

Masterarbeit

Analyse der Funktionalitäten von Warehouse Managementsystemen in Bezug
auf die zukünftigen Anforderungen der Industrie 4.0 am Beispiel SAP EWM

Dorothee Lichtlein
Matrikelnummer: 181173
Studiengang Logistik

ausgegeben am:
28.04.2016

eingereicht am:
06.10.2016

Betreuer:
Prof. Dr. Markus Rabe
M. Sc. Felix Stadler

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
1 Einleitung	1
2 Industrie 4.0	4
2.1 Entstehungsgeschichte.....	4
2.2 Technologische Grundlagen.....	7
2.3 Organisatorische Voraussetzungen.....	11
2.4 Potenziale, Ziele und Einflüsse der Industrie 4.0.....	13
3 Warehouse-Management-Systeme	15
3.1 Bedeutung von Warehouse-Management-Systemen für die Logistik.....	15
3.2 Funktionen eines Warehouse-Management-Systems.....	17
3.3 Eingesetzte Technologien innerhalb eines Lagers.....	23
3.4 Zukünftige Entwicklungen des Lagers.....	24
3.5 Beispielsystem SAP EWM.....	27
3.5.1 Einordnung in die SAP Landschaft.....	27
3.5.2 EWM-spezifische Begrifflichkeiten und Zusammenhänge.....	29
3.5.3 Integration externer Systeme zur Unterstützung der Lagerprozesse.....	41
4 Potenzielle Verfahren für eine funktionsbezogene Analyse von WMS im Hinblick auf Industrie 4.0	44
5 Vorbereitung der Analyse	49
5.1 Auswahl des Analyseverfahrens.....	49
5.2 Anforderungskriterien und -dimensionen für die Umsetzung der Industrie 4.0 mit WMS.....	55
6 Analyse von SAP EWM in Bezug auf Industrie 4.0	58
6.1 Anforderungsdimension 1: Echtzeitsteuerung und Organisation.....	58
6.2 Anforderungsdimension 2: Technische Schnittstellenkompetenz.....	72
6.3 Anforderungsdimension 3: Einbindung des Menschen.....	78
6.4 Zusammenfassung der Analyseergebnisse.....	81
6.5 Anwendung der Analyseergebnisse.....	90
6.5.1 Beschreibung eines logistischen Beispielprozesses.....	90
6.5.2 Anwendung von SAP EWM auf den Beispielprozess.....	92
7 Zusammenfassung und Ausblick	99
Literaturverzeichnis	III
Abbildungsverzeichnis	XII

Tabellenverzeichnis.....	XIV
Abkürzungsverzeichnis	XV
Glossar.....	XVIII
Anhang	XIX

1 Einleitung

Infolge der Globalisierung stehen produzierende Unternehmen volatilen Marktbedingungen gegenüber und begegnen einem erhöhten Anspruch an eine flexiblere Produktion. Dadurch entsteht vor allem für die Logistik ein bisher nicht bekannter Grad an Komplexität, den es zu bewältigen gilt [Kerner und ten Hompel 2015]. Die drei Zielgrößen Kosten, Qualität und Zeit stehen dabei im Mittelpunkt und beeinflussen sich gegenseitig. Insbesondere die Zeit ist ein Schlüsselfaktor, über den in Zukunft Wettbewerbsfähigkeit gesteigert, aber auch eingebüßt werden kann [Ganschar et al. 2013]. Durch eine Vernetzung und Echtzeitabbildung der Fabrik soll eine Dezentralisierung der Steuerungsprozesse ermöglicht werden [BMBF 2016; Ganschar et al. 2013]. Grundlegend dafür ist die Umsetzung des Internets der Dinge, welches durch autonom interagierende Objekte gekennzeichnet ist. Die Objekte tauschen Informationen untereinander aus, sodass Entscheidungen vor Ort gefällt und umgehend umgesetzt werden können. Durch diese Form der Dezentralisierung ermöglicht das Internet der Dinge (IoT) einen Umgang mit der zunehmenden Komplexität. Für die Logistik sind durch die veränderten Anforderungen Materialflusssysteme notwendig, die sich durch eine intelligente Infrastruktur mit den Transporteinheiten abstimmen können und hierdurch ein dezentrales und variierbares Transportnetzwerk schaffen [Chisu et al. 2010a]. Zurzeit liegen jedoch noch „einzelne Datensilos [vor], die mühsam eingerichtet und als Inseln gepflegt werden müssen“ [Ganschar et al. 2013]. Um dieser Problematik zu begegnen und die wachsende Komplexität in Produktion und Logistik beherrschbar zu machen, soll die intelligente Fabrik Abhilfe leisten. Charakteristisch hierfür ist die Einführung intelligenter Produkte, die das Wissen über ihre Verwendung und ihre weiteren Prozessschritte besitzen. Dabei ist die Kommunikation und Interaktion von Mensch, Maschine und Ressource über das Internet der Dinge und Dienste (IoTS) kennzeichnend. Zudem zielt die intelligente Fabrik auf die Integration interner sowie externer Stakeholder und eine Vernetzung sämtlicher Produktionssysteme ab. Als technische Grundlage einer intelligenten Fabrik werden insbesondere cyber-physische Produktionssysteme (CPPS) in Betracht gezogen [Siepmann 2016], die auf cyber-physischen Systemen (CPS) basieren. CPS umfassen eingebettete Systeme, die mittels Sensorik und Aktorik Daten auswerten, speichern und aktiv sowie reaktiv mit der physikalischen und digitalen Welt interagieren. CPS sind darüber hinaus durch digitale Netze miteinander verbunden und nutzen weltweit verfügbare Daten und Dienste. Zusätzlich stellen sie durch die Verwendung multimodaler Mensch-Maschine-Schnittstellen Kommunikations- und Steuerungsmöglichkeiten bereit. Anders als die eingebetteten Systeme, welche ein kontrolliertes Verhalten aufweisen, sollen CPS damit ihre Anwendungs- und Umgebungssituation in Echtzeit erfassen, interaktiv beeinflussen und ihr Verhalten situationsgerecht steuern können [Broy und Geisberger 2012]. Als Alternative zu den beschriebenen CPS wird nach Lappe et al. [2014] angenommen, dass die geforderte Intelligenz ebenso auf Basis passiver Kennzeichnungen wie z. B. Barcodes, Data Matrix Codes oder RFID-Transpondern erzeugt werden kann. Unter Berücksichtigung technischer Aspekte sowie der Kosteneffizienz bieten solche Technologien bei bestimmten Produkten Vorteile gegenüber den CPS.

Für die Nutzung passiver Kennzeichnungen ist jedoch eine Infrastruktur erforderlich, die gewährleistet, dass Produkte zum richtigen Zeitpunkt und am richtigen Ort intelligent sind [Lappe et al. 2014].

Basierend auf dem Ansatz der intelligenten Fabrik hat sich der Begriff Industrie 4.0 etabliert. Er wird vielfältig verwendet und verweist auf den Beginn der vierten industriellen Revolution. Ihr zentrales Merkmal ist die Vernetzung der virtuellen mit der physischen Welt [Hirsch-Kreinsen 2014]. Chancen, die aktuell mit Industrie 4.0 in Verbindung gebracht werden, sind die Individualisierung, die Flexibilisierung, die Produktivitätssteigerung, die Erweiterung der Geschäftsmodelle hin zu einem Lösungsanbieter mit einem vergrößerten Leistungsportfolio sowie die Steigerung der Einsatzfähigkeit der Mitarbeiter [Roth 2016a]. Durch das Zusammenwirken von digitaler und produzierender Industrie können nach Frost [2014] Geschwindigkeit, Flexibilität und Produktivität um bis zu 40% gesteigert werden. Hierdurch könnte zukünftig eine möglichst geringe Distanz zwischen Angebot und Nachfrage erreicht werden.

Das Lager hat eine Ausgleichsfunktion zwischen Angebot und Nachfrage und gilt als wesentlicher Bestandteil der Logistik [Roth 2016b]. Daher stellt sich die Frage, welchen Einfluss die technischen und organisatorischen Veränderungen der Industrie 4.0 auf die Lagerverwaltung haben können. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Lagerverwaltungssysteme (LVS) bisher eine relativ statische Rolle übernehmen. Neben Kontrollfunktionen liegen ihre Schwerpunkte in der Platzverwaltung und in der Mengen- bzw. Bestandsverwaltung [Schmidt und ten Hompel 2010]. Weit verbreitete Warehouse-Management-Systeme schließen diese Funktionen mit ein und sind darüber hinaus auf die Steuerung, Kontrolle und Optimierung der Lager- und Distributionssysteme ausgerichtet [VDI 3601]. Auf die spezifischen Anforderungen der Industrie 4.0 wird in diesem Zusammenhang jedoch bisher kaum eingegangen. Daraus leiten sich die Ziele der vorliegenden Arbeit ab.

Infolge der vorangegangenen Ausführungen ergibt sich die zentrale Fragestellung, wie Warehouse-Management-Systeme (WMS) den zukünftigen Herausforderungen der Industrie 4.0 begegnen können. Dabei ist das Ziel, eine repräsentative Analyse mit SAP EWM als Komponente des marktführenden SAP SCM Systems durchzuführen [Wendehost 2015]. In diesem Zusammenhang sollen Kriterien für die Eignung eines WMS in Bezug auf die Herausforderungen der Industrie 4.0 festgelegt werden. Außerdem sind Stärken und Schwächen von SAP EWM ebenso wie fehlende Funktionalitäten für eine Umsetzung der Industrie 4.0 aufzudecken. Durch die Analyse einzelner Unternehmensbereiche besteht das Ziel, differenzierte Aussagen zu der Umsetzbarkeit einzelner Prozessabläufe zu treffen. Um die in der Analyse erworbenen Kenntnisse praktisch aufzubereiten, ist ein logistischer Beispielprozess zu erstellen, auf den die Analyseergebnisse unter Verwendung des EWM-Systems angewandt werden sollen. Hierfür sind notwendige Elemente und Einstellungen zur prozessualen Abbildung herauszustellen, die eine Umsetzung der Industrie 4.0 systemseitig ermöglichen könnte.

Als Grundlage der Analyse der Funktionalitäten von WMS in Bezug auf die zukünftigen Anforderungen der Industrie 4.0 erfolgt eine Recherche zu Industrie 4.0 und WMS. Im Konkreten wird herausgestellt, welche Merkmale die Industrie 4.0 kennzeichnen, welche technologischen und organisatorischen Veränderungen mit ihr einhergehen und wo der Bezug zur Logistik besteht. Die

Recherche zu WMS soll zunächst eine Einordnung von WMS in das Umfeld der Logistik ermöglichen, um darauf aufbauend eine Verbindung zur Industrie 4.0 herzustellen. Da die durchgeführte Analyse ihren Schwerpunkt auf die Funktionalitäten eines WMS legt, werden elementare Lagerfunktionen sowie integrierte Technologien erläutert, die im Umfeld von WMS zu berücksichtigen sind. Auf dieser theoretischen Basis erfolgt die Identifikation und Beschreibung potenzieller Analyseverfahren, mit denen die Funktionalitäten von WMS hinsichtlich der Anforderungen der Industrie 4.0 untersucht werden können. Dabei dienen die Reifegrad- und Referenzmodelle ebenso wie die Grounded Theory, die Potenzialanalyse und qualitative Interviews als Entscheidungsgrundlage für die Auswahl des verwendeten Analyseverfahrens. Die durchgeführte Analyse soll die zentrale Fragestellung, wie WMS den zukünftigen Herausforderungen der Industrie 4.0 begegnen können, beantworten und Stärken, Schwächen sowie fehlende Funktionalitäten am Beispielsystem SAP EWM herausstellen. Um die gewonnenen Erkenntnisse anzuwenden und eine praktische Umsetzung zu veranschaulichen, wird ein logistischer Beispielprozess zugrunde gelegt, der ausgewählte Merkmale der Industrie 4.0 beinhaltet. Stellvertretend für andere WMS werden bei Bedarf notwendige Anpassungen des aktuellen Standards sowie Besonderheiten herausgestellt und damit die Umsetzbarkeit von Industrie 4.0 mit heutigen WMS überprüft. Im Hinblick auf zukünftige Analysen erfolgen abschließend eine Zusammenfassung der Ergebnisse, eine Bewertung der verwendeten Methodik, sowie ein Ausblick, welcher zukünftige Erfordernisse für die Übertragbarkeit von Industrie 4.0 im Hinblick auf WMS hervorhebt.

2 Industrie 4.0

Die Thematik der Industrie 4.0 rückt zunehmend in den Fokus von Forschung und Wirtschaft. Die nachfolgenden Abschnitte 2.1 bis 2.4 sollen charakteristische Merkmale, Ziele und Potenziale sowie technologische und organisatorische Veränderungen im Kontext der Industrie 4.0 aufzeigen. Dazu wird der Begriff zunächst abgegrenzt und seine Entstehung anhand der konzeptionellen Entwicklungen im Industrieumfeld begründet.

2.1 Entstehungsgeschichte

Mechanische Produktionsanlagen, welche mit Wasser- und Dampfkraft betrieben werden, stellten im 19. Jahrhundert eine bedeutende Veränderung und damit die erste industrielle Revolution dar [Roth 2016a]. Gefolgt von arbeitsteiliger Massenproduktion unter Nutzung von Energie entwickelte sich die zweite Revolution. Durch die daran anschließende Nutzung von Elektronik und IT sind Prozesse automatisiert worden, womit die dritte Revolution begründet worden ist. Inzwischen wird die vierte industrielle Revolution diskutiert [Roth 2016a]. Diese hebt sich von den bisherigen Revolutionen dadurch ab, dass der Auslöser keine bahnbrechende Erfindung ist, sondern das Potenzial zu einer bedeutenden Veränderung der Produktionsverhältnisse bereits im Vorhinein erkannt worden ist. Dementsprechend können Prognosen aufgestellt und Konsequenzen sowie Einflüsse der Neuausrichtung der Produktion bereits heute durchdacht und untersucht werden [Kerner und ten Hompel 2015]. Für den Beginn der vierten industriellen Revolution wird der Begriff Industrie 4.0 verwendet. Er ist erstmalig auf der Hannover Messe 2011 an die Öffentlichkeit herangetragen worden und wird nach Kagermann und Lukas [2011] als Zukunftsprojekt verstanden.

Da sich der Begriff Industrie 4.0 als Stellvertreter für eine Vielzahl nachfolgend beschriebener Veränderungen etabliert hat, wird er in dieser Arbeit ebenfalls gebraucht. Eine genaue Begriffsabgrenzung liegt zwar nicht vor, doch lassen sich einige Merkmale ausmachen, die bei der Definition von Industrie 4.0 häufig genannt werden:

- Einsatz neuester Internettechnologien [Roth 2016a; Sandler 2013]
- Vernetzung der Produktion [Jeschke et al. 2015; Roth 2016a; Sandler 2013; Bauernhansl 2014]
- Intelligente, autonome Systeme [Ganschar et al. 2013; Jeschke et al. 2015; Bauernhansl 2014]
- Dezentralisierung [Jeschke et al. 2015, Bauernhansl 2014]
- Digitalisierung [Jeschke et al. 2015; Romberg 2016]
- Echtzeitauswertung [Halang und Unger 2014; Romberg 2016; Bauernhansl 2014]
- Schaffen von Transparenz [Bauernhansl 2014; Ganschar et al. 2013]
- Flexible Produktionssysteme [Halang und Unger 2014; Ganschar et al. 2013]

Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Industrie 4.0 insgesamt einer Optimierung der Prozesse dient [Romberg 2016].

Um für die vorliegende Arbeit ein gemeinsames Begriffsverständnis zu schaffen, werden die Merkmale an dieser Stelle in Zusammenhang gebracht. Daraus ergibt sich die folgende Definition von Industrie 4.0: Industrie 4.0 beschreibt die Vernetzung der Produktion durch den Einsatz intelligenter, autonomer Systeme auf Basis einer umfassenden Digitalisierung und unter Verwendung neuester Internettechnologien mit dem Ziel, eine flexible Produktion zu schaffen, die durch Echtzeitauswertung und Dezentralisierung der beteiligten Entitäten Transparenz schafft.

Da der Begriff Intelligenz verschiedene Auslegungen haben kann, sollen die Unterschiede hinsichtlich des Begriffsverständnisses an dieser Stelle erläutert werden. Dafür sind Beiträge zum Thema künstliche Intelligenz (KI) anzuführen, da die KI auf das eigenständige Handeln autonomer Systeme abzielt und somit eines der Kernthemen der Industrie 4.0 trifft. In diesem Zusammenhang werden die symbolische und die subsymbolische Intelligenz unterschieden. Die symbolische Intelligenz basiert auf Schlussfolgerungsketten und ist dadurch gekennzeichnet, dass Wissen durch Symbole repräsentiert wird. Die subsymbolische Intelligenz bezieht sich auf sensomotorische Fähigkeiten. Problemlösungen ergeben sich hierbei aus Experimenten. Intelligente arbeitende technische Systeme werden heute vorrangig durch numerische Algorithmen gesteuert. Intelligente KI-Agenten stützen sich hingegen auf die symbolische Wissensverarbeitung. Als intelligent können Systeme bereits dann erachtet werden, wenn Computer Roboter steuern, Schach spielen oder Formeln umstellen können. Allerdings können auch Fähigkeiten des Lernens, Erfindens und gefühlsmäßigen Entscheidens als erforderliche Kriterien für Intelligenz aufgefasst werden. Die Entscheidung darüber, ob Systeme Intelligenz aufweisen, ist somit Auslegungssache [Lunze 2010].

Des Weiteren ist anzumerken, dass der Begriff Industrie 4.0 marketingtechnisch wirkungsvoll eingesetzt wird, sodass sich die letzten Jahre ein Hype um diesen Ausdruck entwickelt hat und er vielfältig verwendet wird. Demnach ist er in Gesellschaft und Politik präsent, wodurch eine Auseinandersetzung mit den Herausforderungen in der Industrie ermöglicht wird [Sendler 2013]. Insbesondere in Deutschland werden Forschung und Entwicklung hinsichtlich der Industrie 4.0 staatlich gefördert. 2013 lagen die Ausgaben für die neue Hightech-Strategie bei ca. 200 Mio. € [Russwurm 2013].

Zwar werden mit der Industrie 4.0 neue, zukunftsweisende Ideen verknüpft, doch finden Konzepte der Automation schon lange Beachtung. Zu nennen ist in diesem Zusammenhang vor allem das nachfolgend beschriebene Computer-Integrated-Manufacturing (CIM). Des Weiteren kann unter organisatorischen Gesichtspunkten das Lean Management angeführt werden, welches ebenfalls kurz erläutert werden soll [Roth 2016a].

CIM steht für die computerintegrierte Produktion und wird als Sammelbegriff für verschiedene, durch IT-Systeme unterstützte, Tätigkeiten verwendet. Dabei liegt der Fokus auf der ganzheitlichen Betrachtung der Leistungserstellung eines Unternehmens, welche durch IT-Systeme unterstützt wird. Der grundlegende Gedanke ist die Vollautomatisierung, bei der der Faktor Mensch unberücksichtigt bleibt. Aufgrund des Mangels an Datensystemen, Sensorik und Datenübertragungstechnik scheiterte das Konzept in den 1980er Jahren. In den 1990er Jahren wurde dann die aus Japan stammende Lean-Philosophie in die deutsche Produktion übernommen. Ihre Schwerpunkte lagen u.a. in der kontinuierlichen Verbesserung, bei Gruppenarbeiten, der Umsetzung von

Just-in-time und in der ziehenden Fertigung. Die wertschöpfungskettenorientierte Unternehmensgestaltung sollte insbesondere Verschwendungen vermeiden und Optimierungen erzielen [Soder 2014].

27% der Unternehmen, die bereits Erfahrungen mit Industrie 4.0 Projekten gesammelt haben, verfügen über eine komplette strategische und organisatorische Ausrichtung an der Lean Philosophie. Die hierbei greifende Wertstromorientierung ebnet den Unternehmen eine erleichterte Umsetzung von Industrie 4.0. Begründet liegt dies in der Gleichtaktung des technologischen Fortschritts, der Weiterentwicklung der Führungskultur und in der effizienten Gestaltung der Organisation. Aufgrund dessen kann das Lean Management als Grundstein für eine intelligente Fabrik angesehen werden [Romberg 2016]. Modelle zum Thema Industrie 4.0 entwickeln die beiden beschriebenen Ansätze des CIM und der Lean-Philosophie weiter und können dem Anspruch der Vernetzung, Digitalisierung und Dezentralisierung mithilfe des heutigen technologischen Entwicklungsstands zunehmend gerecht werden. Daher kann die Thematik als Evolution anstelle einer Revolution aufgefasst werden. Das revolutionäre Verständnis trifft nur dann zu, wenn die Entwicklungen unternehmensseitig unterschätzt werden [Roth 2016a]. Eine andere Begriffsabgrenzung nehmen Ganschar et al. [2013] vor. Sie betrachten die Revolution als den Aufbau eines Zukunftsbildes, auf das hingearbeitet wird. Die Evolution wird hingegen als eine Fortsetzung des eigenen Tuns und Handelns verstanden, weshalb hierbei kein Veränderungsprozess angestoßen wird. Vor diesem Hintergrund ist der Begriff der Revolution elementar, sofern die Industrie 4.0, entsprechend ihrer Begriffsherkunft, als Zukunftsprojekt aufgefasst wird. Unabhängig von der jeweiligen Auffassung greifen beide Ansätze bisherige Konzepte mit auf. In der vorliegenden Arbeit wird das Verständnis nach Ganschar et al. [2013] zugrunde gelegt, da die Industrie 4.0 keine Entwicklung, sondern vielmehr eine komplette Neugestaltung der organisatorischen Ausrichtung vorsieht.

Ausgehend von den Anforderungen der Industrie 4.0, infolge der gewachsenen Komplexität, wird insbesondere die Logistik vor große Herausforderungen gestellt. Sowohl die Intralogistik als auch die gesamte Supply Chain (SC) wären von möglichen Veränderungen durch die Industrie 4.0 betroffen. Daher ist die Logistik treibende Kraft bei der Erforschung des Internets der Dinge und der CPS, welche nach Kerner und ten Hompel [2015] als grundlegend für die Industrie 4.0 erachtet werden. Eine detaillierte Begriffsabgrenzung hierzu erfolgt im Rahmen der technologischen Grundlagen in Abschnitt 2.2. Die Trends der Industrie 4.0 führen in der Logistik zu einem „Picture of the Future“ – „das Internet der Dinge lernt sehen, hören und handeln“ [Kerner und ten Hompel 2015].

Trotz der Aktualität des Themas, ist eine durchgängige Umsetzung des Konzeptes der Industrie 4.0 in der Produktion noch nicht realistisch. Autonomie und Selbstorganisation finden zunächst nur in geschlossenen und informationstechnisch nachvollziehbaren Teilsystemen Anwendung [Ganschar et al. 2013]. Eine Herausforderung wird die Gewährleistung der Informationssicherheit sowie der Funktionalen Sicherheit sein. Dahingehend sind die Verfügbarkeit, die Integrität und die Vertraulichkeit hinsichtlich der verwendeten Anlagen und Systeme in einem Industrie 4.0-Umfeld sicherzustellen. Zudem ist der Schutz von Mensch und Umwelt zu garantieren [BITKOM e.V. 2015]. Darüber hinaus besteht aktuell noch eine relativ große Heterogenität der IT-Struktu-

ren, der Maschinen und der Vernetzungs- sowie Kommunikationsstandards. Daher ist die Produktion innerhalb der nächsten Jahre schrittweise anzupassen. Ein Vorschlag zur Umsetzung ist der Aufbau von Inseln, welche zusammenwirkende Elemente beinhalten [Ganschar et al. 2013].

2.2 Technologische Grundlagen

Die Technologien für die Implementierung eines intelligenten Anlagenverhaltens sollen bereits vorhanden sein. Der Fortschritt liegt nach Lappe et al. [2014] vielmehr in der Verbindung von bisher getrennten Informationsquellen und der Verbesserung technischer sowie organisatorischer Prozesse. Dabei wird die Technologie ein Mittel zum Zweck, das sich gegebenen Bedingungen anpasst. Infolgedessen sollten im Hinblick auf Industrie 4.0 anstelle echter Technologien, Technologieparadigmen zugrunde gelegt werden. Hierbei handelt es sich im Wesentlichen um drei Paradigmen: Das intelligente Produkt, die intelligente Maschine und der assistierte Bediener. Das intelligente Produkt soll aktiv den Produktionsprozess unterstützen. Dafür hat es laut Dais [2014] Kenntnis über seinen Bearbeitungsstand und ggf. Abweichungen bezüglich der auszuführenden Bearbeitungsschritte, sodass es auch nachfolgende Fertigungs- und Logistikschritte mitsteuern kann. Da die Umsetzung eines intelligenten Produktes aufgrund technischer Anforderungen wie z. B. einer Wärmebehandlung oder wirtschaftlicher Aspekte nicht immer sinnvoll ist, kann alternativ die nächst größere Transporteinheit eines Produktes mit Intelligenz ausgestattet werden. Die technologische Umsetzung ist durch miniaturisierte eingebettete Systeme zur Datenspeicherung und Kommunikation im Produkt vorgesehen. Unter Berücksichtigung technischer Aspekte oder aufgrund von Kosten ist jedoch häufig die Nutzung passiver Kennzeichnungen wie z. B. Barcodes, Data Matrix Codes oder RFID-Transponder geeigneter. Hieraus ergibt sich für die Umsetzung einer intelligenten Fabrik der Anspruch einer intelligenten Infrastruktur, bei der die Intelligenz des Produktes lediglich temporär benötigt wird. Zu beachten ist hierbei, dass die Intelligenz des Produktes zum richtigen Zeitpunkt und am richtigen Ort zum Tragen kommen muss. Im Hinblick auf die intelligente Maschine werden die Phasen Planung, Aufbau, Inbetriebnahme, Betrieb und Rekonfiguration unterschieden. In den ersten drei Phasen soll eine Mechatronisierung der Komponenten durchgeführt werden. Diese Komponenten sind in Feldbussysteme und IT-Systeme zu integrieren. Für die daraufhin folgenden Anpassungen der Produktionsanlagen an neue Produktvarianten ist die Rekonfiguration vorgesehen. Hierbei sind neue technologische Prozesse und Abfolgen in die integrierten Steuerungen zu implementieren. Um hinsichtlich der Produktionsanlagen Transparenz und Optimierungen zu erreichen, wird künstliche Intelligenz erforderlich. Diese könnte von der Kommunikation und verteilten Funktionalität über autonomes Anlagenverhalten bis hin zur Selbstoptimierung ganzer Prozessketten reichen [Lappe et al. 2014]. Ebenfalls zu berücksichtigen ist das dritte technologische Paradigma, der assistierte Bediener. Aufgrund des veränderten Aufgaben- und Verantwortungsspektrums des Menschen, soll dieser zukünftig praxisgerecht unterstützt werden. Die Zielsetzung ist ein adaptiv, lernendes Assistenzsystem welches auf ständig weiterentwickelten Wissenskomponenten basiert und den Mitarbeiter auch in unbekanntem Situationen unterstützt. Es ist für die Erfassung des menschlichen Handelns vorgesehen, um sich entsprechend anzupassen. Im Umfeld der Industrie 4.0 ist für jeden Mitar-

beiter mit einem mobilen Endgerät ein persönlicher Assistent vorgesehen, um mit anderen Akteuren zu kommunizieren, Informationen aus dem CPPS abzurufen und von den Unterstützungsfunktionen Gebrauch machen zu können. Ein Beispiel hierfür ist der Einsatz von Indoor Positioning-Systemen, die den Arbeitsort und entsprechende Assistenzanwendungen auswerten. Interagiert werden soll hierbei über Multitouch, dialogbasierte Sprachsteuerung sowie Gestenerkennung. Darüber hinaus könnten durch eine Erfassung der Handlungen des Menschen und den Abgleich mit hinterlegten Applikationslogiken aktuelle Arbeitsschritte und ggf. Abweichungen automatisch erschlossen werden. Basierend auf Apps, welche Applikationen für Smartphones und Tablets darstellen, können mobile und kontext-sensitive Benutzerschnittstellen geschaffen werden. Die Systemkomplexität soll durch die vorgenommene Informationsfilterung an der Benutzerschnittstelle beherrschbar gemacht werden [Gorecky et al. 2014]. In diesem Zusammenhang ist die S/4HANA-Lösung der SAP zu benennen, die den Mitarbeiter durch die Komplexität der intelligenten Fabrik führt und bei Entscheidungen unterstützt. Ihm werden basierend auf aktuellen Daten Entscheidungsoptionen dargelegt, die er über einen Touchscreen auswählen kann. Daran anschließend wird er bei Bedarf direkt zu einem weiteren Entscheidungspunkt weitergeleitet, um notwendige Folgeprozesse anzustoßen. Ein Beispiel hierfür ist ein Bestandsabruf, der übersichtlich darstellt, wo Engpässe auftreten. Mithilfe des Touchscreens können die Engpässe analysiert und Folgeprozesse wie z. B. eine Lieferantenbestellung direkt ausgelöst werden [Schreiner 2016]. Für eine Anwendung der erläuterten Technologieparadigmen im Unternehmensumfeld wird die Implementierung von CPS vorgeschlagen, durch welche die Intelligenz der Produkte, Maschinen und Assistenten realisiert werden soll. Die technologische Entwicklung hin zu einem umfassenden CPPS, in welchem die gesamte Produktion CPS-basiert organisiert werden soll, hat ihren Ursprung beim Ubiquitous Computing und steht in engem Zusammenhang zum IoTS. Nach Siepmann [2016] ergeben sich hieraus drei grundlegende Phasen der technologischen Entwicklung von Industrie 4.0, welche im Folgenden erläutert sowie in Bezug zueinander gesetzt werden. Phase eins stellt das Ubiquitous Computing dar, welches die Allgegenwärtigkeit kleiner, intelligenter und untereinander vernetzter Objekte sowie Computer beschreibt. Als Teil eines größeren Systems werden solche „Embedded Devices“ als wichtiger Bestandteil von CPPS erachtet. Sie beinhalten jeweils Mikrokontroller, Speicherbausteine und Prozessoren, wodurch sie eine unterstützende Funktion für den Menschen übernehmen sollen. Im Zusammenhang mit dem Einsatz von Mikroelektronik und der resultierenden Kommunikationsfähigkeit ergibt sich das IoTS [Siepmann 2016]. Das Internet der Dinge gilt als technologischer Baustein für die Umsetzung von Industrie 4.0 [Roth 2016a]. Dies begründet sich darin, dass die umfassende Vernetzung der Systeme industriell einsetzbare Internetverbindungen erfordert. Die Zielsetzung besteht in einer Integration von virtueller und realer Welt, sodass verteilte, funktionsintegrierte sowie rückgekoppelte Systeme entstehen [Ganschar et al. 2013]. Sämtliche Alltagsgegenstände werden demnach vernetzt, womit die zweite Phase der technologischen Entwicklung erreicht wird. Hieraus entsteht eine neue Dimension der Mobilität, die eine allgegenwärtige, persönliche Interaktion und den kontinuierlichen Wissenstransfer ermöglichen soll [Philipp et al. 2007]. Die Ursprünge für diese Phase liegen in der Radio Frequency Identification (RFID). Sensoren und Mikrochips ermöglichen den Abruf von Diensten und den Informationsaustausch zwischen Objekten. Dadurch ent-

stehen intelligente Produkte mit jeweils eigenen IP-Adressen, welche fortlaufend Daten generieren können, die als Grundlage für bereitzustellende Dienste fungieren. Die Produkte sind somit innerhalb des Netzwerks eindeutig identifizierbar.

Eine weitere Stufe der Vernetzung soll mit der Industrie 4.0 erreicht werden, innerhalb derer Produktionsmittel und Produktionsanlagen zusätzlich miteinander vernetzt werden [Siepmann 2016]. Elementar für die Adressierbarkeit der Objekte sind Lookup-, Discovery- oder Nachrichtendienste. Die genauen Funktionsweisen sind nicht relevant für die vorliegende Arbeit, weshalb sie nicht näher erläutert werden. Allerdings funktioniert die Kommunikation nur für den Fall des Einsatzes von funkbasierten Technologien wie z. B. Bluetooth oder Wireless Fidelity (Wi-Fi). Für die Gestaltung der Benutzerschnittstelle sind neben den mobilen Endgeräten (Smartphones, Tablets etc.) und Social Media auch Technologien der Augmented Reality (AR) wie z. B. Google Glasses zukunftsweisend [Ganschar et al. 2013]. Die Identifikation und Speicherung grundlegender Daten kann über RFID oder Near Field Communication (NFC) erfolgen. Eine Begriffserklärung folgt in Abschnitt 3.3. Mithilfe von Sensoren und Aktoren können darüber hinaus Informationen gesammelt und elektrische Steuerungssignale in mechanische Arbeit oder physikalische Größen umgewandelt werden [Siepmann 2016]. Daraus resultieren folgende Ansätze für die digitale Weiterverarbeitung von Informationen aus der dinglichen Welt: Die horizontale Integration zwischen Unternehmen, die vertikale Integration innerhalb eines Unternehmens sowie ein durchgängiges digitales Engineering [Siepmann 2016]. Dabei soll die digitale Durchgängigkeit des Engineering auf den Lebenszyklus von Produkten und Produktionsmitteln ausgerichtet sein [Lappe et al. 2014].

Darauf aufbauend ist die dritte Phase der technologischen Entwicklung durch die eingangs erwähnten CPPS charakterisiert. Grundlegend hierfür sind CPS, die die Entwicklung von der fraktalen Fabrik hin zur intelligenten Fabrik möglich machen sollen. Fraktal bedeutet, dass einzelne Entscheidungseinheiten gebildet werden, die selbstorganisiert und eigenverantwortlich arbeiten [Siepmann 2016]. Für die intelligente Organisation sind die von Sensoren erfassten Daten von den in Kapitel 1 erläuterten CPS auszuwerten.

Als grundlegende Funktechnologie für die Verbindung der einzelnen CPS ist das (Wireless) Local Area Network (W)LAN vorgesehen. Durch verschiedene Formen der Mensch-Maschine-Schnittstelle wie z. B. Datenbrillen oder Touchscreens sollen ebenso wie durch Sprache und Gestik Interaktionen mit Produktionsanlagen ermöglicht werden [Vogel-Heuser 2014]. Als wesentliche Voraussetzung für die Fabrik der Zukunft gelten offene und standardisierte Schnittstellen im Bereich des Komponenten- und Anlagenbaus [Sauer und Thiel 2012].

Nach der Beschreibung der drei zentralen Technologieparadigmen und der Erläuterung der grundlegenden Technologien der Industrie 4.0 werden an dieser Stelle spezifische Umsetzungsmöglichkeiten einer dezentralen, autonomen Steuerung zur Schaffung von Transparenz herausgestellt. In diesem Zusammenhang ist die dezentrale Erfassung und Speicherung von Informationen über Internetprotokolle zu gewährleisten. Die Protokolle können Daten aus Sensoren unkompliziert abfragen. Durch intelligente Sensoren, welche mit Webservern ausgestattet sind, soll eine Netzwerkfähigkeit erzielt werden, sodass auf proprietäre Schnittstellen und elektronische Verbindungen verzichtet werden kann. Die Sensordaten sind, wie oben beschrieben, in Produkten zu erfassen und zu speichern. Dadurch sollen die Randbedingungen und der Ressourceneinsatz innerhalb

der Produktion für ein bestimmtes Produkt nachvollziehbar sein [Ganschar et al. 2013]. Als eine Möglichkeit zur Umsetzung der dezentralen Steuerung gilt der Einsatz von Schwarmintelligenz. Diese ist durch evolutionäre Algorithmen charakterisiert, die Wissen generieren und nutzen können [Bogon 2013]. Nach Beyer et al. [2014] finden Schwarmintelligenzen bei Multiagentensystemen Einsatz. Die hierbei verwendeten Agenten stellen autonome Einheiten dar, die dezentrale Prozessabläufe ermöglichen. Sie können z. B. die Logik von Transporteinheiten und Ressourcen abbilden, welche untereinander kommunizieren und dadurch nicht auf Vorgaben der zentralen Systeme warten müssen [Göhring und Lorenz 2010]. Hierdurch könnten selbstorganisierte, dezentrale Anpassungen an veränderte Umweltbedingungen realisiert werden, um zu einer Prozessoptimierung in der Intralogistik beizutragen [Beyer et al. 2014]. Ein entsprechendes Anwendungsbeispiel wird in Abschnitt 3.4 anhand eines agentenbasierten Staplerleitsystems aufgezeigt. Bei Multiagentensystemen sind mehrere Agenten mit der gleichen Optimierungsaufgabe in eine Umgebung eingebunden. Mithilfe von Sensorik empfängt der Agent neue Informationen und kann durch Metaheuristiken Probleme lösen [Bogon 2013]. Multiagentensysteme orientieren sich am Internet der Dinge und sind somit auf (Funk-)Internetverbindungen angewiesen [Ganschar et al. 2013]. Sie agieren als Schwärme cyber-physischer Systeme, lagern selbständig Behälter aus und transportieren sie zu beliebigen Zielorten. Dabei ist die Anordnung von Arbeitsstationen jederzeit veränderbar. Integrierte Software-Agenten organisieren Aufträge sowie Prioritäten und kommunizieren neue Standorte. Durch den Ansatz des Simultaneous Localization and Mapping (SLAM) soll darüber hinaus im Fall eines räumlichen Umzugs eine eigenständige Konfiguration durch das System möglich sein [Kerner und ten Hompel 2015].

Nicht zu vernachlässigen ist in diesem Zusammenhang die Flut an Daten, die aus dem erhöhten Einsatz von Sensorik und durch die Vernetzung von Systemen resultiert. Diese gilt es individuell aufzubereiten und zu visualisieren. Die richtige Nutzung der Daten und die Berücksichtigung von Datenschutz sowie Rechen- und Speicherkapazitäten sind hierbei entscheidende Aspekte im Wettbewerb mit der Konkurrenz [Ganschar et al. 2013]. Für die horizontale und vertikale Integration im Rahmen der Industrie 4.0 ist es notwendig, Daten und Dienstleistungen über eine gemeinsame Plattform verfügbar zu machen. Daher gewinnen Cloud-Architekturen zunehmend an Bedeutung [Eckert und Fallenbeck 2015]. Hierdurch können IT-Infrastrukturen, Plattformen und Anwendungen im Web als elektronisch verfügbarer Dienst bereitgestellt und genutzt werden. Charakteristisch für Cloud-Dienste ist die dynamische Skalierbarkeit, welche eine sofortige Zuschaltung von Ressourcen ermöglicht. Dadurch kann die Infrastruktur z. B. automatisch an erhöhte Anforderungen angepasst werden [Baun et al. 2011].

Zu beachten ist jedoch, dass die Produktion nicht komplett dezentral gesteuert werden kann. Vielmehr soll die Fabrik so organisiert werden, dass die zentralen Systeme Daten halten, zur Verfügung stellen und somit die dezentralen Systeme unterstützen. Daraus ergibt sich die Frage, wie viel Zentralismus und wie viel Dezentralismus einem System zugrunde liegen sollten. Nach Ganschar et al. [2013] wird aus informationstechnischer Sicht die Modularität das Schlüsselement sein, um das komplexe System aus dezentralen Komponenten beherrschbar zu machen. Die Modularität soll eine Art Referenzarchitektur schaffen, an der sich die Dinge orientieren können. Der Fokus liegt dabei auf einer modularen und dezentralen Steuerungslogik, die einen Aufbau von Materialflusssystemen nach dem Baukastenprinzip ermöglichen soll [Chisu et al. 2010a]. Infolge

der wachsenden Komplexität erachten Kerner und ten Hompel [2015] die Logistik zunehmend als stochastischen Prozess, der nicht mehr vollständig beherrschbar ist.

Darüber hinaus postulieren sie, dass für hochkomplexe Probleme keine vollständigen Lösungen gefunden werden können. Eine allumfassende Lösung, welche die Problematik der Wechselwirkungen zwischen den Systemen, die Übertragung der Kommunikation und die Systemsicherheit miteinschließt, existiert demnach nicht. Hinsichtlich der neuen Rolle des Menschen gibt es hingegen Ansätze, die an dieser Stelle kurz skizziert werden sollen. Für die Interaktion zwischen dem Menschen und einer intelligenten CPS-basierten Umgebung wird das Design einer neuen Gerätekategorie angeführt. Sogenannte Production Assistant Devices (PADs) sollen eine Softwarerepräsentation des Menschen ermöglichen, welcher in Form eines Avatars ständig online und mit der Cloud verbunden ist. Dadurch soll eine unmittelbare Interaktion sowie Kollaboration mit dem System erreicht werden. Hervorzuheben ist in diesem Zusammenhang ein hoher Sicherheitsfaktor, da die Verschmelzung von Mensch und Produktion mithilfe von Sensorik durch eine dynamische Schutzhülle realisiert werden soll [Kerner und ten Hompel 2015].

Mit den dargelegten technologischen Grundlagen sollen die Voraussetzungen einer autonomen Steuerung geschaffen werden, die an dieser Stelle anhand einiger Beispiele aufgezeigt werden. Hierzu zählen selbstorganisierte und vernetzte Produktionsanlagen, die über das Internet in der Lage sein sollen, Prozessparameter bei Herstellern zu erfragen. Ein weiteres Beispiel ist die Befähigung logistischer Prozesse und Produktionsaufträge, Vormaterialien zu reservieren, Bearbeitungsschritte zu bestimmen, zusätzliche Kapazitäten zu organisieren oder Abweichungen zu melden. Außerdem sind Routinetätigkeiten und standardisierte Entscheidungen in deutlich größerem Umfang zu ermöglichen [Ganschar et al. 2013].

2.3 Organisatorische Voraussetzungen

Aktuell werden bei der Planung logistischer Systeme vorrangig Grenzleistungsberechnungen angestellt. Hierdurch wird der Anspruch an eine zunehmende Flexibilisierung jedoch nicht erfüllt. Zukünftige Unwägbarkeiten, die sich aus kundenindividuellen Produkten und dem globalen Handel ergeben, müssen bei der Planung berücksichtigt werden. Starre Infrastrukturen und Materialflusssysteme sind demnach langfristig nicht mehr tragbar. Stattdessen ist eine Dezentralisierung notwendig, welche die Modularisierung von Komponenten und damit einhergehend autonom interagierende Einheiten impliziert [Kerner und ten Hompel 2015].

Da die Dezentralisierung mit dem Risiko einer Prozessvariabilität einhergeht, besteht die Gefahr, höhere Durchlaufzeiten (DLZ) und eine sinkende Termintreue zu erzeugen, sofern es zu ineffizienteren Abläufen kommt. Der Grund hierfür liegt darin, dass standardisierte Prozessabläufe bereits möglichst optimal geplant werden. Durch ein größeres Maß an Variabilität werden zwar mehrere verschiedene Prozesse ermöglicht, zugleich erhöht sich aber auch die Wahrscheinlichkeit, dass einige der Prozesse von der Optimallösung abweichen. Demzufolge besteht das Risiko, dass Transporte und Bearbeitungsvorgänge länger dauern und zu späteren Auslieferungen führen. Aufgrund dessen ist es notwendig, Prozesse und Strukturen zu standardisieren. Nur durch eine beherrschbare und vorausschaubare Variabilität bleibt die notwendige Transparenz erhalten, mit

welcher der Komplexität begegnet werden kann. Autonome Prozesse lassen sich nur dann implementieren, wenn Steuerungsregeln in Form von richtigen Lösungen und Referenzprozessen bestehen. Im Konkreten bedeutet dies z. B. die „Kategorisierung und Systematisierung von Modelltypen, den Aufbau von Klassifikationskonzepten und [...] die Rekonfigurierbarkeit von Produktionssystemen“ [Busch et al. 2014]. Die Grundlage hierfür stellen die in Kapitel beschriebenen CPS dar, durch welche die zu berücksichtigenden Systeme selbständig Informationen austauschen und Entscheidungen treffen sollen. Elementar ist in diesem Zusammenhang die Integration aller beteiligten Ressourcen und Systeme. CPPS sollen in einem dynamischen Umfeld den Anforderungen der steigenden Flexibilität sowie Effizienz gerecht werden. Der Begriff beschreibt ein Maß für die Anpassungsmöglichkeiten an geänderte Bedingungen. Das Ziel sind individuelle, reaktionsschnelle und umweltfreundliche Lösungen, die jedoch eine standardisierte Wertschöpfungskette erfordern [Busch et al. 2014; wirtschaftslexikon 24 2016]. Beispiele für Objekte, die mit CPS ausgestattet werden können sind Behälter, Materialien, Produkte und Anlagen [Ganschar et al. 2013]. Da das Produkt Informationen tragen soll und dadurch in Zukunft selbst Bestandteil des PLM-Systems sein könnte, wird auch dem Product-Lifecycle-Management (PLM) ein höherer Stellenwert zugeschrieben. Hieraus ergibt sich die Grundlage für eine bessere Abstimmung von Produktentwicklung und Produktion, die zum Ziel hat, der wachsenden Dynamik von Produkt- und Prozessanläufen zu begegnen [Ganschar et al. 2013]. Nach der VDI-Richtlinie 02 umfasst das PLM die Verwaltung und Steuerung aller Produktdaten des kompletten Lebenszyklus. In einem integrierten PLM wird Zugriff auf alle im Lebenszyklus entstehenden Produkt- und Prozessdaten gewährt. Nach den Liebensteiner Thesen des sendler/circle IT-Forums sind auch Schnittstellen zu ERP-, SCM- und CRM-Systemen Bestandteil eines PLM-Konzeptes [Schmidt 2010].

Darüber hinaus sind das adaptive Szenariomanagement sowie der Warehouse Service Broker aktuelle Ansätze, die den Aspekt der Prozessvariabilität berücksichtigen. Das selbstkonfigurierte WMS der PSI Logistics GmbH ermöglicht basierend auf Kennzahlen und festgelegten Zeitpunkten autonom den Wechsel in das richtige Szenario. Zudem können über den sogenannten Warehouse Service Broker, welcher als Zwischenebene unter dem ERP-System vorgesehen ist, die WMS mehrerer Standorte koordiniert und gesteuert werden. Hierbei lassen sich Herstellerunabhängig Softwarelösungen integrieren. Prestifilippo [2016] geht davon aus, dass es sich bei den beschriebenen Ansätzen um die ersten realisierten Bausteine für die künftigen Anforderungen der Industrie 4.0 handelt.

Weitergehende Ansätze setzen zudem voraus, dass ein Strukturwandel hinsichtlich der hierarchisch organisierten Logistikprozesse in konzentrierten Systemen wie z. B. dem ERP-System erfolgen muss. Demnach sind intelligente, verteilte Strukturbausteine für einen autonomen Waren- und Informationsfluss zu implementieren [Herzog und Schildhauer 2009]. Die Konsequenz der hierbei entstehenden hochkomplexen und dynamischen Wertschöpfungsnetzwerke ist eine Überforderung der hierarchischen Automatisierungspyramide. Industrie 4.0 zielt darauf ab, dieses zentrale Steuerungskonzept durch hierarchielose Kommunikationsstrukturen in Form von dezentral organisierten Unternehmensnetzwerken abzulösen. Organisatorisch stellt sich dabei die Frage, wie diese intelligente, selbstorganisierte Produktion gestaltet werden kann. Eine grundlegende Voraussetzung sind Werkzeuge für die Analyse der enormen Datenmengen und eine virtuelle

Plattform, die den Datenaustausch in Echtzeit ermöglicht. Demnach ist für die Entwicklung neuer Geschäftsmodelle das in Abschnitt 2.2 beschriebene Cloud Computing auch unter organisatorischen Gesichtspunkten elementar für die Umsetzung der Industrie 4.0 [Kleinemeier 2014].

2.4 Potenziale, Ziele und Einflüsse der Industrie 4.0

Die digitale Transformation geht mit der Integration und Implementierung digitaler Technologien in der Unternehmenswelt einher. Dadurch wird die Vernetzung von digitaler und realer Welt ermöglicht. Mit der angestrebten dynamischen Geschäftsprozessgestaltung besteht außerdem die Zielstellung, den Datenaustausch mit Kunden und Lieferanten zu beschleunigen und dadurch eine Echtzeitkommunikation zu erzielen. In der Folge werden Reaktions- sowie Entwicklungszeiten verkürzt und Unternehmen in die Lage versetzt, kundenindividuelle Sonderanfertigungen zu produzieren. Daraus resultiert eine geringere Distanz zwischen Angebot und Nachfrage [Roth 2016a]. Infolge der angestrebten Steigerungen der Ressourceneffektivität sowie durch umfangreiche Simulationsmöglichkeiten soll die Produktivität erhöht werden. Eine der Zielstellungen ist die Erweiterung der Geschäftsmodelle, wodurch Leistungsprofile zukünftig nicht nur Produkte, sondern ganze Lösungen umfassen könnten. Hierbei ist anzumerken, dass eine sichere Vernetzung der Systeme eine Herausforderung darstellt, da Gefahren wie z. B. Produktionsstillstände infolge von Informationslücken oder fehlerhaften Informationen zu vermeiden sind [Ganschar et al. 2013]. Insgesamt soll Industrie 4.0 folgende Herausforderungen bewältigen:

- Wachsende Flexibilisierungsanforderungen der Absatzmärkte
- Individualisierung der Produkte
- Kürzere Produktlebenszyklen
- Steigende Prozess- und Produktkomplexität [Hirsch-Kreinsen 2014]

Vor dem Hintergrund dieser Herausforderungen ist zu beachten, dass entgegen dem Ansatz der geforderten dezentralen Planung, deterministische, zentrale Planungstools dazu gedacht sind, einen optimierten Produktionsplan im Voraus zu berechnen. Als Beispiel ist hierfür das ERP-System anzuführen. Aufgaben von Produktionsressourcen werden dabei zentral festgelegt und exakt terminiert. Eine erfolgreiche Durchführung dieser zentralen Planung lässt jedoch bereits heute nur selten nachweisen. Da zukünftig von einer zunehmenden Volatilität ausgegangen wird, sollen alternativ dezentrale Steuerungen Aufgaben und Auftragsreihenfolgen lokal optimieren, wodurch die Vorausplanungen optimierter Prozessabläufe an Bedeutung verlieren werden. Stattdessen sind situativ spezifische Randbedingungen zu berücksichtigen und Reaktionsmöglichkeiten auf sich wandelnde Anforderungen zu schaffen [Ganschar et al. 2013].

Im Rahmen der Industrie 4.0 ist davon auszugehen, dass eine Wende hinsichtlich der Produktionsfaktoren notwendig wird. Diese bezieht sich auf die Bereiche Personal, Energie und Kapital. So sind demographische Veränderungen, der Fachkräftemangel, die Umstellung auf regenerative Energien sowie eine Überdachung der unternehmerischen und volkswirtschaftlichen Finanzierungsansätze ausschlaggebend. Den Enabler hierfür stellt die Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) dar, durch die bereits jetzt eine Vielzahl an Innovationen entstanden ist und auch langfristig entstehen wird [Bauernhansl 2014]. Diesbezüglich geht Russwurm [2013] von einer umfassenden Automatisierung aus.

Das Ziel einer nachhaltigen und wettbewerbsfähigen Gestaltung von Produktionssystemen durch technik- oder humanzentrierte Paradigmen ist laut Busch et al. [2014] in der Vergangenheit verfehlt worden. Ihrer Meinung nach sind es vielmehr die organisationszentrierten Ansätze, welche Verbesserungen erzielen können. Aufgrund dessen ist die langfristige Realisierung der Industrie 4.0 von deren Verankerung innerhalb der Organisation von den Unternehmen abhängig. Dies impliziert, dass die Anpassung humaner sowie technischer Aspekte an die organisatorische Ausgestaltung der Strukturen und Prozesse notwendig wird. Ebenfalls von Bedeutung wird die Anpassung der Arbeit an den Menschen sein und damit einhergehend eine Automatisierung der Handhabungs-, Transport und Bearbeitungsaufgaben. Um hierbei Effizienz zu erreichen, ist eine dialogbasierte Kooperation von Mensch und Technik anzustreben [Busch et al. 2014]. Elementar dafür sind die in Abschnitt 2.2 beschriebenen Assistenzsysteme. Insgesamt werden sich Arbeitsinhalte, -prozesse und -umgebungen mit der Echtzeitsteuerung verändern und neue Wege der Kommunikation und Interaktion erfordern. Daraus resultiert ein Bedarf nach Lernszenarien, Rollen- und Teamentwicklungs-Prozessen. Aufgrund des demografischen Wandels sind neue Beschäftigungsmodelle und situationsgerechte Unterstützungen der Beschäftigten gefordert. Insbesondere ist der Umgang mit Technologien und Kooperationsformen zu schulen [Jeschke et al. 2015]. Infolge der ausgeprägten funktionalen und informationellen Distanz wird die Kontrollfunktion des Menschen in der Produktion in Frage gestellt werden. Es ist abzusehen, dass der Mensch den physischen Prozess im Shopfloor nicht mehr einschätzen kann, weshalb er im Fall eines Eingreifens unter Umständen als Störfaktor wirken wird. Daher ist es notwendig, dass die Systemauslegung Möglichkeiten zum Lernen und zum Erfahrungsaufbau bietet. Der Mitarbeiter soll ein Gespür für den Umgang mit komplexen Anlagen entwickeln und intuitiv richtig handeln. Die zukünftigen Aufgaben eines Fabrikmitarbeiters gehen zunehmend weg von operativen Arbeitsabläufen hin zu planerischen und abstimmenen Tätigkeiten. Daraus ergibt sich der Anspruch, den Produktionsprozess im Überblick zu behalten und das Zusammenwirken einzelner Abläufe zu verstehen [Hirsch-Kreinsen 2014]. Insbesondere die Datenanalyse, Prozesssimulation und -steuerung sind Bereiche, die zukünftig das Berufsbild der Logistiker prägen könnten [Falkenstein 2016]. Zudem stehen individuell zugeschnittene Arbeitsmodelle im Fokus, die den demographischen Wandel, Möglichkeiten der Arbeitsbereicherung sowie eine ausgeglichene Work-Life-Balance fokussieren [Roth 2016a]. Ebenfalls zu benennen sind im Hinblick auf die Entscheidungsunterstützung des Menschen Möglichkeiten, die SAP S/4HANA bietet, die in Abschnitt 2.2 beschrieben worden sind.

Infolge der vorangegangenen Ausführungen wird deutlich, dass die Industrie 4.0 viele Änderungen zur Folge haben soll, die zwar neue Problemstellungen mit sich bringen, aber auch große Hoffnungen in sich bergen. Das Potenzial zur Steigerung der Wirtschaftsleistung ist erkannt worden und zieht entsprechende politische und unternehmerische Maßnahmen nach sich. So werden weltweit Förderprogramme aufgesetzt, um den Industrieanteil am Bruttoinlandsprodukt auf mehr als 20% zu steigern. Auch von Seiten der Unternehmen wird ein großer Anteil in Software investiert. Beispielsweise umfasst das F&E-Budget von Siemens knapp 40% für den Softwareeinsatz. Damit entwickeln sich IT und Software zu den wichtigsten Wachstumstreibern in der Industrie [Russwurm 2013].

3 Warehouse-Management-Systeme

Nach den vorangegangenen Ausführungen zur Industrie 4.0 sollen in diesem Kapitel grundlegende Aspekte von Warehouse-Management-Systemen und im Besonderen von SAP EWM aufgezeigt werden. Hiermit wird das zweite zentrale Themenfeld behandelt, welches als Grundlage für die spätere Analyse herangezogen wird. In diesem Zusammenhang werden wesentliche Charakteristika von zentralen WMS und im Besonderen des SAP EWM-Systems aufgezeigt.

3.1 Bedeutung von Warehouse-Management-Systemen für die Logistik

Aufgrund der großen Bedeutung von WMS für die Logistik sollen an dieser Stelle wesentliche Grundlagen der Logistik aufgezeigt und eine Einordnung der WMS vorgenommen werden. Zudem sind das WMS vom LVS abzugrenzen und wesentliche Charakteristika heutiger WMS herauszustellen.

Als Querschnittsfunktion übernimmt die Logistik eine Vielzahl an Aufgaben und bewegt sich im Spannungsfeld von Leistung, Qualität und Kosten [Gleißner und Femerling 2008]. Das Logistikverständnis hat sich im Laufe der Zeit von einer relativ physischen Aufgabenstellung zu einer managementorientierten Sicht entwickelt. Daraus entwickelte sich die Idee integrierter Wertschöpfungsketten, weshalb heutzutage häufig der Begriff des Supply Chain Managements (SCM) im Zusammenhang mit logistischen Anforderungen verwendet wird. Eine einheitliche Definition für die Logistik existiert nicht, weshalb an dieser Stelle ein gemeinsames Begriffsverständnis für die vorliegende Arbeit geschaffen werden soll. Demnach wird unter Logistik „eine unternehmerische Funktion verstanden, die alle Transport-, Lager- und Umschlagvorgänge in einem Unternehmen und zwischen den Unternehmen plant, steuert, realisiert und überwacht“ [Koch 2012]. Hieraus ergibt sich die Raum-Zeit-Transformationsfunktion der Logistik [Koch 2012]. Als zentrale Aufgabenstellung lassen sich die „vier bis sieben R’s“ anführen:

- das richtige Produkt
- in der richtigen Menge
- in der richtigen Qualität
- am richtigen Ort
- zur richtigen Zeit
- zu den richtigen Kosten
- für den richtigen Kunden

[Gleißner und Femerling 2008; Koch 2012; Burchert et al. 2000]

Der Begriff „richtig“ beschreibt in diesem Zusammenhang die Erfüllung der Erwartungen des Kunden [Schmidt und ten Hompel 2010].

Als Zielsetzung logistischer Aktivitäten gilt die Optimierung der Logistikleistung und der –kosten. Dabei umfasst die Logistikleistung die Lieferzeit, –zuverlässigkeit, –flexibilität, –qualität und Informationsfähigkeit. Die Logistikkosten beziehen sich hingegen nach Burchert et al. [2000] auf

Steuerungs-, System-, Bestands-, Lager-, Transport- und Handhabungskosten. Darüber hinaus gibt es eine Vielzahl an Einzelzielen, die für die Bereiche Beschaffung, Produktion und Absatz gelten können. Hinzugekommen ist außerdem die Entsorgung, um welche die Grundfunktionen und damit auch die Einzelziele ergänzt worden sind. Ebenfalls Einfluss haben übergeordnete Unternehmensziele. Differenziert werden können die Logistikziele hinsichtlich ihrer strategischen und operativen Ausrichtung [Koch 2012; Heiserich et al. 2011]. Die Logistik ist geprägt von einem Zielkonflikt hinsichtlich der Prozess- bzw. Ressourceneffizienz. Gutenberg formulierte diese Problematik als das Dilemma der Ablaufplanung. Demnach sind die Durchlaufzeiten bei der Herstellung zu minimieren, wohingegen die Kapazitätsauslastung maximiert werden soll [Burchert et al. 2000].

Bereits in den 90er Jahren ist die Logistik als Differenzierungsmerkmal erkannt worden, mit dem Vorteile im Rahmen eines zunehmenden Wettbewerbes erzielt werden können [Koch 2012]. Zunächst als Rationalisierungsinstrument aufgefasst, veränderte sich die Logistik zunehmend in ein Wettbewerbsinstrument, welches vor allem hinsichtlich der Planung, Steuerung und Kontrolle des Güterflusses in den Mittelpunkt rückte [Burchert et al. 2000]. Dabei geht es nicht nur um den innerbetrieblichen Fluss, sondern auch um die Waren- und Informationsflüsse zu Kunden und Lieferanten [Burchert et al. 2000]. Als Zwischenstufen der benannten Warenflüsse werden Läger eingesetzt, die nach Roth [2016b] folgende Funktionen haben können:

- Sicherungsfunktion für den Fall von Bedarfsschwankungen
- Ausgleichsfunktion im Hinblick auf Angebot und Nachfrage
- Spekulationsfunktion zur Erzielung von Preisvorteilen
- Veredelungsfunktion zur Erhöhung der Produktqualität durch die Lagerung
- Assortierungsfunktion zur Bildung eines Sortiments aus einzelnen Produkten

Die Organisation des Lagers entwickelt sich zunehmend weg von der klassischen Lagerverwaltung hin zum sogenannten Warehouse Management. Für die Steuerung werden dementsprechend WMS eingesetzt. In diesem Zusammenhang ist eine Abgrenzung zu dem Begriff des LVS vorzunehmen, welches Mengen und Orte sowie deren Beziehungen zueinander verwaltet. Eine weitere Funktionalität des LVS kann die Verwaltung von Transportsystemen sein. Im engeren Sinne werden LVS als Systeme zur Lagerbestandsverwaltung verstanden, wohingegen mit WMS übergreifende Verwaltungs- und Managementfunktionen wahrgenommen werden [Schmidt und ten Hompel 2010]. Im Speziellen bezeichnen WMS „die Steuerung, Kontrolle und Optimierung von Lager- und Distributionssystemen mit einer Lagerverwaltung (u.a. Mengen- und Lagerplatzverwaltung sowie Fördermittelsteuerung und –Disposition), mit umfangreichen Methoden und Mitteln zur Kontrolle der Systemzustände und mit einer Auswahl an Betriebs- und Optimierungsstrategien“ [VDI 3601].

Führt ein Unternehmen ein WMS ein, werden im Rahmen der Systemführung eine einmalige Systemgestaltung und –implementierung durchgeführt, um während des Betriebs kontinuierlich Dispositionsaufgaben zu erfüllen. Aufgrund der hohen Komplexität von Lager- und Distributionssystemen ist ein rechnergestütztes Managementsystem notwendig. Für den Anwender ist jedoch aufgrund der Vielfalt an Funktionalitäten eines solchen Systems und dessen innerer Komplexität die rechnergestützte Erfassung schwer nachzuvollziehen. Daher ist es erforderlich, dass

anforderungsgerechte Systeme identifizierbar und anpassbar sind. Der Basisprozess im Lager umfasst die Kernschritte empfangen, lagern, entnehmen und versenden. Dadurch, dass im Unternehmensumfeld auch äußere Einflüsse sowie Zeit-, Qualitäts- und Kostenansprüche zu berücksichtigen sind, entsteht jedoch häufig ein komplexer Prozess [Schmidt und ten Hompel 2010].

Im Allgemeinen sollen WMS dazu dienen, die Komplexität zu bewältigen und folgende Ziele zu erreichen:

- Erhöhung des zeitlichen Reaktionsvermögens
- Erhöhung der logistischen Leistungsfähigkeit der Warenverteilssysteme
- Minimierung der Bestände
- Optimierung der Kosten
- Sicherheit des Führungs- und Kontrollsystems
- Präzises Datenhandling

Die Grundlage hierfür ist das Vertrauen in das verwendete Führungs- und Kontrollsystem, welches durch Transparenz Akzeptanz schafft und eine kontinuierliche Systemoptimierung ermöglicht. Ebenfalls relevant sind eine schnelle Ortsbestimmung der Waren sowie Schnittstellen zu übergeordneten Systemen. Dadurch werden ein Informationsaustausch sowie ein angepasstes Verhalten berücksichtigt [Schmidt und ten Hompel 2010].

Das Lager spielt heutzutage eine zentrale Rolle für den Unternehmenserfolg und dient als Zwischenglied einzelner Mitglieder einer Wertschöpfungskette. Sowohl Kosten als auch Services hängen entscheidend von den Eigenschaften und Kenngrößen eines Lagers ab. Das Ziel einer effizienten Wertschöpfungskette ist in der Vergangenheit durch eine zentrale Produktion und Lagerverwaltung verfolgt worden. Die Komplexität innerhalb eines Lagers ist jedoch insbesondere im Hinblick auf die internen logistischen Prozesse gewachsen. Vor dem Hintergrund heutiger Herausforderungen stellt sich die Frage, wie das Lager als hoch komplexes Planungs- und Steuerungsobjekt zukünftig organisiert werden kann [de Koster et al. 2013].

In diesem Zusammenhang ist auf die Organisationstheorie zu verweisen. Hierbei werden mit der Komplexität und der Dynamik zwei grundsätzliche Dimensionen der Unsicherheit unterschieden. Die Treiber für die Komplexität sind im Zusammenhang mit WMS die Anzahl unterschiedlicher Produkte, die Anzahl sowie die Variabilität der Prozesse und die Anzahl der Aufträge pro Tag innerhalb eines Lagers. Die umweltbedingte Dynamik steht hingegen in direktem Zusammenhang mit der Veränderungsrate, technologischen Innovationen sowie der Unvorhersehbarkeit von Aktionen der Kunden und Wettbewerber [de Koster et al. 2013].

Sofern die oben genannten 4 bis 7 R's als grundlegende Zielstellung für die Wertschöpfungskette festgelegt werden, hat das Lager einen signifikanten Einfluss auf die Erreichung dieser Zielstellung. Wesentliche Aufgaben des Lagers sind u.a. die Kommissionierung, die Verpackung sowie die Zuordnung zu einer Transporteinheit. Nur wenn diese Aufgaben „richtig“ umgesetzt werden, kann die obige Zielstellung erreicht werden [Richards 2011].

3.2 Funktionen eines Warehouse-Management-Systems

WMS gehören zur Gruppe der strategischen Steuerungssysteme, sodass sie planerische und dispositive Aufgaben in Produktion und Logistik übernehmen [Feldhorst und Libert 2010].

Abb. 1 veranschaulicht die Grundelemente von WMS und stellt ihren Bezug zu den Funktionen im Lager dar. Demnach setzt das WMS bereits bei der Auftragserfassung und -verarbeitung des Kundenauftrags an und begleitet den Prozess von der Warenannahme über den Wareneingang und verschiedene Stufen der Lagerung bis hin zur Verpackung und dem Versand der Waren. Hierbei stellen u.a. der innerbetriebliche Transport, die Mengen- und Platzverwaltung sowie die Auftragsverwaltung und -kommissionierung wichtige Eckpunkte im WMS dar.

