



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Bachelorthesis

Vor- und Zuname:

Nils Otte



Titel:

**Selbststeuerung in der Auftragsdisposition interner Aufträge -
Effizienzsteigerungen im Zeitalter der Industrie 4.0**

Forschungsfrage:

Wie kann das Prinzip der Selbststeuerung in der Logistik einen Beitrag leisten, den Dispositionsaufwand von Produktionsaufträgen zu reduzieren?

Abgabedatum:

27.02.2017

Erstprüfer: Herr Prof. Dr. Kontny

Zweitprüfer: Herr Prof. Dr. Wagenitz

Fakultät Wirtschaft und Soziales

Department Wirtschaft

Studiengang: Logistik/Technische Betriebswirtschaftslehre

I. Inhaltsverzeichnis

I.	Inhaltsverzeichnis	I
II.	Abkürzungsverzeichnis.....	II
III.	Abbildungsverzeichnis	III
IV.	Tabellenverzeichnis	III
V.	Abstract.....	IV
1	Einführung	1
1.1	Problemstellung.....	1
1.2	Forschungsfrage und Zielsetzung	2
1.3	Aufbau der Arbeit.....	3
2	Definition: Logistische Auftragsdisposition – Einordnung der Begrifflichkeit Disposition in der Produktionslogistik.....	4
2.1	Aufgaben und Anforderungen	4
2.2	Einordnung in die Funktionsbereiche Logistikplanung und Logistiksteuerung	8
2.3	Auftragsarten	11
2.4	Dispositionsverfahren	11
2.5	Dispositionsstrategien	13
3	Selbststeuerung im Kontext der Industrie 4.0	16
3.1	Definition mit Hinblick auf den ganzheitlichen Logistikanatz	16
3.2	Logistik und ihre Anforderungen im Zeitalter der Industrie 4.0	18
3.3	Eingebettete Systeme – Cyber-Physische Systeme als Voraussetzung für die Selbststeuerung.....	21
3.4	Fremdsteuerung vs. Selbststeuerung im Bereich der Produktion.....	24
3.5	Notwendige technologische Voraussetzungen zur Realisierung	27
4	Einbindung von CPS zur Selbststeuerung von Dispositionsprozessen am Beispielszenario „Kundenspezifische Produktion einer Küche“	35
4.1	Auftragsdisposition am Beispielszenario: Prozessbeschreibung.....	35
4.2	KenngroÙe Dispositionsaufwand.....	41
4.2.1	Eine Definition	41
4.2.2	EinflussgroÙen.....	44
4.3	Disposition mithilfe von CPS	47
4.3.1	Kommunikationsstruktur	47
4.3.2	Ablauf der Auftragsfreigabe	52
5	Fazit	58
VI.	Literaturverzeichnis.....	V
VII.	Eidesstattliche Erklärung	X
VIII.	Einverständniserklärung	X

II. Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
AEP	Advanced Enterprise Planning
AGB's	Allgemeine Geschäftsbedingungen
AS	Arbeitssystem
BaaS	Business as a Service
B2B	Business-to-Business
B2C	Business-to-Consumer
BDE	Betriebsdatenerfassung
BG	Bestandsgrenze
BoA	Belastungsorientierte Auftragsfreigabe
CC	Cloud-Computing
CPS	Cyber-Physische Systeme
CPPS	Cyber-Physical Production Systems
Ebd.	Ebenda
EFB	Erfolgs-, Finanz- und Bilanzplanung
ERP	Enterprise Resource Planning
IaaS	Infrastructure as a Service
ID	Identifikation
M2M	Machine-to-Machine
MDE	Materialdatenerfassung
MES	Manufacturing Execution System
MRP	Material Resource Planning
PaaS	Platform as a Service
ProCPS	Production CPS
PPS	Produktionsplanung und -steuerung
RFID	Radio Frequency Identification
SOA	Service-orientierte Architektur
SaaS	Software as a Service
SPS	Speicherprogrammierbare Steuerungen
TUL	Transport, Umschlag, Lagern

III. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Das Dilemma der Disposition.....	7
Abbildung 2: Manufacturing Execution Systems.....	9
Abbildung 3: Morphologie von Ressourceneigenschaften – Auszug (eigene Darstellung)	13
Abbildung 4: Morphologie von Auftragseigenschaften (eigene Darstellung)	14
Abbildung 5: Von der Fremd- zur Selbststeuerung (eigene Darstellung)	17
Abbildung 6: Technologiefelder und zugehörige Technologien der Industrie 4.0 – Auszug (eigene Darstellung)	20
Abbildung 7: Vertikale und horizontale Integration.....	24
Abbildung 8: Passive Intelligenz (eigene Darstellung)	28
Abbildung 9: Aktive Intelligenz (eigene Darstellung)	29
Abbildung 10: Anforderungen an CPS	31
Abbildung 11: Informationen der Beteiligten im Logistiknetzwerk – Beispielszenario (eigene Darstellung)	36
Abbildung 12: Planungsorientierte Disposition.....	42
Abbildung 13: Cloud Computing für die Serviceorientierung (eigene Darstellung).....	49
Abbildung 14: Prinzip der BoA	53
Abbildung 15: Ablauf der Auftragsfreigabe mit Selbststeuerung (eigene Darstellung)	56

