden hat. Prozesse werden ohne manuelle Eingriffe erfasst. Die dadurch gewonnene Zeitersparnis im Prozess trägt zu einem Umsatzwachstum bei, denn mehr Waren können umgeschlagen werden. RFID ist ein wesentliches Element zur Datenerhebung und Datenverarbeitung, das durch Echtzeit-Informationen dem Unternehmen einen Mehrwert bietet. Weitere Leistungen wurden im Kapitel 4 behandelt. Auf der anderen Seite kann nicht allgemein festgelegt werden, dass der RFID-Einsatz sich als kostengünstig beweist. Ihre Rentabilität ist produkt- bzw. branchenabhängig und deshalb von Fall zu Fall unterschiedlich. Trotz dieser Eingrenzung zeigt die Bewertung anhand oben gelisteter Kriterien, dass die Implementierung von RFID Prozesse im Rahmen eines WMS überwiegend optimieren kann.

Auf die gleiche Art und Weise mit überwiegend positiv erfüllten Kriterien weisen Cyber-physische Systeme darauf hin, dass sie ein WMS bestmöglich gestalten können. Entscheidend sind ihre robuste Anpassungsfähigkeit und Wandelbarkeit, die eine schnellere Reaktionsfähigkeit und dadurch Zeitersparnis ermöglichen. Dieses kann am Beispiel von Kiva Systems bestätigt werden. Die mobilen Roboter fahren mit Abstand am schnellsten, mit einer hohen Dynamik und einem sehr flexibel Fahrverhalten in Kurven und Richtungsänderungen.⁹³ Mittels Sensoren werden ebenfalls Daten erfasst, um Abläufe so transparent wie möglich zu halten. Für ein Umsatzwachstum spricht ihre Fähigkeit, sich an die Kundenwünsche schnell und effizient anzupassen. Allerdings ist die Anwendung und Implementierung eines solchen Systems nicht ohne Nachteile möglich, das liegt hauptsächlich an ihrer technischen Komplexität. Wegen bestehender Abhängigkeiten kann ein Ausfall einzelner Komponenten Auswirkungen auf den Gesamtprozess haben, z.B. in Form eines Stillstands. Die möglichen Ausfälle der Automatisierung und Wartezeiten können sowohl Personalaufwendungen als auch Investitionskosten verursachen. An dieser Stelle muss besonders betont werden, dass die Gestaltung Cyber-physischer Systeme eine disruptive Kraft einem WMS entgegensetzen können. Am Beispiel des Kiva Systems wurde dieses veranschaulicht. Daraus lässt sich die Schlussfolgerung ziehen, dass die Implementierung neuer Technologien nicht nur Verbesserungspotenziale bringen können, sondern bestehende Systeme wie ein WMS ersetzen können. In diesem Fall muss in Frage gestellt werden, ob es sich nur um eine Überlappung von Funktionalitäten oder um eine komplett mögliche Abschaffung des WMS im

⁹³ Vgl. Wurll, C. 2017. Seite 165.

Zusammenhang mit einem Kiva System handelt. Sicherheitsbedenken werden an dieser Stelle nicht mehr betrachtet.

Die in ein WMS zu integrierenden Shuttle-Systeme sind durch die kurzen Durchlaufzeiten und die schnellen Lieferungen gekennzeichnet. Somit ist deren größter Vorteil die Zeitersparnis. Vor allem bei der Anwendung von zwei Shuttlen pro Gasse. Somit steigen die Umschlagzahlen. Gleichwohl darf jedoch nicht unbeachtet bleiben, dass dabei die Leistung des Lifts nur begrenzt bleibt.

Eine besondere Form nimmt ein WMS mit der Technologie des Cloud-Computing an. Mit verbesserten Verarbeitungsgeschwindigkeiten, Datenzugriff und Dashboards ist es einen Schritt weiter als ein Host-Server. Das Cloud-Computing hat sich überwiegend durch das Kriterium der Kosten gekennzeichnet, da die Kosten für die Installation und die Infrastruktur, die im Lager benötigt werden, sinken. Das WMS enthält seine Funktionalität aus der Cloud und somit ist die Softwareinstallation auf dem lokalen Server des Anwenders nicht mehr nötig.