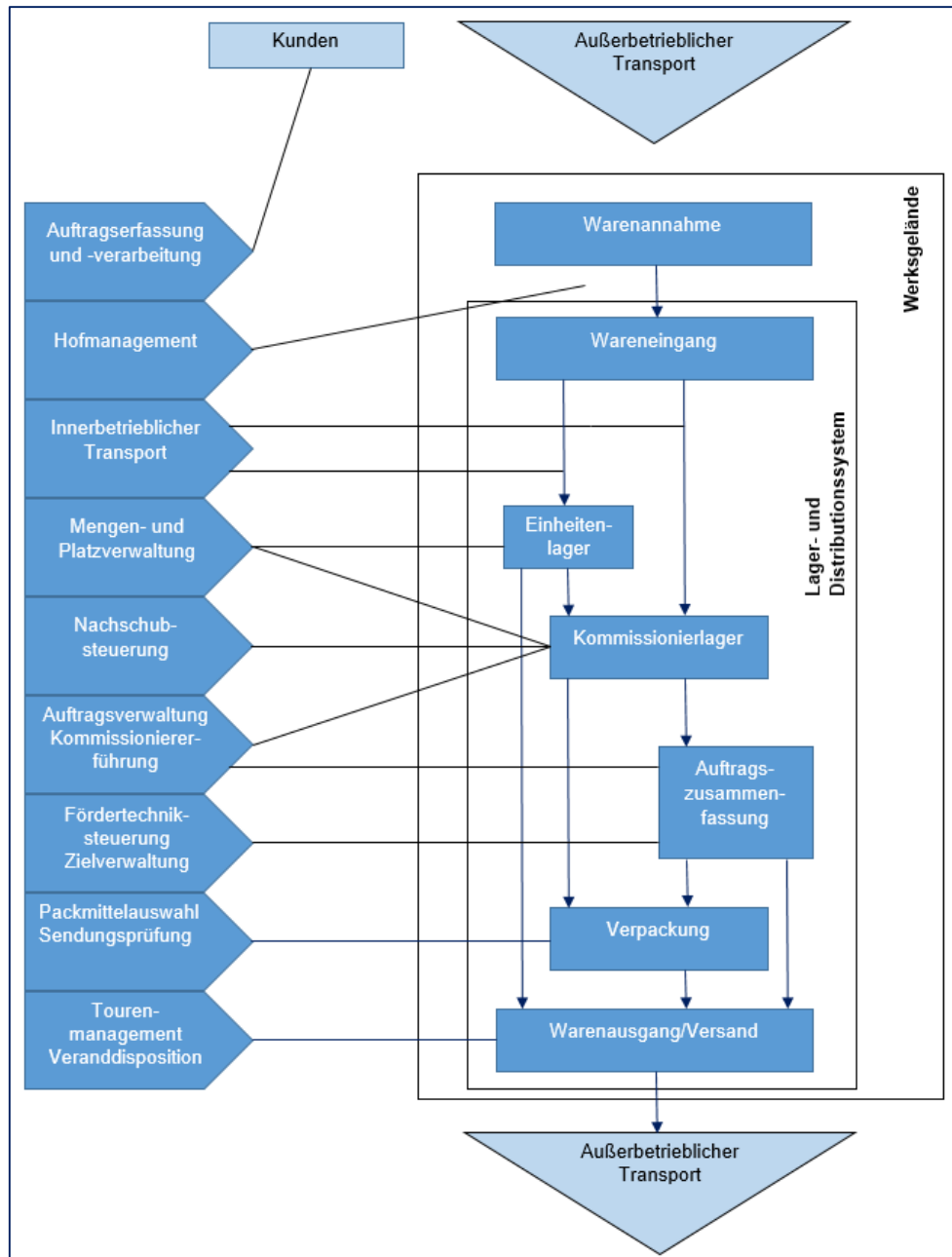


Abb. 1: Grundelement von Warehouse-Management-Systemen in Bezug auf Lagerfunktionen [Schmidt und ten Hompel 2010]

Der folgende Abschnitt dient einer genaueren Beschreibung der einzelnen Lagerfunktionen und ihrer Abbildung im WMS. Zusätzlich soll aufgezeigt werden, welche wichtigen Schnittstellen zu anderen Systemen bestehen, durch die erweiterte WMS-Funktionen genutzt werden können.

Anzumerken ist an dieser Stelle, dass Lagertypen in Abhängigkeit der jeweiligen Produktart sehr verschieden sein können. Läger für Produkte unterschiedlicher Bearbeitungsstadien unterscheiden sich ebenso wie z. B. Konsolidierungs- und Transitläger hinsichtlich ihrer Anforderungen und Eigenschaften [Richards 2011]. Trotz der verschiedenen Realisierungsformen von Lägern können einige Standardabläufe identifiziert werden, die in jedem größeren Lagersystem vorzufinden sind und dementsprechend im WMS abgebildet werden. Als Voraussetzung für die im späteren Verlauf erläuterten Abläufe wird zunächst auf die Auftragsbearbeitung eingegangen, welche in Abb. 1 den Beginn der nachfolgenden Lagerprozesse kennzeichnet. Charakteristisch für die Auftragsbearbeitung ist die Erfassung von Kundenbestellungen, welche ebenso wie die Bestellungen bei Lieferanten in der Regel über Enterprise Resource Planning (ERP)-Systeme abgewickelt werden. Bei diesen handelt es sich um „integrierte betriebswirtschaftliche Standardanwendungssoftware-Pakete, die nahezu alle Aufgabenbereiche und Prozesse innerhalb des Unternehmens unterstützen [...]“ [Mülder und Abts 2004]. ERP-Systeme unterliegen dem Anspruch, über Schnittstellen mit der IT-Landschaft des Unternehmens zu kommunizieren [Grobmann 2008]. Aufgrund dessen ist der Informationsaustausch mit dem WMS möglich, sodass Bestellungen direkt an das WMS übermittelt werden können [Mulcahy und Sydow 2008]. Dadurch wird die Grundlage für die im Folgenden beschriebenen Standardabläufe gelegt.

Die Warenannahme ist entsprechend der Abb. 1 der erste Prozessschritt auf dem Werksgelände. Hierbei werden das Lieferavis, also die Ankündigung des Wareneingangs, mit der Bestellung abgeglichen und die Daten in das bestandsführende System übernommen. Für den Fall eines größeren Systems, bei dem Verkehrs- und Zielführungen für LKWs notwendig werden, erfolgt eine Trennung von Wareneingang (WE) und Warenannahme. Hierfür kann innerhalb eines WMS das Hofmanagement aktiviert werden, welches die Effizienz des Verkehrsflusses erhöht [Schmidt und ten Hompel 2010]. Der Vorteil besteht darin, dass Bestände bereits bei Ankunft des Lkws im Lager bekannt sind [Bauer et al. 2013]. Die Ankündigung des WEs im Lager kann entweder über die Advanced Shipping Notification (ASN) oder auf Basis von Bestellungen und Produktionsaufträgen erfolgen. Voraussetzung für die Übertragung der ASN vom ERP an das WMS ist die Übermittlung der Anlieferdaten über Electronic Data Interchange (EDI) durch den Lieferanten [Bauer et al. 2013]. Hierbei handelt es sich um den elektronischen und zum Teil automatisierten Datenaustausch zwischen und innerhalb von Unternehmen [Siepermann 2016].

Für den nachfolgenden Wareneingang ist z. B. die Planung und Reservierung von Pufferflächen, die Auswahl der Annahmestellen sowie der Ausdruck firmeninterner Labels zu Identifikationszwecken notwendig. Die Waren treffen in der Wareneingangszone ein, bevor sie in den Bereich des frei verfügbaren Bestandes für nachfolgende Prozessschritte gelangen [Mulcahy und Sydow 2008]. In SAP EWM spiegeln sich diese beiden grundlegenden Bereiche z. B. in den zu definierenden Lagerorten Available for Sale (AFS) und Received on Dock (ROD) wider, welche jedoch kundenindividuell gepflegt und benannt werden können.

Bevor die Umlagerung zwischen diesen Bereichen erfolgen kann, ist die Wareneingangsprüfung durchzuführen. Hierbei handelt es sich um einen Abgleich der bestellten und eingehenden Ware hinsichtlich der Art und Menge. Zusätzlich kann eine physische Prüfung veranlasst werden, die insbesondere die Beschaffenheit der Güter kontrolliert. Mangelhafte Ware erhält ein Sperrkennzeichen und wird auf einen separaten Bereich verbracht [Hoppe und Käber 2007]. Eine solche

Warenbewegung ist im WMS ersichtlich. Darüber hinaus kann für den Fall neuer Artikel die Vervollständigung der Artikelstammdaten notwendig sein. Liegen hinsichtlich bestimmter Produkte besondere Ansprüche vor, wie z. B. die Erfassung des Mindesthaltbarkeitsdatums (MHD) oder die Bestimmung von Seriennummern, ist dies im WMS möglich. Serien- bzw. Serialnummern dienen der individuellen Identifikation von Produkten und werden durch das WMS vergeben. Sie können über den gesamten Produktlebenszyklus verfolgt werden und schaffen durch die individuelle Nachvollziehbarkeit von Warenbewegungen Transparenz [Eigner und Stelzer 2009]. Ebenfalls berücksichtigt werden Ausnahmestände für die Lagerverwaltung. Sollte z. B. das Volumen der einzulagernden Menge deutlich größer als das Lagerplatzvolumen sein, werden im Sinne eines hohen Lagernutzungsgrades u. U. Mischpaletten gebildet. Daran anschließend findet in der Regel die Einlagerung statt. Sie beginnt mit der Prüfung, ob Aufträge, die sich bereits im Warenausgang (WA) befinden mit den im WE befindlichen Gütern aufgefüllt werden müssen. Die dafür notwendigen Informationen werden aus dem WMS gewonnen. Andernfalls werden die Güter in das Lager gebracht. An dieser Stelle greift das LVS bzw. das WMS durch die Festlegung der Transportziele. Besteht in komplexen Systemen keine Transparenz hinsichtlich der Lokalisation eines Produktes oder eines LTs, führt dies zu physischen Suchvorgängen und damit ineffizienten Prozessabläufen. Daher können für eine lückenlose Dokumentation auch Fördermittel als virtuelle Lagerorte verwaltet werden [Schmidt und ten Hompel 2010]. Infolgedessen können einzelne Einheiten über Tracking und Tracing durchgängig geortet werden. Zum Tragen kommen dabei Identifikationspunkte (I-Punkte), welche der Identifikation von Lagereinheiten und der Informationsübermittlung an das WMS dienen. Hierdurch können z. B. Materialanforderungen getätigt oder Zeiten erfasst werden. I-Punkte ermöglichen somit die Synchronisation des Material- und Informationsflusses [Arnold und Furmans 2009].

Des Weiteren ist als entscheidende Aufgabe im Rahmen der Lagerverwaltung die Lagerplatzvergabe zu nennen. Sie ist von technischen Anforderungen, betrieblichen Optimierungen sowie sicherheitstechnischen und rechtlichen Vorgaben abhängig. Im Gegensatz zu automatisierten Lagern erfordern manuelle Lager bei der Einlagerung eine Verifikation des Lagerplatzes durch den Bediener. Eine solche Verifikation kann im WMS nachvollzogen werden [Schmidt und ten Hompel 2010]. Für die Datenübertragung können die in Abschnitt 3.3 beschriebenen Technologien verwendet werden.

Die lagerinternen Prozesse können automatisch über das WMS, auf Basis der im Customizing definierten Von- und Nach-Lagerplätze, gesteuert werden. Die Nachschubsteuerung wird hierbei manuell oder automatisch angestoßen. Hierzu können im WMS z.B. Mindest- und Maximalmengen eingestellt werden. Bei Unterschreitung der Mindestmenge wird ein Nachschub ausgelöst, der den Bestand auffüllt, aber die Maximalmenge des Lagerplatzes nicht überschreitet [Mulcahy und Sydow 2008].

Eine der Hauptaufgaben eines WMS ist, wie in Abschnitt 3.1 beschrieben, die Mengen- und Platzverwaltung. Dabei können verschiedene Arten der Lagerplatzverwaltung wie z. B. die chaotische Lagerführung ohne Ortsgebundenheit der Artikel oder die feste Lagerplatzanordnung mit festen Lagerplatzzuordnungen für einzelne Artikel unterschieden werden. Im Rahmen der Mengenver-

waltung, welche als Synonym für die Bestandsführung verwendet wird, werden die Warenbewegungen systematisch registriert und im LVS bzw. WMS fortgeschrieben [Hoppe und Käber 2007].

Befindet sich im Anschluss an die Einlagerung ein Produkt auf einem Lagerplatz, ist es bereit für die Auslagerung. Diese beginnt mit einer systemseitigen Prüfung auf die Realisierbarkeit der Aufträge. Im Fall einer positiven Prüfung, werden die auszulagernden Mengen und Lagereinheiten im WMS reserviert. In Abhängigkeit der jeweiligen Zielvorgaben werden Auslagerungsstrategien festgelegt, die bei der Disposition angewandt werden. Beispiele hierfür sind First-In-First-Out (FIFO) oder Last-In-First-Out (LIFO) [Hoppe und Käber 2007]. Die Bedeutung der Regeln ist im Glossar beschrieben. Die anschließende Kommissionierung dient der kundengerechten Zusammenstellung mehrerer Artikel für einen Kundenauftrag. Da technische Gewerke, Ablauf- und Organisationsstrukturen sowie das Informationsmanagement eng miteinander verflochten sind, geht mit der Kommissionierung eine komplexe Aufgabe einher, die eine systematische Vorgehensweise für die Planung und Organisation erfordert [Schmidt und ten Hompel 2010]. Einige Methoden zur Kommissionierung werden in Kap. 3.3 erläutert. Das LVS bzw. WMS überwacht dabei durchgängig die Auslagerung und gibt eine Rückmeldung über die Ausführung. In der Folge wird der Lagerplatz freigegeben, der Bestand fortgeschrieben und die Reservierung gelöscht. Die betreffende Ladeinheit wird somit auf den nachfolgenden Empfänger oder das Transportmittel verbucht [Schmidt und ten Hompel 2010].

Des Weiteren ermöglichen WMS die Priorisierung von Lageraktivitäten. Hiervon ist die Anlage der Lageraufgaben (LB) betroffen, die für verschiedene Warenbewegungen wie z. B. Umlagerungen benötigt wird. Darüber hinaus ist das WMS in der Lage, Wellen zu bilden, welche der Gruppierung von Lageranforderungspositionen dienen. Hierdurch können Termine und Auslastungsaspekte berücksichtigt werden, um die anstehende Arbeit in Form von LBs einzusteuern. Die verschiedenen LBs werden zu geeigneten Arbeitspaketen gebündelt, sodass Lageraufträge (LA) entstehen [Mulcahy und Sydow 2008]. Für eine automatische Zuordnung von Positionen zu Wellen und eine Zuweisung wellenspezifischer Parameter eignet sich die Verwendung einer Wellenvorlage, die z. B. zu bestimmten Zeitpunkten regelmäßig startet [Hoppe und Käber 2007].

Ebenfalls charakteristisch für WMS sind Konsolidierungspunkte, die der Überprüfung von Soll- und Ist-Daten dienen. Dadurch kann der Material- und Informationsfluss abgeglichen werden. In diesem Zusammenhang kann der Auftragsstatus aktualisiert und das Transportziel bestimmt werden. Erreicht ein Produkt bzw. ein LT sein Transportziel und soll dort verpackt werden, besteht die Möglichkeit, spezielle Packvorschriften vorzuschlagen. Die hier hinterlegten Informationen über das Packmittel können z. B. über RF-Geräte abgerufen werden [Mulcahy und Sydow 2008]. In der Regel erfolgt die Verpackung vor dem Versand, dessen hauptsächliche Aufgaben die auftragsgerechte Zusammenstellung der Versandeinheiten und die Verladung der Waren in ein Transportmittel sind. Des Weiteren sind Kontroll- und Organisationsfunktionen häufige Tätigkeitsbereiche an den Packarbeitsplätzen. Beispiele hierfür sind die Bestimmung der optimalen Versandart oder die Tourenplanung. Im Anschluss daran erfolgt die Verladung, welche die Erstellung der Transport- und Versandpapiere und eine Scannung der Versandeinheiten beinhaltet. Der Auftragsabschluss wird an dieser Stelle quittiert und dadurch an das Auftragsmanagement

rückgemeldet [Hoppe und Käber 2007]. An dieser Stelle endet der lagerinterne Prozess. Die Versandeinheiten verlassen das Werksgelände und werden außerbetrieblich zum nächsten Transportziel befördert.

Vor dem Hintergrund der beschriebenen Abläufe im Lager gilt es, einen möglichst optimalen Lagerbetrieb zu erreichen. Hierfür sind alle Kundenaufträge pünktlich und vollständig am WA bereitzustellen. Dies ist mit dem geringstmöglichen Zeit- und Ressourcenaufwand zu erbringen, wobei die Auftragsdisposition eines WMS zur Unterstützung verwendet werden kann. Sie zielt darauf ab, alle Warenbewegungen Ressourcen zuzuordnen und dabei die Zeitpunkte und Reihenfolgen der Auftragsbearbeitung festzulegen [Schmidt und ten Hompel 2010].

Werden dabei automatisierte Läger verwendet, wird eine Lager- und Fördertechnik benötigt, durch die prozessual die richtige Reihenfolge erzielt wird. Zudem sind LAs automatisch zu generieren, damit die Fördertechnik kontinuierlich arbeiten kann. Aufgrund der großen Anzahl z. B. von Artikeln oder Lagereinheiten, die sich in einem Lager befinden können, werden sowohl in automatisierten als auch in manuellen Lägern eine Massenpflege und eine Gruppierungsfunktion bei WMS vorausgesetzt [Schmidt und ten Hompel 2010]. In diesem Zusammenhang ist die Bedeutung von Stammdaten hervorzuheben. Hierbei handelt es sich um statische Einheiten, welche sich über einen längeren Zeitraum nicht verändern und grundlegende Informationen wie z. B. Geschäftspartner oder Konditionen enthalten. Entgegen der Bewegungsdaten verändern sich Stammdaten nicht während einer betrieblichen Transaktion, sondern fließen in Belege ein. Die Erzeugung der erwähnten Bewegungsdaten erfolgt aus dem physischen Lagerprozess [Gebauer et al. 2015]. Darüber hinaus existieren Bestandsdaten, die Auskunft über bereitgehaltene Mengen in einem Lager geben. Sowohl die Bestands- als auch die Stamm- und Bewegungsdaten sind elementar für einen reibungslosen Ablauf der lagerinternen Prozesse und haben damit unmittelbaren Einfluss auf die Lieferfähigkeit und eine angemessene Dimensionierung des Lagers. Daher ist die Aktualität der Daten durchgängig zu wahren [Schmidt und ten Hompel 2010].

Weitere Aufgaben, die durch das WMS unterstützt werden sind der Warenumschlag ohne Lagerung, auch Cross-Docking genannt [Mulcahy und Sydow 2008; Heidenblut und ten Hompel 2011] und die mengen- und wertmäßige Bestandsaufnahme im Rahmen der Inventur [Hoppe und Käber 2007]. Sollen darüberhinausgehend optimale Lagerorte für einzelne Produkte ermittelt werden, kann die Lagerreorganisation Abhilfe leisten. Hierdurch werden die Wege vom Lagerplatz zur Bereitstellungszone verkürzt. Ein Beispiel hierzu ist die Umlagerung aus dem Langsamdreher- in den Schnelldreherbereich, um darauf aufbauend die Kommissionierung effizienter gestalten zu können [Mulcahy und Sydow 2008].

Darüber hinaus schließt der Funktionsumfang von WMS verschiedene angrenzende Unternehmensbereiche ein und kann diverse Technologien anbinden. Zu nennen sind in diesem Zusammenhang:

- Cloud und Hosting Lösungen
- Systemsteuerungen
- Transport- und Verkehrsmanagement (Routenplanung, Telematik-Dienste, Transit Management, Kalkulation, Verladung, Integration von Transportsystemen)
- Unterstützung von logistischen Zusatzleistungen (z. B. Wärmebehandlung)
- Pick Management

- Dashboard (Ressourcen Management, Key Performance Indicators, Job- bzw. Auftragssteuerung)
- Video Dokumentationen
- Umfassende Integration anderer Anwendungen von diversen Firmen wie z. B. Microsoft
- Dock Management [Kunz 2014]

Diese Auflistung soll den breitgefächerten Funktionsumfang von WMS verdeutlichen. Einige der Funktionen werden noch einmal in den Abschnitten 3.3 und 3.5 aufgegriffen.

3.3 Eingesetzte Technologien innerhalb eines Lagers

Das WMS interagiert mit verschiedenen Technologien, um Daten der realen Welt zu erhalten. Daher sollen an dieser Stelle grundlegende Technologien, welche in der Fabrik häufig zum Einsatz kommen, erläutert werden.

Zu den gängigsten Technologien zählen insbesondere die Barcodescanner, welche für die einfache Produktidentifikation verwendet werden. Dabei erfolgt die Lesung des Barcodes durch die Erfassung der Hell-Dunkel-Unterschiede des Codes. Der Speicherplatz umfasst allerdings nur eine kleine Datenmenge. Ebenfalls Verwendung finden Data Matrix Codes, welche deutlich mehr Informationen abspeichern können. Sie sind ebenfalls durch helle und dunkle Stellen charakterisiert und werden über Bildsensoren dekodiert. Die Datenübertragung zwischen den Label-lesenden Systemen und dem WMS funktioniert über WLAN, general packet radio services (GPRS) oder Bluetooth. Da die genaue technische Funktionsweise keine Relevanz für die vorliegende Arbeit hat, wird sie an dieser Stelle nicht erläutert.

Neben den Barcodes und Data Matrix Codes ist die RFID-Technologie anzuführen, bei der der mögliche Speicherplatz um ein Vielfaches erhöht wird [Connolly 2008]. Weitere Vorteile ergeben sich daraus, dass bei der Lesung keine Sichtverbindung benötigt wird und durch die Anbringung der Tags am Produkt eine automatische Erfassung von Daten möglich ist. Der auf dem Tag gespeicherte elektronische Produktcode (EPC) zur Identifikation ist weltweit überschneidungsfrei. Aufgrund der parallelen Identifikation aller sich in der Nähe befindlichen Tags ergeben sich Vorteile gegenüber den oben benannten Technologien [Winter 2014]. Im Hinblick auf eine Agentenbasierte Steuerung kann neben den Identifikations- und Nutzungsdaten der gesamte Software-Agent gespeichert werden. Diese Form der RFID-Nutzung nennt sich Agent-on-tag [Kuzmany und Nettsträter 2010]. Durch den Software-Agenten können Entitäten mit Intelligenz ausgestattet werden, wodurch sie Aufgaben wahrnehmen, kommunizieren und Verhaltensstrategien umsetzen können [Chisu et al. 2010b].

Eine wesentliche Aufgabe innerhalb eines Lagers ist es, Lokationen z.B. im Rahmen der Kommissionierung zu finden. Dies kann über Listen, Geräte zur mobilen Datenerfassung (MDE), Pick-by-Voice und Pick-by-Light erfolgen [Connolly 2008]. Pick-by-Voice ist durch den Erhalt und die Bestätigung aller relevanten Informationen über Mikrofon und Headset möglich. Pick-by-Light kann mithilfe von Lichtsignalen an der Regalfrent angewendet werden [Beck et al. 2011]. Hierbei kann die Quittierung der LBs über verschiedene Transaktionen im System oder über mobile Geräte erfolgen. Letztere ermöglichen eine Rückmeldung in Echtzeit. MDE-Geräte

können eine systemgeführte Abarbeitung der Aufträge gewährleisten, durch welche Lageraufträge ressourcenspezifisch zugeordnet werden können [Bauer et al. 2013]. Darüber hinaus erhalten Anwendungen der in Abschnitt 2.2 bereits angerissenen AR zunehmend Beachtung. Hierdurch kann eine computergestützte Erweiterung der menschlichen Wahrnehmung mithilfe virtueller Objekte wie z. B. Smartglasses geschaffen werden. Relevante Informationen werden dabei in das Sichtfeld des Angestellten eingeblendet [Gorecky et al. 2014]. Für eine genaue Bestimmung der Lokation besteht die Möglichkeit, einen Local Positioning Radar (LPR) einzusetzen. Dieser kann dazu genutzt werden, zentimetergenau die Lage einzelner Produkte zu bestimmen [Connolly 2008].

Wird eine Materialflusssteuerung in das WMS integriert, ist die Speicherprogrammierbare Steuerung (SPS) zwingende Voraussetzung. Bei der SPS handelt es sich um ein untergelagertes Echtzeitsystem, welches steuernde Tätigkeiten des physischen Transportes von Handling Units (HU) auf Förderanlagen übernimmt. Dazu wertet die SPS Signale, z. B. die der Fördertechnik, aus und de- bzw. aktiviert Sensoren und Aktoren. Als Nachrichtenverbindung zwischen der SPS und den beteiligten Systemen ist zwingend ein Kommunikationskanal zu definieren, wobei pro SPS mehrere Kommunikationskanäle eingerichtet werden können [Bauer et al. 2013]. Die strategischen Aufgaben wie z. B. die Auftragsdisposition oder die Transportkoordination werden von einem zentralen Materialflussrechner übernommen [Chisu et al. 2010c]. Die technische Steuerung von Unstetigförderern wie z. B. von Staplern erfolgt hingegen anhand rechnergestützter Leitsysteme. Voraussetzung für deren Einsatz ist ein Leitstandrechner, ein mobiles Terminal im Fahrzeug sowie drahtlose Übertragungsmedien. Infrage kommen hierbei Infrarot- und Funkverbindungen [Schmidt und ten Hompel 2010].

3.4 Zukünftige Entwicklungen des Lagers

Der Umfang an Technologien, die in der Produktion eingesetzt werden, hat sich in den vergangenen Jahren enorm erhöht. Computer und mobile Geräte sind omnipräsent. Hinzugekommen ist außerdem das Internet, welches die Geschäftswelt verändert hat. Daraus leitet sich die Frage ab, wie das Lager der Zukunft aussieht. Richards et al. [2011] gehen von einem erhöhten Einsatz von Cross Docking (CD) und damit dem bestandslosen Umschlag der Güter aus. Das Lager entwickelt sich demnach zum Durchgangslager, Paket- und Palettendrehkreuz. Darüber hinaus wird aufgrund der umfassenden Nutzung von E-Commerce von mehr Distributions- und Rückgabezentren ausgegangen. Der Trend geht zunehmend hin zur Just-in-time Produktion, die entsprechend der Auftragslage angepasst werden kann [Richards 2011]. Die Anzahl an Aufträgen wird den Erwartungen zufolge steigen, wobei die Anzahl an Positionen pro Bestellung sinken soll. Bewahrheitet sich diese Prognose, resultiert ein erhöhter Bedarf nach technologischen Lösungen und schnellen Kommissionier- und Packvorgängen, die zunehmend automatisiert stattfinden sollen. Hierbei dienen Radiofrequenz-Sensoren (RF-Sensoren) zur Kontrolle eines kontinuierlichen Materialflusses. Zudem wird angenommen, dass Ware-zur-Person-Systeme weiterhin Bestand haben. Für eine effiziente Arbeitsweise besteht der Anspruch, standardisierte LTs einzuführen. Dadurch soll die Varietät von z. B. Europaletten, Industriepaletten oder amerikanischen Paletten eingedämmt

werden. Des Weiteren ist die Umsetzung einer umweltfreundlichen und nachhaltigen Produktion fester Bestandteil der Zukunftsbilder [Richards 2011].

Laut Henke und ten Hompel [2014] müssen sich logistische Knoten und Netzwerke zukünftig an ein volatiles Produktions- und Handlungsumfeld anpassen, sodass es den langfristig idealen Standort nicht mehr gibt. Ebenso wird angenommen, dass die Anordnung von Arbeitsstationen durchgängig veränderbar sein soll. Standorte neuer Stationen oder Lagerplätze sollen über Software-Agenten kommuniziert und Aufträge verhandelt werden. Dabei organisieren autonome Fahrzeuge die logistische Auftragsabwicklung, weshalb stationäre Fördertechnik durch Schwärme autonomer CPS zu ersetzen ist. Auch Behälter und Regale sollen in diesem Szenario mit CPS ausgestattet werden. Die Datenverwaltung erfolgt dabei cloudbasiert, sodass Kundenaufträge weiterhin auf konventionelle Art und Weise verarbeitet werden können. Demnach behalten ERP-Systeme weiterhin ihre Funktionen bei, z. B. Stammdaten zu verwalten und Kundenaufträge zu empfangen, sowie entsprechende An- und Auslieferungsbelege an das WMS zu verteilen. Der Zugriff auf diese Daten kann überall erfolgen, wo die Cloud erreichbar ist. Werden die einzelnen Systemelemente in Bewegung gesetzt, greift jedoch die Multiagentensteuerung der CPS. Der Mensch soll in diesem Umfeld als PAD agieren, wodurch er die Prozesse online nachvollziehen kann [Henke und ten Hompel 2014]. Da die Idee der PAD in den Bereich der virtuellen Realität fällt, soll der Begriff an dieser Stelle kurz erläutert werden. Im Rahmen der virtuellen Realität kann der Anwender mit einer simulierten, aber realistisch erscheinenden Umgebung interagieren. Die virtuelle Umgebung reagiert auf Steuerbefehle, die z. B. mit Datenhandschuhen oder -helmen übermittelt werden [ITWissen 2016a]. Rückblickend auf Abschnitt 2.2 spannt sich an dieser Stelle der Bogen zur Industrie 4.0, die u.a. auf die Automatisierung und Digitalisierung der lagerinternen Prozesse abzielt. Daher wird in diesem Kontext häufig der Begriff Logistik 4.0 verwendet [Henke und ten Hompel 2014]. Zwar ist das primäre Ziel der Industrie 4.0 eine Verbesserung der Produktionssteuerung, doch kann diese erst dann erreicht werden, wenn die Materialzuführung sowie unternehmensübergreifende Logistikprozesse effizient gestaltet werden [Hansen 2014]. Für die Umsetzung des IoT, welches als Baustein der Industrie 4.0 gilt, bedürfen zukünftige Materialflusssysteme der drei Entitätstypen Modul, Transporteinheit (TE) und Software-Dienst. Dabei stellen Module autonom agierende Fördertechnikelemente dar, die logistische Funktionen wie z. B. den Transport der Waren ausführen. TEs werden z.B. mit RFID ausgestattet, um ihre Identifizierung sicherstellen zu können. Zudem wird jeder TE ein Software-Agent zugeordnet, der Informationen speichert, Daten austauscht und die Ausführung von Aktionen anfordert. Dadurch ist die TE in der Lage, Workflows, welche z. B. Prioritäten oder Verfügbarkeiten berücksichtigen, zu verwalten und abzuarbeiten. Software-Dienste können ebenfalls in Form eines Software-Agenten auftreten, um z. B. Objekte zu koordinieren oder zu überwachen und in diesem Zusammenhang Prozesse zu optimieren sowie Informationen zu visualisieren [Chisu et al. 2010b].

Im Hinblick auf die Schnittstellengestaltung im industriellen Umfeld wird das OPC-UA-Protokoll als geeignetes Instrument für die Kommunikation im neuen industriellen Zeitalter angeführt. OPC-UA steht für Object Process Control - Unified Architecture und ist ein plattformunabhängiger Standard für Interoperabilität. Er ist mit der Zielstellung entwickelt worden, den Datenaus-

tausch sicher zu gestalten und einen reibungslosen Informationsfluss zwischen verschiedenen Geräten zu ermöglichen [OPC Foundation 2016a]. Durch die Erfüllung der Anforderungen an Schnittstellen von CPS kann es z. B. für den Informationsaustausch mit der SPS herangezogen werden, welche weiterhin als ein wichtiger Teil der Produktion erachtet wird. Die SPS soll auch zukünftig als Erbringer von Diensten für das CPS fungieren und für kleinere Einheiten ohne eigenständiges CPS verwendet werden.

Für die Schnittstellengestaltung haben Datensicherheits-Funktionen eine große Bedeutung, da Daten über das Internet verteilt werden und dementsprechend im Hinblick auf die Gefahren des Datenmissbrauchs abgesichert werden sollten. Darüber hinaus müssen sich die Schnittstellen kontextabhängig adaptieren lassen, wenn sich Randbedingungen verändern. Damit wird die Grundlage für eine flexible Erweiterbarkeit des CPS gelegt. Das OPC UA erfüllt in diesem Zusammenhang wichtige funktionale Anforderungen. Beispiele hierfür sind die sichere Datenkopplung, Heterogenität der Versionen und Hersteller von Produktionseinheiten sowie die Skalierbarkeit von Produktionseinheiten vom Sensor bis hin zu einem Leitsystem. Zu beachten ist jedoch, dass die vertikale Vernetzung noch nicht vollständig abgedeckt werden kann. Die horizontale Integration zwischen den CPS ist jedoch laut Wilmes [2013] ohne Einschränkungen realisierbar. Ebenfalls möglich ist die Vernetzung mit Anwendungen in der Cloud. Zudem ist OPC UA bereits in vielen Geräten integriert und wird von allen Automatisierungsanbietern unterstützt [Wilmes 2013].

Neben der technischen Schnittstellengestaltung, die durch das beschriebene OPC UA ermöglicht wird, ist im Hinblick auf die Ausführung logistischer Prozesse das Konzept des Agenten-basierten Staplerleitsystems (aSLS) anzuführen. Hierbei ist eine Schnittstelle zu einem WMS notwendig, damit die WMS-Domänen Transport-, Kommissionier- und Inventurmanagement mit der aSLS über ein Funkcontrollersystem kommunizieren können. Die mobilen Datenterminals (MDT) der Stapler sind an dieses System angeschlossen. In dem aSLS treten verschiedene Agenten in Aktion, die innerhalb ihres Aufgabenbereichs als zentrale Systeme fungieren. Einer dieser Agenten ist der Auftragsmanager-Agent, welcher die Auftragslisten verwaltet und für die Stellplatz- bzw. Transportzielvergabe verantwortlich ist. Die Funktionen der Auftragsverwaltung des WMS sollen mithilfe von Dienstleistungen wie z. B. Web Services gekapselt werden. Als weiterer Agent ist der Ressourcenmanagement-Agent zu nennen. Seine Aufgabe besteht darin, Transportprioritäten festzulegen und die Zuordnung von Transportmitteln zu Transportaufträgen zu übernehmen. Die Modellierung der Ein- und Ausgangspunkte des Systems im Hinblick auf die Übergabe von TEs zwischen Transportsystemen soll hingegen durch den Systemschnittstellen-Agenten erfolgen. Hierzu werden TE-Agenten, welche die Logik einer Transporteinheit abbilden, entweder aus dem Vorgängersystem übernommen oder neu erstellt. Daran anschließend kann der Systemschnittstellen-Agent den TE-Agenten die jeweiligen Workflows und Fahraufträge erteilen. Als Grundlage kann ein WMS-Vermittler dienen. Darüber hinaus bedarf die Agenten-basierte Steuerung des Staplerverkehrs eines Stapler-Agenten, der die mitfahrende Steuerung des Unstetigförderers repräsentiert [Göhring und Lorenz 2010]. Um die Struktur der einzelnen Systeme und Objekte der aSLS noch einmal zusammenzufassen, kann das zugrundeliegende Schichtmodell in Abb. 2 herangezogen werden. Hierbei wird deutlich, dass das WMS weiterhin als Verknüpfungspunkt zwischen dem Host und dem operativen Betrieb fungiert. Dabei kommuniziert das WMS mit der aSLS, welche die aus dem WMS stammenden Aufträge an die einzelnen Agenten weiterleitet.

Die Präsentationsebene des Staplers steht dabei in direktem Zusammenhang mit dem graphical user interface (GUI), welches die graphische Benutzeroberfläche zur Bedienung eines Computers bezeichnet [ITWissen 2016b].

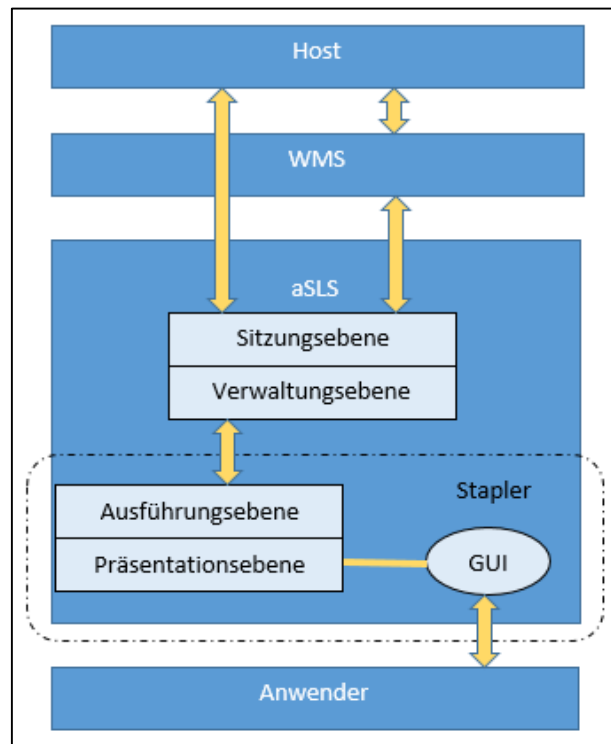


Abb. 2: Schichtenmodell für ein Agenten-basiertes Staplerleitsystem
[Göhring und Lorenz 2010]

Um im Rahmen der wachsenden Menge an Informationen eine Echtzeit-Kommunikation gewährleisten zu können, werden neue Datenbankstrukturen erforderlich. Die bisher verwendeten relationalen Datenbanken werden bereits jetzt schrittweise durch In-Memory-ERP-Suiten ersetzt, welche als digitaler Kern eines Unternehmens Echtzeitdaten bereitstellen sollen. Die Umsetzung kann vor Ort, als Hybridlösung oder Cloud-basiert erfolgen [SAP 2016m]. Hierdurch wird die Grundlage für die beschriebenen zukünftigen Entwicklungen eines Lagers gelegt. Begründet liegt dies u. a. in der besseren Performanz gegenüber relationalen Datenbanken [Lacy 2015].

3.5 Beispielsystem SAP EWM

SAP EWM ist als marktführendes WMS der Analysegegenstand der vorliegenden Arbeit und soll daher im Folgenden vorgestellt werden. Insbesondere werden wichtige Begrifflichkeiten und Zusammenhänge erläutert, die der späteren Analyse zugrunde liegen.

3.5.1 Einordnung in die SAP Landschaft

Basierend auf der Programmiersprache Advanced Business Application Programming (ABAP) bietet die SAP Funktionalitäten für die Lagerverwaltung seit 1993 mit dem R/3 Release 2.0 an. Dabei entspringt das Modul Extended Warehouse Management (EWM) einer Erweiterung der

Lagerverwaltung und ist seit 2005 auf dem Markt. Da sich das System kontinuierlich weiterentwickelt hat, sind weitere Versionen erschienen, wobei EWM 9.4 die aktuellste Version darstellt. Das EWM-System ist eine Komponente des SAP Supply Chain Managements (SAP SCM) und stellt ein dezentrales WMS dar, welches laut Bauer et al. [2013] sowohl mit Fremdsystemen integriert werden kann als auch flexibel ist. Die Vorteile in der Ausführung dieser dezentralen Lösung bestehen in einer hohen Performance, einer guten Skalierbarkeit für eine flexible Anpassung an veränderte Anforderungen sowie einer hohen Verfügbarkeit, welche die Nutzung des Systems 24 Stunden am Tag gewährleistet. Des Weiteren werden mit EWM als Komponente des SAP SCM drei zentrale Aspekte begünstigt:

- Integration der Ausführungsebene in die Planungsebene
- Kollaboration mit den Geschäftspartnern
- Monitoring und Controlling der Logistikprozesse entlang der SC

Diesbezüglich führt die Integration der Ausführungsebene in die Planungsebene zu einer schnellen Reaktion auf Bedarfsschwankungen und Ereignisse innerhalb der Supply-Chain-Prozesse. Die Kollaboration bezieht sich auf eine verbesserte Zusammenarbeit mit Geschäftspartnern, welche internetbasiert über SAP Supply Network Collaboration (SAP SNC) erfolgt. Das Monitoring und Controlling der Logistikprozesse wird durch die Integration in SAP Event Management (EM) gewährleistet [Bauer et al. 2013].

Darüber hinaus umfasst die SAP Business Street neben SAP SCM die Unternehmenslösungen Enterprise Resource Planning (ERP), Customer Relationship Management (CRM) Supplier Relationship Management (SRM) sowie Product-Life-Cycle-Management (PLM) und vernetzt somit alle Beteiligten, Informationen und Prozesse [Adelsberger et al. 2013]. Dabei hat vor allem das ERP-System für den Zugriff auf Stamm- und Bewegungsdaten eine tragende Rolle. Es kommuniziert mit EWM über queued Remote Function Calls (qRFC) und ist insbesondere für die Übermittlung der An- und Auslieferungen relevant. Die Stammdaten werden hingegen über das Core Interface (CIF) von ERP an EWM repliziert. Dabei werden durch eine automatisierte Synchronisation der Daten konsistente Informationsstände in beiden Systemen gewährleistet [Halm et al. 2012]. Aufgrund der umfassenden Präsenz der ERP-Systeme ist die Umsetzung der Industrie 4.0 laut Ganschar et al. [2013] maßgeblich von der Anpassbarkeit dieses zentral verwalteten Systems abhängig. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die enge Verzahnung kaufmännischer und planerischer Funktionen ein Charakteristikum von ERP-Systemen ist. Zudem ist im Hinblick auf die Industrie 4.0 zu beachten, dass die materiellen Abläufe in einem gemeinsamen Datenmodell abgebildet und mit hohem Aufwand gepflegt werden [Ganschar et al. 2013].

Die Einsatzbereiche von SAP EWM sind vielfältig. So greift es überall dort, wo ein Lager systemtechnisch unterstützt werden soll. Dies ist branchenübergreifend möglich, wobei branchenspezifische Eigenschaften wie z. B. Mindesthaltbarkeitsdaten in der Lebensmittelindustrie oder Gefahrgutregeln vom System berücksichtigt werden können. Um das breite Spektrum an möglichen Einsatzgebieten zu verdeutlichen, sind an dieser Stelle einige wenige Referenzprojekte der prismat GmbH angeführt. Zu den Kunden der SAP-Spezialisten mit den weltweit meisten validierten EWM-Projekten gehören u.a.:

- Dr. Schumacher (Branche: Chemie)
 - Ejot (Branche: Verbindungstechnik)
 - Förch (Branche: Befestigungs- und Montagetechnik)
 - MEGA (Branche: Großhandel für das Sanierungs-, Renovierungs- und Modernisierungshandwerk)
 - Paulaner (Branche: Lebens- und Genussmittel)
 - Schmersal (Branche: Automatisierungstechnik, Sicherheitstechnik)
 - Schukat (Branche: Elektronik Großhandel)
 - Schweizerische Post (Branche: Logistik)
 - Wollschläger (Branche: Werkzeughandel)
 - Zumtobel (Branche: Lichttechnik)
- [prismat GmbH 2016a; prismat GmbH 2016b]

3.5.2 EWM-spezifische Begrifflichkeiten und Zusammenhänge

SAP EWM ist in eine Anwender- und in eine Customizing-Ebene unterteilt. Dabei dient das Customizing der Anpassung der unternehmensneutralen Funktionalitäten und Strukturen des SAP Standards an die spezifischen Anforderungen eines Unternehmens. Erst wenn die Gesamtheit dieser notwendigen Einstellungen vorgenommen worden ist, kann auch auf Anwenderebene gearbeitet werden. Hiermit werden Stammdaten gepflegt sowie das operative Geschäft abgewickelt. [SAP 2016c]. Im Hinblick auf die praktische Umsetzung werden z. B. mit dem Customizing unternehmensspezifische Lagertypen, wozu u. a. Block- und Palettenlager zählen, definiert oder Regeln für die Lagerungssteuerung festgelegt. Auf der Anwenderebene stehen hingegen z. B. die Pflege von Lagerprodukt Daten oder die Durchführung einer WE-Buchung im Mittelpunkt. Bezüglich des Customizings ist anzumerken, dass eine bestimmte hierarchische Organisationsstruktur zu berücksichtigen ist, welche dem Anhang I entnommen werden kann. Darüber hinaus werden in Anhang II die grundlegenden Sichten des GUIs von SAP EWM veranschaulicht und beschrieben. Nachfolgend werden vorrangig solche Elemente beleuchtet, die in direktem Zusammenhang zu möglichen Einstellungen und Anwendungen stehen.

Schnittstellen zu ERP und externen Systemen

Da die Kommunikation zwischen dem ERP- und dem EWM-System über qRFC elementar für die Abwicklung der Geschäftsprozesse ist, soll zunächst der grundsätzliche Ablauf anhand des Beispielprozesses in Abb. 3 verdeutlicht werden. Demnach erfolgt eine Bestellung im ERP-System mit Bezug zum Kundenauftrag. Im Fall einer Anlieferung wird ein neuer Beleg erzeugt. Über qRFC wird die Anlieferung an das EWM-System repliziert, um dort einen LA zu erstellen, welcher LBs enthält. Hierdurch erfolgt eine Warenbewegung, z. B. eine Einlagerung, wobei der LA nach erfolgreicher Einlagerung quittiert wird. Auch das ERP-System erhält die Information der Warenbewegung und kann dementsprechend den Lieferbeleg anpassen. Für den Fall eines Kundenauftrags, welcher ebenso wie die zugehörige Auslieferung im ERP-System angelegt wird, wird auch EWM-seitig ein entsprechender Auslieferungsbeleg erzeugt. Der hierdurch erstellte

LA stößt ebenfalls die Warenbewegung zur Auslagerung und Bereitstellung auf der Warenausgangs-Zone (WA-Zone) an. Wieder erfolgt eine Information an das ERP-System, um systemübergreifend eine konsistente Datengrundlage zu gewährleisten [Halm et al. 2012].

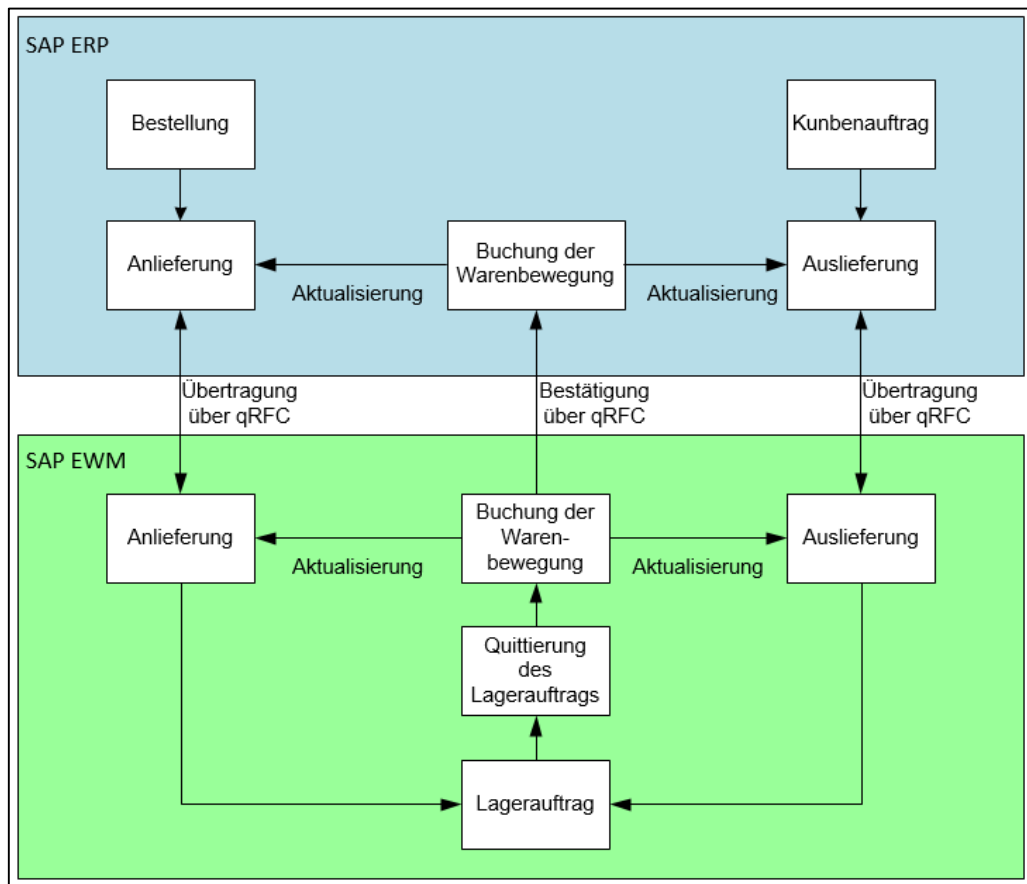


Abb. 3: Kommunikation zwischen SAP ERP und SAP EWM [nach Bauer et al. 2013]

Darüber hinaus sind häufig Schnittstellen zu externen Systemen notwendig. Hierfür werden in der Regel neben der beschriebenen RFC-Technologie, Web Services und direkte transmission-control-protocol/internet-protocol-Verbindungen (TCP/IP-Verbindungen) genutzt. Dabei stellt die RFC-Technologie die Basis für die Application-Link-Enabling-Schnittstelle (ALE-Schnittstelle) dar, welche wiederum sogenannte Intermediate Documents (IDocs), also SAP Standard Dokumentenformate übermittelt. Grundlegend ist dabei die Definition der TCP/IP-Einstellungen. Darüber hinaus kommen Web Services z. B. bei der in Abschnitt 3.5.3 beschriebenen Auto-ID Infrastructure zum Tragen. Im Gegensatz dazu findet eine direkte TCP/IP-Verbindung z. B. im Kontext der MFS-Steuerung mit der Plant Connectivity (PCo) Anwendung. Hierbei handelt es sich um eine Softwarekomponente, die den Datenaustausch zwischen einem SAP-System und branchenspezifischen Standarddatenquellen gewährleistet [SAP 2016q; SAP 2016r; SAP 2016s; SAP 2016t].

EWM-spezifische Stammdaten und Bestandsverwaltung

Da die Stammdaten und die Bestandsverwaltung die Grundlage für jegliche Prozesse innerhalb eines Lagers darstellen, werden an dieser Stelle entsprechende Begrifflichkeiten erläutert, die für

eine EWM-spezifische Lagerverwaltung notwendig oder in Betracht zu ziehen sind. Dabei wird zunächst auf die Bestandsverwaltung und daran anschließend auf die Stammdaten eingegangen. Die Bestandsart gibt Auskunft über die Bestandssituation eines Materials und ermöglicht, dass Lagerortwechsel systemseitig nachvollzogen werden können. Deutlich wird dies anhand der im Standard vorgesehenen Bestandsarten „Frei verwendbar Lager“ oder „Gesperrt in Einlagerung“. Zudem steht die Bestandsart in unmittelbarem Zusammenhang mit den in Abschnitt 3.2 eingeführten Lagerorten AFS und ROD. Dabei ist anzumerken, dass den Lagerorten und Bestandsarten jeweils dieselben Verfügbarkeitsgruppen zugeordnet werden, wodurch die beiden Informationen verknüpft werden [Bauer et al. 2013; SAP 2016a].

Des Weiteren sind Quants zu benennen, die den Bestand eines Materials mit gleichen Merkmalen auf einem Lagerplatz beschreiben [SAP 2016b]. Der Datensatz eines Quants umfasst folgende Informationen:

- Lokation des Quants (Lagerplatz, Ressource oder Transporteinheit)
- Name des Produktes
- Menge
- Besitzer
- Verfügungsberechtigter
- Bestandsart
- Handling Unit und Nummer der Charge
- Wareneingangsdatum und Mindesthaltbarkeitsdatum (MHD)

Im Fall von Zulagerungen wird geprüft, ob Quants verschmelzen können. Dies ist abhängig von dem Bestandsschlüssel. Er beschreibt eine Kombination von Feldern, die eine eindeutige Unterscheidung zweier Mengen eines Produkts auf einem Lagerplatz bzw. in einer HU möglich macht. Die benannten Felder enthalten quanttrennende Eigenschaften wie z. B. Produkt, Charge, und Bestandsart. Eine Verschmelzung ist nur dann möglich, wenn alle quanttrennenden Eigenschaften übereinstimmen. Werden alle Quants eines Lagers zusammengenommen ergibt sich der physische Bestand des Lagers. Dabei zeigt der physische Bestand die Quants an, die sich auf einer Lokation befinden [Bauer et al. 2013]. Für eine effiziente Speicherung der Bestände verwendet EWM die unabhängige Komponente Logistics Inventory Management Engine (LIME). Hierdurch wird ein flexibles Nähe-Echtzeit-Management von Beständen und Inventar ermöglicht [Bauer et al. 2013]. Nähere Erläuterungen zu der LIME sind dem Anhang IV zu entnehmen.

Des Weiteren ist im Hinblick auf die Identifikation einzelner Produkte die Serialnummernverwaltung anzuführen mit der u. a. Zeitpunkte, Lieferanten, Qualitätsprüfer und Kommissionierer gespeichert werden können. Diesbezüglich ermöglicht das EWM-System drei Ebenen von Serialnummernpflicht, welche sich im Wesentlichen hinsichtlich der jeweiligen Transparenz der Geschäftsprozesse unterscheiden:

- A – Serialnummernpflicht für Belegpositionen
- B – Serialnummernpflicht auf Lagernummernebene
- C – Serialnummernpflicht in der Bestandsführung

Für A werden Serialnummern zu Lieferbelegen erfasst. Demnach steht die Belegposition stellvertretend für einen Lieferbeleg, welcher sowohl den WE als auch den WA betreffen kann. Dementsprechend eignet sich diese Serialnummernpflicht nur, wenn zu einem Produkt ausschließlich

die Lieferung gefunden werden muss. Dies ist beispielsweise bei einer Kundenretoure der Fall. Besteht die Serialnummernpflicht auf Lagernummernebene, wird der Anwender vor dem WE und vor dem WA zu einer Serialnummerneingabe aufgefordert. Dadurch ist einsehbar, welche Serialnummern sich im Bestand befinden. Die genaue Lokation und Lagerbewegung ist jedoch nicht zu identifizieren. Tritt der Fall C ein, wird die Serialnummer als Teil des Bestands mitgeführt. Dadurch sind Lokationen und Lageraufgaben den Serialnummern direkt zuzuordnen. Allerdings ist mit der Vergabe von Serialnummern ein hoher administrativer Aufwand verbunden, da sie für jede Lageraufgabe einzeln eingegeben werden müssen. Neben den Serialnummern sind HUs als weitere Daten zur eindeutigen Identifikation anzuführen. Allerdings werden die HU-Nummern im Gegensatz zu den Serialnummern für ganze Einheiten aus Packmittel und Ware vergeben. Die EWM-Prozesse können auf Basis der HU-Nummern gesteuert werden und setzen teilweise auch die Nutzung von HUs voraus. Dies gilt z. B. für die weiter unten erläuterte prozessorientierte Lagerungssteuerung [Kannapan et al. 2015].

Hinsichtlich der Stammdaten werden im EWM-System innerhalb des Produktstamms globale Daten und Lagerdaten unterschieden. Letztere werden im EWM-System angelegt und beinhalten kundenindividuelle lagerbezogene Daten wie z. B. das Einlagerungs-/Auslagerungssteuerkennzeichen, Mindestnachschubmengen, oder das Prozessartfindungskennzeichen [SAP 2016f]. Diese Parameter werden im späteren Verlauf dieses Abschnitts noch im Rahmen der Prozesssteuerung erläutert und thematisch eingeordnet. Die globalen Daten werden hingegen im ERP-System gepflegt und an das EWM-System repliziert.

Darüber hinaus werden Supply Chain Units als Repräsentanten für physische Orte sowie organisatorische Elemente in SAP SCM verwendet. Das EWM-System nutzt sie zur vollständigen Abbildung der Lieferkette. Beispiele sind WE- und Versandbüros ebenso wie Tore oder Lager. Hierdurch können Transportwege, Versandzonen, Routen und Spediteur-Profile erstellt werden [Bauer et al. 2013]. Darüber hinaus gibt es eine Vielzahl weiterer Stammdaten, auf die jedoch nicht im Detail eingegangen werden soll. Relevante Stammdaten für die spätere Analyse und den Beispielprozess werden an entsprechender Stelle bei Bedarf erläutert.

Lieferabwicklung

Eine der zentralen Komponenten von SAP EWM ist die Lieferabwicklung. Sie tauscht zum einen Informationen mit den angebundenen Auftragsverwaltungssystemen aus und verwaltet zum anderen die betriebswirtschaftlichen Basisdokumente.

Auf Kopfebene unterscheidet das EWM-System die system- und prozessseitige Verarbeitung der Lieferbelege anhand von Belegtypen. Beispiele für häufig verwendete Belegtypen sind die Anlieferung (PDI) und die Auslieferung (FDO). Als zentraler Lieferparameter ist die Belegart zu nennen, welche zur Steuerung und Verwaltung der Lieferbelege dient. Hiermit werden Lieferszenarien wie z. B. Eil- oder Normallieferungen abgebildet. Zudem wird einer Belegart ein passender Belegtyp zugeordnet. Auf Positionsebene ist der Positionstyp für die Verarbeitung der Lieferposition relevant. Diesbezüglich enthält EWM fünf verschiedene Positionstypen als Festwerte. Beispiele hierfür sind die Packmittelposition (PAC) und die Standardlieferposition (DLV). Analog zu der Belegart auf Kopfebene wird das Verhalten der Lieferung auf Positionsebene durch die

Positionsart bestimmt. In diesem Zusammenhang werden z. B. Normalpositionen, Positionen für die Bausatzerstellung oder für Kundenretouren geführt [Bauer et al. 2013].

Im Rahmen der Lieferabwicklung werden zunächst Lieferdaten aus einem Vorsystem empfangen und daran anschließend lagerspezifisch ergänzt. Hinsichtlich der dabei erzeugten Lieferbelege können Kategorien gebildet werden, die Benachrichtigungen und Anforderungen sowie Lieferungen zur Lagerprozesssteuerung und finale Lieferungen unterscheiden. Damit geht ein mehrstufiger Aufbau einher, durch den die Dezentralität des EWM-Systems unterstützt wird.

Da die Zusammenhänge der Lieferbelege relativ komplex sind, soll die Abb. 4 mit einer Übersicht aller relevanten Belege und ihrer Beziehungen untereinander zu einem besseren Verständnis beitragen. Diesbezüglich erfolgt durch die Verteilung von Lieferungen an das EWM-System eine Kopie der ERP-Informationen auf einen EWM-Beleg. Mit der Aktivierung der Anlieferungsbenachrichtigung bzw. der Auslieferungsanforderung wird jeweils ein Folgebeleg erstellt, welcher der oben aufgeführten Kategorie der Lieferungen zuzuordnen ist. Die Lieferung ist das Basisdokument für nachfolgende Prozesse im EWM-System. Häufige Belegtypen sind in diesem Zusammenhang die Anlieferung (PDI) und der Auslieferungsauftrag (PDO). Die Steuerung der anschließenden Lagerprozesse hängt von den Parametern der Lieferbelege ab. Beispiele für anschließende Lagerprozesse sind die Kommissionierung, die Verpackung und die Beladung. Dabei werden die Warenbewegungen selbst durch die Erzeugung von LAs und LBs, welche Bezug zur Lieferung haben, angestoßen [Bauer et al. 2013].

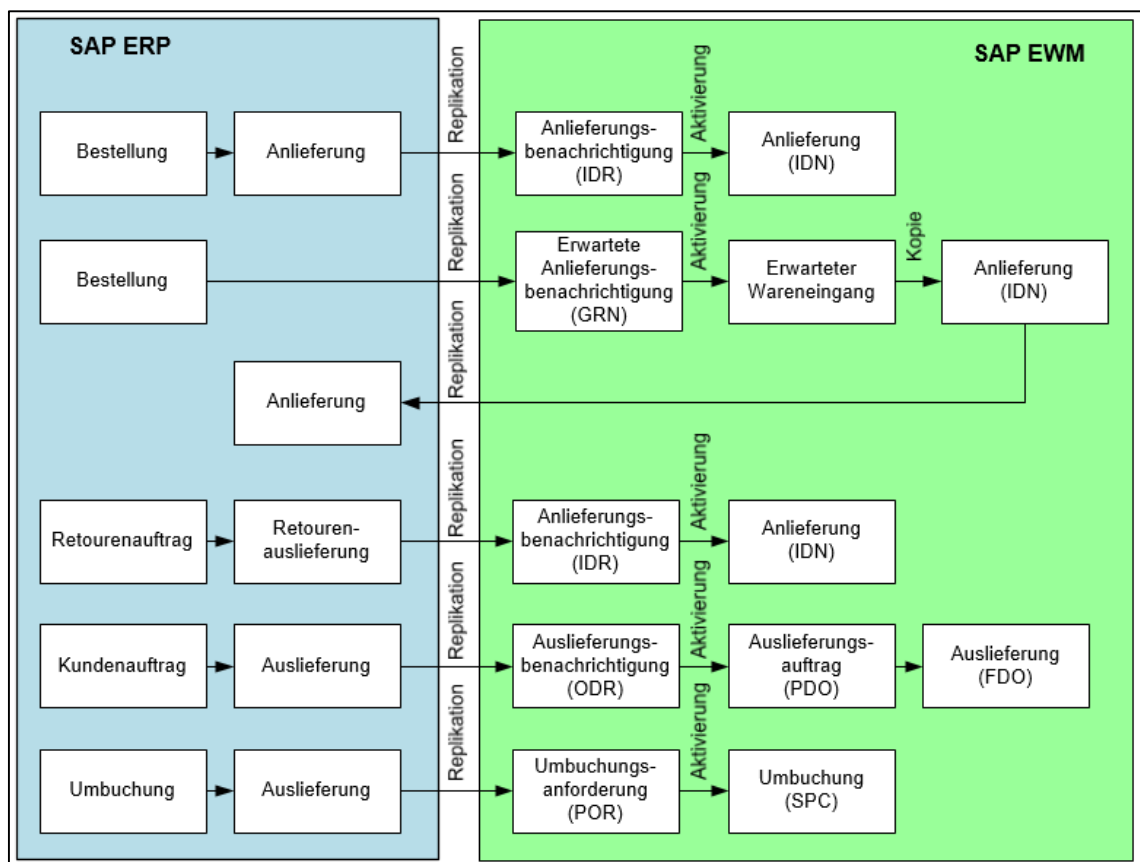


Abb. 4: Zusammenhang der Lieferbelege [Bauer et al. 2013]

Objekte und Elemente der Prozesssteuerung

Im EWM-System gibt es drei Möglichkeiten für die Steuerung und Optimierung der Lagerprozesse. Hierbei handelt es sich um das Wellenmanagement, die Lageraufgaben- bzw. Lagerauftragserstellung und die Lagerungssteuerung. Die grundlegende Funktionsweise des Wellenmanagements ist bereits in Abschnitt 3.2 erläutert worden. Darüber hinaus ist die Wellenzuordnung in EWM auch auf Positionsebene möglich, sodass ein Auftrag auf mehrere Wellen verteilt werden kann [Kannapan et al. 2015]. Die LBs, welche in den Wellen zusammengefasst werden können, beinhalten alle erforderlichen Informationen für den physischen Transport zwischen dem Von- und dem Nach-Lagerplatz. In diesem Zusammenhang spielen Lagerprozessarten (LPAs) eine entscheidende Rolle, da hierüber die einzelnen Warenbewegungen gesteuert werden. Hierzu wird die LPA einem Lagerprozessstyp und einer Aktivität zugeordnet. Diese sind miteinander verknüpft und zeigen die Richtung der Bewegung im Lager an. Welche LPA dabei jeweils gefunden wird, ist von der Belegart, der Positionsart und der Lieferpriorität abhängig. Sollen einzelne Produkte abweichende Prozesse durchlaufen, ist auch dies über ein Prozessartfindungskennzeichen, welches an dem betroffenen Produkt hinterlegt wird, möglich [Bauer et al. 2013].

Ein ebenfalls wichtiges Element der Prozesssteuerung ist die Bildung von Lageraufträgen, welchen die einzelnen LBs zugeordnet werden. Diesbezüglich greifen die Lagerauftragsstellungsregeln (LAER), mit denen vor dem Hintergrund der Prozessanforderungen möglichst optimale Arbeitspakete für die Ressourcen gebildet werden. Attribute wie die Länge des Kommissionierweges oder die Größe des LAs können als Kriterien für die Optimierung herangezogen werden [Bauer et al. 2013]. Zudem besteht die Möglichkeit, die LBs hinsichtlich ihrer erforderlichen Bearbeitungsreihenfolge zu sortieren [Kannapan et al. 2015].

Liegen komplexe Prozessabläufe vor, wird die Lagerungssteuerung herangezogen. Diese kann entweder prozessorientiert oder layoutorientiert erfolgen und ist für WE-, WA-, und lagerinterne Prozesse geeignet. Die prozessorientierte Lagerungssteuerung (POLS) fasst Prozessschritte in einem Lagerungsprozess zusammen und arbeitet ausschließlich mit HUs. Die layoutorientierte Lagerungssteuerung (LOLS) findet hingegen Einsatz, wenn Lagerbewegungen nicht direkt zwischen Von- und Nach-Lagerplatz erfolgen, sondern über einen Zwischenlagerplatz führen. In diesem Fall erstellt EWM eine aktive LB zu dem Zwischenlagerplatz und eine inaktive LB zu dem finalen Lagerplatz. Letztere wird aktiv, sobald die erste LB quittiert worden ist. Eine Kombination der beiden Lagerungssteuerungen ist ebenfalls möglich [Hoppe und Käber 2007].

Darüber hinaus werden für den operativen Betrieb zunehmend Mobile Devices als potenzielle Geräte in Betracht gezogen. SAP bietet mit den SAP Mobile Solutions entsprechende Integrationsmöglichkeiten für z. B. Google Glasses an. Über verschiedene Apps im Rahmen von SAP Fiori können z. B. Smart Phones integriert werden und dadurch für Kennzahlenanalysen und –bereitstellungen in Echtzeit verwendet werden [prismat GmbH 2016c und 2016d]. Aufgrund dessen stellen Mobile Devices in Zusammenhang mit SAP EWM zunehmend wichtige Elemente der Prozesssteuerung dar.

Wareneingang und Warenausgang

Mit dem WE verbucht das EWM-System die eingetroffene Ware im Lager. Als Voraussetzung dafür wird die ASN unternehmensübergreifend weitergeleitet, sodass die Anlieferung bis in das EWM-System übermittelt wird. Hierdurch kann z. B. die zu erwartende Arbeitslast im EWM-Arbeitsmanagement (EWM-AM) berechnet werden. Des Weiteren ist die automatische Zuordnung der Waren zu TEs möglich, sofern zusätzlich zu den Anlieferinformationen Transportdaten avisiert werden.

