



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Bachelor-Thesis

Vor- und Zuname: [REDACTED] [REDACTED] [REDACTED]
Flemming Garken [REDACTED] [REDACTED] [REDACTED]

Titel:

„Die Rolle des Manufacturing Execution Systems (MES)
zur Realisierung von Industrie 4.0 in einem
produzierenden Unternehmen“

Abgabedatum:

15.09.2017

Betreuender Professor: Prof. Dr. Henning Kontny

Zweitprüferin: M.A. Julia Wagner

Fakultät Wirtschaft und Soziales

Department Wirtschaft

Studiengang:

Logistik/ Technische Betriebswirtschaftslehre

Zusammenfassung

Die Kundennachfrage hat sich für produzierende Unternehmen in den vergangenen Jahren unter anderem in Hinblick auf eine Individualisierung stark geändert. Die Initiative „Industrie 4.0“ liefert Ansätze zu einer Flexibilisierung der Produktion, um dieser Nachfrage entsprechen zu können. Im Zentrum der Flexibilisierung stehen dezentrale selbststeuernde Objekte, die aufgrund ihrer Intelligenz mit anderen Objekten interagieren und selbstständig Entscheidungen treffen können. Grundvoraussetzung für diese dezentrale Selbststeuerung ist eine durchgängige Integration, d.h., dass ein möglichst durchgängiger Informationsfluss entsteht und alle Objekte auf denselben Datenpool zugreifen.

Das Manufacturing Execution System (MES) als Informationsdrehscheibe ermöglicht diese durchgehende Integration sowohl in vertikaler Richtung als Bindeglied zwischen der Produktionsplanung und -steuerung (PPS) und den Maschinen sowie auf horizontaler Ebene zwischen den Objekten in der Produktion. Das MES stellt somit die Daten bereit, auf deren Basis die intelligenten logistischen Objekte Entscheidungen treffen können. Die zentrale Rolle in der Produktion wird dadurch in Zukunft das MES einnehmen, auch, da Funktionen aus der zuvor zentralen PPS von den intelligenten logistischen Objekten übernommen werden, um die nötige Flexibilität realisieren zu können.

I. Inhalt

I. Inhalt.....	I
II. Abkürzungsverzeichnis	II
III. Abbildungsverzeichnis	III
1 Einleitung.....	1
2 Das Manufacturing Execution System (MES).....	3
2.1 Definition	3
2.2 Organisatorische Einordnung	3
2.3 Aufgaben und Funktionsweise.....	4
2.3.1 Definition Echtzeit.....	4
2.3.2 Aufgaben des MES	5
2.3.3 Funktionsweise des MES	7
3 Die Produktionsplanung und -steuerung (PPS).....	10
3.1 Erste Ansätze der PPS	10
3.2 Ziel der PPS.....	11
3.3 Organisatorische Einordnung.....	12
3.4 Funktionsweise der PPS.....	13
3.4.1 Die Produktionsprogrammplanung	13
3.4.2 Die Produktionsbedarfsplanung	13
3.4.3 Die Produktionssteuerung	14
4 Industrie 4.0	16
4.1 Definitionen	16
4.1.1 Flexibilität	16
4.1.2 Logistisches Objekt	16
4.1.3 Intelligentes logistisches Objekt	16
4.1.4 Dezentralisierung.....	17
4.2 Grundgedanken von Industrie 4.0.....	17
4.3 Technische Aspekte der Industrie 4.0	19
4.3.1 Definitionen.....	19
4.3.1.1 Internet of Things/ Internet der Dinge	19
4.3.1.2 Die Cloud.....	19
4.3.2 Cyber- physische Systeme	20
4.3.3 Cyber- physische Produktionssysteme	21
4.3.4 smart factory.....	21

4.4 Organisatorische Voraussetzungen der Industrie 4.0.....	22
4.4.1 Dezentrale Steuerung und Selbststeuerung	22
4.4.2 Durchgehende Integration.....	24
4.4.2.1 Integration.....	24
4.4.2.2 Horizontale Integration	25
4.4.2.3 Vertikale Integration	25
5 Dezentrale Selbststeuerung durch MES	26
5.1 Voraussetzungen für Integration	26
5.1.1 Interoperabilität	26
5.1.2 Transparenz	27
5.1.2.1 Produktverfolgung	27
5.1.2.2 Aktualität und Zentralität der Daten.....	27
5.1.3 Kommunikation	28
5.2 Das MES als Informationsdrehscheibe	29
5.2.1 Informationsdiabolo	29
5.2.2 Datenmanagement im MES.....	31
5.2.2.1 Echtzeitdaten	31
5.2.2.2 Bewegungsdaten.....	33
5.2.2.3 Stammdaten.....	36
5.2.3 Funktionaler Aufbau des MES.....	37
5.2.4 Zuordnung der Objekte an Ressourcen.....	38
5.3 Abgrenzung des MES	40
5.3.1 Abgrenzung zum CPPS.....	40
5.3.2 Abgrenzung zur Cloud	41
6 Das ERP/ PPS in der dezentralen Produktion.....	43
6.1 Aufgaben der PPS in Industrie 4.0.....	43
6.2 Dezentralisierungsansätze in der PPS.....	44
7 Fazit.....	50
7.1 Zusammenfassung	50
7.2 Kritische Würdigung	52
7.3 Ausblick	52
IV. Literaturverzeichnis	IV
V. Glossar	V
VI. Eidesstattliche Erklärung.....	VI
VII. Einverständniserklärung zur Veröffentlichung der Thesis.....	VII

II. Abkürzungsverzeichnis

BDE	Betriebsdatenerfassung
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
CPPS	Cyber- physische(s) Produktionssystem(e)
CPS	Cyber- physische(s) System(e)
DNC	Direct Numerical Control
ERP	Enterprise Resource Planning
GPS	Global Positioning System
IoT	Internet of Things (Internet der Dinge)
MDE	Maschinendatenerfassung
MES	Manufacturing Execution System
MRP I	Material Requirements Planning
MRP II	Manufacturing Resource Planning
NC	Numerical Control
OEM	Original Equipment Manufacturer
PPS	Produktionsplanung und -steuerung
RFID	Radio Frequency Identification
SPS	Speicherprogrammierbare Steuerung
VDI	Verband deutscher Ingenieure

III. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Die Automatisierungspyramide.....	4
Abbildung 2: Produktionsplanung und -steuerung (Schema)	15
Abbildung 3: Selbststeuernder Regelkreis	23
Abbildung 4: Integration in der Automatisierungspyramide	25
Abbildung 5: Von der Automatisierungspyramide zum Informationsdiabolo.....	30
Abbildung 6: Dezentralisierung der PPS, 1. Ausprägung	46
Abbildung 7: Dezentralisierung der PPS, 2. Ausprägung	47
Abbildung 8: Dezentralisierung der PPS, 3. Ausprägung	48

1 Einleitung

Die Thematik „Industrie 4.0“ ist heutzutage allgegenwärtig. Dennoch ist sich die Literatur noch nicht ganz einig, wie die Ideen, die in dieser Initiative angestoßen werden, tatsächlich in der Realität umgesetzt werden sollen. Ohne Frage müssen die Prozesse aus der klassischen Produktion an die Vorstellungen aus der Industrie 4.0 angepasst werden. Aus diesem Zusammenhang ergibt sich das Dachthema „Prozessoptimierung in der Industrie 4.0“, das die Motivation darstellt, mögliche Ansätze zu diesem Thema zu präzisieren.

Einigkeit zum Thema Industrie 4.0 herrscht in der Tatsache, dass es sich statt der „vierten industriellen Revolution“ eher um eine Evolution handelt, also einer Weiterentwicklung von bereits Bestehendem. Aus diesem Grund soll in dieser Bachelor-Thesis „bereits Bestehendes“, nämlich das Manufacturing Execution System (kurz MES), dessen erste Ansätze bereits in den 1980er Jahren entwickelt wurden und in der bisherigen Produktion wichtige Funktionen übernommen hat, auf seine Rolle in der Industrie 4.0 analysiert werden. Hieraus ergibt sich die Forschungsfrage: „Welche Rolle nimmt das Manufacturing Execution System bei der Realisierung von Industrie 4.0 in einem produzierenden Unternehmen ein?“ Die Forschungsfrage wird auch dahingehend ausgelegt, ob das MES eventuell die Produktionsplanung und -steuerung (PPS), die in der bisherigen Produktion das entscheidende Instrument ausmachte, in der Wichtigkeit verdrängt oder gar obsolet macht.

Die folgenden beiden Kapitel widmen sich den beiden Instrumenten Manufacturing Execution System (Kapitel zwei) und der Produktionsplanung und -steuerung (Kapitel drei) jeweils separat betrachtet. Das MES wird zunächst definiert, organisatorisch eingeordnet und anschließend in seiner Funktionsweise detailliert beschrieben.

In dem Kapitel zum Thema der PPS werden ebenfalls die organisatorische Einordnung und die Funktionsweise aufgezeigt. Darüber hinaus wird die Entwicklungshistorie der PPS hervorgehoben, da diese wichtige Auswirkungen auf die heutige Funktionsweise der PPS hat und zur Beantwortung der Forschungsfrage beiträgt.

Das vierte Kapitel erläutert das Thema „Industrie 4.0“, indem zunächst die Grundgedanken sowie technische Aspekte, die die Industrie 4.0 ausmachen, vorgestellt werden. Auf das Unterkapitel der organisatorischen Einordnung wird sich vorwiegend im folgenden fünften Kapitel bezogen, da die Industrie 4.0 insbesondere in diesem Aspekt zu klärende Fragestellungen aufwirft.

Das fünfte Kapitel geht detailliert darauf ein, inwiefern das MES dazu beitragen kann, die organisatorischen Voraussetzungen für die Industrie 4.0 zu erfüllen. In diesem Zusammenhang geht es um die organisatorische Position/ Einordnung des MES, die Aufgaben, die es übernehmen wird sowie den funktionalen Aufbau, in dem das MES in der Industrie 4.0 agiert. Darüber hinaus wird in einem weiteren Unterkapitel darauf eingegangen, wie Objekte in der Produktion in dem sogenannten „adaptiven Auftragsmanagement“ den Ressourcen zugeordnet werden. Ein weiteres Kapitel geht auf die Abgrenzungen des MES zu anderen Systemen ein, die sich aus der Thematik der Industrie 4.0 ergeben, da sie ähnliche Aufgaben wie für das MES vermuten lassen.

Die Aufgaben und Funktionsweise der PPS im Rahmen von Industrie 4.0 werden in Kapitel sechs dargestellt. Hierzu werden die verbleibenden Aufgaben, die die PPS übernehmen wird, sowie Entwicklungstendenzen zur Organisation der Produktion im Zusammenhang mit dem MES aufgezeigt.

2 Das Manufacturing Execution System (MES)

2.1 Definition

Eine einheitliche Definition, was ein Manufacturing Execution System ausmacht, existiert in der Literatur nicht.¹ Jahn definiert das MES als „eine Applikation/ Software, die unternehmensintern Daten aus der Produktion überwacht, steuert und zeitnah kontrolliert, also koordiniert (...).“² Müller ergänzt die Definition dahingehend, dass die erfassten Daten den Zustand der Produktion widerspiegeln, auf dessen Basis Reaktionen auf Abweichungen eingeleitet werden können.³ Louis sieht in dem MES ein System, das Informationen bereitstellt, die die Optimierung der Produktion ermöglichen, indem aktuelle Daten für eine schnelle Reaktion im Fall von Abweichungen zur Verfügung gestellt werden.⁴ Ein Konsens in den Definitionen besteht darin, dass es sich bei dem MES um eine Software handelt, die für das Datenmanagement auf Produktionsebene zuständig ist und eine Reaktion im Fall von ungeplanten Abweichungen zu ermöglicht.

2.2 Organisatorische Einordnung

Das MES gilt auf der sogenannten Fertigungsleitebene (auch: Betriebsleitebene⁵) als Bindeglied zwischen der übergeordneten Unternehmensleitebene und der Prozessleitebene.⁶ Die Unternehmensleitebene befasst sich mit allen Aufgaben, die dem Unternehmen eine Behauptung im Markt sichern, wie z.B. Marktanalysen, Unternehmensführung sowie strategische Personal-, Investitions- und Produktionsplanungen.⁷ Neben unternehmensinternen Aufgaben fallen somit auch unternehmensexterne Zuständigkeiten in das Aufgabengebiet der Unternehmensleitebene.⁸ Das zentrale Instrument im Hinblick auf die Produktion ist die

¹ Vgl. VDI 5600 (2016), S. 2, Müller (2015), S. 19

² Jahn (2016), S. 11

³ Vgl. Müller (2015), S. 19

⁴ Vgl. Louis (2009), S. 8, S. 18

⁵ Vgl. Heinrich et al. (2017), S. 5

⁶ Vgl. Müller (2015), S. 12; Kleinert/ Sontow (2009), S. 22; VDI 5600 (2016), S. 10; Schatz/ Mussbach-W. (2010), S. 18

⁷ Vgl. Heinrich et al. (2017), S. 4

⁸ Vgl. Jahn (2016), S. 10

Produktionsplanung und -steuerung (PPS), die im folgenden Kapitel eingehender beleuchtet wird.⁹ Die Prozessleitebene umfasst die eigentlichen ausführenden Produktionsprozesse, sodass auf dieser Ebene vor allem die Fertigungsmaschinen und Arbeitskräfte/ Arbeitsplätze beschrieben werden.¹⁰ Veranschaulicht wird diese hierarchische Anordnung der einzelnen Ebenen durch die sogenannte Automatisierungspyramide, die in der folgenden Abbildung dargestellt wird.

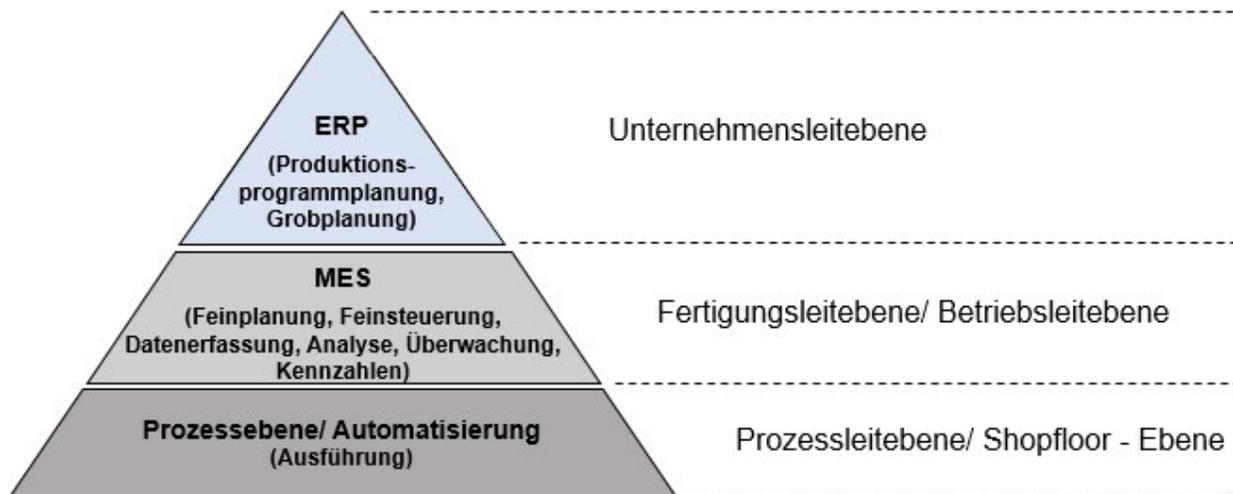


Abbildung 1: Die Automatisierungspyramide

Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an: Kletti (2007), S. 13

2.3 Aufgaben und Funktionsweise

2.3.1 Definition Echtzeit

Ein Echtzeitbetrieb beschreibt den Umstand, dass eine Aufgabe von einem Rechner unmittelbar nach dem Erhalt bearbeitet und Ergebnisse nach der Erfüllung unmittelbar zurückgemeldet werden.¹¹ Im Hinblick auf die Prozessebene beschreibt die Echtzeit eine Rückmeldung der Daten in Sekunden oder gar Millisekunden.¹²

⁹ Vgl. Kleinert/ Sontow (2009), S. 18

¹⁰ Vgl. Heinrich et al. (2017), S. 5

¹¹ Vgl. Gablers Wirtschaftslexikon, Stichwort: Echtzeitbetrieb

¹² Vgl. Kletti (2007), S. 57

2.3.2 Aufgaben des MES

Die Fertigungs- bzw. Betriebsleitebene umfasst Prozesse, die den täglichen Betrieb des Unternehmens sicherstellen.¹³ Die Kernaufgaben eines MES auf dieser Ebene bestehen in dem Abgleich der Produktion mit der Grobplanung durch die PPS, der Ressourcenplanung, dem Auflösen von Konflikten sowie der Überwachung des Auftragsdurchlaufs.¹⁴

Der Abgleich der Produktion mit der Grobplanung besteht in der Feinplanung der Fertigung, was die Hauptaufgabe des MES darstellt.¹⁵ Bevor die von der PPS erarbeiteten Produktionsdaten in die Fertigung eingeschleust werden, bedarf es einer Übersetzungsarbeit. Die Produktionsdaten werden von der PPS an das MES übergeben, das MES bereitet diese Daten fertigungsgerecht auf und schleust sie anschließend in die Fertigung ein.¹⁶ Das PPS gibt folglich den Rahmen vor, auf dessen Basis das MES eine Feinplanung erstellt, indem es die Grobplanung der PPS mit den aktuellen Produktionsdaten abgleicht und überprüft, ob der Entwurf der PPS mit den gegebenen Umständen (bspw. Kapazitäten) der Produktion realisierbar ist.¹⁷ Ein Hauptanlass für die Übersetzung der Daten liegt darin, dass eine temporäre Diskrepanz zwischen den einzelnen Ebenen der Automatisierungspyramide besteht.¹⁸ Während die Unternehmensleitebene in zeitlichen Größenordnungen von Wochen, Monaten oder Jahren plant, agiert die Prozessleitebene im Echtzeitbereich.¹⁹ Die Prozessleitebene könnte die weitreichenden Pläne der PPS ohne Übersetzungsarbeit nicht umsetzen.²⁰

¹³ Vgl. Heinrich et al. (2017), S. 5

¹⁴ Vgl. Klett (2007), S. 69

¹⁵ Vgl. Gerberich (2010), S. 44, VDI 5600 (2016), S. 2

¹⁶ Vgl. Kletti (2007), S. 58

¹⁷ Vgl. Kletti (2007), S. 67

¹⁸ Vgl. Kletti (2007), S. 57, Louis (2009), S. 19 f.