Für die Modularisierung, Dezentralisierung und Integration auf einer vertikalen und horizontalen Ebene im WMS spricht allgemeingültig die Zeitersparnis. Durch die Einzelmodule werden die Bearbeitungszeiten im System verkürzt. Im Fall der Dezentralisierung wird ein Prozess in Einheiten so zerlegt, dass jede Einheit Veränderungen und Anpassungen vornehmen kann. Dabei werden Prozessschritte reduziert und es kann schneller und adaptiver auf Kundenwünsche reagiert werden. Für die vertikale und horizontale Integration spricht die Kommunikation zwischen den verschiedenen Schnittstellen, die den effizienten Datenaustausch gewährleisten. Hierbei werden die Veränderungen auf der einen Ebene aufgrund der engen Zusammenarbeit schnellstmöglich auf die andere bewirkt.

6. Schlussbetrachtung

In dieser Arbeit wurde analysiert, inwiefern die Technologien und organisatorischen Ansätze der Industrie 4.0 in einer Vielfalt von Aspekten und Gesichtspunkten ein Warehouse Management System verbessern können. Zu diesem Zweck wurde zu Beginn der Arbeit ein grundlegendes Verständnis für die Konzepte Lagerverwaltungssystem, Warehouse Management System und Industrie 4.0 hergestellt. Im Verlauf des theoretischen Teils wurden Kern- und Zusatzfunktionen eines WMS sowie Technologien und organisatorische Ansätze von einer Industrie 4.0 verfasst, die ein Grundverständnis für die spätere Implementierung vereinfachen sollten. Hierbei wurde die Erkenntnis gewonnen, dass der deutschsprachige Begriff Lagerverwaltungssystem nicht nur in der Praxis, sondern auch in den theoretischen

Rahmen die gleiche Entwicklungsform wie ein Warehouse Management System annimmt, auch wenn beide Begrifflichkeiten in der Vergangenheit per Definition und Richtlinien unterschiedlich bestimmt wurden.

Der Fokus lag auf der Optimierung eines WMS. Für dieses Ziel wurde eine Literaturrecherche durchgeführt, die zur Identifizierung von Eigenschaften und Funktionsweisen der Technologien einer Industrie 4.0 im Zusammenhang mit einem WMS beitragen sollte. Es konnte abgeleitet werden, dass Warehouse Management Systeme sich aufgrund von Entwicklungen der Technologien weiter verändern. Sie sind adaptiver, ihre kollaborative Vernetzungsfähigkeit prägt sich weiter aus und ihr Leistungsumfang wächst stetig an. Allerdings ist die konkrete Beantwortung der Frage in dieser Form nicht möglich. Am Anfang der Arbeit wurde festgestellt, dass es kein allgemeingültiges Modell zur effizienteren Gestaltung eines WMS mit Technologien und organisatorischen Ansätze gibt, da dieses von einer Bandbreite von Einflussfaktoren abhängt und von Fall zu Fall anders ausfällt. Diesbezüglich wurden die Technologien nach bestimmten Kriterien in einem Bewertungsrahmen untersucht. Der Bezugsrahmen zielte darauf, Praktikern einen Einblick zu geben, wie der geplante Einsatz von Technologien in einem WMS evaluiert werden sollte. Die Ergebnisse in der vorliegenden Einzelbewertung haben konkret gezeigt, dass die Technologie des Cloud-Computing am wirtschaftlichsten in Bezug auf ein WMS ist. Es ergab sich die Tendenz, dass die Entscheidung ein WMS in die Cloud zu verlagern leicht ist, da diese Technologie die geringsten Risiken verbirgt. Daher wird Cloud-Computing bereits in über 52% der Handelsunternehmen in Deutschland eingesetzt und es wird ein stetig wachsendes Marktvolumen prognostiziert.⁹⁴

Jedoch ist es für die Umsetzung der Industrie 4.0 essenziell wichtig eine Kombination aus allen der oben beschriebenen Technologien einzusetzen. Daher ist die Entscheidung einer ganzheitlichen Umstellung zur Industrie 4.0 für Unternehmen sehr komplex, da einige Technologien hohe Risiken in Bezug auf die oben genannten Bewertungskriterien haben können.