Für eine vorausschauende Planung besteht die Möglichkeit, eine Warenanlieferung über Bestellungen oder Produktionsaufträge anzukündigen. Dadurch wird das EWM-System über einen sogenannten erwarteten WE informiert [Kannapan et al. 2015].

Ebenfalls möglich ist die vorläufige Einlagerplatzermittlung, durch welche die zu erwartende Arbeitslast für einen Aktivitätsbereich bestimmt werden kann. Voraussetzung hierfür ist die Aktivierung des AM. Als service-orientiertes Tool nutzt das Arbeitsmanagement die Kennzahlenservices in der Planung und kann die erzielten Ergebnisse visualisieren. Diesbezüglich werden analytische Funktionen angewandt und formelbasierte Planungsziele festgelegt. In diesem Zusammenhang gehen die Arbeitslast, die Anzahl an Mitarbeitern sowie der formelbasierte Kennzahlenservice als Entscheidungsgrößen in das AM ein. Insgesamt bietet das AM folgende Funktionen an:

- Pflege AM-spezifischer Stammdaten
- Indirekte Arbeit zum Erfassen zusätzlicher Arbeiten
- Bestimmung standardisierte Vorgabezeiten
- Erzeugung der geplanten und ausgeführten Arbeitslast
- AM im LVM
- Operative Planung durchführen
- Mitarbeiterleistung bestimmen [SAP 2016k]

Dabei werden die Planungsdaten im Rahmen der operativen Planung über Planungsformeln ermittelt. Letztere gelten pro Lagernummer und externem Prozessschritt. Planungsparameter können im Rahmen mehrerer Simulationsläufe variiert und die einzelnen Ergebnisse gespeichert werden [SAP 2016l].

Darüber hinaus besteht im Rahmen der WE-Ankündigung die Möglichkeit der Ermittlung einer Anlieferpriorität. Durch diese Option soll eine optimale Entladereihenfolge erreicht werden. Die Software SAP Advanced Planning Optimization (APO) bestimmt hierfür Prioritätspunkte, die es an das ERP-System weitergibt. Von dort gelangt die Information an das EWM-System. Die Berechnung der Priorität auf Kopfebene einer Anlieferung erfolgt über ein Business Add-In (BAI) [Bauer et al. 2013]. BAIs beschreiben vordefinierte Erweiterungsoptionen, welche in den SAP-Komponenten angelegt werden können [SAP 2016d]. Das EWM-System verfügt über eine Vielzahl an BAIs, die dem Anhang VIII entnommen werden können.

Neben dem WE hat ebenso der WA einen großen Stellenwert im Unternehmen. Diesbezüglich werden in der Regel Bereitstellungszone verwendet, um die Waren im Anschluss an die Auslagerung zwischenzulagern. Die Bereitstellungszone wird auf Basis der Ermittlung des Quelllagentyps, der HU-Typ-Gruppe oder einer Findungstabelle gefunden. Außerdem kann die Zugriffsfolge

bei der Bereitstellungs- und Torfindung definiert werden. Die daran anschließende WA-Buchung erfolgt spätestens mit der Abfahrt der TE vom Kontrollpunkt automatisch. Dafür ist das im Rahmen der lagerinternen Prozesse beschriebene Post Processing Framework (PPF) notwendig. Ebenfalls möglich sind eine manuelle sowie eine automatische WA-Buchung mit Bestätigung der letzten HU-Belade-LB [Kannapan et al. 2015].

Im Rahmen des WA-Prozesses werden Lieferpositionen, welche gemeinsam versendet werden sollen, anhand der Konsolidierungsgruppe konsolidiert. Ausschlaggebend für die jeweilige Gruppenzuordnung können Spediteur, Route, Warenempfänger und die Priorität der Lieferposition sein [SAP 2016h].

Lagerinterne Prozesse

Nach- bzw. vorgelagert zu den WE- und WA-Prozessen finden diverse lagerinterne Prozesse statt, die im Folgenden erläutert werden.

Im Anschluss an die Qualitätsprüfung, die noch im Rahmen des WE-Prozesses erfolgt, wird die Ware anhand der Einlagerstrategie zu dem richtigen Platz gebracht. Das EWM-System berücksichtigt hierbei das Produkt, den Lagertyp und den Lagerbereich. Dafür sind die Customizing-Einstellungen der Lagertypfindung, der Lagerbereichsfindung, der Lagerplatztypfindung und die Bestimmung des finalen Einlagerplatzes zu pflegen. Diesbezüglich hängt die Lagertypfindung mit der Einstellung der Lagertypsuchreihenfolge zusammen, welche sich an Mengenklassifikationen sowie an den Produkt- und Verpackungseigenschaften orientiert. Hierbei ist das Einlagerungssteuerkennzeichen (ESK) eine entscheidende Größe, mit der produktspezifisch bestimmte Lagertypen ausgewählt werden. Für die Lagerbereichsfindung besteht die Möglichkeit, ebenfalls produktbezogen, ein Lagerbereichskennzeichen (LBK) festzulegen. Als weiteres Zieldatum ermöglicht der Lagerplatztyp die Gruppierung der Lagerplätze entsprechend ihrer physischen Eigenschaften, sodass Produkte auf jeweils geeignete Lagerplätze eingelagert werden können. Sind die drei Zieldaten ermittelt worden, bestimmt das EWM-System den finalen Einlagerplatz [Bauer et al. 2013].

Wird im Rahmen der Einlagerung alternativ das in Abschnitt 3.4 beschriebene Cross Docking durchgeführt, sind in EWM fünf verschiedene Verfahren möglich, die der Abb. 5 entnommen werden können. Dabei wird zwischen geplanten Verfahren, die bereits vor dem WE bekannt sind, und opportunistischen Verfahren unterschieden. Die Entscheidung für einen CD-Prozess fällt bei Letzteren erst während des WEs. Zu diesen Verfahren gehören das EWM-opportunistische CD, das Push Deployment und das Kommissionieren während des Wareneingangs (PFCR). Im Gegensatz dazu liegt geplantes CD bei dem Transport-Cross-Docking und der Warenverteilung vor. Je nach Verfahren wird die Entscheidung für das CD entweder durch das EWM-System oder durch ein anderes System getroffen. Zudem können sowohl ERP als auch EWM und SAP APO den Prozess anstoßen [Bauer et al. 2013].

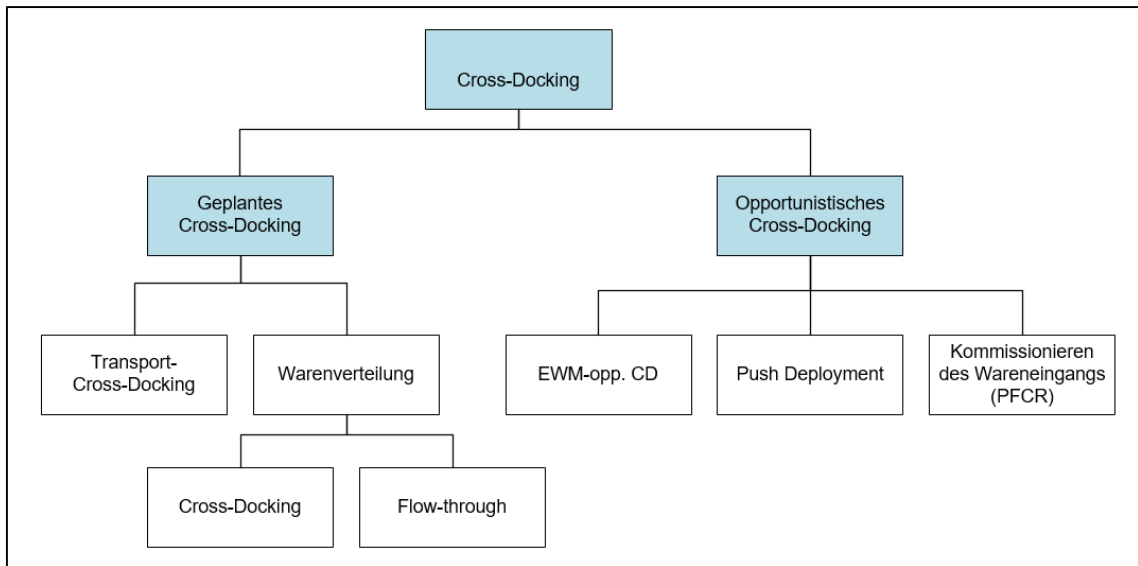


Abb. 5: Cross-Docking-Methoden mit SAP EWM [Bauer et al. 2013]

Auf eine spezifische Beschreibung aller Verfahren wird an dieser Stelle verzichtet. Da jedoch insbesondere das EWM-Opp.CD viel Flexibilität bietet, ist es im Hinblick auf die Industrie 4.0 näher zu betrachten. Hierbei trifft das EWM-System die Entscheidung über ein mögliches CD erst mit der Erstellung der Einlager- bzw. Kommissionier-LB. Durch einen Abgleich der WE-Bestände und WA-Lieferungen können im Rahmen der Prozessoptimierung Positionen ohne eine vorhergehende Einlagerung direkt in den WA gebracht werden. Um diese Art des CD abzubilden ist ein BADI kundenspezifisch zu implementieren. Für den Fall, dass im Rahmen des CD-Prozesses Differenzmengen auftreten, ist das EWM-System in der Lage, die Anlieferung in CD und Einlagerung aufzuteilen. Notwendig ist allerdings auch hierfür ein BAdI. Des Weiteren sind Produkt, Charge und Menge ausschlaggebend für eine CD-Entscheidung. Infolge der getroffenen CD-Entscheidung werden CD-LBs erstellt und damit Lieferpositionen im WA dem entsprechenden Bestand aus dem WE zugeordnet. Daraufhin erfolgt die Kommissionierung direkt aus dem WE. Liegen hier bereits Einlager-LBs für den WE-Bestand vor, werden sie automatisch storniert und durch Kommissionier-LBs für den WA ersetzt. Ebenfalls automatisiert findet die Aufteilung der Anlieferung in Einlagerungspositionen und CD-Positionen statt, sofern das EWM-System diese Option als optimale Lösung für die automatische LB-Erstellung zugrunde legt [Bauer et al. 2013].

Im Hinblick auf einen optimierten Einlagerungsprozess soll darüber hinaus die Lagerungsdisposition im Folgenden näher beschrieben werden. Dabei ist das Ziel der Lagerungsdisposition den Waren einen optimalen Lagerplatz zuzuweisen. Hierfür ermittelt sie produktspezifische Lagerkonzepte auf Basis von Produkt-, Verpackungs- und Bedarfsdaten für die Lagerung. Darüber hinaus werden Bedarfsprognosen berücksichtigt. In der Folge können Produktstammdaten hinsichtlich ESK, Maximalmenge im Lagertyp, LBK und Lagerplatztyp festgelegt werden. Beispiele für produktbezogene Daten, die in die Lagerungsdisposition einfließen können, sind die empfohlene Lagermenge, das Packgewicht und die Diebstahlfährdung [SAP 2011].

Darüber hinaus stellt die Lagerungsdisposition die Grundlage für die Lagerreorganisation dar. Hierbei unterscheidet das EWM-System je nach Einstellung, ob die Lagerreorganisation in den

globalen optimalen Lagerplatztyp erfolgen soll, oder innerhalb der Lagerplatztypgruppe durchzuführen ist. Als weitere Option können im Rahmen der Lagerreorganisation die sogenannten Alerts für die Bestandssituation im Lager angelegt werden. Hierbei werden Maßnahmen angestoßen, die durchgeführt werden, sobald die Bestandssituation bestimmte Bereiche erreicht hat. So kann z. B. für den Fall erhöhter Kapazitätsauslastungen die Reorganisation im Lager zu einer ausgeglichenen Bestandssituation beitragen. Zudem kann die Reorganisation sowohl manuell als auch über Jobs erfolgen [Kannapan et al. 2015]. Letztere führen dazu, dass lagerinterne Umlagerungen ausgelöst werden. Dabei wird der Produktstamm eines Materials mit den ermittelten optimaleren Daten überschrieben. Die Grundlage für eine Reorganisation stellt der Lagerungsdispositionsindex dar, der anhand von Bewertungspunkten ermittelt wird. Hierbei basiert die Bewertung auf der ermittelten Differenz zwischen dem aktuellen Lagerplatz und dem Optimum. Diesbezüglich werden für die Bewertung des Lagerplatzes die Customizing-Tabellen des Lagertyps, -bereichs und -platztyps zugrunde gelegt. Dabei werden in Abhängigkeit der Position in der betreffenden Suchreihenfolge sogenannte Strafpunkte vergeben [Bauer et al. 2013].

Ein weiterer lagerinterner Prozess, der an die Einlagerung anknüpft und für einen kontinuierlichen Warenfluss notwendig sein kann, ist der Nachschub. Dazu bietet das EWM-System die folgenden fünf Nachschubstrategien an: Auftragsbezogener, direkter, automatischer, Plan- und Kistenteilnachschub. Zu unterscheiden sind in diesem Zusammenhang der geplante und der ungeplante Nachschub. Der geplante Nachschub umfasst den auftragsbezogenen, den Plan- und den Kistenteilnachschub. Charakteristisch ist hierbei die Ausführung zu festgelegten Zeitpunkten. Im Gegensatz dazu wird der ungeplante Nachschubprozess durch Transaktionen ausgelöst. Im Rahmen der Nachschubstrategien sind insbesondere der auftragsbezogene sowie der automatische Nachschub für eine Umsetzung mit Industrie 4.0 in Betracht zu ziehen. Der Grund dafür ergibt sich aus der hiermit möglichen autonomen Berechnungen des Nachschubbedarfs durch das EWM-System, welches entsprechende LBs als Hintergrundjob beauftragen kann. Damit dieser Job automatisch ausgelöst werden kann, wird jeweils eine Minimalmenge des Bestandes zu Grunde gelegt. Zudem ermöglicht die Strategie des auftragsbezogenen Nachschubs, dass offene selektierte Lageranforderungen ebenfalls berücksichtigt werden [Bauer et al. 2013].

Neben dem Nachschub ist außerdem die Kommissionierung eine elementare Aufgabe im Lager. Hierbei kommt die Bestandsfindung zum Tragen, welche sich auf die Art und Weise der Selektion von Beständen im Lager bezieht. Dadurch wird es ermöglicht, auch solche Bestandsarten und Eigentümer zu finden, die eigentlich nicht angefragt sind. Ein entsprechendes Szenario tritt z. B. dann ein, wenn immer aus dem eigenen Bestand kommissioniert werden soll, dieser jedoch nicht mehr vorhanden ist. Über die Bestandsfindung kann dann die alternative Kommissionierung aus dem Konsignationsbestand angestoßen werden [Bauer et al. 2013]. Eine Erläuterung des Konsignationsbestands ist im Glossar zu finden.

Wird für die Kommissionierung eine Kommissionierliste verwendet, ist das Post Processing Framework (PPF) für die Steuerung der lagerinternen Prozesse notwendig. Das PPF löst Folgeaktionen wie z. B. den Druck der Kommissionierliste aus [Halm et al. 2012]. Diesbezüglich erfolgt die Druckerfindung über die Konditionstechnik. Die Konditionstechnik beinhaltet Konditionssätze, die verwendet werden, um anhand spezifischer Suchanfragen und -kriterien Ergebnisse, wie in diesem Beispiel, den Drucker zu finden [SAP 2016e]. Die daran anschließenden Aktionen,

wie z. B. der Druck von Listen und Formularen, werden von Aktionsprofilen innerhalb von Anwendungen gruppiert.

Insgesamt nutzt das PPF folgende Anwendungen:

- /SCDL/DELIVERY – Neue Lieferung
- /SCTM/FOM - Transportmanagement
- /SCWM/SHP_RCV – Warenannahmen und Versand
- /SCWM/WME – Warehouse Management Engine
- QIE – Quality Inspection Engine

Im PPF gibt es verschiedene Aktionen die aktiv und inaktiv gesetzt werden können. Sollen darüber hinaus weitere Methoden angelegt werden, ist dies ebenfalls möglich. Hierzu muss in einem BAdI die entsprechende ABAP-Logik ausgekoppelt werden, welche modular für andere PPF-Aktionen wiederverwendet werden kann. Für jede Aktionsdefinition ist eine Bedingungskonfiguration zu erstellen, mit der der Ausführungszeitpunkt definiert werden kann. Die tatsächliche Ausführung der Logik erfolgt dann über die Methode, wobei Einplan- und Startbedingungen eine dynamische Steuerung ermöglichen. Wann die Ausführung stattfindet, wird je nach Einstellung durch Bedingungen über BAdIs oder über Workflow-Bedingungen gesteuert [Halm et al. 2012]. Treten Ungereimtheiten im Prozessablauf auf, wie z. B. fehlende Bestände bei der Kommissionierung, können Ausnahmecodes verwendet werden, um auf die jeweilige Ausnahme in Echtzeit zu reagieren. Möglich ist in diesem Zusammenhang z. B. die Sperrung des Lagerplatzes, das Auslösen von Nachschub oder die Erzeugung eines Inventurbelegs. Für Ausnahmecodes ist die Zuweisung eines Prozesscodes notwendig, den der SAP Standard vorgibt. Die Codes sind wiederum definierten Business-Kontexten und bestimmten Ausführungsschritten zugeordnet. Beispiele hierfür sind die Inventur oder die Quittierung einer LB [Kannapan et al. 2015].

Im Gegensatz dazu ist die Queue-Verwaltung elementar für eine systemgeführte Bearbeitung der LAs. Dabei ist eine Queue ein Sammelbegriff für eine Menge an abzuarbeitenden LAs, die anforderungsgerecht gruppiert werden können. Während der Lagerauftragserstellung wird in Abhängigkeit der Prozessparameter wie z. B. LPA, Aktivität oder Lagerplatzzugriffstyp eine Queuefindung durchgeführt. Hierbei können entsprechend der Prozessparameter unterschiedliche Zugriffsfolgen gepflegt werden. Darüber hinaus werden in der Queuesequenz die Abarbeitungsreihenfolgen der Queues gepflegt. In Kombination mit der Queuefindung ist somit eine Optimierung der Lagertätigkeiten möglich, wobei die Lageraufträge im Vorfeld in der Queue zu platzieren sind [Bauer et al. 2013]. Innerhalb einer Queue werden die Lageraufträge basierend auf dem spätesten Starttermin (SST) gefunden, welcher anhand des erwarteten bzw. geplanten WA-Termins bestimmt wird. Dabei ist im Fall eines gleichen SSTs unterschiedlicher LAs eine Priorisierung durch den Priorisierungsindex möglich. Die Zeitpunkte für die Freigabe von Queues können unmittelbaren Einfluss auf die Ressourcensteuerung haben. Diesbezüglich können z. B. Zeitfenster für die Bearbeitung reserviert werden, um in besonders engen Gängen sicherzustellen, dass nur ein Stapler verkehrt. Dafür kann der sogenannte Ressourcenausführungs-Constraint (RAC) verwendet werden [Bauer et al. 2013]. Der RAC ist eine Funktion zur Steuerung der Anzahl an erlaubten Arbeitsressourcen in einem bestimmten Bereich des Lagers. Ebenfalls möglich ist in diesem Zusammenhang die Berechnung optimaler Routen für die Ressourcen auf Basis von Wegstrecken-

berechnungen [SAP 2016p]. Für eine Wegstreckenberechnung kann ein immer wieder verwendeter Startplatz festgelegt werden. Eine genaue Ortung der Ressource ist z. B. über die Verwendung von RFID-Tags systemseitig nachzuvollziehen.

Darüber hinaus kann das systemgeführte Ressourcenmanagement, welches auf vorkonfigurierten Regeln basiert, verwendet werden. Demnach erfolgt die systemseitige Optimierung nicht auf der Grundlage von Ausnahmen oder Aktionen, sondern wird stattdessen von Auftrag zu Auftrag gesteuert. Dabei werden die Ressourcenüberwachung und die Reaktionsmöglichkeiten auf Ausnahmen durch den Lagerverwaltungsmonitor (LVM) gewährleistet. Die Optimierung der Ressourcensteuerung erfolgt im Rahmen der definierten Lagerprozesse. Allerdings können mithilfe von BAdIs oder externen Optimierern auch eigene Optimierungslogiken implementiert werden [Bauer et al. 2013].

Darüber hinaus übernimmt das EWM-System eine wesentliche Rolle bei der Auslagerung. Hierfür können neben der Bestandsfindung auch die Lagertypfindung oder die Auslagerungsstrategie als dominante Einflussgrößen verwendet werden [SAP 2016i]. Die Prinzipien der Auslagerung sind denen der Einlagerung sehr ähnlich. Hierbei stellt die LPA ebenso wie bei vielen anderen Prozessabläufen im Lager eine wesentliche Steuergröße dar. Die ebenfalls notwendige Lagertypfindung wird mit der Lagertypsuchreihenfolge realisiert. In diesem Zusammenhang werden außerdem Auslagersteuern, die produktspezifisch hinterlegt werden, häufig verwendet. Dabei sind die Festlegung von Mengenklassifizierungen oder Gefahreinstufungen ebenfalls möglich. Für eine optimale Gestaltung der Lagertypsuchreihenfolge sind Zugriffsfolgen festzulegen [Bauer et al. 2013].

Ebenfalls zu berücksichtigen ist bereits hier die Verpackungsplanung, welche einer frühzeitigen Planung von Anzahl und Art der voraussichtlich benötigten Versand-HUs dient. Der in diesem Zusammenhang erstellte Verpackungsplan schlägt produktspezifische Verpackungen vor. Dadurch lassen sich Mitarbeiter, Ressourcen, Transportmittel und ggf. Verpackungsmaschinen frühzeitig planen und steuern. Das Ergebnis der Verpackungsplanung sind Plan-Versand-HUs, die automatisch und manuell auf Basis der Auslieferpositionen erstellt werden können. Hierzu werden Heuristiken verwendet, sodass in der Regel keine tatsächlichen Optimierungen durchgeführt, sondern nur gute Lösungen ermittelt werden [SAP 2016g].

Monitoring

Zur Überwachung der Lagerprozesse bestehen mit dem LVM, dem Lagercockpit sowie dem grafischen Lagerlayout (GLL) drei Möglichkeiten im EWM-System, die im Folgenden beschrieben werden.

Der LVM verfügt über eine Vielzahl an Reports und ist das zentrale Steuer- und Kontrollinstrument. Dabei werden die Reports für diverse Geschäftsprozesse, Eingriffsmöglichkeiten in den operativen Ablauf sowie die Überwachung von Alerts verwendet. Hierdurch können auf aktuelle problematische Situationen im Lager reagiert und Korrekturmaßnahmen eingeleitet werden. Dadurch dass der LVM auf einem Framework basiert, können Erweiterungen des Standards einfach vorgenommen und eigene Reports sowie Methoden angelegt werden.

Im Gegensatz dazu steht das Lagercockpit für die grafische Anzeige der Lagerkennzahlen zur Verfügung. Es basiert auf dem Easy Graphics Framework (EGF), welches als Werkzeug zur Konfiguration des Cockpits verwendet wird. Dabei werden Daten, die von Dienstleistern gesendet werden, in festgelegten Intervallen aktualisiert und angezeigt. Eine weitere Funktionalität ist die Navigation zu Folgeaktionen direkt aus dem EGF heraus. Bei der Verwendung des Lagercockpits können neben der Benutzung der im Standard angelegten Kennzahlen eigene Kennzahlen angelegt werden. Zudem lassen sich z. B. Schwellenwerte festlegen. Stellt das System anhand dieser Werte Abweichungen fest, kann es anhand eines Ausnahmecodes Folgeaktionen wie z. B. das Versenden einer E-Mail auslösen [Bauer et al. 2013].

Das ebenfalls benannte GLL ist eine zweidimensionale Abbildung des Lagerinneren, einschließlich der Informationen zu Beständen, Lagerplätzen und Ressourcen.

Alle drei Anwendungen bieten über die Auto-Refresh-Funktion die Möglichkeit, aktuelle Informationen abzurufen. Zudem können Key Performance Indicators (KPI), also wesentliche Leistungskennzahlen über das Warehouse Performance Dashboard ermittelt werden [Bauer et al. 2013; SAP 2016].

3.5.3 Integration externer Systeme zur Unterstützung der Lagerprozesse

Das EWM-System lässt sich im Sinne einer effizienten und Anwenderfreundlichen Ausgestaltung der Lagerprozesse mit verschiedenen Gerätetypen integrieren. Diesbezüglich wird das Radio-Frequency-Framework (RF-Framework) verwendet, um z. B. mobile Endgeräte anzubinden. Hierbei ist der Grundgedanke, kundenspezifisch entwickelte Anwendungen bei Veränderungen der Programmlogik nicht verändern zu müssen. Relevant wird dies z. B. bei einem globalen Rollout oder der Veränderung bereits produktiv verwendeter Transaktionen. Zudem besteht im RF-Framework u.a. die Möglichkeit, Signaltonfelder zu nutzen. Werden diese Felder auf dem mobilen Gerät, z. B. einem MDE-Gerät, mit einer Zahl gefüllt, können Signaltöne zugeordnet werden, die durch die SAP Console ausgewertet werden. In diesem Zusammenhang dienen Web-Technologien dazu, die Meldungen auszuwerten und die Signale an den Benutzer zu senden. Bei der benannten Console handelt es sich um eine Standardschnittstelle, über die EWM und RF-Geräte miteinander verbunden sind [Bauer et al. 2013]. Als Alternative zu der Console kann SAP ITSmobile verwendet werden. ITS steht in diesem Zusammenhang für den Internet Transaction Server. Beide Varianten funktionieren online und setzen eine plattformunabhängige Client-Lösungen voraus, um Flexibilität bei der Gerätenutzung zu gewährleisten. EWM unterstützt nur die Anwendung eines Thin Clients für mobile Geräte. Dabei werden abgesehen von dem Browser oder einem ähnlichen generischen Programm keine weiteren Daten auf dem Gerät gespeichert. Die SAP Console, welche des Telnet-Clients bedarf, wird insbesondere für solche Applikationen verwendet, die schnell und performant reagieren müssen.

Probleme ergeben sich jedoch bei der RFID-Integration sowie bei der sprachgesteuerten Kommissionierführung. Hierfür sind in der Regel aufgrund fehlender offener Schnittstellen Entwicklungen auf dem mobilen Gerät notwendig [Bauer et al. 2013].

Für eine Anbindung der RFID-Technologie ist die SAP Auto-ID Infrastructure (SAP AII) zwingende Voraussetzung, da sie wesentliche Werkzeuge für die Integration von RFID beinhaltet und

den erforderlichen EPC-Standard abbildet. Das EWM-System und die AII kommunizieren über Web Services oder über RFC-Funktionsbausteine zum Aufruf eines Funktionsbausteins in einem anderen System, hier der Auto-ID Infrastructure. Dadurch können folgende RFID-Prozesse im Standard unterstützt werden:

- Entladen
- Beladen
- Quittieren von LBs
- Automatisches Verpacken
- Tag-and-Ship-Prozess, mit dem Tags vor dem Versenden auf Pakete geklebt werden

Weitere Prozesse sind prinzipiell möglich, jedoch kundenspezifisch einzustellen. Allerdings wird die RFID-basierte Kommissionierung zurzeit nicht durch das EWM-System unterstützt [Bauer et al. 2013, SAP 2016j].

Sind die systemseitigen Voraussetzungen geschaffen worden, können die lagerinternen Prozesse unter Verwendung der RFID-Technologie durchgeführt werden. Als Anwendungsbeispiel sei an dieser Stelle der WE mit RFID beschrieben. Dafür wird zunächst eine Anlieferung im ERP-System erzeugt, die entsprechende EPC-Informationen auf HU-Ebene enthält. Diese Anlieferung wird an das EWM-System über qRFC verteilt. Daran anschließend findet mit dem Entladeprozess eine Warenbewegung statt, bei der die SAP AII die RFID-Tags scannt und die Informationen an das EWM-System sendet. Daraufhin speichert das EWM-System die Daten in der Anlieferung und nimmt eine automatische WE-Buchung vor. In der Folge wird die aktualisierte Anlieferung an das ERP-System zurückgesendet [SAP 2016u].

Der beschriebenen RFC-basierte Prozess mit RFID-Unterstützung wird anhand der Abb. 6 noch einmal beispielhaft veranschaulicht. In Anhang III ist darüber hinaus der WA-Prozess mit RFID nachvollziehbar.

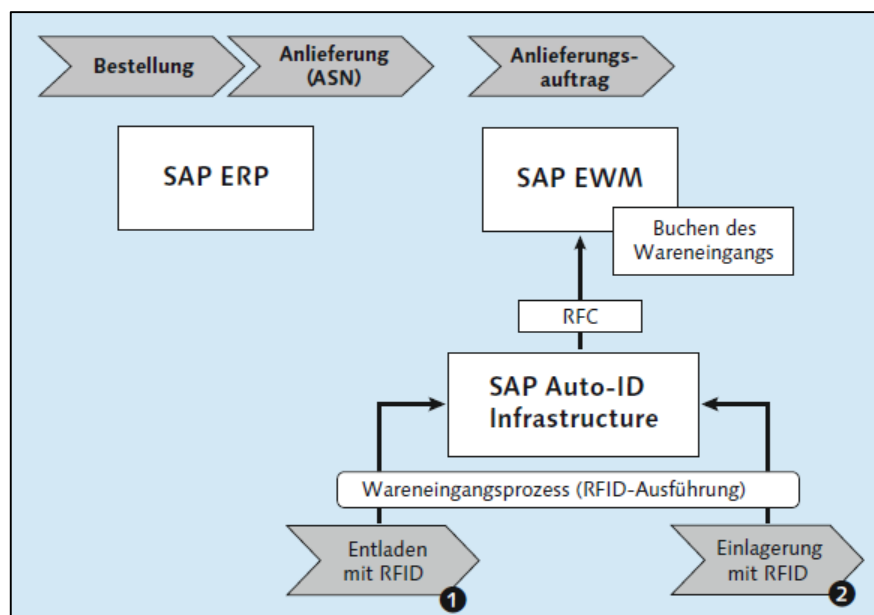


Abb. 6: Wareneingangsprozess in SAP EWM mit RFID [Bauer et al. 2013]

Im Zusammenhang mit mobilen Endgeräten stellt die Integration von Pick-by-Vision-Geräten eine weitere Option dar. Hierzu können die SAP Mobile Solutions verwendet werden, die den

Augmented Reality Warehouse Picker (AR Warehouse Picker) beinhalten. Damit bietet die SAP eine Lösung an, die als Applikation für Android-Geräte eingesetzt wird und mit EWM kommunizieren kann. Hierbei finden Smart Glasses Anwendung, womit u. a. Arbeitsanweisungen visuell und über Sprachausgaben bereitgestellt werden können [prismat GmbH 2016c].

Für die Anbindung von Lageruntersystemen wie z. B. Pick-by-Voice werden IDocs verwendet [Bauer et al. 2013].

Sollen die lagerinternen Prozesse über ein Materialflusssystem (MFS) gesteuert werden, kann dies ebenfalls mit dem EWM-System realisiert werden. Durch die Komponente EWM-MFS wird ein automatisches Lager mit Meldepunkten, Fördersegmenten und Ressourcen systemseitig abgebildet. Die Meldepunkte dienen dem Informationsaustausch zwischen der SPS und dem EWM-System. Im Gegensatz dazu beschreiben die Fördersegmente die Abschnitte zwischen zwei Meldepunkten, über die der Transport der HUs erfolgen soll. Für den Datenfluss zwischen MFS und SPS ist ein RFC-Adapter notwendig, da das EWM-System das TCP/IP-Protokoll nicht direkt verarbeiten kann. Wird eine SPS im EWM-System angelegt, ist zudem eine LPA zu hinterlegen, um die Warenbewegung entsprechend des vorgesehenen Prozesses zu steuern. Darüber hinaus basieren die Steuerentscheidungen für die Warenbewegungen auf der LOLS, die im Customizing des EWM-Systems definiert werden kann. Der Datenaustausch zwischen der SPS und der Komponente EWM-MFS erfolgt über Telegramme, die über parallele, bidirektionale Kommunikationskanäle übertragen werden [Bauer et al. 2013]. Darüber hinaus ist im Rahmen des EWM-MFS ebenso wie in anderen EWM-Funktionalitäten eine Ausnahmebehandlung konfigurierbar. Sie wird z. B. bei Kapazitätsengpässen oder Störungen notwendig, um alternative Prozesse einzusteuern [SAP 2016n].

4 Potenzielle Verfahren für eine funktionsbezogene Analyse von WMS im Hinblick auf Industrie 4.0

Die Wirtschaftsinformatik zielt auf wissenschaftliche Fragestellungen hinsichtlich Konzeption, Entwicklung und Einsatz von Informations- und Kommunikationssystemen für Wirtschaft und Verwaltung ab. Demnach kann die zugrundeliegende Problemstellung in dieses Themenfeld eingeordnet werden. Die Wirtschaftsinformatik unterteilt sich in die verhaltensorientierte und die gestaltungsorientierte Forschung. Letztere ist für die vorliegende Arbeit relevant, da sie entgegen der verhaltensorientierten Forschung nicht auf die Problembeschreibung, sondern auf die Problemlösung abzielt. Somit werden neue, innovative und technologische Ansätze oder Konzepte entwickelt. Diese können in Konstrukte, Modelle, Methoden und Instanziierungen eingeteilt werden. Mit Konstrukten werden im Allgemeinen Problemstellungen abgebildet [Burkhart 2013]. Die Modelle dienen hingegen der Abbildung von konkreten Problemstellungen und -lösungen. Des Weiteren zeigen Methoden auf, wie eine Lösung erfolgen kann und Instanziierungen dienen der Implementierung der entwickelten Ansätze und Konzepte. In diesem Zusammenhang können Erkenntnisse deduktiv oder induktiv gewonnen werden. Im Rahmen der deduktiven Vorgehensweise wird vom Allgemeinen auf das Besondere geschlussfolgert. Induktiv geschieht dieser Erkenntnisgewinn hingegen umgekehrt [Burkhart 2013].

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit soll eine Analyse der Funktionalitäten eines WMS, insbesondere SAP EWM, hinsichtlich der Anforderungen der Industrie 4.0 vorgenommen werden. Um für diese Aufgabenstellung eine geeignete Methodik auszuwählen, sind zunächst grundlegende Verfahren anzuführen, welche für die Analyse in Frage kommen. Vor diesem Hintergrund werden insbesondere zwei Modelle als methodische Grundlage in Betracht gezogen. Diesbezüglich ist das Referenzmodell ein in der Wirtschaftsinformatik häufig verwendetes Verfahren, mit dem bereits eine Vielzahl an nachhaltigen Lösungen entwickelt worden ist. Des Weiteren bietet sich das Reifegradmodell an, welches auf die Untersuchung des Reifegrads eines Systems abzielt. Dadurch, dass die Reife in unmittelbarem Zusammenhang mit der Eignung eines Systems steht, kann es für die Aufgabenstellung, vorhandene Funktionalitäten zu bewerten, in Betracht gezogen werden. Eine Übersicht über weitere in der Wirtschaftsinformatik verwendete Modelle ist dem Anhang VI zu entnehmen.

Des Weiteren werden in der Forschung quantitative und qualitative Methoden unterschieden. Die quantitative Methode repräsentiert die numerische Darstellung empirischer Sachverhalte. Demgegenüber steht die qualitative Methodik, bei der eine sinnverstehende, interpretative wissenschaftliche Verfahrensweise als Grundlage dient [Echterhoff et al. 2010]. Sie besitzt eine starke Anwendungsorientierung und ist entgegen standardisierter Methoden für das Neue im Untersuchten offen [Flick et al. 2008].

Unter den qualitativen Verfahren sind basierend auf der weiter oben beschriebenen Aufgabenstellung insbesondere eignungsdiagnostische Verfahren in Erwägung zu ziehen, da aus der Eignung die zu untersuchende Umsetzbarkeit resultiert. Zu den eignungsdiagnostischen Verfahren gehören u.a. qualitative Interviews [Gourmelon 2009] und die Potenzialanalyse [Buchner et al.

2008]. Da im Rahmen der Potenzialanalyse die Bildung von Kategorien vorgesehen ist, werden dazu ergänzend Clusterverfahren aufgegriffen, die in Abschnitt 5.1 in die Auswahl der Analyse-methode einfließen. Darüber hinaus wird als weiteres Analyseverfahren, welches den Fokus auf bisher unerforschte Themen legt, die Grounded Theory näher beschrieben. Eine Übersicht über potenzielle Analyseverfahren ist in Anhang VII aufgeführt.

Referenzmodelle

Als eine optionale Methodik sind in den vorangegangenen Ausführungen Referenzmodelle genannt worden. Hier soll zunächst der Modellbegriff im Allgemeinen aufgegriffen werden, bevor eine spezifische Erläuterung von Referenzmodellen erfolgt. Die Erstellung von Modellen erfolgt unter den Prämissen einer Abbildung, einer Verkürzung und einer pragmatischen Herangehensweise [Burkhart 2013]. Diese Merkmale finden sich auch bei Referenzmodellen wieder, die durch zwei grundlegende Merkmale gekennzeichnet sind: Die Allgemeingültigkeit und der Empfehlungscharakter der Modelle. Demnach sind Referenzmodelle für eine Klasse von Problemen gültig und beschränken sich nicht auf die Lösung einzelner Problemstellungen. Daraus resultiert eine Wiederverwendbarkeit in verschiedenen Modellierungskontexten. Des Weiteren dienen Referenzmodelle dazu, die Konstruktion anderer Modelle zu unterstützen. Gegenüber dem allgemeinen Modellbegriff sind Referenzmodelle durch einen höheren Abstraktionsgrad charakterisiert, welcher sich jedoch nur schwer nachprüfen lässt.

Als weiteres abgrenzendes Merkmal wird darüber hinaus die Anpassbarkeit genannt [Bartsch 2014]. Ebenso charakteristisch ist für Referenzmodelle die öffentliche Verfügbarkeit einer anerkannten Lösung für einen typischen Problembereich [Hansen und Neumann 2009].

Damit Sachverhalte im Rahmen von Modellen systematisch dargestellt werden können, werden Modellierungen im Gegenstands- und im Aussagenbereich unterschieden. Der Gegenstands-bereich betrifft Phänomene, welche erfasst, beschrieben und erklärt werden sollen. Ein Beispiel hierzu ist das SAP-Referenzmodell. Demgegenüber steht der Aussagenbereich, der durch von Wissenschaftlern fabrizierte Sätze gekennzeichnet ist. Referenzmodelle, die diesem Bereich zugeordnet werden können lassen sich darüber hinaus folgendermaßen untergliedern:

- Referenzmodell als terminologischer Apparat
- Referenzmodell als Menge singulärer Aussagen
- Referenzmodell als Menge genereller Aussagen
- Referenzmodell als Technik
- Referenzmodell als Menge normativer Aussagen

Wird ein Referenzmodell als terminologischer Apparat aufgefasst, stellt es eine Menge von Begrifflichkeiten dar. Singuläre Aussagen dienen hingegen der Beschreibung von bestehenden Modellen. Für den Fall von generellen Aussagen wird anhand des Referenzmodells eine Klasse von Unternehmen beschrieben. Soll das Referenzmodell als Technik genutzt werden, besteht die Zielstellung darin, bestimmte Wirkungen auszulösen. In diesem Zusammenhang können z. B. die Größen der Kosten-, Zeit- oder Qualitätsmaße verbessert werden. Normative Aussagen gehen wiederum mit Regeln, Gesetzen, Vorschriften und Maßstäben hinsichtlich der Systemgestaltung einher [Fettke und Loos 2004].

Reifegradmodelle

Bei Reifegradmodellen handelt es sich um eine Klasse von Referenzmodellen. Sie bieten somit für einen bestimmten Problembereich eine allgemeingültige Lösung und sind wiederverwendbar [Mettler 2010]. Reifegradmodelle zielen darauf ab, für eine Klasse von Objekten eine Folge von Reifegraden abzubilden. Dadurch werden antizipierte, gewünschte oder typische Entwicklungspfade bestimmt. Diese gehen von einem Anfangsstadium bis hin zu einer vollkommenen Reife. Die Erzielung eines höheren Reifegrades ist nicht grundsätzlich zu erstreben. Stattdessen wird der Zielzustand unternehmensindividuell bestimmt [Dinter 2011].

Charakteristisch für das Reifegradmodell sind die aufeinander aufbauenden Entwicklungsstufen, die einen evolutionären Prozess abbilden [Becker et al. 2009; Mettler et al. 2010].

Qualitative Interviews

In der Wissenschaft stellt das qualitative Interview ein häufig verwendetes Verfahren zur Befragung dar. Je nachdem, wie deterministisch eine solche Befragung sein soll, werden standardisierte, halbstandardisierte und nichtstandardisierte Verfahren unterschieden. Mit standardisierten Fragebögen oder Interviews kann relativ schnell und ökonomisch eine Vielzahl an Personen erreicht werden. Allerdings lassen sich über die gestellten Fragen hinaus keine Erkenntnisse generieren. Halb- und nichtstandardisierte Verfahren sind hingegen dadurch charakterisiert, dass die Befragten innerhalb ihrer Ausführungen selbständig Schwerpunkte setzen und ihre individuellen Kenntnisse zu dem betrachteten Untersuchungsgegenstand einbringen. Daraus resultiert ein erhöhter Zeitaufwand für die Durchführung des Interviews, für die Datensicherung und für die Auswertung. Der Unterschied zwischen halb- und nichtstandardisierten Verfahren besteht darin, dass halbstandardisierte Verfahren auch vorgegebene Fragen ohne Gestaltungsspielraum beinhalten. [Nawratil et al. 2009].

Grounded Theory

Die Grounded Theory ist insbesondere für eine erste Orientierung im Forschungsfeld angedacht und somit für eine geringe Wissensbasis über einen Untersuchungsgegenstand geeignet. Das genaue Vorgehen wird hierbei nicht vorgeschrieben, wobei Theorien mithilfe nichtstandardisierter Daten ermittelt werden sollen. Die Grounded Theory wird vielmehr als ein Gerüst für die Datenerhebung und die -auswertung angesehen. Dabei sollen neue Erkenntnisse vor allem durch eigenes Ausprobieren anstatt einer vorgegebenen Anweisung generiert werden. Charakteristisch ist eine iterative Vorgehensweise, bei der die Forschungsphasen miteinander verbunden werden. Demnach kann auf eine Datenauswertung eine erneute Datenerhebung folgen und dadurch eine empirisch reichhaltige Theorie entwickelt werden. Die Analyse der Daten erfolgt qualitativ und kategorienbildend. Die Hauptziele der Grounded Theory sind die Identifizierung von Kategorien sowie die Hypothesengenerierung. Demnach kommt sie vor allem bei der Datenerhebung zum Einsatz [Von Oertzen 2006].

Potenzialanalyse

Die Potenzialanalyse wird insbesondere im Personalwesen eingesetzt und zielt darauf ab, Leistungen zu beurteilen, Potenziale zu betrachten und Leistungsträger sowie -kriterien zu identifizieren [Friedrichs et al. 2010]. Allgemeiner betrachtet handelt es sich um eine strukturierte Analyse, mit der untersucht wird, ob bestimmte Eigenschaften vorhanden sind [Heidenblut und ten Hompel 2011].

Im Kontext des Personalwesens beschreibt der Begriff Potenzial das, was der Mensch über seine heutigen Tätigkeiten hinaus zusätzlich leisten kann. So werden u. a. beobachtbare fachliche und methodische Kompetenzen analysiert [Friedrichs et al. 2010]. Der Begriff Kompetenz unterliegt verschiedenen Definitionen und kann in Unterbereiche kategorisiert werden. Zur Übertragung auf ein WMS ist insbesondere die fachlich-methodische Kompetenz anzuführen. Diese beschreibt die Fähigkeiten und Fertigkeiten einer Person zur Aufgabenlösung. Genannt wird in diesem Zusammenhang u. a. die Selbstorganisation [Erpenbeck 2009].

Die Basis jeder Potenzialanalyse ist eine Anforderungsanalyse. In diesem Zuge sollen die Erwartungen hinsichtlich der Kompetenzen und Potenziale zukünftiger Leistungsträger konkretisiert und anhand von Anforderungskriterien spezifiziert werden. Daher stellt die Bestimmung von Anforderungskriterien den ersten Schritt einer Potenzialanalyse dar, sofern nicht bereits Kompetenzmodelle vorhanden sind. Dabei bilden die definierten Anforderungen die Grundlage, um geeignete Verfahren zur Erschließung von Potenzialen auszuwählen und zu konzeptionieren. Für eine übersichtliche Darstellung der Kriterien ist es notwendig, die einzelnen Anforderungen zu Anforderungsdimensionen zusammenzufassen [Friedrichs et al. 2010]. Dabei erfolgt eine Gruppierung der Kriterien, die nach verschiedenen Methoden, wie z. B. dem Clusterverfahren durchgeführt werden kann.

Als mögliche Umsetzungsformen für die beschriebene Anforderungsanalyse kommen der Bottom-up-Ansatz, der Top-down-Ansatz oder eine Kombination der beiden Verfahren in Betracht. Bottom-up-Vorgehen legen konkrete Aufgaben oder Tätigkeiten für die Ermittlung der Anforderungen zugrunde. Der Top-down-Ansatz basiert auf den Unternehmenszielen und -strategien zur Bestimmung der Anforderungen [Friedrichs et al. 2010]. In jedem Fall sind die Anforderungen im Rahmen der Analyse möglichst detailliert zu beschreiben.

Insgesamt besteht die Anforderungsanalyse aus drei Schritten:

1. Definition der übergeordneten Ziele, die erreicht werden sollen
2. Beschreibung der Aufgaben
3. Klärung der dafür notwendigen Fähigkeiten und Motivationen

Sollen einzelne Merkmale unterschiedlich gewichtet werden, kann zusätzlich ein Verfahren zur Priorisierung genutzt werden. Diesbezüglich ist z. B. über einen Paarvergleich eine entsprechende Bewertung der Anforderungskriterien möglich [Friedrichs et al. 2010].

Ebenfalls anzumerken ist, dass die Potentialanalyse ein eignungsdiagnostisches Verfahren darstellt. Sie beschreibt somit ein Vorgehen, bei dem Anforderungen abgeleitet werden, die anschließend in einem eignungsdiagnostischen Prozess abgetestet werden. Das bedeutet, dass ein Untersuchungsgegenstand daraufhin überprüft wird, ob er die gestellten Anforderungen erfüllt. Im Personalwesen werden hierzu z. B. Vorstellungsgespräche oder Persönlichkeitstests herangezogen.

Dabei ist entscheidend, dass der Beurteilende selbst das Werkzeug dieser Methodik darstellt, indem er die Eignung subjektiv einschätzen muss und sich innerhalb des dynamisierenden Umfelds nicht auf vorgegebene Entscheidungsbäume stützen kann. Einen objektiven Leitfaden für die Art der Durchführung einer Potenzialanalyse gibt es daher nicht. Stattdessen wird das genaue Vorgehen von dem Beurteilenden selbständig entwickelt. Darüber hinaus erfolgt die Potenzialanalyse unter der Annahme, dass der Untersuchungsgegenstand entwicklungsfähig ist, wohingegen die Bedingungen, unter denen sie durchgeführt wird, eine konstante Größe darstellen [Buchner et al. 2008].

Clusterverfahren

Nachdem im Rahmen der Beschreibung der Potenzialanalyse auf die Clusterverfahren Bezug genommen worden ist, soll an dieser Stelle noch einmal näher auf diese Methodik eingegangen werden. Hierbei handelt es sich um eine Gruppierungsmethode, bei der die Gruppeneinteilung anhand definierter Ähnlichkeitskriterien realisiert werden soll. Das Ziel ist die Maximierung der Ähnlichkeit von Objekten einer Gruppe und zugleich die Minimierung der Ähnlichkeit zwischen zwei verschiedenen Gruppen. Unterschieden werden in diesem Zusammenhang harte und Fuzzy-Clusterverfahren, welche zu den partitionierenden Verfahren gehören, sowie agglomerative und divisive Verfahren, die hierarchische Verfahren darstellen. Bei harten Clusterverfahren wird jedes Objekt exklusiv einer Gruppe zugeordnet wohingegen Fuzzy-Verfahren die Zuordnung eines Objektes zu mehreren Gruppen erlauben. Hierarchische Clusterverfahren durchlaufen eine ganze Serie von Partitionierungen für verschiedene Clusteranzahlen. Die partitionierenden Clusterverfahren beschränken sich hingegen auf eine einmalige Produktion [Haendel 2003].

5 Vorbereitung der Analyse

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit steht die Analyse des EWM-Systems hinsichtlich der Anforderungen der Industrie 4.0 im Fokus. Nachdem hierfür der State-of-the-Art in den Kapiteln 1 bis 4 dargelegt worden ist, stellt dieses Kapitel eine Überleitung zu der Analyse dar. Insbesondere geht es darum, ein geeignetes Analyseverfahren auszuwählen, welches den Ansprüchen, die an diese Arbeit gestellt worden sind, gerecht werden kann. Darauf aufbauend werden in Abschnitt 5.2 Methodenspezifische Vorbereitung für die Analyse getroffen.

5.1 Auswahl des Analyseverfahrens

Für die nachfolgende Analyse ist die Auswahl der geeigneten Analyseverfahren eine grundlegende Voraussetzung. Daher werden die in Kapitel 4 beschriebenen Methoden hinsichtlich ihrer Eignung für die definierten Ziele der vorliegenden Arbeit in diesem Abschnitt geprüft. Demnach soll die verwendete Methodik einer Untersuchung des EWM-Systems im Hinblick auf Umsetzungsmöglichkeiten der Industrie 4.0 dienen. Hierdurch sollen stichhaltige Aussagen bezüglich der zukünftigen Rolle des EWM-Systems getroffen und anhand von Stärken, Schwächen und gegebenenfalls fehlenden Funktionalitäten spezifiziert werden können. Die vorgestellten Verfahren, welche für die beschriebene Zielstellung in Betracht kommen, sind im Folgenden einzeln aufgeführt und werden hinsichtlich ihrer Eignung diskutiert.

Referenzmodell

Referenzmodelle haben sich, wie in Kapitel 4 beschrieben, als häufig verwendetes Verfahren in der Wirtschaftsinformatik etabliert und zielen auf allgemeingültige Lösungen ab. Daher sind sie auch für die vorliegende Arbeit in Betracht zu ziehen. Ob das Verfahren jedoch dem Anspruch genügen kann, Eigenschaften des EWM-Systems zu untersuchen und Umsetzungsmöglichkeiten der Industrie 4.0 im Rahmen des Systems aufzuzeigen, ist an dieser Stelle zu prüfen.

Das vorangegangene Kapitel hat aufgezeigt, dass Referenzmodelle im Gegenstandsbereich verschiedene Phänomene erfassen, beschreiben und erklären. Diese Aspekte werden für die vorliegende Analyse als grundlegende Bedingungen erachtet, um die zu untersuchenden Eigenschaften des EWM-Systems und relevante Aspekte der Industrie 4.0 zu kennen. Daher können Referenzmodelle die Grundlage für eine tiefere Untersuchung der Systems schaffen. Allerdings wird das Referenzmodell hiermit nicht dem Anspruch gerecht, den Bezug zwischen dem EWM-System und der Industrie 4.0 herzustellen. Dabei ist insbesondere hervorzuheben, dass die Umsetzbarkeit der Industrie 4.0 mit SAP EWM bisher auf Annahmen beruht, die der Autor selbstständig zu treffen hat. Zudem gibt es bezüglich der Auffassungen zu Industrie 4.0 entsprechend der Ausführungen in Abschnitt 2.1 noch starke Divergenzen, sodass in diesem Zusammenhang keine allgemein anerkannten Sachverhalte angenommen werden oder beschrieben werden können. Vielmehr sollen mit der Analyse erste mögliche Formen der Umsetzung herausgearbeitet werden,

die es mittel- bis langfristig im Unternehmensumfeld zu prüfen gilt. Dieses Ziel kann auch dann nicht erreicht werden, wenn die Modellierung im Aussagenbereich erfolgt. Hier erfüllt nämlich keine der möglichen Ausgestaltungen eines Referenzmodelles die Anforderungen, die an die Methodik gestellt werden. In diesem Zusammenhang ist zu betonen, dass die Analyse nicht auf spezifische Verbesserungen abzielt, sondern zunächst die Frage der Umsetzbarkeit der Industrie 4.0 adressiert. Des Weiteren sollen auch keine bestehenden Modelle oder Klassen von Unternehmen beschrieben werden, wie es im Kontext der singulären und generellen Aussagen vorgesehen ist. Als weitere Umsetzungsform ist in Kapitel 4 das Referenzmodell als Technik angeführt worden. Hiermit sollen bestimmte Wirkungen z. B. hinsichtlich Kosten, Zeit oder Qualität erzielt werden. Zwar ist dies langfristig auch eine Zielstellung der Industrie 4.0, doch können diese Ziele erst dann erreicht werden, wenn die Umsetzbarkeit der Industrie 4.0 gewährleistet ist. Von dem verwendeten Verfahren wird jedoch erwartet, dass es bereits zur Überprüfung der Umsetzbarkeit eingesetzt werden kann. Eine ähnliche Begründung ist für das Modell als Menge normativer Aussagen anzuführen, da die Systemgestaltung nicht Ziel der Arbeit ist und daher auch keine Festlegung von Normen notwendig ist. Im Hinblick auf die Methodenwahl kann das SAP-Referenzmodell als Beispielmodell herangezogen werden. Es bietet Standardlösungen, die auf viele Unternehmen übertragbar sind. Diesbezüglich werden z. B. Standardprozesse abgebildet und beschrieben, die sich in jedem Unternehmen wiederfinden. Zu nennen sind in diesem Zusammenhang die Anlage von Aufträgen oder die Quittierung von LBs. Der Standard kann jedoch nur dann beschrieben werden, wenn allgemein ein Konsens hinsichtlich der enthaltenen Sachverhalte besteht. An dieser Stelle entsteht jedoch ein Widerspruch zu dem Bereich Industrie 4.0, zu welchem unterschiedliche Meinungen vorliegen. Daher wird die Verwendung eines Referenzmodells im Hinblick auf die Untersuchung des EWM-Systems bezüglich der Umsetzbarkeit der Industrie 4.0 nicht als geeignet erachtet.

Reifegradmodell

Infolge der vorangegangenen Ausführungen ist deutlich geworden, dass sich Referenzmodelle für die Analyse nicht eignen. Aufgrund dessen sind auch Reifegradmodelle als Untergruppe der Referenzmodelle auszuschließen. An dieser Stelle soll dennoch etwas spezifischer darauf eingegangen werden, wieso Reifegradmodelle für die angestrebte Untersuchung des EWM-Systems nicht in Frage kommen. Hierzu sei zunächst auf die oben beschriebene Aufgabenstellung verwiesen. Demnach soll das Analyseverfahren dazu dienen, die Umsetzbarkeit der Industrie 4.0 mit SAP EWM zu untersuchen. Dabei stehen insbesondere die Funktionalitäten des EWM-Systems im Fokus, die entscheidend für die Umsetzung der Industrie 4.0 sind. Dem Reifegradmodell liegt hingegen eine Objektorientierung zugrunde. So werden hierbei einzelne Klassen von Objekten untersucht und nicht die betreffenden Funktionalitäten. Daher kann das Reifegradmodell den Anspruch an die Methodik nicht erfüllen.

Qualitative Interviews

Das Qualitative Interview ist ebenso wie das Referenzmodell eine häufig verwendete Methodik. Inwieweit diese Befragungsmethode geeignet ist, um als methodisches Vorgehen für die oben beschriebene Aufgabenstellung herangezogen zu werden, wird nachfolgend untersucht. Dahingehend ist zu berücksichtigen, dass das EWM-System ein komplexes und spezialisiertes System ist, weshalb nur ein begrenzter Personenkreis Fachwissen in diesem Bereich hat. Ein standardisierter Fragebogen, der eine Vielzahl an Personen erreicht, ist daher nicht geeignet, um Expertenwissen zu generieren. Vielmehr besteht die Gefahr, innerhalb des standardisierten Leitfadens für die Befragung wichtige Zusammenhänge des komplexen WMS nicht abbilden zu können. Daher ist davon auszugehen, dass nichtstandardisierte Verfahren besser geeignet wären, um das EWM-System im Hinblick auf die Umsetzbarkeit der Industrie 4.0 zu untersuchen. Diesbezüglich ließen sich aufgrund der Aussagen der Experten besonders wichtige Aspekte identifizieren. Da die Industrie 4.0 bis jetzt jedoch nur begrenzt in der Praxis Beachtung findet, besteht die Gefahr, dass aufgrund der Neuheit des Themas auch EWM-Experten noch keine fundierten Aussagen treffen können. Aufgrund dessen ist zu untersuchen, ob ein besser geeignetes empirisches Verfahren gefunden werden kann.

Grounded Theory

Die Grounded Theory erscheint als geeignete Methodik, da sie von einem geringen Wissensstand ausgeht und den Untersuchungsgegenstand von Grund auf beleuchtet. Die Übertragung der Industrie 4.0 auf WMS ist ein neues Forschungsfeld, sodass die vorliegende Problematik dem Grundgedanken einer Grounded Theory entspricht. Dennoch geht es hierbei entgegen der in Kapitel 4 beschriebenen Grundlagen nicht um die Entwicklung einer Theorie, sondern vielmehr um die Möglichkeit einer praktischen Umsetzung. Entsprechend der Aufgabenstellung soll die Umsetzbarkeit der Industrie 4.0 mit SAP EWM durch eine einmalige Analyse geprüft werden. Die Grounded Theory sieht hingegen einen iterativen Prozess über mehrere Forschungsphasen hinweg vor. Dabei ist die Hypothesengenerierung eines der Hauptziele, welches ebenso auf die angestrebte Analyse übertragen werden kann. Die Hypothese ist in diesem Fall, dass eine Umsetzung der Industrie 4.0 mit WMS möglich bzw. nicht möglich ist. Das zweite Hauptziel, die Identifikation von Kategorien, ist in der vorliegenden Arbeit nicht explizit vorgesehen. Sie kann allerdings dazu genutzt werden, die Analyse strukturierter durchzuführen und abschließend zusammenzufassen. Der Fokus der Analyse liegt jedoch auf der Umsetzbarkeit von Industrie 4.0 mit SAP EWM und nicht auf der Kategorisierung zugrundeliegender Sachverhalte. Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Grounded Theory nur sehr bedingt auf den vorliegenden Untersuchungsgegenstand übertragbar ist und daher nicht die bestmögliche Methodik darstellt.

Potenzialanalyse

Die ebenfalls in Kapitel 4 beschriebene Potenzialanalyse legt ihren Fokus u. a. darauf, Potenziale zu erkennen und Leistungskriterien zu beurteilen. Demnach werden bestimmte Eigenschaften

strukturiert analysiert. Für die vorliegende Arbeit ergibt sich aus der zentralen Fragestellung der Anspruch, dass die Eignung des EWM-Systems im Hinblick auf Industrie 4.0 untersucht wird. Dabei sollen die systemseitigen Funktionalitäten betrachtet und mögliche Umsetzungen der Industrie 4.0 herausgestellt werden. Bezüglich der verwendeten Methode wird daher erwartet, dass die Eigenschaften des Systems nicht nur identifiziert werden, sondern auch hinsichtlich der Übertragbarkeit auf die Industrie 4.0 und ihren Fokus der Selbstorganisation zu prüfen sind. Daher lässt sich ein Zusammenhang zwischen dem Vorgehen im Rahmen der Potenzialanalyse und der vorliegenden Problemstellung festmachen. Im Hinblick auf die vorliegende Problemstellung ist zu erwarten, dass durch eine intensive Auseinandersetzung mit den Eigenschaften des Systems und den Anforderungen der Industrie 4.0 der Ist-Zustand und davon ausgehende Potenziale für die Umsetzung der intelligenten Fabrik festgemacht werden können. Dabei sind vorrangig die Funktionalitäten des EWM-Systems zugrunde zu legen. Diese Vorgehensweise entspricht dem Grundgedanken der Potenzialanalyse, da mit ihr vorhandene Eigenschaften überprüft werden. Anzumerken ist allerdings, dass mit der Analyse nur dann ein Mehrwert erzielt werden kann, wenn beim Anwender entsprechende Vorkenntnisse hinsichtlich des Systems vorhanden sind. Da der Autor dieser Arbeit dieses Vorwissen aufweisen kann, wird davon ausgegangen, dass die bestehenden Funktionalitäten bekannt sind und damit unter korrekten Annahmen in die Analyse mit einfließen können. Hierbei wird deutlich, dass der Beurteilende, wie in Kapitel 4 beschrieben, als Werkzeug fungiert, welches selbständig eine geeignete Vorgehensweise entwickeln muss. In Anbetracht der Neuartigkeit der vorliegenden Thematik und der fehlenden theoretischen Vorlagen wird diese Herangehensweise als angemessen erachtet. Dass die Potenzialanalyse vorrangig im Personalwesen für die Auswahl oder Einschätzung von Mitarbeitern verwendet wird, stellt für die vorliegende Arbeit aus Sicht des Autors kein Problem dar. Denn der Fokus liegt unabhängig davon, ob der Untersuchungsgegenstand eine Person oder eine Software ist, darauf, Potenziale zu erkennen und Leistungskriterien zu beurteilen. Damit wird die Methodik dem Anspruch gerecht, Potenziale des EWM-Systems zu identifizieren und entsprechend ihrer Umsetzbarkeit der Industrie 4.0 zu beurteilen. Dafür sieht die Potenzialanalyse zunächst die Ermittlung der Anforderungskriterien und -dimensionen vor. Übertragen auf den Untersuchungsgegenstand wird somit festgelegt, welcher Anspruch durch die Thematik der Industrie 4.0 an WMS herangetragen wird. Ob das System den Ansprüchen genügt, wird anhand der zu erarbeitenden Potenziale überprüft. Demnach kann z. B. durch eine gegebene Aufgabenstellung, wie der Durchführung des Wareneingangsprozesses, im System überprüft werden, ob die notwendigen Eigenschaften für eine Umsetzung der Industrie 4.0 vorhanden sind und zielführend genutzt werden können. Aufgrund der vorangegangenen Ausführungen wird deutlich, dass die Potenzialanalyse ein geeignetes Verfahren ist, um die vorliegende Aufgabenstellung zu bewältigen.

Clusterverfahren

Das Hauptaugenmerk von Clusterverfahren liegt auf der Gruppierung ähnlicher Merkmale zu eindeutigen Clustern, die sich von anderen Clustern abgrenzen lassen. Demnach sind sie nicht für eine Analyse heranzuziehen, die die Eignung des EWM-Systems im Hinblick auf Industrie 4.0 überprüfen soll. Allerdings kann das Clusterverfahren im Rahmen der Potenzialanalyse, welche

als geeignetes Verfahren identifiziert worden ist, für die Bildung von Anforderungsdimensionen herangezogen werden. Dahingehend sind die einzelnen Anforderungskriterien, die aus dem Kapitel 2 abzuleiten sind, nach ähnlichen Eigenschaften zu gruppieren. Aufgrund dessen kommt das Clusterverfahren bei der Vorbereitung der Potenzialanalyse zum Tragen und findet in Abschnitt 5.2 Anwendung.

Die folgenden Tabellen 1 und 2 sollen einen Überblick zu den Vor- und Nachteile der einzelnen Theorien im Hinblick auf die Aufgabenstellung geben. Da die Clusteranalyse nicht zur Lösung der Aufgabenstellung in Betracht gezogen worden ist, sondern lediglich unterstützend hinzugezogen werden soll, ist sie hier nicht mit aufgeführt.

Tab. 1: Vor- und Nachteile der angeführten Methoden – I

Methode	Vorteile	Nachteile
Referenzmodell	<ul style="list-style-type: none"> • Zielen auf allgemeingültige Lösungen ab • Schaffen Grundlage für tiefergehende Untersuchung durch erfassende, beschreibende und erklärende Funktion 	<ul style="list-style-type: none"> • Erfordern allgemein anerkannte Sachverhalte, die aktuell nur bedingt feststehen im Hinblick auf Industrie 4.0 • Mögliche Ausgestaltungen eines Referenzmodells sind nicht für die Aufgabenstellung geeignet, der zufolge, die Umsetzbarkeit der Industrie 4.0 mit SAP EWM zu prüfen ist
Reifegradmodell	<ul style="list-style-type: none"> • Objektorientierung des Reifegradmodells widerspricht der angestrebten Untersuchung von Funktionalitäten des EWM-Systems 	<ul style="list-style-type: none"> • Untergruppe der Referenzmodelle, wodurch sie kategorisch ausgeschlossen werden können
Qualitative Interviews	<ul style="list-style-type: none"> • Ermöglicht fundierte Aussagen zu dem EWM-System 	<ul style="list-style-type: none"> • Untersuchung setzt Fachwissen im Hinblick auf SAP EWM und Industrie 4.0 voraus, daher kommt nur ein sehr begrenzter Personenkreis für die Methode in Frage. Daher ist die Repräsentativität der Methode in Frage zu stellen

Tab. 2: Vor- und Nachteile der angeführten Methoden - II

Methode	Vorteile	Nachteile
Grounded Theory	<ul style="list-style-type: none"> • Geht von geringem Wissensstand aus und beleuchtet den Untersuchungsgegenstand von Grund auf, was der Ausgangssituation für die vorliegende Aufgabenstellung entspricht 	<ul style="list-style-type: none"> • Schwerpunkt ist die Entwicklung einer Theorie und der Hypothesengenerierung, anstelle der in dieser Arbeit vorgesehenen Analyse der Möglichkeit einer praktischen Umsetzung • Die Methodik sieht einen iterativen Prozess über mehrere Forschungsphasen vor, dies widerspricht der einmaligen Analyse, die in der vorliegenden Aufgabenstellung angedacht ist • Die Identifikation von Kategorien ist im Rahmen der Analyse nicht vorgesehen, sondern kommt nur als Grundlage für die Analyse in Betracht
Potenzialanalyse	<ul style="list-style-type: none"> • Prüfung vorhandener Eigenschaften, Beurteilung von Leistungskriterien und Potenzialerkennung. Dies lässt sich im Hinblick auf die Funktionalitäten des EWM-Systems bezüglich der Anforderungen der Industrie 4.0 übertragen. • Analyst fungiert als Werkzeug und muss selbständig eine geeignete Vorgehensweise entwickeln. Dieser Aspekt wird aufgrund der Neuartigkeit des Themas als Vorteil erachtet. • Die Methodik sieht eine strukturierte Analyse auf Basis von Anforderungskriterien vor, womit ein systematisches Vorgehen etabliert wird 	<ul style="list-style-type: none"> • Die Analyse setzt Vorwissen bei dem Analysten voraus, dieser Aspekt wird jedoch erfüllt und ist daher nur bedingt als Nachteil zu werten

5.2 Anforderungskriterien und -dimensionen für die Umsetzung der Industrie 4.0 mit WMS

Eine Potenzialanalyse erfordert für ihre Durchführung definierte Anforderungen, anhand derer ein Soll-Zustand festgelegt werden kann. Daher werden an dieser Stelle wesentliche Anforderungskriterien definiert, die aus dem Kapitel 2 hervorgehen.