¹⁹ Ebenda

²⁰ Ebenda

Im Anschluss erhalten die Fertigungsmaschinen mit Hilfe von Schnittstellen zwischen Maschinen und dem MES die in der Feinplanung erarbeiteten Produktionsaufträge, damit die Aufträge den Ressourcen zugeordnet werden können.²¹ Damit einhergehend ist das MES verantwortlich für das Materialmanagement, sodass die Ressourcen zur richtigen Zeit mit dem richtigen Material versorgt sind.²²

Darüber hinaus fungiert das MES durch seine Prozessnähe und der Information über den aktuellen Zustand der Produktion als „Informationsrückrat“ der Fertigung und ermöglicht Reaktionen auf Änderungen im Produktionsprozess sowie auf kurzfristige Auftragsänderungen.²³ Abweichungen werden somit schnell erfasst und ermöglichen einen kurzfristigen Einfluss auf diese, um die übergeordneten Vorgaben durch eine angepasste Feinplanung weiterhin einhalten zu können.²⁴

Die Auftragsverwaltung hat in den aufgezeigten Aufgaben eine Art Querschnittsfunktion, indem der Auftrag stets im Zentrum der Betrachtungen steht. In der Feinplanung werden die Aufträge durch die Festlegung von Bearbeitungszeitpunkten in die Produktion eingeplant und bilden bei der Zuordnung zu den Ressourcen sowie der Reihenfolgenplanung ebenso die Planungsbasis. Außerdem kann eine erfolgreiche Umsetzung von Reaktionen auf Abweichungen nur durch eine aktive Verfolgung und Überwachung der Aufträge gewährleistet werden.²⁵

²¹ Vgl. Kleinmeier (2014), S. 575

²² Vgl. VDI 5600 (2016), S. 10

²³ Vgl. Kleinert/ Sontow (2009), S. 20

²⁴ Ebenda

²⁵ Vgl. VDI 5600 (2016), S. 10

Die Übersetzungsarbeit der Daten ist des Weiteren in „entgegengesetzter Richtung“ von Bedeutung. Die von der Prozessleitebene produzierten Daten müssen für Verarbeitungs- und Interpretationszwecke durch das PPS auf der Unternehmensleitebene aufbereitet werden.²⁶ Das MES dient vor diesem Hintergrund als Fertigungsmonitoring, indem es die Daten aus der Produktion erfasst und diese für das PPS verfügbar macht.²⁷ Dadurch ist eine gewisse Prozesstransparenz gewährleistet, da die Produktionsprozesse durch das MES abgebildet werden.²⁸ Die Erfassung und Verdichtung von Daten steht hier im Mittelpunkt.²⁹

Auf Grund dessen, dass die Daten aller Ebenen der Automatisierungspyramide in dem MES zusammenfließen und sowohl die Daten aus dem PPS als auch die Daten aus der Prozessleitebene von dem MES erfasst, verarbeitet, (zwischen)gespeichert und bereitgestellt werden, handelt es sich bei dem MES um eine zentrale Produktionsdatenbank.³⁰

2.3.3 Funktionsweise des MES

Um die hier erläuterte Übersetzungsarbeit zu ermöglichen, unterliegt das MES gewissen Anforderungen. Damit die Daten aus der PPS im Rahmen der Feinplanung in die Fertigung eingeschleust werden können, muss das MES stets einen aktuellen und präzisen Überblick über die Produktion haben.³¹ Aus diesem Grund ist eine Schnittstellen- und Kommunikationsfähigkeit zwischen dem MES und den Ressourcen Grundvoraussetzung, damit die Zustände der Ressourcen in der Fertigung aktuell erfasst werden können.³²

²⁶ Vgl. Kletti (2007), S. 58

²⁷ Vgl. Kletti (2007), S. 67

²⁸ Vgl. VDI 5600 (2016), S. 2

²⁹ Vgl. Kletti/ Sauer (2013), S. 3

³⁰ Vgl. VDI 5600 (2016), S. 11

³¹ Vgl. Gerberich (2010), S. 44

³² Ebenda

Des Weiteren kann ein aktueller Abgleich über die Zustände der einzelnen Aufträge nur durch eine Produktverfolgung ermöglicht werden.³³ Welches Produkt sich zu einem gewissen Zeitpunkt in einem bestimmten Fertigungsschritt befindet, spiegelt den Auftragsfortschritt wider.³⁴ Aus diesem Zusammenhang ergibt sich eine weitere Anforderung an das MES, nämlich die Echtzeitfähigkeit. Auf Grund dessen, dass die Prozessleitebene im Echtzeitbereich agiert, ist eine Erfassung der Daten sowie das Erkennen von möglichen Störungen durch das MES nur mit einer Echtzeitfähigkeit möglich.³⁵ Die Erfassung der Daten in Echtzeit geht eng mit den beiden zuvor genannten Anforderungen einher.³⁶

Ein MES funktioniert in der Regel durch einen modularen Aufbau, um den Anforderungen an die Aufgaben eines MES gerecht zu werden.³⁷ Eine Modularisierung ist die „Aufteilung eines Gesamtsystems in einzelne Bausteine.“³⁸ Je nach Anwendungsfall können die Module miteinander kombiniert werden; die Module können dann sowohl einzeln für sich betrachtet arbeiten, aber auch untereinander Daten austauschen.³⁹ Die Anzahl der benötigten Schnittstellen wird so deutlich reduziert.⁴⁰ Gerberich unterscheidet basierend auf den zehn Aufgabenbereichen der VDI-Richtlinie 5600⁴¹ zwischen folgenden Modulen, die ein MES beinhalten könnte bzw. sollte:⁴²

³³ Vgl. Kletti/ Schuhmacher (2014), S. 17, Jahn (2016), S. 13

³⁴ Ebenda

³⁵ Vgl. Kletti/ Schuhmacher (2014), S. 17, Jahn (2016), S. 13

³⁶ Vgl. Jahn (2016), S. 14

³⁷ Vgl. Kletti (2007), S. 61, Gerberich (2010), S. 44

³⁸ Kletti (2015), S. 212

³⁹ Vgl. Kletti (2015), S. 212 f.

⁴⁰ Ebenda

⁴¹ Vgl. VDI 5600 (2016), S. 8

⁴² Vgl. Gerberich (2010), S. 55

- Feinplanung und -steuerung
- Auftragsmanagement
- Datenerfassung
- Materialmanagement, interne Logistik
- Werkzeug- und Betriebsmittelmanagement
- Instandhaltung
- Leistungsanalyse, Reporting
- Qualitätsmanagement
- Personalmanagement

Kletti/ Schumacher teilen die Module zunächst nach den Funktionalitäten Fertigung, Qualität und Personal ein.⁴³ Unter der Funktionalität „Fertigung“ werden ähnlich wie bei Gerberich u.a. eine Auftragsüberwachung, die anhand einer Produktverfolgung realisiert wird, die Datenerfassung, das Material- und Bestandsmanagement sowie das Werkzeug- und Ressourcenmanagement, als Module definiert.⁴⁴ Auf die Module der Funktionalitäten Qualität und Personal soll an dieser Stelle nicht näher eingegangen werden, da in den Kapiteln zum Thema Industrie 4.0 hauptsächlich die Fertigungsfunktionalität thematisiert wird.

⁴³ Vgl. Kletti/ Schumacher (2014), S. 17

⁴⁴ Ebenda

3 Die Produktionsplanung und -steuerung (PPS)

3.1 Erste Ansätze der PPS

Die PPS in ihrer heutigen Form basiert in ihrer Funktionsweise auf dem Manufacturing Resource Planning (MRP II), das eine Weiterentwicklung des Material Requirements Planning (MRP) darstellt.⁴⁵ Im Rahmen des MRP wurde in den 1960er Jahren erstmals eine rechnergestützte Bedarfs- und Materialplanung entwickelt.⁴⁶ In den 1980er Jahren wurde das MRP zu dem MRP II um Termin- und Kapazitätsplanungen erweitert.⁴⁷ Der Umstand, dass in dieser Zeit hohe Stückzahlen produziert wurden und es wenige Unsicherheiten am Absatzmarkt gab, sorgte aufgrund der langen Planungszeiträume für ein schwerfälliges und wenig flexibles Instrument, was sich auch in der heutigen PPS noch widerspiegelt.⁴⁸ Darüber hinaus werden Ist- Zustände wie bspw. Kapazitätsauslastungen durch das MRP II nicht erfasst, sondern es wurde lediglich mit Plandaten gearbeitet, sodass zum einen unmittelbare und unvorhersehbare Ereignisse nicht erfasst und abgebildet werden und zum anderen nicht realisierbare Produktionsaufträge erstellt werden, da die Plandaten nur auf theoretischen Daten basieren, die mit der aktuellen Situation in der Produktion nicht übereinstimmen.⁴⁹ Selbige Probleme sind auch heute in der PPS zu beobachten.⁵⁰

⁴⁵ Vgl. Buzacott (2010), S. 26

⁴⁶ Ebenda

⁴⁷ Ebenda

⁴⁸ Vgl. Kletti (2007), S. 129 f.

⁴⁹ Kleinert/ Sontow (2009), S. 13, Kletti (2007), S. 129 f.

⁵⁰ Ebenda

3.2 Ziel der PPS

Die Produktionsplanung und -steuerung hat die effiziente Koordination von Produktionsprozessen zum Ziel, bei der ein Optimum der Produktion unter Beachtung des Kundennutzens erzielt werden soll.⁵¹ Die Koordination besteht in diesem Zusammenhang aus der „termin-, kapazitäts- und mengenbezogenen Planung und Steuerung der Fertigungs- und Montageprozesse“.⁵² Ein Optimum soll dabei aus den Zielgrößen Termintreue, Kapazitätsauslastung, Durchlaufzeit und Lager-/Werkstattbeständen erreicht werden.⁵³ Auf Basis einer erwarteten Nachfrage oder konkreten Kundenaufträgen werden unter Berücksichtigung der verfügbaren Kapazitäten zukünftige Produktionspläne im Hinblick auf Menge und Zeit erstellt und bei möglichen Abweichungen vom Plan, die nicht mehr tolerierbar sind, Korrekturen durchgeführt.⁵⁴ Die Planung umfasst im Rahmen der PPS den Inhalt sowie die Einzelprozesse der Fertigung und findet vor der eigentlichen Produktion statt. Die Steuerung verläuft hingegen prozessbegleitend und realisiert einen Ablauf der Fertigung unter dem in der Planung gesetzten Rahmen realisiert.⁵⁵

Neben den Kernaufgaben zur Erstellung von Produktionsplänen wird dem PPS ein Datenmanagement zugeordnet, sodass Stammdaten in Bezug auf z.B. Artikelstämme, Ressourcen (v.a. Anlagen/ Maschinen) und Arbeitspläne vorgehalten werden.⁵⁶ Der Planungshorizont ist wie bereits erwähnt langfristig ausgelegt und umfasst Wochen, Monate oder Jahre und kann aus diesem Grund nur als Grobplanung für die Produktion dienen.⁵⁷

⁵¹ Vgl. Jahn (2016), S. 9, Schuh/ Brosze/ Brandenburg. (2012), S. 11

⁵² Schuh/ Brandenburg/ Cuber (2012), S. 29

⁵³ Vgl. Schuh/ Brandenburg/ Cuber (2012), S. 29

⁵⁴ Vgl. Buzacott (2010), S. 5

⁵⁵ Vgl. Schuh/ Brandenburg/ Cuber (2012), S. 29; Buzacott (2010), S. 5

⁵⁶ Vgl. Schatz/ Mussbach-W. (2010), S. 20, Kletti (2015), S. 46

⁵⁷ Vgl. Buzacott (2010), S. 1

Vielmehr dient die PPS in erster Linie taktischen unternehmerischen Aufgaben, die den langfristigen Bestand des Unternehmens im Fokus haben.⁵⁸ Die PPS ist somit eher auf übergeordnete Unternehmensziele ausgerichtet, in denen sämtliche Unternehmensbereiche entlang der Auftragsabwicklung berücksichtigt werden.⁵⁹ Verdeutlicht wird dieser Aspekt durch die Tatsache, dass die PPS dem Enterprise-Resource-Planning (ERP) zugeordnet wird und der Begriff der PPS häufig mit dem des ERP gleichgesetzt wird.⁶⁰ Ein ERP-System ist eine Software und „dient der funktionsbereichsübergreifenden Unterstützung sämtlicher in einem Unternehmen ablaufenden Geschäftsprozesse“.⁶¹ Dies zielt somit nicht nur auf Teilbereiche wie bspw. die Produktion ab, sondern thematisiert sämtliche Unternehmensbereiche.⁶²

3.3 Organisatorische Einordnung

Die im vorigen Unterkapitel beschriebenen Produktionspläne werden zentral erarbeitet und dann auf die Produktion übertragen.⁶³ Alle Entscheidungen im Hinblick auf die PPS werden auf übergeordneter Ebene getroffen, was die Automatisierungspyramide widerspiegelt.⁶⁴ Darüber hinaus verdeutlichen die zentral vorgehaltenen Stammdaten die Zentralität bezüglich der Funktionalität der PPS.⁶⁵

⁵⁸ Vgl. Kleinert/ Sontow (2009), S. 20

⁵⁹ Vgl. Buzacott (2010), S. 11

⁶⁰ Vgl. Kleinert/ Sontow (2009), S. 18

⁶¹ Gablers Wirtschaftslexikon, Stichwort: Enterprise- Resource- Planning

⁶² Vgl. Kleinert/ Sontow (2009), S. 18

⁶³ Vgl. Buzacott (2010), S. 26

⁶⁴ Ebenda

⁶⁵ Vgl. Schatz/ Mussbach-W. (2010), S. 20; Kletti (2015), S. 46

3.4 Funktionsweise der PPS

3.4.1 Die Produktionsprogrammplanung

In der Produktionsplanung wird auf Basis von Absatzprognosen oder konkreten Kundennachfragen der Bruttoprimärbedarf ermittelt, der festlegt, welche Produkte in welcher Menge in welchem Zeitraum produziert werden müssten.⁶⁶ Von dem Bruttoprimärbedarf werden die entsprechenden Lagerbestände abgezogen, sodass man den Nettoprimärbedarf erhält, was die tatsächliche zu produzierende Menge darstellt.⁶⁷ Des Weiteren wird in der Produktionsplanung eine Ressourcengrobplanung durchgeführt, in der mit den vorhandenen Ressourcen (Personal, Material, Betriebsmittel etc.) abgeglichen wird, ob das Produktionsprogramm durchgeführt werden kann.⁶⁸

3.4.2 Die Produktionsbedarfsplanung

Die Produktionsbedarfsplanung ist organisatorisch ein Teil der Produktionsprogrammplanung⁶⁹, sie wird hier jedoch in einem eigenen Unterkapitel behandelt, da sie in Kapitel 6.2 separat betrachtet von Bedeutung ist. Die Produktionsbedarfsplanung befasst sich im Kern ausgehend von der Programmplanung mit der Ressourcenplanung.⁷⁰

Ausgehend von der Nettoprimärbedarfsplanung wird die Sekundärbedarfsplanung durchgeführt und auch zunächst in Brutto- und Nettosekundärbedarfsplanung aufgeteilt.⁷¹ Die Bruttosekundärbedarfsplanung ermittelt auf Basis des Nettoprimärbedarfs sowie der Stückliste, welches Material in welcher Menge in der Produktion für Zwischenprodukte bereitgestellt werden muss.⁷² Der Nettosekundärbedarf ergibt sich durch die Beachtung von relevanten Lagerbeständen und möglichen Zusatzbedarfen.⁷³ Im Zusammenhang mit

⁶⁶ Vgl. Schuh/ Brandenburg/ Cuber (2012), S. 39, Buzacott (2010), S. 33

⁶⁷ Vgl. Jahn (2016), S. 21

⁶⁸ Vgl. Schuh/ Brandenburg/ Cuber (2012), S. 43

⁶⁹ Vgl. Buzacott (2010), S. 62 ff.

⁷⁰ Vgl. Jahn (2016), S. 22; Buzacott (2010), S. 44

⁷¹ Vgl. Schuh/ Brandenburg/ Cuber (2012), S. 44

⁷² Vgl. Jahn (2016), S. 21

⁷³ Vgl. Buzacott (2010), S. 67

der Sekundärbedarfsplanung wird eine Beschaffungsartenzuordnung durchgeführt, in der festgelegt wird, welche Teile in Eigenfertigung hergestellt und welche Teile fremdbezogen werden.⁷⁴ Darüber hinaus umfasst die Produktionsbedarfsplanung die Losgrößenplanung (Anzahl der zu fertigenden Teile bis eine Maschine umgerüstet wird) sowie die Durchlaufterminierung, in der der spätestmögliche Starttermin (Rückwärtsterminierung) bzw. der frühestmögliche Endtermin (Vorwärtsterminierung) und damit einhergehend die entsprechenden Termine der einzelnen Produktionsschritte festgelegt werden.⁷⁵ Auf Basis der Durchlaufterminierung werden die nötigen Kapazitäten in der Fertigung ermittelt und aufeinander abgestimmt.⁷⁶

3.4.3 Die Produktionssteuerung

Die Produktionssteuerung wird prozessbegleitend durchgeführt und umfasst die Auftragsfreigabe, -durchführung, und -überwachung.⁷⁷ Die Basis für die Auftragsfreigabe bilden die Feinterminierung, die Ressourcenfeinplanung, die Reihenfolgenplanung sowie Verfügbarkeitsprüfungen der erforderlichen Ressourcen.⁷⁸ In der Auftragsdurchführung und -überwachung werden die in der Auftragsfreigabe initiierten Aufträge durchgeführt und überwacht, sodass bei ggf. eintretenden Abweichungen vom Plan eingegriffen werden kann.⁷⁹ An dieser Stelle sei angemerkt, dass sich die Literatur bei gewissen Planungs- und Steuerungskomponenten nicht einig ist, welchem Bereich der PPS diese zuzuordnen sind. Die Sekundärbedarfsplanung sehen Buzacott und Jahn bspw. unter der Produktionsprogrammplanung, während Schuh et al. diese der Produktionsbedarfsplanung zuordnen. Auch in der Beschaffungsartenzuordnung oder der Losgrößenberechnung herrscht Uneinigkeit.⁸⁰ Die hier beschriebene PPS basiert in erster Linie auf den Kernaufgaben des Aachener- PPS- Modells, das als Standardbeispiel für eine PPS dient.⁸¹

⁷⁴ Vgl. Schuh/ Brandenburg/ Cuber (2012), S. 47, Jahn (2016), S. 21

⁷⁵ Vgl. Buzacott (2010), S. 100

⁷⁶ Vgl. Jahn (2016), S. 22; Schuh/ Brandenburg/ Cuber (2012), S. 49

⁷⁷ Vgl. Buzacott (2010), S. 33

⁷⁸ Vgl. Schuh/ Brandenburg/ Cuber (2012), S. 55 ff.

⁷⁹ Vgl. Buzacott (2010), S. 110 f.

⁸⁰ Vgl. Buzacott (2010), S. 62 ff., Schuh/ Brandenburg/ Cuber (2012), S. 41 ff; Jahn (2016), S. 21 ff.

⁸¹ Vgl. Schuh/ Gierth (2006), S. 11 ff.

Verdeutlicht wird die im Kapitel 3 beschriebene PPS durch folgende Darstellung.