IV. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Problemstellungen und Lösungsansätze – Auszug (eigene Darstellung).....	39
--	----

V. Abstract

Die vorliegende Arbeit betrachtet anhand eines beispielhaften praxisrelevanten Szenarios den Unternehmensbereich der Auftragsdisposition von Produktionsaufträgen unter dem Paradigma der Selbststeuerung in der Logistik. Existierende Methoden und Werkzeuge aus dem Bereich der Selbststeuerung werden kombiniert angewandt sowie mithilfe des Szenarios eine Übertragung in die Praxis geschaffen. Der Fokus wird hierbei auf den Aufbau eines Produktionssystems mit Cyber-Physischen Systemen gelegt.

Als Szenario dient dazu die Auftragsdisposition von Produktionsaufträgen innerhalb dynamisch veränderlicher Logistiknetzwerke sowie der Aufbau der dazugehörigen Kommunikationsstruktur innerhalb des Netzwerkes.

Das Ergebnis der Arbeit ist ein selbststeuerndes Dispositionssystem, welches die beiden Teilbereiche „Auftragsdisposition“ und „Selbststeuerung“ integriert und ressourceneffizient betrachtet. Hierzu werden geeignete Methoden der Selbststeuerung systematisch in das logistische Anwendungsszenario integriert und damit in einem Modell zusammengeführt. Der Fokus liegt auf der Kommunikationsstruktur der Beteiligten sowie dem Ablauf der Auftragsfreigabe.

Der dargestellte Ansatz ist in der Lage, die Auftragsdisposition effizienter zu gestalten. Der Dispositionsaufwand ist in Relation zu den Dispositionsergebnissen unter dem Einsatz von Selbststeuerungsmethoden gesunken.

1 Einführung

1.1 Problemstellung

Unternehmen müssen sich heutzutage einem immer dynamischer werdenden Umfeld stellen.¹ Nicht zuletzt die Globalisierung hat dazu beigetragen, den Wettbewerbsdruck zu erhöhen, weshalb es für Unternehmen immer entscheidender wird, ihre logistischen Prozesse gut zu beherrschen.² Auch die Entwicklung hin zu einem Käufermarkt und der daraus entstandenen Kundenorientierung ist zu nennen, die für Unternehmen immer mehr zu einem wichtigen Wettbewerbsfaktor wurde.³

Sich ständig verändernde Rahmenbedingungen bedeuten eine Umstrukturierung der internen als auch externen logistischen Prozesse.⁴ Diese Dynamik hat u.a. ihren Ursprung in den vermehrten Online-Bestellungen im Internet, worin eine steigende Verbreitung von Informationen in digitaler Form zu sehen ist.⁵ Neueste Technologien wie Kommunikations-, Ortungs-, und Informationsverarbeitungstechnologien können helfen, dieser Dynamik zu begegnen.⁶

Einzelne logistische Objekte wie Bauteile oder Maschinen könnten mit diesen neuen Technologien bestückt werden, sodass komplexe Entscheidungen, die mit herkömmlichen Planungsmethoden nicht mehr beherrschbar sind, begrenzt werden auf simple Entscheidungen der einzelnen logistischen Objekte.⁷ Hiermit könnten Unternehmen die komplexen Entscheidungen umgehen und sich auf die Einzelentscheidungen bei der Planung konzentrieren.⁸ In diesem Zusammenhang könnte eine Fragestellung sein, wie zentrale durch dezentrale Planungs- und Steuerungssysteme ersetzt werden können, um die zunehmend komplexer werdenden internen als auch externen logistischen Prozesse zu beherrschen.⁹

¹ Vgl. Müller, Christian; Mouelhi, Mohammed; Özgür, Cagdas (2013): S. 325 f.

² Ebd.

³ Ebd.

⁴ Vgl. Bauernhansl; ten Hompel; Vogel-Heuser (2014): S. 7

⁵ Vgl. Broy (2010): S. 18

⁶ Vgl. Bauernhansl; ten Hompel; Vogel-Heuser (2014): S. 7

⁷ Vgl. Broy (2010): S. 21 ff.

⁸ Vgl. Broy (2010): S. 35

⁹ Vgl. Bauernhansl; ten Hompel; Vogel-Heuser (2014): S. 311

Im Bereich der Auftragsdisposition in der Produktion könnte es zukünftig entscheidend sein, auf sich ständig ändernde Rahmenbedingungen zu reagieren, um wesentliche logistische Kennzahlen positiv zu beeinflussen.¹⁰

1.2 Forschungsfrage und Zielsetzung

Produktions- und Logistikprozesse stehen im Rahmen fortschreitender Digitalisierung vor einem großen Wandel: Vernetzung, Automation und intelligentes Optimieren der Prozesse könnten erhebliche Effizienzgewinne generieren.¹¹ Die angesprochene Kundenorientierung bringt individuellere Leistungsanforderungen an die Produktion mit sich.¹²