Für eine übersichtlichere Darstellung werden die Anforderungskriterien entsprechend dem Vorgehen bei Potenzialanalysen in sogenannte Anforderungsdimensionen gruppiert. Aufgrund der thematischen Einordnung konnten im Rahmen des Clusterverfahrens drei Hauptanforderungsbereiche herausgestellt werden. In diesem Zusammenhang konnte eine Kohärenz zwischen einzelnen Anforderungskriterien herausgestellt werden, die der Gruppierung zugrunde liegt. Beispielfähig anzuführen sind die Integration von Software-Agenten und Mobile Devices, welche beide von der Schnittstellengestaltung des WMS abhängen.

Das Resultat der Gruppierung sind die Dimensionen „Echtzeitsteuerung und Organisation“, „Technische Schnittstellenkompetenz“ sowie „Einbindung des Menschen“. Diese Anforderungsdimensionen sind gemeinsam mit den zugeordneten Anforderungskriterien in Tab. 3 veranschaulicht. Dabei ist zu beachten, dass das Kriterium der Vernetzung mit Kunden- und Lieferantensystemen nicht nur eine technische, sondern auch eine organisatorische Schnittstellenproblematik darstellt. Aufgrund dessen wird es den Anforderungsdimensionen 1 und 2 zugeordnet. Ebenso ist die Integration des Menschen als PAD nicht nur unter technischen Gesichtspunkten zu betrachten, sondern hat darüber hinaus Einfluss auf die Einbindung des Menschen. Daher ist dieses Kriterium Bestandteil der Anforderungsdimensionen 1 und 3.

Im Hinblick auf die nachfolgende Analyse ist ausdrücklich hervorzuheben, dass die definierten Anforderungsdimensionen als Voraussetzung für die Umsetzung der Industrie 4.0 zu verstehen sind und nicht die Industrie 4.0 selbst beschreiben sollen. Somit wird angenommen, dass die genannten Anforderungskriterien und -dimensionen die Basis für eine Umsetzung der Industrie 4.0 schaffen, welche jedoch erst durch die in den Abschnitten 2.1 und 2.2 beschriebene Interaktion der verschiedenen Systeme zum Tragen kommt. Hinsichtlich des WMS ist vor allem die Anbindung der verschiedenen Systeme sowie deren Datenaustausch von entscheidender Bedeutung. Der Grund hierfür ist neben der Vernetzung des WMS selbst, auch die Unterstützung einer umfassenden Vernetzung intelligenter Systeme. Dahingehend ist es ein wesentlicher Aufgabenbereich des WMS, erforderliche Daten für die Interaktion der Systeme bereitzustellen.

Die erste Dimension, welche die Echtzeitsteuerung und Organisation adressiert, ist vor allem prozess- und datenbezogen. Prozesse und Daten müssen im Sinne einer durchgängigen Transparenz so gestaltet werden, dass sie für eine Echtzeitsteuerung ausgelegt sind, weitgehend automatisiert ablaufen können und kontinuierlich zur Verfügung stehen. Diese Aspekte kommen vor allem dann zum Tragen, wenn sich Arbeitsstationen oder Kundenwünsche kurzfristig ändern. Hiermit stehen außerdem die Bereitstellung und der Austausch der Stamm- und Bewegungsdaten in Echtzeit in Zusammenhang. Darüber hinaus ist eine autonome Selbstorganisation und dezentrale Steuerung im operativen Betrieb eine Anforderung, die insbesondere auf die organisatorische Ausgestaltung der intelligenten Fabrik Einfluss hat. Zugleich werden jedoch auch standardisierte sowie automatisierte Prozesse als notwendig erachtet, um der wachsenden Komplexität begegnen zu können.

Des Weiteren wird infolge der Ausführungen in den Abschnitten 2.1 und 2.2 deutlich, dass für eine intelligente Fabrik Schnittstellen zwischen den Systemen zu gewährleisten sind, welche die organisatorische Neuausrichtung unterstützen. Daher ist die zweite Dimension im Hinblick auf die technische Schnittstellenkompetenz herausgestellt worden. Hierbei stehen insbesondere der Informationsaustausch mit Geschäftspartnern, die Integration von Informations- und Kommunikationstechnologien, Cloud Services, PAD- und PLM-Systemen sowie von Software-Agenten und Maschinen im Mittelpunkt. Zudem übernehmen Mobile Devices als intelligente Assistenten eine neue Rolle, die im Rahmen der Schnittstellengestaltung ebenfalls zu berücksichtigen ist. Die in diesem Zusammenhang genannten Technologien werden im Kontext der Industrie 4.0 als mögliche und zum Teil notwendige Voraussetzungen für eine praxisgerechte Umsetzung erachtet. Darüber hinaus soll dem Grundgedanken der Industrie 4.0 entsprechend neben der Anbindung diverser technischer Systeme auch der Mensch miteinbezogen werden. Demnach besteht die Anforderung, den Menschen wie in Abschnitt 2.4 beschrieben, in einem komplexen Umfeld zum Lernen, zum Erfahrungsaufbau und zum richtigen Handeln zu befähigen. Aufgrund dessen wird die Einbindung des Menschen auch bei der vorliegenden Analyse als eine eigene Anforderungsdimension mit angeführt und soll bei der Untersuchung des EWM-Systems als notwendige Voraussetzung für Industrie 4.0 berücksichtigt werden. Hierbei sind insbesondere die Rolle des Menschen als planende und abstimmende Instanz sowie die Entwicklung hin zu einem assistierten Bediener entscheidende Veränderungen. Aufgrund dessen ist davon auszugehen, dass sie das Arbeitsumfeld und damit gegebenenfalls auch das WMS prägen werden. Hierbei ist eine verständliche Benutzeroberfläche grundlegende Voraussetzung, um den Menschen zum Lernen und richtigen Handeln zu befähigen. Daher ist sie ebenfalls als Anforderung mit angeführt.

Darüber hinaus ist anzumerken, dass in Abschnitt 2.3 auf die Anforderungen einer wachsenden Flexibilität infolge eines dynamischen Umfelds hingewiesen wird. Da die Flexibilität mit diversen Anforderungskriterien einhergeht, wie z. B. der Anpassung an veränderte Kundenwünsche oder der Etablierung von assistierten Bedienern, wird sie jedoch nicht als eigenes Anforderungskriterium angeführt. Stattdessen sollen die Kriterien gemäß dem Anspruch einer Potenzialanalyse möglichst feingliedrig betrachtet werden.

Tab. 3: Anforderungsdimensionen im Rahmen der Potenzialanalyse

Nummer	Anforderungsdimension	Anforderungskriterien
1	Echtzeitsteuerung und Organisation	<ul style="list-style-type: none"> • Bereitstellung und Austausch der Stamm- und Bewegungsdaten in Echtzeit (Abschnitt 2.1; 2.3) • Anpassungsfähigkeit an ständige Veränderungen innerhalb der Fabrik (variable Arbeitsstationen etc.) (Abschnitt 2.2) • Autonome Selbstorganisation und dezentrale Steuerung im operativen Betrieb (Abschnitt 2.3) • Anpassung an veränderte Kundenwünsche (Abschnitt 2.3) • Standardisierte Prozessabläufe (Abschnitt 2.3) • Umfassende Automatisierung von Prozessabläufen (Abschnitt 2.4) • Vernetzung mit Kunden- und Lieferantensystemen (Abschnitt 2.4)
2	Technische Schnittstellenkompetenz	<ul style="list-style-type: none"> • Integration von Software-Agenten für die Interaktion mit CPS (Abschnitt 2.2) • Integration von Informations- und Kommunikationstechnologien (RFID, Barcodes, etc.) (Abschnitt 2.2) • Integration des Menschen als PAD (Abschnitt 2.2) • Integration von Mobile Devices als intelligente Assistenten (Abschnitt 2.2) • Integration der intelligenten Maschine • Anbindung an die Cloud (Abschnitt 2.2; 2.3) • Integration von PLM-Systemen (Abschnitt 2.3) • Vernetzung mit Kunden- und Lieferantensystemen (Abschnitt 2.4)
3	Einbindung des Menschen	<ul style="list-style-type: none"> • Integration des Menschen als PAD (Abschnitt 2.2) • Etablierung von assistierten Bedienern (Abschnitt 2.2) • Intuitive Benutzeroberfläche, verständlicher Systemaufbau (wird aus Abschnitt 2.4 geschlussfolgert) • Berücksichtigung der planerischen, abstimmenden Rolle des Menschen (Abschnitt 2.4)

6 Analyse von SAP EWM in Bezug auf Industrie 4.0

Da aus dem Theorieteil hervorging, dass eine intelligente Infrastruktur unterschiedliche Ausprägungen haben kann, ist für die Analyse eine Unterscheidung hinsichtlich der technischen Voraussetzungen vorzunehmen. Wie in Abschnitt 2.2 beschrieben, werden eine Infrastruktur basierend auf CPS und eine unter Verwendung ausschließlich passiver Kennzeichnungen als mögliche Umsetzungsformen der Industrie 4.0 angenommen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass CPS keine passiven Kennzeichnungen ausschließen, sondern Kombinationen der Technologien denkbar sind. Eine mögliche Anwendung wird in Abschnitt 6.5.2 aufgezeigt.

In der Analyse werden die aufgestellten Anforderungskriterien zunächst einzeln hinsichtlich ihrer Umsetzbarkeit untersucht. Daran anschließend werden Zusammenhänge zwischen den Kriterien hergestellt, um zu beleuchten, ob die Umsetzbarkeit trotz der bestehenden Abhängigkeiten gewährleistet werden kann.

6.1 Anforderungsdimension 1: Echtzeitsteuerung und Organisation

Als erste Anforderungsdimension wird die Echtzeitsteuerung und Organisation behandelt. Hierbei soll insbesondere auf die Echtzeitfähigkeit des EWM-Systems und die organisatorischen Erfordernisse für die Umsetzung der Industrie 4.0 eingegangen werden. In diesem Zusammenhang spielt der Datenaustausch eine große Rolle, welcher die Transparenz gewährleisten kann, die eines der charakteristischen Merkmale der Industrie 4.0 ist.

Bei der Analyse wird zunächst von einem Szenario ausgegangen, bei dem ausschließlich passive Kennzeichnungen verwendet werden. Anschließend werden die Anforderungskriterien auf eine CPS-basierte Umsetzung überprüft.

Das erste Anforderungskriterium bezieht sich auf die Bereitstellung und den Austausch von Stamm- und Bewegungsdaten in Echtzeit. Hierzu ist u. a. die MFS-Komponente des EWM-Systems zu betrachten, welche im Austausch mit der SPS steht. Das zugrundeliegende Meldepunktverfahren funktioniert über Kommunikationspunkte, an denen Entscheidungen des EWM-Systems abgefragt werden. Dabei kann für die spezifische Platzfindung die zwei-Schritt-Beauftragung mit einer zwei-Schritt-Quittierung eingestellt werden. Demnach werden sowohl die Aufnahme, die Abgabe von der Ressource, als auch die aktuelle Belegung jederzeit eindeutig nachvollziehbar und gewährleisten damit die im Rahmen der Industrie 4.0 geforderte Transparenz durch eine echtzeitnahe Datenübertragung.

Darüber hinaus ist insbesondere die RFID-Technologie für einen Datenaustausch in Echtzeit geeignet, da sie neben den intralogistischen Vorteilen wie z. B. der Massenerfassung, ebenfalls eine Echtzeitkommunikation ermöglicht. Für eine Umsetzung von RFID ist unter organisatorischen Gesichtspunkten das Customizing der in Abschnitt 3.5.3 beschriebenen SAP AII und der RFID-Einstellungen notwendig. Darüber hinaus sind EPCs im ERP-System zu generieren und Tags zu beschreiben. Das EWM-System der SAP erfüllt, entsprechend der Ausführungen in Abschnitt

3.5.3, diese Anforderungen und ist Bestandteil einer integrierten Lösung, die u.a. das ERP-System mitberücksichtigt. Mit der Beschaffung von RFID-Geräten und Tags kann das Anforderungskriterium hinsichtlich des Austauschs von Bewegungsdaten im Rahmen des operativen Geschäfts unternehmensintern in Echtzeit erfüllt werden. Im Hinblick auf den Austausch der An- und Auslieferungsinformationen ist allerdings das ERP-System verantwortlich, welches die Daten über die in Abschnitt 3.5.2 beschriebenen qRFCs an das EWM-System repliziert. Hierbei ist festzuhalten, dass die Systemintegration aktuell noch nicht echtzeitfähig ist, was am folgenden Beispiel deutlich wird. Ändert sich ein gewünschter Liefertermin, kann das Datum der Auslieferung im EWM-System nicht mehr geändert werden, sobald das ERP-System einen Beleg an das EWM-System repliziert hat. Daher muss der Auslieferungsauftrag storniert, der ERP-Beleg angepasst und erneut repliziert werden. Diese Umbuchungsvorgänge erfordern eine manuelle Umsetzung und sind dadurch nicht in Echtzeit durchführbar. Zwischen dem EWM-System und den Geschäftspartnern werden demnach nicht direkt Informationen ausgetauscht. Aufgrund dessen ist eine Echtzeitschnittstelle zwischen dem ERP- und dem EWM-System notwendig, die bei Änderungen umgehend eine Synchronisation der Daten ermöglicht. Die Bereitstellung der Bestands- und Inventardaten ist hingegen über das flexible Nähe-Echtzeit-Management mit der LIME gewährleistet. Damit lässt sich festhalten, dass das Anforderungskriterium hinsichtlich der Bereitstellung und des Austauschs der Stamm- und Bewegungsdaten in Echtzeit bereits in vielerlei Hinsicht erfüllt werden kann. Die fehlende Echtzeitschnittstelle zwischen dem ERP- und dem EWM-System zeigt jedoch eine Schwäche auf, weshalb das Anforderungskriterium nur bedingt für die Ansprüche der Industrie 4.0 genügt.

Des Weiteren ist in Abschnitt 5.2 die Anpassungsfähigkeit an ständige Veränderungen innerhalb der Fabrik als Anforderungskriterium herausgestellt worden. Es zielt insbesondere auf unternehmensinterne Einflussgrößen ab, die eine Reaktion in Form von Prozessanpassungen oder Restrukturierungsmaßnahmen erfordern. In diesem Zusammenhang ist im Hinblick auf die organisatorische Ausrichtung der Störungsfall zu beachten, welcher z. B. Maschinen oder Regalbediengeräte (RBG) betreffen kann. Für diesen Fall werden alternative Prozesse vorausgesetzt, die auf MFS-Basis im Vorhinein bekannt und im System abgebildet sein sollten. Bevor das EWM-System die Verteilung der LBs an ein RBG stoppt, muss jedoch häufig zunächst manuell eingegriffen und der Status geändert werden. Welche Regeln hierbei jeweils zugrunde liegen, ist hersteller- und unternehmensabhängig. Zudem kann das EWM-System, dadurch, dass es nicht direkt mit den produzierenden Maschinen kommuniziert, auch nicht frühzeitig auf Störungen reagieren. Demnach wird immer erst ein Fehlerfall auftreten müssen, bevor Materialien bzw. LTs umgeleitet werden. Dadurch, dass die Maschinen nicht, wie die SPS, direkt an das EWM-System angebunden sind, ist in jedem Fall ein manueller Eingriff notwendig, der alternative LBs einsteuert. Soll in diesem Zusammenhang kurzfristig auf einer anderen Maschine gefertigt werden, muss dieser alternative Prozess mit einer anderen LPA im Vorhinein abgebildet werden. Diese Problematik gilt u. a. auch für Fahrerlose Transportsysteme (FTS), die ebenfalls über den Materialflussrechner gesteuert werden.

Ebenfalls zu berücksichtigen ist im Hinblick auf die Anpassungsfähigkeit an ständige Veränderungen die unternehmensinterne Restrukturierung. Werden z. B. Arbeitsstationen räumlich ver-

ändert oder Prozessabläufe variiert, muss das EWM-System manuell angepasst werden. Das bedeutet, dass z. B. bestehende LPAs oder ESKs geändert und neu zugeordnet werden müssen. Durch diese manuelle Tätigkeit sind neben der fehlenden Selbstorganisation ein zunehmender Zeitaufwand sowie eine erhöhte Fehleranfälligkeit zu verzeichnen. Da zudem empfohlen wird, Veränderungen im Customizing zunächst im Qualitäts-System (Q-System) zu testen, bevor sie produktiv angewandt werden, ist nach jedem Testlauf ein Transportauftrag in das Produktiv-System (P-System) anzulegen. Zwar ist der Test im Q-System notwendig, um produktiv keine Fehler mit schwerwiegenden Folgen wie z. B. Stillstände zu riskieren, doch bergen sich in diesem Zwischenschritt weitere Fehlergefahren und Probleme. Hier sind falsche Reihenfolgen und fehlende Elemente bei der Übertragung in das P-System sowie ein Mangel an Flexibilität anzuführen. In jedem Fall muss der Mensch jedes Mal eingreifen, wenn Änderungen zur Steuerung des operativen Geschäfts vorgenommen werden sollen. Aufgrund dessen kann in Erwägung gezogen werden, von vornherein alle möglichen Prozesse und Ausnahmen systemseitig anzulegen. Hierdurch kann das System selbständig arbeiten und muss nur in seltenen Fällen bei neuen Situationen angepasst werden. Zu hinterfragen ist in diesem Zusammenhang allerdings, ob alle Prozessvarianten und Störungsfälle bekannt sind und ob sich der manuelle Aufwand an dieser Stelle lohnt, womit die Themen Kosten, Qualität und Zeit in den Mittelpunkt rücken und abgewogen werden müssen. Jedoch bleibt die Variabilität auch in diesem Fall begrenzt. So wäre eine Ortbarkeit der einzelnen Entitäten notwendig, die kontinuierlich in dem System nachvollzogen werden könnte. D. h., dass, das EWM-System über eine Positionsbestimmung verfügen müsste, die nicht nur einzelne Produkte oder Ressourcen, sondern auch Arbeitsplätze erfasst.

Darüber hinaus wird erwartet, dass die Steuerungssysteme in Zukunft selbständig Handlungsoptionen vorschlagen. Dazu sind In-memory Technologien zukunftsweisend und kommen, wie in Abschnitt 3.4 erwähnt, bereits bei S/4HANA zum Einsatz. Inwieweit S/4HANA den notwendigen Funktionsumfang hinsichtlich einer variablen Prozesssteuerung bieten kann, ist jedoch nicht Bestandteil dieser Arbeit, weshalb hier nicht näher darauf eingegangen wird.

Aufgrund der vorangegangenen Ausführungen wird deutlich, dass das Anforderungskriterium der Anpassungsfähigkeit an ständige Veränderungen innerhalb der Fabrik noch nicht erfüllt werden kann und das EWM-System hierfür zu statisch organisiert ist. Demnach ist eine flexible Anpassung in Echtzeit nur begrenzt möglich und basiert immer auf im Vorhinein bekannten Informationen und entsprechenden Einstellungen. Um dem Anspruch einer intelligenten Fabrik gerecht zu werden, müsste das System jedoch eine autonome Selbstorganisation und dezentrale Steuerung im operativen Betrieb unterstützen können, womit ein weiteres Anforderungskriterium in den Fokus rückt. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die Regeln zur Prozesssteuerung in SAP EWM keiner autonomen Dynamik unterliegen. Für den Fall, dass autonome Prozesse durch selbstlernende Algorithmen unterstützt werden sollen und somit der Intelligenzbegriff entsprechend der Ausführungen in Abschnitt 2.1 zu der KI greift, kann das EWM-System diesen Anspruch nicht erfüllen. Demnach können aus den bestehenden Regeln zur Steuerung der Prozessabläufe keine neuen Regeln generiert werden. Hierdurch sind die Komplexität des Regelwerks und damit auch die Fähigkeit zur Generierung intelligenter Lösungen begrenzt. Für eine selbstorganisierte Steuerung sind außerdem Simulationen notwendig, auf deren Basis situative Veränderungen der Pro-

zessabläufe möglich sind. Hierdurch sollen die aktuelle Auftragslage, Kennzahlen sowie Störungen für die Prozesssteuerung berücksichtigt werden, sodass die Entitäten dezentral möglichst optimal agieren können. Hinsichtlich der Simulationsfähigkeit des EWM-Systems sei auf das AM verwiesen. Es ist, wie in Abschnitt 3.5.2 beschrieben, für Simulationen, Messungen, Planungen und Visualisierungen von Aktivitäten im Lager vorgesehen. Hierdurch können insbesondere Arbeitszeiten und Ressourcen im Lager besser geplant werden, wobei ein Hauptaugenmerk auf der Bestimmung der Arbeitslast liegt. Sie ist geeignet, um interne Simulationen durchzuführen, die als Grundlage zur kontinuierlichen Prozessanpassung und Optimierung herangezogen werden können. Dadurch lassen sich z. B. Kapazitätsengpässe identifizieren und entsprechende Erweiterung des Aufgebots an Ressourcen vornehmen. Um solche Veränderungen nachzuvollziehen, kann der Mitarbeiter den LVM nutzen. In diesem Zusammenhang bieten außerdem Kennzahlen, z. B. zu Effizienz und bewegten Einheiten pro Tag, Transparenz für zukünftige Planungen. Dabei ist zu beachten, dass das AM im Standard selbständig keine Folgeaktionen anstoßen kann. Demnach liegen dem Lagerleiter ausschließlich Informationen vor, auf die er jeweils reagieren kann. Stellt sich vor diesem Hintergrund z. B. heraus, dass die notwendige Arbeitslast mit den vorhandenen FTS nicht geleistet werden kann, sind weitere FTS manuell einzusteuern. Für eine Industrie 4.0-gerechte Funktionalität ist allerdings die selbstorganisierte Anpassung der Ressourcen an die Arbeitslast in der Fabrik in Echtzeit notwendig. Darüber hinaus verfügt das AM an dieser Stelle über keine Warnmeldungsfunktion, die auf Missstände hindeutet.

Die vorangegangenen Ausführungen machen deutlich, dass das AM die autonome Selbstorganisation und dezentrale Steuerung im operativen Betrieb, die entsprechend des Anforderungskriteriums gefordert sind, nicht unterstützt. Abweichend von dem heutigen Standard könnten allerdings kundenspezifische Funktionsbausteine im Lagercockpit implementiert werden, da dieses die Daten aus dem AM empfangen und verarbeiten können.

Wie eine Auswertung der Arbeitslast aussehen könnte, veranschaulicht Abb. 7. Hierbei wird die Arbeitslast im WE über einen bestimmten Zeitraum, in diesem Fall vom 01.08.2016 bis zum 24.08.2016 angezeigt. Dabei ist u. a. das Gewicht ausgewertet worden, welches in diesem Zeitraum bewegt worden ist. Aus der Abbildung geht hervor, dass das Volumen, die Anzahl an HUs oder die Anzahl an Positionen ebenfalls mögliche Auswahloptionen für die grafische Anzeige wären.

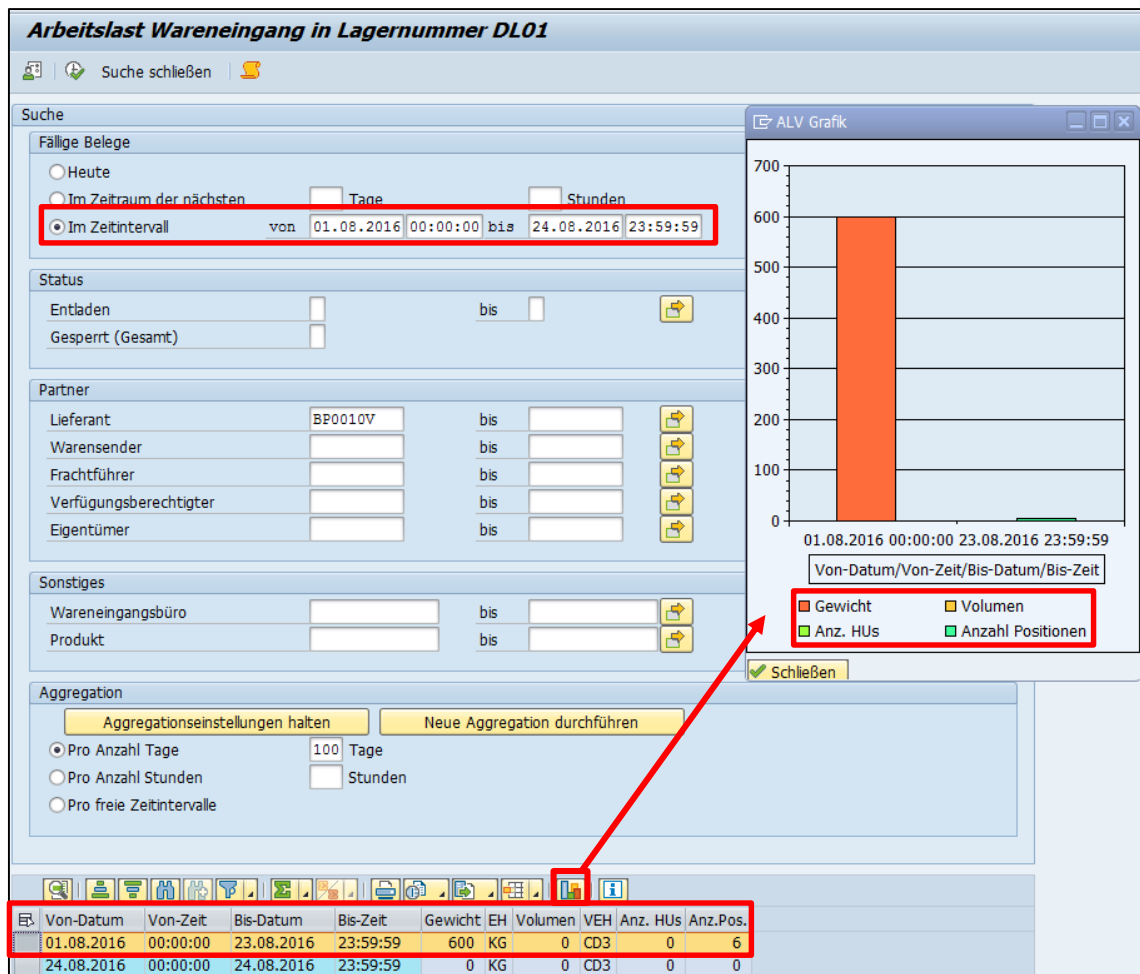


Abb. 7: Auswertung der Arbeitslast im Wareneingang

Unter Berücksichtigung der in Abschnitt 3.2 aufgeführten intralogistischen Funktionen eines Lagers sind neben dem AM außerdem folgende EWM-spezifische Funktionalitäten im Hinblick auf eine autonome Selbstorganisation und dezentrale Steuerung im operativen Betrieb zu untersuchen:

- Lagerungsdisposition und -reorganisation
- Nachschubsteuerung
- Wellenmanagement
- Verpackungsplanung

Für die Lagerungsdisposition- und reorganisation ist entsprechend der Ausführungen in Abschnitt 3.5.2 die Konditionstechnik elementar. Hierdurch werden Kennzeichen ermittelt, die in den Lagerproduktstammdaten gespeichert und ausschlaggebend für die Disposition bzw. Reorganisation sind. Insbesondere handelt es sich dabei um das Einlagerungs- bzw. Auslagerungssteuernkennzeichen, das Lagerbereichskennzeichen sowie die Lagerplatztypen. Im Rahmen der Lagerungsdisposition wird der optimale Nachlagerplatz basierend auf der Suchreihenfolge für Lagertyp, -bereich und -platztyp gefunden. Dabei werden Algorithmen verwendet, die zu einer kontinuierlichen Anpassung z. B. der ABC-Struktur führen können. Anzuraten ist ein Job, der in Form einer Hintergrundverarbeitung in bestimmten Zeitintervallen durchläuft und die Prüfung sowie Umlagerung anstößt. Da die Intervalle im Standard über die Zeiteinheit Minuten festgelegt werden, ist

zwar keine Echtzeit-Lösung gewährleistet, doch kann infolge der vorangegangenen Lagerungsdisposition von einem Optimum-nahen Lagerzustand ausgegangen werden. Minimale Abweichungen vom Optimum, die aus einer zeitlichen Verschiebung resultieren, sind dabei in Kauf zu nehmen und schränken aus Sicht des Autors eine Umsetzung, getreu der Definition von Industrie 4.0, nicht ein. Mit der Lagerreorganisation werden z. B. Schnelldreher an optimale Lagerplätze verschoben. Hierdurch steuert das EWM-System selbständig Maßnahmen ein, die zu einer Verbesserung der Lagerorganisation beitragen. Der Abgleich erfolgt ebenso wie die Entscheidung für eine Reorganisation autonom durch das EWM-System. Daher kann hierbei von einer intelligenten Infrastruktur gesprochen werden, wenngleich auch hier Algorithmen zugrunde liegen, die nicht selbstlernend sind.

Des Weiteren besteht für die Produktion die Anforderung, dass die Nachschubsteuerung in Echtzeit erfolgen und flexibel auf veränderte Bestandssituationen reagieren kann, um die Produktionsversorgung kontinuierlich sicherzustellen. In diesem Zusammenhang sind entsprechend der Ausführungen in Abschnitt 3.5.2 insbesondere der auftragsbezogene Nachschub sowie der automatische Nachschub heranzuziehen, welche zum einen selbstorganisiert ablaufen und zum anderen eine Echtzeitsteuerung ermöglichen. Diesbezüglich veranschaulicht Abb. 8 beispielhaft die Customizing-Einstellungen für den auftragsbezogenen Nachschub. Dabei wird deutlich, dass die Nachschubstrategie mit einer Lagerprozessart verknüpft ist und die LB sofort erstellt werden kann, sobald der Nachschubbedarf erkannt worden ist. Demnach können die Nachschubbedarfe basierend auf Minimal- und Maximalmengen dezentral und autonom angestoßen werden. Das Anforderungskriterium wird somit bezüglich des Nachschubprozesses erfüllt.

Sicht "Einstellungen zur Nachschubstrategie" ändern: Detail

Neue Einträge | BC-Set: Feldwert ändern

Lagernummer: DL01 Lager Dorothee Lichtlein DL01
 Lagertyp: T050 Palettenregal - Großteile
 NSchubStr.: Auftragsbezogener Nachschub

Einstellungen zur Nachschubstrategie

Lagerprozessart: P310
 Verw Mengentyp: Physikalische Menge
 Ind. AusfZt:

Kommi-NSchub
 Nur ungesperrte Bestände berücks.
 LB sofort
 Einlagermenge nicht berücksichtigen
 Menge neu bei LB Erstellung

Abb. 8: Definition des Auftragsbezogenen Nachschubs in SAP EWM

Als weitere Funktionalität, die im Hinblick auf die dezentrale Steuerung im Kontext der Industrie 4.0 in Betracht gezogen werden sollte, ist das Wellenmanagement anzuführen. Hierbei werden LBs gebündelt und daran anschließend verschiedene Warenbewegungen angestoßen, die eine effiziente Auslagerung ermöglichen. Das Wellenmanagement kommt bei der Kommissionierung

zum Tragen und ist somit entsprechend der Ausführungen in Abschnitt 3.5.2 im Standard nicht in Kombination mit RFID nutzbar. Eine kundenspezifische Entwicklung ist jedoch möglich, womit das EWM-System prinzipiell eine technische Lösung erlaubt. Unabhängig davon wird für die Umsetzung von Industrie 4.0 angenommen, dass die Möglichkeit bestehen sollte, Wellen flexibel anzupassen. Im Speziellen geht daraus hervor, dass Lieferpositionen bei Bedarf kurzfristig bereits freigegebenen Wellen zugeordnet und wieder entzogen werden können, ohne, dass ein Mitarbeiter manuell eingreifen muss. Im Easy-Access-Menü der SAP sind diese Funktionalitäten vorhanden. Hierzu werden Wellenvorlagen verwendet, denen jeweils LPAs zugeordnet sind. Diesbezüglich zeigt Abb. 9 die Einstellungsmöglichkeit für eine automatische Wellenerzeugung im Customizing auf. Hierbei ist anzumerken, dass die LPA P110 beispielhaft für die Einlagerung verwendet worden ist, allerdings noch keinen spezifischen Lagerplatz vorgibt. Dadurch kann im Rahmen des Einlagerungsprozesses Flexibilität sichergestellt werden, die in Abschnitt 2.3 als Anforderung eines zunehmend dynamischen Umfelds mit aufgeführt ist.

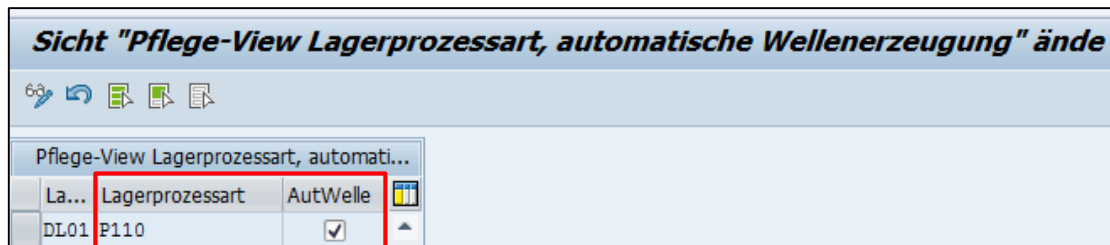


Abb. 9: Zuordnung LPA zu automatischer Wellenerzeugung mit SAP EWM

Die automatische Wellenerzeugung wird durch die Definition einer Wellenvorlage ermöglicht, welche der Welle zu Grunde liegt und in Abb. 10 dargestellt ist. Dabei ist durch die Haken in dem roten Kästchen dieser Abbildung sichergestellt, dass auch nach dem Start der Wellen LBs hinzugefügt werden können. Zudem ist eine positionsspezifische Zuordnung gängig, wodurch Änderungen kurzfristig und flexibel vorgenommen werden können.

Des Weiteren ist über das zweite Feld innerhalb des roten Kästchens auch die Auswahl verschiedener Reaktionsmöglichkeiten im Fall einer Kommissionierzurückweisung möglich. Das ist relevant, wenn die Position auf einem anderen Lagerplatz verfügbar ist, aber von dem Kommissionierer nicht erreicht werden kann. Diesbezüglich bestünde u. a. die Möglichkeit, die Position aus der Welle herauszunehmen und eine Neuuzuordnung zu veranlassen. Anzumerken ist hierbei, dass die Position demnach immer an die jeweilige Wellenvorlage geknüpft ist. Das bedeutet, dass auf dieser Ebene keine positionsspezifische Flexibilität mehr gewährleistet werden kann, sofern andere Ausnahmeregeln gelten sollen.

Da die Welle außerdem entsprechend des festgelegten Intervalls weitere Male angestoßen werden kann, ist für den Fall eines Bestandsengpasses vorgesorgt. In diesem Beispiel wird die Wellenvorlage 1 entsprechend der Werte in dem dritten Feld des roten Kästchens der Abb. 10 alle 10 Minuten und die Wellenvorlage 2 alle 5 Minuten angestoßen. Die Intervalle zur Freigabe lassen sich bei Bedarf sehr klein wählen, wodurch die LBs kontinuierlich ohne lange Wartezeiten abgearbeitet werden können. Allerdings ist nicht gewährleistet, dass die Welle sofort wieder angestoßen wird, sobald ihr eine neue Position zugeordnet worden ist.

Wellenvorlage definieren							
Vorlage	Bezeichnung	Freigabem.	Wellenart	Typ	Zuor...	K	Wiederho
1111	Wellenvorlage 1 Dorothee Lichtlein	Automat...	WT01	W1	<input checked="" type="checkbox"/>	P... ▼	10
1112	Wellenvorlage 2 Dorothee Lichtlein	Automat...	WT02	C1	<input checked="" type="checkbox"/>	P... ▼	5

Abb. 10: Wellenvorlage definieren mit SAP EWM

Als Voraussetzung für die beschriebenen Einstellungen ist die automatische Wellengenerierung im Rahmen der Definition der entsprechenden LPAs ebenfalls festzulegen. Sollen hierbei Kapazitätsgrenzen berücksichtigt werden, sind entsprechende Profile zu erstellen und den einzelnen Wellenvorlagen zuzuordnen. Bei der Wellenfindung, welche ebenso wie die Lagerungsdisposition auf der Konditionstechnik basiert, ist die Festlegung von Dimensionsindikatoren und Intervallen möglich, wodurch zusätzlich Flexibilität geschaffen werden kann, die eine selbstorganisierte Steuerung begünstigt.

Insgesamt zeigt sich, dass das Wellenmanagement viele Faktoren berücksichtigt und flexibel gestaltet werden kann, sodass insbesondere die selbstorganisierte Freigabe von LBs gewährleistet ist. Eine vollkommene Umsetzbarkeit entsprechend der theoretischen Anforderungen der Industrie 4.0 konnte dennoch nicht festgestellt werden, da das Wellenmanagement nicht vollkommen echtzeitfähig ist. Da die Intervalle jedoch sehr klein gewählt werden können, ist die Wellenfindung in der praktischen Umsetzung echtzeitnah und stellt aus Sicht des Autors im Hinblick auf Industrie 4.0 eine gute Grundlage dar.

Darüber hinaus wird an dieser Stelle aufgrund der in Abschnitt 3.4 angeführten These der zunehmenden Bedeutung des CD auf eine entsprechende Realisierungsform mit SAP EWM eingegangen. Dabei ist zu prüfen, ob das EWM-System in der Lage ist, den CD-Prozess selbstorganisiert anzustoßen. Hierfür ist insbesondere das in Abschnitt 3.5.2 beschriebene EWM-Opp.CD für den CD-Prozess in Betracht zu ziehen. Das EWM-System trifft dabei in Abhängigkeit der WE-Bestände und WA-Lieferungen selbständig Entscheidungen über durchzuführende CD-Aktivitäten. Des Weiteren wird die Anlieferung autonom in Einlagerungspositionen und CD-Positionen aufgeteilt, sofern das die optimale Lösung ist. Sollten bereits Einlager-LBs für den WE-Bestand vorliegen, können sie autonom storniert und durch Kommissionier-LBs ersetzt werden, die wiederum im Rahmen des CD-Prozesses abzarbeiten sind. Hierbei wird deutlich, dass der CD-Prozess systemseitig selbstorganisiert umsetzbar ist und darüber hinaus optimale Lösungen anstrebt. Allerdings ist für die Implementierung ein BAdI notwendig. Der CD-Prozess des EWM-Systems wird somit unter organisatorischen Gesichtspunkten als geeignet erachtet, um den Zielstellungen im Kontext der Industrie 4.0 gerecht zu werden. Aufgrund der fehlenden Umsetzbarkeit im Standard kann das Anforderungskriterium der autonomen Selbstorganisation und dezentralen Steuerung im operativen Betrieb jedoch für die CD-Funktionalität nur bedingt erfüllt werden.

Ein weiterer intralogistisch relevanter Prozessschritt, welcher im Hinblick auf die autonome Selbstorganisation und dezentrale Steuerung im operativen Betrieb zu untersuchen ist, ist die Verpackung der Güter. Sie kann durch das EWM-System produktspezifisch geplant und vorgegeben werden. Unter Berücksichtigung der Einschränkungen, die in Zusammenhang mit dem Anforderungskriterium der Anpassung an veränderte Kundenwünsche noch näher erläutert werden, wird

dennoch deutlich, dass das EWM-System auch im Hinblick auf die Verpackung viel Flexibilität bietet. Zudem kann es im Rahmen der standardisierten Vorgaben variabel den richtigen Prozess finden. Dafür werden Packprofile erstellt, welche in die Lagerauftragserstellung eingehen. Zudem kann für jedes Packprofil eingestellt werden, wie hinsichtlich des LB-Splittings verfahren werden soll. Dabei gibt es ebenfalls drei Auswahloptionen: Grundsätzlich nicht splitten, LB-Split, wenn zu groß für eine HU und immer splitten. Durch diese Optionen kann sichergestellt werden, dass Positionen einer LB entweder auf einer HU zusammenbleiben, oder dass die HUs optimal befüllt werden. Auch eine Teillösung ist hierbei möglich. Liegt die Zielstellung vor, HUs optimal zu befüllen, ist auch das Überspringen von LBs möglich, sodass nur solche LBs zusammengepackt werden, die gemeinsam eine möglichst optimale Füllmenge der HUs erlauben. Ebenfalls ist die Überprüfung der Länge, Breite und Höhe möglich, wie in Abb. 11 markiert ist. Demnach werden bei der Ermittlung des Packvorschlags die Maße des LAs bezüglich Länge, Breite und Höhe berücksichtigt. Somit kann das EWM-System in diesem Zusammenhang autonom Entscheidungen treffen. Allerdings müssen die Maßnahmen, die infolge einer fehlerhaften Prüfung der Länge, Breite und Höhe vorzunehmen sind, kundenspezifisch eingestellt werden.

Packprofil	Bezei...	Verpackung	S..	L.	LB-Split	A...	überspr.	LBH prüfer
P001	Karton	einfacher Algorithm...	✓	✓	grundsätzlich...	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
P002	Karton	komplexer Algorithm...	✓	✓	LB Split wen...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
P003	Gitterb.	BAAdI	✓	✓	immer splitt...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Abb. 11: Packprofil für Lagerauftragserstellung in SAP EWM

Des Weiteren ist das Anforderungskriterium der Anpassung an veränderte Kundenwünsche herausgestellt worden. Es ist von der Echtzeitschnittstelle zwischen dem EWM- und dem ERP-System abhängig. Da jedoch in Zusammenhang mit dem ersten Anforderungskriterium bereits aufgezeigt worden ist, dass kurzfristige Änderungen zurzeit noch nicht in Echtzeit repliziert werden können, ist das Kriterium nicht erfüllt. Ebenfalls zu benennen sind in diesem Kontext Einschränkungen bei der flexiblen, kundenindividuellen Auswahl der Verpackung. Das EWM-System bietet diesbezüglich drei Varianten, wobei die Verpackungsoptionen innerhalb des Customizings für das Packprofil festgelegt werden. Die entsprechenden Einstellungsmöglichkeiten sind der Abb. 11 zu entnehmen. Dabei können einfache Algorithmen, komplexe Algorithmen sowie BAAdIs zugrunde gelegt werden, die sich auf die Auswahl des Packmittels beziehen. Diesbezüglich sieht der einfache Algorithmus nur ein Packmittel vor. Bei dem komplexen Algorithmus hingegen, wählt das EWM-System das möglichst optimale Packmittel aus, wobei verschiedene mögliche Packmittel innerhalb der Packspezifikation hinterlegt werden. Sollen die Verpackungen jedoch kundenspezifisch ausgewählt werden, ist die Implementierung eines BAAdIs vorgesehen. Hiermit geht allerdings auch wieder eine Erweiterung des Programmcodes einher, sodass die Flexibilität hinsichtlich des Anforderungskriteriums der Anpassungsfähigkeit an veränderte Kundenwünsche nur bedingt im Standard des EWM-Systems für die Verpackung greift.

Ein weiteres Anforderungskriterium betrifft die standardisierten Prozessabläufe. Dabei ist in Abschnitt 3.5.2 deutlich geworden, dass das EWM-System die Einstellung vieler Regeln für die Steuerung der Prozessabläufe voraussetzt. Diese betreffen z. B. die LPAs, deren Customizing beispielhaft in Abb. 12 aufgeführt ist, oder das Prozessartfindungskennzeichen. Dadurch, dass die Prozesse im Vorhinein im Customizing eingestellt werden können, lassen sich die Prozessabläufe auch systemseitig standardisieren. Aufgrund dessen stößt das EWM-System für eine bestimmte Situation den jeweils vorgesehenen Prozess an. Dieser Aspekt führt zwar zu einer relativ statischen Systemausrichtung, ermöglicht aber dennoch die in Abschnitt 2.3 herausgestellte Forderung, dass die Industrie 4.0 nur dann realisiert werden kann, wenn Steuerungsregeln in Form von Referenzprozessen bestehen. Infolgedessen bietet das EWM-System bezüglich dieses Anforderungskriteriums die notwendigen Voraussetzungen. Für eine Übersicht weiterer Systemsteuernder Einstellungen, wie z. B. der WE- und WA-Strategien, sei an dieser Stelle auf den Anhang V verwiesen.

Lagerprozessart		
La...	La...	Bezeichnung
DL01	CD	Cross-Docking
DL01	LR01	Lagerreorganisation
DL01	P100	Einlagerung mit Palettierung
DL01	P111	Einlagerung mit Umpacken
DL01	P112	Einlagerung (verteilend)
DL01	P115	Einlagerung mit Palettier. aus KlärZone
DL01	P210	Kommissionieren in Versand-HU
DL01	P211	Kommiss. und zum Packtisch bewegen
DL01	P212	Kommiss. und in BereitstellZone bewegen
DL01	P310	Nachschub

Abb. 12: Customizing Lagerprozessart SAP EWM

Anhand der benannten Steuerungsregeln können Produkte mit passiven Kennzeichnungen wie z. B. Barcodes auch bei unterschiedlichen Prozessabläufen automatisch durch das EWM-System gesteuert werden, womit ein weiteres Kriterium dieser Anforderungsdimension, die umfassende Automatisierung von Prozessabläufen, begünstigt wird. Hierdurch entscheidet das System situativ und kann einem Produkt z. B. den optimalen Lagerplatz für die Einlagerung zuordnen. In diesem Zusammenhang ist die in Abschnitt 2.2 benannte Forderung anzuführen, nach der bei Verwendung ausschließlich passiver Kennzeichnungen, Produkte zum richtigen Zeitpunkt und am richtigen Ort intelligent zu steuern sind. Diesem Anspruch kann das EWM-System durch den Einsatz von I-Punkten gerecht werden, wengleich zu beachten ist, dass hierbei nicht das Produkt, sondern das EWM-System die intelligente Steuerungsfunktion übernimmt. So werden mit Passieren der I-Punkte die Informationen über die Warenbewegungen automatisch an das EWM-System übermittelt. Aufgrund dessen trifft es eine Entscheidung über die weitere Führung der LTs und steuert z. B. die Auslagerung automatisch ein. An dieser Stelle ist anzumerken, dass auch hier wieder die Einstellung von LPAs als Voraussetzung gilt und zusätzlich die Integration einer SPS unverzichtbar ist. Dabei können durch die in Abschnitt 3.5.2 angeführten bidirektionalen

Kanäle sowohl normale als auch priorisierte Telegramme versandt werden, wodurch das System mit entsprechenden Automatismen einen erhöhten Grad an Flexibilität erreicht. Zu berücksichtigen ist jedoch ebenfalls, dass unter organisatorischen Gesichtspunkten Ausnahmecodes, z. B. für Störfälle notwendig sind. Zwar hält das System auf Telegrammebene entsprechende Ausnahmecodes vor, jedoch ist im Rahmen der Ausnahmebehandlung bei Störungen der manuelle Eingriff durch den Menschen erforderlich. Tritt eine Störung in der SPS auf, bekommt der Mitarbeiter eine entsprechende Nachricht und muss Folgeaktionen selbständig einleiten. Demnach ist das EWM-System zunächst überhaupt nicht in den Lösungsprozess involviert, sondern wird erst durch den manuellen Eingriff im LVM oder alternativ über ein RF-Gerät aktualisiert. Diesbezüglich zeigt die Abb. 13 einen Ausschnitt aus dem LVM, in dem die Ausnahmebehandlung deutlich wird. Hierbei wird zunächst der Knoten „Materialflusssystem aufgerufen, worunter die Auswahloption „Meldepunkt“ geführt ist. Durch den anschließenden Aufruf der Meldepunkte, kann für einen bestimmten Meldepunkt, in diesem Fall den HPI1, ein Ausnahmecode gepflegt werden. Dabei sind im Standard Lang- und Kurzfriststörung gepflegt. Mit der Einstellung eines solchen Ausnahmecodes laufen keine weiteren LBs in den betreffenden Meldepunkt. Sollen weitere Ausnahmecodes, wie z. B. Kapazitätsengpässe gepflegt werden, ist dies über das Customizing möglich. In dem Fall wären sie hier ebenfalls als Auswahloption mit aufgeführt.

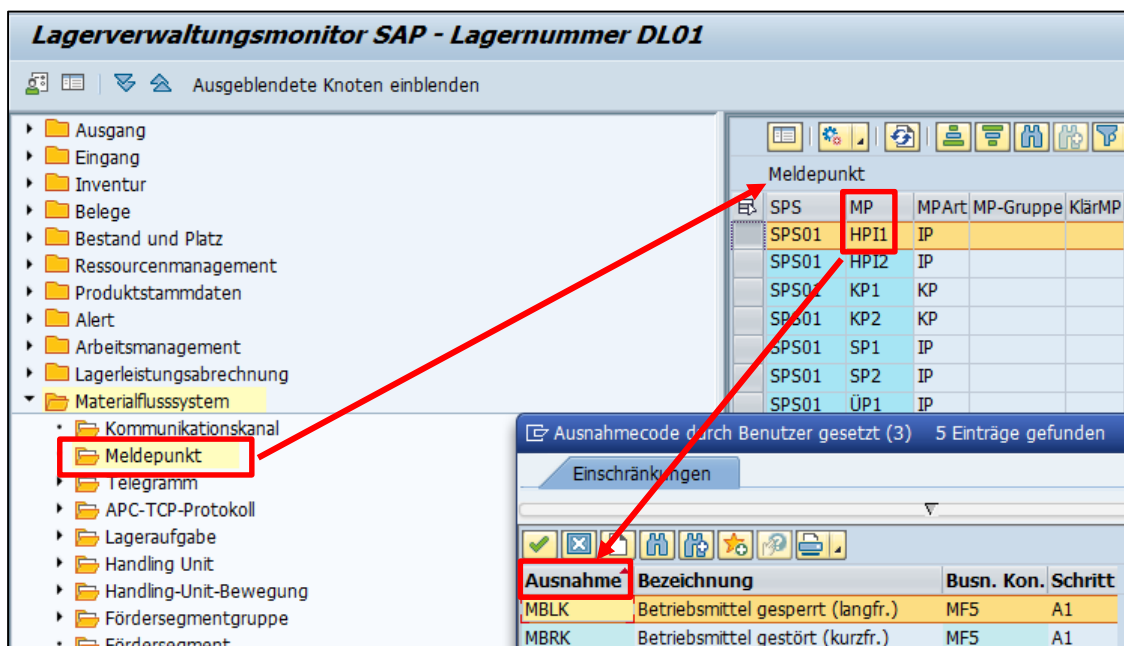


Abb. 13: Meldepunkte im LVM des SAP EWM-Systems

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Automatisierung der Prozessabläufe mit SAP EWM möglich ist, solange die Prozesse erwartungsgemäß durchlaufen. Treten jedoch Ausnahmefälle ein, ist das System ohne zusätzliche Entwicklungen nicht in der Lage, um automatisch alternative Prozessabläufe anzustoßen. In diesem Zusammenhang sei auf das Kriterium der autonomen Selbstorganisation und dezentralen Steuerung im operativen Betrieb verwiesen.

Ein weiteres Anforderungskriterium ist die Vernetzung mit Kunden- und Lieferantensystemen. Diesbezüglich ist festzuhalten, dass das Kriterium nur dann erfüllt werden kann, wenn die Echtzeitschnittstelle zwischen dem ERP- und dem EWM-System gewährleistet ist. Da das, wie im

Rahmen des ersten Anforderungskriteriums beschrieben, aktuell noch nicht der Fall ist, wird das Kriterium zurzeit nicht erfüllt. Allerdings stellt die RFID-Technologie eine gute Grundlage dar, die Kunden- und Lieferantensysteme zu integrieren. Der hiermit einhergehende Austausch der Informationen in Echtzeit ist insbesondere im Hinblick auf den Bedarf von Vorab-Informationen signifikant. Hierdurch kann langfristig betrachtet die rechtzeitige Anpassung von Stammdaten oder Lagerstrategien möglich werden, um sich z. B. auf veränderte Angebots- bzw. Nachfragemengen in Echtzeit einzustellen. Aufgrund dessen wird das letzte Anforderungskriterium dieser Dimension zwar nicht erfüllt, doch besteht durch die Option der Verwendung von RFID eine Grundlage für die Weiterentwicklung der Systemintegration.

Nachdem verschiedene Funktionalitäten des EWM-Systems untersucht worden sind, stellt sich unter organisatorischen Gesichtspunkten die Frage, ob das intelligente Produkt in Zusammenhang mit dem EWM-System zielführend eingesetzt werden kann und in welcher Form die Intelligenz des Produktes zum Tragen kommen könnte. Dieser Aspekt ist insbesondere im Hinblick auf die dezentrale Organisation im Rahmen der intelligenten Fabrik zu untersuchen. Diesbezüglich ist in Abschnitt 2.2 betont worden, dass im Zusammenhang mit der Prozesssteuerung vor allem der richtige Ort und die richtige Zeit entscheidende Aspekte sind, zu denen das intelligente Produkt im Rahmen der Fertigung beitragen sollte. Daher ist davon auszugehen, dass das Produkt über Informationen verfügen sollte, zu welchem Zeitpunkt es an welchem Ort sein muss. Entgegen dem CPS-basierten Ansatz muss bei der Verwendung ausschließlich passiver Kennzeichnungen also nicht jedes Objekt in der Produktion, welches z. B. Ressourcen oder Regale betreffen kann, mit Intelligenz ausgestattet sein. Stattdessen steuert das EWM-System allgemein die Prozesse mit den standardisierten festgelegten Prozessabläufen, die im Customizing hinterlegt sind. Damit im Rahmen dieses Standards zusätzliche Flexibilität erzielt werden kann, ist ein adaptives Szenariomanagement entsprechend der in Abschnitt 2.3 angeführten Beschreibung zu empfehlen. Im EWM-Standard ist ein solches Szenariomanagement, mit dem basierend auf Kennzahlen neue Prozesse ausgelöst werden können, noch nicht implementiert. Treten bestimmte Ereignisse ein, die einen alternativen Prozess zur Folge haben sollen, sind allerdings kundenspezifische Entwicklungen möglich. Ein Beispiel ist in diesem Zusammenhang das beschriebene AM, welches eine Arbeitslast ausgibt, jedoch im Standard keine Folgeaktionen vorsieht. Um dennoch mehr Flexibilität zu ermöglichen, ist es denkbar, über RFID-Tags Informationen hinsichtlich des vorgesehenen Lagerplatzes mit dem Produkt zu verknüpfen. Dementsprechend könnte das Produkt an den I-Punkten direkt mit der SPS kommunizieren, ohne dass das EWM-System jedes Mal eine Entscheidung treffen müsste. Hierdurch würde das Kriterium der Dezentralität der systemsteuernden Entitäten im operativen Betrieb allerdings nur bedingt erfüllt werden, da ein großer Anteil der Steuerung weiterhin bei dem EWM-System liegen würde. In diesem Zusammenhang könnte das EWM-System bereits bei der Einlagerung bzw. mit dem Beginn des CD-Prozesses über die Lagertypsuchreihenfolge den vorgesehenen Lagerplatz vergeben, welcher auf dem Tag des Produktes gespeichert werden würde. Von da an könnten die Produkte bzw. Behälter an jedem Meldepunkt, den sie erreichen, die Information an die SPS weiterleiten. Der Materialflussrechner wäre daraufhin in der Lage, ebenso wie bei der Informationsübergabe durch das EWM-System, die entsprechende TE zum richtigen Platz zu befördern. Vorausgesetzt wird hierbei, dass das RFID-Tag kompatibel zu der verwendeten SPS ist und somit eine geeignete Schnittstelle besteht. Der Theorie zufolge

ist es somit prinzipiell möglich, eine dezentralere Steuerung auf Basis passiver Kennzeichnungen durchzuführen. Unter organisatorischen Gesichtspunkten ist das Konzept jedoch weniger zielführend. Dies wird insbesondere dann deutlich, wenn dem Prozessablauf mit einem intelligenten Produkt alternativ ein Prozessablauf entsprechend der heutigen zentralen Steuerung gegenübergestellt wird. Soll in diesem Zusammenhang z. B. ein Behälter im Anschluss an die Bereitstellung auf dem Übergabepplatz abgeholt werden, genügt eine einfache passive Kennzeichnung z. B. in Form eines Barcodes aus, damit das EWM-System den Nachlagerplatz zentral gesteuert an die Ressource kommunizieren kann. Intelligenz am Produkt ist dabei nicht notwendig. Stattdessen werden die LAs über Queues automatisch geeigneten Ressourcen zugeordnet. Hierbei hat die Information darüber, wann ein Produkt wohin soll, ihren Ursprung im EWM-System, weshalb durch ein sogenanntes intelligentes Produkt kein Mehrwert erzielt werden kann. Der Datenaustausch zwischen dem EWM-System und der Ressource wäre in jedem Fall notwendig. Das intelligente Produkt könnte darüber hinaus auch bei der Zuweisung von Lagerplätzen keinen Mehrwert leisten. Dies wird vor dem Hintergrund der Lagerungsdisposition und –reorganisation deutlich, da die Steuerung hierbei bereits autonom als Hintergrundjob im EWM-System laufen kann. Dadurch, dass das Produkt der vorangegangenen Beschreibung zufolge lediglich als Datenübermittler fungiert, besitzt es aus Sicht des Autors keine Intelligenz. D. h., es ist durchgängig von den Vorgaben des EWM-Systems abhängig und muss auch bei Änderungen entsprechend aktualisiert werden. Diese Problematik tritt auch dann auf, wenn nicht nur der richtige Ort, sondern außerdem der richtige Zeitpunkt für die dezentrale Speicherung in Betracht gezogen werden soll. Dabei wird angenommen, dass im Rahmen der aktuellen Möglichkeiten ebenfalls das EWM-System als steuerndes System fungiert. Dementsprechend würde das Produkt auch hierbei keine Steuerungsfunktion übernehmen und die Start- und Endzeitpunkte durch das EWM-System zugewiesen bekommen. Die Information würde anhand des Wellenmanagements bestimmt werden müssen und bei Planänderungen erneut aktualisiert werden. Damit würde das Produkt auch hinsichtlich der Zeitpunktübertragung mehr eine Informations- als eine selbstorganisierte Steuerungsfunktion übernehmen. Aufgrund dessen kann angenommen werden, dass für eine effiziente dezentrale Umsetzung, die Dezentralität nicht nur vereinzelt, sondern in der gesamten Logistik zu verankern ist. Dabei sind die verschiedenen Steuerungsfunktionen entsprechend des in Abschnitt 3.4 beschriebenen aSLS-Konzeptes für die einzelnen Bereiche wie z. B. Ressourcensteuerung oder Auftragsverwaltung klar zuzuordnen. Außerdem ist in diesem Zusammenhang der kontinuierliche Informationsaustausch zwischen den Entitäten zu gewährleisten. Ist diese Form der Umsetzung nicht möglich, so kann Intelligenz nur durch ein zentrales System unter Verwendung intelligenter Algorithmen realisiert werden. Dabei ist das EWM-System durchaus in der Lage, im Austausch mit anderen Systemen, wie z. B. einem Staplerleitsystem, intelligent und selbstorganisiert Prozesse einzusteuern. Aufgrund der erwarteten Komplexität, die mit Industrie 4.0 einhergeht, sind allerdings über den Standard hinaus, kundenspezifische Entwicklungen zu implementieren.

Die vorangegangenen Ausführungen haben gezeigt, dass einige Kriterien der Anforderungsdimension 1 im Standard des EWM-Systems noch nicht erfüllt werden können. Aufgrund dessen ist auch das Zusammenwirken der einzelnen Elemente im Rahmen der Industrie 4.0 nicht gewährleistet, solange das EWM-System die Steuerungsfunktion beibehält und ausschließlich passive

Kennzeichnungen verwendet werden. Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage, ob eine CPS-basierte Umsetzung in Kombination mit dem EWM-System mehr Potenziale verspricht und ob die Anforderungskriterien der Anforderungsdimension 1 damit besser erfüllt werden können.

Das erste Anforderungskriterium zielt auf die Bereitstellung und den Austausch der Stamm- und Bewegungsdaten in Echtzeit ab. Da unter der Annahme des Einsatzes von CPS das EWM-System als Backend-System für die An- und Auslieferungen verwendet werden soll, gilt auch hier die Forderung einer Echtzeitschnittstelle zwischen dem ERP- und dem EWM-System. Hierbei wird angenommen, dass die Übergabe der An- und Auslieferungen unabhängig von der operativen Ausführung ist und somit zwar weiterhin dem WMS obliegt, dieses jedoch keine Steuerungsfunktion übernimmt. Begründet liegt dies darin, dass die Auftragslisten, wie in Abschnitt 3.4 erwähnt, von Auftrags-Agenten verwaltet werden soll, die im Optimalfall mit diversen anderen Agenten im Austausch stehen. Hierzu konnte bereits festgestellt werden, dass die Echtzeitübertragung nur solange funktioniert, wie die Prozesse ohne Abweichungen in ihrer ursprünglichen Form durchgeführt werden können. Ändert sich z. B. die Menge eines Auslieferungsauftrags ist die Echtzeitfähigkeit nicht mehr gewährleistet. Aufgrund dessen kann das Anforderungskriterium hierfür nicht erfüllt werden.

Bezüglich des innerbetrieblichen Austauschs der Stamm- und Bewegungsdaten kann das Konzept des in Abschnitt 3.3 beschriebenen Agent-on-tag zugrunde gelegt werden. Die dabei verwendete RFID-Technologie lässt sich an das EWM-System anbinden, sodass hiermit die Grundlage für den Datenaustausch zwischen den CPS-basierten Entitäten und dem EWM-System gelegt werden kann. Daher wird angenommen, dass der innerbetriebliche Austausch der Stamm- und Bewegungsdaten Industrie 4.0-gerecht durchführbar ist.

Das Kriterium der Anpassungsfähigkeit an ständige Veränderungen innerhalb der Fabrik ist hingegen bei dem CPS-basierten Szenario zu großen Teilen EWM-unabhängig. So sind die CPS-Agenten selbständig für die Anpassung an veränderte Prozessabläufe verantwortlich. Das bedeutet, dass neue Abläufe und organisatorische Umstrukturierungen, die z. B. aus veränderten Arbeitsstationen resultieren, automatisch im CPPS aktualisiert werden. In diesem Szenario wird davon ausgegangen, dass die in Abschnitt 3.4 thematisierte aSLS die LBs selbstorganisiert zwischen den Agenten verteilt, weshalb der Datenaustausch mit den dezentral agierenden Entitäten sicherzustellen ist. Damit wird auch das Kriterium der autonomen Selbstorganisation und dezentralen Steuerung im operativen Betrieb erfüllt. Das EWM-System leistet hierzu jedoch keinen Beitrag. Das Anforderungskriterium der Anpassung an veränderte Kundenwünsche kann aufgrund der beschriebenen Problematik der systemübergreifenden Echtzeitsynchronisation zwischen dem ERP- und dem EWM-System nicht erfüllt werden. Für eine umfassendere Beschreibung hierzu sei auf die Ausführungen im Rahmen der passiven Kennzeichnungen verwiesen.

Bezugnehmend auf das Anforderungskriterium der standardisierten Prozessabläufe kann festgehalten werden, dass die Steuerung standardisierter Prozessabläufe in einem CPS-basierten Szenario ohnehin zu großen Teilen dem Multi-Agenten-System obliegt. Aus selbigem Grund erübrigt sich auch das Kriterium der Automatisierung von Prozessabläufen für das EWM-System. So beschränken sich die Automatismen insbesondere auf den Datenaustausch und die Bereitstellung

relevanter Informationen für die CPS und andere beteiligte Systeme. Da diesbezüglich die Anforderungsdimension 2 Schwerpunkte setzt, sei hierzu auf die Ausführungen in Abschnitt 6.2 verwiesen.

Die Anforderungskriterien der Vernetzung mit Kunden- und Lieferantensystemen ist aufgrund der beschriebenen Problematik der systemübergreifenden Echtzeitsynchronisation nicht erfüllt. Für eine umfassendere Beschreibung hierzu sei daher ebenfalls auf die Ausführungen im Rahmen der passiven Kennzeichnungen verwiesen.

6.2 Anforderungsdimension 2: Technische Schnittstellenkompetenz

Als weitere Anforderungsdimension ist die technische Schnittstellenkompetenz definiert worden, die in diesem Abschnitt näher betrachtet werden soll. Hierbei werden die Kriterien ebenfalls zunächst im Hinblick auf die Umsetzungsmöglichkeiten mit passiven Kennzeichnungen betrachtet und daran anschließend unter den Bedingungen der CPS-basierten Umsetzung geprüft.

Im Hinblick auf die Verwendung ausschließlich passiver Kennzeichnungen stellt die Integration von Software-Agenten ein Anforderungskriterium dar, welches an dieser Stelle vernachlässigt werden kann, da keine CPS berücksichtigt werden müssen.

Bezüglich eines weiteren Anforderungskriterium, der Integration von Informations- und Kommunikationstechnologien, ist zunächst zu klären, wie die einzelnen Entitäten identifiziert werden können. Die individuelle Rückverfolgbarkeit von Materialien ist mit dem EWM-System über Serialnummern möglich. Für den praktischen Einsatz ist die Serialnummernvergabe jedoch keine effiziente Option, da mit ihr ein hoher administrativer Aufwand einhergeht. Daher wird empfohlen, hiervon zukünftig abzusehen und stattdessen RFID-Tags zu nutzen, welche über EPCs für eine eindeutige Identifizierung über die gesamte Wertschöpfungskette hinweg herangezogen werden können. Die entsprechende Schnittstellengestaltung ist über die AII und die RFCs gewährleistet. Für ein besseres Verständnis der Schnittstellengestaltung und die Interaktion der Systeme sei an dieser Stelle auf die Abb. 6 in Abschnitt 3.5.3 verwiesen.