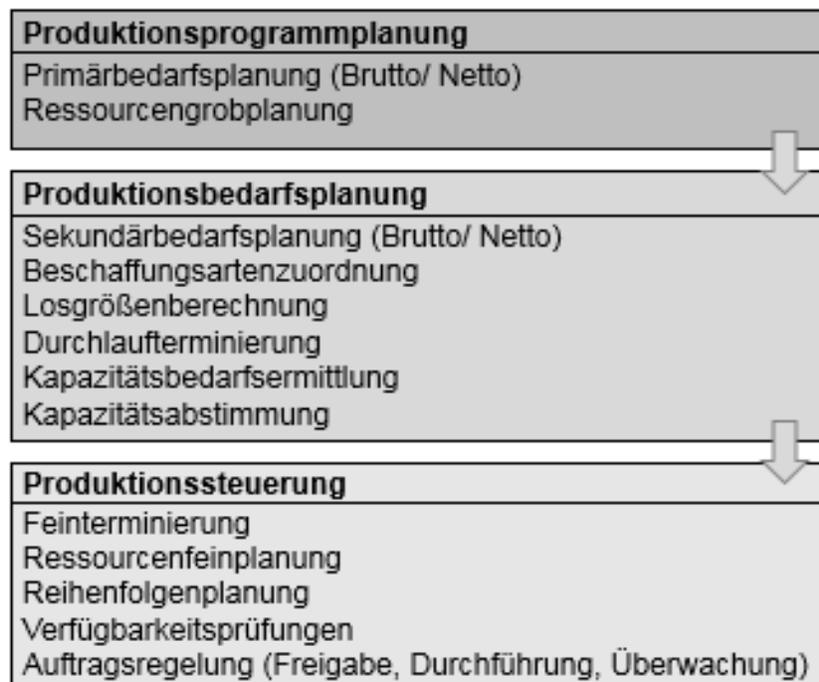


Abbildung 2: Produktionsplanung und -steuerung (Schema)

Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an: Schuh/ Gierth (2006), S. 11 ff.

Die klassische PPS, wie sie hier dargestellt ist, wird in der Regel sukzessiv durchgeführt, d.h., dass die Gesamtplanungsaufgabe in Teilaufgaben zerlegt wird, die zeitlich und organisatorisch aufeinander folgen.⁸² Die Abfolge der Teilaufgaben erfolgt dabei deterministisch, d.h., dass bei gleicher Eingabe von Anfangswerten keine unterschiedlichen Möglichkeiten für den Übergang in den nächsten Zustand bestehen, sondern der nächste Schritt im Voraus feststeht.⁸³ Das Problem hierbei besteht darin, dass die einzelnen Teilaufgaben für sich gesehen zwar ein Optimum aus den zu betrachteten Komponenten erzeugen, diese stehen allerdings häufig in Konkurrenz zu dem Gesamtziel stehen.⁸⁴ Die Summe der Optima stellen in der Gesamtheit häufig, hauptsächlich aufgrund fehlender Rückkopplungselemente, kein Gesamtoptimum dar.⁸⁵

⁸² Vgl. Jahn (2016), S. 18

⁸³ Vgl. Windt (2006), S. 291

⁸⁴ Ebenda

⁸⁵ Ebenda

4 Industrie 4.0

4.1 Definitionen

4.1.1 Flexibilität

Der Begriff Flexibilität beschreibt die Fähigkeit, wie schnell auf einen Kundenwunsch reagiert und diesem entsprochen werden kann.⁸⁶ Dies zielt zum einen auf den Start der Produktion ab, d.h., dass der Kunde bis kurz vor Produktionsbeginn Änderungen an dem Auftrag vornehmen kann und zum anderen auf die Einflussmöglichkeit auf den Auftrag, nachdem die Produktion bereits begonnen hat.⁸⁷ Neben dem zeitlichen Aspekt, inwiefern dem Kundenwunsch entsprochen werden kann, werden auch Produktspezifika berücksichtigt, sodass der Begriff Flexibilität bspw. eine erhöhte angebotene Variantenvielfalt impliziert.⁸⁸

4.1.2 Logistisches Objekt

Unter den Begriff der logistischen Objekte fallen materielle Gegenstände wie Maschinen, Produkte, Komponenten, Materialien, Werkzeuge etc.⁸⁹ Neben den materiellen Gegenständen werden darüber hinaus auch immaterielle Informationen wie z.B. Produktionsaufträge als logistisches Objekt beschrieben.⁹⁰

4.1.3 Intelligentes logistisches Objekt

Ein logistisches Objekt wird intelligent, wenn es die Fähigkeit bekommt, mit anderen Objekten zu kommunizieren und zu interagieren und es Informationen verarbeiten kann.⁹¹ Aufgrund der Informationsverarbeitung kann das intelligente logistische Objekt eigenständig Entscheidungen treffen und flexibel auf seine Umwelt reagieren.⁹²

⁸⁶ Vgl. Barthelmäs et al. (2017), S. 44

⁸⁷ Vgl. Gerberich (2010), S. 83

⁸⁸ Vgl. Barthelmäs et al. (2017), S. 44

⁸⁹ Vgl. Scholz-Reiter et al. (2008), S. 128; Windt (2006), S. 280

⁹⁰ Ebenda

⁹¹ Vgl. Windt (2006), S. 281

⁹² Ebenda

4.1.4 Dezentralisierung

Die Dezentralisierung beschreibt die Zerlegung eines Prozesses, indem dieser auf mehrere dezentrale Einheiten verteilt wird.⁹³ Dadurch sollen zum einen eine Komplexitätsreduzierung des Prozesses erwirkt und zum anderen eine Störung des Gesamtsystems durch die Anpassung lokaler Teilsysteme vermieden werden.⁹⁴

4.2 Grundgedanken von Industrie 4.0

Die Initiative „Industrie 4.0“ wurde von der Akademie der Wissenschaften („acatech“), diversen Verbänden, Teilnehmern aus Forschungseinrichtungen, Universitäten, sowie Unternehmen der Industriebranche im Jahre 2011 ins Leben gerufen mit dem Ziel, die Wettbewerbsfähigkeit des Wirtschaftsstandorts Deutschland zu stärken.⁹⁵ Die Kundenanforderungen haben sich in den letzten Jahren im Hinblick auf erhöhte Individualisierung/ Variantenvielfalt der Produkte, kürzere Lieferzeiten sowie steigende Komplexität der Produkte stark verändert, was eine hohe Flexibilität (der Produktion) von Unternehmen erfordert, um diesen Anforderungen gerecht zu werden.⁹⁶ Mit den herkömmlichen Produktionsstandards kann diese Nachfrage der Kunden nicht bedient werden, sodass eine Neuausrichtung von produzierenden Unternehmen erforderlich ist – dies soll mit der Initiative „Industrie 4.0“ erreicht werden.⁹⁷

Der Kerngedanke der Neuausrichtung einer Produktion ist bedingt durch den heutigen Stand der Technik und der damit einhergehenden zunehmenden Digitalisierung der Produktion.⁹⁸ Die Digitalisierung ermöglicht eine durchgängige Informationsverarbeitung, indem zuvor getrennte Informationsquellen verbunden werden und die dingliche Welt mit der virtuellen verschmilzt.⁹⁹ Diese durchgängige Informationsverarbeitung machen sich

⁹³ Vgl. Jahn (2016), S. 25

⁹⁴ Ebenda

⁹⁵ Vgl. Kaufmann (2015), S. 4

⁹⁶ Vgl. Windt (2006), S. 273, VDI 5600 (2016), S. 5, Kletti (2015), S. 52

⁹⁷ Vgl. Kaufmann (2015), S. 5

⁹⁸ Vgl. Hänisch (2017), S. 9

⁹⁹ Vgl. Schlick et al. (2014), S. 59

logistische Objekte dadurch, dass sie intelligent werden, zunutze.¹⁰⁰ Diese intelligenten logistischen Objekte können selbstständig durch Kommunikation und Abstimmung mit den anderen Objekten, also auf Basis der durchgängigen Informationsbearbeitung, den optimalen Weg durch die Fertigung finden, sodass es keiner zentralen Steuerung mehr bedarf.¹⁰¹ Auf dieser Basis kann ein adaptives Auftragsmanagement realisiert werden.¹⁰² Adaptivität beschreibt die „aktive und schnelle Anpassung aus eigener Substanz bei sprunghaften und unvorhersehbaren Veränderungen in der Systemumwelt“.¹⁰³ Aufträge werden in diesem Zusammenhang nicht mehr getaktet in die Produktion eingeschleust, sondern adaptiv gefertigt.¹⁰⁴ Dies beinhaltet auch die Tatsache, dass Arbeitsfolgen eines Auftrags dezentral geplant und immer flexibler ausgeführt werden.¹⁰⁵ Die Dezentralisierung der Fertigung ist das Ziel von Industrie 4.0, um die Produktion flexibel gestalten zu können.¹⁰⁶ Diese Form der Produktion erzeugt eine deutlich höhere Datenmenge als in einer herkömmlichen Produktion (Big Data).¹⁰⁷ Diese Datenmenge muss beherrscht und für den weiteren Gebrauch aufbereitet werden.¹⁰⁸

Welche technischen Aspekte für die Realisierung von Industrie 4.0 Anwendung finden und welche organisatorischen Voraussetzungen geschaffen werden müssen, wird in den folgenden beiden Unterkapiteln eingehend beleuchtet.

¹⁰⁰ Vgl. Windt (2006), S. 281

¹⁰¹ Vgl. Kletti (2013), S. 6, Kletti/ Schuhmacher (2014), S. 109 ff.

¹⁰² Ebenda

¹⁰³ Günther et al. (2014), S. 297

¹⁰⁴ Ebenda

¹⁰⁵ Vgl. Kletti/ Schuhmacher (2014), S. 109 ff., Sauer/ Kletti (2013), S. 3

¹⁰⁶ Vgl. Kletti (2013), S. 6, Kletti/ Schuhmacher (2014), S. 109 ff.

¹⁰⁷ Vgl. Kletti (2013), S. 6

¹⁰⁸ Ebenda

4.3 Technische Aspekte der Industrie 4.0

4.3.1 Definitionen

4.3.1.1 Internet of Things/ Internet der Dinge

Das Internet der Dinge (Internet of Things, IoT) bezeichnet die „umfassende Vernetzung von Objekten aller Art“ mit Hilfe des Internets.¹⁰⁹ Der Fokus liegt vor allem in der Vernetzung von Objekten, die in erster Linie die Verrichtung von physikalisch-mechanischen Tätigkeiten (Maschinen etc.) zur Aufgabe haben, indem diese Objekte mit einer Internetschnittstelle ausgestattet werden.¹¹⁰ Das Internet wird so auf die reale Welt ausgeweitet.¹¹¹

4.3.1.2 Die Cloud

Die Cloud ist ein zentraler Ort, an dem Daten in Echtzeit gespeichert werden; alle Datenmengen sind somit an einem zentralen Ort hinterlegt und abrufbar.¹¹² Die Cloud stellt so einen zentralen Ort des Austauschs aller vernetzten Objekte dar.¹¹³ Eine Reaktion auf veränderte Einflüsse erfordert somit keinen manuellen Eingriff per Hardware, stattdessen können Abläufe digital über die Cloud konfiguriert werden.¹¹⁴ Die Dokumentationsfunktion unterstützt den Charakter der Cloud als Ort des Austausches, indem relevante Daten dort gespeichert werden.¹¹⁵

¹⁰⁹ Bousonville (2017), S. 5

¹¹⁰ Vgl. Bousonville (2017), S. 5

¹¹¹ Vgl. Schöning/ Dorchain (2014), S. 543

¹¹² Vgl. Abolhassan (2016), S. 15

¹¹³ Vgl. Verl/ Lechler (2014), S. 236, S. 239

¹¹⁴ Ebenda

¹¹⁵ Vgl. Verl/ Lechler (2014), S. 238

4.3.2 Cyber- physische Systeme

Cyber- physische Systeme (CPS) sind Systeme, bei denen mechanische Komponenten mit informations-/ software-technischen Komponenten verbunden sind.¹¹⁶ Logistische Objekte weisen eingebettete Systeme auf, die mit Hilfe von Sensoren die physikalischen Umweltzustände erfassen.¹¹⁷ Durch die in einem CPS integrierte Datenverarbeitung können die erfassten Echtzeitdaten durch das logistische Objekt analysiert und interpretiert werden.¹¹⁸ Auf Basis dieser Daten wirkt das CPS mit Hilfe von Aktoren auf die Umwelt ein und setzt selbstständig getroffene Entscheidungen um.¹¹⁹

Jedes CPS ist darüber hinaus an Netzwerke angeschlossen, um Daten einerseits abzurufen und andererseits selbst gesammelte Daten zu teilen.¹²⁰ Grundvoraussetzung ist, dass logistische Objekte wie bspw. Maschinen mit einer IP-Adresse ausgestattet werden, um eine Anbindung an Netzwerke sicherzustellen und die gesammelten Daten teilen zu können.¹²¹ Die Kommunikationseinheit eines CPS erlaubt mit Hilfe des Netzwerks eine Interaktion mit anderen CPS, die auf diese Weise die Produktion in Kooperation untereinander eigenständig organisieren.¹²² Durch die Fähigkeit der Datenverarbeitung und der Kommunikation werden die logistischen Objekte als CPS intelligent.¹²³

¹¹⁶ Vgl. Gablers Wirtschaftslexikon, Stichwort: Cyber- physische Systeme

¹¹⁷ Vgl. Scholz-Reiter/ Harjes/ Rippel (2014), S. 74

¹¹⁸ Vgl. Müller (2015), S. 126

¹¹⁹ Vgl. Vogel-Heuser et al. (2012), S. 9

¹²⁰ Ebenda

¹²¹ Vgl. Bildstein (2014), S. 586

¹²² Vgl. Vogel-Heuser et al. (2012), S. 9

¹²³ Vgl. Windt (2006), S. 281

4.3.3 Cyber- physische Produktionssysteme

Mehrere an einem Produktionsstandort vernetzte CPS bilden ein Cyber- physisches Produktionssystem (CPPS).¹²⁴ Die CPS sind in der Regel über das Internet der Dinge miteinander vernetzt und können auf diese Weise kommunizieren.¹²⁵ Ein CPPS kann die Produktion bei auftretenden Veränderungen anpassen, indem sie durch hochkomplexe Kooperation zwischen den einzelnen CPS flexibel gehalten wird.¹²⁶ Die Rahmenbedingungen und Umweltzustände sind den CPS entweder durch die selbstständige Erfassung der Daten, dem Empfangen der Daten von anderen CPS oder durch das Abrufen gespeicherter Daten aus der Cloud bekannt, sodass durch die Abstimmung per Kommunikation eine optimale Produktion erfolgen kann.¹²⁷ Als Hauptaufgabe von CPPS sehen Vogel-Heuser et al. die „selbstorganisierende Konfiguration der Produktionseinheiten“ sowie die „eigenständige Produktion kundenindividueller Produkte“ bei kleiner Losgröße.¹²⁸

4.3.4 smart factory

Die smart factory ist eine logische Folgerung aus dem Einsatz von CPS/ CPPS, da in diesem Begriff neben der durchgehenden Vernetzung der Material-, Daten- und Informationsflüsse auf operativer Ebene auch die administrativen Bereiche mit in Betracht gezogen werden.¹²⁹ Die komplette Fabrik ist digital vernetzt und somit auf eine durchgängige Prozessorientierung ausgelegt, in der Abläufe ereignisgestützt, flexibel und adaptiv gestaltet werden.¹³⁰ Durch die smart factory soll sich ein Werkstück in Form eines CPS durch Kommunikation mit anderen CPS (CPPS) seinen optimalen Weg selbstständig durch die Fabrik suchen.¹³¹ Die Verarbeitung von Echtzeitdaten bezieht sich demnach nicht nur auf die operative Produktion, sondern auch auf die administrativen Aufgaben als deren Basis.¹³²

¹²⁴ Vgl. Burger et al. (2017), S. 62; Vogel-Heuser et al. (2012), S. 10

¹²⁵ Vgl. Müller (2015), S. 126

¹²⁶ Vgl. Vogel-Heuser et al. (2012), S. 9

¹²⁷ Ebenda

¹²⁸ Vogel-Heuser et al. (2012), S. 10

¹²⁹ Vgl. Hausladen (2016), S. 18

¹³⁰ Vgl. Hofmann (2017), S. 262, Hausladen (2016), S. 18

¹³¹ Vgl. Obermaier (2017), S. 21

¹³² Vgl. Müller (2015), S. 101

Die technischen Voraussetzungen für die Realisierung von Industrie 4.0- Gedanken waren schon vor der Einführung der Industrie 4.0- Initiative gegeben, da Mittel wie Sensoren und Aktoren oder auch der Datenaustausch über das Internet schon seit geraumer Zeit in der Produktion angewendet werden. Entscheidender für die Realisierung ist vielmehr die organisatorische und logische Sicherstellung der Produktionsabläufe, die im folgenden Unterkapitel erläutert werden.¹³³

4.4 Organisatorische Voraussetzungen der Industrie 4.0

4.4.1 Dezentrale Steuerung und Selbststeuerung

Während in der klassischen Produktion die Vorgaben der zentralen Planungsinstanz umgesetzt wurden, erfordert die Produktion nach Industrie 4.0- Aspekten zunehmend dezentralisierte Planungs- und Steuerungsprozesse, um die nötige Flexibilität zu erreichen.¹³⁴ Die Dezentralität in der Produktion wird mit Hilfe von Selbststeuerung realisiert, indem einzelne Entscheidungsfunktionen von einer zentralen Planungs- und Steuerungsinstanz auf die einzelnen logistischen Objekte verlagert werden.¹³⁵ Der hierarchische Grundgedanke in der Produktionsplanung und -steuerung wird somit aufgehoben, da Entscheidungen von den logistischen Objekten dezentral in heterarchischen Strukturen getroffen werden.¹³⁶ Dezentrale Entscheidungsinstanzen werden somit in einem Netz aus intelligenten Teilnehmern zunehmen.¹³⁷

Die Entscheidungsfindung findet in diesem Zusammenhang im Rahmen von sogenannten Regelkreisen statt.¹³⁸ Die logistischen Objekte treffen zwar eigenständig in einem dynamischen Umfeld Entscheidungen, allerdings sind die Entscheidungsalternativen zuvor bereits festgelegt.¹³⁹ Die Objekte erfassen die aktuellen lokalen Umstände (Zustände/ Verhalten anderer selbststeuernder, intelligenter Objekte) und können auf

¹³³ Vgl. Kleinmeier (2014), S. 572 f.