In dieser Arbeit wird der Dispositionsaufwand einer Auftragsdisposition in der Produktionslogistik im Zeitalter der Industrie 4.0 unter Anwendung der Selbststeuerung betrachtet. Hierbei ist das Ziel aufzuzeigen, dass herkömmliche Planungs- und Steuerungsmethoden für die Disposition nicht ausreichen, der wachsenden Dynamik und der Anforderung flexibler Prozesse zu begegnen.¹³ Robuste Produktionsprozesse, die durch eine Selbststeuerung von Prozessen mithilfe von Cyber-Physischen Systemen („CPS“) realisiert werden, könnten eine Antwort sein auf die vielen logistischen Zielgrößen, der die Produktion unterliegt.¹⁴ V.a. der Bereich der kundenauftragsspezifischen Produktion macht eine effiziente Auftragsdisposition notwendig.¹⁵ Hier sind viele Auftragsänderungen möglich: Anderes Material muss zur Erfüllung des Auftrags verwendet und verschieden behandelt werden als vorher geplant oder während der Produktion bei der Qualitätskontrolle werden Mängel am Produkt erkannt.¹⁶ Dies führt zu Lieferverzögerungen und aufwendigen Neuarbeiten.¹⁷ Ebenso sind Änderungen an Produktionsanlagen und Material denkbar.¹⁸ Zentrale Planungs- und Steuerungsmethoden könnten hier an ihre Grenzen stoßen, wenn sich diese Änderungen in einem komplexen logistischen Netzwerk mit großer Häufigkeit vollziehen (s.o.).

¹⁰ Vgl. Erlach (2010): S. 18 ff.

¹¹ Vgl. VDI/VDE (2016): S. 6

¹² Vgl. Schuh; Stich (2014): S. 63f.

¹³ Vgl. Scholz-Reiter, Bernd et al. (2009): S. 558

¹⁴ Vgl. Erlach (2010): S. 20 ff.

¹⁵ Vgl. Geisberger; Broy (2012): S. 55 ff.

¹⁶ Ebd.

¹⁷ Ebd.

¹⁸ Ebd.

1.3 Aufbau der Arbeit

In einem ersten Schritt (Kap. 2) wird die logistische Auftragsdisposition als Begrifflichkeit grundlegend erklärt. Aufgaben und Anforderungen bilden hierbei zunächst eine wichtige Basis, um den Dispositionsprozess zu beschreiben. Zudem werden Einflussgrößen auf die Zielerreichung der Disposition gegeben. Anschließend wird die Disposition in verschiedene Funktionsbereiche eines Unternehmens eingeordnet. Grundlegendes zu Auftragsarten wird erläutert und dann der Gegenstand von Produktionsaufträgen beschrieben. Um die Disposition mit herkömmlichen Planungs- und Steuerungsmethoden kennenzulernen, werden verschiedene Dispositionsverfahren vorgestellt. Abschließend zu diesem Kapitel werden Dispositionsstrategien erläutert, die der Erfüllung der beschriebenen Aufgaben und Anforderungen dienen.

Kapitel 3 dient der Erläuterung der Selbststeuerung in der Logistik vor dem Hintergrund des ganzheitlichen Logistikansatzes. Notwendigkeiten zur Selbststeuerung werden anhand mehrerer Parameter verdeutlicht sowie die Paradigmenwechsel vorgestellt, um von einer Fremd- zu einer Selbststeuerung zu kommen. Der nachfolgende Abschnitt beschreibt Anforderungen an ein Logistiknetzwerk im Rahmen der Industrie 4.0. Hierbei wird der Rahmen gesteckt zu der Produktionsplanung und -steuerung („PPS“) mit ihren wesentlichen Eigenschaften und Anforderungen. Zudem werden Cyber-Physische Systeme („CPS“) beschrieben, die eine Notwendigkeit zur Selbststeuerung darstellen. Darauf aufbauend werden relevante technologische Voraussetzungen für die Umsetzung von CPS in Dispositionsprozessen in der Praxis genannt und erläutert.

Hierauf aufbauend folgt im vierten Kapitel eine Beschreibung des erwähnten Szenarios mit allen wesentlichen Teilnehmenden in einem Logistiknetzwerk mit Bezug zur Prozessbeschreibung der klassischen Auftragsdisposition (Abschnitt 2.1). In Verbindung mit den Dispositionsstrategien für die Auftragsdisposition wird hierbei eine Definition des Begriffs „Dispositionsaufwand“ abgeleitet, sowie wesentliche Einflussgrößen auf ebendiesen herausgefiltert. Das Aufzeigen der Kommunikationsstruktur der Beteiligten im Szenario sowie der Prozess der Auftragsfreigabe dienen der Beschreibung der Disposition unter dem Einsatz von Selbststeuerung.

Im abschließenden Fazit wird die Beantwortung der Forschungsfrage dieser Arbeit kritisch hinterfragt und angrenzende Themenbereiche erwähnt, welche ebenso Einfluss auf die Beantwortung der Forschungsfrage haben. Offene Punkte werden genannt, welche im Rahmen dieser Arbeit aus Umfangsgründen nicht näher erläutert werden konnten. Im Ausblick werden Themenbereiche angeführt, die eine hohe Relevanz in Bezug auf die Praxis in Industrieunternehmen haben.