Darüber hinaus werden häufig Barcodes verwendet, um logistische Abläufe zu erfassen. Hierbei kommen RF-Verbindungen zum Einsatz, über die das EWM-System Daten erfassen und verteilen kann. Daher stellt der direkte Datenaustausch zwischen dem EWM-System und den Mitarbeitern kein Problem dar. So ermöglichen, wie in Abschnitt 3.5.3 beschrieben, die SAP Mobile Solutions ebenso wie IDocs, die Verwendung bereits gängiger, aber auch innovativer Technologien. Hierzu gehören z. B. Pick-by-Voice und Pick-by-Vision, sodass der Mitarbeiter kontinuierlich Informationen durch das EWM-System erhalten und in Echtzeit seine durchgeführten Prozessschritte zurückmelden kann.

Aufgrund dessen kann festgehalten werden, dass das Anforderungskriterium der Integration von Informations- und Kommunikationstechnologie durch SAP EWM erfüllt wird.

Ebenfalls zu berücksichtigen ist im Rahmen der Industrie 4.0 die Integration des Menschen. In diesem Zusammenhang wird in Abschnitt 2.2 auf PADs verwiesen, die eine Software-Repräsentation des Menschen in Form eines Avatars vorsehen. Für eine entsprechende Umsetzung und damit die Erfüllung des Anforderungskriteriums der Integration des Menschen als PAD wäre der

Einsatz virtueller Realitäten notwendig. Hierdurch könnte sich der Mensch innerhalb der Produktion virtuell bewegen, während er wichtige Informationen zu Prozessen oder Geschäftsergebnissen erhält. Als Beispiel hierzu ist die aktuelle Bestandssituation im Lager anzuführen, die jeweils an den Leitstand kommuniziert werden könnte. Für das EWM-System ergeben sich daraus zwei Optionen. Einerseits ist eine weitere Schnittstelle möglich, über die ein virtuelles Lager integriert wird. Diese Schnittstelle müsste erst noch geschaffen werden. Andererseits könnte das GLL entsprechend angepasst werden, woraus sich umfassende Veränderungen für das EWM-System ergeben würden. Da hierdurch insbesondere der Mensch auf eine neue Art und Weise eingebunden werden soll, wird diese Thematik im Rahmen der Anforderungsdimension 3 näher erläutert.

Des Weiteren soll der in Abschnitt 2.2 angeführte intelligente Assistent einen wesentlichen Beitrag zur Umsetzung der Industrie 4.0 leisten. Aufgrund dessen wird seine Integration in Form von Mobile Devices ebenfalls als Anforderungskriterium mitaufgeführt. Die vorgesehene Schnittstelle soll dazu dienen, Informationen des operativen Geschäfts zu kommunizieren und systemseitig abbilden zu können. Dabei ist die Hauptaufgabe der Mobile Devices die Entscheidungshilfe für den Mitarbeiter sowie die Informationsübertragung. Dafür kann die Schnittstellengestaltung zwischen dem EWM-System und den Mobile Devices entsprechend der Ausführungen in Abschnitt 3.5.2 über die SAP Mobile Solutions erfolgen. Der hierbei verwendete AR Warehouse Picker ist eine App, die Android-Geräte an das EWM-System anbinden kann. Demnach können z. B. auch Smart Phones oder Tablets integriert werden. Des Weiteren ist die Informationsbereitstellung und Aufführung von Kennzahlen und KPI-Analysen in Echtzeit mithilfe von SAP Fiori bereits heute möglich. Daher können mobile Geräte entscheidungsunterstützend hinzugezogen werden. Allerdings werden durch SAP Fiori noch nicht aktiv Maßnahmen vorgeschlagen, auf deren Basis Entscheidungsalternativen abgewogen werden können. Da SAP Fiori aber bereits in S/4HANA integriert ist, kann davon ausgegangen werden, dass bereits heute die Grundlage für eine intelligente Lösung im Shop Floor geschaffen ist. Notwendig wird in diesem Zusammenhang insbesondere ein effizienter Umgang mit Big Data, um dem jeweiligen Anwender die für ihn relevanten Informationen leicht verständlich aufzubereiten. Darüber hinaus ist davon auszugehen, dass zukünftig Simulationen erforderlich werden, die verschiedene Handlungsoptionen in Echtzeit mit den erfassten Daten durchspielen und Lösungen vorschlagen. Da Simulationen bereits heute Bestandteil des AM sind, hat SAP Potenziale, sich dahingehend weiterzuentwickeln und das Portfolio der intelligenten Entscheidungsunterstützung langfristig auszubauen. Zusammenfassend kann jedoch festgehalten werden, dass die Integration der Mobile Devices mit SAP EWM zwar kein Problem darstellt, die geforderte Intelligenz aber noch nicht zum Tragen kommt. Demzufolge wird das Anforderungskriterium nur bedingt erfüllt.

Die Integration intelligenter Maschinen ist ein weiteres Anforderungskriterium, welches unabhängig von den CPS zu untersuchen ist. Hierfür kommt die Kommunikation über Web Services in Frage, um Cloud-basiert Echtzeitdaten zu transferieren. Allerdings bestehen Probleme hinsichtlich der EWM-seitigen Datenauswertungs- sowie Datennutzungskompetenz, wenn Maschinendaten an SAP EWM übertragen werden. Treten z. B. Störungen auf, die zu einer Veränderung des Prozessablaufs führen sollten, sind im EWM-System noch keine Funktionalitäten implementiert, mit denen eine alternative Steuerung vorgesehen ist. Allerdings bestehen langfristig Potenziale, diese Funktionalität ähnlich wie bei dem MFS zu implementieren. Hierbei muss ein Produkt, wie

in Abschnitt 6.1 erläutert, im aktuellen Standard zunächst in den Fehler laufen, bevor das EWM-System eine alternative Prozessentscheidung trifft. Grundsätzlich kann aber davon ausgegangen werden, dass die Integration von Maschinen möglich ist, da auch Waagen z. B. über RFC integriert und deren Daten direkt übermittelt werden können. Dadurch, dass RFCs bidirektional genutzt werden können, ist der Datenfluss auch umgekehrt denkbar. So könnte z. B. die Übermittlung des Volumens eines Materials durch das EWM-System hilfreich sein, um die Maschine jeweils vor der Bearbeitung entsprechend auszurichten. Die technische Umsetzung würde dann allerdings der in Abschnitt 2.2 thematisierten autonomen Anlagensteuerung obliegen und nicht mehr dem WMS.

Als weiteres Anforderungskriterium ist die Anbindung an die Cloud angeführt. Sie ist in Abschnitt 3.2 bereits als eine der grundlegenden Funktionalitäten von WMS identifiziert worden. Hierbei ist jedoch zu berücksichtigen, dass die Anbindung an die Cloud in der Vergangenheit noch keine Rolle gespielt hat und erst seit kurzer Zeit als wesentliche Funktionalität herausgestellt worden ist. Eine entsprechende EWM-seitige Umsetzung ist z. B. über die Nutzung von Web Services möglich. Dabei kann sich der Anwender auf Basis eines virtuellen Desktops zwischen Cloud und Client direkt über den Web Service einloggen. Hierdurch wird die notwendige technische Netzinfrastruktur geschaffen. Ebenfalls möglich ist die Nutzung der HANA Cloud Plattform, auf der das EWM- und das ERP-System gemeinsam laufen können. Zusätzlich können die S/4HANA-Cloud-Lösung und Sensoren in der Produktion über Konnektoren verbunden werden. Dadurch lassen sich kontinuierlich Echtzeitdaten generieren und verteilen. Vor diesem Hintergrund wird angenommen, dass eine performante Datenverarbeitung mit SAP EWM kein Problem darstellt. Das Anforderungskriterium der Anbindung an die Cloud wird in jedem Fall erfüllt und schafft damit die Grundlage für die Umsetzung der Industrie 4.0.

Ebenfalls zu berücksichtigen ist die in Abschnitt 2.3 aufgeführte Annahme, dass Produkte durch ihre Ausstattung mit Intelligenz selbst Bestandteil von PLM-Systemen werden. Da solche Systeme häufig in SCM-Systeme integriert sind, ist auch für das EWM-System eine Integration vorzunehmen, die den Austausch von Daten in Echtzeit ermöglicht. Hierdurch kann das PLM-System kontinuierlich über Veränderungen am Produkt informiert werden. Die Schnittstellengestaltung selbst ist im Optimalfall über IDocs zu lösen, da diese EDI-Standards nutzen und damit der Implementierungsaufwand z. B. gegenüber Web Services geringer ist. Demnach kann das Anforderungskriterium der Integration von PLM-Systemen im Standard des EWM-Systems erfüllt werden.

Des Weiteren ist in Abschnitt 3.4 die These beschrieben worden, dass das OPC UA in Zukunft als Protokoll für den Datenaustausch herangezogen wird und die Steuerung dezentral über CPS erfolgt. Aufgrund dessen ist die Integration des OPC UA insbesondere im Hinblick auf das Anforderungskriterium der Vernetzung mit Kunden- und Lieferantensystemen zu berücksichtigen. Um auf die Nutzungsmöglichkeiten des Protokolls mit SAP EWM Bezug zu nehmen, soll an dieser Stelle insbesondere die Schnittstellengestaltung mit dem MFS in den Mittelpunkt gerückt werden. So ist für deren Ausgestaltung die PCo und damit auch das OPC UA bis zu dem SAP EWM Release 9.3 verwendet worden [OPC Foundation 2016b; SAP 2016q]. Hinsichtlich des EWM-Systems ist eine Nutzung des OPC-Clients somit möglich. Die vorgesehenen bidirektionalen Kanäle sind daher mit dem EWM-System ebenso wie mit dem ERP-System und SAP

HANA technisch umsetzbar. Mit dem OPC UA wird ergänzend zu den in Abschnitt 6.1 betrachteten RFC- und RFID-Technologien die technologische Grundlage für eine Vernetzung mit Kunden- und Lieferantensystemen geschaffen. Das Anforderungskriterium ist damit aber nur bedingt erfüllt, da insbesondere der Echtzeitdatenaustausch mit den Kundensystemen bei Änderungen nicht gewährleistet werden kann. Nähere Ausführungen dazu sind dem Abschnitt 6.1 zu entnehmen.

Hinsichtlich der Umsetzung der Industrie 4.0 mit CPS ist zunächst zu klären, welche Aufgaben das EWM-System noch übernehmen könnte und wo Schnittstellen zu anderen Systemen einzurichten wären. Hierzu ist eine mögliche Konzeptvariante in Abschnitt 3.4 für das Beispiel eines aSLS beschrieben worden. Das Konzept kann auch auf andere Fördertechniken übertragen werden und dient daher als Grundlage für die vorliegende Analyse. Demnach ist das WMS weiterhin fester Bestandteil für die Erzeugung der Belege, die an das aSLS übermittelt werden. Daher wird angenommen, dass die Pflege von Stamm- und Bewegungsdaten auch zukünftig eine wesentliche Aufgabe des WMS darstellt. Allerdings würde die Steuerung der operativen Prozesse an die Agenten abgegeben werden. Daraus ergibt sich das erste Anforderungskriterium, die Integration von Software-Agenten für die Interaktion mit CPS. Hierbei ist insbesondere zu klären, wo genau die Schnittstelle greifen müsste, damit die Aufgabenbereiche der verschiedenen Systeme überschneidungsfrei gekoppelt werden könnten. Diesbezüglich ist zu prüfen, welcher Belegtyp vorliegen müsste, bevor der Beleg bzw. die Information zu einem LA an das aSLS übermittelt werden würde. Da LBs bereits an bestimmte LPAs gebunden sind, müsste die Übermittlung eines Belegs vor der heute üblichen LB-Erstellung erfolgen. Andernfalls würde das WMS bereits hier eine Steuerungsaufgabe in Form der LB-Erstellung übernehmen, da u. a. ein Nachlagertyp anzugeben ist. Am Beispiel des WEs ist demnach ausschließlich die Übermittlung des Anlieferungsbelegs notwendig. Daher wird davon ausgegangen, dass sich das Aufgabenspektrum eines WMS mit der Reduzierung auf die Verwaltung lagerspezifischer Stamm- und Bewegungsdaten wieder zur einfachen Lagerverwaltung zurückentwickeln würde. Dieser Auffassung zufolge könnte die Komplexität des WMS langfristig reduziert werden. Allerdings wäre sicherzustellen, dass die Kommunikation mit den CPS funktioniert und die notwendigen Informationen übermittelt werden. So werden entsprechend der Ausführungen in Abschnitt 3.4 Funkcontroller-Systeme für die Integration eines WMS mit den Software-Agenten vorgesehen. SAP-seitig werden jedoch bisher keine Funkcontroller-Systeme für die Schnittstellengestaltung verwendet. Stattdessen kommen entsprechend der Ausführungen in Abschnitt 3.5.2 RFC, Web Services und TCP/IP-Verbindungen für die Integration externer Systeme in Betracht. Somit wäre die Schnittstelle zu den Software-Agenten zunächst für die SAP zu entwickeln.

Des Weiteren ist das Anforderungskriterium der Integration von Informations- und Kommunikationstechnologien zu untersuchen. Mit der Nutzung von RFID-Tags sollte die Grundlage dafür gelegt werden, dass die CPS jede Produkt- bzw. TE-Bewegung verfolgen, den Standort aufzeigen und die vorgesehenen Prozessschritte durchführen können. Auch die Integration von Pick-by-Vision, Pick-by-Voice und anderen in Abschnitt 3.5.3 vorgestellten Mitteln der Kommunikation stellt kein Problem dar. Zudem ist in Abschnitt 3.4 das OPC UA als potenziell geeignetes Protokoll für die Kommunikation im Umfeld der Industrie 4.0 vorgestellt worden. Hinsichtlich des EWM-Systems ist eine Nutzung des OPC-Clients möglich und bereits für die Anwendung der

PCo verwendet worden. Diesbezüglich stellt sich die Frage, welche Informationen im Speziellen vom EWM-System bereitgestellt werden sollten und an welchen Stellen das CPS Einfluss nehmen würde. Hierbei wird angenommen, dass die MFS-Steuerung wie bisher über das EWM-System eingestellt wird. In diesem Fall käme die Intelligenz der CPS nur dann zum Einsatz, wenn aufgrund unvorhergesehener Ereignisse einzelne Aufträge kurzfristig, anders als im Standard vorgesehen, gesteuert werden müssten. Dabei könnten gegebenenfalls entsprechende Informationen über OPC UA an die SPS kommuniziert werden. Die SPS wäre dann so einzustellen, dass Informationen der CPS immer priorisiert werden würden. Ob dieses Szenario technisch umsetzbar wäre, müsste allerdings durch Experten in dem Bereich überprüft werden. Der Vorteil einer kombinierten Lösung bestünde in der Entlastung der CPS-basierten Steuerung. Zudem sind MFS-gesteuerte Förderbänder ohnehin physisch gebunden, sodass hierbei von standardisierten Prozessabläufen ohne große Variabilität ausgegangen werden kann. Des Weiteren wird angenommen, dass sich innerhalb der Lagertypen auch in einem Industrie 4.0-Szenario das Maß an geforderter Flexibilität nicht wesentlich von den heutigen Ansprüchen unterscheiden wird. Der Grund dafür besteht in den chaotischen Lagersystemen, innerhalb derer bereits heute optimale Plätze zugewiesen werden können. Die jeweilige Bestandssituation ist somit durchgängig abgebildet und wird im Rahmen der Ein- und Umlagerungen berücksichtigt.

Festzuhalten ist, dass der Austausch zwischen CPS und SPS im Rahmen einer besonders großen Rechenleistung keine Einbußen hinsichtlich der Echtzeitsteuerung haben sollte. Die TCP/IP-Schnittstelle zwischen dem EWM-System und der SPS sollte jedoch für einen erhöhten Grad an Transparenz weiterhin die aktualisierten Daten weiterleiten. Hierbei könnte wiederum das OPC UA zum Tragen kommen.

Infolge der vorangegangenen Ausführungen kann festgehalten werden, dass das Anforderungskriterium der Integration von Informations- und Kommunikationstechnologie durch SAP EWM auch für eine CPS-basierte Fabrik erfüllt werden könnte.

Hinsichtlich der Integration der PADs, welche ein weiteres Anforderungskriterium darstellt, ergibt sich kein Unterschied zu dem Szenario mit passiven Kennzeichnungen, weshalb hier nicht näher darauf eingegangen wird.

Das Anforderungskriterium der Integration von Mobile Devices als intelligente Assistenten greift auch in einem CPS-basierten Szenario, da der Mensch weiterhin berücksichtigt werden soll. Hierfür könnte der Informationsaustausch der Mobile Devices mit den verschiedenen CPS als Grundlage dienen. Dadurch würde die aktuelle Situation durchgängig erfasst werden und für Analysen und Simulationen zur Verfügung stehen. Um von dem dezentralen Informationsaustausch zu profitieren, kann die Schnittstellengestaltung zwischen SAP EWM und den Mobile Devices entsprechend der Ausführungen in Abschnitt 3.5.2 über die SAP Mobile Solutions erfolgen. Zudem kommen die Optionen der SAP-Fiori-Lösung für eine Kennzahlenauswertung in Betracht. Da jedoch im Zusammenhang mit den CPS ebenfalls keine intelligenten Lösungen im Sinne einer aktiven Maßnahmengenerierung möglich wären, wird das Anforderungskriterium nur bedingt erfüllt.

Darüber hinaus soll als weiteres Anforderungskriterium die Integration intelligenter Maschinen in IT-Systeme gewährleistet werden. Das ist notwendig, um, wie in Abschnitt 2.2 beschrieben, die Produktionsanlagen an neue Produktvarianten anzupassen. Ebenfalls benannt wird in diesem Zusammenhang die Implementierung bestimmter Abfolgen für die Produkterstellung. Da das

EWM-System Lagerproduktdata vorhält, wäre somit eine Schnittstelle zu den Produktionsanlagen notwendig. Dabei bietet sich für die Vernetzung intelligenter Maschinen über CPS, ebenso wie bei Produkten und Behältern, eine Agenten-basierte Lösung an. Hiermit könnten relevante Daten für die Produktion an die Maschinensteuerung übermittelt und zugleich TE-CPS- oder EWM-Daten berücksichtigt werden. Diesbezüglich besteht ebenso wie bei der Integration des aSLS aktuell noch keine direkte Schnittstellenlösung.

Für die Integration der intelligenten Maschine ist außerdem zu berücksichtigen, dass davon ausgegangen wird, dass dem EWM-System die Steuerungsfunktionen bei einer dezentralen Organisation entzogen werden würden. Demnach wären Informationen im EWM-System über Störungsdaten, Überlastungsmeldungen oder ähnliche Nachrichten vonseiten der Maschinen nur zu Kontrollzwecken notwendig. Aufgrund dessen müssten sie nicht ausgewertet werden, um kurzfristige Reaktionen anzustoßen, sondern nur für eine langfristige Analyse zur Verfügung stehen. Die operative Problemlösung sollte im Optimalfall selbstorganisiert durch die CPS erfolgen. Sollte keine Lösung gefunden werden können oder Verzögerungen festgestellt werden, wäre der Lagerleiter zu benachrichtigen. Zur Übermittlung der Informationen könnte z. B. eine TCP/IP-Verbindung zwischen den beteiligten Systemen verwendet werden. Diese besteht bereits in Zusammenhang mit dem MFS, weshalb angenommen wird, dass der Informationsfluss auch durch die Maschine ausgelöst werden könnte.

Besteht außerdem die Zielstellung, Agenten-basierte Stapler einzusetzen, sind zwei Aspekte besonders hervorzuheben. Dabei handelt es sich zum einen um die Menge an Daten, die verarbeitet werden muss und zum anderen um die Gewährleistung der Echtzeitsteuerung. Da hiermit ein größerer Bedarf an Rechenleistung einhergeht, soll auf die Möglichkeiten der Anbindung der Cloud-Lösungen verwiesen werden, die ein weiteres Anforderungskriterium darstellt. Da bereits im Kontext der passiven Kennzeichnungen deutlich geworden ist, dass das Anforderungskriterium unabhängig von den CPS für das EWM-System realisierbar ist, wird an dieser Stelle nicht näher darauf eingegangen.

Ebenfalls CPS-unabhängig kann eine PLM-Integration erfolgen, die als weiteres Anforderungskriterium der Anforderungsdimension 2 mit aufgeführt ist. Die entsprechenden Umsetzungsmöglichkeiten mit SAP EWM sind bereits im Zusammenhang mit den passiven Kennzeichnungen erläutert worden.

Des Weiteren ist das Anforderungskriterium der Vernetzung mit Kunden- und Lieferantensystemen auch in einem CPS-basierten Szenario von der Echtzeitschnittstelle zwischen dem ERP- und dem EWM-System abhängig. Hinzu kommt auch hierbei die Möglichkeit der RFID-Integration, deren Ausgestaltung sowie die entsprechenden Vorteile bereits erläutert worden sind. Daher kann festgehalten werden, dass dieses Anforderungskriterium nur bedingt erfüllt werden kann und die fehlende Echtzeitschnittstelle den Grad der Vernetzung einschränkt.

Infolge der vorangegangenen Ausführungen bestätigt sich die Forderung nach offenen, standardisierten Schnittstellen, die in Abschnitt 2.2 bereits thematisiert worden sind. Sie bieten die Grundlage für eine Vernetzung vieler beteiligter Entitäten und Systeme. Unabhängig davon, ob die Industrie 4.0 mit CPS oder ausschließlich mit passiven Kennzeichnungen umgesetzt werden soll, fehlen aktuell noch Schnittstellen für den Informationsaustausch beteiligter Systeme. Ein Großteil der geforderten Schnittstellen kann jedoch bereits heute gewährleistet werden.

6.3 Anforderungsdimension 3: Einbindung des Menschen

Mit der Anforderungsdimension 3 soll untersucht werden, inwieweit der Mensch im Rahmen der intelligenten Fabrik weiterhin eingebunden werden kann. Auch hierbei werden zunächst die Möglichkeiten mit passiven Kennzeichnungen erläutert, bevor anschließend auf eine CPS-basierte Umsetzung Bezug genommen wird.

Als ein möglicher Ansatz für die Einbindung des Menschen ist in Abschnitt 2.2 der PAD vorgestellt worden, durch den sich der Mensch als Avatar durch die Produktion bewegen kann. Hieraus resultiert das erste Anforderungskriterium dieser Dimension, welches die Integration des Menschen als PAD vorsieht.

In diesem Zusammenhang sei zunächst auf das Lagercockpit verwiesen, welches für die grafische Anzeige der Lagerkennzahlen in SAP EWM herangezogen werden kann. Dazu ist in Abb. 14 beispielhaft das Demo Cockpit der SAP dargestellt, welches die geplante und die tatsächliche Dauer des WE-Prozesses gegenüberstellt.

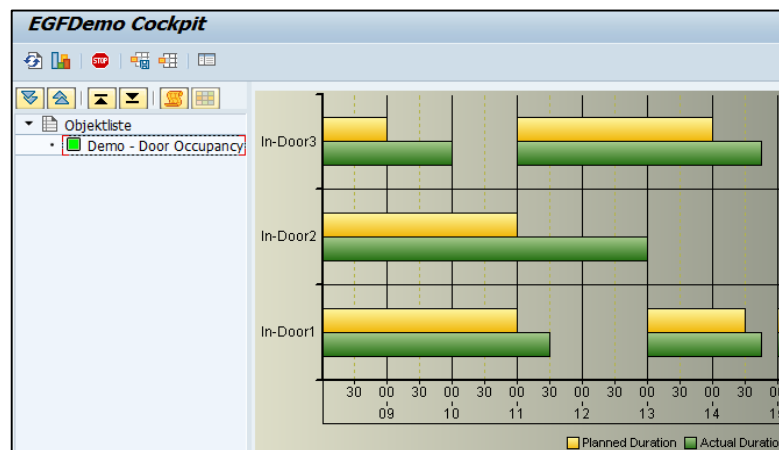


Abb. 14: Lagercockpit in SAP EWM

Zudem ist in diesem Zusammenhang das GLL zu berücksichtigen, welches im Standard implementiert ist und eine zweidimensionale Abbildung des Lagers darstellt. Wie in Abb. 15 veranschaulicht ist, beinhaltet es Informationen zu Beständen, Lagerplätzen und Ressourcen. In der Abbildung ist das Feld Leerplätze ausgewählt worden, sodass in dem Layout die entsprechenden Leerplätze mit den blauen Kreuzen durch das EWM-System automatisch markiert werden. Mit dem bestehenden GUI wird es dem Anwender jedoch nicht ermöglicht, sich ein realitätsnahes Abbild der Bestandssituation im Lager zu machen. Mit dieser eher statischen Lösung wird er nur sehr begrenzt beim Lernen und Erfahrungsaufbau unterstützt. Stattdessen wäre für die Idee der Industrie 4.0, in der sich der Mensch als Avatar durch die Produktion bewegen kann, eine dreidimensionale und realitätsnähere Abbildung des Lagers notwendig. Zudem sollten Kennzahlen aus der Produktion nicht separat im Lagercockpit, sondern innerhalb des Lagerlayouts angezeigt werden, damit sich der Anwender einen umfassenden Überblick zu der aktuellen Situation in der Fabrik schaffen kann. Als Grundlage für die technische Umsetzung dienen Methoden der virtuellen Realität, auf die bereits in Abschnitt 6.2 Bezug genommen worden ist. Insgesamt wäre hierdurch eine detailliertere, dynamischere Betrachtung möglich, die es dem Anwender erleichtern

könnte, sich in die Prozesse hineinzudenken und das Gesamtsystem besser zu verstehen. Hiermit würde die Grundlage für den in Abschnitt 2.4 beschriebenen Anspruch zum Lernen und Erfahrungsaufbau gelegt werden. Zurzeit erfüllt das EMW-System allerdings noch nicht das Anforderungskriterium der Integration des Menschen als PAD. Weder die Schnittstelle für ein externes System ist vorhanden, noch kann das bestehende statische GLL den Ansprüchen genügen, die mit dem PAD einhergehen.

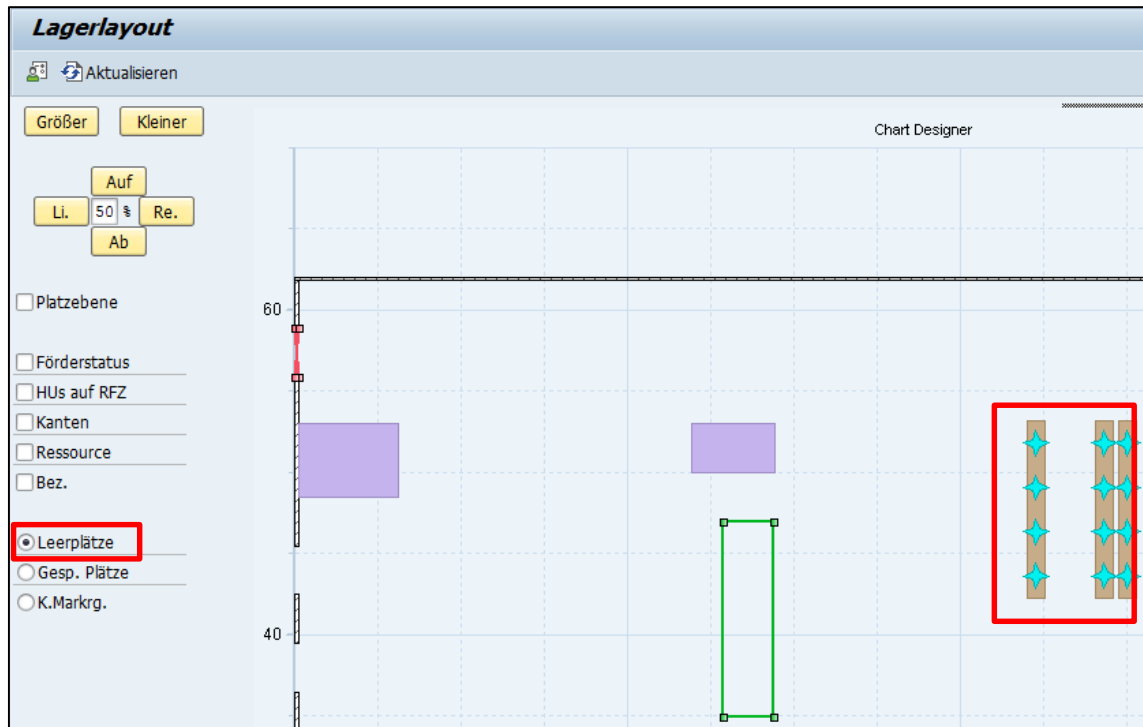


Abb. 15: Grafisches Lagerlayout in SAP EWM

Darüber hinaus ist die Anbindung intelligenter Assistenten zur Entscheidungsunterstützung bereits in Abschnitt 6.2 im Hinblick auf die Schnittstellengestaltung beleuchtet worden. Dadurch wurde deutlich, dass der Mensch durch Mobile Devices unterstützt und SAP EWM als Backend-System integriert werden kann. Die Rolle des intelligenten Assistenten erfüllen die Systeme jedoch zurzeit noch nicht, da selbständig erarbeitete Lösungsvorschläge bisher kein Bestandteil dieser Anwendungen sind. Daher sollten zukünftig vor allem die Mobile Devices mit entsprechender Intelligenz ausgestattet werden. Die benötigte Schnittstelle zu dem EWM-System besteht bereits, jedoch kann das Anforderungskriterium des assistierten Bedieners nicht vollständig erfüllt werden.

Ein weiteres Kriterium der Dimension 3 ist die intuitive Benutzeroberfläche, durch die sich der Anwender in der intelligenten Fabrik zurechtfinden soll. Hierfür muss er die Prozessabläufe nachvollziehen und sich die benötigten Daten in kurzer Zeit beschaffen bzw. Einstellungen und Dateneingaben vornehmen können. Inwieweit ein System diesem Anspruch gerecht werden kann, ist u. a. vom subjektiven Empfinden abhängig. Entscheidend ist aber in jedem Fall ein strukturierter Systemaufbau. Das EWM-System kann diesem Anspruch durch die sogenannte Tree Control, welche die Baumstruktur im Easy-Access-Menü sowie im Customizing darstellt, genügen. Anhand der Überschriften ist eine thematische Einordnung möglich, sodass der Anwender einschätzen kann, welche Unterpunkte jeweils vorzufinden sind. So werden zum Beispiel der WE

und der WA klar voneinander getrennt. Allerdings sind einige Transaktionen unter mehreren Überschriften vorzufinden. Hierunter fallen z. B. die Transaktionen /SCWM/TU und /SCWM/VEH, mit denen Transporteinheiten bzw. Fahrzeuge bearbeitet werden können. Dadurch wird die Tree Control insgesamt umfangreicher und infolgedessen unübersichtlicher. Darüber hinaus muss sich der Anwender zunächst an die klare Trennung zwischen Customizing und Stammdaten gewöhnen, wenn er in beiden Bereichen Einstellungen vorzunehmen hat. Hier ist nicht immer intuitiv nachvollziehbar, welche Lagerdaten wo genau einzustellen sind. Beispielsweise wird der Lagerbereich im Customizing festgelegt, wohingegen der Lagerplatz innerhalb des Easy-Access-Menüs bei den Stammdaten gepflegt werden muss. Nach einer Einarbeitungsphase erschließen sich jedoch die Unterschiede, sodass eine zielgerichtete Anwendung möglich ist. Problematisch im Hinblick auf die Anwenderfreundlichkeit sind Meldungen, die häufig weder den genauen Fehler noch Lösungsmöglichkeiten spezifizieren. Als Beispiel dient Abb. 16, in der die Hilfestellung für das Auswahlfeld „Queue-Zugriffsfolge definieren“ im Customizing dargestellt wird. Sie ist durch das rote Kästchen kenntlich gemacht. Über die Überschrift hinaus gibt es hier keine weiteren Erläuterungen.

Des Weiteren sind die Bildmasken häufig zu klein, der Platz auf dem Bildschirm wird nicht effizient genutzt und Überschriften werden häufig nur als Abkürzungen verfasst. Aufgrund dessen bestehen zur Erfüllung des Anforderungskriteriums noch Potenziale für Verbesserungen.

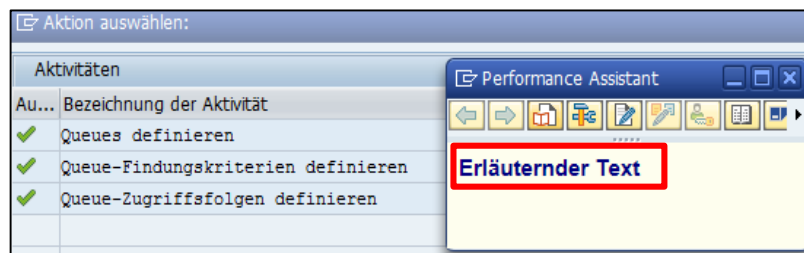


Abb. 16: Hilfestellung bei der Definition von Queue-Zugriffsfolgen

Im Rahmen der Industrie 4.0 bewegen sich die Aufgabenschwerpunkte der Mitarbeiter voraussichtlich zunehmend von operativen Tätigkeiten zu planerischen und abstimmenden Tätigkeiten. Daraus ergibt sich das letzte Anforderungskriterium dieser Anforderungsdimension, welches die Berücksichtigung der planerischen und abstimmenden Rolle des Menschen ist. Hierfür ist die Informationsbereitstellung hinsichtlich des Produktivbetriebs sicherzustellen, weshalb die Prozesse im WMS nachvollziehbar sein müssen. Zusätzlich hat das System neben der Datenverwaltung und -bereitstellung verstärkt eine Monitoring- und Auswertungsfunktion. Wie in Abschnitt 2.4 benannt, geht der Trend hin zu Aufgaben in der Datenanalyse, Prozesssimulation und -steuerung. Hierfür ist eine plausible Datengrundlage elementar. Vor diesem Hintergrund eignet sich der LVM, da er diverse Informationen vorhält. In diesem Zusammenhang sind z. B. Lieferbelege, Bestände oder Lagerplätze anzuführen. Daher stellt der LVM auch in Zukunft ein geeignetes Instrument dar, um die Daten unter Verwendung ausschließlich passiver Kennzeichnungen übersichtlich bereitzustellen. Kritisch anzumerken ist allerdings, dass Datenaktualisierungen im EWM-System nur mit der Auffrischungsfunktion vorgenommen werden können, woraus sich ein Defizit hinsichtlich der Echtzeitsteuerung ergibt. Diese Funktionalität führt zu einer zeitlichen Verzerrung und erfordert bei jedem Aktualisierungsvorgang eine manuelle Aktion. Hierzu bietet die SAP seit Release 9.1 eine eventbasierte Lösung an, die im Standard verfügbar ist. Allerdings

muss sie um entsprechende Konfigurationen und Entwicklungen ergänzt werden. Für die mittel- bis langfristige Planung stellt die fehlende Automatisierung für eine Echtzeitaktualisierung jedoch kein Problem dar.

Nachdem bis hierhin von passiven Kennzeichnungen ausgegangen worden ist, soll nachfolgend noch einmal auf die Umsetzungsmöglichkeiten mit CPS Bezug genommen werden.

Hinsichtlich des ersten zu untersuchenden Anforderungskriteriums, der Integration des Menschen als PAD, ergeben sich keine Unterschiede zu der Umsetzung mit ausschließlich passiven Kennzeichnungen, weshalb hier nicht näher darauf eingegangen wird.

Im Hinblick auf die Etablierung von assistierten Bedienern, welche ein weiteres Anforderungskriterium darstellt, gelten ebenfalls die Ausführungen entsprechend der Verwendung ausschließlich passiver Kennzeichnungen.

Bezüglich des dritten Anforderungskriteriums, welches eine intuitive Benutzeroberfläche und einen verständlichen Systemaufbau adressiert, kann ebenfalls auf die vorangegangenen Ausführungen verwiesen werden. Dadurch, dass die Steuerungsfunktion weitestgehend an dezentrale Systeme abgegeben werden würden, könnten allerdings zahlreiche Funktionalitäten, insbesondere im Customizing abgeschafft werden. Hierzu zählen z. B. die Lagertyp-, bereichs- und -platzfindung, da für die Einlagerung ausschließlich CPS vorgesehen sind, die selbständig die Einlagerungssteuerung vornehmen sollen.

Für das letzte Anforderungskriterium, die Berücksichtigung der planerischen und abstimmenden Rolle des Menschen, sind vor dem Hintergrund der Verwendung von CPS einige zusätzliche Aspekte zu berücksichtigen. Wird in diesem Zusammenhang davon ausgegangen, dass das aSLS u. a. Behälter-, Ressourcen- und Produktstandorte über eine entsprechende Schnittstelle an das WMS kommuniziert, wäre der LVM vermutlich einfacher zu gestalten. Demnach sollte er nicht die selbsterzeugten, sondern die in den Fremdsystemen erzeugten Warenbewegungen abbilden. Zudem sind die Reaktion auf Störmeldungen und entsprechende Korrekturmaßnahmen durch den Menschen langfristig nicht vorgesehen. Damit würde sich der LVM vom Steuer- und Kontrollinstrument zurück entwickeln zu einem ausschließlichen Kontrollinstrument. Demnach müsste der LVM für eine CPS-basierte Umsetzung umfassend verändert werden, weshalb das Anforderungskriterium für eine CPS-basierte Umsetzung nicht vollständig erfüllt werden kann.

Insgesamt bietet das EWM-System viele Möglichkeiten, den Menschen einzubinden. Allerdings sind verschiedene Funktionalitäten zu ergänzen, bzw. zu ersetzen, um eine möglichst optimale Grundlage im Rahmen der Industrie 4.0 schaffen zu können.

6.4 Zusammenfassung der Analyseergebnisse

Im Sinne einer übersichtlichen Darstellung der Analyseergebnisse, werden die Stärken und Schwächen des Systems im Folgenden in den Tabellen 4, 5 und 6 zusammengefasst. Dabei wird deutlich, dass das Verhältnis der Stärken und Schwächen relativ ausgeglichen ist.

Insgesamt ist festzuhalten, dass sich für die Realisierung der Industrie 4.0 je nach Auffassung sehr unterschiedliche Ansprüche an ein WMS ergeben. In der vorangegangenen Analyse ist daher eine Unterscheidung zwischen einer CPS-basierten Umsetzung und der Verwendung ausschließ-

lich passiver Kennzeichnungen im Umfeld einer intelligenten Infrastruktur getroffen worden. Zudem war der Begriff „Intelligenz“ zu klären, bevor eine Beurteilung der Systemintelligenz vorgenommen werden konnte.

Vor diesem Hintergrund konnten im Rahmen der Analyse die in Tab. 4 zusammengefassten Stärken des EWM-Systems, bezogen auf Industrie 4.0, herausgestellt werden. Demnach ist eine automatisierte Steuerung grundsätzlich möglich ist. So werden durch die Definition verschiedener Regeln im Customizing und die Integration einer SPS Prozessabläufe automatisiert eingesteuert und Informationen ausgetauscht. Hiermit wird auch ein weiteres Anforderungskriterium, das der standardisierten Prozessabläufe, erfüllt. Ebenfalls standardisiert ist die Schnittstellengestaltung zu anderen Systemen und Kommunikations- sowie Informationstechnologien wie z. B. RFID umsetzbar. Zudem ist die Anbindung an die Cloud, welche bereits als erweiterte Funktionalität eines WMS erachtet wird, realisierbar. Dafür bieten Web Services oder S/4HANA die technischen Voraussetzungen.

Des Weiteren werden Bestands- und Inventardaten über die LIME in Echtzeit von dem ERP-System an das EWM-System übertragen. Dadurch ist die aktuelle Bestandssituation transparent und kann für verschiedene Analysen zugrunde gelegt werden, woraus sich eine weitere Stärke des EWM-Systems ergibt.

Als eines der Anforderungskriterien ist die Integration des PLM-Systems definiert worden. Begründet liegt dies darin, dass Produkte zukünftig selber Informationen tragen und mit externen Systemen kommunizieren sollen, wodurch sie sich zu einem Bestandteil des PLM-Systems entwickeln. Eine Schnittstelle mit dem EWM-System ist somit umso wichtiger, da produktspezifische Lagerdaten übermittelt werden können. Hierdurch wird für das PLM-System eine umfassende Informationsbasis geschaffen, die im Rahmen der Gestaltung des Produkt-Lebenszyklus und bei der Entwicklung neuer Produkte genutzt werden kann. Die Schnittstellengestaltung mit dem EWM-System ist über IDocs realisierbar.

Darüber hinaus ist im Sinne einer effizienten Einbindung und Unterstützung des Menschen ein strukturierter Systemaufbau unerlässlich. Dieses Kriterium wird durch das EWM-System bereits jetzt erfüllt, weshalb es als Stärke in die Bewertung mit eingeht. Zudem kann der Mensch durch die Controlling-Instrumente LVM, GLL und Lagercockpit bereits heute in seiner planerischen und abstimmenden Rolle, die er zukünftig vorrangig einnehmen soll, unterstützt werden.

Als weiteres Anforderungskriterium ist die Integration von Mobile Devices zur Entscheidungsunterstützung des Menschen angeführt worden. Dadurch sollen die Mobile Devices die Rolle intelligenter Assistenten übernehmen und Maßnahmen für die Produktion in Echtzeit vorschlagen. Hierfür ist die Schnittstelle und Entscheidungsunterstützung durch Kennzahlen bereits über SAP Fiori verfügbar. Selbständige Problemlösungen und die Generierung von Vorschlägen in Echtzeit werden jedoch bisher nicht angeboten. Hieraus ergibt sich der Übergang zu den in Tab. 6 angeführten Schwächen des EWM-Systems.

In diesem Zusammenhang ist unabhängig von der Nutzung von CPS herausgestellt worden, dass weder eine belegspezifische Anpassung, noch eine automatische Replikation an SAP EWM für nachträgliche kundenspezifische Änderungen möglich ist. Um jedoch die Kriterien der Bereitstellung und des Austauschs der Stamm- und Bewegungsdaten in Echtzeit, der Anpassung an

veränderte Kundenwünsche sowie der Vernetzung mit Kunden- und Lieferantensystemen erfüllen zu können, ist eine Echtzeitschnittstelle erforderlich.

Des Weiteren ist festzuhalten, dass sich das EWM-System nicht über selbstlernende Algorithmen optimieren kann. Stattdessen müssen im Vorhinein prozesssteuernde Regeln festgelegt werden, die immer gleiche Abläufe nach sich ziehen. Sie sind nur über ebenfalls festgelegte Ausnahmecodes variabel. Auch die Anpassungsfähigkeit an veränderte Prozessabläufe kann im Standard nicht vollständig gewährleistet werden. Dieser Aspekt ist z. B. anhand der fehlenden Autonomie im Rahmen der Ressourcensteuerung deutlich geworden. Hieraus leitet sich der Bedarf nach einer autonomen Selbstorganisation und einer dezentralen Steuerung ab, die in Form von CPS zum Tragen kommen könnte. Alternativ dazu wären Entwicklungen innerhalb des EWM-Systems notwendig, um diese intelligente Infrastruktur zu gewährleisten, die mehr Agilität versprechen soll als der heutige Systemstandard.

Darüber hinaus ist die Schnittstellengestaltung zwischen den CPS und dem WMS für eine Agenten-basierte Umsetzung grundlegend. In der Analyse ist dies anhand des aSLS exemplarisch aufgezeigt worden. Dabei stellt die Übertragung der Belege an die Agenten-basierte Steuerung die Grundlage für eine autonome Selbstorganisation und dezentrale Steuerung im operativen Betrieb dar. Da jedoch noch keine Schnittstelle für die geforderten Funkcontroller-Systeme vorhanden ist, wird dieser Aspekt unter den Schwächen des Systems angeführt. Allerdings wird angenommen, dass eine technische Umsetzung langfristig möglich sein wird.

Des Weiteren birgt das EWM-System hinsichtlich der in Anforderungsdimension 3 untersuchten anwendergerechten Systemgestaltung noch Verbesserungspotential. Dies begründet sich zum einen in der Auto-Refresh-Funktion, die immer wieder neu ausgeführt werden muss und zum anderen darin, dass teilweise erklärender Text fehlt. Darüber hinaus sind die Bildmasken häufig zu klein. Als Maßnahmen werden die automatische systemseitige Auffrischung sowie ausführlichere Erklärungen und Beschriftungen empfohlen. Insgesamt sollten die Tabellen im GUI größer dargestellt werden, um den Platz auf dem Bildschirm effizienter zu nutzen.

Um abschließend eine Aussage darüber zu treffen, ob das EWM-System im Hinblick auf Industrie 4.0 geeignet ist, ist erneut eine Unterscheidung bezüglich der technischen Voraussetzungen vorzunehmen.

Wird hierbei eine temporär intelligente Infrastruktur angenommen, in welcher das EWM-System die Steuerungsfunktion beibehält, kann es nur bedingt den Anforderungen gerecht werden.

In jedem Fall sind weitergehende Entwicklungen zu implementieren, die eine größere Autonomie ermöglichen müssen. Zurzeit trifft der Mensch häufig Entscheidungen, oder muss manuell Aktionen ausführen. Außerdem werden die Informationen noch nicht durchgängig in Echtzeit kommuniziert und das System bietet nur die innerhalb der Regelwerke festgelegte Variabilität bei Ausnahmen im Prozessablauf. Da die beschriebenen passiven Kennzeichnungen zudem selbst keine Intelligenz besitzen, sind sie auf eine intelligente Infrastruktur angewiesen. Damit einhergehend werden selbständige Systementscheidungen EWM-seitig vorausgesetzt. Vor diesem Hintergrund rücken insbesondere die EWM-Funktionalitäten der Lagerungsdisposition, des AMs und des MFS in den Fokus, welche jedoch Defizite im Hinblick auf die Echtzeitfähigkeit aufweisen. Das Wellenmanagement bietet bereits heute mit flexibel anpassbaren Wellenvorlagen großes Po-

tenzial für eine autonome Lagersteuerung. Auch die zukünftigen Erwartungen bezüglich des erhöhten Einsatzes von CD sind mit dem EWM-System umsetzbar, wobei hier ein BAaI hinzugezogen werden muss. Unter der Annahme, dass nicht das Intelligenzverständnis selbstlernender Algorithmen verwendet wird, sondern Intelligenz wie in Abschnitt 2.1 beschrieben, mehr auf der computerbasierten Steuerung beruht, stellt das heutige EWM-System eine gute Grundlage dar, um flexibler gestaltet zu werden. Zudem schafft das System durch verschiedene Controlling-Instrumente, im Speziellen LVM, GLL und Lagercockpit eine weitgehende Transparenz hinsichtlich der Prozesse. Hierbei ist jedoch anzumerken, dass die einzelnen Entitäten nicht durchgängig abgebildet werden können, da sie z. B. bei der Verwendung von RFID immer nur an den entsprechenden Lesegeräten registriert werden würden. Demnach könnten sie ihren genauen Standort nicht als eigenständiges System an das WMS kommunizieren, wie es CPS-basiert möglich wäre. Des Weiteren hat sich gezeigt, dass die Dezentralität systemsteuernder Entitäten für eine zentrale Steuerung durch das EWM-System keinen Nutzen bringt, da die Informationen nur dezentral gespeichert und kommuniziert werden können. Hierdurch allein kann aber aus Sicht des Autors noch nicht von einer dezentralen Intelligenz gesprochen werden.

Wird stattdessen die Umsetzung mit CPS angenommen, so kann das EWM-System weitgehend als geeignet erachtet werden, um den Anforderungen der Industrie 4.0 gerecht zu werden. Dies begründet sich in der Annahme, dass sich der Aufgabenbereich des WMS wieder zu klassischen Lagerverwaltungsfunktionen zurückentwickeln werden würde, da die Agenten die Steuerungsaufgaben übernehmen sollen. In diesem Zusammenhang würde das WMS als Mittler von Bewegungsdaten fungieren und Lagerstammdaten bereitstellen, wobei die Steuerung der Lagerprozesse nicht mehr im Fokus stünde. Infolgedessen genügen viele bestehende Funktionalitäten des EWM-Systems den gesunkenen Ansprüchen und übertreffen die Anforderungen sogar teilweise. Allerdings würde das WMS in diesem Szenario in Zukunft partiell durch intelligentere Lösungen abgelöst werden, welche die starre, zentrale Logik überholen sollen. Demnach wird davon ausgegangen, dass sich das Anforderungsprofil an WMS gegensätzlich zu dem Trend der wachsenden Komplexität verhält. Allerdings würde mit einem aSLS oder einem ähnlichen Agenten-System wieder eine Art zentrale Steuerung für die Transportzielvergabe implementiert werden. Sie wäre deutlich flexibler und stünde in direktem Informationsaustausch mit dezentral agierenden Entitäten, die noch dazu mit anderen Systemen, wie z. B. Maschinen, kommunizieren könnten. Nach dem Erhalt der zentral gesteuerten Transportzielvergabe, könnten diese Agenten je nach Aufgabenstellung autonom agieren. Dadurch würde die Produktion nicht mehr auf statischen Regelwerken basieren, sondern sich an veränderte Bedingungen anpassen. Als Voraussetzung hierfür ist jedoch ebenfalls herausgestellt worden, dass die Agentensteuerung weiterhin von den WMS-Daten und einer entsprechenden Schnittstelle abhängig wäre.

Die in Abschnitt 3.5.1 angeführte These, nach der die Umsetzung der Industrie 4.0 maßgeblich von der Elastizität des zentral verwalteten ERP-Systems abhängt, hat sich hier nicht bestätigt. Bei ERP-Systemen wird weiterhin die Datenpflege im Mittelpunkt stehen. Wichtig ist dabei der Datenaustausch in Echtzeit, welcher als einer der zentralen Aspekte im Umfeld von Industrie 4.0 herausgestellt worden ist.

Tab. 4: Stärken des EWM-Systems im Hinblick auf Industrie 4.0

Stärke	Beschreibung
Weitgehende Automatisierung	Durch die Festlegung von Regeln im Customizing findet das System die richtigen Prozessabläufe und steuert diese automatisch ein. Die Integration einer SPS ermöglicht die MFS-basierte Steuerung.
Standardisierte Prozessabläufe	Durch verschiedene Regeln (LPA, ESK, etc.) können über das Customizing standardisierte Prozessabläufe im EWM-System hinterlegt werden
Integration von Informations- und Kommunikationstechnologien (RFID, Barcodes etc.)	SAP AII, RFC, Web Services, TCP/IP und IDocs ermöglichen eine Anbindung verschiedener Informations- und Kommunikationstechnologien sowohl für die Arbeit mit passiven Kennzeichnungen als auch für eine CPS-basierte Umsetzung
Anbindung an die Cloud	Über S/4HANA, die Cloud Plattform der SAP sowie Web Services können die Vorteile der Cloud genutzt werden
Integration von Mobile Devices	Mobile Devices können integriert werden und Kennzahlen zur Verfügung stellen, der Aspekt der Entscheidungsunterstützung ist jedoch noch ausbaufähig.
Flexibles Nähe-Echtzeit-Management durch die LIME	Bestände und Inventar werden in Echtzeit fortgeschrieben
Integration von PLM-Systemen	PLM-Systeme lassen sich z. B. über IDocs anbinden. Als technologische Grundlagen bieten sich für die Schnittstellengestaltung Web Services, RFC und TCP/IP-Verbindungen an.
Strukturierter Systemaufbau	In der Tree Control ist eine thematische Einordnung anhand der Überschriften möglich
Berücksichtigung der planerischen, abstimmdenden Rolle des Menschen	Im LVM können diverse Informationen z. B. zu LBs, HUs, Lagerplätzen etc. abgerufen werden. Darüber hinaus ist die Kennzahlenermittlung über das Lagercockpit möglich und das GLL bietet einen Überblick zu dem Lager.

Tab. 5: Schwächen des EWM-Systems im Hinblick auf Industrie 4.0 – I

Schwäche	Beschreibung	Verbesserung für eine CPS-basierte Realisierung	Verbesserung für eine Realisierung mit passiven Kennzeichnungen
Fehlende Flexibilität bei Änderungen belegspezifischer Daten	Ändert sich z. B. der gewünschte Liefertermin bei einem Kunden, kann das EWM-System keine automatische flexible Anpassung in Echtzeit vornehmen.	Der Datenaustausch zwischen dem ERP- und dem EWM-System ist durch eine Echtzeitschnittstelle verbessern.	Der Datenaustausch zwischen dem ERP- und dem EWM-System ist durch eine Echtzeitschnittstelle verbessern.
Anpassbarkeit an ständige Veränderungen	Prozessvarianten und Ausnahmen sind im Vorhinein festzulegen und müssen ggf. manuell nachgepflegt werden. Die Variabilität ist durch Regeln und die Bindung an physische Gegebenheiten begrenzt. Eine Ortung dezentraler Entitäten findet nicht statt.	Eine Verbesserung wird an dieser Stelle nicht vorgeschlagen, da es sich hierbei vielmehr um Aufgaben der CPS handelt, weshalb das WMS diesbezüglich keinerlei Funktionalitäten übernehmen muss.	EWM-seitig wären Ortungsmechanismen zu implementieren, sodass Veränderungen in der Fabrik auch systemseitig synchronisiert abgebildet werden könnten. Für eine größere Variabilität der Prozesse wäre ein Szenario-Management zu entwickeln, welches individuelle Szenarios selbstständig erkennt und anstößt.
Integration des Menschen als PAD	Die virtuelle Realität findet in Zusammenhang mit SAP EWM noch keine Beachtung. Das GLL stellt lediglich eine zweidimensionale Ansicht dar, mit der jedoch nur wenige Daten aufgezeigt werden.	<p>Variante 1: Das GLL ist als virtuelles Lager zu gestalten und verschiedene Daten, vorrangig aus dem LVM und dem Lagercockpit sind hierbei in Echtzeit aufzuzeigen.</p> <p>Variante 2: Einrichtung einer Schnittstelle zu einem virtuellen Lager. Dabei sind die Echtzeitdaten des WMS zu übermitteln.</p>	<p>Variante 1: Das GLL ist als virtuelles Lager zu gestalten und verschiedene Daten, vorrangig aus dem LVM und dem Lagercockpit sind hierbei in Echtzeit aufzuzeigen.</p> <p>Variante 2: Einrichtung einer Schnittstelle zu einem virtuellen Lager. Dabei sind die Echtzeitdaten des WMS zu übermitteln.</p>

Tab. 6: Schwächen des EWM-Systems im Hinblick auf Industrie 4.0 - II

Schwäche	Beschreibung	Verbesserung für eine CPS-basierte Realisierung	Verbesserung für eine Realisierung mit passiven Kennzeichnungen
Kein selbstlernendes System und keine eigenständige Maßnahmen-generierung zur Entscheidungs-unterstützung	Das System ist nicht selbstlernend und kann sich somit nicht an unerwartete Veränderungen anpassen oder selbständig Lösungen für neue Probleme vorschlagen und umsetzen. Daher unterstützt es bisher nur bedingt als Grundlage für das Konzept eines assistierten Bedieners.	Eine Verbesserung wird an dieser Stelle nicht vorgeschlagen, da es sich hierbei vielmehr um Aufgaben der CPS handelt, weshalb das WMS diesbezüglich keinerlei Funktionalitäten übernehmen muss.	Für eine selbstlernende Intelligenz müsste das System komplett neu aufgesetzt werden. Daher wird hier alternativ angenommen, dass die Komplexität des Systems noch umfassender gestaltet werden müsste. Demnach sind zahlreiche erweiterte Funktionen im Vorhinein zu implementieren. Beispielhaft sei hier die automatisierte Anpassung des Aufgebotes an Ressourcen an die Arbeitslast aufgeführt.
Datenaktualisierungen nur über die Auto-Refresh-Funktion	Werden z. B. LBs erstellt oder ausgeführt, kann dies erst durch die Ausführung des Auffrischungsbuttons  nachvollzogen werden.	Implementierung event-basierter Aktualisierungen erfordert Entwicklung und ist somit nicht im Standard verfügbar, prinzipiell aber möglich.	Implementierung event-basierter Aktualisierungen erfordert Entwicklung und ist somit nicht im Standard verfügbar, prinzipiell aber möglich.
Graphical User Interface	Teilweise fehlt erklärender bzw. ausführlicherer Text. Vereinzelt ist die Tree Control unübersichtlich.	Ausführlichere Meldungen, umfassendere Informationen, z. B. wo die Fehlersuche gestartet werden kann.	Ausführlichere Meldungen, umfassendere Informationen, z. B. wo die Fehlersuche gestartet werden kann.

Als Zielstellung der Arbeit ist unter anderem die Bestimmung fehlender Funktionalitäten mit aufgeführt. Aus der Analyse geht hervor, dass sich das System für den Fall einer umfassenden Automatisierung mit autonomen CPS eher zurück entwickelt. Demnach können verschiedene Funktionalitäten des EWM-Systems vermehrt abgebaut werden. Auf der anderen Seite gibt es jedoch auch einzelne erweiternde Elemente, die entsprechend der Erfordernisse der Industrie 4.0 zu ergänzen wären. Neben einer umfassenderen Echtzeitschnittstelle zwischen dem EWM- und dem ERP-System, wie sie bereits im Rahmen der Schwächen des Systems aufgeführt worden ist, wäre

außerdem die Implementierung eines 3-D-Layouts, gemäß der Virtual Reality, mit Echtzeitinformationen denkbar. Dadurch könnte sich der Mensch als Avatar im Lager virtuell bewegen und erhalte aktuelle Informationen aus der Produktion. Daher wird vorgeschlagen, langfristig eine Erweiterung des GLL um ein virtuelles Lager zu realisieren.

Werden ausschließlich passive Kennzeichnungen und keine CPS verwendet, ist außerdem die RFID-Funktionalität für die Kommissionierung fehlend, sofern diese Technologie jeweils zugrunde gelegt wird. Ebenfalls notwendig wären verschiedene Systemerweiterungen, die eine autonome Steuerung durch SAP EWM ermöglichen könnten. Beispielhaft zu nennen ist die automatische Einsteuerung weiterer Ressourcen in Abhängigkeit von der Arbeitslast, oder die direkte Kommunikation mit den Maschinen, um vorzeitig TEs umzuleiten.

Zudem ist herausgestellt worden, dass die Ortbarkeit der einzelnen Entitäten zwingende Voraussetzung ist, um z. B. variierende Arbeitsstationen systemseitig abzubilden und damit den Erhalt der standardisierten Prozessabläufe in Form von LPAs und anderen systemsteuernden Elementen gewährleisten zu können.

Hiermit zeigt sich, dass noch viele Potenziale bestehen, um das EWM-System entsprechend der Anforderungen der Industrie 4.0 auszurichten.

Die vorangegangene Zusammenfassung der Stärken, Schwächen sowie fehlender Funktionalitäten des EWM-Systems bildet die Grundlage für eine abschließende Bewertung der Anforderungskriterien. Inwieweit diese erfüllt werden können, soll anhand des Anforderungsprofils in Tab. 7 noch einmal übersichtlich und basierend auf einem Bewertungssystem veranschaulicht werden. Um eine differenzierte Beurteilung zu ermöglichen, werden 5 Kategorien verwendet, deren Bedeutung der nachfolgenden Legende zu entnehmen ist. Dabei dienen die Werte 1 bis 5 einer Bewertung der Eignung des EWM-Systems, den Anforderungen der Industrie 4.0 gerecht zu werden. Die Begründung für die jeweilige Zuordnung zu einer Kategorie geht aus den Abschnitten 6.1, 6.2 und 6.3 hervor.

Legende:

- 1 – Keinerlei Eignung
- 2 – Ungeeignet, wobei Potenziale bestehen
- 3 – Unter bestimmten Bedingungen geeignet
- 4 – Geeignet mit Verbesserungspotenzial
- 5 – Sehr gut geeignet

Tab. 7: Anforderungsprofil

Anforderungskriterium	1	2	3	4	5
Bereitstellung und Austausch von Stamm- und Bewegungsdaten in Echtzeit			x		
Anpassungsfähigkeit an ständige Veränderungen innerhalb der Fabrik (variable Arbeitsstationen etc.)	x				
Autonome Selbstorganisation und dezentrale Steuerung im operativen Betrieb			x		
Anpassung an veränderte Kundenwünsche		x			
Standardisierte Prozessabläufe					x
Umfassende Automatisierung von Prozessabläufen				x	
Vernetzung mit Kunden- und Lieferantensystemen			x		
Integration von Software-Agenten für die Interaktion mit CPS		x			
Integration von Informations- und Kommunikationstechnologien (RFID, Barcodes, etc.)				x	
Integration des Menschen als PAD	x				
Integration von Mobile Devices als intelligente Assistenten		x			
Integration der intelligenten Maschine		x			
Anbindung an die Cloud					x
Integration von PLM-Systemen				x	
Etablierung von assistierten Bedienern		x			
Intuitive Benutzeroberfläche, verständlicher Systemaufbau				x	
Berücksichtigung der planerischen, abstimmen- den Rolle des Menschen			x		

6.5 Anwendung der Analyseergebnisse

Um die Erkenntnisse aus den Abschnitten 6.1 bis 6.3 praxisnah aufzubereiten, soll im Folgenden ein logistischer Beispielprozess abgebildet werden. Da aus der vorangegangenen Analyse hervorgeht, dass der EMW-Standard noch Defizite hinsichtlich der Anforderungen der Industrie 4.0 aufweist, wird für die Umsetzung der Prozesse ein CPS-basiertes Szenario zugrunde gelegt. Ein Vorschlag für die Anwendung des Beispielprozesses ohne CPS und ausschließlich basierend auf passiven Kennzeichnungen ist dem Anhang IX zu entnehmen.

6.5.1 Beschreibung eines logistischen Beispielprozesses

Der Beispielprozess ist allgemein für den Montagebereich angelegt und sieht die Verwendung eines automatischen Palettenlagers und eines automatischen Kleinteilelagers (AKL) vor. Das Palettenlager dient als Bestandsvorrat für die Großteile, die in der Montage verbaut werden. Das AKL beinhaltet Materialien, die aufgrund ihrer Größe und ihres niedrigen Gewichts in Kleinladungsträgern (KLT) aufbewahrt werden können.

Der in Abb. 17 veranschaulichte Prozess beginnt im Wareneingang, wo die Ware nach der Entladung auf Beschädigungen, die korrekte Menge sowie das richtige Produkt hin überprüft wird. Daran anschließend wird die Ware gegebenenfalls dekonsolidiert und entweder direkt mit FTS zu der Übergabezone oder über das CD zu der WA-Zone verbracht.

Im Rahmen des daran anschließenden Einlagerungsprozesses erfolgt zunächst die Übergabe auf ein Förderband, welches über Ein- und Auslagerstiche, sowohl für KLTs als auch für Paletten verfügt. Das Fördersystem verläuft mittig zwischen AKL und Palettenlager, sodass die RBGs kontinuierlich einlagern können.

Ist ein Material eingelagert, steht es bereit, um für den Montageprozess wieder ausgelagert zu werden. An den Produktionsverbauorten (PVB) wird Nachschub angefordert, sobald eine Mindestmenge unterschritten worden ist. Daraufhin lagern die RBGs des AKL bzw. Palettenlagers die geforderte Menge aus. Die FTS übernehmen den anschließenden Abtransport und stellen die Behälter bzw. Paletten am PVB an. Das Produkt wird von einem Werker montiert und nach dem Montagevorgang in einen Behälter gelegt. Im Anschluss daran wird der Behälter von einem FTS abgeholt und zu der nächsten Arbeitsstation transportiert. Hierbei werden bei dem Beispielprozess potenzielle Störungen berücksichtigt, wodurch eine vorgesehene Maschine kurzfristig nicht zur Verfügung steht. In diesem Fall wird ein Transport zu einer alternativen Maschine eingesteuert, die ebenfalls in der Lage ist, das Produkt anforderungsgerecht zu bearbeiten bzw. zu montieren. Dadurch wird das Produkt fertiggestellt und für die individuelle Identifikation und den Datenaustausch mit einer entsprechenden Technologie ausgestattet. Anschließend übernimmt ein FTS den Transport zur WA-Zone, wo die Ware verpackt und versendet werden soll.