¹³⁴ Vgl. Kleinmeier (2014), S. 575

¹³⁵ Vgl. Scholz-Reiter et al. (2008), S. 128

¹³⁶ Vgl. Windt (2006), S. 271

¹³⁷ Vgl. Kletti (2015), S. 270

¹³⁸ Vgl. Windt (2006), S. 283

¹³⁹ Vgl. Scholz-Reiter et al. (2008), S. 129, Windt (2006), S. 286

Basis dessen die erforderliche Entscheidungsalternative auswählen und ausführen.¹⁴⁰ Der Begriff der Regelung impliziert, dass das logistische Objekt die ausgeführte Entscheidung daraufhin überwacht, ob das Ziel dadurch erreicht wird oder ggf. Korrekturen durchgeführt werden müssen.¹⁴¹

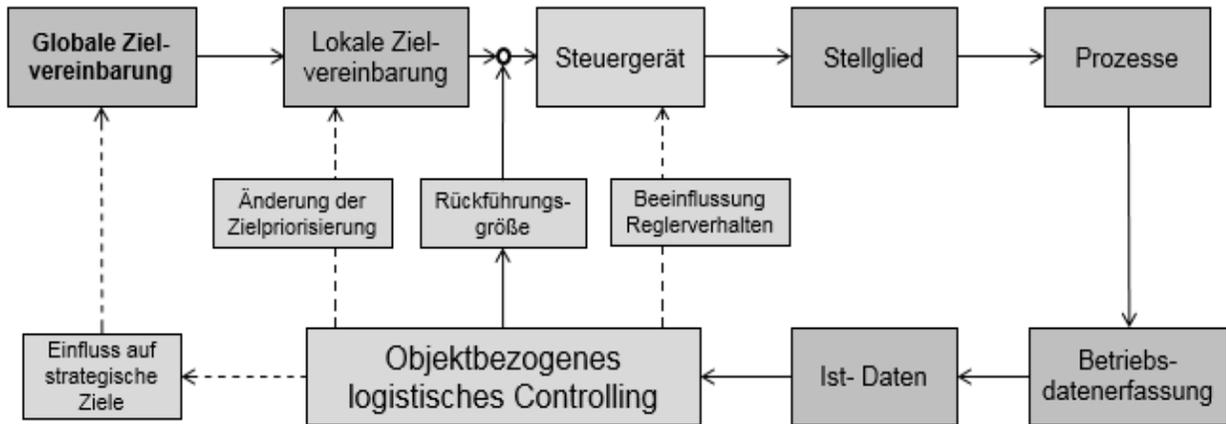


Abbildung 3: Selbststeuernder Regelkreis

Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an: Windt (2006), S. 285

Grundvoraussetzung für die Selbststeuerung ist die Intelligenz der logistischen Objekte (Fähigkeit zur Datenverarbeitung und Kommunikation), damit eine Fähigkeit zur Erfassung und Bewertung von Ereignissen garantiert ist.¹⁴² Dadurch wird eine Interaktionsfähigkeit per Datenaustausch mit anderen logistischen Objekten ermöglicht, sodass Entscheidungen in Abstimmung mit diesen getroffen werden können.¹⁴³ Darüber hinaus muss ein nicht-deterministisches Verhalten der logistischen Objekte vorausgesetzt sein, d.h., dass bei gleicher Eingabe von Anfangswerten unterschiedliche Möglichkeiten für den Übergang in den nächsten Zustand bestehen.¹⁴⁴ Außerdem erfordert die Selbststeuerung die Organisation der Produktion nach Netzwerkgedanken, d.h. eine heterarchische Beziehung zwischen den Akteuren der Produktion im Gegensatz zur hierarchischen Organisation der Automatisierungspyramide.¹⁴⁵

¹⁴⁰ Vgl. Scholz-Reiter et al. (2008), S. 129, Windt (2006), S. 286

¹⁴¹ Ebenda

¹⁴² Vgl. Windt (2006), S. 287 f.

¹⁴³ Ebenda

¹⁴⁴ Ebenda

¹⁴⁵ Vgl. Windt (2006), S. 287 f.

4.4.2 Durchgehende Integration

4.4.2.1 Integration

Die Bedeutung von Integration im wörtlichen Sinne ist „die Eingliederung zusammengehörender Elemente in ein größeres Ganzes“.¹⁴⁶ Durch die Zusammenführung der einzelnen Elemente wird von dem Zusammenwirken in einem großen Ganzen ein erhöhter Nutzen erwartet.¹⁴⁷ Selbiges gilt für die Integration im Zusammenhang mit Industrie 4.0. Die Integration zielt hier in erster Linie auf die Daten ab und beschreibt, dass möglichst alle IT- Systeme auf denselben Datenpool zurückgreifen, was eine durchgängige Informationsverarbeitung ermöglichen soll.¹⁴⁸ Aufgrund der stark erhöhten Datenmenge (Big Data) auf allen drei Ebenen der Automatisierungspyramide, bedingt durch die Digitalisierung sowie durch die dezentrale Selbststeuerung, wird eine durchgehende Integration als Rückgrat eines produzierenden Unternehmens angesehen, das nach Industrie 4.0- Aspekten agiert.¹⁴⁹ Um eine dezentrale Selbststeuerung realisieren zu können, erfordert die Produktion somit ein zentrales Mittel zur durchgehenden Kommunikation über alle Ebenen der Automatisierungspyramide hinweg, das darüber hinaus eine transparente Verfügbarkeit von Echtzeitdaten garantiert.¹⁵⁰

¹⁴⁶ Barthelmäs et al. (2017), S. 52

¹⁴⁷ Vgl. Barthelmäs et al. (2017), S. 52

¹⁴⁸ Vgl. Müller (2015), S. 125

¹⁴⁹ Vgl. Kletti (2015), S. 271, Müller (2015), S. 125, Sauer (2013), S. 11

¹⁵⁰ Vgl. Müller (2015), S. 127, Sauer (2013), S. 11

4.4.2.2 Horizontale Integration

Die horizontale Integration beschreibt die Integration der IT- Systeme auf einer Hierarchieebene der Automatisierungspyramide, indem Teilsysteme aus unterschiedlichen Funktionsbereichen miteinander verbunden werden.¹⁵¹ Die horizontale Integration kann sowohl unternehmensintern als auch unternehmensübergreifend thematisiert werden.¹⁵² Besonderer Fokus liegt im Rahmen von Industrie 4.0 auf der Prozesslebene, bei der die Integration der einzelnen Fertigungsmaschinen durch die Machine-to-Machine (M2M)-Verbindungen thematisiert wird.¹⁵³

4.4.2.3 Vertikale Integration

Die vertikale Integration verbindet die IT- Systeme der unterschiedlichen Hierarchieebenen miteinander, sodass Planungs- und Kontrollsysteme in den übergeordneten Ebenen mit operativen Systemen in der untersten Ebene kombiniert werden.¹⁵⁴ Der Austausch zwischen den Ebenen erfolgt in diesem Zusammenhang bidirektional, d.h. sowohl von der obersten zur untersten Ebene (top-down), aber auch in entgegengesetzter Richtung (bottom-up).¹⁵⁵

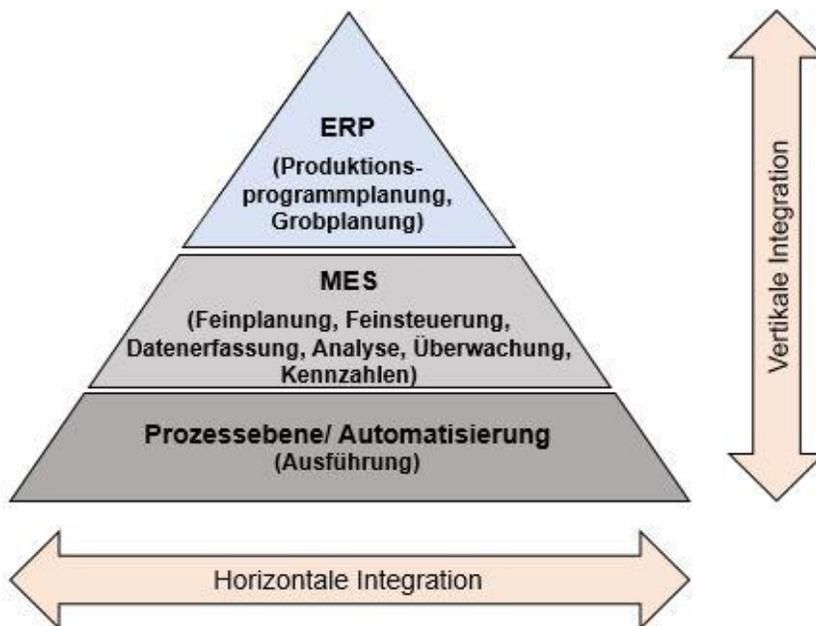


Abbildung 4: Integration in der Automatisierungspyramide

Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an: Müller (2015), S. 125

¹⁵¹ Vgl. Barthelmäs (2017), S. 71

¹⁵² Vgl. Müller (2015), S. 125, Kletti (2013), S. 6

¹⁵³ Ebenda

¹⁵⁴ Vgl. Kletti (2015), S. 53, Barthelmäs (2017), S. 71

¹⁵⁵ Vgl. Müller (2015), S. 125

5 Dezentrale Selbststeuerung durch MES

5.1 Voraussetzungen für Integration

5.1.1 Interoperabilität

Die Interoperabilität umfasst die Vermeidung von Insellösungen und zielt darauf ab, dass Schnittstellen möglichst vermieden und im Fall, dass dies nicht möglich ist, standardisiert werden sollen.¹⁵⁶ Die erfassten Daten verbleiben auf diese Weise nicht in autonomen Insellösungen, sondern werden in einem integrierten Gesamtsystem gespeichert, sodass sie zentral verfügbar sind.¹⁵⁷

Eine Schnittstelle wird sowohl durch die technische als auch die Software-relevante Komponente definiert.¹⁵⁸ Insbesondere der zweite Aspekt ist in der Standardisierung von Schnittstellen von Bedeutung, indem die Datenkompatibilität der beiden Systeme, zwischen denen die Schnittstelle besteht, gewährleistet wird.¹⁵⁹ Dies beinhaltet vor allem die entsprechende Gestaltung von Protokollen, die den Datenaustausch ermöglichen.¹⁶⁰ Eine einheitliche Maschinensprache mit gemeinsamer Syntax und Semantik ist in der Interoperabilität bzw. der durchgängigen Integration von besonderer Bedeutung.¹⁶¹

Die Interoperabilität dient darüber hinaus als Basis für die in den folgenden Unterkapiteln zu erläuternde Transparenz und die Kommunikation als weitere Komponente der Integration.¹⁶²

¹⁵⁶ Vgl. Gerberich (2010), S. 80, Kletti/ Schumacher (2014), S. 109 ff., Kletti (2015), S. 273

¹⁵⁷ Vgl. Kletti (2013), S. 7

¹⁵⁸ Vgl. Kletti (2015), S. 230

¹⁵⁹ Vgl. Hoppe (2014), S. 265

¹⁶⁰ Ebenda

¹⁶¹ Vgl. BMWi (2017), S. 4 ff.

¹⁶² Vgl. Kletti/ Sauer (2013), S. 1

5.1.2 Transparenz

5.1.2.1 Produktverfolgung

Die Produktverfolgung wird oft auch mit dem englischen Begriff „Traceability“ beschrieben und steht für die „Identifikation und Rückverfolgbarkeit des Produktes zu jeder Zeit und an jedem Ort“. ¹⁶³ Die Produktverfolgung wird oft mit einem Track & Trace- System, also der Rückwärts- und Vorwärtsverfolgbarkeit, ähnlich wie bspw. bei dem heutigen Paketversand, realisiert, sodass eine lückenlose Produktdokumentation ermöglicht wird. ¹⁶⁴ Dadurch kann die Bewegung von Teilen und Produkten durch die Fertigung offen aufgezeigt werden, damit ein Abbild des Materialflusses erzeugt wird. ¹⁶⁵ Die Traceability von Produkten wird als der Schlüssel zur Transparenz in der Produktion angesehen. ¹⁶⁶

5.1.2.2 Aktualität und Zentralität der Daten

Die Transparenz ist stark bedingt durch die Aktualität und Zentralität der Daten. ¹⁶⁷ Eine Informationstransparenz bedeutet eine Informationsbereitstellung, sodass jedes Objekt die benötigten Daten abrufen kann. ¹⁶⁸ Insbesondere die funktionsbereichsübergreifende Bereitstellung der Daten ist dabei von Bedeutung – dies ist nur durch eine zentrale Verwaltung der Daten möglich. ¹⁶⁹ In diesem Zusammenhang bedarf es der zuvor erwähnten Interoperabilität, da die Zentralität der Daten nur durch eine Vermeidung von Insellösungen erreicht werden kann. Ein bereichsübergreifender Zugriff auf die Daten der einzelnen Objekte durch die Verteilung der Daten auf autonome „Inseln“ ist nicht möglich. ¹⁷⁰ Eine zielführende Verarbeitung der durch die logistischen Objekte abgerufenen Daten bedingt eine Aktualität der Ist- Daten (möglichst in Echtzeit), damit Entscheidungen auf der richtigen (= aktuellen) Datenbasis getroffen werden. ¹⁷¹

¹⁶³ Jahn (2016), S. 13

¹⁶⁴ Vgl. Kletti/ Daisenroth (2012), S. 118

¹⁶⁵ Vgl. Gerberich (2010), S. 77

¹⁶⁶ Vgl. Jahn (2016), S. 13

¹⁶⁷ Vgl. Kletti (2007), S. 129 f.

¹⁶⁸ Vgl. Gerberich (2010), S. 77

¹⁶⁹ Vgl. Kletti (2015), S. 51

¹⁷⁰ Vgl. Kletti (2007), S. 129 f., Kletti (2015), S. 51

¹⁷¹ Vgl. Kletti/ Daisenroth (2012), S. 97

5.1.3 Kommunikation

Eine umfassende Kommunikation zwischen logistischen Objekten stellt ein weiteres Kriterium für eine durchgängige Integration dar, damit eine Verkettung von Fertigungsabläufen in Eigenregie erfolgen kann.¹⁷² Dezentralisierungsansätze, bei denen Entscheidungen von den intelligenten logistischen Objekten selbstständig getroffen werden, können nur mit Hilfe von Kommunikation zwischen den Objekten realisiert werden.¹⁷³ Im Vordergrund steht in der Kommunikation zwischen intelligenten logistischen Objekten der „systemübergreifende Datenaustausch“.¹⁷⁴

Die Kommunikation zwischen den intelligenten logistischen Objekten erfolgt über Netzwerke.¹⁷⁵ In der Regel handelt es sich bei solchen Netzwerken um das Internet (IoT), wenngleich es nicht unerwähnt bleiben soll, dass auch lokale Netzwerke möglich sind, was allerdings einer durchgängigen Kommunikation widersprechen würde.¹⁷⁶ Um einen effektiven Datenaustausch zwischen den Objekten zu realisieren, bedarf es im Sinne der Interoperabilität eines einheitlichen Standards im Hinblick auf die Schnittstellengestaltung.¹⁷⁷ Die beteiligten Komponenten einer Kommunikation müssen dieselbe Sprache verstehen, was durch eine Datenhomogenität bedingt durch die Vereinheitlichung von Schnittstellen erreicht wird.¹⁷⁸

Dieser Aspekt ist auch in vertikaler Betrachtungsweise von Bedeutung, da Systeme, die nicht im MES abgebildet werden können, mit Hilfe einer entsprechenden Schnittstelle mit dem MES kommunizieren können.¹⁷⁹ Insbesondere in der Anbindung des ERP aus der Unternehmensleitebene an das MES bedarf die Schnittstellengestaltung besonderer Beachtung.¹⁸⁰

¹⁷² Vgl. Hoppe (2014), S. 263

¹⁷³ Vgl. Sauer (2013), S. 1 f.

¹⁷⁴ Hausladen (2016), S. 66

¹⁷⁵ Vgl. Hausladen (2016), S. 66

¹⁷⁶ Vgl. Pantförder et al. (2014), S. 155

¹⁷⁷ Vgl. Sauer (2013), S. 1 f.

¹⁷⁸ Vgl. Hausladen (2016), S. 66

¹⁷⁹ Vgl. Kletti (2015), S. 273

¹⁸⁰ Vgl. Kletti/ Schuhmacher (2014), S. 107

5.2 Das MES als Informationsdrehscheibe

5.2.1 Informationsdiabolo

Wie bereits in Kapitel 4.2.3.1 erläutert, wird die Datenmenge in der Produktion im Rahmen von Industrie 4.0 zunehmen, da immer mehr Daten durch die autonomen, selbststeuernden Produktionsteilnehmer getauscht werden müssen.¹⁸¹ Kletti/ Daisenroth gehen davon aus, dass bei einer Fertigung mit bis zu 100 Sensoren und bis zu 500 Arbeitsschritten pro Produkt mehrere Terabytes (ein Terabyte = 1000 Gigabyte) an Daten anfallen.¹⁸² Die Rechenleistungen von Maschinen bspw. reichen nicht aus, um diese Datenmengen bewältigen zu können.¹⁸³ Außerdem können Fertigungsmaschinen in ihrer Position nicht die für die Transparenz geforderte Zentralität der Daten gewährleisten.¹⁸⁴ Trotz aller Dezentralitätsansätze im Rahmen von Industrie 4.0 bedarf es somit einer zentralen Instanz, um die Datenmenge zu managen und die Koordination der Werkstücke untereinander durch eine durchgängige Integration zu ermöglichen.¹⁸⁵ Diese zentrale Institution zur Synchronisation der Daten bildet das Manufacturing Execution System.¹⁸⁶ Da die Datenintegration in der Regel mit einem Datenbanksystem einhergeht, kann ein MES in seiner bisherigen Form als Produktionsdatenbank diese Rolle einnehmen.¹⁸⁷ Das MES bietet sich für diese Funktion durch seine Fähigkeit an, Daten automatisch zu erfassen, verdichten und bereitzustellen, an, da es diese Aufgaben bereits in der herkömmlichen Automatisierungspyramide innehat.¹⁸⁸ Die zuvor starre hierarchisch strukturierte Automatisierungspyramide wird durch das MES als „Informationsdrehscheibe“¹⁸⁹ aufgebrochen, indem das MES auf einer zentralen Informationsebene fungiert, auf der die Daten aus allen Systemen zusammenlaufen und koordiniert werden können.¹⁹⁰ Die zentrale Informationsdrehscheibe MES ermöglicht die

¹⁸¹ Vgl. Kletti/ Schuhmacher (2014), S. 109

¹⁸² Vgl. Kleinmeier (2014), S. 576

¹⁸³ Vgl. Verl/ Lechler (2014), S. 238, Sauer/ Kletti (2013), S. 3

¹⁸⁴ Ebenda

¹⁸⁵ Ebenda

¹⁸⁶ Vgl. Kletti (2013), S. 13, Sauer/ Kletti (2013), S. 3

¹⁸⁷ Vgl. Fauser et al. (2017), S. 70

¹⁸⁸ Vgl. Kletti/ Deisenroth (2012), S. 22 f.