2 Definition: Logistische Auftragsdisposition – Einordnung der Begrifflichkeit Disposition in der Produktionslogistik

In diesem Kapitel werden die vielen Begrifflichkeiten, die in der Literatur zum Thema Auftragsdisposition verwendet werden, näher erläutert und miteinander in Verbindung gebracht. Es dient einer Orientierung und Eingrenzung in die Thematik der Disposition.

2.1 Aufgaben und Anforderungen

Das Ziel einer Auftragsdisposition besteht darin, vorliegende Aufträge innerhalb von zugesagten Lieferzeiten bzw. zugesagten Lieferterminen mit einer bestimmten Lieferfähigkeit auszuführen.¹⁹ Hierbei ist entscheidend, dass die verfügbaren Leistungsstellen und Ressourcen kostenoptimal eingesetzt werden.²⁰ Nicht zuletzt die permanente Sicherung der aktuellen Wettbewerbsfähigkeit eines Unternehmens macht dies notwendig.²¹ In der Literatur ist häufig auch der Begriff „Auftragsabwicklung“ zu lesen, welcher jedoch ein älterer Begriff für Auftragsdisposition ist.²² Diese Bezeichnungen decken also denselben Funktionsbereich ab, der im Folgenden näher beschrieben wird.

Die Prozessschritte, die der Auftragsdisposition zugrunde liegen, folgen unabhängig von der Komplexität der Schrittfolge im Unternehmen immer demselben folgenden Ablauf²³:

1. Auftragsannahme

Bei diesem Schritt wird die Bestellung des Kunden in das System des Unternehmens übernommen und die Bestelldaten des Kunden meistens elektronisch direkt übermittelt (z.B. Online-Shops).

¹⁹ Vgl. Gudehus (2012) -B-: S. 45

²⁰ Ebd.

²¹ Vgl. Gudehus (2006): S. 7

²² Vgl. „Unternehmensbereich: Disposition“, 2016

²³ Ebd. Hinweis: bis einschließlich 6. Auftragserfüllung aus dieser Quelle.

2. Auftragsprüfung

Dem Auftrag liegen verschiedene, im System des Unternehmens hinterlegte, Parameter (Stammdaten) zugrunde. Hierzu zählen Preise, Verträge, Allgemeine Geschäftsbedingungen („AGB's“) und Vertriebsunterlagen. Diese müssen geprüft und ggf. angepasst werden.

3. Auftragsbestätigung

Der Kunde erhält elektronisch ein Dokument, welches die wesentlichen Parameter der Vereinbarung zusammenfasst. (u.a. Mengen, Liefertermine, Lieferart etc.)

4. Auftragsvorbereitung

Hier werden die Voraussetzungen für die Herstellung der betroffenen Artikel erfüllt. An dieser Stelle im Prozess „verzahnt“ sich die Disposition mit der Produktion. Wird von einer kundenspezifischen Auftragsdisposition ausgegangen, so sind zunächst einmal die technischen Spezifikationen von Standardartikeln gegeben. Diese sind Zeichnungen, Materialdaten, Beschaffenheiten, Rezepturen etc. Anders verhält es sich bei Sonderanfertigungen: Erforderliche Spezifikationen und Materialien sind nicht im Warenlager vorhanden und müssen erst beschafft werden. Somit hat die Auftragsdisposition hier mehrere Schnittstellen: Entwicklung, Einkauf, Lager und Produktion. Sind nun alle notwendigen Materialien vorhanden, so ermittelt die Disposition die benötigte Arbeitszeit für die Produktion, bereitet im Warenlager Arbeitsflächen vor, koordiniert das Rohstofflager für die Bereitstellung des benötigten Materials, bereitet Werkzeugmaschinen im Werkzeuglager für die Produktion vor, bespricht mit dem Spediteur den Transport und Versand, ermittelt bei Bedarf benötigtes zusätzliches Transport- und Verpackungsmaterial und bereitet die Rechnung vor.

5. Auftragsfreigabe

Dies ist die Schnittstelle von Produktionsplanung und Produktionssteuerung. Prozesse und Arbeitsgänge werden begonnen, die für die Herstellung der bestellten Mengen erforderlich sind.

6. Auftragserfüllung

Die hergestellten Güter werden verpackt, erforderliche Versandpapiere erstellt, und schlussendlich die Güter an den Kunden gesandt.

Mit Hinblick auf die Forschungsfrage dieser Arbeit ist eine Definition einer Auftragsdisposition zu geben, die auf Produktionsaufträge gerichtet ist. Die Disposition der Produktion (im Folgenden „Fertigungsdisposition“ genannt) hat somit die Aufgabe, aktuelle bestehende Aufträge unter dem Einsatz von vorhandenen Fertigungsstellen auszuführen.²⁴ Wendet man diese Definition auf den obigen beschriebenen Prozess der Auftragsdisposition an, so ergibt

²⁴ Vgl. Gudehus (2012) -A-: S. 143

sich für die Fertigungsdisposition die Aufgabe, aktuelle Aufträge verfügbaren Ressourcen so zuzuweisen, dass die zugesicherte Lieferzeit und vereinbarte Termintreue zu minimalen Kosten realisiert wird.²⁵