Diese Bewertungskriterien müssen den Unternehmen bewusst sein und es muss bei einem WMS-Projekt sichergestellt werden, dass die wichtigen geschäftlichen Vorteile erzielt werden können. Bewertungskriterien müssen möglichst nah an den Zielen des Unternehmens liegen. Dazu müssen Entscheidungen abgewogen werden und den genauen Zweck der Technologie sowie deren Wahrscheinlichkeit zur Erfüllung gemessen werden.

⁹⁴ Vgl. 2017a. (online, URL siehe Literaturverzeichnis).

Die Industrie 4.0 beschreibt nicht eine einzelne Technologie, sondern ein ganzheitliches Konzept von einer Kombination aller vorgestellten Technologien. Daher entscheidet sich ein Unternehmen bei einer Gesamtbetrachtung oft gegen die Industrie 4.0. Die gemäß den Bewertungskriterien bestehenden Risiken sind für Unternehmen zu hoch.

Die große Herausforderung für Unternehmen im Rahmen eines WMS besteht hierbei, die Vorteile der Funktionalitäten und Technologien, mit den Nachteilen anderer Technologien abzuwägen und zu entscheiden, ob eine ganzheitliche Einführung in Verbindung mit einem WMS sinnvoll ist. Es darf nicht darüber hinwegtäuschen, dass die Einführung neuer Funktionalitäten bzw. Technologien ein sehr individueller Vorgang ist, der sorgfältig auf die Anforderungen des Unternehmens abgestimmt werden muss. Eine weitere Erkenntnis, die gewonnen wurde, ist, dass trotz sämtlicher Richtlinien, welche Funktionen in einem WMS enthalten sein sollten, ein anderer Fall für das jeweilige Unternehmen gelten kann. Es gibt kein einheitliches Modell, das ein Unternehmen eins zu eins übernehmen kann.

6.1 Kritische Stellungnahme

Im Verlauf der Arbeit wurden zwei kritische Aspekte festgelegt, die einen starken Einfluss auf die vorliegende Arbeit hatten. Der erste Aspekt, der Aufmerksamkeit erregt hat, ist der inhaltlichen Stand der wissenschaftlichen Werke im Bereich Lagerverwaltungssysteme. Diese befassen sich kurz oder in keiner Weise mit den neuen Entwicklungen und Funktionsweisen eines LVS. Hauptsächlich wurden die Beiträge, die sich mit neuen Perspektiven eines LVS beschäftigen, von den Markt-Anbietern zur Verfügung gestellt. Daraus konnte abgeleitet werden, dass aufgrund der Wettbewerbssicherung die Funktionalitäten eines WMS nicht in die Tiefe vorgestellt werden, was ein Hindernis für die ausführliche Auseinandersetzung der Thematik ist.

Der zweite Aspekt ist das breite Spektrum an WMS Funktionalitäten. Dieses macht nicht nur für Unternehmen die Auswahlentscheidungen schwieriger, sondern auch für wissenschaftliche Zwecke. Viele Funktionalitäten werden überflüssig wahrgenommen und infolgedessen werden sie nicht weiter untersucht.

Zusätzlich ist hier zu erwähnen, dass die Auswirkung auf die Veränderung der Beschäftigung in der vorliegenden Arbeit nicht weiter thematisiert wurde.

6.2 Ausblick

Unternehmen mit Lagerhäusern in hochentwickelten Ländern, deren Produkte die hohen Investitionskosten auffangen können, werden zweifellos die neueste WMS-Technologien übernehmen können und an der Spitze der Lagerautomatisierung stehen. Jedoch ist die Automatisierung, wie bereits erwähnt, nicht für jedes Unternehmen geeignet.