¹⁸⁹ Sauer/ Kletti (2013), S. 2

¹⁹⁰ Vgl. Müller (2015), S. 128, Kletti (2015), S. 270

Interaktion der selbststeuernden Werkstücke, indem die Koordination von Fertigungsaktivitäten, ausgelöst durch Aufträge, ermöglicht wird.¹⁹¹ Die Rolle als zentraler Datenmanager ist auch in der Hinsicht notwendig, da die hierarchische Automatisierungspyramide den heterarchischen Netzwerkgedanken verhindert, der für die dezentrale Selbststeuerung notwendig ist.¹⁹² Die Automatisierungspyramide wird somit durch ein sogenanntes Informationsdiabolo ersetzt, in dem die zentrale Informationsebene für ein MES vorgesehen ist.¹⁹³

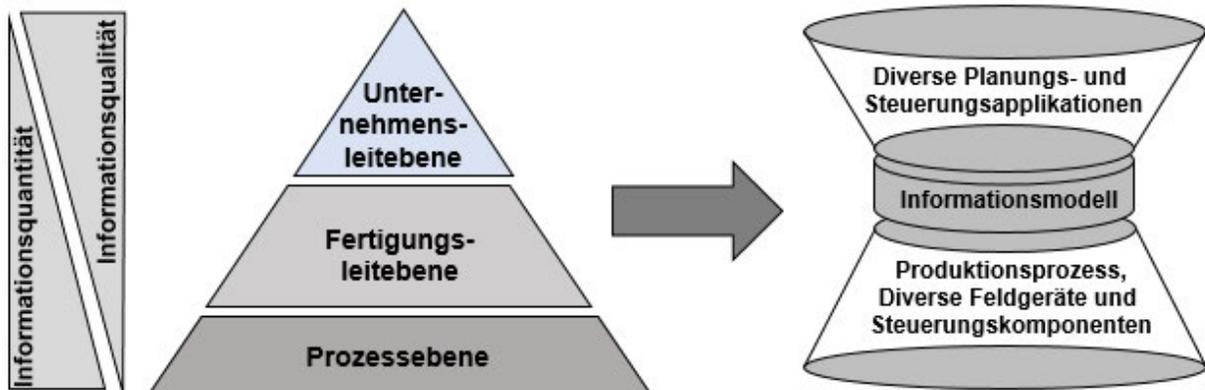


Abbildung 5: Von der Automatisierungspyramide zum Informationsdiabolo

Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an: VDI 5600 (2013), S. 5, Sauer (2013), S. 12

Das MES hat die Fähigkeit, die gesammelten Daten auf Plausibilität (bspw. Vollständigkeit = Datenkonsistenz) zu überprüfen, sodass eine sehr hohe Datenqualität ermöglicht werden kann.¹⁹⁴ Das sogenannte Data Mining beinhaltet Methoden und Algorithmen zur möglichst automatischen Erfassung von Zusammenhängen der Daten, sodass das MES die große Menge an gesammelten Daten (Big Data) aufbereitet.¹⁹⁵ Die gesammelten Daten werden erst wertvoll, wenn sie verdichtet und kombiniert werden und dadurch Wissen extrahiert wird (Smart Data).¹⁹⁶ Der zentrale MES-Server bietet somit eine zentrale Datenbasis in hoher Qualität, sodass eine Abbildung der physischen Umstände virtuell repräsentiert wird.¹⁹⁷ Ein Kriterium für Transparenz, die im Zusammenhang mit der

¹⁹¹ Vgl. VDI 5600 (2016), S. 11

¹⁹² Vgl. Kleinmeier (2014), S. 571

¹⁹³ Vgl. Sauer (2013), S. 12; VDI 5600 (2013), S. 5

¹⁹⁴ Vgl. Kletti (2015), S. 55, Kletti/ Schuhmacher (2014), S. 92

¹⁹⁵ Vgl. Gabler Wirtschaftslexikon, Stichwort: Data Mining, Kletti (2015), S. 271

¹⁹⁶ Ebenda

¹⁹⁷ Vgl. Scholz- Reiter et al. (2014), S. 73, Kletti (2015), S. 226, 271

Integration thematisiert worden ist, ist durch die Zentralität und Aktualität der Daten durch das integrative Datenmanagement erfüllt.¹⁹⁸ Auf dieser Basis können die CPS im Rahmen der Selbststeuerung die entsprechenden Entscheidungen treffen und ausführen.¹⁹⁹

Der Koordinations- und Kommunikationsbedarf steigt in einem heterarchischen Netzwerk stark an.²⁰⁰ Aus diesem Grund läuft jede Kommunikation zwischen den CPS über das MES.²⁰¹ Die CPS fragen die benötigten Daten bei dem MES als Zentrale an, sodass das MES die benötigten Daten wiederum bei den entsprechenden Ressourcen anfragt, diese ggf. mit weiteren Daten kombiniert und dem anfragenden Objekt zur Verfügung stellt.²⁰² So unterstützt das MES die CPS durch die transparente Bereitstellung der Daten in der Effizienz der Kommunikation.²⁰³ Auf diese Weise wird die Anzahl an Schnittstellen reduziert, da Objekte statt bilateral über das MES kommunizieren und dadurch nur eine Schnittstelle zwischen Objekt und MES bestehen muss anstatt diversen Schnittstellen zwischen den Objekten.²⁰⁴ Voraussetzung hierfür ist eine Online- Fähigkeit des MES, auf die im folgenden Unterkapitel zum Thema Echtzeitdaten eingegangen wird. Der Aspekt der Kommunikation für die durchgängige Integration wird somit durch die Funktion des MES abgedeckt.

5.2.2 Datenmanagement im MES

5.2.2.1 Echtzeitdaten

Die Bereitstellung von Echtzeitdaten ist, wie u.a. im vorangegangenen Kapitel beschrieben, unabdingbar als Grundlage für die Entscheidungsfindung von selbststeuernden Einheiten. Aus diesem Grund ist das Erfassen und Bereitstellen von Echtzeitdaten in Zusammenhang mit der horizontalen Integration von besonderer Bedeutung.²⁰⁵ Die Unternehmensleitebene ist aufgrund der längerfristigen Planungszeiträume weniger auf die Verfügbarkeit von Echtzeitdaten angewiesen.²⁰⁶

¹⁹⁸ Vgl. Kletti (2015), S. 273

¹⁹⁹ Vgl. VDI 5600 (2015), S. 2

²⁰⁰ Vgl. Scholz-Reiter (2006), S. 750

²⁰¹ Vgl. Obermaier (2017), S. 19

²⁰² Ebenda

²⁰³ Vgl. Kletti (2013), S. 26

²⁰⁴ Vgl. Obermaier (2017), S. 19, Hofmann (2017), S. 261

²⁰⁵ Vgl. Sauer/ Kletti (2013), S. 4

²⁰⁶ Ebenda

Das MES ist seit seiner Entwicklung, also bereits vor seiner zentralen Rolle in der Industrie 4.0, ein echtzeitfähiges System, da die Reaktions- und Einwirkzeit auf den Prozess aufgrund der Prozessnähe kürzer ist als die Reaktion durch den Prozess selbst auf die Zustände.²⁰⁷ Die Prozessnähe bzw. Echtzeitfähigkeit ist bedingt durch die direkte Anbindung per Schnittstelle der entsprechenden Objekte an das MES, sodass das MES die Daten unmittelbar und automatisch erfassen kann.²⁰⁸ Eine zeitaufwändige manuelle Eingabe der entsprechenden Daten entfällt somit.²⁰⁹ Die Zustände der Ressourcen in der Produktion werden dadurch detailliert und in Echtzeit in der MES- Datenbank abgebildet.²¹⁰ Auf die Thematik der Schnittstellen wird im folgenden Unterkapitel näher eingegangen.

Für die permanente Erfassung und Bereitstellung von Echtzeitdaten erfordert ein MES im Rahmen von Industrie 4.0 zwingend eine Online-Fähigkeit.²¹¹ Die Online-Kopplung wird sowohl in vertikaler als auch in horizontaler Richtung benötigt, damit der Datentransport in beide Richtungen gewährleistet werden kann und die Echtzeit der Daten nicht gefährdet wird.²¹² Insbesondere im Hinblick auf die horizontale Betrachtungsweise kann nur auf diese Weise ein permanent aktuelles virtuelles Abbild der Produktion ermöglicht werden.²¹³ Auf Grund dessen, dass in einer Produktion in der Regel Numeric Control-Maschinen (NC- Maschinen) eingesetzt werden, wurde die Kommunikation in der klassischen Funktionsweise zwischen MES und Ressourcen per Direct Numeric Control (DNC) durchgeführt.²¹⁴ Das DNC beschreibt die Vernetzung von NC- Maschinen per Netzwerk.²¹⁵ NC- Maschinen sind numerisch gesteuerte Werkzeugmaschinen, „die automatisch die einzelnen Bearbeitungsschritte zur Erstellung eines Werkzeugstücks durchführen. Die Arbeitsfolge ist durch ein NC-Programm festgelegt (...)“.²¹⁶ Als Pendant

²⁰⁷ Vgl. VDI 5600 (2016), S. 11

²⁰⁸ Vgl. Kletti/ Schuhmacher (2014), S. 19, Hofmann (2017), S. 262

²⁰⁹ Vgl. Kletti/ Daisenroth (2012), S. 17

²¹⁰ Vgl. Kletti/ Daisenroth (2012), S. 110

²¹¹ Vgl. u.a. VDI 5600 (2015), S.2, Sauer (2013), S. 8 f.

²¹² Vgl. Sauer (2013), S. 8 f

²¹³ Vgl. VDI 5600 (2015), S. 2

²¹⁴ Vgl. Kletti (2015), S. 272

²¹⁵ Vgl. Gablers Wirtschaftslexikon, Stichwort: DNC

²¹⁶ Vgl. Gablers Wirtschaftslexikon, Stichwort: NC- Anlage

zur Online-Fähigkeit muss ein MES eine Offline-Fähigkeit aufweisen, um kurzweilige Verbindungsprobleme zu überbrücken.²¹⁷ Mit Hilfe von Datenpuffern bleibt die Funktion des Datenmanagements während des Verbindungsabbruchs bestehen, um die Aktualität der Daten möglichst zu gewährleisten.²¹⁸ Die für die Transparenz notwendige Aktualität der Daten wird durch die Echtzeitfähigkeit des MES somit erfüllt, sodass eine weitere Komponente der benötigten Integration berücksichtigt wird.

5.2.2.2 Bewegungsdaten

Bewegungsdaten sind dadurch charakterisiert, dass sie in ihrer Existenz zeitlich begrenzt sind.²¹⁹ Die Bewegungsdaten bilden in erster Linie Status und Zustände der Ressourcen ab.²²⁰ Das MES bekommt die Zustandsmeldungen und damit einhergehend auch ggf. eintretende Störungen unmittelbar von den Produktionsmaschinen.²²¹ Im Sinne der Cyber-physischen Systeme müssen die Maschinen mit einer Kommunikationseinheit (bspw. Speicherprogrammierbare Steuerung, SPS) ausgestattet sein, damit ein Austausch mit dem MES möglich ist.²²² Eine zentrale Rolle in der automatischen Erfassung von Echtzeitdaten von den Maschinen spielt erneut die Interoperabilität, da ein einheitlicher Standard von Schnittstellen nötig ist, um die angestrebte Vernetzung zu realisieren.²²³ Die Heterogenität des Maschinenparks eines produzierenden Unternehmens, bedingt durch eine hohe Anzahl der Hersteller und dem unterschiedlichen Alter der Maschinen, hat zur Folge, dass diverse verschiedene Schnittstellen bestehen.²²⁴ Aus diesem Grund ist es notwendig, diese Schnittstellen zu standardisieren, damit eine Datenhomogenität erzeugt und der manuelle Aufwand der Datenübermittlung so gering wie möglich gehalten werden kann.²²⁵ So kann die automatische Erfassung der Daten

²¹⁷ Vgl. Kletti (2013), S. 8

²¹⁸ Vgl. Kletti (2015), S. 273

²¹⁹ Vgl. Schuh/ Roesgen (2006), S. 77

²²⁰ Ebenda

²²¹ Vgl. Hänisch (2017), S. 30

²²² Vgl. Gerberich (2010), S. 73

²²³ Vgl. Scholz-Reiter (2014), S. 73

²²⁴ Vgl. VDI (2013), S. 3

²²⁵ Ebenda

ermöglicht werden, damit der Echtzeitcharakter der Daten gewährleistet ist.²²⁶ Eine automatische Erfassung der Daten erfordert zwingend den Einsatz eines MES, um den manuellen Aufwand in Bezug auf die Daten zu vermeiden.²²⁷

Wie bereits erwähnt, besteht eine Schnittstelle immer aus einer technischen und einer logischen Komponente (siehe Kap. 5.1.1). Der Verband Deutscher Ingenieure (VDI) bspw. hat in seiner Richtlinie 5600 im Jahre 2011 einen Standard für die logischen Schnittstellen von Maschinen zum MES vorgeschlagen.²²⁸ In der „Universal Machine Connectivity for MES“ werden Formate im Hinblick auf die Datenpräsentation und -struktur, die Bezeichnung der Werte sowie die Art der Übermittlung vereinheitlicht, wobei alle Datentypen bezüglich des Austauschs zwischen MES und Maschinen berücksichtigt werden.²²⁹ Die technische Schnittstelle wird in Form von Protokollen, die als Dateien hinterlegt sind, geregelt, wobei an dieser Stelle gängige Schnittstellen wie bspw. der Remote Function Calls vom Software-Hersteller SAP oder die Open Plattform Communication, an dessen Entwicklung u.a. Siemens mitgewirkt hat, von Bedeutung sind.²³⁰ Es soll an dieser Stelle nicht unerwähnt bleiben, dass neben der Gestaltung der Schnittstellen auf Shopfloor- Ebene auch der Gestaltung der Schnittstellen von Systemen auf der Betriebsebene mit dem MES (bspw. Logistiksysteme) oder der unternehmensübergreifenden MES- Schnittstelle Beachtung geschenkt werden muss.²³¹

Die lückenlose Erfassung der Maschinenzustände wird über die sogenannte Maschinendatenerfassung (MDE) realisiert.²³² Die Maschine erfasst ihre Zustände per Sensoren.²³³ Die Verfügbarkeit und der Zustand der Maschine werden so erkannt und nach der Übermittlung an das MES transparent für andere Objekte dargestellt.²³⁴ In der klassischen Funktionsweise wurden diese Daten durch das MES an sogenannten MDE-

²²⁶ Ebenda

²²⁷ Vgl. Verl/ Lechler (2014), S. 237

²²⁸ Vgl. Kletti (2015), S. 47 f.

²²⁹ Ebenda

²³⁰ Vgl. Kletti (2015), S. 239

²³¹ Vgl. Sauer (2013), S. 12; Kletti (2013), S. 9

²³² Vgl. Kletti/ Daisenroth (2012), S. 73

²³³ Ebenda

²³⁴ Vgl. Kletti/ Daisenroth (2012), S. 135

Terminals abgerufen, um diese Daten als Basis in die Feinplanung der Produktion einfließen zu lassen.²³⁵ Im Rahmen der Dezentralisierung mit der Echtzeitanforderung werden die Daten jedoch durch die SPS als Kommunikationseinheit direkt automatisch an das MES übermittelt.²³⁶

Während die MDE Daten in Bezug auf die Fertigungsmaschinen und -anlagen liefert, werden auftrags- und mengenbezogene Daten durch die Betriebsdatenerfassung (BDE) gesammelt.²³⁷ Die Ergebnisse der BDE bezüglich der Frage, was wo und mit welchem Aufwand gefertigt wird, bildeten in der klassischen Produktion die Basis für die Feinplanung der Fertigung auf Shopfloor- Ebene.²³⁸ In der dezentral gesteuerten Produktion sind für den Auftragsabwicklungsprozess vor allem die Bereitstellung von Bearbeitungs- und Stillstandzeiten von Bedeutung, um eine transparente Darstellung vom Auftragsstatus zu gewährleisten.²³⁹ Durch die auftragsnahe Datenerfassung der BDE wird ein Abbild der Fertigungsstrukturen erzeugt, sodass eine Datenbasis für die Entscheidungsfindung der intelligenten logistischen Objekte ermöglicht wird.²⁴⁰

Unter die Bewegungsdaten fällt auch die Produktverfolgung, die heutzutage in der Regel mit der sogenannten „radio- frequency identification“- Technologie (RFID) durchgeführt wird.²⁴¹ Eine Lokalisierung per GPS bspw. wäre zu ungenau.²⁴² Teile und Produkte werden zu Beginn der Produktion mit RFID- Tags ausgestattet, auf denen relevante Produktdaten gespeichert sind.²⁴³ Mit Hilfe von Antennen ruft das MES diese Daten von den Tags ab, sodass eine eindeutige Identifikation des Objektes möglich ist.²⁴⁴ Einige Experten sehen insbesondere in der Verwendung der RFID- Technologie den extremen Anstieg der Datenmenge in der Produktion.²⁴⁵

²³⁵ Vgl. Kletti/ Daisenroth (2012), S. 76

²³⁶ Ebenda

²³⁷ Vgl. Kletti/ Daisenroth (2012), S. 53 f.

²³⁸ Vgl. Kletti (2015), S. 75; Kletti/ Daisenroth (2012), S. 53 f.

²³⁹ Vgl. Schuh/ Roesgen (2006), S. 77 f.; Kletti (2015), S. 77

²⁴⁰ Vgl. Kletti (2015), S. 77

²⁴¹ Vgl. Kletti/ Daisenroth (2012), S. 118, Kletti (2015), S. 90 u.a.

²⁴² Vgl. Windt (2006), S. 301

²⁴³ Vgl. Hausladen (2016), S. 60 f.