Hierbei kann je nach Art der angebotenen Leistung zwischen verschiedenen Auftragsdispositionen unterschieden werden.²⁶ Bei kundenauftragsbezogener Produktion ist der Standardisierungsgrad der Produkte entscheidend für die Aufgaben der Auftragsdisposition.²⁷ Wird in einem kundenanonymen Markt produziert, wären die Aufgaben und Anforderungen der Auftragsdisposition auf die Versanddisposition ab Lager, die Erstellung von Lieferscheinen sowie die Fakturierung beschränkt, d.h. lediglich der Prozessschritt der Auftragserfüllung (s.o.) wäre zu betrachten.²⁸ Dies würde das Aufstellen der Forschungsfrage nicht rechtfertigen. Viel komplexer und aufwändiger werden Prozesse, wenn kundenindividuelle Produkte gefertigt werden, d.h. innerbetriebliche Prozessschritte für Produktion und Verwaltung festgelegt und unter dynamischen Einflüssen immer wieder geprüft und ggf. angepasst werden müssen.²⁹

Für die Fertigungsdisposition ergibt sich die Anforderung, dass die Länge der Dispositionsperioden und die Betriebszeiten der Produktions – und Leistungsbereiche aufeinander abgestimmt sind und dass diese Dispositionsperioden und Betriebszeiten im Rahmen der Leistungs- und Lieferkette liegen.³⁰ Auf die Länge der Dispositionsperioden und deren Auswirkungen auf Dispositionszielgrößen wird in Abschnitt 2.5 „Dispositionsstrategien“ näher eingegangen.

²⁵ Vgl. Gudehus (2012) -A-: S. 153

²⁶ Vgl. Dickersbach; Keller (2014): S. 39

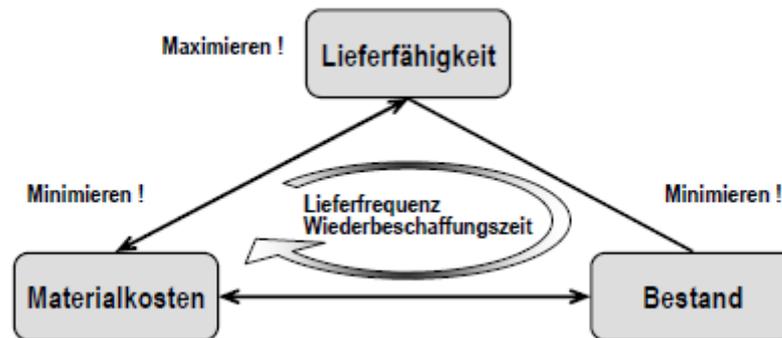
²⁷ Ebd.

²⁸ Ebd.

²⁹ Ebd.

³⁰ Vgl. Gudehus (2012) -A-: S. 143

Abbildung 1: Das Dilemma der Disposition



Entnommen aus: Erlach (2010): S. 19

Abb. 1 zeigt Zielkonflikte und Einflussgrößen auf, welche das Erreichen der oben genannten Aufgabe der Disposition erschweren. Die primäre Aufgabe der Disposition ist es, nach Auftragsannahme die vom Kunden gewünschte Lieferfähigkeit zu gewährleisten.³¹ Würde das Ziel sein, dass diese 100% beträgt, so müssten alle Endprodukte in den maximalen Bestellmengen des Kunden im Fertigwarenlager vorrätig sein.³² Dieser Anforderung kann so nicht gerecht werden, ist doch nach Abb.1 der Bestand zu minimieren. Somit ergibt sich zwangsläufig eine Disposition von Halbfabrikaten und Rohmaterialien, um die Kapitalbindungskosten zu verringern.³³ Dies ist nur ein Beispiel eines möglichen Zielkonflikts. Hierbei steht immer ein individuelles Ziel in Form eines Konfliktkompromisses im Vordergrund: Faktoren wie Termintreue, geringe Umlaufbestände und Rüstkosten sowie eine gleichmäßige Kapazitätsauslastung müssen in Einklang gebracht werden.³⁴

³¹ Vgl. Erlach (2010): S. 19

³² Ebd.

³³ Ebd.

³⁴ Vgl. Kiem (2016): S. 125 f.

2.2 Einordnung in die Funktionsbereiche Logistikplanung und Logistiksteuerung

Bei der logistischen Auftragsdisposition kann zwischen den Funktionsbereichen der dispositiven und physischen Logistik unterschieden werden.³⁵ Bei letzterer müssen Güter transformiert werden, um die Leistungserstellung zu gewährleisten, d.h. hier finden Bearbeitungsprozesse an physisch existierenden Objekten statt.³⁶ Zudem gehört der Gütertransport zum Aufgabenkreis der physischen Logistik.³⁷ Mit Blick auf obige Schrittfolge der Disposition ist die physische Logistik zwischen der Auftragsfreigabe und -erfüllung einzuordnen.