Das Wachstum im E-Commerce wird weiterhin die Lagerverwaltung weltweit herausfordern, vor allem im Bereich Kommissionierung. Der Prozess von Karton- und Paletten-Kommissionierung bis hin zum Individuellen Kommissionieren wird die Gerätehersteller dazu bringen, weitere Entwicklungen der Kommissioniersysteme zu suchen. Jedoch besteht hier die Gefahr, dass Warehouse Management Systeme durch neue Entwicklungen nicht nur teilweise, sondern sogar komplett ersetzt werden. Diese Fragestellung ist im Laufe der Zeit weiter zu verfolgen.

7. Literaturverzeichnis

Gedruckte Quellen:

Arnold, D./Isermann, H./Kuhn, A./Tempelmeier, H. (2004): Handbuch Logistik. Heidelberg: Springer Vieweg Berlin Heidelberg.

Bichler, K./Riedel, G./Krohn, R./Schöppach, F. (2013): Funktionen der Lagerwirtschaft In: *Beschaffungs- und Lagerwirtschaft*. Wiesbaden: Springer Fachmedien, S. 13–25.

Bodden-Streibühr, M. (2017): Warehouse-Management-Systeme im Spannungsfeld von Industrie 4.0 In: *Handbuch Industrie 4.0*. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg, S. 233–245.

Dittes, F.-M. (2015): Und immer lockt das Bessere: eine Einführung In: *Optimierung: Wie man aus allem das Beste macht*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 1–4.

Finkenzeller, K. (2015): RFID-Handbuch: Grundlagen und praktische Anwendungen von Transpondern, kontaktlosen Chipkarten und NFC. München: Carl Hanser Verlag GmbH Co KG.

Glock, C./Grosse, E. (2017): Warehousing 4.0 - Technische Lösungen und Managementkonzepte für die Lagerlogistik der Zukunft. Lauda-Königshöfen: B+G Wissenschaftsverlag.

Gudehus, T. (2010): Lagersysteme In: *Logistik*. Berlin, Heidelberg: Springer, S. 569–661.

Günthner, W./Klenk, E./Tenerowicz-Wirth, P. (2014): Adaptive Logistiksysteme als Wegbereiter der Industrie 4.0 In: *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik*. Wiesbaden: Springer Vieweg, S. 297–323.

Hompel, M. ten/Schmidt, T. (2010): Lagersysteme und Lagerverwaltung In: *Warehouse Management*. Berlin, Heidelberg: Springer, S. 15–72.

Jahn, M. (2017): Industrie 4.0 – Betriebswirtschaftliche Theorie und Praxis In: *Industrie 4.0 konkret*. Wiesbaden: Springer Gabler, S. 43–47.

Kern, C. (2007): Einordnung verschiedener Auto-ID-Systeme In: *Anwendung von RFID-Systemen*. Berlin, Heidelberg: Springer, S. 13–36.

Kornmeier, M. (2016): Wissenschaftlich schreiben leicht gemacht für Bachelor, Master und Dissertation. Göttingen: Haupt Verlag.

Kubach, U. (2017): Device Clouds: Cloud-Plattformen schlagen die Brücke zwischen Industrie 4.0 und dem Internet der Dinge In: *Handbuch Industrie 4.0 Bd.3: Logistik*. Berlin, Heidelberg: Springer, S. 181–200.

Leimeister, J.M. (2015): Anwendungsbereiche des House of Digital Business In: *Einführung in die Wirtschaftsinformatik*. Berlin, Heidelberg: Springer Gabler, S. 377–444.

Marc Hoppe/Käber, A. (2008): Warehouse Management mit SAP ERP. Bonn: Galileo Press.

Mertens, P./Bodendorf, F./König, W./Schumann, M. et al. (2017): Integrierte Anwendungssysteme im Unternehmen In: *Grundzüge der Wirtschaftsinformatik*. Berlin, Heidelberg: Springer Gabler, S. 63–129.

Obermaier, R. (2016): Industrie 4.0 als unternehmerische Gestaltungsaufgabe: Strategische und operative Handlungsfelder für Industriebetriebe In: *Industrie 4.0 als unternehmerische Gestaltungsaufgabe*. Wiesbaden: Springer Gabler, S. 3–34.