²⁴⁴ Ebenda

²⁴⁵ Ebenda

Die gewonnenen Bewegungsdaten haben neben den Objekten in der horizontalen Betrachtung auch auf der Managementebene einen Adressaten.²⁴⁶ Trotz dezentraler Produktionsabläufe muss die „kaufmännische Nachkalkulation“ in Hinblick auf Effizienz-/Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen gewährleistet werden.²⁴⁷ Eine objektive Kostenkontrolle und das Erkennen von möglichen Optimierungspotenzialen werden auf Basis der fertigungsnahen Bewegungsdaten vorgenommen.²⁴⁸

5.2.2.3 Stammdaten

Stammdaten werden im Gegensatz zu Bewegungsdaten dauerhaft gespeichert und repetitiv verwendet.²⁴⁹ Die Verfügbarkeit von Stammdaten steht in der vertikalen Integration im Mittelpunkt.²⁵⁰ Nachdem sich ein Objekt an der Maschine angemeldet hat, ruft das MES die entsprechenden Stammdaten (Einstellsätze, Bearbeitungsprogramme, Kapazitäten etc.) aus dem ERP ab.²⁵¹ Im Sinne des DNC kann online ein schneller Datentransfer entstehen, indem die Datensätze automatisch durch das MES abgerufen und an die Maschine weitergeleitet werden.²⁵² Das MES gleicht in seiner Funktion als zentrale Datendrehscheibe und Konfliktlöser die Stammdaten mit der MDE und den Daten des Objektes ab, und kontrolliert, ob der Produktionsschritt realisierbar ist, indem z.B. die Verfügbarkeit von Werkzeugen überprüft wird.²⁵³

Neben den Stammdaten für die Primärressourcen, wie den Maschinen und Anlagen, verwaltet das ERP auch Stammdaten bezüglich der Sekundärressourcen.²⁵⁴ Sekundärressourcen sind in diesem Zusammenhang bspw. Werkzeuge oder Betriebsmittel.²⁵⁵

²⁴⁶ Vgl. Kletti/ Daisenroth (2012), S. 22

²⁴⁷ Vgl. Kletti/ Schuhmacher (2014), S. 106

²⁴⁸ Vgl. Kletti (2015), S. 74

²⁴⁹ Vgl. Schuh/ Roesgen (2006), S. 72

²⁵⁰ Vgl. Kletti (2015), S. 74

²⁵¹ Vgl. Kletti/ Daisenroth (2012), S. 128, S. 146

²⁵² Vgl. Kletti (2015), S. 94

²⁵³ Vgl. Kleinmeier (2014), S. 574, Kletti/ Daisenroth (2012), S. 135

²⁵⁴ Vgl. Kletti/ Daisenroth (2012), S. 97

²⁵⁵ Ebenda

Auch in der vertikalen Betrachtungsweise muss dem Schnittstellenmanagement zwischen den Software-Komponenten ERP und MES Beachtung geschenkt werden.²⁵⁶ Dadurch, dass die meisten Funktionen des ERP nicht in dem MES abgebildet werden können, sind standardisierte Schnittstellen zwischen den beiden Systemen im Hinblick auf bspw. die Datenhomogenität zu gestalten.²⁵⁷ Die sinnvollste Schnittstelle zur Kommunikation scheinen derzeit Web Services zu sein, also ein Internet- basierter Datenaustausch, da in dieser Form weitreichende normierte Standardisierungen festgelegt sind.²⁵⁸

5.2.3 Funktionaler Aufbau des MES

Ein MES besitzt eine entsprechende IT- Struktur, um den Anforderungen an die Produktion im Rahmen von Industrie 4.0 gerecht zu werden.²⁵⁹ Insbesondere der modulare Aufbau, in dessen Form das MES in der Vergangenheit die Funktionen ausgeführt hat, ist auch in der dezentralen Selbststeuerung der Produktion hilfreich, da so für die nötige Interoperabilität gesorgt werden kann.²⁶⁰

Die Vermeidung von Schnittstellen im Rahmen der Interoperabilität, die unabdingbar für die nötige Integration ist, kann am ehesten mit einem modularen Aufbau des MES als zentrale Produktionsdatenbank gelingen.²⁶¹ Eine automatische Erfassung von Zusammenhängen in den Datenbeständen (Data Mining) wird durch das Bestehen einzelner Insellösungen verhindert; diesem Problem kann durch eine modulare Funktionsweise entgegengewirkt werden.²⁶² Die in Kapitel 2.3 dargestellten Module, die in der Vergangenheit die Funktionsweise des MES ausgemacht haben, unterstützen das MES bspw. durch das Modul „Datenmanagement“ auch in der dezentralen Produktionssteuerung.²⁶³ Auf diese Weise ist eine verhältnismäßig einfache Konfigurierbarkeit des Systems weiterhin gegeben, da nicht die komplette IT- Infrastruktur

²⁵⁶ Vgl. Scholz-Reiter et al. (2014), S. 73

²⁵⁷ Vgl. Kletti (2015), S. 273

²⁵⁸ Vgl. Kletti (2015), S. 232

²⁵⁹ Vgl. Kletti (2015), S. 18

²⁶⁰ Vgl. VDI 5600 (2015), S. 11

²⁶¹ Vgl. Kletti (2015), S. 213

²⁶² Vgl. Sauer (2013), S. 11

²⁶³ Vgl. VDI 5600 (2015), S. 11

einbezogen werden muss, sondern sich die Konfiguration auf das Modul an sich beschränkt.²⁶⁴ Derselbe Aspekt hat auch in der Hinsicht einen bedeutenden Vorteil, dass die Erweiterbarkeit des Systems mit Hilfe von Modulen einfacher vollzogen werden kann.²⁶⁵ Die Module können nach Bedarf hinzugefügt bzw. ausgetauscht werden, ohne dass das gesamte System angepasst werden muss.²⁶⁶

Die einzelnen Produktionseinheiten agieren als CPPS autonom und stellen in der Fertigung einzelne Module dar.²⁶⁷ Diese Module müssen in der virtuellen Welt repräsentiert werden, sodass einzelne modulare Software-Einheiten entstehen, die integriert werden müssen.²⁶⁸ Die Modularität des MES ist für die Anbindung und Erfassung der einzelnen Produktionseinheiten unabdingbar, um die nötige Interoperabilität zu ermöglichen.²⁶⁹

5.2.4 Zuordnung der Objekte an Ressourcen

Die Kundenaufträge werden per ERP in die Produktion eingeschleust.²⁷⁰ Jedes intelligente logistische Objekt in der Produktion (bspw. Rohteile, Halbzeuge o.ä.) ordnet sich als CPS einem verfügbaren Auftrag zu.²⁷¹ Die automatisierte Vergabe von Aufträgen beleuchtet auch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) in einer Studie, in der Fahrradlenker in einer nach Industrie 4.0- Kriterien gestalteten Produktion gefertigt werden.²⁷² Der Kunde kann seinen Lenker aufgrund der adaptiven Fertigung individuell nahezu ohne Einschränkung gestalten.²⁷³ Mit Hilfe von Entscheidungsalgorithmen in Form von selbststeuernden Regelkreisen können in der Auftragsannahme durch die Objekte die aktuelle Auftragslage und mögliche Prioritäten

²⁶⁴ Vgl. Kletti (2015), S. 71, Kletti (2013), S. 8 f.

²⁶⁵ Vgl. Burger et al. (2017), S. 62

²⁶⁶ Ebenda

²⁶⁷ Ebenda

²⁶⁸ Ebenda

²⁶⁹ Vgl. Kletti (2015), S. 70

²⁷⁰ Vgl. Scholz- Reiter et al. (2014), S. 65

²⁷¹ Ebenda

²⁷² Vgl. BMWi (2017), S. 5

²⁷³ Ebenda

beachtet werden, sodass Aufträge mit Dringlichkeit bevorzugt ausgewählt werden.²⁷⁴ Auf diese Weise wird ein adaptives Auftragsmanagement realisiert.²⁷⁵ Die Studie beleuchtet ein Szenario, in dem der Original Equipment Manufacturer (OEM) die Designs, die automatisch von einer Software erzeugt werden, im Rahmen von Aufträgen an Zulieferer vergibt; im Folgenden wird jedoch der Ablauf einer Eigenfertigung beim OEM skizziert.²⁷⁶ Nachdem der Auftrag in die Produktion eingeschleust wurde, wählt das Objekt dem individuellen Auftrag entsprechenden nächsten Arbeitsschritt aus.²⁷⁷ Das CPS fragt die Daten bezüglich der benötigten Ressource an und das MES stellt den Objekten per Kommunikation die Daten nach Abfrage bei der entsprechenden Ressource zur Verfügung.²⁷⁸ Hier agiert das MES in seiner zentralen Funktionsweise, in der die Ressourcenzustände (gewonnen aus der MDE und BDE) transparent in Echtzeit dargestellt werden, auf dessen Basis die CPS die Entscheidungen treffen können.²⁷⁹ Nach der Anmeldung des CPS an der Maschine stellt das MES der Maschine den entsprechenden Stammdatensatz aus dem ERP zur Verfügung und sorgt für die nötige Materialversorgung.²⁸⁰

Die Studie des BMWi stellt die in dieser Arbeit bereits mehrfach hervorgehobene Interoperabilität in der Hinsicht in den Vordergrund, dass eine einheitliche Maschinensprache zwischen den diversen Objekten und dem MES durch eine Standardisierung der Schnittstellen für eine effiziente Kommunikation benötigt wird.²⁸¹ Dieser Aspekt ist selbstredend besonders komplex für die unternehmensübergreifende horizontale Integration, wie sie in der Studie thematisiert wird.²⁸²

²⁷⁴ Vgl. Scholz- Reiter et al. (2014), S. 65

²⁷⁵ Vgl. Kletti (2015), S. 71

²⁷⁶ Vgl. BMWi (2017), S. 5

²⁷⁷ Vgl. Scholz- Reiter et al. (2014), S. 65

²⁷⁸ Vgl. Kletti (2013), S. 8, Obermaier (2017), S. 19

²⁷⁹ Vgl. Scholz- Reiter et al. (2014), S. 65

²⁸⁰ Vgl. Kletti/ Daisenroth (2012), S. 128, S. 146

²⁸¹ Vgl. BMWi (2017), S. 9 ff.

²⁸² Ebenda

Ist eine Maschine aufgrund eines Defekt oder der Belegung durch einen anderen Auftrag nicht verfügbar, ordnet sich das CPS in Abstimmung mit den Daten aus dem MES gemäß dem Auftrag einem anderen Produktionsschritt zu, der ggf. vorgezogen werden kann.²⁸³ Hier spiegelt sich u.a. das nicht-deterministische Verhalten der Objekte wider. Wenn allerdings kein Produktionsschritt vorgezogen werden kann, ordnet sich das CPS einem anderen Auftrag zu.²⁸⁴ Auf diese Weise werden Stillstandzeiten vermieden, die Durchlaufzeit dadurch niedrig gehalten und die Flexibilität in der Produktion erhöht.²⁸⁵ Das MES fungiert trotz dezentraler Produktion in zentraler Instanz als Konfliktlöser zwischen den CPS.²⁸⁶ Durch die individuelle Verwaltung der Ressourcen realisiert das MES die autonom agierenden Produktionssysteme.²⁸⁷

5.3 Abgrenzung des MES

5.3.1 Abgrenzung zum CPPS

Ein Zusammenschluss von Cyber- physischen Systemen zu einem CPPS bildet eine eigenständige, autonome Produktionseinheit.²⁸⁸ Eine Produktionseinheit besteht aus einem Verbund von logistischen Objekten.²⁸⁹ Ein CPPS deckt somit nicht die komplette Produktion ab, sondern es bleiben Insellösungen entgegen der nötigen Interoperabilität bestehen, die einem zentralen Instrument zur Vernetzung bedürfen.²⁹⁰

Die CPS in einem CPPS agieren in erster Linie durch Kommunikation miteinander.²⁹¹ Per Definition besitzt jedes CPS in einem CPPS eine Kommunikationseinheit, sodass ein Datenaustausch untereinander keiner weiteren Instanz bedarf. Dennoch unterstützt ein MES die CPS in einer deutlich effizienteren Kommunikation, indem entsprechende Daten jedem Mitglied in einem CPPS zur Verfügung gestellt werden.²⁹²

²⁸³ Vgl. Scholz- Reiter et al. (2014), S. 65

²⁸⁴ Vgl. Scholz- Reiter et al. (2014), S. 65

²⁸⁵ Vgl. Kletti (2013), S. 8

²⁸⁶ Vgl. Sauer/ Kletti (2013), S. 3

²⁸⁷ Vgl. Kletti (2015), S. 273

²⁸⁸ Vgl. Pantförder (2014), S. 146

²⁸⁹ Vgl. Vogel-Heuser et al. (2012), S. 10

²⁹⁰ Vgl. Pantförder (2014), S. 146

²⁹¹ Vgl. Scholz-Reiter et al. (2014), S. 73

²⁹² Vgl. Kletti (2013), S. 26

Den Cyber- physischen Systemen müssen für einen optimalen Gebrauch Daten aus der durchgehenden Integration zur Verfügung gestellt werden; ohne die im Zusammenhang mit der Integration notwendige Interoperabilität, Transparenz und Kommunikation kann ein CPPS nicht effektiv funktionieren.²⁹³ Die benötigte durchgehende Integration kann ein CPPS nicht eigenständig ermöglichen, da keine durchgängige Datenbasis besteht. Ein MES kann hier Abhilfe schaffen.²⁹⁴

Darüber hinaus müssen die von den CPPS erzeugten Daten dem Management in der Unternehmensleitungsebene für unternehmerische Zwecke zur Verfügung gestellt werden. Diese Daten müssen gemäß der vertikalen Integration für Interpretationszwecke aufbereitet werden. Auch in diesem Aspekt kann ein CPPS die Anforderungen nicht erfüllen, sodass ein MES „zwischengeschaltet“ werden muss.²⁹⁵ Der Einsatz von einem CPPS schließt die Funktionen eines MES folglich nicht aus, vielmehr sollte das MES das CPPS in seiner Funktionsweise unterstützen.

5.3.2 Abgrenzung zur Cloud

Wie aus den vorangegangenen Kapiteln hervorgeht, handelt es sich sowohl bei der Cloud als auch bei dem Manufacturing Execution System um eine Möglichkeit der Datenverwaltung. Dennoch gibt es entscheidende Unterschiede zwischen beiden Systemen: Das MES hat im Hinblick auf die Funktion als zentrale Datendrehscheibe den Vorteil, dass die Daten zentraler vorgehalten werden.²⁹⁶ Während die Daten in der Cloud auf mehreren Servern verteilt liegen und bei Bedarf der Daten jeder Server von der Cloud angefragt werden muss, befinden sich die Daten in dem MES in einer zentralen Datenbank.²⁹⁷ Die Rechnerleistung der Cloud ist in einer sogenannten Bus- Topologie auf mehrere Server verteilt, in einer Hub- and- Spoke- Topologie (Nabe und Speiche) fungiert das MES als zentraler Server tatsächlich als Zentrum der gespeicherten Daten.²⁹⁸

²⁹³ Vgl. Sauer/ Kletti (2013), S. 3 f.

²⁹⁴ Vgl. Pantförder (2014), S. 149

²⁹⁵ Vgl. Kletti (2015), S. 79

²⁹⁶ Vgl. Kletti (2013), S. 6

²⁹⁷ Ebenda

²⁹⁸ Vgl. Hausladen (2016), S. 72

Hinzu kommt, dass die Cloud einen reinen „Sammelort“ der gespeicherten Daten darstellt.²⁹⁹ Das MES weist dagegen noch weitere Fähigkeiten wie z.B. die Umwandlung unterschiedlicher Datenformate auf.³⁰⁰ Das Aufgabenspektrum eines MES ist somit noch breiter gefächert.

Aber auch bei der Betrachtung der Cloud in Abgrenzung zum MES schließt der Einsatz der einen Technologie die andere nicht aus. Es gibt Möglichkeiten, Funktionen und Dienste des MES in der Cloud zu installieren, sodass beide Systeme kombiniert genutzt werden.³⁰¹ Befürworter einer reinen Cloud- Lösung schlagen darüber hinaus die Verlagerung von MES- Komponenten auf Geräteebene (bspw. zur Erfassung und Berechnung von Kennzahlen) in Zusammenhang mit einer Cloud oder die Verteilung von MES- Diensten über die Cloud vor.³⁰²

²⁹⁹ Vgl. Hausladen (2016), S. 124

³⁰⁰ Ebenda

³⁰¹ Vgl. Sauer/ Kletti (2013), S. 3

³⁰² Vgl. Burger et al. (2017), S. 61 ff., Kletti (2015), S. 224

6 Das ERP/ PPS in der dezentralen Produktion

6.1 Aufgaben der PPS in Industrie 4.0

Eine Produktion auf Basis der Produktionsplanung und -steuerung kann mit dem Dezentralisierungsansatz in der Industrie 4.0 aufgrund der zentralen Funktionsweise mit dem langen Planungszeitraum nicht realisiert werden.³⁰³ Weitere Aspekte bezüglich der Nichteignung eines PPS in seiner klassischen Form sind die deterministische Sukzessivplanung, die dem Prinzip der Selbststeuerung widerspricht, und die Probleme, die sich aus dem dem MRP I und MRP II ergeben (Kapitel 3.1).³⁰⁴ Ein ERP- System ist nicht prozessnah genug, weist einen zu groben Detaillierungsgrad auf und kann keine unmittelbaren Aussagen über reale Produktionsabläufe liefern.³⁰⁵

Die Auflösung der Automatisierungspyramide hin zu einem Informationsdiabolo bedeutet jedoch nicht die Auflösung der einzelnen Ebenen.³⁰⁶ Die Unternehmensleitebene bleibt, wie aus den bisherigen Kapitel hervorgeht, weiterhin bestehen und auch die PPS wird Funktionen in der Produktion einnehmen, wenngleich das MES die zentrale Rolle übernimmt.³⁰⁷ Bislang ist sich die Literatur noch nicht einig, welche Funktionen weiterhin von dem PPS/ ERP in der Unternehmensleitebene ausgeführt werden (siehe dazu auch folgendes Unterkapitel).³⁰⁸ Sicher ist jedoch, dass die globale Steuerung des Unternehmens, die das Überleben am Markt sichert, in die Zuständigkeit der Unternehmensleitebene und damit dem ERP fällt.³⁰⁹ Dazu zählen das Finanzwesen (bspw. Investitionsentscheidungen) und die Kostenrechnung im Rahmen des Controllings ebenso wie die „Optimierung von Geschäftsentscheidungen“ bspw. auf Basis von Marktanalysen.³¹⁰ Dies betrifft darüber hinaus auch die unternehmensübergreifende Interaktion.³¹¹

³⁰³ Vgl. Kleinert/ Sontow (2009), S. 18

³⁰⁴ Vgl. Jahn (2016), S. 18 f., Kapitel 3.1

³⁰⁵ Vgl. VDI 5600 (2015), S. 2

³⁰⁶ Vgl. Kleinmeier (2014), S. 574

³⁰⁷ Ebenda

³⁰⁸ Vgl. Obermaier (2017), S. 21

³⁰⁹ Vgl. Kleinmeier (2014), S. 574, Heinrich et al. (2017); S. 4

³¹⁰ Vgl. Kletti/Schuhmacher (2014), S. 106

³¹¹ Vgl. Jahn (2016), S. 10

Die globale Steuerung durch das ERP beinhaltet des Weiteren das Personalwesen im Hinblick auf übergeordnete Prozesse, d.h., dass der Personaleinsatz an den Arbeitsplätzen von unteren Instanzen organisiert wird, die Verwaltung des Personalstamms etc. jedoch übergeordnet durch das ERP erfolgt.³¹²

Des Weiteren wird die Verwaltung der Stammdaten für die Produktion weiterhin durch ein ERP- System abgedeckt.³¹³ Durch die Langlebigkeit der Daten bietet sich das ERP besser für die Verwaltung an als ein MES, das eher auf das Management von Bewegungsdaten, die temporär begrenzt sind, abzielt.³¹⁴

6.2 Dezentalisierungsansätze in der PPS

Im Sinne der Definition der Dezentalisierung werden PSS- Kompetenzen, die bislang gebündelt zentral ausgeführt wurden, auf mehrere Instanzen verteilt, die diese Kompetenzen übernehmen.³¹⁵ Die bestehende Komplexität der PPS wird so auf kleinere Produktionsbereiche reduziert und dadurch ein deutlich besseres Abbild der Realität geschaffen, das durch die langen Planungszeiträume und Plandaten als Basis nicht erreicht werden kann.³¹⁶ Die mit neuen Kompetenzen ausgestatteten dezentralen Produktionseinheiten bilden untereinander ein internes Netzwerk.³¹⁷

In der Dezentalisierung der PPS bleibt neben der Datenverwaltung auch die Produktionsprogrammplanung in der Regel zentral. Die (individuellen) Kundenwünsche werden durch das PPS/ ERP erfasst und als Aufträge mit entsprechenden Terminen weitergegeben.³¹⁸ Die Dezentalisierungsansätze beziehen sich demnach auf die Produktionsbedarfsplanung und die Produktionssteuerung mit besonderem Fokus auf die Auftragsregelung.³¹⁹

³¹² Vgl. Kleinmeier (2014), S. 574, Kletti (2013), S. 7

³¹³ Vgl. Hofmann (2017), S. 266; Kletti/Schuhmacher (2014), S. 106

³¹⁴ Vgl. Hofmann (2017), S. 266, Jahn (2016), S. 26

³¹⁵ Vgl. Jahn (2016), S. 26

³¹⁶ Vgl. Jahn (2016), S. 25

³¹⁷ Ebenda

³¹⁸ Vgl. Kleinmeier (2014), S. 574

³¹⁹ Vgl. Jahn (2016), S. 26

Jahn stellt im Zusammenhang mit der PPS- Dezentralisierung drei mögliche Entwicklungstendenzen dar.³²⁰ Eine Möglichkeit wäre, die Produktionsprogramm- und die Produktionsbedarfsplanung zentral zu gestalten, wobei die Produktionssteuerung ohne Auftragsregelung dezentral organisiert wird. Leitstände auf Shopfloor- Ebene würden die feinplanende Produktionssteuerung übernehmen, sodass die übergeordneten Instanzen mit weniger detaillierten Plänen auskommen würden.