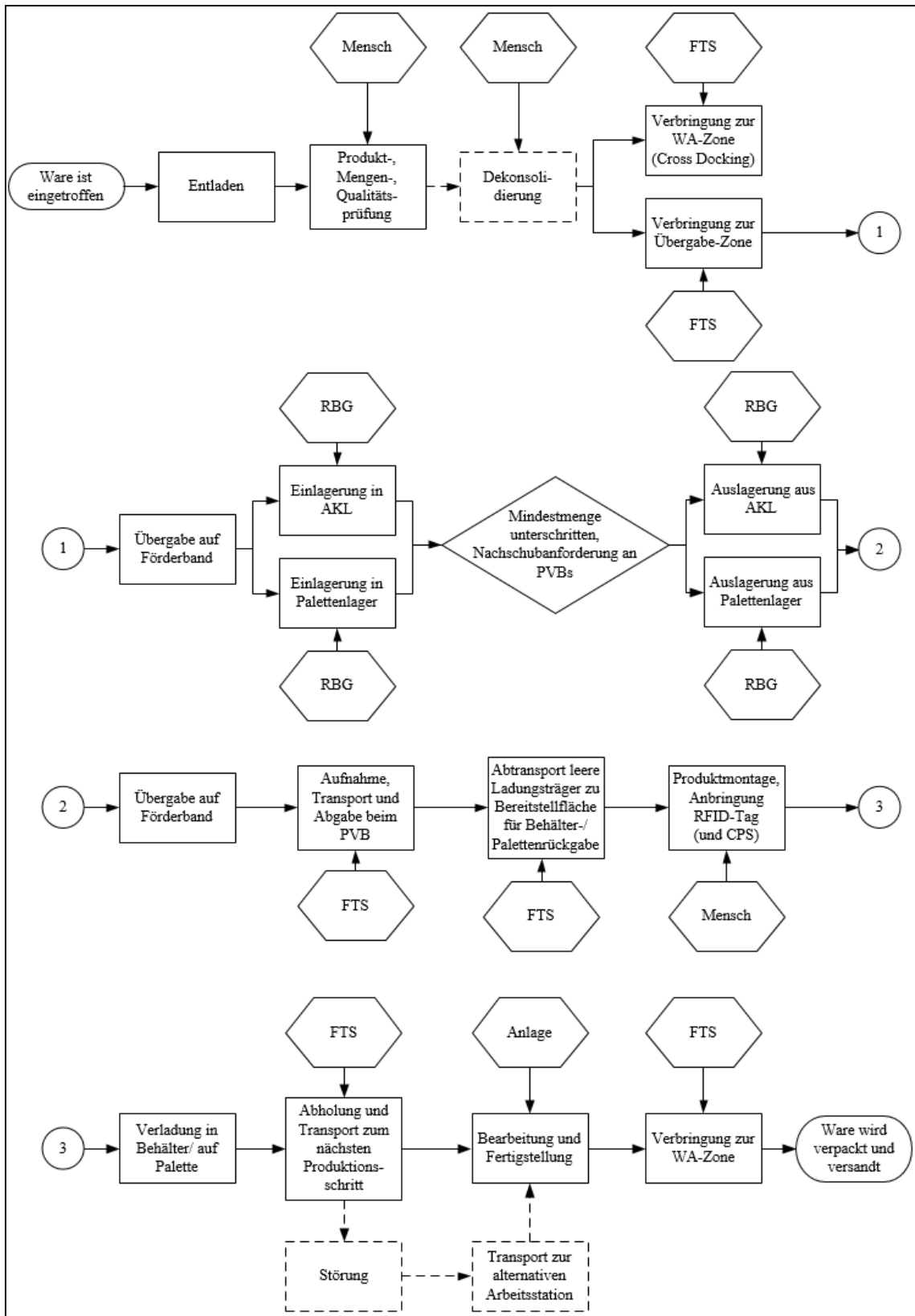


Abb. 17: Beispielprozess für die Anwendung der Analyseergebnisse

6.5.2 Anwendung von SAP EWM auf den Beispielprozess

Als Grundlage für eine Industrie 4.0-gerechte Umsetzung sind zunächst grundlegende Strukturen und Objekte im EWM-System anzulegen. Dies gilt unabhängig davon, ob die Umsetzung des Beispielprozesses CPS-basiert oder unter Verwendung passiver Kennzeichnungen im Umfeld einer intelligenten Infrastruktur erfolgt. Demnach ist die Organisationsstruktur des EWM-Systems zu pflegen, welche u. a. Lagernummern, Lagerorte, Lagertypen, -bereiche, -plätze, Aktivitätsbereiche, Lagertore, Bereitstellungszone, Arbeitsplätze, WE- und Versandbüros umfasst. Außerdem sind diverse Stammdaten wie z. B. Ressourcen, Produktdaten und ggf. MFS- sowie AM-Komponenten zu pflegen. Da es sich hierbei um grundlegende Daten handelt, die zwar als Voraussetzung für andere Funktionalitäten gepflegt sein müssen, jedoch im Hinblick auf Industrie 4.0 keine Besonderheiten aufweisen, wird an dieser Stelle nicht näher darauf eingegangen. Stattdessen liegt der Schwerpunkt dieses Abschnitts auf der prozessualen Betrachtung, welche die Anforderungen der Industrie 4.0 berücksichtigen soll.

Als Rahmenbedingungen des CPS-basierten Beispielprozesses wird angenommen, dass Maschinen, Ladungsträger (LT), Regale und Transportmittel als CPS implementiert werden. Darüber hinaus wird davon ausgegangen, dass eine Art aSLS einzurichten ist, das mit dem EWM-System kommuniziert und einen Austausch der einzelnen CPS in der Produktion ermöglicht.

Sind diese Voraussetzungen geschaffen, beginnt der in Abschnitt 6.5.1 beschriebene Beispielprozess mit der Entladung, woran die Prüfung der Ware auf grobe Beschädigungen, auf die korrekte Menge sowie auf das richtige Produkt anschließt. Hierbei wird in dieser Arbeit angenommen, dass die Registrierung der entladenen Güter über eine RFID-Massenprüfung umgesetzt wird. Dazu werden die LTs durch ein RFID-Tor gefahren, wodurch die von dem Lieferanten angebrachten Tags im EWM-System erfasst werden. Demnach wäre an dieser Stelle noch keine spezifische Identifikation jedes einzelnen Materials notwendig, wodurch die Prozesskosten geringgehalten werden könnten. Grundlegend bei der Einrichtung der RFID-Technologie sind neben der Hardware die in Abb. 18 aufgeführten Customizing-Einstellungen welche durch die in Abb. 19 angezeigten Erweiterungen ergänzt werden können. Diese Einstellungen werden in dem Einführungsleitfaden des EWM-Systems über *Extended Warehouse Management* → *Schnittstellen* → *RFID* erreicht. Sollen zusätzlich die erweiterten Einstellungen und der Etikettendruck genutzt werden, sind vorrangig BAdIs heranzuziehen. Dazu gelangt der Anwender in der Tree Control über *Extended Warehouse Management* → *Business Add-Ins (BAdIs) für das Extended Warehouse Management* → *Schnittstellen* → *RFID* zu den entsprechenden Einstellungen.

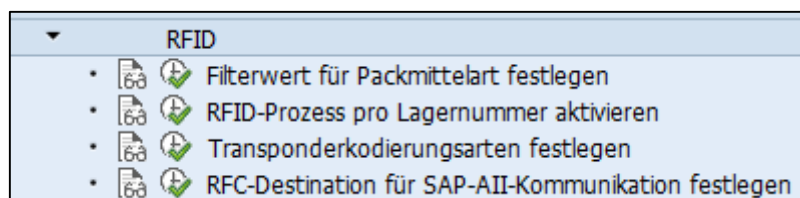


Abb. 18: RFID-spezifisches Customizing – I

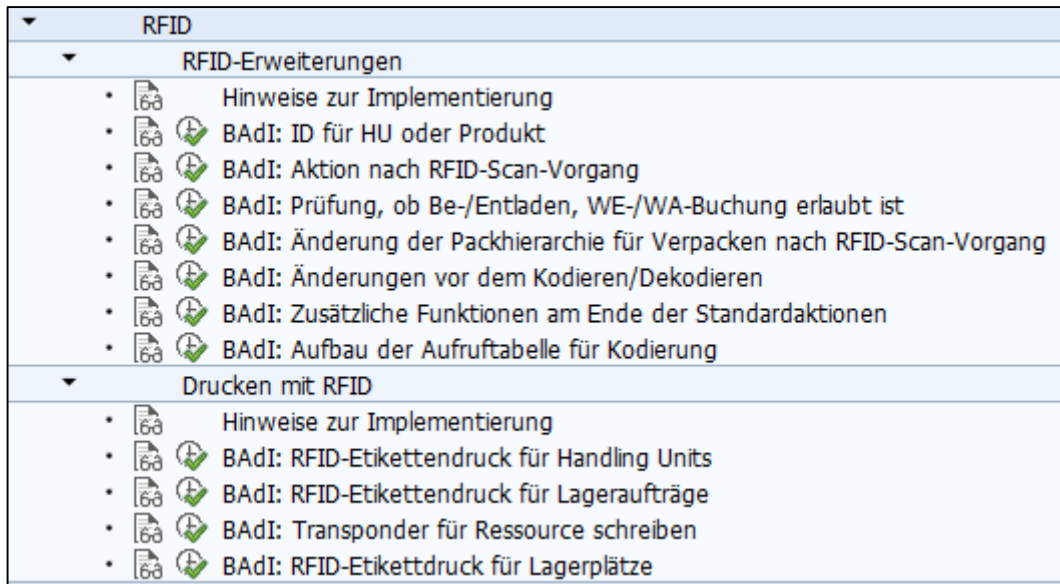


Abb. 19: RFID-spezifisches Customizing – II

Darüber hinaus sind Stammdaten zu pflegen, mit denen z. B. EPCs zu Ressourcen zugeordnet und Warenbewegungen ohne funktionsfähiges RFID-Tag verboten werden können. Abb. 20 gibt Aufschluss über entsprechende Auswahlmöglichkeiten, die unter dem Pfad *Extended Warehouse Management* → *Einstellungen* → *RFID* zu finden sind.

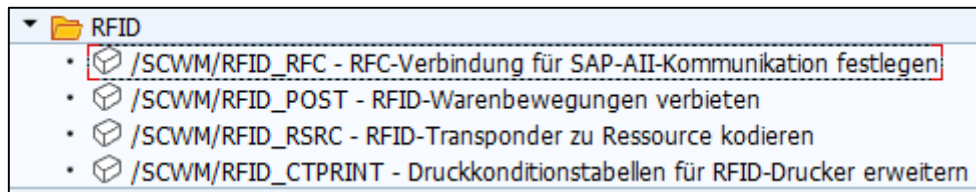


Abb. 20: RFID – Stammdaten

Für die Erzeugung von EPCs sind außerdem Nummernkreise im ERP-System zu definieren und IDocs für die Verteilung der Informationen an das EWM-System festzulegen.

Als weitere Voraussetzung ist das SAP-AII-System einzurichten und mit SAP EWM zu verbinden. Hierfür sind eine RFC-Verbindung zu dem EWM-System und ID-Einstellungen in der SAP AII anzulegen.

Sind mit den genannten Einstellungen die systemseitigen Voraussetzungen für die Nutzung der RFID-Technologie geschaffen worden, kann der in Abschnitt 3.5.3 beschriebene Entladeprozess unter Verwendung von RFID beginnen. Dafür wird zunächst eine Anlieferung im ERP-System erzeugt, die entsprechende EPC-Informationen auf HU-Ebene enthält. Diese Anlieferung wird an das EWM-System über qRFC verteilt. Daran anschließend findet mit dem Entladeprozess eine Warenbewegung statt, bei der die SAP AII die RFID-Tags scannt und die Informationen an das EWM-System sendet. Daraufhin speichert das EWM-System die Daten in der Anlieferung und nimmt eine automatische WE-Buchung vor. In der Folge wird die aktualisierte Anlieferung an das ERP-System zurückgesendet.

Dadurch, dass in diesem Zusammenhang bereits automatisch ein Abgleich der Produkte und Mengen mit den Anlieferinformationen erfolgt ist, kann sich der Mitarbeiter auf die Qualitätsprüfung konzentrieren. Hierbei können z. B. über ein Terminal Ungereimtheiten erfasst werden, wodurch

die Menge einer HU aktualisiert und im EWM-System korrekt fortgeschrieben werden kann. Zur Veranschaulichung dient Abb. 21, in der eine Ist-Menge von 90 Stück eingetragen worden ist, obwohl die Sollmenge 100 Stück beträgt. Über einen entsprechenden Ausnahmecode kann der Grund, z. B. Ausschuss, hinterlegt werden.

HU, TA	88000012		
Produkt	Produkt_7		Bestand
Ausnahmecode	1	Menge	100 ea
		Bew-Menge	90 ea
			Wiegen
		SNs, vorhanden	SNs, Differenz
			Ausführen

Abb. 21: Buchung von Differenzen in SAP EWM

Im Anschluss daran erfolgt eine manuelle Dekonsolidierung der entladenen Güter, weshalb der Mitarbeiter eine Information über die Von- sowie die Nach-HU bereitgestellt bekommen muss. Diesbezüglich besteht z. B. die Möglichkeit, eine Datenbrille zu verwenden und über Pick-by-Vision einzelne HUs zu scannen, woraufhin die vorgesehene Nach-HU angezeigt werden könnte. Durch Richtungspfeile und die Angabe des Stellplatzes, könnte der Mitarbeiter die Nach-HU finden und den Prozessschritt anschließend durch Scannen der Nach-HU quittieren. Hierdurch könnte der Mitarbeiter durchgängig angeleitet und überwacht werden, weshalb davon auszugehen ist, dass das Fehlerpotenzial gesenkt werden kann. Um die benötigten Informationen bereitzustellen, wird angenommen, dass eine Mitteilung des Auftragsmanager-Agenten notwendig ist, da er die Transportzielvergabe für jeden einzelnen EPC vornehmen soll. Aufgrund dessen sollte im Vorhinein die Übertragung der Anlieferung vom EWM-System über den WMS-Agenten an die aSLS erfolgt sein. Für das EWM-System müsste demnach eine geeignete Schnittstelle zu einem Agenten-basierten System entwickelt werden. Diesbezüglich könnten, sofern das aSLS technisch entsprechend ausgelegt ist, ggf. RFCs als Alternative zu den Funkcontroller-Systemen verwendet werden.

An dieser Stelle ist außerdem zu berücksichtigen, dass das EWM-System durch die Quittierung der Nach-HU, ebenfalls über die aktualisierten Daten verfügt und der EPC korrekt zugeordnet und angezeigt werden kann. Hierfür sind die SAP Mobile Solutions verantwortlich, welche die Schnittstelle zwischen der Pick-by-Vision-Technologie und dem EWM-System schaffen.

Des Weiteren wird angenommen, dass die CPS-Steuerung nach dem Prinzip des in Abschnitt 3.3 erläuterten Agent-on-tag etabliert werden kann. Demnach könnte neben den Identifikations- und Nutzungsdaten auch der gesamte Software-Agent auf dem RFID-Tag gespeichert werden. Dadurch ließen sich die RFID-Technologie und der Software-Agent innerhalb des CPS kombinieren. Hierdurch könnten Entitäten mit Intelligenz ausgestattet werden, um Aufgaben wahrzunehmen, zu kommunizieren und Verhaltensstrategien umzusetzen. Zusätzlich wäre es möglich, dass die Entitäten transparent abgebildet werden, sofern das CPS seinen genauen Standort lokalisieren könnte.

Innerhalb des nachfolgenden Prozessschrittes wird die Ware entweder direkt eingelagert oder nach dem Prinzip des CD ohne Umwege zum WA verbracht. Im Hinblick auf die Einlagerung wird angenommen, dass die CPS-Lagerplätze bereits im Vorhinein basierend auf Minimalmengen und Bedarfsprognosen Nachschubbedarfe an den Auftragsmanager-Agenten kommuniziert haben. Die Daten für entsprechende Simulationen und Berechnungen könnte u. a. das EWM-System bereitstellen, da es den gesamten physischen sowie verfügbaren Bestand in Echtzeit erfasst. Da Kundenaufträge und vorhandene Bestellungen im ERP-System erfasst werden, wird davon ausgegangen, dass ebenso zwischen dem aSLS und dem ERP-System eine Schnittstelle zu implementieren wäre.

Nachdem somit der Nachschubbedarf bestimmt worden ist, kann er durch den Auftragsmanager-Agenten entweder direkt an das ERP-System kommuniziert oder eine Nachricht z. B. an den Lagerleiter gesendet werden. Hierdurch könnten entsprechende Folgeaktionen ausgelöst werden. Die genaue Gestaltung der ERP-Prozesse ist allerdings nicht Fokus dieser Arbeit und wird daher an dieser Stelle vernachlässigt.

Dadurch, dass der Bedarf beim Auftragsmanager-Agenten bekannt ist, kann er die ankommenden Waren und die Bedarfe abgleichen und hierdurch eine gezielte Transportzielvergabe anstoßen. Somit können durch den Auftragsmanager-Agenten der Nachlagertyp, -bereich und -platz bestimmt werden.

Auf dieser Grundlage kann die Einlagerung im Anschluss an die beschriebene Konsolidierung erfolgen. Sobald eine verschachtelte HU vollständig konsolidiert worden ist und alle dazugehörigen HUs quittiert sind, müsste der LT wissen, dass er für den Abtransport bereit ist. Hierfür stellt der TE-Agent die notwendigen Informationen zur Verfügung.

Durch den anschließenden Informationsaustausch mit dem Systemschnittstellen-Agenten erhält der TE-Agent den Annahmen zufolge individuelle Workflows und Fahraufträge. Dabei kann der TE-Agent jeweils vom Lieferanten übernommen oder infolge des Konsolidierungsprozesses neu erstellt werden. Im Anschluss daran ist der Ressourcenmanagement-Agent durch den betreffenden TE-Agenten über den Transportbedarf zu informieren. Hierdurch würde der Ressourcenmanagement-Agent wiederum anhand festgelegter Prioritätskriterien eine geeignete Ressource bestimmen, die den Auftrag ausführen soll. Dabei wird angenommen, dass die Ressource kontinuierlich ihren Standort, ihren Status und ähnliche Parameter aktualisiert. Dadurch kann auftragspezifisch die geeignetste Ressource ausgewählt werden. Als Alternative zu den in Abschnitt 3.4 genannten Stapler-Agenten finden in diesem Beispiel FTS-Agenten Einsatz, die eine mitfahrende Steuerung an den FTS repräsentieren sollen. Sie transportieren den LT entweder zur Übergabzone vor die Fördertechnik oder für den Fall eines CD-Prozesses in die WA-Zone. Im Hinblick auf den CD-Prozess wird davon ausgegangen, dass der Auftragsmanager-Agent abgleicht, ob ein Auftrag im WA vollständig bereitsteht. Den entsprechenden Auftragsstatus gibt er über die Schnittstelle an das EWM-System weiter. Sofern ein Auftrag noch unvollständig ist und die im Lager befindlichen Materialien nicht ausreichen, wäre es Aufgabe des Auftragsmanager-Agenten, zu überprüfen, ob der Auftrag mit Materialien von der WE-Zone aufgefüllt werden kann. Würde hierbei eine Übereinstimmung der angelieferten und auszuliefernden Materialien festgestellt werden, könnte im Rahmen der Dekonsolidierung eine HU für das CD gebildet werden. Trifft die TE mit den CD-Materialien in der WA-Zone ein, kann sie von einem Mitarbeiter entgegengenommen

werden. Dabei kann die Verladung auf die Versand-HU ebenfalls über Pick-by-Vision vorgenommen und quittiert werden. Auch das EWM-System soll dann wieder eine Information über die Statusänderung erhalten, wodurch die Transparenz zur Überwachung für die Mitarbeiter gewährleistet werden könnte. Wird im Gegensatz dazu davon ausgegangen, dass eine HU eingelagert werden soll, wird sie zu der Übergabezone vor der Fördertechnik gebracht. Daran anschließend erfolgt die Einlagerung in einen der beiden Lagertypen. Hierfür erteilt der Systemschnittstellen-Agent dem TE-Agenten den Auftrag zur Übergabe auf das Förderband. Dort angelangt, übernimmt die SPS die Steuerung zum Nachlagerplatz. Dabei könnte ihr basierend auf den Daten des TE-Agenten über den Systemschnittstellen-Agenten der Nachlagerplatz übermittelt werden. Zudem kann die TCP/IP-Schnittstelle zwischen der SPS und dem EWM-System dazu genutzt werden, die Transparenz für den Menschen zu gewährleisten. Dadurch, dass die HU auf einem Lagerplatz erneut über RFID-Lesegeräte registriert werden soll, wird die finale Einlagerung ebenfalls im EWM-System ersichtlich.

Ist die Ware eingelagert, folgt aufgrund der Nachschubanforderung der PVBs die Auslagerung. Hierfür wird angenommen, dass die einzelnen Lagerplätze Nachschub anfordern, sobald eine Minimalmenge unterschritten ist. Ausgelöst werden soll die Anforderung durch die jeweiligen PVB-Plätze, die automatisch Fehlmengen registrieren und einen Auftrag an den Auftragsmanager-Agenten senden. Das EWM-System ist hierbei ebenfalls zu benachrichtigen, sodass der Nachschubbedarf für den Mitarbeiter ersichtlich ist. Eine Übersicht zu den Nachschüben ist heute durch die Eingabe der Lagerprozessart für den Nachschub im LVM über *Belege* → *Lageraufgaben* einzusehen. Damit die Transparenz auch ohne selbständig generierte LPAs geschaffen werden kann, müsste der LVM vermutlich einfacher gestaltet werden und nicht die selbsterzeugten, sondern die in Fremdsystemen erzeugten Warenbewegungen abbilden. Demnach wäre an dieser Stelle eine neue Form des LVMs, aber mit ähnlichen Funktionalitäten aufzusetzen.

Dadurch, dass der Auftragsmanager-Agent Kenntnis über den Nachschubbedarf haben soll, kann er eine entsprechende Information an den benötigten TE-Agenten senden. Dieser kann z. B. anhand der Auslagerstrategie festgemacht werden. Wird in diesem Zusammenhang angenommen, dass FIFO als vorgesehene Strategie gewählt werden soll, wird die TE mit dem ältesten WE-Datum angesteuert. Demnach sind die WE-Zeiten auf dem RFID-Tag zu speichern. Im Anschluss daran kann der Systemschnittstellen-Agent einen Fahrauftrag an die SPS senden, die den betreffenden LT auslagert. Danach soll der Behälter vom RBG zum Förderband und von dort zum Übergabeplatz befördert werden. Hierbei schickt die SPS erneut ein Telegramm an das EWM-System, sodass die Informationen hier ebenfalls aktualisiert werden. Entsprechend der Annahmen in Abschnitt 3.4 ordnet der Ressourcenmanagement-Agent den erzeugten Transportauftrag einem geeigneten FTS zu. Das FTS hat nach der Beauftragung durch den Systemschnittstellen-Agenten die Aufgabe, zur Übergabezone zu fahren, den Behälter bzw. die Palette abzuholen und sie zu dem betreffenden PVB zubringen. Die genaue Route soll hierfür durch den FTS-Agenten gewählt werden, welcher den gewünschten PVB über den Auftragsmanager-Agenten erfahren sollte. Die anschließende Abgabe am PVB ist die Grundlage für die Produktmontage durch den Menschen. Zudem nimmt das FTS den leeren LT auf und transportiert ihn auf eine Bereitstellfläche für die Rückgabe der Behälter zu den Vorlieferanten oder für die unternehmensinterne Verwendung.

Da angenommen wird, dass die Produkte individuell montiert werden, sind dem Werker für jeden einzelnen Auftrag die Teile anzuzeigen, die er zu entnehmen hat. Als geeignete Technologie empfiehlt sich hier wieder Pick-by-Voice oder Pick-by-Vision, da beide physisch ungebunden und dadurch für variable Arbeitsstationen geeignet sind. Zudem stehen beide Hände für den Montageprozess zur Verfügung. Da hierbei jedoch die auftragsspezifische Fertigung im Mittelpunkt steht, ist die Schnittstelle zu einem Fertigungssystem zu bilden und nicht zu dem EWM-System. Im Anschluss an die Montage wird das Produkt mit einem eigenen Agent-on-tag ausgestattet. Dadurch erhält es einen individuellen EPC, der durch die SAP AII gelesen und an das EWM-System kommuniziert werden kann. Das Produkt ist daraufhin auf einen bereitgestellten LT zu befördern. Hierzu wird angenommen, dass der LT bereits, durch den Auftragsmanager-Agenten angesteuert, von einem FTS zu dem Übergabepplatz transportiert worden ist.

Der Folgeprozess ist abhängig von den Charakteristika des jeweils zu produzierenden Produktes. Diese speziellen Eigenschaften sollten in dem Kundenauftrag hinterlegt und durch den Auftragsmanager-Agenten ausgewertet werden. Aus diesen Informationen soll ein LA erzeugt werden, welcher über den Systemschnittstellen-Agenten an den TE-Agenten zu übermitteln ist. Da sich die TE in diesem Beispiel bereits auf einer Ressource befindet, muss keine neue Ressource ausgewählt werden. Allerdings ist der FTS-Agent über das Transportziel zu informieren, welches an dieser Stelle die jeweilige Produktionsmaschine darstellt. Tritt in diesem Zusammenhang bei einer Produktionsmaschine eine Störung auf, kann sie diese CPS-basiert an den Auftragsmanager-Agenten kommunizieren. Dieser sperrt die Maschine von da an, sodass sie bei der Transportzielvergabe nicht mehr berücksichtigt werden kann. Somit wird den Aufträgen, die bereits an die betroffene Maschine verteilt worden sind, ein neues Transportziel zugeteilt, welches im Idealfall direkt an die FTS-Agenten kommuniziert wird.

Damit die Transportwege und die vorgesehenen Bearbeitungsstationen im EMW-System ersichtlich sind, ist es mit der neuen Transportzielvergabe in Echtzeit durch den WMS-Agenten zu aktualisieren. Zudem wird davon ausgegangen, dass der Maschinen-Agent kontinuierlich den Status der einzelnen Maschinen an den Auftragsmanager-Agenten kommuniziert. Hierdurch könnte er bei der Transportzielvergabe nicht nur Wegeoptimiert vorgehen, sondern auch Warteschlangenberechnungen durchführen und nach Möglichkeit eine Gleichverteilung auf die einzelnen Maschinen vornehmen. Außerdem ließen sich in diesem Zusammenhang auch die bevorstehenden Bearbeitungszeiten in Abhängigkeit der einzelnen Aufträge in der Warteschlange pro Maschine berücksichtigen. Hierdurch könnte im Sinne der Multi-Agenten-Steuerung, bei der gemeinsam die optimale Lösung entwickelt werden soll, eine Einreihung in die kürzeste Warteschlange generiert werden.

Darüber hinaus wird für den Störfall angenommen, dass z. B. der Leitstand oder der Wartungsdienstleister eine Meldung durch den Maschinen-Agenten erhält, wodurch Folgemaßnahmen zur Reparatur direkt angestoßen werden könnten. Ist die Maschine repariert, könnte der Maschinen-Agent wiederum die Freigabe der Maschine an den Auftragsmanager-Agenten kommunizieren, der den Status der Maschine aktualisiert.

Nachdem das Produkt eine geeignete Maschine erreicht hat, ist es von ihr zu bearbeiten. Hierbei könnten die Eigenschaften des intelligenten Produktes zum Tragen kommen, da es spezifische Eigenschaften direkt an die Maschine kommunizieren soll, wodurch die Anlagensteuerung im

Industrie 4.0-Szenario produktspezifisch ausgerichtet werden könnte. Im Anschluss daran ist das Produkt nach demselben Prinzip wie nach der ersten Montage abzuholen und zum nächsten, durch den Auftragsmanager-Agenten bestimmten, Transportziel zu befördern. In diesem Beispiel ist das die WA-Zone, wo es verpackt und versandt wird. Die Verpackung kann, wie in Abschnitt 6.1 beschrieben, entsprechend der Anforderungen der Industrie 4.0 kundenspezifisch erfolgen. Die dazugehörige Abb. 11 veranschaulicht, welche Einstellungen jeweils vorzunehmen sind. An dieser Stelle übernimmt aber auch wieder das EWM-System die Steuerung, sodass es Lageraufträge erstellt, die durch den Mitarbeiter bearbeitet werden. Durch die anschließende Bereitstellung der Ware auf der WA-Zone ist der Prozess abgeschlossen und die Ware wird versandt.

Um abschließend den in dem beschriebenen Beispielprozess zugrunde gelegten Informationsaustausch zu veranschaulichen, dient Abb. 22. Sie zeigt das Konzept für die verschiedenen Kommunikationswege auf und rückt hiermit die Dezentralität der Agenten-basierten Steuerung in den Fokus.

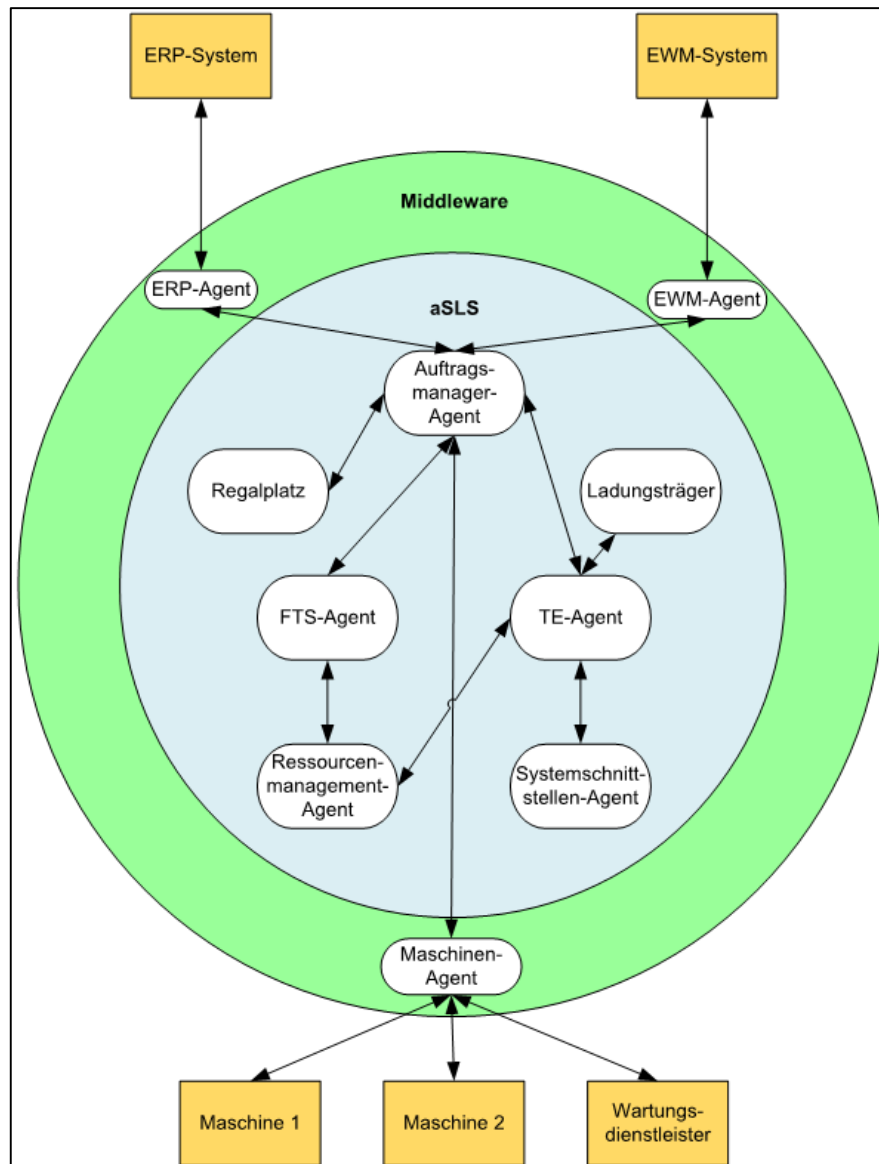


Abb. 22: Agenten-System für den Beispielprozess

7 Zusammenfassung und Ausblick

Das Thema Industrie 4.0 geht mit grundlegenden Veränderungen innerhalb der Fabrik einher. Demnach sollen sowohl die organisatorische als auch die technologische Ausrichtung neugestaltet werden. Aufgrund dessen ist davon auszugehen, dass neben der Produktion auch die Lagerverwaltung betroffen sein wird. Hierzu konnte im Rahmen dieser Arbeit herausgestellt werden, dass das SAP EWM-System als Stellvertreter für WMS im Allgemeinen nur bedingt den Anforderungen der Industrie 4.0 gerecht werden kann, sofern der EWM-Standard ohne zusätzliche Entwicklungen angewendet werden würde. Das geht insbesondere daraus hervor, dass die einzelnen Funktionalitäten relativ starr sind und viele Aktionen durch den Mitarbeiter ausgelöst werden müssen. So können Entscheidungen nicht immer in Echtzeit getroffen werden, weshalb das System wenig flexibel agiert. Diese Problematik ist z. B. in Abschnitt 6.1 in Zusammenhang mit der Übertragung von Änderungen in Kundenbelegen und im Fall eines Maschinenausfalls deutlich geworden. Aufgrund der fehlenden Echtzeitfähigkeit kann keine umfassende Transparenz gewährleistet werden. Darüber hinaus setzt das EWM-System voraus, dass alle Prozesse im Vorhinein systemseitig abgebildet werden. Daher ist davon auszugehen, dass bei unvorhergesehenen Abweichungen im Prozessablauf nicht die notwendige Flexibilität gewährleistet werden kann, die im Rahmen der Industrie 4.0 gefordert ist. Des Weiteren hat sich gezeigt, dass dezentral organisierte Entitäten mit Steuerungsfunktion wenig Nutzen bringen, sofern sie weiterhin von einem zentralen WMS abhängen. Dabei wurde deutlich, dass das Produkt vorrangig als Informationsübermittler agieren kann, welcher Daten von dem WMS erhält und an andere Systeme kommuniziert. Die geforderte Intelligenz kommt jedoch nicht zum Tragen, solange den Produkten ausschließlich passive Kennzeichnungen für die Interaktion mit anderen Systemen zur Verfügung stehen. Aufgrund dessen wird angenommen, dass die im Zusammenhang mit Industrie 4.0 geforderte Dezentralität umfassend etabliert sein müsste und aufgrund der Abhängigkeiten zwischen den verschiedenen Entitäten nur über CPS etabliert werden könnte. Um den Datenaustausch der Systeme sicherstellen zu können, wäre jedoch eine entsprechende Schnittstelle zwischen dem Agenten-basierten System und dem EWM-System einzurichten. Hiermit würden die Steuerungsfunktionen auf die CPS übertragen werden, wodurch WMS im Allgemeinen auf Verwaltungs- und Kontrollfunktionen reduziert werden würden. Wird stattdessen von dem Gedanken der dezentralen Steuerung einzelner Entitäten abgesehen, ist es durchaus denkbar, auch mit einer intelligenten Infrastruktur unter Verwendung ausschließlich passiver Kennzeichnungen den Anforderungen der Industrie 4.0 gerecht zu werden. Allerdings müssten weitergehende Entwicklungen am Standard durchgeführt werden, um die Potentiale des EWM-Systems auszuschöpfen. Als Basis für eine intelligente Infrastruktur wären Algorithmen zu implementieren, die selbstorganisierte Aktionen und Reaktionen mit dem EWM-System ermöglichen würden. Darüber hinaus könnten verschiedene Formen der Schnittstellengestaltung, die der EWM-Standard bereits heute vorhält, die Vernetzung mit externen Systemen unterstützen. Demnach können innovative Technologien wie z. B. RFID oder Pick-by-Vision integriert werden. Ebenfalls möglich ist die Anbindung an die Cloud, womit eine weitere Voraussetzung für die Umsetzung der Industrie 4.0 erfüllt werden

kann. Zudem konnte eine anwenderfreundliche Systemgestaltung festgestellt werden, die dem Mitarbeiter relativ viel Transparenz gewährleistet. In diesem Zusammenhang sind der LVM, das GLL sowie das Lagercockpit als entscheidungsunterstützende Instrumente anzuführen. Allerdings schlagen diese Funktionalitäten ebenso wenig wie die SAP Fiori-Lösungen selbständig situationsgerechte Maßnahmen bei Änderungen im Prozessablauf vor.

Nachdem hiermit die grundlegenden Aspekte der Analyse zusammengefasst worden sind, soll abschließend das methodische Vorgehen für die Analyse reflektiert werden. So ist festzuhalten, dass sich die Potenzialanalyse als geeignet erwiesen hat, um eine strukturierte Untersuchung des EWM-Systems durchzuführen. Hierbei standen die wesentlichen Aspekte der Industrie 4.0 im Fokus. Zudem kann die Potenzialanalyse als zweckmäßig erachtet werden, da sie dem Anwender relativ viele Freiheiten bezüglich des spezifischen Vorgehens lässt. Hiermit kann sie dem innovativen Charakter des Themas gerecht werden. Dabei ist jedoch anzumerken, dass die Komplexität des EWM-Systems nicht zu unterschätzen ist, weshalb der Analyst entsprechende Vorkenntnisse aufweisen sollte. Das wird insbesondere dadurch deutlich, dass im Rahmen des großen Vorrats an Funktionalitäten, einzelne Details ausschlaggebend für eine Verifikation der definierten Anforderungskriterien sind. Daher wird für zukünftige Analysen empfohlen, dass die Methodik im Dialog erfolgt, wodurch verschiedene System-Kenntnisse und Blickwinkel in die Betrachtung des Untersuchungsgegenstands mit einfließen können. Darüber hinaus ist anzumerken, dass im Rahmen dieser Arbeit nur grundlegende allgemeine intralogistische Lagerfunktionen beleuchtet werden konnten. Für eine umfassendere Betrachtung wird empfohlen, weitere Funktionalitäten wie z. B. das Yard Management oder logistische Zusatzleistungen zu analysieren und dadurch den gesamten Umfang des EWM-Systems in Augenschein zu nehmen.

Ob sich die im Rahmen dieser Arbeit gewonnenen Erkenntnisse tatsächlich bestätigen, hängt davon ab, ob sich die Annahmen und das zugrunde gelegte Verständnis der Industrie 4.0 bewahrheiten. So gibt es verschiedene Ideen und Konzepte, die mit diesem Begriff assoziiert werden und sich zukünftig in der Produktion etablieren könnten. Um diese Auffassungen zu berücksichtigen, sind im Rahmen dieser Arbeit verschiedene Aspekte zusammengetragen worden, die in der einschlägigen Literatur mehrfach genannt worden sind. Vor diesem Hintergrund zielt die Industrie 4.0 insbesondere auf die Themenbereiche der Echtzeitsteuerung, Transparenz und Selbstorganisation ab. Da diese Veränderungen und Forderungen insbesondere die Logistik betreffen, deren Aufgabe es u. a. ist, die richtigen Güter zur richtigen Zeit am richtigen Ort und in der richtigen Menge bereitzustellen, sollte ebenso das Warehouse Management in die Überlegungen zum Thema Industrie 4.0 miteinbezogen werden. Dabei sind innovative Technologien und Konzepte, wie z. B. die Virtual Reality, zu berücksichtigen. Hierbei hat sich gezeigt, dass das heutige EWM-System noch nicht hinreichend ausgestaltet ist, um den zukünftigen Anforderungen gerecht zu werden. Das WMS ist entweder intelligenter zu gestalten oder zu großen Teilen durch dezentrale intelligentere Entitäten zu ersetzen, welche die Steuerungsfunktionen im Lager übernehmen.

Abschließend lässt sich festhalten, dass die Analyse erste Erkenntnisse im Hinblick auf die Vereinbarkeit der Lagerverwaltung mit den Ideen der Industrie 4.0 erzielt hat. Inwieweit sich die Ergebnisse bewahrheiten und ob die Agenten-basierte Umsetzung, wie in dieser Arbeit dargelegt, Anwendung findet, wird sich jedoch erst retrospektiv überprüfen lassen.

Literaturverzeichnis

- Abts, D.; Mülder, W.: Grundkurs Wirtschaftsinformatik: Eine kompakte und praxisorientierte Einführung, 5. Aufl. Wiesbaden: Vieweg, 2004
- Adelsberger, H.; Khatami, P.; Khatami, T.: Integrierte Geschäftsprozesse mit SAP ERP. Skript 0: Einführung in SAP ERP, 2013
- Arnold, D.; Furmans, K.: Materialfluss in Logistiksystemen, 6. Aufl. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2009
- Bartsch, S.: Entwicklung und Management von Informationssystemen und intelligenter Datenauswertung. Ein Referenzmodell zum Wertbeitrag der IT. Wiesbaden: Springer-Verlag, 2014
- Bauer, F.-P.; Dalm, T.; Lange, J.; Persich, C.; Snachez, G.: Warehouse Management mit SAP EW, 2. Aufl. Bonn: Galileo Press, 2013
- Baun, C.; Kunze, M.; Nimis, J.; Tai, S.: Cloud Computing. Web-basierte dynamische IT-Services, 2. Aufl. Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag, 2011
- Bauernhansl, T.: Die vierte industrielle Revolution – Der Weg in ein wertschaffendes Produktionsparadigma. In: Bauernhansl, T.; ten Hompel, M.; Vogel-Heuser, B. (Hrsg.): Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Anwendung Technologien Migration. Wiesbaden: Springer Fachmedien, 2014, S. 5 – 36
- Beck, M.; Sadowsky, V.; ten Hompel, M.: Kommissionierung. Materialflusssysteme 2 – Planung und Berechnung der Kommissionierung in der Logistik. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2011
- Becker, J.; Knackstedt, R.; Pöppelbuß, J.: Entwicklung von Reifegradmodellen für das IT-Management – Vorgehensmodell und praktische Anwendung. Wirtschaftsinformatik, 51 (2009) 3, S. 249-260
- Behnke, J.; Gschwend, T.; Schindler, D.; Schnapp, K.-U.: Methoden der Politikwissenschaft. Neuere qualitative und quantitative Analyseverfahren. Baden-Baden: Nomos Verlagsgesellschaft, 2006
- Beyer, T.; Göhner, P.; Jazdi, N.; Wehking, K.-H.; Yousefifar, R.: Dezentrale selbstorganisierte Grobplanung von Intralogistiksystemen mit Hilfe eines Software-Agentensystems. In: Logistics Journal, 11 (2014) 1, S. 1-12
- BITKOM e.V.: Umsetzungsstrategie Industrie 4.0. Ergebnisbericht der Plattform Industrie 4.0, 2015. <https://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/I/industrie-40-verbaendeplattform-be-richt,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf>, besucht am 12.08.2016
- BMBF: Internet der Dinge, 2016. <http://www.softwaresysteme.pt-dlr.de/de/internet-der-dinge.php>, besucht am: 29.01.2016
- Bogon, T.: Agentenbasierte Schwarmintelligenz. In: Günthner, W. A. und ten Hompel, M. (Hrsg.). Internet der Dinge in der Intralogistik. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2013
- Broy, M.; Geisberger, E.: Integrierte Forschungsagenda Cyber-Physical Systems. Berlin Heidelberg: Springer Verlag, 2012

- Buchner, U. G.; Lang-von Wins, T.; Sandor, A.; Triebel, C.: Potenzialbeurteilung. Diagnostische Kompetenz entwickeln – die Personalauswahl optimieren. Heidelberg: Springer Medizin Verlag, 2008
- Burchert, H.; Hering, T.; Rollberg, R.: Logistik. Aufgaben und Lösungen. Oldenbourg: Wissenschaftsverlag GmbH, 2000
- Burkhart, T.: Flexible Prozessunterstützung durch Empfehlungssysteme. Referenzmodell und prototypische Implementierung. In: Loos, P. (Hrsg.): Wirtschaftsinformatik – Theorie und Anwendung, 28, Berlin: Logos Verlag, 2013
- Busch, F.; Deuse, J.; Hengstebeck, A.; Weisner, K.: Gestaltung von Produktionssystemen im Kontext von Industrie 4.0. In: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (Hrsg. Bd.): Bundesministerium für Wirtschaft und Energie: Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0, 2014, S. 43 - 49. <https://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/Publikationen/zukunft-der-arbeit-in-industrie-4-0,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf>, besucht am: 29.01.2016
- Chisu, R.; Günthner, W. A.; Kuzmany, F.: Die Vision vom Internet der Dinge. In: Günthner und ten Hompel (Hrsg.): Internet der Dinge in der Intralogistik. Berlin Heidelberg, Springer-Verlag, 2010a, S. 43-46
- Chisu, R.; Kuzmany, F.; Luft, A. Die Bausteine des Internet der Dinge. In: Günthner und ten Hompel (Hrsg.): Internet der Dinge in der Intralogistik. Berlin Heidelberg, Springer-Verlag, 2010b, S. 53-64
- Chisu, R.; Libert, S.; Luft, A.: Softwarearchitektur für eine agentenbasierte Materialflusssteuerung. In: Günthner und ten Hompel (Hrsg.): Internet der Dinge in der Intralogistik. Berlin Heidelberg, Springer-Verlag, 2010c, S. 95-106
- Dais, S.: Industrie 4.0 – Anstoß, Vision, Vorgehen. In: Bauernhansl, T.; ten Hompel, M.; Vogel-Heuser, B. (Hrsg.): Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Anwendung Technologien Migration. Wiesbaden: Springer Fachmedien, 2014, S. 625 - 634
- De Koster, M. B. M.; Faber, N.; Smidts, A.: Organizing warehouse management. International Journal of Operations & Production Management 33 (2013) 9, S. 1230 - 1256
- Dinter, B.: Ein Reifegradmodell für Business-Intelligence-Lösungen. In: HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik 48 (2011) 3, S. 90 – 100
- Düwel, S.; Hesse, W.: Bridging the gap between Use Case Analysis and Class Structure Design by Formal Concept Analysis. In: Ebert, J.; Frank, U. (eds): Modelle und Modellierungssprachen in Informatik und Wirtschaftsinformatik. Beiträge des Workshops >>Modellierung 2000<< St. Goar, 5- - 7- April 2000. Koblenz: Dietmar Fölbach Verlag, 2000, S. 27 – 40
- Echterhoff, G.; Hussy, W.; Schreier, M.: Forschungsmethoden in Psychologie und Sozialwissenschaften. Berlin Heidelberg New York: Springer-Verlag, 2010
- Eckert, C.; Fallenbeck, N. Industrie 4.0 meets IT-Sicherheit: eine Herausforderung! Informatik_Spektrum 38 (2015) 3, S. 217 – 223
- Eigner, M.; Stelzer, R.: Product Lifecycle Management. Ein Leitfaden für Product Development und Lifecycle Management, 2. Aufl. Dordrecht Heidelberg New York: Springer, 2009

- Erpenbeck, J.; Heyse, V.: Kompetenztraining. Informations- und Trainingsprogramme, 2. Aufl. Stuttgart: Schäffer-Poeschel Verlag, 2009
- Falkenstein, A. In neuen Welten. LOGISTIK HEUTE, 38 (2016) 5, S. 22-23
- Feldhorst, S.; Liebert, S.: Software-Methoden für die Automatisierung. In: Günthner und ten Hompel (Hrsg.): Internet der Dinge in der Intralogistik. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2010, S. 29-40,
- Fettke, P.; Loos, P.: Referenzmodellierungsforschung. WIRTSCHAFTSINFORMATIK 46 (2004), S. 331 – 340
- Flick, U.; Steinke, I.; von Kardorff, E.: Qualitative Forschung. Ein Handbuch, 6. Aufl. Reinbeck: Rowohlt Taschenbuch Verlag, 2008
- Friedrichs, S.; Lorenz, M.; Rohrschneider, U.: Erfolgsfaktor Potenzialanalyse. Aktuelles Praxiswissen zu Methoden und Umsetzung in der modernen Personalentwicklung. Wiesbaden: Gabler Verlag, 2010
- Frost, S.: Industrie 4.0 soll Europa retten, 2014. <http://www.tagesspiegel.de/wirtschaft/kein-kontinent-der-zukunft-ausstrahlt-industrie-4-0-soll-europa-retten/11075408.html> – besucht am 02.05.2016
- Ganschar, O.; Gerlach, S.; Hämmerle, M.; Krause, T.; Schlund, S.; Spath, D.: Produktionsarbeit der Zukunft – Industrie 4.0. Stuttgart: Fraunhofer Verlag, 2013
- Gebauer, M.; Hildebrand, K.; Hinrichs, H.; Mielke, M.: Daten- und Informationsqualität. Auf dem Weg zur Information Excellence, 3. Aufl. Wiesbaden: Springer Fachmedien, 2015
- Gleißner, H.; Femerling, J. C.: Logistik. Grundlagen – Übungen – Fallbeispiele. Wiesbaden: GWV Fachverlag GmbH, 2008
- Gorecky, D.; Loskyll, M.; Schmitt, M.: Mensch-Maschine-Interaktion im Industrie 4.0-Zeitalter. In: Bauernhansl, T.; ten Hompel, M.; Vogel-Heuser, B. (Hrsg.): Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Anwendung Technologien Migration. Wiesbaden: Springer Fachmedien, 2014, S. 524 – 542
- Goeken, M.; Johannsen, W.: Referenzmodelle für IT-Governance. Methodische Unterstützung der Unternehmens-IT mit COBIT, ITIL & Co., 2. Aufl., Heidelberg: Dpunkt.verlag, 2011
- Gourmelon, A.: Das Interview als eignungsdiagnostisches Verfahren. In: Gourmelon, A.; Kierbach, C.; Etzel, S. (Hrsg.): Personalauswahl im öffentlichen Sektor. Baden-Baden: Nomos, 2009, S. 203 – 216
- Grobmann, J.: ERP-Systeme On Demand. Chancen, Risiken Anforderungen, Trends. Hamburg: Diplomica Verlag GmbH, 2008
- Haendel, L.: Clusterverfahren zur datenbasierten Generierung interpretierbarer Regeln unter Verwendung lokaler Entscheidungskriterien. Dissertation, 2003
- Halang, W. A.; Unger, H.: Industrie 4.0 und Echtzeit. Echtzeit 2014. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2014
- Halm, R.; Schapler, D.; Schulze, K.; Zoellner, P.: SAP EWM – Technische Grundlagen und Programmierung. Bonn: Galileo Press, 2012

- Hansen, Wolf-Rüdiger: AutoID-Systeme und das Konzept Industrie 4.0. In: ten Hompel, Michael (Hrsg.): Software in der Logistik. Big Data gezielt nutzen. Anforderungen, Funktionalitäten und Anbieter in den Bereichen WMS, ERP, TMS und SCM. München: Huss-Verlag GmbH, 2014, S. 70-74
- Hansen, H. R.; Neumann, G.: Wirtschaftsinformatik 1: Grundlagen und Anwendungen, 10. Aufl. Stuttgart: Lucius & Lucius, 2009
- Heidenblut, V.; ten Hompel, M.: Taschenlexikon Logistik. Abkürzungen, Definitionen und Erläuterungen der wichtigsten Begriffe aus Materialfluss und Logistik. 3. Aufl. Berlin Heidelberg: Springer – Verlag, 2011
- Heiserich, O.-E.; Helbig, K.; Ullmann, W.: Logistik. Eine praxisorientierte Einführung, 4. Aufl. Wiesbaden: Gabler Verlag, 2011
- Hirsch-Kreinsen, H.: Wandel von Produktionsarbeit – „Industrie 4.0“. Soziologisches Arbeitspapier Nr. 38, 2014
- Henke, M.; ten Hompel, M.: Logistik 4.0. In: Bauernhansl, T.; ten Hompel, M.; Vogel-Heuser, B. (Hrsg.): Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Anwendung Technologien Migration. Wiesbaden: Springer Fachmedien, 2014, S. 615 – 624
- Hoppe, M.; Käber, A.: Warehouse Management mit SAP. Bonn: Galileo Press, 2007
- ITWissen: Virtuelle Realität, 2016a. <http://www.itwissen.info/definition/lexikon/Virtuelle-Realitaet-VR-virtual-reality.html>, besucht am: 06.06.2016
- ITWissen: GUI (graphical user interface), 2016b. <http://www.itwissen.info/definition/lexikon/graphical-user-interface-GUI-Grafische-Benutzeroberflaeche.html>, besucht am: 14.08.2016
- Jeschke, S. et al.: Industrie 4.0 ante portas. Paradigmenwechsel im deutschen Maschinen- und Anlagenbau. In: Engemann, C.; Sprenger, F. (Hrsg.): Internet der Dinge. Über smarte Objekte, intelligente Umgebungen und die technische Durchdringung der Welt 9 (2015), S. 241 – 280
- Kagermann, H.; Lukas, W.-D.: Industrie 4.0: Mit dem Internet der Dinge auf dem Weg zur 4. industriellen Revolution, 2011. <http://www.ingenieur.de/Themen/Produktion/Industrie-40-Mit-Internet-Dinge-Weg-4-industriellen-Revolution>, besucht am: 12.08.2016
- Kannapan, B.; Krishna, V.; Tripathy, H.: Warehouse Management with SAP EWM. Bonn: Rheinwerk Verlag GmbH, 2015
- Kerner, S.; ten Hompel, M.: Logistik 4.0. Die Vision vom Internet der autonomen Dinge. Informatik Spektrum 38 (2015) 3, S. 176 – 182
- Kleinemeier, M.: Von der Automatisierungspyramide zu Unternehmenssteuerungsnetzwerken. In: Bauernhansl, T.; ten Hompel, M.; Vogel-Heuser, B. (Hrsg.): Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Anwendung Technologien Migration. Wiesbaden: Springer Fachmedien, 2014, S. 571 – 579
- Koch, S.: Logistik. Eine Einführung in Ökonomie und Nachhaltigkeit. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2012

- Kunz, D.: Die Qual der Wahl. In: ten Hompel, M. (Hrsg.). Software in der Logistik. Big Data gezielt nutzen. Anforderungen, Funktionalitäten und Anbieter in den Bereichen WMS, ERP, TMS und SCM. München: Huss-Verlag GmbH, 2014, S. 70-74
- Kuß, A.: Marktforschung. Grundlagen der Datenerhebung und Datenanalyse, 4. Aufl. Wiesbaden: Gabler Verlag, 2012
- Kuzmany, F.; Nettsträter, A.: Rechenplattformen und RFID für das Internet der Dinge. In: Günthner, W.; ten Hompel, M. (Hrsg.): Internet der Dinge in der Intralogistik. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2010, S. 107-118
- Lacy, A.: SAP HANA oder Oracle – welcher Hersteller hat heute bei In-Memory-Systemen die Nase vorn?, 2015. <https://www.informatik-aktuell.de/betrieb/datenbanken/sap-hana-oder-oracle-ein-vergleich-der-in-memory-systeme.html>, besucht am: 13.08.2016
- Lappe, D.; Loskyll, M.; Schlick, J.; Stephan, P. Industrie 4.0 in der praktischen Anwendung. In: Bauernhansl, T.; ten Hompel, M.; Vogel-Heuser, B. (Hrsg.): Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Anwendung Technologien Migration. Wiesbaden: Springer Fachmedien, 2014, S. 57 – 84
- Laue, A., Liedtke, M.; Moldt, D.; Trickovic, I.: Modeling Intra- and Inter-Object Control Using Reference Nets. In: Ebert, J.; Frank, U. (Eds) Modelle und Modellierungssprachen in Informatik und Wirtschaftsinformatik. Beiträge des Workshops >>Modellierung 2000<< St. Goar, 5- - 7- April 2000. Koblenz: Dietmar Fölbach Verlag, 2000, S. 89-102
- Lunze, J.: Künstliche Intelligenz für Ingenieure, 2. Aufl. München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH, 2010
- Lutz, J. Heinrich, Riedl, R.; Stelzer, D.: Informationsmanagement: Grundlagen, Aufgaben, Methoden, 11. Aufl. München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag, 2014
- Mettler, T.: Vorschlag zur Wiederauffindung und Wiederverwendung von Reifegradmodellen. Arbeitsbericht Nr. BE IWI/HNE/03, 2010. Institute of Information Management, Universität St. Gallen, St. Gallen, 2010
- Mettler, T.; Rohner, P.; Winter, R.: Towards a classification of maturity models in information systems. In: D'Atri, A.; De Marco, M.; Braccini, A.M.; Cabiddu, F., Pysica (Hrsg.). Management of the interconnected world – ItAIS: The Italian Association for Information Systems. Heidelberg, 2010, S. 333-340
- Mulcahy, D. E.; Sydow, J.: A SUPPLY CHAIN LOGISTICS PROGRAM FOR WAREHOUSE MANAGEMENT. Taylor & Francis Group, Boca Raton, 2008
- Müller-Herbers, S.: Methoden zur Beurteilung von Varianten, 2007. http://www.igp.uni-stuttgart.de/lehre/1_Vorlesung/download/Reader/Methoden.pdf, besucht am: 12.05.2016
- Nawratil, U.; Schönhagen, P.; Starkulla, H.; Wagner, H.: Qualitative Methoden in der Kommunikationswissenschaft. 2. Aufl., Baden – Baden: Nomos Verlagsgesellschaft, 2009
- OPC Foundation: What is OPC?, 2016a. <https://opcfoundation.org/about/what-is-opc/>, besucht am: 13.08.2016
- OPC Foundation: SAP Plant Connectivity (PCo), 2016b. <https://opcfoundation.org/products/view/sap-plant-connectivity-pco>, besucht am: 18.08.2016

- Philipp, O.; Schaller, A.; Pongratz, S.: Das X-Internet – Verbindung zwischen physischer und Cyber-Welt. In: Bullinger, H.-J.; ten Hompel, M. (Hrsg. Bd.): Internet der Dinge. Berlin Heidelberg: Springer Verlag, 2007, S. 315 – 330
- Prestifilippo, G.: Auswirkungen von Industrie 4.0 auf Warehouse-, Transport- und Supply-Chain-Management-Systeme. In: Bauernhansl, T.; ten Hompel, M.; Vogel-Heuser, B. (Hrsg.): Handbuch Industrie 4.0. Berlin Heidelberg: Springer, 2016, S. 1 - 13
- prismat GmbH: Die SAP Spezialisten für ihre Logistik, 2016a. <http://www.warehouse-logistics.com/Download/Flyer/01-unternehmensvorstellung-primat.pdf>, besucht am: 25.04.2016
- prismat GmbH: Referenzen, 2016b. <https://primat.de/de/referenzen.html>, besucht am: 22.05.2016
- prismat GmbH: Pick-by-Vision, 2016c. <https://www.primat.de/de/loesungen/prozesse-und-funktionen/pick-by-vision.html>, besucht am: 25.06.2016
- prismat GmbH: Mobile Lösungen mit SAP Fiori, 2016d. https://www.primat.de/fileadmin/user_upload/publikationen/broschueren/04-mobile-loesungen-primat.pdf, besucht am: 15.07.2016
- Richards, G.: Warehouse Management. A complete guide to improving efficiency and minimizing costs in the modern warehouse. London: Kogan Page, 2011
- Romberg, A.: Unternehmen auf dem Weg zu Industrie 4.0. Deutscher Industrie 4.0-Index zum zweiten Mal erhoben. In: productivity 21 (2016) 1, S. 61 - 64
- Roth, A.: Einführung und Umsetzung von Industrie 4.0. Grundlagen, Vorgehensmodell und Use Cases aus der Praxis. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2016a
- Roth, L.: Funktion des Lagers, 2016b. <http://www.sicherheitsbestand.de/seite-1-1.htm>, besucht am: 14.08.2016
- Russwurm, S.: Software. Die Zukunft der Industrie. In: Sendler, U. (Hrsg.): Industrie 4.0. Beherrschung der industriellen Komplexität mit SysLM. Berlin Heidelberg: Springer Vieweg, 2013, S. 21 - 37
- SAP: EWM110. Customizing für Extended Warehouse Management. Referentenhandbuch, 2011
- SAP: Mandanten und ihre Rollen, 2016a. http://help.sap.com/saphelp_dimp50/helpdata/de/6c/a74a3735a37273e10000009b38f839/content.htm, besucht am: 11.04.2016
- SAP: Quant, 2016b. https://help.sap.com/saphelp_erp60_sp/helpdata/de/1f/24021e4b4c11d486930000e81ddea0/content.htm, besucht am: 16.04.2016
- SAP: Customizing, 2016c. https://help.sap.com/saphelp_nw74/helpdata/de/48/c43370ca64581de10000000a42142c/content.htm, besucht am: 21.04.2016
- SAP: Business Add-Ins (BAIs), 2016d. https://help.sap.com/saphelp_nwpi71/helpdata/de/8f/f2e540f8648431e10000000a1550b0/frameset.htm, besucht am: 26.04.2016

SAP: Konditionstechnik, 2016e. https://help.sap.com/saphelp_crm700_ehp02/helpdata/de/51/0302403d62c442e1000000a1550b0/content.htm?original_fqdn=help.sap.de¤t_toc=/de/56/0302403d62c442e1000000a1550b0/plain.htm&show_children=, besucht am: 20.05.2016

SAP: Lagerprodukt, 2016f. http://help.sap.com/saphelp_em70/helpdata/de/a2/7d34417f222004e1000000a155106/content.htm, besucht am: 27.05.2016

SAP: Verpackungsplanung, 2016g. https://help.sap.com/saphelp_ewm700_ehp02/helpdata/de/9a/9394774d164a4386c5a03124df9be4/frameset.htm, besucht am: 27.05.2016

SAP: Konsolidierungsgruppe (SAP-EWM), 2016h. https://help.sap.com/saphelp_ewm2007/helpdata/de/d1/12391796f18547b8f71140a79142ca/content.htm, besucht am: 27.05.2016

SAP: Bestandsfindung, 2016i. http://help.sap.com/saphelp_erp60_sp/helpdata/de/fb/55d13913fae135e1000000a114084/content.htm, besucht am: 27.05.2016

SAP: Integration mit SAP AII, 2016j. https://help.sap.com/saphelp_ewm700_ehp02/helpdata/de/cb/c8cb53ad377114e1000000a174cb4/content.htm?frame-set=/de/07/cacb53ad377114e1000000a174cb4/frameset.htm¤t_toc=/de/ac/cecb53ad377114e1000000a174cb4/plain.htm&node_id=5&show_children=false, besucht am: 11.07.2016

SAP: Arbeitsmanagement, 2016k. https://help.sap.com/saphelp_ewm2007/helpdata/de/46/24a2eae424fe1000000a1553f6/content.htm, besucht am: 19.07.2016

SAP: Easy Graphics Framework, 2016l. https://help.sap.com/saphelp_ewm2007/helpdata/de/45/0807fe006c41e1e1000000a1553f6/content.htm, besucht am: 19.07.2016

SAP: SAP S/4HANA, 2016m. <http://go.sap.com/germany/product/enterprise-management/s4hana-erp.html>, besucht am: 07.08.2016

SAP: Materialflusssystem (MFS), 2016n. https://help.sap.com/saphelp_ewm2007/helpdata/de/43/3b3518886e1806e1000000a1553f6/content.htm?original_fqdn=help.sap.de, besucht am: 16.08.2016

SAP: Bestandsführung in SAP EWM, SPM und SAP APO, 2016o. http://help.sap.com/saphelp_efs64/helpdata/de/96/8345411d764c0de1000000a1550b0/content.htm, besucht am: 21.08.2016

SAP: Ressourcenausführungs-Constraints (RAC) mit Radio-Frequency, 2016p. http://help.sap.com/saphelp_snc70/helpdata/DE/7f/847ab0ebe8402db1f95c5c07f292a2/content.htm, besucht am: 22.08.2016

SAP: SAP Plant Connectivity, 2016q. https://help.sap.com/saphelp_pco22/helpdata/de/46/a00344d44852b7e1000000a155369/frameset.htm?original_fqdn=help.sap.de, besucht am: 24.08.2016

SAP: Datenfluss: EWM übermittelt Daten, 2016r. http://help.sap.com/saphelp_em70/helpdata/de/9b/eb6f4169e25858e1000000a1550b0/content.htm?frame-set=/de/81/f56f4151dc5758e1000000a1550b0/frameset.htm¤t_toc=/de/48/aab74ca0c26744e1000000a421937/plain.htm&node_id=14&show_children=false, besucht am: 25.08.2016

Wendehost, T.: Gartner: Supply-Chain-Management- und Procurement-Softwaremarkt wächst stetig, 2015. <http://www.searchenterprisesoftware.de/news/4500246122/Gartner-Supply-Chain-Management-und-Procurement-Softwaremarkt-waechst-stetig>, besucht am: 3.02.2016

Wilmes, R.: OPC UA als Kommunikationsbasis in der Industrie 4.0, 2013. <http://www.elektroniknet.de/automation/steuerungstechnik/artikel/100624/>, besucht am: 07.06.2016

Winter, R.: Barcode und RFID als Team. In: ten Hompel, M. (Hrsg.). Software in der Logistik. Big Data gezielt nutzen. Anforderungen, Funktionalitäten und Anbieter in den Bereichen WMS, ERP, TMS und SCM. München: Huss-Verlag GmbH, 2014, S. 54-56

Wirtschaftslexikon 24: Flexibilität, 2016.