Die dispositive Logistik hingegen zielt auf die Planung, Steuerung und Kontrolle von Prozessen ab, die mit der Leistungserstellung in Verbindung stehen.³⁸ Hieraus lässt sich schlussfolgern, dass die Disposition im Funktionsbereich der physischen Logistik Realisierungsaufgaben erfüllen muss. Da der bloße Gütertransport und die Gütertransformation alleine nicht ausreichend sind, um die Forschungsfrage dieser Arbeit zu beantworten, sondern vielmehr Prozesse verdeutlicht werden sollen, wird in dieser Arbeit die Disposition im Funktionsbereich der dispositiven Logistik als Grundlage für das Verständnis der Begrifflichkeit „Disposition“ herangezogen. Die logistische Auftragsdisposition wird zudem begrifflich gleichgesetzt mit „Feinplanung“ bzw. „Produktionsplanung“, da immer Ressourcen terminiert zugewiesen werden.³⁹

Um alle Fertigungsprozesse zeitnah zu planen und zu steuern, Prozesstransparenz zu gewährleisten sowie den Material- und Informationsfluss aktuell abzubilden, bedarf es eines Fertigungsmanagementsystems, sogenannter Manufacturing Execution Systems („MES“).⁴⁰ Um die Einordnung der logistischen Auftragsdisposition näher darzustellen, bietet sich folgende Abbildung an, die Funktionsebenen und verwendete Systeme in einer Pyramidenstruktur darstellt:

³⁵ Vgl. Mathieu (2014): S. 51

³⁶ Ebd.

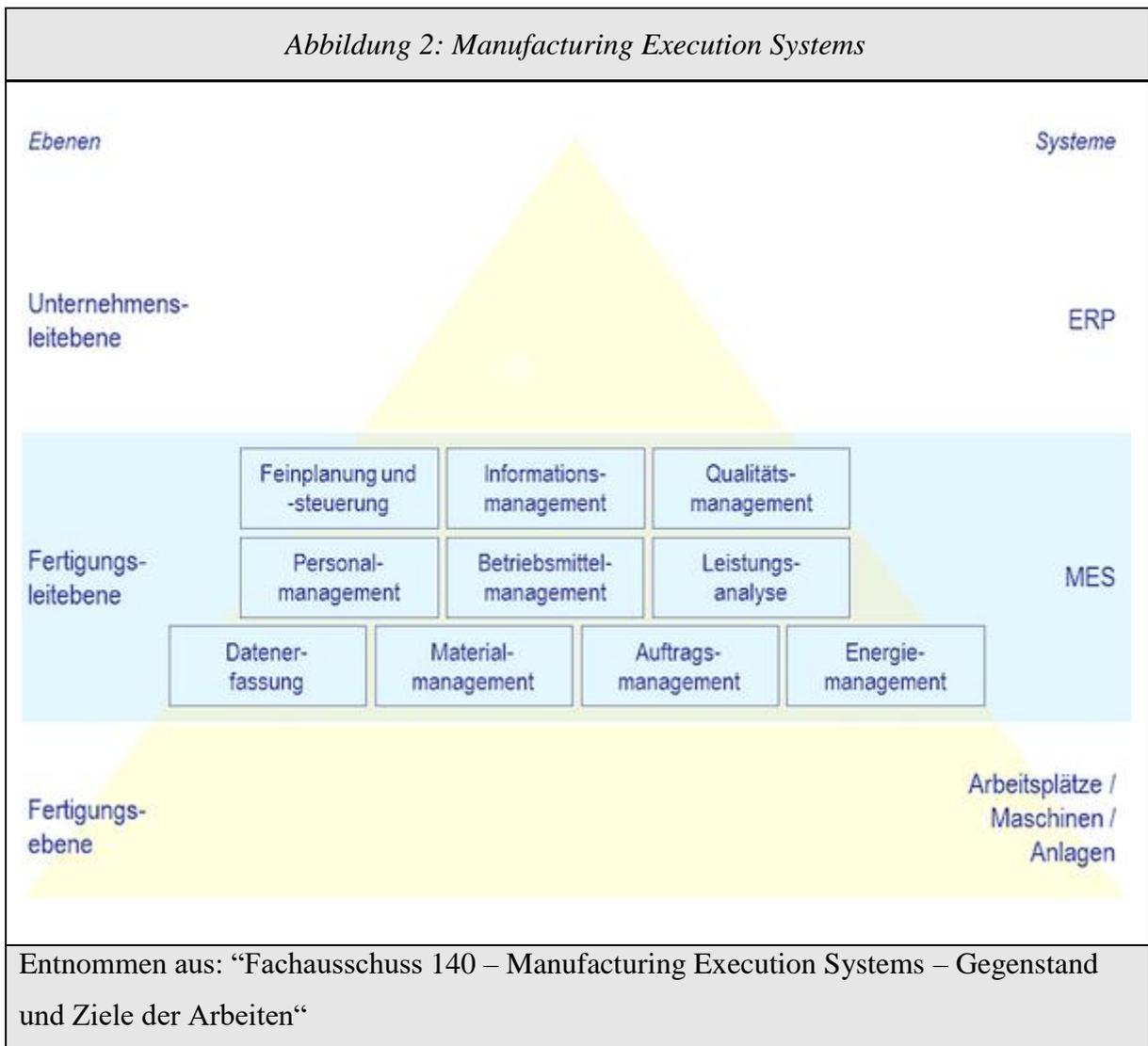
³⁷ Ebd.