Nachteile bestehen darin, dass den Leitständen große Zeitpuffer eingeräumt werden, um auf mögliche Störungen dezentral zu reagieren, wodurch sich die Durchlaufzeit erhöht. Darüber hinaus kann ein Leitstand nur den Bereich steuern, für den er verantwortlich ist, was die Komplexität in der Produktion einschränkt. Außerdem geben die Leitstände für Koordinationszwecke laufend Rückmeldung an die zentrale Produktionsprogramm- und Produktionsbedarfsplanung, sodass diese in der Koordination der einzelnen dezentralen Einheiten einen Engpass darstellen könnten.³²¹

Aufgaben aus der Produktionsbedarfsplanung werden weiterhin zentral ausgeführt. Die Losgrößenplanung, Durchlaufterminierung und Kapazitätsplanung werden nicht in Eigenregie durch die Kooperation zwischen den CPS durchgeführt, sondern zentral vorgegeben. Auch die Produktionssteuerung wird nach wie vor von einer zentralen Instanz auf Shopfloor- Ebene vorgenommen, sodass keine Selbststeuerung vorgesehen ist. Das MES stellt zwar auch eine zentrale Instanz dar, jedoch nur als Plattform zur Datenbereitstellung – die Entscheidungen werden von den selbststeuernden intelligenten logistischen Objekten getroffen. Aufgaben aus der Produktionssteuerung wie der Reihenfolgenplanung, Verfügbarkeitsprüfung der Ressourcen etc. werden weiterhin zentral durchgeführt, anstatt durch die CPS selbstständig untereinander.

³²⁰ Vgl. Jahn (2016), S. 26 ff.

³²¹ Vgl. Jahn (2016), S. 27

Darüber hinaus ist ein echtzeitfähiges System aufgrund der Zeitpuffer und der stetigen Rückmeldung an die übergeordnete Instanz nicht möglich und auch die meist deterministische dezentrale Steuerung widerspricht dem nicht-deterministischen Grundsatz in der Industrie 4.0. Die nötige Flexibilität in der Produktion kann auf diese Weise kaum realisiert werden.³²²

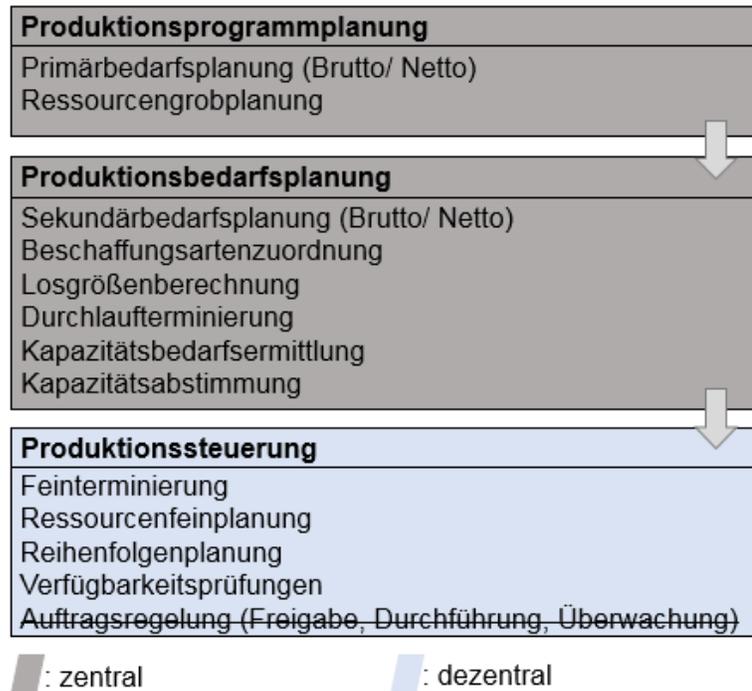


Abbildung 6: Dezentralisierung der PPS, 1. Ausprägung

Quelle: eigene Darst. in Anlehnung an: Schuh/ Gierth (2006), S. 11 ff., Jahn (2016), S. 27 ff.

Ähnliche Probleme treten in dem zweiten Ansatz auf, in dem die Produktionsprogramm- und die Produktionsbedarfsplanung zentral bleiben und die Produktionssteuerung dezentral organisiert ist, wobei eine zentrale Auftragsregelung vorgesehen ist. Die Koordination der einzelnen dezentralen Einheiten erfolgt nicht mehr durch die übergeordnete zentrale Instanz, sondern wird bspw. von einem Logistikdienstleister im Rahmen der Auftragsregelung übernommen. Dieser übernimmt nur die Terminierungen aus der Produktionsprogrammplanung und verteilt die Aufträge an die dezentralen Einheiten. Störungen werden dezentral gelöst und nur bereichsübergreifende Störungen sowie Fertigstellungen von Aufträgen zurückgemeldet. Auch in diesem Ansatz bleibt das

³²² Vgl. Jahn (2016), S. 27

Risiko, dass die Instanz, die die Auftragsregelung übernimmt, aufgrund der Koordination der dezentralen Einheiten weiterhin einen Engpass darstellen könnte, bestehen.³²³

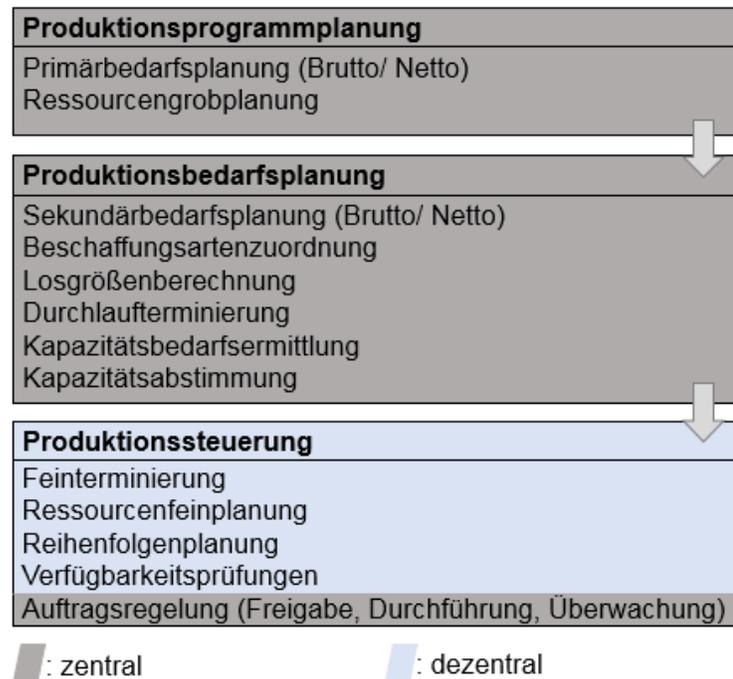


Abbildung 7: Dezentralisierung der PPS, 2. Ausprägung

Quelle: eigene Darst. in Anlehnung an: Schuh/ Gierth (2006), S. 11 ff., Jahn (2016), S. 27 ff.

Dieser Ansatz entspricht eher der Idee einer Produktion in der Industrie 4.0, allerdings kann auf diese Weise auch nicht die angestrebte Flexibilität erreicht werden. Auch in diesem Ansatz werden Aufgaben aus der Produktionsbedarfsplanung, die durch dezentrale Einheiten selbststeuernd ausgeführt werden sollten, durch eine zentrale Instanz geplant. Durch die weiterhin zentrale Auftragsregelung bleibt eine zentrale Koordinationsinstanz für die Produktionssteuerung bestehen, die nicht den selbststeuernden intelligenten logistischen Objekten entspricht. Das Problem, dass die Koordination des Ablaufs der Produktion durch eine zentrale Instanz erfolgt, wird durch die Verlagerung von einer übergeordneten Instanz auf eine tiefere Ebene lediglich verschoben.³²⁴

³²³ Vgl. Jahn (2016), S. 28

³²⁴ Ebenda

Der dritte Ansatz, der auch als „logistikorientierter Ansatz“ gilt, entspricht der Produktion nach Industrie 4.0, wie sie in den vorangegangenen Kapiteln mit Hilfe des Einsatzes eines MES beschrieben wurde. In diesem Ansatz ist die Produktionsprogrammplanung die einzige zentrale Instanz, die Produktionsbedarfsplanung, -steuerung und die Auftragsregelung erfolgen dezentral. Die Produktionsprogrammplanung gibt nur noch die Aufträge mit den entsprechenden Terminen in die Produktion, sodass die übrigen Aufgaben der PPS von den intelligenten logistischen Objekten in selbststeuernder Eigenregie mit Hilfe von Kommunikation übernommen werden.³²⁵

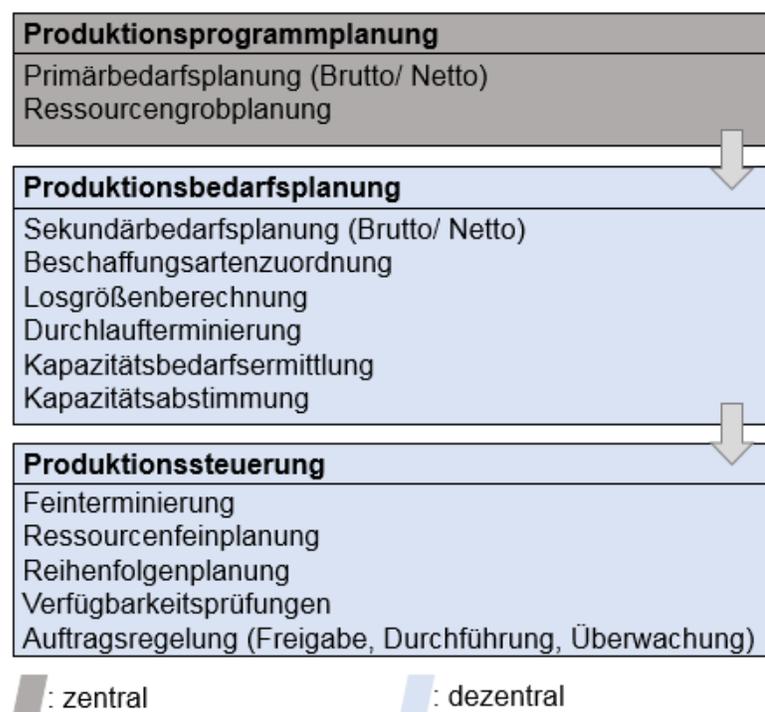


Abbildung 8: Dezentralisierung der PPS, 3. Ausprägung

Quelle: eigene Darst. in Anlehnung an: Schuh/ Gierth (2006), S. 11 ff., Jahn (2016), S. 27 ff.

In diesem Ansatz können die CPS wichtige Aufgaben aus der Produktionsbedarfsplanung übernehmen. Zwischenprodukte aus der Sekundärbedarfsplanung werden durch Abstimmung eigenständig bereitgestellt und Kapazitäten auf Basis der Daten aus dem MES geplant. Eine Losgrößenplanung und Durchlaufterminierung im Rahmen der Produktionssteuerung könnten aufgrund von einer Losgrößen 1- Fertigung, die bisher

³²⁵ Vgl. Jahn (2016), S. 28

aufgrund von zu langen Rüstzeiten bisher nicht wirtschaftlich war, und der Kooperation der CPS ganz entfallen. Die Reihenfolgenplanung und Auftragsüberwachung erfolgen im Rahmen der Kooperation ebenso selbstständig untereinander wie die Verfügbarkeitsprüfungen und Ressourcenfeinplanung auf Basis der MES- Daten.

In dem Grad der Selbststeuerung der Produktion werden unterschiedliche Ausprägungen diskutiert:³²⁶ Die schwächste Variante besteht darin, dass, nachdem die Aufträge durch die zentrale Instanz in die Produktion eingeschleust wurden, die Ressourcen in der Produktion Einblicke in die jedes vor- und nachgelagerten Produktionsschritte erhalten. Auf dieser Basis können die Aktivitäten der Ressourcen entsprechend angepasst werden. In einer ausgeprägteren Variante entsteht eine explizite Kommunikation zwischen den Objekten, um Aufgaben und Störungen selbstständig zu lösen. Der Rahmen der Entscheidungsfindung ist in diesem Zusammenhang von einer zentralen Instanz vorgegeben.

Eine weitere Steigerung in der Ausprägung der Selbststeuerung besteht darin, dass die Produktionsbedarfsplanung und -steuerung zwischen den einzelnen Einheiten in Kooperation erfolgen, ohne dass eine zentrale Koordination stattfindet. Die zentrale Produktionsprogrammplanung stellt in diesem Fall nur die entsprechenden Liefertermine bereit.³²⁷

Die beiden letztgenannten Ausprägungen machen eine selbststeuernde dezentrale Produktion aus, da die intelligenten logistischen Objekte eigenständig auf der Basis von Daten aus dem MES die Produktionsbedarfsplanung und -steuerung mit der Auftragsregelung organisieren. Dabei wählen sie im Rahmen von selbststeuernden Regelkreisen auf einer guten Datenbasis Entscheidungsalternativen aus, die durch eine Zentrale vorgegeben werden. Die Aufträge werden so in Kooperation zwischen den Objekten in der Produktion gefertigt, ohne, dass eine zentrale Instanz eingreift. Nur auf diese Weise kann die nötige Flexibilität in der Produktion erzeugt werden, um den immer individuelleren Kundenwünschen zu entsprechen.

³²⁶ Vgl. Jahn (2016), S. 29 f.

³²⁷ Ebenda

7 Fazit

7.1 Zusammenfassung

Schon in der ursprünglichen Funktionsweise des MES in der Feinplanung der Fertigung wurde die Basis für den zentralen Einsatz in der Industrie 4.0 geschaffen. Das MES ist in der Position auf der Betriebsleitebene als Bindeglied zwischen den einzelnen Ebenen der Automatisierungspyramide prädestiniert dafür, die nötige vertikale Integration zu ermöglichen. Die Funktion als Fertigungsmonitoring für die Unternehmensleitebene bleibt in der dezentralen Produktion im Grunde genommen bestehen. Außerdem ist die Prozessnähe als Voraussetzung für die Feinplanung der Fertigung und der Ressourcenverwaltung eine ideale Voraussetzung, die horizontale Integration zu realisieren. Die Modularität, die den Aufbau eines MES ausmacht, unterstützt insbesondere die so wichtige Interoperabilität. Das MES als Software kann nahtlos in die Digitalisierung der Produktion eingebunden werden. Den Datenbankcharakter, der Voraussetzung für die Integration ist, hatte das MES schon vor der Industrie 4.0- Initiative inne. Außerdem kommt dem MES in der Funktion der zentralen Instanz die Echtzeitfähigkeit zu Gute.

Die Dezentralisierung in der smart factory wird durch die selbststeuernden intelligenten Objekte in Form von CPS mit Hilfe der selbststeuernden Regelkreise vorgenommen. Grundvoraussetzung für die dezentrale Selbststeuerung ist eine durchgängige Integration. Das MES nimmt in allen drei Kriterien, die die Integration ausmachen (Interoperabilität, Transparenz, Kommunikation), die entscheidende Rolle ein. Die solide Datenbasis, die die CPS in ihrer Entscheidungsfindung unterstützt, kann nur auf diese Weise bereitgestellt werden. Die Betonung der Funktion des MES liegt in der Passivität in der Produktion, d.h., dass das MES nicht aktiv Entscheidungen ausführt, sondern lediglich den CPS die benötigten Daten zur Verfügung stellt, damit diese Entscheidungen treffen können. Aktive Tätigkeiten nimmt das MES nur in der Datenbeschaffung ein.

In der Produktion im Rahmen von Industrie 4.0 wird der Schwerpunkt des MES auf die Ressourcenverwaltung gelegt. Insbesondere die Maschinendaten als Bewegungsdaten, die aus der MDE gewonnen werden, beziehen sich stark auf die Ressourcenverwaltung. Auch die Betriebsdaten beziehen sich durch den Fokus auf Bearbeitungs-/Stillstandzeiten auf die tatsächliche Bearbeitung des Produkts an den Ressourcen. Darüber hinaus zielt das Stammdatenmanagement des MES in erster Linie auf die Bereitstellung von Maschinenstammdaten ab, damit der entsprechende Produktionsschritt vorgenommen werden kann. Das Auftragsmanagement, das in der klassischen Funktionsweise der Feinplanung der Fertigung eine Kernaufgabe ausgemacht hat, wird eher durch die CPS in Kooperation übernommen. Allerdings liefert das MES auch in diesem Zusammenhang vor allem durch die Produktverfolgung im Hinblick auf die Transparenz Daten zur Entscheidungsfindung.

Neben der Kernaufgabe „Auftragsmanagement“ übernehmen die CPS in der smart factory weitere Funktionen der PPS wie die Produktionsbedarfsplanung und Produktionssteuerung, damit die nötige Flexibilität realisiert werden kann. Die PPS verliert dadurch ihre zentrale Rolle in der Produktion, wenngleich sie durch diese Tatsache nicht obsolet wird. Weitere wichtige Aufgaben insbesondere auf Unternehmensebene bleiben in der PPS enthalten. Die zentrale Rolle für Koordinationszwecke der logistischen Objekte wird hingegen das MES durch die Aufgabe als Datenmanager einnehmen.