<http://www.wirtschaftslexikon24.com/d/flexibilitaet/flexibilitaet.htm>, besucht am: 30.09.2016

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Grundelement von Warehouse-Management-Systemen in Bezug auf Lagerfunktionen [Schmidt und ten Hompel 2010].....	18
Abb. 2: Schichtenmodell für ein Agenten-basiertes Staplerleitsystem [nach Göhring und Lorenz 2010]	27
Abb. 3: Kommunikation zwischen SAP ERP und SAP EWM [nach Bauer et al. 2013].....	30
Abb. 4: Zusammenhang der Lieferbelege [Bauer et al. 2013]	33
Abb. 5: Cross-Docking-Methoden mit SAP EWM [Bauer et al. 2013].....	37
Abb. 6: Wareneingangsprozess in SAP EWM mit RFID [Bauer et al. 2013]	42
Abb. 7: Auswertung der Arbeitslast im Wareneingang	62
Abb. 8: Definition des Auftragsbezogenen Nachschubs in SAP EWM.....	63
Abb. 9: Zuordnung LPA zu automatischer Wellenerzeugung mit SAP EWM.....	64
Abb. 10: Wellenvorlage definieren mit SAP EWM.....	65
Abb. 11: Packprofil für Lagerauftragserstellung in SAP EWM	66
Abb. 12: Customizing Lagerprozessart SAP EWM.....	67
Abb. 13: Meldepunkte im LVM des SAP EWM-Systems.....	69
Abb. 14: Lagercockpit in SAP EWM	79
Abb. 15: Grafisches Lagerlayout in SAP EWM	80
Abb. 16: Hilfestellung bei der Definition von Queue-Zugriffsfolgen.....	81
Abb. 17: Beispielprozess für die Anwendung der Analyseergebnisse.....	92
Abb. 18: RFID-spezifisches Customizing – I	93
Abb. 19: RFID-spezifisches Customizing – II.....	94
Abb. 20: RFID – Stammdaten.....	94
Abb. 21: Buchung von Differenzen in SAP EWM.....	95
Abb. 22: Agenten-System für den Beispielprozess.....	99
Abb. 23: Organisationsstruktur SAP ERP und EWM [nach Bauer et al. 2013]	XX
Abb. 24: SAP Easy Access - Einstiegsmaske in das EWM-System.....	XXI
Abb. 25: Lagerverwaltungsmonitor	XXI
Abb. 26: Einführungsleitfaden - Einstiegsmaske in das Customizing	XXII
Abb. 27: Warenausgangsprozess mit RFID	XXII
Abb. 28: Tree Control für Strategien im Wareneingang bei SAP EWM.....	XXIII
Abb. 29: Prozessartfindungskennzeichen SAP EWM	XXIV
Abb. 30: Lagerprozessartfindung SAP EWM.....	XXIV
Abb. 31: Bestandsfindung in SAP EWM.....	XXIV
Abb. 32: Tree Control für Strategien im Wareneingang bei SAP EWM.....	XXV
Abb. 33: Tree Control für Strategien im Warenausgang bei SAP EWM.....	XXV
Abb. 34: BAdIs in SAP EWM – I.....	XXIX
Abb. 35: BAdIs in SAP EWM – II	XXX
Abb. 36: BAdIs in SAP EWM - III.....	XXXI
Abb. 37: BAdIs in SAP EWM – IV	XXXII
Abb. 38: BAdIs in SAP EWM – V	XXXIII
Abb. 39: BAdIs in SAP EWM – VI.....	XXXIV

Abb. 40: BAdIs in SAP EWM – VII.....	XXXV
Abb. 41: BAdIs in SAP EWM – VIII	XXXVI
Abb. 42: BAdIs in SAP EWM – IX.....	XXXVII
Abb. 43: BAdIs in SAP EWM – X	XXXVIII
Abb. 44: BAdIs in SAP EWM – XI.....	XXXIX
Abb. 45: BAdIs in SAP EWM - XII	XL
Abb. 46: BAdIs in SAP EWM – XIII	XLI
Abb. 47: BAdIs in SAP EWM – XIV	XLII
Abb. 48: BAdIs in SAP EWM – XV	XLIII
Abb. 49: BAdIs in SAP EWM - XVI.....	XLIV
Abb. 50: Dekonsolidierungsplatz definieren.....	XLIV
Abb. 51: LPA für Dekonsolidierungsplatz.....	XLV
Abb. 52: BAdI für opportunistisches Cross-Docking	XLV
Abb. 53: Arbeitsplatzermittlung für Cross-Docking.....	XLVI
Abb. 54: Customizing-Einstellungen Lagerungsdisposition.....	XLVII
Abb. 55: Stammdaten-Einstellungen Lagerungsdisposition	XLVIII
Abb. 56: Lagerproduktpflege	XLIX
Abb. 57: Lagerdisposition simulieren	L
Abb. 58: Packprofil für Lagerauftragserstellung.....	L
Abb. 59: Definition Lagerauftragserstellungsregel	LI
Abb. 60: Suchreihenfolge für Regeln pro Aktivitätsbereich.....	LI
Abb. 61: Queue-Definition – Customizing	LII
Abb. 62: Queue Findungskriterien - Customizing	LII
Abb. 63: Queue Zugriffsfolge – Customizing.....	LII
Abb. 64: Zuordnung von Ressourcen Gruppen zu Queues	LIII
Abb. 65: Ressourcentypen definieren	LIII
Abb. 66: Definition der Ressourcen im SAP Easy Access Menü	LIII
Abb. 67: Customizing - Ressourcenmanagement	LIV
Abb. 68: Customizing - Layoutorientierte Lagerungssteuerung	LIV
Abb. 69: EWM-Customizing für eine Materialflusssteuerung	LV
Abb. 70: Vergabe von Lagerdispositionsindizes im Rahmen der Lagerbereichsfindung .	LVI
Abb. 71: Lagerproduktpflege EWM - Minimalmenge.....	LVII
Abb. 72: Definition des Auftragsbezogenen Nachschubs im EWM-Customizing	LVIII
Abb. 73: Zuordnung Queuefindungskriterien	LVIII
Abb. 75: Wellenvorlage definieren	LIX

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Vor- und Nachteile der angeführten Methoden – I	53
Tab. 2: Vor- und Nachteile der angeführten Methoden - II	54
Tab. 3: Anforderungsdimensionen im Rahmen der Potenzialanalyse	57
Tab. 4: Stärken des EWM-Systems im Hinblick auf Industrie 4.0	85
Tab. 5: Schwächen des EWM-Systems im Hinblick auf Industrie 4.0 – I.....	86
Tab. 6: Schwächen des EWM-Systems im Hinblick auf Industrie 4.0 - II	87
Tab. 7: Anforderungsprofil	89
Tab. 8: Analyseverfahren und Modelle in der Wirtschaftsinformatik - I [nach Echterhoff et al. 2010; Kuß 2012; Friedrichs et al. 2010; Behnke et al. 2006; Flick et al. 2008; Düwel und Hesse 2000; Laue et al. 2000; Müller-Herbers 2007; Burkhart 2013; Goeken und Johannsen 2011; Staud 2005]	XXVI
Tab. 9: Analyseverfahren und Modelle in der Wirtschaftsinformatik – II [nach Echterhoff et al. 2010; Kuß 2012; Friedrichs et al. 2010; Behnke et al. 2006; Flick et al. 2008; Düwel und Hesse 2000; Laue et al. 2000; Müller-Herbers 2007; Burkhart 2013; Goeken und Johannsen 2011; Staud 2005]	XXVII
Tab. 10: Methoden des strategischen und administrativen Informationsmanagements [nach Lutz et al. 2014]	XXVIII

Abkürzungsverzeichnis

AKL	Automatisches Kleinteilelager
AM	Arbeitsmanagement
APO	Advanced Planning Optimization
ASK	Auslagersteuerkennzeichen
ASN	Advanced Shipping Notification
BI	Bestandsidentifikation
CD	Cross Docking
CIF	Core Interface
CIM	Computer Integrated Manufacturing
CPS	Cyber-physische Systeme
CPPS	Cyber-physisches Produktionssystem
DLZ	Durchlaufzeit
EDI	Electronic Data Interchange
EGF	Easy Graphics Framework
EM	Event Management
EPC	Electronic Product Code
ERP	Enterprise Resource Planning
ESK	Einlagersteuerkennzeichen
EWM	Extended Warehouse Management
FDO	Auslieferung
FIFO	First-in-first-out
GLL	Grafisches Lagerlayout
GPRS	general packet radio service
GRN	Erwartete Anlieferungsbenachrichtigung
HRL	Hochregallager
HU	Handling Unit
IDR	Anlieferungsbenachrichtigung
IDN	Anlieferung
IKT	Informations- und Kommunikationstechnologien
IoT	Internet der Dinge
IoTS	Internet der Dinge und Dienste
I-Punkt	Identifikationspunkt
ITS	Internet Transaction Server
KPI	Key Performance Indicator
LA	Lagerauftrag
LAER	Lagerauftragserstellungsregel
LB	Lageraufgabe
LBK	Lagerbereichskennzeichen

LIFO	Last-in-first-out
LIME	Logistics Inventory Management Engine
LT	Ladungsträger
LOLS	Layoutorientierte Lagerungssteuerung
LPA	Lagerprozessart
LPR	Local Positioning Radar
LVM	Lagerverwaltungsmonitor
LVS	Lagerverwaltungssystem
MFS	Materialflussteuerung
MDE	Mobile Datenerfassung
MDT	Mobiles Datenterminal
MHD	Mindesthaltbarkeitsdatum
NFC	Near Field Communication
NIO	Nicht in Ordnung
OD	Auslieferung
ODO	Auslieferungsauftrag
ODR	Auslieferungsanforderung/-benachrichtigung
OPC UA	Object Process Control - Unified Architecture
PAD	Production Assistant Devices
PCo	Plant Connectivity
PDO	Auslieferungsauftrag
PFCR	Kommissionieren während des Wareneingangs
POLS	Prozessorientierte Lagerungssteuerung
POR	Umbuchungsanforderung
PPF	Post Processing Framework
PVB	Produktionsverbauort
QIE	Quality Inspection Engine
qRFC	queued Remote Function Calls
RAC	Ressourcenausführungs-Constraint
RBG	Regalbediengerät
RFID	Radio Frequency Identification
SC	Supply Chain
SCM	Supply Chain Management
SLAM	Simultaneous Localization and Mapping
SNC	Supply Network Collaboration
SPC	Umbuchung
SPS	Speicherprogrammierbare Steuerung
SSCC	Serial Shipping Container Codes
TCP/IP	Transmission control protocol/internet protocol
TE	Transporteinheit
WA	Warenausgang
WE	Wareneingang

Wi-Fi	Wireless Fidelity
(W)LAN	Wireless Local Area Network
WMS	Warehouse-Management-System

Glossar

Begriff	Beschreibung
Handling Unit (HU)	Physische Einheit aus Packmittel und dem darauf/darin gelagerten Material. Die HU wird prozessübergreifend anhand einer eindeutigen Nummer identifiziert. Befindet sich eine HU auf/in einer anderen HU, handelt es sich um verschachtelte HUs. Für unternehmensübergreifende HU-Nummern können Serial Shipping Container Codes (SSCC) verwendet werden [Hoppe und Käber 2007].
Bestandsidentifikation (BI)	Die Bestandsidentifikation (BI) dient dazu, Bestände und entsprechende Bestandsattribute wie z. B. Menge, Charge oder Bestandsart anzusprechen. Ihr liegt eine eindeutige Nummer zugrunde, die als Barcode zur Vereinfachung der WE-Prozesse in einem nachfolgenden Lager und zur Kommissionierung genutzt wird. Die BI wird gelöscht, wenn Bestand in einen Lagertyp eingelagert wird, in dem das entsprechende Löschkennzeichen gesetzt ist [Bauer et al. 2013].
First-in-first-out (FIFO)	Auslagerung der zuerst eingelagerten Ladeeinheiten [Heiserich 2011]
Last-in-first-out (LIFO)	Auslagerung der zuletzt eingelagerten Ladeeinheiten [Heiserich 2011]
Konsignationsbestand	Der Konsignationsbestand ist dadurch gekennzeichnet, dass der Eigentumsübergang dieses Bestandes erst mit der Bezahlung erfolgt. Allerdings wird die Ware unternehmensintern in dem sogenannten Konsignationslager bereits vorgehalten und steht bei Bedarf sofort zur Verfügung [Heidenblut und ten Hompel 2011]

Anhang

I. Organisationsstruktur SAP EWM

Zur Abbildung der organisatorischen Elemente in dem ERP- und dem EWM-System dient die hierarchisch gegliederte und sich nach unten verzweigende Organisationsstruktur im SAP-System.

Wichtige Elemente im ERP-System sind Mandant, Buchungskreis, Werk, Lagerort und Lagernummer, wobei letztere die Brücke zum EWM schlägt [Bauer et al. 2013]. Der Mandant wird zur Anmeldung an dem System benötigt. Aktivitäten sind immer bestimmten Mandanten zugeordnet. Für die Implementierung des EWM-Systems gibt es die drei Mandanten CUST, QTST und PROD. Der CUST wird für Customizing-Aktivitäten und ggf. Entwicklungsarbeiten genutzt. Der QTST dient der Qualitätssicherung und wird daher für Testaktivitäten verwendet. Der Produktivbetrieb findet im PROD Mandanten statt [SAP 2016a]. Für einen Buchungskreis wird die Buchhaltung abgebildet, weshalb er elementar für das externe Rechnungswesen ist. Das Werk wird mindestens einem Buchungskreis zugewiesen und erfasst die Bestände einer geografischen Niederlassung eines Unternehmens. Der Lagerort dient dazu, Bestände zu führen, er beschreibt jedoch nicht, wo die Bestände physisch gelagert sind. Mit der ERP-Lagernummer wird ein EWM-verwaltetes Lager definiert, wodurch alle An- und Auslieferungen repliziert werden. Die ERP-Lagernummer ist nicht identisch mit der EWM-Lagernummer, allerdings ähnlich, damit die Wiedererkennung erleichtert wird. Daher ist für die Lagernummer im ERP-System z. B. LG1 gewählt worden, welche im EWM-System das Pendant LG01 hat. Alle Organisationselemente, die sich unterhalb der Lagernummer befinden, werden nur im EWM-System und nicht im ERP-System angelegt [Bauer et al. 2013]. Hierbei handelt es sich insbesondere um den Lagertyp, Lagerbereich und Lagerplatz. Der Lagertyp beschreibt eine Gruppe von Lagerplätzen mit ähnlichen Eigenschaften. Zur weiteren Unterteilung besteht die Möglichkeit, Lagerbereiche zu bilden. Diese sind jedoch keine Pflichtelemente. Der Lagerplatz ist wiederum ein abgetrennter Bereich im Lager, auf dem ein oder mehrere Produkte gelagert werden können. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, einzelne Lagerplätze zu Aktivitätsbereichen zusammenzufassen, um logische Einheiten zu bilden, die bestimmten Aktivitäten wie z. B. dem Kommissioniervorgang dienen. Bestandsübersichten sind hingegen nur im ERP-System möglich [Bauer et al. 2013]. Zur Veranschaulichung der Organisationsstruktur dient Abb. 23, welche grau hinterlegt die organisatorischen Elemente des ERP-Systems darstellt und grün hinterlegt die Elemente des EWM-Systems.

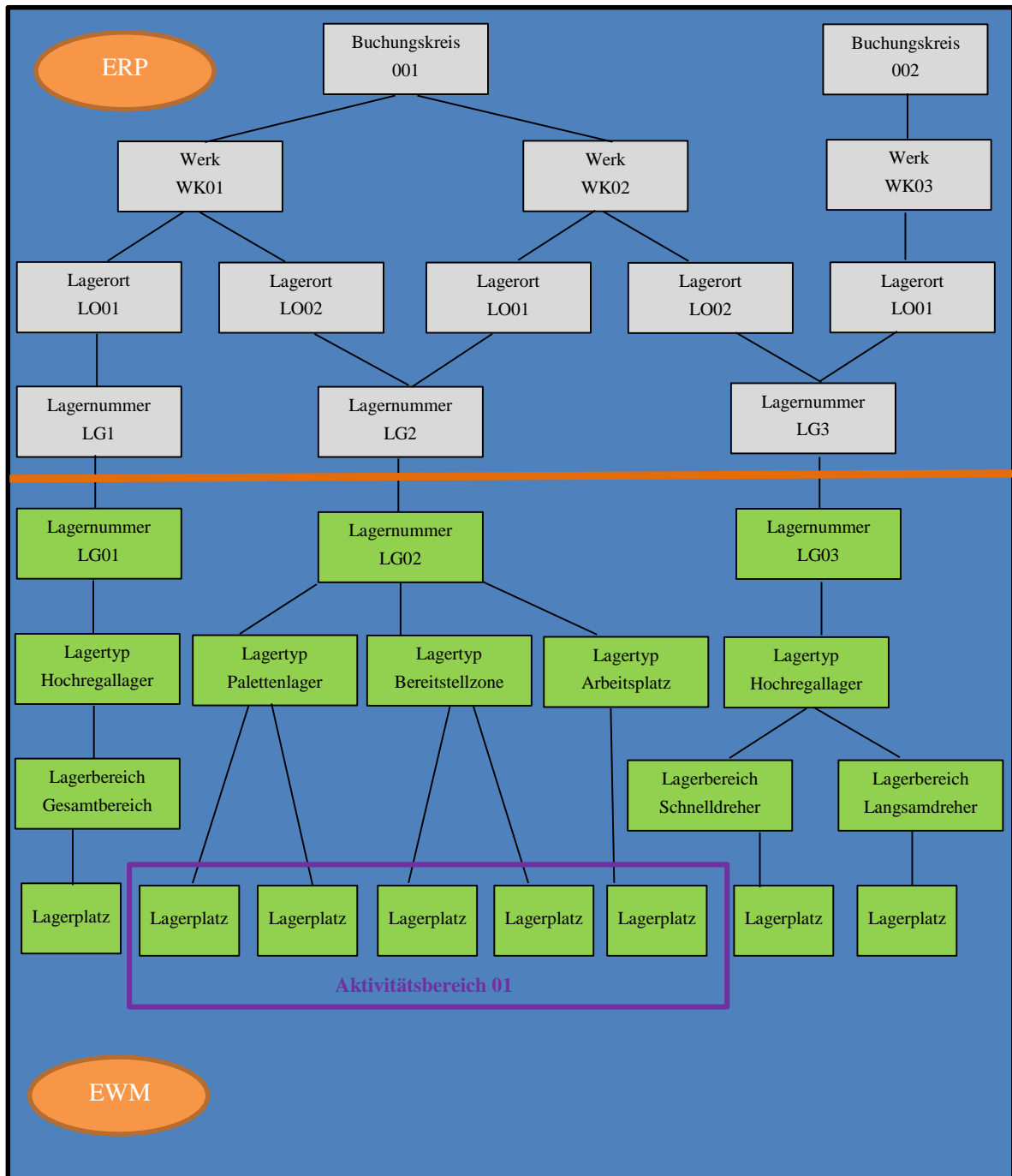


Abb. 23: Organisationsstruktur SAP ERP und EWM [nach Bauer et al. 2013]

II. Graphical User Interface des Systems

Sowohl das Customizing als auch die Anwenderebene sind durch eine Baumstruktur gegliedert, sodass die einzelnen Sichten sowohl über den Baum als auch über die technischen Namen erreicht werden können. Abb. 24 zeigt zunächst die Einstiegsmaske beim Aufruf des EWM-Systems. Anzumerken ist, dass die Baumstruktur anpassbar ist und somit im Regelfall kundenspezifisch eingestellt wird.

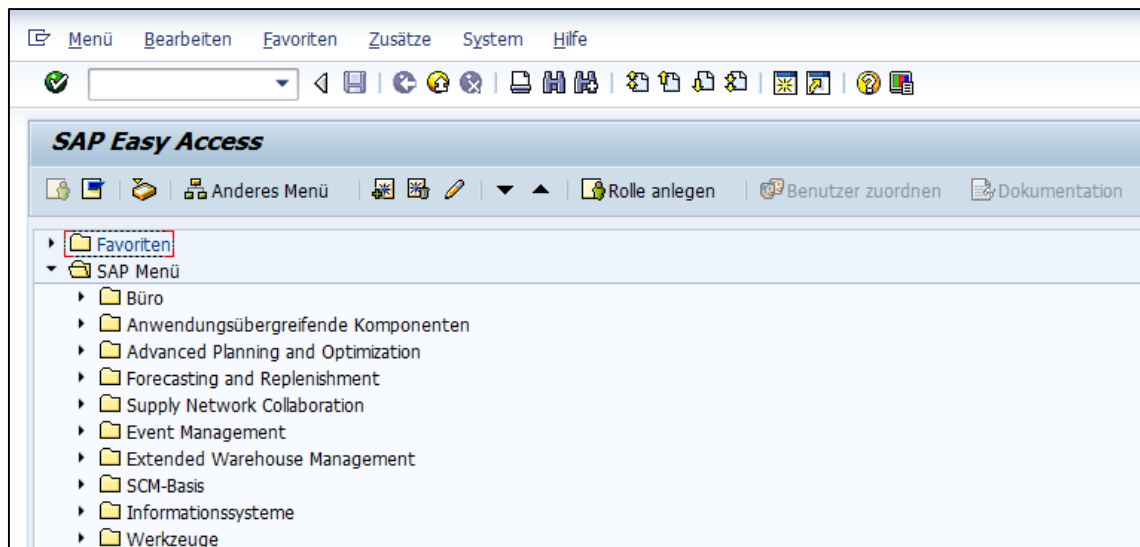


Abb. 24: SAP Easy Access - Einstiegsmaske in das EWM-System

Innerhalb des Easy Access Menüs werden anwenderspezifische Informationen gepflegt wie z. B. Lagerplätze und Lagerprodukte. Darüber hinaus wird das Tagesgeschäft des Lagers abgewickelt. Hierzu gehören u. a. das Anlegen und Quittieren von LBs sowie das Verpacken der Produkte und Handling Units. Darüber hinaus kann der LVM aufgerufen werden. Er stellt ein grundlegendes Tool für die Transparenz dar und gibt über den Status diverser EWM-verwalteter Objekte Aufschluss. Beispiele sind Lagerplätze, Ein- und Ausgangsbelege, Ressourcen sowie Handling Units. Grundlegend für den Aufruf des LVMs ist die Angabe der Lagernummer und des Monitors, der eingesehen werden soll. In Abb. 25 wird die Oberfläche des LVMs veranschaulicht.

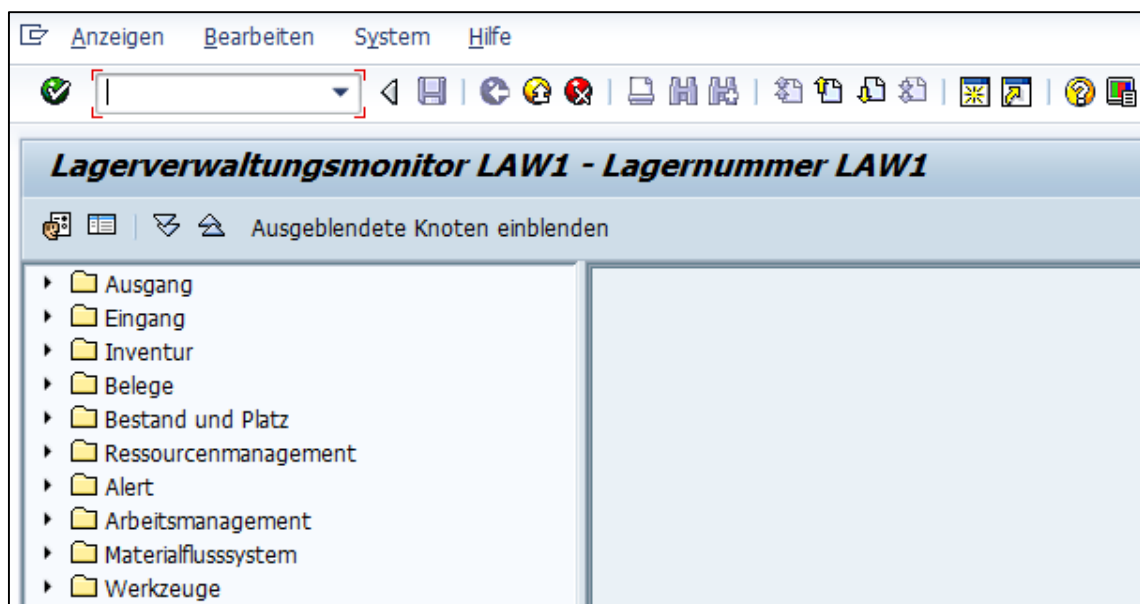


Abb. 25: Lagerverwaltungsmonitor

Die Darstellung des Customizings ist der Abb. 26 zu entnehmen. Hier werden kundenspezifische Einstellungen vorgenommen, die grundlegende Strukturen und Prozesse abbilden. Dazu zählen z. B. Lagertypen, Lagerprozessarten oder Nachschubstrategien. Stammdaten werden hingegen im Easy-Access-Menü gepflegt.

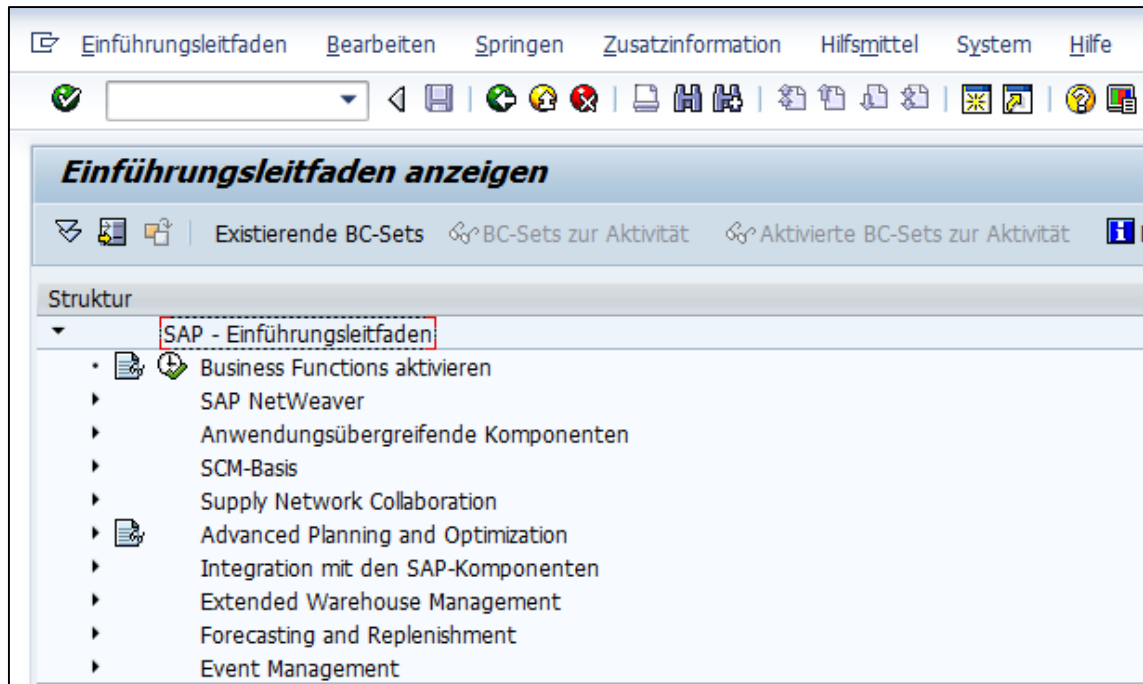


Abb. 26: Einführungsleitfaden - Einstiegsmaske in das Customizing

III. Warenausgangsprozess mit RFID

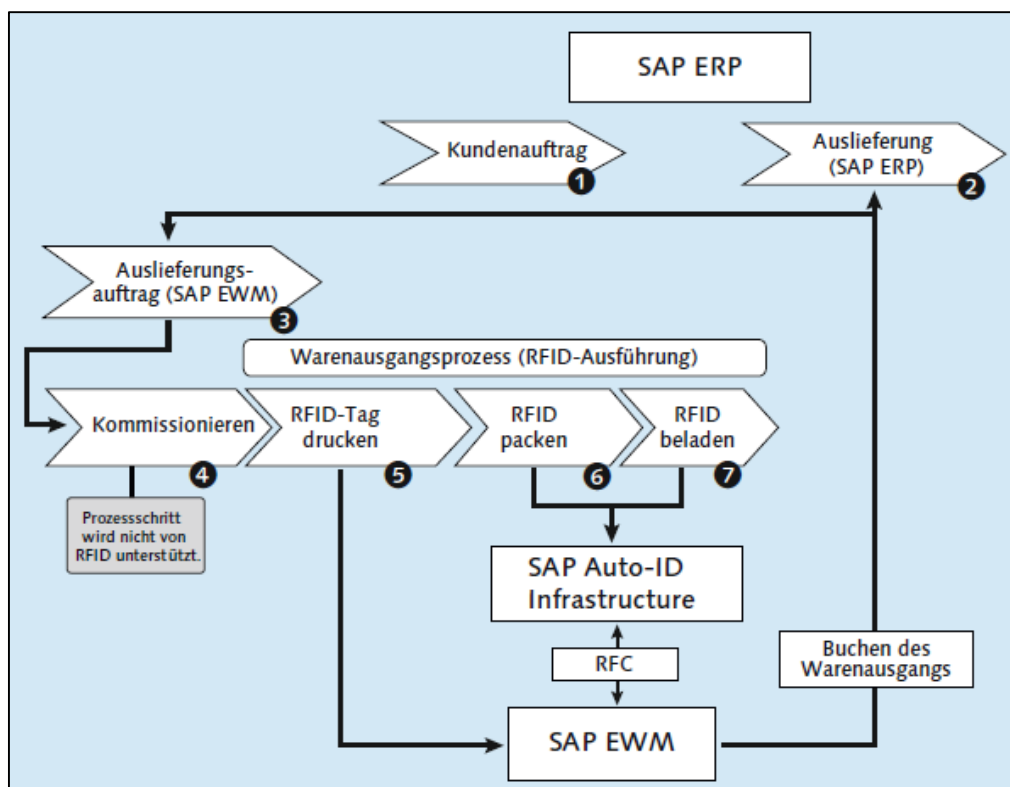


Abb. 27: Warenausgangsprozess mit RFID

IV. Logistics Inventory Management Engine (LIME)

Die LIME läuft auf dem SAP Web Application Server und bildet gemeinsam mit EWM ein Bestandsmodell mit den Objekttypen Lokation, HU und Bestände. Somit werden in der LIME verschiedene Bestandsarten und Hierarchien angelegt. Hierbei ist anzumerken, dass Bestände immer auf HUs lagern und diese wiederum mit Lokationen wie z. B. Lagerplätzen verankert sind. Werden EWM-Bestände in der LIME gebucht, ist ein direkter Aufruf von LIME-Bausteinen nicht möglich. So verfügt der Anwender ausschließlich über lesende Zugriffe [Halm et al. 2012].

V. Steuerungsregeln in SAP EWM

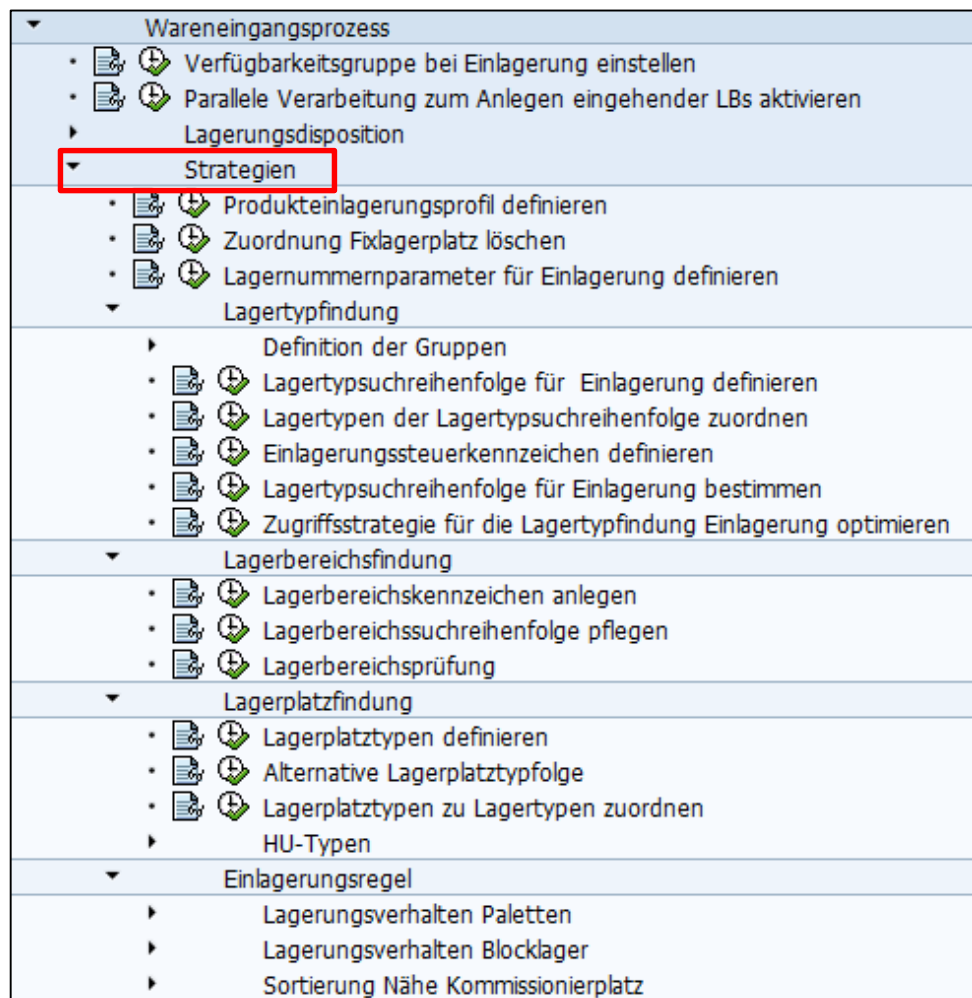


Abb. 28: Tree Control für Strategien im Wareneingang bei SAP EWM

Sicht "Steuerungskenz. für Lagerprozessartfindung" ändern: Übersicht

Neue Einträge

Steuerungskenz. für Lagerprozessartfindung

La...	PrzArtFind	Bezeichnung
DL01	01	Lagerungsprozess aktiv

Abb. 29: Prozessartfindungskennzeichen SAP EWM

Sicht "Findung Lagerprozessart" ändern: Übersicht

Neue Einträge

Findung Lagerprozessart

	Lagernummer	Belegart	PosArt	LiefPrio.	PrzArtFind	Prozesskennz.	LagPro...
	DL01	IERP		0		Kein sp... ▼	P111
	DL01	INB	IDLV	0		Kein sp... ▼	P110
	DL01	INBS		0		Kein sp... ▼	P110
	DL01	IRET		0		Kein sp... ▼	P430
	DL01	OUTB		0		Kein sp... ▼	P211

Abb. 30: Lagerprozessartfindung SAP EWM

Sicht "Customizing Bestandsfindung" ändern: Übersicht

Neue Einträge

Customizing Bestandsfindung

La...	Verfüg...	Aktivität	BF-Gruppe	Fortlauf...	Eing.	Erlaubt
DL01	BPPL01V	PICK		1		
DL01	BPPL01V	PTWY		1		

Abb. 31: Bestandsfindung in SAP EWM

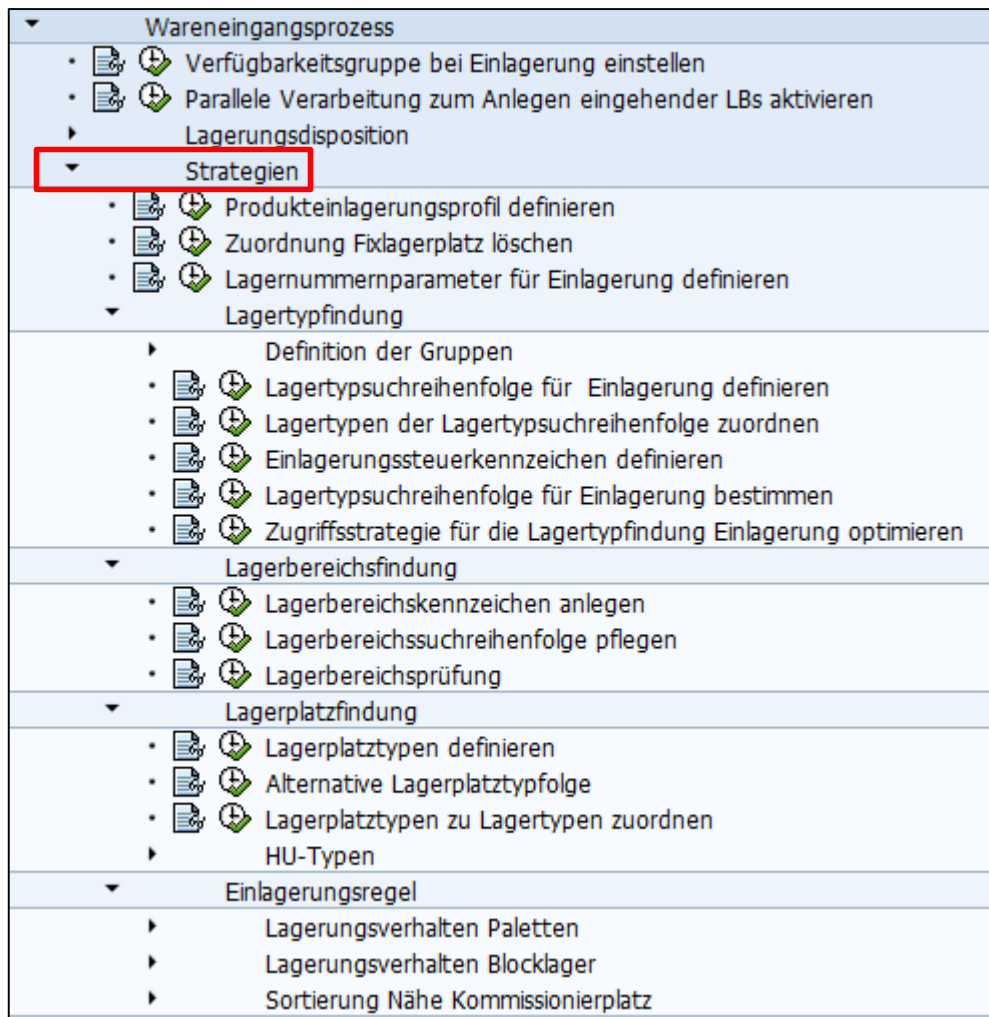


Abb. 32: Tree Control für Strategien im Wareneingang bei SAP EWM

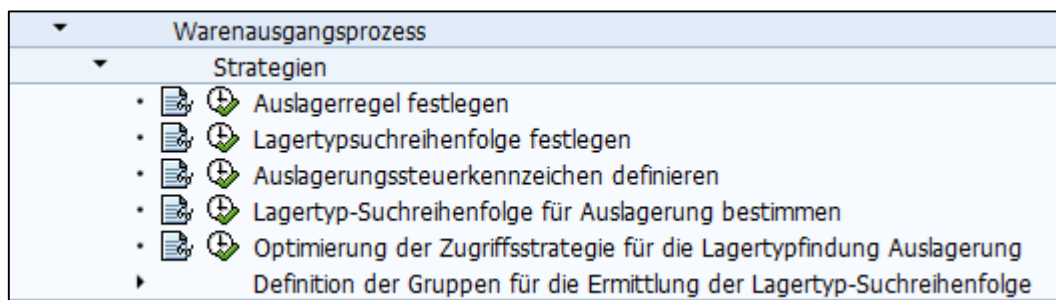


Abb. 33: Tree Control für Strategien im Warenausgang bei SAP EWM

VI. Analyseverfahren und Modelle in der Wirtschaftsinformatik

Tab. 8: Analyseverfahren und Modelle in der Wirtschaftsinformatik - I
 [nach Echterhoff et al. 2010; Kuß 2012; Friedrichs et al. 2010; Behnke et al. 2006; Flick et al. 2008; Düwel und Hesse 2000; Laue et al. 2000; Müller-Herbers 2007; Burkhart 2013; Goeken und Johannsen 2011; Staud 2005]

Analyse visueller Daten – Ikonologie
Business Excellence Model der EFQM
Capability Maturity Model Integration
Clusteranalyse
CMM/CMMI
COBIT-Referenzmodell
Codieren
Computergestützte Analyse verbaler Daten
Conjoint-Analyse
COSO-Referenzmodell
Deskriptive Datenanalyse
Diskursanalyse
Dokumenten- und Aktenanalyse
Entity-Relationship-Model
Ereignisanalyse
Faktorenanalyse
Formale Begriffsanalyse
Gattungsanalyse
Grounded Theory
Hermeneutik
Inhaltsanalyse
ISO 9000, 9001
ISO/IEC 15504
ISO/IEC 17799
ISO/IEC 20000
ISO/IEC 27000

Tab. 9: Analyseverfahren und Modelle in der Wirtschaftsinformatik – II [nach Echterhoff et al. 2010; Kuß 2012; Friedrichs et al. 2010; Behnke et al. 2006; Flick et al. 2008; Düwel und Hesse 2000; Laue et al. 2000; Müller-Herbers 2007; Burkhart 2013; Goeken und Johannsen 2011; Staud 2005]

ISO/IEC 38500
IT-Grundschutz
ITIL-Referenzmodell
Konversationsanalyse
Logistische Regression
Matrizen und Abbildungen
MOF IBM IT PM HP ITSM
Multidimensionale Skalierung
Objektive Hermeneutik
Paarvergleich
Panelanalyse
Petri-Netze
Potenzialanalyse
Prince 2
Prozessanalyse
Qualitative Comparative Analysis
Qualitative Inhaltsanalyse
Qualitative Netzwerkanalyse
Regressionsanalyse
Reifegradmodell
Risk-IT-Referenzmodell
Semiotik
Sequenzanalyse
Structured-Entity-Relationship-Model
Strukturgleichungsmodelle
Typenbildung
Val-IT-Referenzmodell
Varianzanalyse

VII. Methoden des strategischen und administrativen Informationsmanagements

Tab. 10: Methoden des strategischen und administrativen Informationsmanagements [nach Lutz et al. 2014]

Erfolgsfaktoranalyse
Kennzahlensysteme
Wirtschaftlichkeitsanalyse
Evaluierungsmethode
Nutzwertanalyse
Analytischer Hierarchieprozess
Vorgehensmodelle
Szenariotechnik
Informationsbedarfsanalyse
Methoden des Geschäftsprozessmanagements
Kosten- und Leistungsrechnung
Sicherheitskonzepte
Methoden des Qualitätsmanagements
Service-ebenen Vereinbarungen

VIII. BAdIs in SAP EWM











































































▼	Business Add-Ins (BAdIs) für das Extended Warehouse Management
▼	Stammdaten
▼	Aktivitätsbereiche
•	  BAdI: Sortierreihenfolge der Aktivitätsbereiche definieren
▼	Lagerplätze bearbeiten
•	 Hinweise zur Implementierung
•	  BAdI: Zusätzliche Informationen beim Anlegen von Lagerplätzen
•	  BAdI: Zusätzliche Informationen beim Löschen von Lagerplätzen
•	  BAdI: Zusätzliche Informationen beim Ändern von Lagerplätzen
•	  BAdI: Füllen des Verifikationsfelds im Lagerplatz
▼	Routen
•	  BAdI: Routensuchhilfe um externe Daten erweitern
▼	Arbeitsplatz
•	  BAdI: Erweiterte Nutzung der Expressdienstschnittstelle (ESI)
▶	Benutzungsoberfläche für Arbeitsplatz anpassen
•	  BAdI: Menge und Einheit für Umpacken von HU-Position vorschlagen
▼	Produkt
•	  BAdI: Nummernvergabe für neue Seriennummer
•	  BAdI: Konvertierung Seriennummer
•	  BAdI: Suchhilfe für Verfügungsberechtigten
•	  BAdI: Ermittlung der Bestandsrelevanz von Mengeneinheit
•	  BAdI: Ermittlung der bevorzugten ME für Lagervorgänge
▼	Stückliste
•	  BAdI: Stücklistenfunktionen
▼	Packspezifikation
▼	Benutzeroberfläche der Packspezifikation
•	 Hinweise zur Implementierung
•	  BAdI: Benutzeroberflächenerweiterung von Packspezifikations-Kopfattributen
•	  BAdI: Benutzeroberflächenerweiterung für Inhalt
•	  BAdI: Benutzeroberflächenerweiterung von Packspezifikations-Ebenenattr.
•	  BAdI: Benutzeroberflächenerweiterung von Packspezifikations-Elementen
•	  BAdI: Bestmögliche Packmittel für Ebene
•	  BAdI: Bestmögliche Zielmenge für Ebene
•	  BAdI: Ebenendimension kalkulieren
•	  BAdI: Zusätzliche Änderungsbelege
•	  BAdI: Änderungsbelege anzeigen
•	  BAdI: Automatische Konditionssätze aus Packspezifikation
•	  BAdI: Werthilfe in der Benutzeroberfläche für Packspez. erweitern
▼	Packspezifikation
•	 Hinweise zur Implementierung
•	  BAdI: Änderungen der Packspezifikation prüfen
•	  BAdI: Änderungen der Elementgruppe prüfen
•	  BAdI: Änderungen der Arbeitsschritte prüfen
•	  BAdI: Packspezifikationsetiketten ermitteln
•	  BAdI: PDF-Druck von Packspezifikation
•	  BAdI: Packspez.-etiketten für Packspezifikation oder LZL-Auftrag drucken
▼	Packspezifikationsfindung
•	 Hinweise zur Implementierung
•	  BAdI: Packspezifikationsfindung für erweiterten Feldkatalog vorbereiten
•	  BAdI: Ergebnisse der Packspezifikationsfindung ändern
•	  BAdI: Ergebnisse der Packspezifikationsfindung ermitteln
•	  BAdI: Zusätzliche Daten beim Sichern der Konditionssätze

Abb. 34: BAdIs in SAP EWM – I



















































































▼	Benutzeroberfläche von Arbeitsschritten
•	 Hinweise zur Implementierung
•	  BAdI: Benutzeroberflächenerweiterung für Arbeitsschritte
•	  BAdI: Dynamische Attribute für den Arbeitsschritt pflegen
▼	Verteilung
•	 Hinweise zur Implementierung
•	  BAdI: Packspezifikation verteilen
•	  BAdI: Elementgruppen verteilen
•	  BAdI: Arbeitsschritt verteilen
•	  BAdI: Konditionssätze verteilen
▼	Wareneingangsprozess
▼	Lagerungsdisposition
▼	Ergebnisermittlung der Lagerungsdisposition
•	 Hinweise zur Implementierung
•	  BAdI: Platztyp überprüfen
•	  BAdI: Platztyp bestimmen (nach Standard)
•	  BAdI: Platztyp bestimmen (vor Standard)
•	  BAdI: Dimensionsindikatoren bestimmen
•	  BAdI: Maximalmenge im Lagertyp bestimmen
•	  BAdI: Minimalmenge im Lagertyp bestimmen
•	  BAdI: Packlevel zur Benutzung für Lagerdisposition auswählen
•	  BAdI: Ein-/Auslagerungssteuerkennzeichen bestimmen
•	  BAdI: Mindestnachschubmenge bestimmen
•	  BAdI: Empfohlene Lagermenge angeben
•	  BAdI: Lagerbereichskennzeichen bestimmen
•	  BAdI: Tabellen beim Ändern des Produktstamms fortschreiben
•	  BAdI: Platztypliste sortieren
•	  BAdI: Lesen von Bedarfsdaten aus SPP (APO)
•	  BAdI: Vorhandene Lagertypen aktualisieren
•	  BAdI: Konditionstechnik in der Lagerungsdisposition
▼	Strategien
▼	Einlagerungsstrategien
•	 Hinweise zur Implementierung
•	  BAdI: Änderung der Lagerplatzsuchreihenfolge
•	  BAdI: Änderung der Lagerbereichssuchreihenfolge
•	  BAdI: Änderung der Lagertypsuchreihenfolge und Einlagerungsregel
•	  BAdI: Änderung der Einlagerungssuchreihenfolgen
•	  BAdI: Nachplatzermittlung: Lagerungsverhalten Block
•	  BAdI: Nachplatzermittlung: Lagerungsverhalten Normal
•	  BAdI: Nachplatzermittlung: Lagerungsverhalten Palette
•	  BAdI: Berücksichtigung der Maximalmenge im Lagertyp
•	  BAdI: Prüfung des eingegebenen Lagerplatzes
•	  BAdI: Festlegung der Priorität von Lagertyp/Lagerbereich/Lagerplatztyp
•	  BAdI: Fortschreibung von Tabellen beim Anlegen eines Fixplatzes
•	  BAdI: Mischbelegung
•	  BAdI: Mögliche Lagerplätze filtern und sortieren
•	  BAdI: Nähe Fixlagerplatz: Fixlagerplatz festlegen
•	  BAdI: Findung des Kapazitätsprüfungsergebnis (für Lageraufgabe)
•	  BAdI: Leerplatzermittlung
•	  BAdI: mehrfachtiefe Platzermittlung für die Zulagerung

Abb. 35: BAdIs in SAP EWM – II




▼	Einlagerungsstrategien für Transitlager
•	 BADI: Ermittlung der Konsolidierungsgruppe für Transit-Handling-Units
•	 BADI: Ermittlung des Ziels für Transitlager
•	 BADI: Anreicherung der Anforderungsdaten für Transitlager
•	 BADI: Anpassung des Konditionsfindungsschemas
▼	Dekonsolidierung
•	 BAD: Bestimmung der Dekonsolidierstation
▼	Wareneingangsoptimierung
•	 Hinweise zur Implementierung
•	 BADI: Arbeitslast WE: Steuerung zum Lesen der HU-Daten in Anlieferungen
•	 BADI: Arbeitslast WE: Ermittlung der Anzahl HUs/Paletten
•	 BADI: Arbeitslast WE: Erweiterung der Ergebnisliste um kundeneigene Felder
▼	Erweiterungen für Wareneingangsprozess
•	 Hinweise zur Implementierung
•	 Erweiterungen für Wareneingangsvorgänge definieren
•	 BADI: Erweiterung der Auswahl für Wareneingangsverfahren
▼	Erwarteter Wareneingang
•	 Hinweise zur Implementierung
•	 BADI: Zusätzliche Daten aus erwarteten WE in die Anlieferung kopieren
•	 BADI: Zusätzl. Felder für Vergleich erw. WE mit Anlieferung füllen
•	 BADI: Texte während Erzeugung von Anlieferungen aus erwartetem WE ändern
•	 BADI: Erw. WE oder Anlieferung vor Erzeugung Anliefr. aus erw. WE validieren
▼	Retouren für E-Commerce
•	 BADI: Ermittlung des Zwischenlagerplatzes
•	 BADI: Datenabruf für die Produktdetailsicht
•	 BADI: Persistenz von Kommentartexten
•	 BADI: Erweiterung der Referenznummer
•	 BADI: Packmittel für Sammel-HUs
▼	Warenausgangsprozess
▼	Strategien
▼	Auslagerungsstrategien
•	 Hinweise zur Implementierung
•	 BADI: Löschung des Quantpuffers
•	 BADI: Filterung und/oder Sortierung von Quants
•	 BADI: Änderung des HU-Typs
•	 BADI: Änderung der Menge auf einer HU
•	 BADI: Zulassung von negativen Mengen
•	 BADI: Änderung der operativen Mengeneinheit
•	 BADI: Änderung des Mengenklassifikators für die Lagertypsuchreihenfolge
•	 BADI: Änderung der angeforderten Menge
•	 BADI: Änderung der Suchreihenfolge und Auslagerungsregel
•	 BADI: Prüfung des vorgegebenen Platzes
▼	Verpackungsplanung
•	 Hinweise zur Implementierung
•	 BADI: VP-Prozessprofile ermitteln
•	 BADI: Vor- und Nachverarbeitung von VP-Algorithmen
•	 BADI: Verpackungsplanungsalgorithmus
▼	Transportmanagement
•	 Hinweise zu BADIs
•	 BADI: Transportplanung EDI
•	 BADI: Business-Objekt-Schicht - Erweiterungen
•	 BADI: Nachrichten
•	 BADI: Berechtigungsprüfung für den Transport
•	 BADI: Sendungsbeleg
•	 BADI: Archivierung von Sendungen und Frachtbelegen
▼	Routenfindung

Abb. 36: BADIs in SAP EWM - III





































































▼	Routenfindung
•	  BAdI: Filtermethode in der Routenfindung
•	  BAdI: Kostenermittlung in der Routenfindung
•	  BAdI: Gefahrguterweiterungen für Routenfindung (EHS)
•	  BAdI: Eingabehilfe für Transportmittel im Routing-Guide
•	  BAdI: Erweiterungen für die Terminierung im Routing-Guide
▶	Erweiterungsstelle für Routenstammdaten
▼	Wellenmanagement
•	  BAdI: Wellenplanung
•	  BAdI: Wellendaten ändern beim Sichern
•	  BAdI: Erweiterung der Auswahl von LFs in Wellen
•	  BAdI: Steuerung der automatischen Wiederholung der Wellenfreigabe
•	  BAdI: Archivierung von Wellen
•	  Rechnungsstellung vor Warenausgang
▼	GTS-Integration
•	 Hinweise zur Implementierung
•	  BAdI: Compliance-Prüfung Relevanz setzen
•	  BAdI: Versandverfahren Relevanz setzen
▼	Auslieferung
▼	Drucken
•	  BAdI: Datenbeschaffung Gefahrgut für Lieferscheindruck
•	  BAdI: Gefahrguterweiterungen für Lieferscheindruck
•	  BAdI: Ermittlung von Formularnamen
▼	Lieferempfangsbestätigung
•	  BAdI: LEB-Relevanz für angelegte Lieferposition ermitteln
•	  BAdI: LEB-Daten mit EWM-Prozessdaten anreichern
•	  BAdI: Auswahl von LEB-Daten für Auslieferungen
▼	Automatisch erzeugte Verpackungspositionen
•	  BAdI: Relevanz für die Erzeugung von Verpackungspositionen
•	  BAdI: Packmittelart für die Erzeugung von Verpackungspositionen
•	  BAdI: Lieferart für erzeugte Verpackungsposition
•	  BAdI: Bearbeiten von Daten für erzeugte Verpackungspositionen
•	  BAdI: Konsolidierungsgruppe bestimmen
▼	Produktion
▼	Bereitstellung
•	  BAdI: Datensammlung für die Bereitstellung für die Produktion
•	  BAdI: Lageraufgabenerstellung für die auftragsübergreifende Bereitstellung
•	  BAdI: Lageraufgabenerstellung für die auftragsspezifische Bereitstellung
•	  BAdI: LB-Erstell. zum Räumen des PVB (auftragsübergreif. Bereitstellung)
•	  BAdI: LB-Erstell. zum Räumen des PVB (auftragsspezifische Bereitstellung)
▼	Lagerinterne Prozesse
▼	Nachschubsteuerung
▼	Änderung der Mengen und Prioritäten geplanter Nachschubpositionen
•	 Hinweise zur Implementierung
•	  BAdI: Änderung der anzufordernden Bestandsart
•	  BAdI: Änderung der Mengen und Prioritäten geplanter Nachschubpositionen
•	  BAdI: Setzen der Lageranforderung zum Nachschub auf "Erledigt"
•	  BAdI: Änderung der momentanen Lagerplatz- oder Lagertypmenge
•	  BAdI: Löschung geplanter Lageranforderungen zum Nachschub
•	  BAdI: Selektion offener Lageranforderungen

Abb. 37: BAdIs in SAP EWM – IV

▼	Lageroptimierung
•	BAdI: Erweiterungen zur Lager-Reorganisation: Leerplatzreport
▼	Ressourcenmanagement
▼	Verarbeitung
•	Hinweise zur Implementierung
•	BAdI: Mode-Ermittlung
•	BAdI: Lagerauftragsselektion
•	BAdI: Lagerauftrag anpassen
•	BAdI: RF: Ressourcenmanagementaufgabe Doppelspiel
▼	Queue-Ermittlung
•	BAdI: Queue-Ermittlung bei LA-Erstellung
▼	Steuerung der Ressourcenausführungs-Constraints (RAC)
•	BAdI: Vorgehen, wenn die Ressource keinen Zugang zur Lagerungsgruppe hat
•	BAdI: Zeitpunkt berechnen, zu dem die Ressource d. RAC-Lagergruppe verlässt
▼	Umbuchungslieferung
▼	Zusätzliche Druckdaten
•	Hinweise zur Implmentierung
•	BAdI: Zusätzliche Daten zur Verschrottungsanforderung
•	BAdI: Sprache für Verschrottungsformular
▼	Inventur
▼	Differenzenanalyse
•	Hinweise zur Implementierung
•	BAdI: Setzen des Kundenstatus
•	BAdI: Verhindern des Ausbuchens von Differenzen an das ERP-System
•	BAdI: Setzen des CC-Kennzeichens
•	BAdI: Plätze für Inventur-Vollständigkeitsprüfung filtern
•	BAdI: Platz- oder Bestandsfilter zum Erstellen von Inventurbelegen
•	BAdI: Selektion von Handling Units
▼	Prozessübergreifende Einstellungen
▼	Handling Units
•	BAdI: Archivierung von Handling Units
▶	Basis-Erweiterungen für Handling Units
▶	Grundlagen
•	BAdI: HU-Identifikation für Transit-Handling-Units
▼	Lagerauftragserstellung
•	Hinweise zur Implementierung
•	BAdI: Überschreiben der Konsolidierungsgruppe
•	BAdI: Anwendung einer zusätzliche LB-Sortierung
•	BAdI: Anwendung zusätzlicher Filter auf Positionsebene
•	BAdI: Anwendung zusätzlicher Filter auf Zwischensummenebene
•	BAdI: Überschreibung der Grenzwerte
•	BAdI: HU-Bestimmung zum Lagerauftrag
•	BAdI: Ermittlung der möglichen Packmittel für die HU-Bestimmung
•	BAdI: Prüfung und Sortierung der gefundenen Packmittel
•	BAdI: Prüfung, ob LB in HU verpackt werden soll
•	BAdI: Prüfung auf Länge, Breite, Höhe
•	BAdI: Prüfung, ob LB bei abweichender KonsGr übersprungen werden soll
•	BAdI: Überschreiben der Lagerprozessart auf LA-Ebene
•	BAdI: Komplette Lagerauftragserstellung
•	BAdI: Archivierung von Lageraufträgen

Abb. 38: BAdIs in SAP EWM – V

▼	Drucken
▼	Anpassen/Erweitern Daten vor Aufruf Konditionstechnik
•	Hinweise zur Implementierung
•	BAdI: Anpassen/Erweitern Daten für HU-Druck
•	BAdI: Anpassen/Erweitern Daten für PI-Druck
•	BAdI: Anpassen/Erweitern Daten für LA-Druck
▼	Ermitteln Konditionsschema
•	Hinweise zur Implementierung
•	BAdI: Ermitteln Konditionsschema für HU-Druck
•	BAdI: Ermitteln Konditionsschema für PI-Druck
•	BAdI: Ermitteln Konditionsschema für LA-Druck
▼	Lageraufgabe
▼	Quittierung einer Lageraufgabe
•	Hinweise zur Implementierung
•	BAdI: Prüfung bei der Quittierung
•	BAdI: HU-Aktualisierungen im Sichern
•	BAdI: Änderung der Importparameter beim Quittieren der LB
•	BAdI: Verbuchung der quittierten Lageraufgaben
•	BAdI: Obligatorische Seriennummereingabe bei Quittierung
•	BAdI: Auspacken übergeordneter HU bei Lageraufgabenquittierung
•	BAdI: Aktualis.-Unterdrückung von kumul. Felder in Tabelle Verfügbare Menge
•	BAdI: Änderung der Quantattribute bei LB-Quittierung
▼	Erstellung von Lageraufgaben
•	Hinweise zur Implementierung
•	BAdI: Abbruch der Lageraufgabenerstellung
•	BAdI: Daten für verfügbare Menge
•	BAdI: Verhinderung des Löschens von Positionen
•	BAdI: Interne Lageraufgabenerstellung
•	BAdI: Verbuchung der erstellten Lageraufgaben
•	BAdI: Erzeugung von Lageraufgaben zum Verschrotten ohne Kommissioniermenge
•	BAdI: Nummernvergabe Bestandsidentifikation
•	BAdI: Tabellenfortschreibung beim Löschen einer Position
•	BAdI: Quants für Seriennummern entsprechend verfügbarer Menge kombinieren
•	BAdI: Palletierungsdaten zur Einlagerung ermitteln
•	BAdI: Greifzeitermittlung in der Lageraufgabe
•	BAdI: Änderung der Arbeitslastdaten beim Anlegen einer Lageraufgabe
▼	Lageraufgabe zur Lageranforderung
•	Hinweise zur Implementierung
•	BAdI: Anlegen einer Lageraufgabe zur Lageranforderung über eine PPF-Aktion
•	BAdI: Einlagerungsverzögerung bestimmen
•	BAdI: Anlegen einer Lageraufgabe in einem Job durch Einlagerungsverzögerung
•	BAdI: Übergabe von Zusatzdaten der Lageranf. an die Produkt-LB Erzeugung
•	BAdI: Bestimmung der LPA für HU-Lageraufgabe aus den Lieferungspositionen
•	BAdI: Verhinderung der Ausführung der KommiZurückweisung in der WF-Aufgabe
▼	Layoutorientierte Lagerungssteuerung
•	Hinweise zur Implementierung
•	BAdI: Layoutorientierte Lagerungssteuerung
•	BAdI: Priorisierung in der layoutorientierten Lagerungssteuerung
•	BAdI: Kapazitätsprüfung in der layoutorientierten Lagerungssteuerung
▼	Prozessorientierte Lagerungssteuerung
•	Hinweise zur Implementierung
•	BAdI: Prozessprofil setzen
•	BAdI: Prozessorientierte Lagerungssteuerung
•	BAdI: Archivierung von Lageraufgaben

Abb. 39: BAdIs in SAP EWM – VI

▼	Catch Weight
•	Hinweise zur Implementierung
•	BAdI: Etikettendruck mit Bewertungsmenge
▼	Warenannahme und Versand
•	BAdI: TE-Profilfindung
•	BAdI: Einstellungen für geplante TE-Zeiten in den Hintergrundprozessen
•	BAdI: Bereitstellungszonen- und Torermittlung
•	BAdI: Senden von Nachrichten an das Transportmanagement
•	BAdI: Anlegen von Terminen in SAP Dock Appointment Scheduling
•	BAdI: Nummernvergabe für Fahrzeuge und Transporteinheiten
•	BAdI: Erweiterungen der Berechtigungsprüfung von Transportmitteln
•	BAdI: Berechnen der Prioritätspunkte für eine Transporteinheit
•	BAdI: Konstruktionsregeln
•	BAdI: Anlegen von TEs/Fahrzeugen im Hintergrund
•	BAdI: Archivierung von TE-Aktivitäten
▼	Erweiterungen beim Lesen und Sichern in Warenannahme und Versand
•	Hinweise zur Implementierung
•	BAdI: Lesen von Warenannahme- und Versanddaten
•	BAdI: Sichern von Warenannahme- und Versanddaten
▼	Erweiterungen der Selektion von Warenannahme- und Versandaktivitäten
•	Hinweise zur Implementierung
•	BAdI: Selektionserweiterung für WA/V-Aktivitäten für Tore
•	BAdI: Selektionserweiterung für WA/V-Aktivitäten für Transporteinheiten
•	BAdI: Selektionserweiterung für WA/V-Aktivitäten für Fahrzeuge
▼	Erweiterungen zu den Warenannahme- und Versandaktivitäten
•	Hinweise zur Implementierung
•	BAdI: W/V-Aktivitäten des Business Object Manager
•	BAdI: W/V-Aktivitäten des Business Object Manager (Lieferung)
•	BAdI: W/V-Aktivitäten für Tor
•	BAdI: W/V-Aktivitäten für Transporteinheit
•	BAdI: W/V-Aktivitäten für Fahrzeug
▼	Anschluss an das Transportmanagement
•	BAdI: Abbildung von Liefer-HU-Daten auf Sendungen
•	BAdI: Abbildung von Lieferungen auf Sendungen
▼	Versand-Cockpit
▼	Erweiterungen zum Versand-Cockpit
•	Hinweise zur Implementierung
•	BAdI: Ändern der Selektionskriterien für das Versand-Cockpit
•	BAdI: Änderung der Aggregationslogik
▼	Automatische Planung
▼	Erweiterungen zur automatischen Planung
•	Hinweise zur Implementierung
•	BAdI: Automatische Planung der Bereitstellungszone
•	BAdI: Automatisches Erstellen von TE-Aktivität und Lieferzuordnung
▼	Dock Appointment Scheduling
•	BAdI: Referenzbelege: Ermittlung des Business-Systems
•	BAdI: Referenzbelege: Validierung
•	BAdI: Referenzbelege: Referenzbeleg anzeigen
•	BAdI: Ermittlung der Ladestelle
•	BAdI: Ermittlung der Dauer eines Ladetermins
•	BAdI: Ermittlung der Packstückanzahl
•	BAdI: Eigenschaft für Ladetermine
•	BAdI: Ermittlung der Eigenschaft
•	BAdI: Texte der Ladetermine im Bild "Termine überwachen" ändern
•	BAdI: Pflege von Terminen, die in SAP EWM geplant wurden
▶	Reporting für Dock Appointment Scheduling

Abb. 40: BAdIs in SAP EWM – VII

▼	Cross-Docking (CD)
▼	Geplantes Cross-Docking
▼	Warenverteilung
•	Hinweise zur Implementierung
•	BAdI: Mengenanpassung
▼	Opportunistisches Cross-Docking
▼	Opportunistisches Cross-Docking, das EWM anstößt
▼	Opportunistisches Cross-Docking, das EWM anstößt (Eingang)
•	Hinweise zur Implementierung
•	BAdI: Von der Anlieferung angestoßenen CD-Prozess aktivieren und anpassen
▼	Opportunistisches Cross-Docking, das EWM anstößt (Ausgang)
•	Hinweise zur Implementierung
•	BAdI: Von der Auslieferung angestoßenen CD-Prozess aktivieren und anpassen
▼	Logistische Zusatzleistung (LZL)
▼	Ändern eines LZL-Auftrags
•	Hinweise zur Implementierung
•	BAdI: Prüfung, ob Kopf-Änderungen erlaubt sind
•	BAdI: Prüfung, ob Aktivitäts-Änderungen erlaubt sind
•	BAdI: Prüfung, ob Positions-Änderungen erlaubt sind
•	BAdI: Prüfung, ob Änderung an einer Hilfsproduktposition erlaubt ist
•	BAdI: Lageranforderung nach Änderung des LZL-Auftrages aktualisieren
•	BAdI: LZL-Auftrag nach Änderung der Lageranf. aktualisieren
▼	Anlegen eines LZL-Auftrags
•	Hinweise zur Implementierung
•	BAdI: Anlegen der Aktivitäten für einen LZL-Auftrag
•	BAdI: Automatisches Anlegen LZL-Auftrag aus Lageranforderung
•	BAdI: Screen-Exit für einen LZL-Kopf
▼	Drucken logistischer Zusatzleistung
•	Hinweise zur Implementierung
•	BAdI: Ermitteln der Daten für logistische Zusatzleistungen
•	BAdI: Ermitteln der Formularsprache
•	BAdI: Ermitteln des Formulars
•	BAdI: Ermitteln des Druckers
•	BAdI: Reihenfolge der Selects für LZL-Auftrag im Monitor
▼	Ausnahmebehandlung
•	Hinweise zur Implementierung
•	BAdI: Filtern von Ausnahmecodes
•	BAdI: Filter von Standardfolgeaktionen der Ausnahmebehandlung
•	BAdI: Ausführen von Funktionen
▼	Qualitätsmanagement
▼	Prüfbelegerstellung
•	BAdI: Datenübergabe an Prüfbelegeigenschaften
•	BAdI: Übersteuerung der Zählrelevanz von Lieferpositionen
•	BAdI: Kundenkriterien für Prüfbeleg festlegen
•	BAdI: Prüfrelevanz setzen (Produkt-/Chargenprüfung)
•	BAdI: Prüfbeleg nach Erstellung ändern
•	BAdI: WE-Steuerung für Anlieferungspositionen beeinflussen
▼	Prüfung
•	BAdI: Hintergrundentscheid für Prüfbeleg steuern
•	BAdI: Möglichkeit festlegen, Qualitätsprüfungen durchzuführen (extern)