³⁸ Ebd.

³⁹ Vgl. „Auftragsdisposition in der Intralogistik“, 2016

⁴⁰ Vgl. VDI (2016) -B-: S. 2

Abbildung 2: Manufacturing Execution Systems



Entnommen aus: "Fachausschuss 140 – Manufacturing Execution Systems – Gegenstand und Ziele der Arbeiten"

Aus obigen Ausführungen wird mithilfe dieser Abbildung ersichtlich, dass die Auftragsdisposition in Gestalt der Feinplanung und -steuerung in der Fertigungsleitebene nur einen Teil der Funktionsbereiche der MES darstellen. Für ein komplettes Fertigungsmanagementsystem bedarf es demnach noch der anderen aufgezeigten Funktionen in der Fertigungsleitebene. Abb. 2 macht deutlich, dass der Auftrag über die zu disponierenden Arbeitsplätze, Maschinen und Anlagen realisiert wird. Die Fertigungsebene bildet daher die Auftragsdisposition in der physischen Logistik ab. In der physischen Logistik wäre der Prozess der Auftragsdisposition in der Fertigungsebene von Bedeutung, d.h. über die Parameter Arbeitsplätze, Maschinen und Anlagen fein zu planen und zu steuern. Im Bereich der dispositiven Logistik wird eine durchgängige Prozessorientierung notwendig, d.h., dass die Umsetzung der oben beschriebenen Parameter auch in administrativen Bereichen gelingt (s. 2.1, Prozessschritte 1-4 der Auftragsdisposition).

Enterprise Resource Planning („ERP“)-Systeme stellen für die Unternehmensleitebene Funktionen zur Verfügung, während MES – Systeme wie oben beschrieben für die Fertigungsleitebene Funktionen zur Verfügung stellen.⁴¹ MES und ERP unterscheiden sich zum Einen in der hierarchischen Zuordnung im Unternehmen (s. Abb. 2) und zum Anderen im Detaillierungsgrad der Betrachtung von operativer und zeitlicher Ebene in Hinblick auf Aufträge, Ressourcen und Material.⁴² Ein ERP-System bestimmt lediglich Art und Menge von Aufträgen in bestimmten Zeiträumen, während ein MES-System Bearbeitungspunkte, Zuordnung von Ressourcen und die Reihenfolge bestimmt, in der die Aufträge abgewickelt werden sollen.⁴³ MES – Systeme sind also als Bindeglied zwischen der Fertigungsebene mit ihrer Maschinen-, Anlagensteuerung (also dem tatsächlichen, physischen Produktionsprozess) und der Unternehmensleitebene mit ihrem ERP-System (grundlegende Produktionsplanung) zu sehen.⁴⁴

Um Planungsfunktionen und Datenmodelle der MES- und ERP- Systeme (z.B. Absatz- und Produktionsmengenplanung) mit einer integrierten Erfolgs-, Bilanz- und Finanzplanung („EFB“) zusammenzuführen, bedarf es sogenannter Advanced Enterprise Planning – („AEP“) Systeme.⁴⁵ AEP schaffen somit die Voraussetzung für die Zusammenführung von Echtzeitsimulationssystemen der Produktionsplanung im Rahmen der Industrie 4.0 (Näheres hierzu s. Kap. 3) mit der betriebswirtschaftlichen Erfolgs-, Finanz- und Bilanzsphäre.⁴⁶ Hierbei leistet ein AEP-System durch Feedback-Schleifen über Kriterien wie Engpassidentifikationen, Anlagenoptimierungen, Auftragseinplanungen in der Fertigung und einer simultanen Berücksichtigung von Bedarfen, Materialien und Kapazitäten eine unternehmensübergreifende Planung und Steuerung durch Entscheidungen sowohl auf strategischer (ERP-System: Absatz- und Produktionsplanung) als auch auf taktischer und operativer Ebene (MES mit Auftragsdispositionsfunktion).⁴⁷

⁴¹ Vgl. Bracht; Geckler; Wenzel (2011): S. 186

⁴² Ebd.

⁴³ Ebd.

⁴⁴ Vgl. Mosler (2017): S. 498

⁴⁵ Vgl. Mosler (2017): S. 528 ff.

⁴⁶ Ebd.

⁴⁷ Vgl. Hausladen (2016): S. 120 ff.

2.3 Auftragsarten

Damit Prozesse im Unternehmen und in den Logistiksystemen starten, sind Aufträge vonnöten.⁴⁸ Externe Auftraggeber (Versender, Kunden, Empfänger) richten externe Aufträge an das Unternehmen, welche von der Auftragsdisposition in interne Aufträge umgewandelt werden.⁴⁹ Dies bedeutet, dass die externen Aufträge so disponiert werden, dass geregelt ist, in welchen Leistungsbereichen im Unternehmen wann und wie welche Aufgabe von welcher Leistungsstelle durchzuführen ist.⁵⁰