Richards, G. (2018): Warehouse management: a complete guide to improving efficiency and minimizing costs in the modern warehouse. London: Kogan Page Limited.

Roth, A. (2016): Industrie 4.0 – Hype oder Revolution? In: *Einführung und Umsetzung von Industrie 4.0*. Berlin, Heidelberg: Springer Gabler, S. 1–15.

Roy, D.T. (2017): Industrie 4.0 – Gestaltung cyber-physischer Logistiksysteme zur Unterstützung des Logistikmanagements in der Smart Factory. Berlin: Universitätsverlag der TU Berlin. Logistik.

Schedlbauer, M. (2008): Adaptive Logistikplanung auf Basis eines standardisierten, prozessorientierten Bausteinkonzepts. Garching bei München: Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluß Logistik (fml).

Siepmann, D./Graef, N. (2016): Industrie 4.0 – Grundlagen und Gesamtzusammenhang In: *Einführung und Umsetzung von Industrie 4.0*. Berlin, Heidelberg: Springer Gabler, S. 17–82.

Stadtler, H. (1998): Lagerverwaltungssysteme. München: Oldenburg-Verlag.

VDI Verein Deutscher Ingenieure e.V. (2015): Warehouse-Management-Systeme. Düsseldorf.

Volker, J. (2014): Intelligente, vernetzte Lagersysteme für die Industrie 4.0 - Beispiel Shuttle-Technologien In: *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik*. Wiesbaden: Springer Vieweg, S. 221–233.

Weirauch, P. (2015): Cloud-Computing in der Logistik In: *Logistik – eine Industrie, die (sich) bewegt: Strategien und Lösungen entlang der Supply Chain 4.0*. Wiesbaden: Springer Fachmedien, S. 77–85.

Wurll, C. (2017a): Das bewegliche Lager auf Basis eines Cyber-physischen Systems In: *Handbuch Industrie 4.0 Bd.3*. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg, S. 151–177.

Wycisk, C. (2009): Flexibilitätsbedarf logistischer Systeme und Selbststeuerung als Lösungsansatz In: *Flexibilität durch Selbststeuerung in logistischen Systemen: Entwicklung eines realoptionsbasierten Bewertungsmodells*. Wiesbaden: Gabler, S. 22–142.

Zeitschriftartikel

Eitelwein, O./Malz, S./Weber, J. (2012): Erfolg durch Modularisierung In: *Controlling & Management*, S. 79–84.

Lasi, H./Fettke, P./Kemper, H.-G./Feld, T./Hoffmann, M. (2014): Industrie 4.0 In: *Wirtschaftsinformatik*, S. 261-264. Universität Stuttgart. Wiesbaden: Springer Fachmedien.

Mao, J./Xing, H./Zhang, X. (2018): Design of Intelligent Warehouse Management System In: *Wireless Personal Communications*, S. 1–13. Springer Science + Business Media.

Elektronische Quellen:

Energie, B. (2017): Schlaglichter der Wirtschaftspolitik. Online im Internet: <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Schlaglichter-der-Wirtschaftspolitik/2017/12/onlinemagazin-schlaglichter-12->

17.html?cms_textId=656394&cms_artId=656382,

Zuletzt abgerufen: 05.08.2018.

Fraunhofer IML (2018): Digitaler Wareneingang mit Texterkennung - Fraunhofer IML In: *Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML*. Online im Internet: https://www.iml.fraunhofer.de/de/abteilungen/b1/informationslogistik_und_assistenzsysteme/dienstleistungen/digitaler-wareneingang-mit-texterkennung.html

Zuletzt abgerufen: 09.08.2018.

Hebezeuge Fördermittel (2017): Shuttle-Systeme mit dritter Dimension. Online im Internet: <https://www.hebezeuge-foerdermittel.de/shuttle-systeme-mit-dritter-dimension>

Zuletzt abgerufen: 04.09.2018.

proLogistik (2018): Lagerverwaltung. Online im Internet: <http://www.prologistik.com/logistik-lexikon/lagerverwaltung/>

Zuletzt abgerufen: 17.08.2018.