Abb. 41: BAdIs in SAP EWM – VIII

▼	Folgeaktionen
•	Hinweise zur Implementierung
•	BAdI: Folgeaktionen
•	BAdI: Chargenmerkmale während Prüfentscheid
•	BAdI: Sicherung der in den Folgeaktionen gesammelten Daten
•	BAdI: Bestellung anlegen
•	BAdI: Vordefinierte Folgeaktion festlegen
•	BAdI: Folgeaktion extern pflegen und ausführen
•	BAdI: Bestandsaktion nach Entscheidung beeinflussen
▼	Chargenverwaltung
▼	Chargen in der Lageraufgabenverarbeitung
•	Hinweise zur Implementierung
•	Chargenselektionskriterien ermitteln und an die Chargensuche übergeben
•	Selektionskriterien abhängig von Chargenklasse herausfiltern
•	Prozess abhängig vom Chargenzustand erlauben oder verhindern
▼	Chargen in der Lieferung - Lageranforderung
•	Hinweise zur Implementierung
•	Charge zur Lieferung anlegen
•	Chargennummernvergabe beim Anlegen von Chargen
•	Warenbewegung gesperrte Charge erlauben
•	Charge: Prüfung Selektionskriterien gegen Merkmale
•	Bewertung Charge Kundenmerkmale
•	Bewertung Charge: Zusätzliche Merkmale
•	BAdI: Vergleichsdatum zur Prüfung der Mindestrestlaufzeit beim WE auswählen
•	BAdI: Prüfung Mindesthaltbarkeitsdatum/Verfallsdatum
▼	Warenbewegungsbuchungen
•	Hinweise zur Implementierung
•	Bestandsartermittlung bei Umbuchungen
•	BAdI: Bestandsprüfungen bei Warenbewegungen
•	BAdI: Verbuchung von Warenbewegungen
▼	Warenbewegungen zur Lieferung
•	Hinweise zur Implementierung
•	BAdI: Warenbewegungen zur Lieferung
•	BAdI: Ermittlung von Bestandsattrib. beim manuellen Anlegen einer Lieferung
•	BAdI: Bestände für Verbrauchslieferung auswählen und sortieren
▼	Wegstreckenberechnung
•	Hinweise zur Implementierung
•	BAdI: Lagerplatzliste für Wegstreckenberechnung ändern
•	BAdI: Wegstreckenberechnung anhand der Lagerplätze
▼	Lieferung -Lageranforderung
•	BAdI: Archivierung von Lieferung - Lageranforderung
•	BAdI: Nachrichteneingangsverarbeitung
•	BAdI: Nachrichtenausgangsverarbeitung
•	BAdI: Datenübernahme von Quell- zu Zielobjekt (Eingangsprozess)
•	BAdI: Datenübernahme von Quell- zu Zielobjekt (Ausgangsprozess)
•	BAdI: Freigabe der Route
▶	Post Processing Framework (Kundenerweiterung)
•	BAdI: Erweiterung der Routensuchhilfe um Routenfahrpläne aus ERP
▶	Validierungen
▶	Ermittlungen
•	BAdI: Vergleichsdatum zur Prüfung der Mindestrestlaufzeit beim WE auswählen
•	BAdI: Prüfung Mindesthaltbarkeitsdatum/Verfallsdatum
•	BAdI: Dynpro-Erweiterungen für Kundenerweiterungsstrukturen
▶	Konfiguration zur Einplanung von PPF-Aktionen
•	BAdI: Ermittlung des Transportplanungssystems
•	BAdI: Aggregation und Priorisierung von Gefahrgutdaten
•	BAdI: Erweiterung der Auswahl auf den UIs Lieferung - Lageranforderung

Abb. 42: BAdIs in SAP EWM – IX



























































▼	Arbeitsmanagement
▼	Formel
•	  BAdI: Kundenspezifische Felder in Formeln für Arbeitsmanagement verwenden
▼	Indirekte Arbeit
•	 Hinweise zur Implementierung
•	  BAdI: Ändern einer indirekten Aufgabe
•	  BAdI: Ändern der dynamischen Attribute einer indirekten Aufgabe
▼	Ausführungsvorschau
•	 Hinweise zur Implementierung
•	  BAdI: Selektionszeitberechnung
•	  BAdI: Ändern der Arbeitslastvorschau
▼	Standardisierte Vorgabezeitbestimmung
•	 Hinweise zur Implementierung
•	  BAdI: Ändern der Vorgabezeitbestimmung
▼	Zeitliche Verfügbarkeit des Ausführenden
•	 Hinweise zur Implementierung
•	  BAdI: Zeitliche Verfügbarkeit des Ausführenden ermitteln
▼	Leistungsbeleg
•	 Hinweise zur Implementierung
•	  BAdI: Betrag berechnen
▼	Arbeitslast
•	 Hinweise zur Implementierung
•	  BAdI: Mengenfeld für ausgeführte Arbeitslast füllen
•	  BAdI: Mengenfeld für geplante Arbeitslast füllen
•	  BAdI: Geplante Zeiten des geplanten Arbeitslast-Datensatzes ändern
▼	Arbeitsbedarfsplanung
•	  BAdI: ABP-Verbindung zur HANA-Datenbank einrichten
•	  BAdI: Kundendaten zu historischem Arbeitslast-Datensatz hinzufügen
•	  BAdI: Dauer für historischen Arbeitslast-Datensatz runden
•	  BAdI: Prozessschritte und Verhältnis von Prozessschritten für AUSA ermitt.
•	  BAdI: Geplante Dauer des geplanten Arbeitslast-Datensatzes ermitteln
•	  BAdI: Geplante Dauer des geplanten Arbeitslast-Datensatzes runden
•	  BAdI: Arbeitszeit eines Vollzeitäquivalents definieren
•	  BAdI: Prognose der Arbeitslast
▼	Lagerleistungsabrechnung
•	  BAdI: Aggregierte Menge für Lagerleistungsabrechnung
•	  BAdI: Snapshot aktualisieren
•	  BAdI: Leistungsnachweis aktualisieren
•	  BAdI: Archivierung der LLE und des LN
▼	Dock Appointment Scheduling
•	  BAdI: Referenzbelege: Ermittlung des Business-Systems
•	  BAdI: Referenzbelege: Validierung
•	  BAdI: Referenzbelege: Referenzbeleg anzeigen
•	  BAdI: Ermittlung der Ladestelle
•	  BAdI: Ermittlung der Dauer eines Ladetermins
•	  BAdI: Ermittlung der Packstückanzahl
•	  BAdI: Eigenschaft für Ladetermine
•	  BAdI: Ermittlung der Eigenschaft
•	  BAdI: Texte der Ladetermine im Bild "Termine überwachen" ändern
•	  BAdI: Pflege von Terminen, die in SAP EWM geplant wurden

Abb. 43: BAdIs in SAP EWM – X





















































































▼	Reporting für Dock Appointment Scheduling
•	  BAdI: Ladevorlaufzeit im Yard
•	  BAdI: Ist-Dauer im Yard
•	  BAdI: Ist-Dauer am Tor
•	  BAdI: Abweichungen bei der Ankunft am Kontrollpunkt
•	  BAdI: Differenzen bei der Ladevorlaufzeit
•	  BAdI: Differenzen bei der Dauer des Termins im Yard
•	  BAdI: Differenzen bei der Dauer am Tor
•	  BAdI: Zeitliche Abweichungen bei Ankunft am Tor und Abfahrt vom Tor
•	  BAdI: Erweiterungen für das Reporting in Dock Appointment Scheduling
▼	Monitoring
•	  BAdI: Liste der Gefahrstoffe für die Feuerwehr
▼	Grafisches Lagerlayout (GLL)
•	 Hinweise zur Implementierung
•	  BAdI: Kontextmenü erweitern
•	  BAdI: GLL-Anzeige ändern
•	  BAdI: Funktion auf Mausklick
•	  BAdI: Zusätzliche Markierungen definieren
▼	Lagerverwaltungsmonitor
•	  BAdI: Kundenimplementierung eines Monitor-Hotspots
•	  BAdI: Feldsteuerung für Produktmassenänderungen
▼	Nachrichten-Queue-Monitoring
•	  BAdI: Festlegung von Attributen für Nachrichten-Queues
•	  BAdI: Ergebnisse der Nachrichten-Queue-Auswahl ändern
•	  BAdI: Festlegung von Systemen für Nachrichten-Queue
•	  BAdI: Protokoll für Nachrichten-Queue lesen
•	  BAdI: Festlegen, welche Nachricht für eine Queue angezeigt wird
•	  BAdI: Elemente im Alert-Container für Queues setzen
•	  BAdI: Alert-Empfänger für Queue festlegen
•	  BAdI: Relevante Queue-Status zum Lesen von Anwendungslogs und Alerting
•	  BAdI: Verfeinern der Standard-Queue-Aggregationen
▼	Schnittstellen
▼	RFID
▼	RFID-Erweiterungen
•	 Hinweise zur Implementierung
•	  BAdI: ID für HU oder Produkt
•	  BAdI: Aktion nach RFID-Scan-Vorgang
•	  BAdI: Prüfung, ob Be-/Entladen, WE-/WA-Buchung erlaubt ist
•	  BAdI: Änderung der Packhierarchie für Verpacken nach RFID-Scan-Vorgang
•	  BAdI: Änderungen vor dem Kodieren/Dekodieren
•	  BAdI: Zusätzliche Funktionen am Ende der Standardaktionen
•	  BAdI: Aufbau der Aufruftabelle für Kodierung
▼	Drucken mit RFID
•	 Hinweise zur Implementierung
•	  BAdI: RFID-Etikettendruck für Handling Units
•	  BAdI: RFID-Etikettendruck für Lageraufträge
•	  BAdI: Transponder für Ressource schreiben
•	  BAdI: RFID-Etikettendruck für Lagerplätze
▼	Enterprise-Services
▼	Lieferabwicklung
▼	XML-Messages: Lieferabwicklung
•	 Hinweise zur Implementierung
•	  BAdI für DispatchedDeliveryNotification
•	  BAdI für DeliveryInformation
•	  BAdI für InboundDeliveryByElementsQueryResponse
•	  BAdI für OutboundDeliveryByElementsQueryResponse

Abb. 44: BAdIs in SAP EWM – XI


































































▼	Yard-Management
▼	XML-Messages: Setzen des Ablaufdatums der ext. Sperre
•	 Hinweise zur Implementierung
•	  BAdI für Setzen des Ablaufdatums der externen Sperre
▼	XML-Messages: Einplanbedingungen für Fahrzeuge, TEs und Tore
•	 Hinweise zur Implementierung
•	  BAdI für Fahrzeugbelegung - Einplanbedingung
•	  BAdI für TE-Belegung - Einplanbedingung
•	  BAdI für Torbelegung - Einplanbedingung
▼	XML-Messages: Tor-, Fahrzeug-, TE-Belegung
•	 Hinweise zur Implementierung
•	  BAdI für DockAppointment...Notification
•	  BAdI für DockAppointmentByElementsQueryResponse
•	  BAdI für DockAppointment...RequestConfirmation
•	  BAdI für VehicleAppointment...Notification
•	  BAdI für VehicleAppointmentByElementsQueryResponse
•	  BAdI für VehicleAppointment...RequestConfirmation
•	  BAdI für TransportationUnitAppointmentLoadingAdvancedNotification
•	  BAdI für TransportationUnitAppointment...Notification
•	  BAdI für TransportationUnitAppointmentByElementsQueryResponse
•	  BAdI für TransportationUnitAppointment...RequestConfirmation
▼	Lagerorganisationsdaten
▼	XML-Messages: Lagerlayout
•	 Hinweise zur Implementierung
•	  BAdI für StorageBinQueryResponse
•	  BAdI für YardCheckpointQueryResponse
•	  BAdI für WarehouseDoorQueryResponse
•	  BAdI für WarehouseStagingAreaQueryResponse
•	  BAdI für WarehouseAreaQueryResponse
•	  BAdI für WarehouseSubAreaQueryResponse
•	  BAdI für WarehouseQueryResponse
•	  BAdI für WarehouseWorkStationQueryResponse
▼	Handling Units
▼	XML-Messages: Handling Unit
•	 Hinweise zur Implementierung
•	  BAdI für HandlingUnitQueryResponse
▼	Bestand
▼	XML-Messages: Bestand
•	 Hinweise zur Implementierung
•	  BAdI für InventoryQueryResponse
▼	TM-EWM-Integration
▼	Erweiterungen zur TM-EWM-Integration
•	 Hinweise zur Implementierung
•	  BAdI: TransportationOrderLoadingAppointmentRequest_IN
•	  BAdI: TransportationOrderLoadingAppointmentNotification_OUT
•	  BAdI: Liefererstellung - TransportationOrderLoadingAppointmentRequest_IN
•	  BAdI: URI des Transportbelegs holen
•	  BAdI: Verarbeiten von Luftfracht-Sicherheitsinformationen

Abb. 45: BAdIs in SAP EWM - XII

































▼	ERP-Integration
•	  BAdI: ERP-EWM-Integration der Lieferung
•	  BAdI: Generierung des in EWM zu verwendenden PVB-Namens
▼	Eingehende Nachrichten aus dem ERP-System in das EWM
•	 Hinweise zur Implementierung
•	  BAdI: Anlegen von Anlieferungen im EWM
•	  BAdI: Anlegen von Auslieferungen im EWM
•	  BAdI: Ersetzen von Anlieferungen im EWM
•	  BAdI: Priorität auf Folgebelege fortschreiben
•	  BAdI: Fehlende Produktstammdaten beim Abbild. der Eingangsverarb. handhaben
•	  BAdI: Fehlende Geschäftspartner und Lokation beim Abbilden handhaben
▼	Ausgehende Nachrichten vom EWM in das ERP-System
•	 Hinweise zur Implementierung
•	  BAdI: Anlegen von Anlieferungen im ERP-System
•	  BAdI: Ersetzen von Anlieferungen im ERP-System
•	  BAdI: Ändern von Auslieferungen im ERP-System
•	  BAdI: Replikation von Auslieferungen in ERP-System
•	  BAdI: Wareneingang von Anlieferungen im ERP-System
•	  BAdI: Warenausgang von Auslieferungen im ERP-System
•	  BAdI: Splitten von Anlieferungen im ERP-System
•	  BAdI: Splitten von Auslieferungen im ERP-System
•	  BAdI: Anlieferungen aus der Fertigung validieren
•	  BAdI: Nachricht eine behandelnde Klasse zuweisen
•	  BAdI: Kundenspezifische Daten an ERP-Nachricht anfügen
•	  BAdI: Kundenspezifische Nachrichtenart für Auslieferung definieren
•	  BAdI: Kundenspezifische Nachrichtenart für Anlieferung definieren
•	  BAdI: Kundenspezifische Nachrichtenart für Auslieferungsauftrag definieren
•	  BAdI: Kundenspezifische Nachrichtenart für Umbuchungslieferung definieren
•	  BAdI: Sortierung von ermittelten Nachrichten
▼	Lieferabwicklung
•	  BAdI: Konvertierung Seriennummer ERP-EWM
•	  BAdI: Zusatzfunktionen Fehler in qRFC
▼	Steuerung zum Aufruf der ERP-Anlieferungstransaktion
•	 Hinweise zur Implementierung
•	  BAdI: Steuerung zum Aufruf der ERP-Anlieferungstransaktion
•	  BAdI: Übersteuerung Daten VL60 / Aufruf alternativ. Anlieferungstransaktion
▼	Warenbewegungen
•	  BAdI: Interne/externe Darstellung des PSP-Elements
▼	ERP-Warenbewegungsschnittstelle
•	 Hinweis zur Implementierung
•	  BAdI: Erweiterung der ERP-Warenbewegungsschnittstelle
•	  BAdI: Erweiterung der ID-Abbildung von ERP-Bestand
▼	Produktion
•	  BAdI: ERP-Nachrichten für die Produktion
•	  BAdI: Beleg- und Positionsart für die ERP-Integration für die Produktion
▼	TM-Integration
•	  BAdI: Abbildung erweitern für LLEA-Erstellung aus FrachtvereinbMmngtSystem
•	  BAdI: Abbildung erweitern für LLEA-Erstellung aus SpedVereinb-Mgnmt-System
•	  BAdI: Frachtserviceauftrag in ext. Vereinbarungs-Management-System anlegen
•	  BAdI: Speditionsauftrag in externem Vereinbarungs-Management-System anlegen

Abb. 46: BAdIs in SAP EWM – XIII

▼	SAP Business Information Warehouse
•	Hinweise zur Implementierung
•	BAdI: Anreicherung von Daten während der Extraktion (PULL)
•	BAdI: Anreicherung von Daten während der Extraktion (PUSH)
•	BAdI: Verdichtung von Lageraufgaben
•	BAdI: Setzen des Kennzeichens für die Vollpalettenentnahme
•	BAdI: Berechnung von Zeit im Yard
•	BAdI: Berechnung der Verzögerung der Auslieferungsposition
•	BAdI: Setzen von Kennzeichen "Nicht relevant" für Lieferpositionen
•	BAdI: Ermittlung von Geschäftsprozess für Lieferung
▼	Fremdsysteme
▼	LSR-Schnittstelle
•	Hinweise zur Implementierung
•	BAdI: IDoc-Ausgang Lageraufgabe anlegen
•	BAdI: IDoc-Eingang Lageraufgabe anlegen
•	BAdI: IDoc-Eingang Lageraufgabe quittieren
•	BAdI: IDoc-Ausgang Lageraufgabe stornieren
•	BAdI: IDoc-Eingang Lageraufgabe stornieren
•	BAdI: IDoc-Eingang Bewegen HU
•	BAdI: IDoc-Ausgang Welle freigeben
•	BAdI: IDoc-Eingang Sperren Lagerplatz
•	BAdI: IDoc-Eingang Fehlerbehandlung
▼	Materialflusssystem (MFS)
•	Hinweise zur Implementierung
•	BAdI: Manipulation des Empfangstelegramms
•	BAdI: Manipulation des Sendetelegramms
•	BAdI: Ermittlung der Parameter für die Einlagerstrategie am I-Punkt
•	BAdI: Ermittlung eines neuen Nachlagerplatzes
▼	Migration aus LE-WM
•	BAdI: Lagerplatzinformationen beim Herunterladen ändern
•	BAdI: Bestandsinformationen beim Herunterladen ändern
•	BAdI: Produktdaten beim Herunterladen ändern
•	BAdI: Migrationsdaten aus ERP lesen
▼	Mobile Datenerfassung
▼	Kommissionierung mit Radio-Frequency (RF)
•	Hinweise zur Implementierung
•	BAdI: Bestimmen der Pick-HU
•	BAdI: Erlaubnis setzen zum Umsortieren der LB-Reihenfolge
•	BAdI: Umsortieren der LB-Reihenfolge
•	BAdI: Filtern von Kommissionier-LBs bei Selektion nach Lageranforderung
•	BAdI: Lageraufgabe vor Quittierung vorprüfen
•	BAdI: Einschränkung des Klärplatzes
•	BAdI: Definition der Sammelkommissionierung

Abb. 47: BAdIs in SAP EWM – XIV















































































▼	Eingang aus der Produktion mit Radio-Frequency (RF)
•	  BAdI: Vorschlag von Daten für einzugehende Position
•	  BAdI: Chargenattribute für geänderte Chargen einstellen
▼	Ablaufverarbeitung von RF-Framework
•	 Hinweise zur Implementierung
•	  BAdI: Verarbeitung nach Aufruf des definierten Schrittablaufs
•	  BAdI: Vor Aufruf des definierten Schrittablaufs
•	  BAdI: EAN128-Barcode Unterstützung Initialisierung
•	  BAdI: Drucken LA und HU-Papiere aus RF-Transaktionen
•	  BAdI: Handling-Unit-Verifikation
•	  BAdI: Produktvalidierung für bevorzugte Mengeneinheit
•	  BAdI: Produktvalidierung für abweichende Mengeneinheit
•	  BAdI: Standardproduktmenge pro HU und Standard-ME
•	  BAdI: Bildschirmfeld Spracheigenschaften bearbeiten
•	  BAdI: Automatisches Wiegen und Vermessen
•	  BAdI: RF: HU-Prüfungen für den Eingang von HUs im Transitlager
•	  BAdI: RF: ULD prüfen und Packmittel im Transitlager ermitteln
▼	Materialflusssystem (MFS)
▼	BAdIs für das Materialflusssystem
•	 Hinweise zur Implementierung
•	  BAdI: Identifikationspunktverarbeitung
•	  BAdI: Neubestimmung des Ziellagerplatzes für inaktive Lageraufgabe
•	  BAdI: SPS-Objekt aus EWM-Objekt generieren
•	  BAdI: Ermitteln eines leeren Platzes im aktuellen Gang
•	  BAdI: Neubestimmung des nächsten Lagerauftrags
•	  BAdI: HU, die sich an falscher Lokation befindet, am Meldepunkt akzeptieren
•	  BAdI: Ermittlung von in Telegrammen verwendeten Handling Units
•	  BAdI: Ermittlung des nächsten Lagerauftrags
•	  BAdI: Filtern und Ändern von Lageraufgaben vor Senden von Telegrammen
•	  BAdI: Umlagerung von HUs in mehrfachtiefen Lagerplätzen
•	  BAdI: Kundenlogik für periodische Aktion
•	  BAdI: Fehlerbehandlung für empfangene Telegramme
•	  BAdI: Festlegen von MFS-Servergruppen
▼	BAdIs Telegrammkommunikation
•	 Hinweise zur Implementierung
•	  BAdI: Manipulation des Quittiertelegramms
•	  BAdI: Kommunikationskanal ermitteln
•	  BAdI: Eingehendes Telegramm auf Fehler überprüfen
•	  BAdI: Kommunikationspunkt für eingehende Telegramme ermitteln
•	  BAdI: EWM-Objekte auf SPS-Objekte abbilden
•	  BAdI: Ermitteln des SPS-Objekttyps aus den Telegrammdateien
•	  BAdI: SPS-Objekte auf EWM-Objekte abbilden
•	  BAdI: Manipulation des Empfangstelegramms
•	  BAdI: Ziehen einer sequentiellen Nummer
•	  BAdI: Manipulation des Sendetelegramms
•	  BAdI: Zuordnung von MFS-Fehler zu Ausnahmecode

Abb. 48: BAdIs in SAP EWM – XV

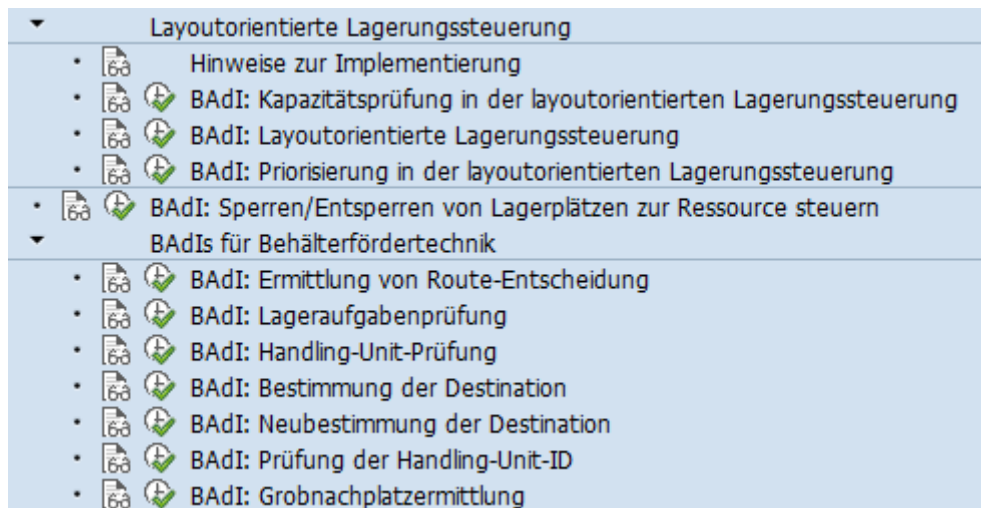


Abb. 49: BAdIs in SAP EWM - XVI

IX. Beispielprozess basierend auf passiven Kennzeichnungen ohne CPS

In Abschnitt 6.5.2 ist ein Anwendungsbeispiel für die Umsetzung der Industrie 4.0 aufgezeigt worden, bei der das EWM-System nur noch wenige Funktionalitäten übernimmt. Alternativ dazu soll an dieser Stelle eine Anwendung dargelegt werden, die sich ebenfalls auf den in Abschnitt 6.5.1 beschriebenen Beispielprozess bezieht, jedoch ohne CPS erfolgt. Im Rahmen der grundlegenden Strukturen, die bereits in Abschnitt 6.5.2 benannt worden sind, hat das EWM-System somit einen deutlich umfangreicheren Aufgabenbereich als bei dem CPS-basierten Prozess.

Der Prozess der Entladung sowie der Produkt-, Mengen- und Qualitätsprüfung unterscheidet sich nicht von dem alternativen Prozess mit CPS, weshalb an dieser Stelle auf Abschnitt 6.5.2 verwiesen wird. Daran anschließend werden die angelieferten Paletten dekonsolidiert. Für die Dekonsolidierung sind die Erstellung von Aktivitätsbereichen sowie die Lagerungssteuerung Voraussetzungen. Da zwischen der WE-Zone und dem Übergabeplatz zur Einlagerung noch ein Dekonsolidierungsplatz eingerichtet werden muss, wird hier die LOLS verwendet. D. h., die Einlagerung erfolgt nicht auf direktem Wege, sondern geht über den Dekonsolidierungsplatz, welcher in Abb. 50 definiert worden ist. Hierbei ist eine LPA, in diesem Fall P341, zu vergeben, deren Definition ebenfalls im Customizing vorgenommen worden und in Abb. 51 dargestellt ist.

Sicht "Arbeitsplatz definieren" ändern: Übersicht								
Arbeitsplatz definieren								
La...	Arbeitspl.	Bezeichnung	Schritt	La...	EBer	ABer	LPA Ump.	Layout
DL01	DEKO	Dekonsolidieren im Wareneingang	IB02	T830	SI01		P341	VPMX

Abb. 50: Dekonsolidierungsplatz definieren

Sicht "Lagerprozessart" ändern: Übersicht		
Lagerprozessart		
La...	La...	Bezeichnung
DL01	P341	Umpacken

Abb. 51: LPA für Dekonsolidierungsplatz

Die Dekonsolidierung über Pick-by-Vision ermöglicht eine Auftragspezifische Bereitstellung der Umpackinformationen. Durch die im Vorhinein erfasste RFID-Massenerfassung sind in dem EWM-System bereits die Informationen über die Behälter, die sich auf einer Palette befinden hinterlegt. Neben den LTs sind auch die Ressourcen mit RFID-Tags ausgestattet und bekommen einen EPC zugeordnet.

Da in diesem Szenario die Einlagerung EWM-gesteuert erfolgt, ist vor dem Hintergrund einer intelligenten Infrastruktur die Lagerungsdisposition in Betracht zu ziehen, da hierdurch optimale Lagerpositionen bereits im WE automatisch bestimmt werden können. Durch die anschließende LB-Erstellung werden die Lageraufträge gemäß der berechneten, optimalen Nachlagerplätze eingesteuert. Das EWM-System ist zudem in der Lage, bereits vor der Einlagerung zu prüfen, ob ankommende Ware an anderer Stelle benötigt wird, um sie dann über ein gezieltes Cross Docking in die entsprechenden Bereiche zu verbringen. Diesbezüglich ist in Abschnitt 6.1 herausgestellt worden, dass sich systemseitig das durch EWM angestoßene opportunistische CD für eine kurzfristige und damit Echtzeitnahe Entscheidungsfindung anbietet. Hierfür ist, wie in Abb. 52 dargestellt, ein BAdI notwendig. Der entsprechende Funktionsbaustein wird im Quellcode ergänzt und schafft dadurch mehr Flexibilität in der intelligenten Fabrik.

Opportunistisches Cross-Docking, das EWM anstößt	
Opportunistisches Cross-Docking, das EWM anstößt (Eingang)	
• Hinweise zur Implementierung	
• BAdI: Von der Anlieferung angestoßenen CD-Prozess aktivieren und anpassen	
Opportunistisches Cross-Docking, das EWM anstößt (Ausgang)	
• Hinweise zur Implementierung	
• BAdI: Von der Auslieferung angestoßenen CD-Prozess aktivieren und anpassen	

Abb. 52: BAdI für opportunistisches Cross-Docking

Die Arbeitsplatzermittlung für das CD ist ebenfalls festzulegen und in Abb. 53 dargestellt. Dafür ist im Vorhinein ein Lagerplatz zu bestimmen, der den entsprechenden Lagertypen und Lagerbereichen zugeordnet wird.

Lagernummer					DL01
Arbeitsplatzermittlung für Cross-Docking					
	Vo...	HU...	La...	La...	Lagerplatz
	T830	HG02	T831	S001	CD01

Abb. 53: Arbeitsplatzermittlung für Cross-Docking

Wird die Ware nicht über den CD-Prozess zum WA gebracht, sondern zunächst eingelagert, greift die Lagerungsdisposition. Diese wird für jedes Produkt individuell anhand des Einlager- bzw. Auslagersteuerkennzeichens, des Lagerbereichs und des Lagerplatztyps bestimmt. Hinsichtlich der operativen Umsetzung besteht die Möglichkeit, einen Hintergrundjob auszuführen. Zunächst sind jedoch einige Customizing-Einstellungen vorzunehmen, die der Abb. 54 entnommen werden können. Hierbei wird deutlich, dass neben allgemeinen Stammdaten und Einstellungen auch Einflussparameter sowie die entsprechende Konditionstechnik anzugeben sind. Das EWM-System ermöglicht damit die Berücksichtigung diverser Kennzahlen und Toleranzbereiche. Hierzu gehören z. B. Dimensionsindikatoren wie Gewicht oder Volumen und Bedarfsindikatoren, die maximale Bedarfsmengen festlegen. Für LTs sind z. B. entsprechend der Regalkapazitäten nur bestimmte Maße innerhalb der Intervallgrenzen erlaubt.

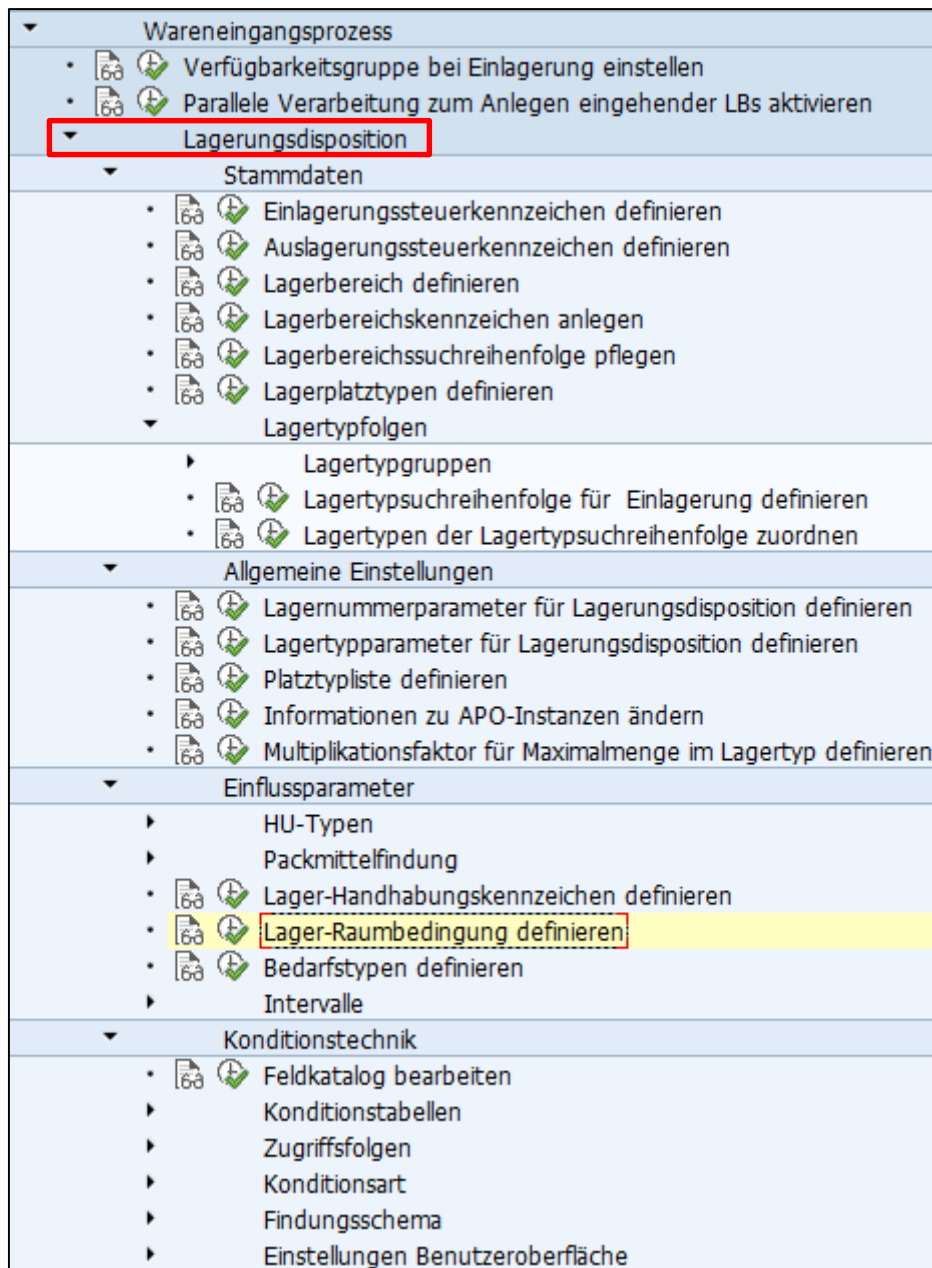


Abb. 54: Customizing-Einstellungen Lagerungsdisposition

Sind diese Customizing-Einstellungen vorgenommen worden, ist die Festlegung bestimmter Stammdaten erforderlich, um die Lagerungsdisposition im operativen Betrieb nutzen zu können. Die Abb. 55 veranschaulicht einen Auszug der möglichen Einstellungen im Easy-Access-Menü. Dabei sind das Produkt, welches einer Lagerungsdisposition unterzogen werden soll, die Lager-Produktgruppe, die Lagernummer sowie der Verfügungsberechtigte elementare Daten, die zugeordnet werden müssen. Die Felder sind für dieses Anwendungsbeispiel mit möglichen Werten gefüllt, die im Vorhinein im Customizing gepflegt worden sind. Die roten Kästchen zeigen auf, wo jeweils Daten eingetragen worden sind. Für dieses Beispiel wird demnach der Gewichtsindikator als Restriktion verwendet. Darüber hinaus sind im Rahmen der Lagerungsdisposition die ESK, ASK und LBK, sowie der Lagerplatztyp zu berücksichtigen. Wird in diesem Zusammenhang angenommen, dass sich die Nachfrage verändert, sodass sich innerhalb der Lagernummer z. B. Langsamdreher zu Schnelldrehern entwickeln, reagiert die Lagerungsdisposition flexibel

ohne manuelle Anpassungen, da sie auf den gleichbleibenden Lagerprodukt Daten basiert. Abb. 56 zeigt auf, dass der Gewichtsindikator in der Lagerprodukt pflege festgelegt werden kann. Die Lagerungsdisposition bezieht sich ebenso wie die Reorganisation immer auf den jeweiligen Indikator, wodurch ein passender Lagerplatz gefunden wird. In diesem Beispiel steht der Gewichtsindikator GL01, welcher im Customizing hinterlegt ist, für Großteile, die bis zu 100 kg wiegen können. Somit würde dieses Produkt auch bei einer Reorganisation nicht im AKL eingelagert werden, wo die Gewichtsbeschränkung bei 20 kg liegt.

Lagerungsdisposition

Auswahl Produkt

Produkt	TESTPRODUKT-DL1	bis		
Lager-Produktgruppe	0002	bis		
Datum LagerungsDispoLauf	18.07.2016	bis		

Selektion Lokation

Lagernummer	DL01
Verfügungsberechtigter	BPPL01V

Auswahl Lagerungsdispositionsschritte

- Gewichtsindikator bestimmen
- Volumenindikator bestimmen
- Höhenindikator bestimmen
- Breitenindikator bestimmen
- Längenindikator bestimmen

- Bedarfsmenge aktualisieren
- Anz. Auftragspos aktualisieren
- Empf. Lagermenge aktualisieren

- Bedarfsmengenindikator best.
- Ind. Anz. Auftragspos. best.
- Ind. empfohl. Lagermenge best.

- Einlagerungssteuerkennz. best.
- Auslagerungssteuerkennz. best.
- Lagerbereichskz. bestimmen
- Lagerplatztyp bestimmen

Abb. 55: Stammdaten-Einstellungen Lagerungsdisposition

Lagerproduktpflege

Produkt: TESTPRODUKT-DL1 Basis-ME: PAL
Produktbezeichn: Testprodukt 1 Dorothee Lichtlein
Lagernummer: DL01 Lager Dorothee Lichtlein DL01
VerfügBer.: BPPL01V PL01

Navigation: Packdaten Lagerung Lagerdaten Lagerungsdisposition Lagertypdaten

Allgemeine Daten

Status Lagerdisposition
Zeitpunkt Lagerdisposition _____

Bedarfsdaten

Bedarfsmenge Fix.
Kundenauftragspos. Fix.
Empf. Lagermenge Fix.
Bedarf MaxMenge

Dimensionsdaten

Dimensionsverhältnis

Gewichtsindikator GL01 Fix.
Volumenindikator Fix.
Längenindikator Fix.
Breitenindikator Fix.
Höhenindikator Fix.

Abb. 56: Lagerproduktpflege

Die Lagerungsdisposition ist im Optimalfall im Hintergrund durchzuführen. Um sie besser nachvollziehen zu können, kann sie auch manuell durch den Anwender ausgeführt werden. Eine Übersicht der Umlagerempfehlungen ist über den Button Simulieren bzw. Sim Details entsprechend der roten Kästchen der Abb. 57 aufzurufen.

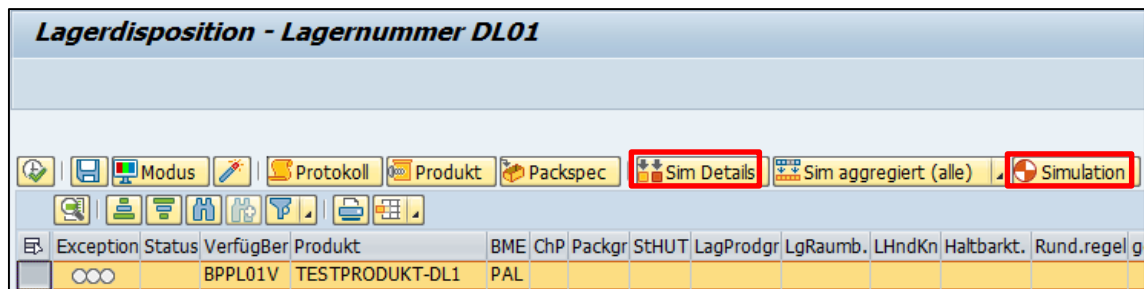


Abb. 57: Lagerdisposition simulieren

Im Anschluss daran wird der Produktstamm hinsichtlich der aus der Lagerungsdisposition entspringenden Planwerte aktualisiert. Durch die darauffolgende Aktivierung der Planwerte, werden die Materialstammdaten fortgeschrieben und z. B. der Lagerbereich von Langsamdreher auf Schnelldreher umgestellt.

Als wesentliches Steuerungsinstrument, mit dem die Lageraufträge erstellt werden, ist auch für den hier vorgesehenen Beispielprozess die Erstellung von LAERs notwendig. Aufgrund dessen werden verschiedene Einstellungen, die hierfür vorzunehmen sind im Folgenden näher erläutert. Bevor die LAER erstellt wird, ist es möglich, ein Packprofil anzulegen, welches anschließend der LAER zugeordnet wird. Dabei wird für das Industrie 4.0-Szenario angenommen, dass kundenspezifische Verpackungen auszuwählen sind. Zwar ist die Verpackung für die Einlagerung nicht unbedingt relevant, allerdings ist die Erläuterung an dieser Stelle thematisch besser einzuordnen, um das Thema der Lagerauftragserstellung abzurunden. Für ein individuelles Packprofil, das kundenspezifische Verpackungen ermöglicht, wird ein BAdI benötigt. Die entsprechende Einstellung ist an dieser Stelle vorzunehmen. Die Implementierung des BAdIs erfordert einen Entwickler-schlüssel und tiefere ABAP-Programmierenkenntnisse, weshalb sie im Rahmen dieser Arbeit nicht näher erläutert wird.

Für die Ermittlung des Packvorschlags ist darüber hinaus die Prüfung auf Länge, Breite und Höhe möglich. Automatische LB-Splits sind ebenso einstellbar für den Fall, dass eine HU nicht ausreicht, um die gesamte Lageraufgabe abzudecken. Die entsprechenden Einstellungen sind im Packprofil für die Lagerauftragserstellung möglich und in Abb. 58 nachvollziehbar.

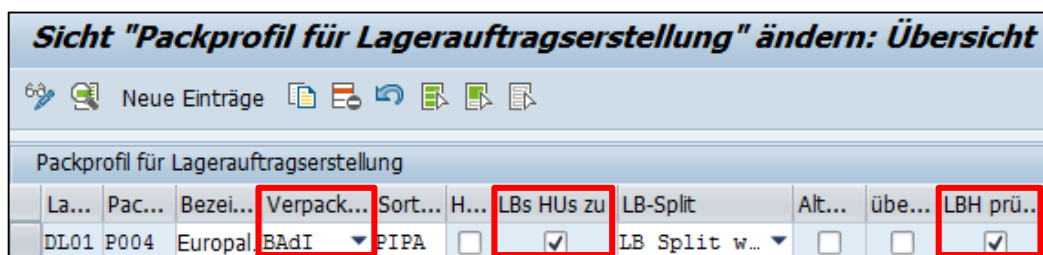


Abb. 58: Packprofil für Lagerauftragserstellung

Das definierte Packprofil wird im Rahmen der Lagerauftragsstellungsregeln zugeordnet und dient damit als Grundlage für alle LAs, die unter diese Regel fallen. Weitere Einstellungsmöglichkeiten für die Definition der LAER sind der Abb. 59 zu entnehmen.

Sicht "Lagerauftragserstellungsregeln" ändern: Detail

Neue Einträge BC-Set: Feldwert ändern

Lagernummer DL01

LA-Erstellregel PU01

Lagerauftragserstellungsregeln

Bezeichnung Einlagerung

Erstellungstyp Kommissionierweg

Positionsfilter

ZwSummenFilter

Grenze

Eingangsort. PIPA

LA-Sortierung PIPA

Packprofil P004

VersandPackpr. P002

Rüstzeit 5

Zeiteinheit MIN

Nachlagertyp

Nachlagerber.

Nachlagerplatz

Lagerungsprozess

AP ermitteln

LA gesperrt

VP-Kompatibilität

Abb. 59: Definition Lagerauftragserstellungsregel

Damit innerhalb der Aktivitätsbereiche korrekte Nachlagertypen gefunden werden, können Suchreihenfolgen für Regeln pro Aktivitätsbereich festgelegt werden. Die entsprechenden Zuordnungen sind in Abb. 60 dargestellt. Hierbei wird die LAER direkt berücksichtigt.

Lagerauftrag: Suchreihenfolge für Regeln pro Akt.bereich					
La...	AktivBer.	Aktivität	Fortlaufende Nr.	LAER	Bezeichnung
DL01	WEBE	PTWY	1	PU01	Einlagerung

Abb. 60: Suchreihenfolge für Regeln pro Aktivitätsbereich

Für eine Gruppierung der LAs bei der Einlagerung werden Queues gebildet. Den Queues können geeignete Ressourcen(gruppen) zugeordnet werden. Als Kriterien sind z. B. fahrzeugtechnische Anforderungen und kürzeste Wege möglich.

Um den Lageraufträgen Queues zuzuordnen, sind einige Einstellungen im Einführungsleitfaden sowie im Easy-Access-Menü notwendig, die nachfolgend aufgezeigt werden.

Nachdem, wie in Abb. 61 dargestellt, die Queues definiert worden sind, werden entsprechend der Abb. 62 Findungskriterien bestimmt. Hiermit können Von- und Nach-Aktivitätsbereiche sowie Platzzugriffstypen, LPAs und Aktivitäten berücksichtigt werden. Demnach werden bereits hier die nachfolgenden Prozessschritte für jeden Auftrag, der in diese Queue läuft, festgelegt. Variationen hinsichtlich der Auftragspezifischen Prozesse müssen demnach bereits vor der Queue-Zuordnung erfolgen.

Queue-Definition						
La...	Queue	Bezeichnung	QTyp	Ausführungsumf.	H...	Druc...
DL01	WE-CD	Cross Docking i...CD		RF, Ressourcenmanag...	<input type="checkbox"/>	
DL01	WE-ÜP	WE-Prozess zu...INB		RF, Ressourcenmanag...	<input type="checkbox"/>	

Abb. 61: Queue-Definition – Customizing

Zuordnung Queuefindungskriterien						
La...	AB	AB	PlZugrTyp	Lagerp...	Aktivität	Queue
DL01	DL01	DL02		P110	PTWY	WE-ÜP
DL01	DL01	DL03		CD	INTL	WE-CD
DL01	DL02	DL03		2010	PICK	MFS-WA
DL01	PIA1				INVE	Q-PI
DL01	PIA2				INVE	Q-PI

Abb. 62: Queue Findungskriterien - Customizing

Über die Queue Zugriffsfolge kann im Customizing festgelegt werden, welche Parameter bei der Erstellung der Queue zu berücksichtigen sind, bzw. wie zu verfahren ist, wenn Parameter fehlen. In Abb. 63 ist die Reihenfolge, nach der die Queue-Findung erfolgt, anhand der fortlaufenden Nummer zu erkennen. Die Suche nach einer passenden Queue für eine LB berücksichtigt zunächst alle Parameter. Sind jedoch nicht alle Parameter verfügbar, wird mit der nächsten Zugriffsfolge fortgefahren. Hierbei kann in diesem Beispiel der Nach-Aktivitätsbereich ausgelassen werden. In der dritten Zugriffsfolge wird auf den Von-Aktivitätsbereich verzichtet usw.

Queue Zugriffsfolge						
La...	Fortl. Num	VonBereich	NachBerei.	Lagerplatz	Prozessart	Aktivität
DL01	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
DL01	2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
DL01	3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
DL01	4	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
DL01	5	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
DL01	6	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
DL01	7	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Abb. 63: Queue Zugriffsfolge – Customizing

Bei der Zuordnung der Queue-Folge zu einer Ressourcengruppe wird anhand der Abb. 64 deutlich, dass das EWM-System prinzipiell ein Doppelspiel und damit eine optimale Lösung im Standard vorsieht. Soll kein Doppelspiel durchgeführt werden, muss dies über einen Haken entsprechend gekennzeichnet werden.

Lagernummer DL01				
Queue-Folge je Ressourcengruppe				
RessGruppe	Fortlaufende Nr.	Queue	Kein Doppelspiel	
RG01	1	Q-830-010	<input type="checkbox"/>	
RG02	1	Q-911-830	<input type="checkbox"/>	
RG03	1	Q-050-051	<input type="checkbox"/>	

Abb. 64: Zuordnung von Ressourcen Gruppen zu Queues

Des Weiteren legen die Ressourcentypen die Art der Ressource fest. Für das vorliegende Beispiel sind demnach FTS als wesentlicher Ressourcentyp zu definieren. In Abb. 65 wird ersichtlich, dass EWM außerdem die automatische Positionsverwaltung berücksichtigt, sofern sie in dieser Transaktion ausgewählt wird. Diese bezieht sich jedoch nicht auf die Position der Ressource in der Fabrik, sondern beschreibt nur die Position einer HU auf der Ressource.

Ressourcentypen definieren							
La...	RessourTyp	Bezeichnung	Kein Dopp...	G...	G..	ME	Positionsverw.
DL01	FTS	Fahrerloses Tran..	<input type="checkbox"/>				Automatische Positionsverwal

Abb. 65: Ressourcentypen definieren

Die Anlage der Ressourcen berücksichtigt die Ressourcentypen und ermöglicht die ressourcen-spezifische Queuezuordnung. Notwendig ist diese Zuordnung jedoch nicht.

Falls eine Ressource zurück in die Warteschlange im WE bzw. für den WA zum Übergabeplatz WA gebracht werden soll, ist die Angabe eines Standardplatzes für die Ressource möglich, wenn sie aktuell keinen Auftrag fährt. In Abb. 66 ist dementsprechend für die Ressourcen FTS1, FTS2 und FTS3 die Angabe Warteschlange WE bzw. Übergabeplatz WA getroffen worden. Zugleich besteht aber auch die Möglichkeit, den Ressourcen Spielraum zu lassen. Die Ressourcen FTS4, FTS5 und FTS6 stehen demnach für alle Bereiche zur Verfügung.

Ressourcen								
Ressource	RessourTyp	RessGrup...	StEndg...	Queue	Standardplatz	Lagerplatz	Dru...	Pe...
FTS1	FTS	RG01	PRES	WE-CD	WARTESCHLANGE WE	WARTESCHLANGE WE	2	<input checked="" type="checkbox"/>
FTS2	FTS	RG02	PRES	WE-ÜP	WARTESCHLANGE WE	WARTESCHLANGE WE	2	<input checked="" type="checkbox"/>
FTS3	FTS	RG03	PRES	MFS-WA	ÜBERGABEPLATZ WA	ÜBERGABEPLATZ WA	2	<input checked="" type="checkbox"/>
FTS4	FTS						2	<input checked="" type="checkbox"/>
FTS5	FTS						2	<input checked="" type="checkbox"/>
FTS6	FTS						2	<input checked="" type="checkbox"/>

Abb. 66: Definition der Ressourcen im SAP Easy Access Menü

Damit die Ressourcen wegeoptimiert Aufträge fahren können, sind in komplexen Systemen vorrangig externe Systeme heranzuziehen. Die Ressourcensteuerung im EWM-System basiert auf der LA-Sortierung, welche wiederum an LAERs gebunden ist und somit einmalig für die Einlagerung erstellt wird. Flexible Anpassungen sind demnach im Standard nicht möglich. In Abb. 67 sind allerdings verschiedene BAdI-Einstellungsmöglichkeiten für das Ressourcenmanagement

veranschaulicht, die im Rahmen der Lagerauftragserstellung zusätzliche Optionen bieten. In diesem Kontext sind insbesondere die Lagerauftragsselektion und die Queue-Ermittlung für die nachfolgende Lagerungssteuerung relevant.

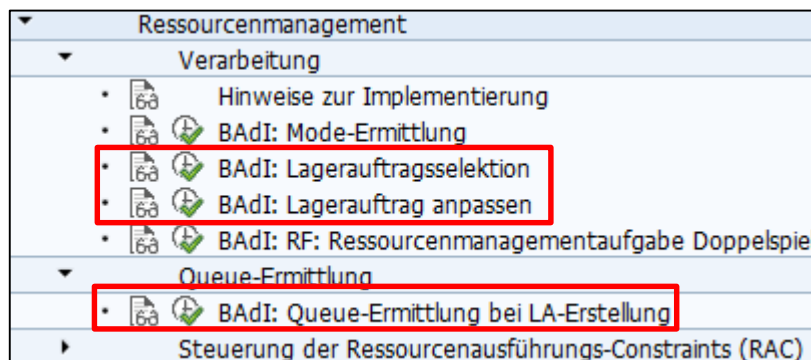


Abb. 67: Customizing - Ressourcenmanagement

Für die Einlagerung sollen entsprechend des Beispielprozesses FTS verwendet werden. Die Routenfindung obliegt dabei der FTS-Steuerung, wohingegen der Materialflussrechner für die Prozesssteuerung verantwortlich ist und die Entscheidungen über den Nachlagertyp etc. ebenso wie bei dem MFS durch das EWM-System trifft. Wie dabei die SPS mit dem EWM-System kommuniziert, wird anhand des daran anschließenden Prozessschrittes deutlich. So erreichen die LTs den Übergabebereich zum AKL bzw. Palettenlager und werden an die Fördertechnik übergeben. Über einen I-Punkt werden die Güter über das MFS zu dem richtigen Nachlagerplatz verbracht. Dabei steht das EWM-System mit der SPS im Austausch und übermittelt jeweils die Entscheidung, in welchen Lagertyp, -bereich und -platz das Produkt jeweils weiterzuleiten ist. Hierfür sind im EWM-System verschiedene zentrale Elemente zu pflegen.

Als Voraussetzung für die Kommunikation zwischen der SPS und SAP EWM ist in dem EWM-System eine LOLS einzustellen. Eine Übersicht mit den entsprechenden Eingabeoptionen, die unter anderem I-Punkte beinhaltet, stellt Abb. 68 dar. Alternativ dazu könnte auch das Routing für Behälterfördertechnik aktiviert werden. Hierdurch wäre die LOLS nicht notwendig.

Sicht "Layoutorientierte Lagerungssteuerung" ändern: Übersicht												
Layoutorientierte Lagerungssteuerung												
La...	Vo...	V..	Typ	N	Ganze HU	HU...	F...	Zwischen...	Zwischenlagerplatz	Lagerpr...	I-Punkt	K-Punkt
DL01	0011				nicht relev...		1	0012	K-POINT	P112	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
DL01	T930		T050		nicht relev...	HG02	1	0011	I-POINT	P341	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Abb. 68: Customizing - Layoutorientierte Lagerungssteuerung

Auf dem Förderband werden die HUs entsprechend der Lagerprozessart gesteuert. Da es sich sowohl bei dem AKL als auch bei dem Palettenlager um automatisch bediente Lagersysteme handelt, ist eine chaotische Lagerhaltung möglich und aus Gründen der Effizienz zu empfehlen. In diesem Zusammenhang ist für eine anforderungsgerechte Einlagerung zunächst die Unterscheidung zwischen der Einlagerung in das AKL und in das Palettenlager erforderlich. In dem EWM-System werden dafür Entscheidungen an den I-Punkten getroffen, wo die passive Kennzeichnung,

z. B. das RFID-Tag gelesen wird. Dadurch kann das System den Weg der HU einsteuern. Sobald der LT den für ihn vorgesehenen Auslagerstich erreicht hat, holt ein RBG den Behälter oder die Palette ab und lagert die Ware ein. Die zahlreichen Einstellungsmöglichkeiten für das Materialflusssystem sind Abb. 69 zu entnehmen und in dem Einführungsleitfaden des EWM-Systems über *Extended Warehouse Management -> Materialflusssystem (MFS)* zu erreichen.



Abb. 69: EWM-Customizing für eine Materialflusssystemsteuerung

Zudem werden Statusänderungen von der SPS über Telegramme an das EWM-System gesendet, sobald eine HU einen Meldepunkt passiert. Tritt eine Störung auf, läuft die HU in einen Fehler, weshalb ein Sperrvermerk gesetzt wird. Dadurch greift die Ausnahmebehandlung des MFS und die Ware wird umgeleitet. Dazu werden EWM-Ausnahmen zu SPS- und Kommunikationsfehlern festgelegt. In diesem Zusammenhang könnte mehr Flexibilität erreicht werden, wenn Scanner und sonstige Maschinen Fehler direkt an die SPS und an das EWM-System kommunizieren. Hierdurch könnte der Sperrvermerk in Echtzeit gesetzt werden. Eine entsprechende Schnittstelle wäre hierfür noch einzurichten.

Verändert sich das Produktspektrum oder die Nachfrage nach einzelnen Produkten, kann es außerdem zielführend sein, eine Lagerreorganisation durchzuführen, durch die erneut optimale Plätze vergeben werden. Das EWM-System führt diese Reorganisation selbständig aus und erstellt entsprechende LBs, wobei die Einplanung als Welle möglich ist. Dafür sind im System festgelegte Suchreihenfolgen und die Lagerungsdispositionsindizes grundlegend. Für den Lagerungsdispositionsindex ist im Customizing ein entsprechender Wert bei den Suchfolgen für die Lagertyp-, Lagerbereich- und Lagerplatzfindung einzugeben. Dies wird beispielhaft anhand der Lagerbereichsfindung in Abb. 70 veranschaulicht, wo die Felder für die Bewertung der Lagerposition mit den Werten 1 und 2 gepflegt sind. Diese Werte dienen als Grundlage für eine Entscheidung, nach der die Lagerreorganisation eine Umlagerung genau dann vorschlägt, wenn der Lagerungsdispositionsindex des aktuellen Lagerortes größer ist, als der des alternativen Lagerortes. Daraus geht hervor, dass ein Produkt, welches in dem Lagerbereich SI11 gelagert ist, in diesem Beispiel in dem Bereich SI10 umgelagert werden müsste, um einem optimalen Lagerbereich zugeordnet zu sein.

Sicht "Lagerbereichsfindung" ändern: Übersicht							
Neue Einträge							
Lagerbereichsfindung							
LNr	Typ	Einst 1	Einst 2	BerKz	Fortlaufende Nr.	Ber	Bew. Lgpos
DL01	T020			SI10	1	S001	1
DL01	T020			SI10	2	S002	
DL01	T020			SI11	1	S002	2

Abb. 70: Vergabe von Lagerdispositionsindizes im Rahmen der Lagerbereichsfindung

Zudem ist eine LPA zu definieren, die für die Lageroptimierung vorgesehen ist. Ferner werden die Customizing-Einstellungen um die Beleg- und Positionsarten „Lagerreorganisation“ ergänzt. Im Anschluss daran kann die Durchführung der Lagerreorganisation entweder manuell über das Easy-Access-Menü angesteuert oder als Hintergrundjob eingeplant werden. Die Relevanz für die positionsbezogene Lagerreorganisation ergibt sich aus der Summe der Strafpunkte, die das System automatisch vergibt. Je höher die Strafpunktzahl ist, umso signifikanter ist eine Reorganisation. Werden daraufhin LBs angelegt, werden die optimalen Lagerplätze, -bereiche und -typen bereits berücksichtigt. Die Lagerreorganisation ist ein Instrument des EWM-Systems zur autonomen Selbstoptimierung. Daher wird sie dem Industrie 4.0-Verständnis im Rahmen dieser Arbeit gerecht.

Ausgehend von einem optimal eingerichteten Lager wird nun ein Nachschubbedarf an den PVBs erzeugt, sodass der Auslagerungsprozess angestoßen wird. Ausschlaggebend in diesem Beispiel ist die Unterschreitung der Minimalmenge eines Produktes. Den dadurch ausgelösten Nachschubprozess kann das EWM-System automatisch anstoßen, wobei im Vorhinein die Minimalmenge in den Lagerproduktdatei zu pflegen ist. Dafür ist in Abb. 71 beispielhaft der Wert 5 Stück eingetragen worden.

Lagerproduktpflege

Produkt: PROD-S01 Basis-ME EA
 Produktbezeichn: Schnelldreher Großteil 01
 Lagernummer: DL01 Lager Dorothee Lichtlein DL01
 VerfügBer.: BPPL01V PL01

Packdaten Lagerung Lagerdaten Lagerungsdisposition Lagertypdaten

Lagertypen

Typ	Bezeichnung...
T050	Palettenregal - Großteile

Details

Daten übernehmen

Lagertyp: T050 Palettenregal - Großteile

LagerberKn:

GepL.LagBerKn:

Lagerplatztyp:

GepL.LgPlatztyp:

Max. Plätze:

GepL.MaxPlätze: 0

Leerplatzfind.:

Schwelle Zulag.: sw

Anbr. während Einlg.

Kein Nachschub

Mindestnachschubm.: 900,000 EA

GepL.Mindestnachschubm.: 0,000

Minimalmenge: 5,000 EA

Abb. 71: Lagerproduktpflege EWM - Minimalmenge

Die Art des Nachschubprozesses ist wiederum im Customizing zu pflegen. Dafür gibt es die in Abschnitt 3.5.2 vorgestellten Nachschubstrategien. Hierbei kommen insbesondere der Auftragsbezogene Nachschub sowie der automatische Nachschub für einen möglichst automatischen Ablauf in Betracht, weshalb sie im Hinblick auf Industrie 4.0 vorzuziehen sind. Für dieses Beispiel wird der Auftragsbezogene Nachschub ausgewählt, da er zusätzlich zu der definierten Minimalmenge auch die offenen selektierten Lageranforderungen berücksichtigt. Demnach wird, wie in Abb. 72 ersichtlich, für den Lagertyp T050 der Auftragsbezogene Nachschub ausgewählt, welcher der LPA P310 unterliegt und die LBs automatisch erstellt.

Sicht "Einstellungen zur Nachschubstrategie" ändern: Detail

Neue Einträge BC-Set: Feldwert ändern

Lagernummer DL01 Lager Dorothee Lichtlein DL01

Lagertyp T050 Palettenregal - Großteile

NSchubStr. Auftragsbezogener Nachschub

Einstellungen zur Nachschubstrategie

Lagerprozessart P310

Verw Mengentyp Physikalische Menge

Ind. AusfZt

Nur ungesperrte Bestände berücks.

Kommi-NSchub LB sofort

Lagertyp

Einlagermenge nicht berücksichtigen

Lagertypgruppe

Menge neu bei LB Erstellung

Abb. 72: Definition des Auftragsbezogenen Nachschubs im EWM-Customizing

Infolge dieser grundlegenden Einstellungen für den Nachschubprozess kann daran anschließend die Auslagerung erfolgen, welche wieder auf der Telegrammkommunikation zwischen dem EWM-System und der SPS basiert. Dabei kommen die in Abschnitt 3.5.2 erläuterten Auslagersteuerkennzeichen und eine entsprechende Lagerprozessart, die einer Lagertypsuchreihenfolge zugeordnet ist, zum Tragen.

Im Hinblick auf eine intelligente Infrastruktur, die automatisierte Abläufe ermöglicht, kommen insbesondere die Queuefindung und das Wellenmanagement zum Tragen, um die LBs gut organisiert abzuarbeiten. Dazu werden den Queues im Customizing einzelne Aktivitäten und LPAs als Queuefindungskriterien zugeordnet. Für den Nachschubprozess wird in diesem Beispiel die Aktivität REPL benötigt, die in Abb. 73 entsprechend gekennzeichnet ist. Sie steht stellvertretend für die Warenbewegung zum nächsten Prozessschritt. In diesem Fall betrifft das den PVB, der jeweils einen Nachschubbedarf erzeugt hat.

Wie genau die Zugriffsfolge der Queues erfolgen soll, wird ebenfalls im Customizing festgelegt und kann Abb. 74 entnommen werden.

Zuordnung Queuefindungskriterien						
La...	AB	AB	PlZugrTyp	Lagerp...	Aktivität	Queue
DL01	T050	A002	AT03	2010	REPL	Q-050-051

Abb. 73: Zuordnung Queuefindungskriterien

Aufbauend auf der Definition der Queues können im Rahmen des Wellenmanagements verschiedene Warenbewegungen für die Queues und damit die LAs automatisch angestoßen werden. Hierzu werden Wellenvorlagen verwendet, denen jeweils LPAs zugeordnet sind. Dafür ist die automatische Wellenerzeugung im Rahmen der Definition einer LPA zu markieren. In Abb. 75 werden beispielhaft drei Wellenvorlagen aufgezeigt, die einer Welle zu Grunde gelegt werden

können. Dabei ist Wellenvorlage 1113 in diesem Beispiel für den Nachschubprozess vorgesehen. Durch die Haken in dem roten Kästchen ist sichergestellt, dass auch nach dem Start der Wellen LBs hinzugefügt werden können. Zudem sind in der letzten Spalte Intervalle festgelegt, nach denen die Welle jeweils neu ausgeführt wird. Anzumerken ist an dieser Stelle, dass die Verwendung von Wellen für den vorliegenden Beispielprozess insbesondere dann sinnvoll ist, wenn einzelne PVBs priorisiert beliefert werden sollen, weil sie z. B. Bottlenecks darstellen und demnach zeitkritisch sind. Insgesamt dient das Wellenmanagement somit einer Priorisierung von Aufträgen.

Wellenvorlage definieren								
	Vorlage	Bezeichnung	Freigabem.	Wellen...	Typ	Zuor...	K	Wiederhol.
	1111	Wellenvorlage 1 DL WA	Automati...	WT01	W1	<input checked="" type="checkbox"/>	Po...	10
	1112	Wellenvorlage 2 DL Cross-Do...	Automati...	WT02	C1	<input checked="" type="checkbox"/>	Po...	5
	1113	Wellenvorlage 3 DL Nachsch...	Automati...	WT01	C1	<input checked="" type="checkbox"/>	Po...	10

Abb. 75: Wellenvorlage definieren

Ist auf der Grundlage dieser Customizing-Einstellungen eine Welle freigegeben worden, werden die LBs in den Auftragspool der FTS übergeben und somit erneut durch die FTS-Steuerung, den Materialflussrechner sowie die Entscheidungsregeln des EWM-Systems zu der Produktmontage befördert. Die Identifikation der zu befördernden Materialien erfolgt dabei durchgängig über RFID-Tags, sodass hierbei keine dezentrale Intelligenz greift, jedoch weitgehende Transparenz geschaffen wird. Mit der Übergabe an den PVB werden die LTs durch ein RFID-Tor geschleust und können somit massenweise erfasst werden, sodass auch das EWM-System an dem betreffenden Identifikationspunkt in Echtzeit über die SAP AII informiert wird. Für den spezifischen Montageprozess wird auf die Ausführungen aus Abschnitt 6.5.2 verwiesen, da diesbezüglich für beide Anwendungsbeispiele dieselben Annahmen getroffen werden. Ist das Produkt fertig montiert worden, wird es mit einem RFID-Tag ausgestattet, um als eigenständiges Objekt identifiziert werden zu können. Daran anschließend legt der Monteur das Produkt auf einem LT ab. Den LT stellt er in ein RFID-Tor, wodurch die Fertigstellung automatisch quittiert wird und eine Folge-LB über einen Hintergrundjob ausgelöst werden kann. In diesem Zusammenhang übernehmen die FTS den Transport zu der nächsten Station. Dabei wird die Ankunft erneut über ein RFID-Tor registriert. Wird der LT daran anschließend abgestellt, steht die Produktion gegebenenfalls still, sofern eine Störung auftritt. Dadurch, dass das EWM-System nicht direkt mit der Maschine kommuniziert, kann es keinen alternativen Transport anstoßen, sondern ist davon abhängig, dass der Mensch eingreift und die LB manuell anstößt. Soll infolgedessen auf einer anderen Maschine gefertigt werden, muss dieser alternative Prozess über eine LPA gepflegt sein. Hierdurch kann der Werker die LB anstoßen und der Austausch mit den FTS führt dazu, dass der LT noch einmal umgelagert wird. Hierdurch kann die Bearbeitung auf einer alternativen Maschine erfolgen. Gegebenenfalls sind dafür produktspezifische Daten für den direkten Informationsaustausch mit der Maschine auf dem RFID-Tag gespeichert. Allerdings ist für die Fertigung wieder ein anderes System als das EWM-System zuständig.

Daran anschließend wird die Ware verpackt und versandt. Für die Verpackung wird insbesondere auf die Ausführungen in Abschnitt 6.1 verwiesen. Diesbezüglich wird ebenso wie bei dem CPS-

basierten Beispielprozess eine kundenspezifische Verpackung empfohlen, um gemäß den Anforderungen der Industrie 4.0 möglichst kundenindividuell agieren zu können.

Die anschließende Verbringung zu der WA-Zone erfolgt ebenso wie die bisher beschriebenen Transporte, weshalb sie nicht näher beschrieben wird.