Das MES übernimmt eine zentrale Koordinationsrolle in der Produktion und ist somit ein wichtiger Faktor, um die Vorstellungen der Industrie 4.0- Initiative zu realisieren. Die benötigte Flexibilisierung in der Produktion in der smart factory wird zwar durch die Interaktion der CPS ermöglicht, die Unterstützung ihrer Entscheidungsfindung mit Hilfe der Bereitstellung der Daten des MES aufgrund seiner integrierenden Funktion ist allerdings zum jetzigen Stand unabdingbar.

7.2 Kritische Würdigung

Die im Jahr 2011 gestartete "Industrie 4.0" ist eine relativ junge Initiative. Aus diesem Grund ist die Literatur, insbesondere auch im Zusammenhang mit dem MES, noch begrenzt und es gibt bis auf fiktive Studien wenige praktische Beispiele. Bei der Durchsicht der Ergebnisse müssen daher einige Einschränkungen beachtet werden. Die Vorteile und Probleme, die in dieser Arbeit vorgestellt wurden, stellen daher lediglich eine Auswahl dar und spiegeln die in der Literatur am häufigsten vertretenen Meinungen wider.

Die Ideen der Initiative Industrie 4.0 sind sehr umfassend und unterliegen einer konstanten Weiterentwicklung. Die hier dargestellten Entwicklungen zur Flexibilisierung der Produktion spiegeln lediglich eine Momentaufnahme wider. Die Initiative umfasst diverse Themenbereiche. Im Umfang dieser Thesis wurde sich auf einen spezifischen Themenbereich, den des MES, fokussiert, welcher in der Literatur einen zentralen Stellenwert einnimmt.

7.3 Ausblick

Die Anwendung des MES ist in dieser Thesis sehr theoretisch beschrieben. Die Tendenzen, wie die Unternehmen im Rahmen dieser Initiative agieren werden, sind erkennbar, wenngleich es noch wenige praktische Anwendungen gibt. Ob das MES tatsächlich seine zentrale Rolle in der dezentralen Steuerung behalten wird, ist unklar. Nicht wenige Experten sind der Meinung, dass das MES zwar eine dezentrale selbststeuernde Produktion ermöglichen kann. Gleichzeitig vertreten sie allerdings den Standpunkt, dass es sich hierbei nur um eine Übergangslösung handelt, da der hierarchische Ansatz der Automatisierungspyramide durch den Einsatz eines MES weiterhin unterstützt wird, sodass kein heterarchisches Netzwerk aus autonomen Produktionseinheiten geschaffen werden kann. Fraglich bleibt auch, ob beispielsweise eine weiterentwickelte Cloud die Funktionen des MES einnehmen kann oder die CPS aufgrund von Weiterentwicklungen selbstständig für die nötige Integration sorgen können. Die hier erläuterte Bedeutsamkeit des MES im Zusammenhang mit der Produktion nach Industrie 4.0-Aspekten ist nicht unumstritten, jedoch die in der Literatur am häufigsten dargestellte und begründete Möglichkeit.

IV. Literaturverzeichnis

- Abolhassan, Ferri: Digitalisierung als Ziel – Cloud als Motor, in: Abolhassan, Ferri (Hrsg.): Was treibt die Digitalisierung? Warum an der Cloud kein Weg vorbeiführt, 1. Ausgabe, Springer Gabler, Wiesbaden 2016
- Barthelmäß, Nina et al.: Industrie 4.0- eine industrielle Revolution? in: Andelfinger, Volker P.; Hänisch, Till: Industrie 4.0: Wie cyber-physische Systeme die Arbeitswelt verändern, 1. Auflage, Springer Gabler, Wiesbaden 2017, S. 33 – 57
- Bildstein, Andreas: Industrie 4.0 – Readiness: Migration zur Industrie 4.0-Fertigung, in: Bauernhansl, Thomas; ten Hompel, Michael; Vogel-Heuser, Birgit (Hrsg.): Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik, 1. Aufl., Springer Vieweg, Wiesbaden 2014, S. 581 – 597
- Bousonville, Thomas: Logistik 4.0: Die digitale Transformation der Wertschöpfungskette, 1. Auflage, Springer Gabler, Wiesbaden 2017
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi): Anwendungsszenario trifft Praxis: Auftragsgesteuerte Produktion eines individuellen Fahrradlenkers, Ergebnispapier, Berlin 2017
- Burger, Ansgar; Lang, Andreas; Müller, Yannis: Mögliche Veränderungen von System-Architekturen im Bereich der Produktion, in: Andelfinger, Volker P.; Hänisch, Till: Industrie 4.0: Wie cyber-physische Systeme die Arbeitswelt verändern, 1. Auflage, Springer Gabler, Wiesbaden 2017, S. 57 – 68
- Buzacott, John A. et al.: Produktionsplanung und -steuerung: Grundlagen, Konzepte und integrative Entwicklungen, 1. Auflage, Oldenbourg Wissenschaftsverlag, München 2010
- Fausser, Kevin et al.: Integration 4.0 – Anwendungsintegration im Zeitalter der Cloud, in: Andelfinger, Volker P.; Hänisch, Till: Industrie 4.0: Wie cyber-physische Systeme die Arbeitswelt verändern, 1. Auflage, Springer Gabler, Wiesbaden 2017, S. 69 – 83
- Gerberich, Thorsten: Lean oder MES in der Automobilzulieferindustrie: ein Vorgehensmodell zur fallspezifischen Auswahl, 1. Auflage, Gabler Research, Chemnitz 2010
- Günther, Wilibald; Klenk, Eva; Tenerowicz-Wirth, Peter: Auf dem Weg zur adaptiven Logistik, in: Bauernhansl, Thomas; ten Hompel, Michael; Vogel-Heuser, Birgit (Hrsg.): Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik, 1. Aufl., Springer Vieweg, Wiesbaden 2014, S. 297 - 322
- Hänisch, Till: Grundlagen Industrie 4.0, in: Andelfinger, Volker P.; Hänisch, Till: Industrie 4.0: Wie cyber-physische Systeme die Arbeitswelt verändern, 1. Auflage, Springer Gabler, Wiesbaden 2017, S. 9 – 33
- Hausladen, Iris: IT-gestützte Logistik: Systeme – Prozesse – Anwendungen, 3. Auflage, Springer Gabler, Wiesbaden 2016

Heinrich, Berthold; Linke, Petra; Glöckler, Michael: Grundlagen Automatisierung: Sensorik, Regelung, Steuerung, 2. Auflage, Springer Vieweg, Wiesbaden 2017

Hofmann, Jonas: Voraussetzungen für den Einsatz von MES schaffen – Erfahrungsbericht aus Sicht einer Fertigung, in: Obermaier, Robert (Hrsg.): Industrie 4.0 als unternehmerische Gestaltungsaufgabe: betriebswirtschaftliche, technische und rechtliche Herausforderungen, 2. Auflage, Springer Gabler, Wiesbaden 2017, S. 255 – 270

Hoppe, Gerd: High- Performance Automation verbindet IT und Produktion, in: Bauernhansl, Thomas; ten Hompel, Michael; Vogel-Heuser, Birgit (Hrsg.): Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik, 1. Aufl., Springer Vieweg, Wiesbaden 2014, S. 249 – 275

Jahn, Myriam: Ein Weg zu Industrie 4.0: Geschäftsmodelle für Produktion und After Sales, 1. Auflage, De Gruyter Oldenbourg, Berlin/ Boston 2016

Kaufmann, Timothy: Geschäftsmodelle in Industrie 4.0 und dem Internet der Dinge: Der Weg vom Anspruch in die Wirklichkeit, 1. Auflage, Springer Vieweg, Walldorf 2015

Kleinert, Alexander; Sontow, Kasten: Auf PPS folgt MES: Feinplanung und -steuerung hat sich in der Praxis etabliert, in: Industrial Engineering: Fachzeitschrift des REFA-Bundesverbandes, Darmstadt, Bd. 62.2009, 3, S.12 – 22

Kleinmeier, Michael: Von der Automatisierungspyramide zu Unternehmenssteuerungsnetzwerken, in: Bauernhansl, Thomas; ten Hompel, Michael; Vogel-Heuser, Birgit (Hrsg.): Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik, 1. Aufl., Springer Vieweg, Wiesbaden 2014, S. 571 - 579

Kletti, Jürgen: Das MES der Zukunft: MES 4.0 unterstützt Industrie 4.0, Whitepaper zum Thema MES, März 2013, S. 6 – 10,
<https://de.industryarena.com/files/140/016/c1a26b07b3a75480eb98b1a1f9e92d2a.pdf>
(06.05.2017, 10:17)

Kletti, Jürgen: Konzeption und Einführung von MES-Systemen, Zielorientierte Einführungsstrategie mit Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen, Fallbeispielen und Checklisten, 1. Auflage, Springer Verlag, Heidelberg 2007

Kletti, Jürgen (Hrsg.): MES – Manufacturing Execution System: Moderne Informationstechnologie unterstützt die Wertschöpfung, 2. Auflage, Springer Vieweg, Berlin Heidelberg, 2006 2015

Kletti, Jürgen; Daisenroth, Rainer: MES-Kompendium: Ein Leitfaden am Beispiel von HYDRA, 1. Auflage, Springer Vieweg, Berlin Heidelberg 2012

Kletti, Jürgen; Schumacher, Jochen: Die perfekte Produktion: Manufacturing Excellence durch Short Interval Technology, 2. Auflage, Springer Vieweg, Berlin Heidelberg 2011 2014

Louis, Philipp: Manufacturing Executions Systems: Grundlagen und Auswahl 1. Auflage, Gabler Verlag, Wiesbaden 2009

- Lüder, Arndt: Integration des Menschen in Szenarien der Industrie 4.0, in: Bauernhansl, Thomas; ten Hompel, Michael; Vogel-Heuser, Birgit (Hrsg.): Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik, 1. Aufl., Springer Vieweg, Wiesbaden 2014, S. 493 - 507
- Müller, Stefan: Manufacturing Execution Systeme (MES): Status Quo, zukünftige Relevanz und Ausblick in Richtung Industrie 4.0, 1. Auflage, BoD- Books on Demand, Norderstedt 2015
- Obermaier, Robert: Industrie 4.0 als unternehmerische Gestaltungsaufgabe: Strategische und operative Handlungsfelder für Industriebetriebe, in: Obermaier, Robert (Hrsg.): Industrie 4.0 als unternehmerische Gestaltungsaufgabe: betriebswirtschaftliche, technische und rechtliche Herausforderungen, 2. Auflage, Springer Gabler, Wiesbaden 2017, S. 3 – 35
- Pantförder, Dorothea et al.: Agentenbasierte dynamische Rekonfiguration von vernetzten intelligenten Produktionsanlagen – Evolution statt Revolution, in: Bauernhansl, Thomas; ten Hompel, Michael; Vogel-Heuser, Birgit (Hrsg.): Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik, 1. Aufl., Springer Vieweg, Wiesbaden 2014, S. 145 - 158
- Richtlinie VDI 5600: Fertigungsmanagementsysteme (Manufacturing Execution Systems – MES), Blatt 1, Beuth Verlag GmbH, Berlin 2016
- Richtlinie VDI 5600: Fertigungsmanagementsysteme (Manufacturing Execution Systems – MES), Blatt 3: Logische Schnittstellen zur Maschinen- und Anlagensteuerung, Beuth Verlag GmbH, Berlin 2013
- Richtlinie VDI 5600: Fertigungsmanagementsysteme (Manufacturing Execution Systems – MES), Blatt 5: Neue Optimierungsansätze mit MES, Beuth Verlag GmbH, Berlin 2015
- Sauer, Olaf: Informationstechnik für die Fabrik der Zukunft: Stand der Technik und Handlungsbedarf, in: Industrie Management Bd. 29, 2013, S. 11 – 14
- Sauer, Olaf; Kletti, Jürgen: Industrie 4.0 braucht MES-Systeme, Whitepaper zum Thema MES, März 2013, S. 2 – 5,
<https://de.industryarena.com/files/140/016/c1a26b07b3a75480eb98b1a1fbe92d2a.pdf>
(06.05.2017, 10:17)
- Schatz, Anja; Mussbach-Winter, Ute: Kopplung von ERP und MES – Aspekte der Schnittstellengestaltung, in: Productivity Management: Kompetenz in Produktion und Logistik, Berlin, Bd. 2/2010, S. 18 – 21
- Schlick, Jochen et al.: Industrie 4.0 in der praktischen Anwendung, in: Bauernhansl, Thomas; ten Hompel, Michael; Vogel-Heuser, Birgit (Hrsg.): Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik, 1. Aufl., Springer Vieweg, Wiesbaden 2014, S. 57 - 85
- Scholz-Reiter, Bernd et al: Dynamik logistischer Prozesse, in: Nyhuis, Peter (Hrsg.): Beiträge zu einer Theorie der Logistik, 1. Auflage, Springer Verlag, Berlin Heidelberg 2008, S. 109 – 136
- Scholz- Reiter, Bernd; Harjes, Florian; Rippel, Daniel: von der Selbststeuerung zu cyber- physischen Systemen, in: Schuh, Günther; Stich, Volker (Hrsg.): Enterprise Integration:

Auf dem Weg zum kollaborativen Unternehmen, 1. Auflage, Springer Vieweg, Berlin Heidelberg 2014, S. 63 – 77

Scholz-Reiter, Bernd; Höhns, Hartmut: Selbststeuerung logistischer Objekte mit Agentensystemen, in: Schuh, Günther (Hrsg.): Produktionsplanung und -steuerung: Grundlagen, Gestaltung und Konzepte, 3. völlig neu bearbeitete Auflage, Springer Verlag, Berlin Heidelberg 2006, S. 745 – 780

Schöning, Dr. Harald; Dorchain, Marc: Data Mining und Analyse, in: Bauernhansl, Thomas; ten Hompel, Michael; Vogel-Heuser, Birgit (Hrsg.): Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik, 1. Aufl., Springer Vieweg, Wiesbaden 2014, S. 543 - 554

Schuh, Günther; Stich, Volker; Schmidt, Carsten: Produktionsplanung und -steuerung in Logistiknetzwerken, in: Nyhuis, Peter (Hrsg.): Beiträge zu einer Theorie der Logistik, 1. Auflage, Springer Verlag, Berlin Heidelberg 2008, S. 249 – 270

Schuh, Günther; Roesgen, Robert: Aufgaben, in: Schuh, Günther (Hrsg.): Produktionsplanung und -steuerung: Grundlagen, Gestaltung, Konzepte, 3. Auflage, Springer Gabler, Heidelberg 2006

Springer Gabler Verlag (Herausgeber), Gabler Wirtschaftslexikon:

- Stichwort: Enterprise-Resource-Planning-System, online im Internet:
<http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/17984/enterprise-resource-planning-system-v12.html> (15.07.2017, 12:39 Uhr)
- Stichwort: Cyber-physische Systeme, online im Internet:
<http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/-2046932906/cyber-physische-systeme-v2.html> (18.07.2017, 11:39)
- Stichwort: NC-Anlage, online im Internet:
<http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/72953/nc-anlage-v8.html> (31.07.2017, 11:53)
- Stichwort: DNC-Anlagen, online im Internet:
<http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/74634/dnc-anlagen-v9.html> (31.07.2017, 11:54)
- Stichwort: Data Mining, online im Internet:
<http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/57691/data-mining-v9.html> (04.08.2017, 16:34)
- Stichwort: Echtzeitbetrieb, online im Internet:
<http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/74896/echtzeitbetrieb-v9.html> (08.08.2017, 11:12)

Verl, Alexander; Lechler, Armin: Steuerung aus der Cloud, in: Bauernhansl, Thomas; ten Hompel, Michael; Vogel-Heuser, Birgit (Hrsg.): Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik, 1. Aufl., Springer Vieweg, Wiesbaden 2014, S. 235 – 247

Vogel-Heuser, Birgit; Bayrak, Gülden; Frank, Ursula: Forschungsfragen in „Produktionsautomatisierung der Zukunft“: Diskussionspapier für die acatech Projektgruppe „ProCPS – Production CPS“, München 2012, online im Internet: http://www.acatech.de/fileadmin/user_upload/Baumstruktur_nach_Website/Acatech/root/de/Publikationen/Materialien/acatech_Materialband_Nr15_WEB.pdf (18.07.2017, 10:14)

Windt, Katja: Selbststeuerung intelligenter Objekte in der Logistik, in: Vec, Miloš; Hütt, Marc-Thorsten; Freund, Alexandra M. (Hrsg.): Selbstorganisation: Ein Denksystem für Natur und Gesellschaft, 1. Auflage, Böhlau Verlag, Köln 2006, S. 271 – 314

V. Glossar

Aktoren	Aktoren setzen elektrische Signale in mechanische Bewegung um
Big Data	Big Data beschreibt eine große Menge an gesammelten Daten
Data Mining	Methoden und Algorithmen zur möglichst automatischen Erfassung von Zusammenhängen der Daten
Digitalisierung	digitale Umwandlung und Darstellung bzw. Durchführung von Informationen und Kommunikation bzw. die digitale Modifikation von Geräten
Direct Numeric Control (DNC)	Mehrere NC- Maschinen sind durch einen Computer verbunden
Insellösung	In Insellösungen werden Systeme separat behandelt, die keine Schnittstelle untereinander aufweisen
IP- Adresse	eindeutige Adresse eines Rechners oder eines Internetservers innerhalb eines Netzwerks
Leitstand	Eine technische Einrichtung (Leiteinrichtung), die den Menschen bei der Leitung eines Prozesses unterstützt
Losgröße	Anzahl der zu fertigenden Teile bis eine Maschine umgerüstet wird
Machine-to-Machine (M2M)	Machine-to-Machine steht für die digitale Vernetzung von Maschinen und Anlagen

NC- Maschine Eine numerisch gesteuerte Maschine führt automatisch die festgelegten Arbeitsschritte für ein Produkt durch

Original Equipment Manufacturer Der OEM oder auch Erstausrüster ist Abnehmer von Zulieferern, er baut diese Teile in seine Produkte ein und verkauft sie unter eigenen Namen

Sensoren Sensoren erfassen bestimmte physikalische Umstände

Smart Data Smart Data ist das Ergebnis der Analyse einer großen Datenmenge und die Extraktion von Wissen

Terminals (MDE-/ BDE-) End- und Sammelstation von Datenströmen, dient auch als Mensch- Maschinen-Schnittstelle (HMI) durch Visualisierung der Daten

VI. Eidesstattliche Erklärung

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

Hamburg, den.....

.....

Flemming Garken

VII. Einverständniserklärung zur Veröffentlichung der Thesis

Ich erkläre mich damit

einverstanden,

nicht einverstanden,

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

Hamburg, den.....

.....

Flemming Garken