Robotics Tomorrow (2011): How Kiva Systems and Warehouse Management Systems. Online im Internet: <https://roboticstomorrow.com/article/2011/12/how-kiva-systems-and-warehouse-management-systems-interact/23/>

Zuletzt abgerufen: 05.09.2018.

Walter, K. (2017): Lagerverwaltungssystem – Optimierung der Lagerverwaltung. Online im Internet: <https://www.mm-logistik.vogel.de/lagerverwaltungssystem-optimierung-der-lagerverwaltung-a-604777/>

Zuletzt abgerufen: 15.06.2018.

warehouse-logistics, F.-I.M. und L. (2018): Lagerverwaltungssoftware - Übersicht und Vergleich. Online im Internet: <http://www.warehouse-logistics.com/de/lagerverwaltungssoftware.html>

Zuletzt abgerufen: 25.08.2018.

Wolf, O./Dietze, G./Daniluk, D. (2000): Warehouse Management Systems - Ein Markt in Bewegung. Online im Internet: http://www.warehouse-logistics.com/Download/Literatur/DE_Artikel_WMS_Heute-und-morgen_warehouse_logistics.pdf

Zuletzt abgerufen: 15.09.2018.

(2017): Deutsche Logistik-Branche - Geplante Investitionen 2017 | Statistik. Online im Internet: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/180099/umfrage/investitionen-in-der-logistik-branche-in-deutschland/>

Zuletzt abgerufen: 05.08.2018.

(2017a): Cloud Computing in deutschen Unternehmen nach Branche 2016 | Umfrage. Online im Internet: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/305570/umfrage/einsatz-von-cloud-computing-in-deutschen-unternehmen-nach-branche/>

Zuletzt abgerufen: 18.09.2018.

(2018a): Kernfunktionen | PSI Logistics. Online im Internet: https://www.psilogistics.com/de/loesungen/warehouse-management/kernfunktionen/#jfmulticontent_c131745-5, Zuletzt abgerufen: 10.08.2018.

(2018b): Definition: Computerverbund(-system). Online im Internet: <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/computerverbund-system-30818>

Zuletzt abgerufen: 14.08.2018.

(2018d): Modularer Aufbau erhöht Stabilität von Software zur Lagerverwaltung. Online im Internet: <https://www.mm-logistik.vogel.de/modularer-aufbau-erhoeht-stabilitaet-von-software-zur-lagerverwaltung-a-197325/>

Zuletzt abgerufen: 08.09.2018.

(2018e): A complete cloud WMS buyers' guide. Online im Internet: <https://www.explorewms.com/cloud-wms-buyers-guide.html>

Zuletzt abgerufen: 08.09.2018.

(2018f): WMS Cloud - Funktionsweise. Online im Internet: <http://www.wms-in-der-cloud.de/cloud-wms/funktionsweiss>

Zuletzt abgerufen: 09.09.2018.

(2018g): Infografik: Cloud-Computing wird zum Topthema im deutschen IT-Mittelstand. Online im Internet: <https://de.statista.com/infografik/3867/massgebliche-technologie--und-markttrends-im-deutschen-it-markt/>,

Zuletzt abgerufen: 10.09.2018.

(2018h): Cloud-Computing-Services - Marktvolumen in Deutschland bis 2020 | Prognose.

Online im Internet:

<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/165458/umfrage/prognostiziertes-marktvolumen-fuer-cloud-computing-in-deutschland/>

Zuletzt abgerufen: 10.09.2018.

8. Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere, dass ich die vorliegende Arbeit ohne fremde Hilfe selbständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Wörtlich oder dem Sinne nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quelle kenntlich gemacht.

Hamburg, 21. September 2018.

.....

(Unterschrift des Studierenden)

9. Einverständniserklärung der Veröffentlichung

Ich erkläre mich damit

einverstanden,

nicht einverstanden

dass ein Exemplar meiner Bachelor-Thesis in die Bibliothek des Fachbereiches aufgenommen wird; Rechte Dritter werden dadurch nicht verletzt.

Hamburg, 21. September 2018.

.....

(Unterschrift des Studierenden)