Im Bereich der Fertigungsdisposition liegen durch Umwandlung der Fertigungsaufträge Produktionsaufträge vor.⁵¹ In diesen ist festgelegt, wie die Produktion die Herstellung einer bestimmten Menge eines Artikels, eines Bauteils, einer Baugruppe oder eines Produkts durchführt.⁵² Der Fertigungsauftrag an die Produktion enthält die genaue Beschreibung des herzustellenden Guts, wobei diese Beschreibung in Teilen mit der Beschreibung in der Auftragsbestätigung identisch ist (s. 2.1, Prozessschritt 3 der Auftragsdisposition).⁵³ Angaben zu Menge, Maße, Bezeichnung, Farbe, Zusammensetzung, Gewicht etc. des herzustellenden Artikels oder Bauteils und die dafür benötigten Komponenten einschließlich Menge und Beschaffenheit sind bei beiden Beschreibungen identisch.⁵⁴

2.4 Dispositionsverfahren

Die Materialdisposition innerhalb der Materialwirtschaft bedient sich zweier wesentlicher Verfahren zur Berechnung des Bedarfs an untergeordneten Teilen, des Sekundärbedarfs, aus dem im Produktionsprogramm ermittelten Primärbedarfen.⁵⁵ Die Auftragsdisposition hat hier die Aufgabe, innerhalb der Materialbedarfsplanung den benötigten Bedarf an Baugruppen, Einzelteilen und Rohstoffen nach Menge und Termin zu bestimmen, angepasst an das jeweilige Produktionsprogramm.⁵⁶

⁴⁸ Vgl. Gudehus (2012) -B-: S. 42

⁴⁹ Vgl. Gudehus (2012) -B-: S. 43

⁵⁰ Ebd.

⁵¹ Vgl. „Unternehmensbereich: Disposition“, (2016)

⁵² Ebd.

⁵³ Ebd.

⁵⁴ Ebd.

⁵⁵ Vgl. Dickersbach; Keller (2014): S. 42 f.

⁵⁶ Ebd.

Eine planungsorientierte Produktion arbeitet vor allem im Bereich der Sekundärbedarfe auf Basis von Prognosewerten.⁵⁷ Die Disposition ist in diesem Fall bedarfsgesteuert (oder bedarfsorientiert), d.h. aufgrund der Prognosen werden bei einer kundenauftragsorientierten Produktion Halbfabrikate vorproduziert.⁵⁸ Dies begünstigt zum Einen die Verkürzung von Lieferfristen, zum Anderen können optimale Lose gebildet werden, die Skaleneffekte begünstigen, im Falle einer höheren Variantenzahl nimmt allerdings das Risiko von Fehlprognosen zu.⁵⁹ Hierzu werden im Rahmen der Auftragsvorbereitung (s. 2.1) mittels Stücklisten, Arbeitsplänen und Betriebsmitteln Kalkulationen durchgeführt, die die Herstellung der Artikel vorbereiten.⁶⁰ Die bedarfsorientierte Disposition ist v.a. für Produkte und Lieferketten aus dem Bereich der Investitionsgüterindustrie interessant.⁶¹ Entscheidend ist hier, dass mehrere Kriterien in Kombination vorliegen, die eine Anwendung sinnvoll machen.⁶² Hierzu zählen eine hohe technische Komplexität der Produkte, Einzelkomponenten mit hoher Kundenspezifität, lange Durchlauf – und Wiederbeschaffungszeiten, geringe Stückzahlenproduktion bei relativer Marktunsicherheit.⁶³

Bei der verbrauchsgesteuerten Disposition werden Produktionsaufträge durch Lagerentnahmen automatisch erzeugt und somit Produktionspläne verbrauchsgesteuert erstellt.⁶⁴ Der Disponent muss diese Aufträge noch freigeben.⁶⁵ Auf die detaillierte Materialbedarfsplanung, wie Bestellpunkt-, Bestellrhythmusverfahren⁶⁶, wird in dieser Arbeit nicht näher eingegangen, sie gehört in den Bereich der Beschaffungslogistik.

Vor dem Hintergrund der Auftragsdisposition als „Feinplanung“ bzw. „Produktionsplanung“ dieser Arbeit wird die planungsorientierte Produktion als Grundlage herangezogen, Dispositionsprozesse näher zu betrachten.

⁵⁷ Vgl. Erlach (2010): S. 95 f.

⁵⁸ Ebd.

⁵⁹ Ebd.

⁶⁰ Vgl. Müller (2015): S. 12

⁶¹ Vgl. Limberger (2010): S. 31 ff.

⁶² Ebd.

⁶³ Ebd.

⁶⁴ Vgl. Erlach (2010): S. 95 f.

⁶⁵ Vgl. Erlach (2010): S. 96

⁶⁶ Vgl. Gomes-Barthelt (2009): S. 50 ff.

2.5 Dispositionsstrategien

Um der in Abschnitt 2.1 beschriebenen Aufgaben und Anforderungen gerecht zu werden, stehen mehrere Dispositionsstrategien zur Auswahl.⁶⁷

Die Auftragsvorbereitung (s. 2.1) beginnt mit der Zerlegung der externen Aufträge in Teilaufträge in der Art, dass sie in zusammenhängenden Auftragsprozessen ausgeführt werden können.⁶⁸ Häufig ist auch eine Stücklistenauflösung notwendig, wenn Nebenketten aus Hauptketten gebildet werden und somit der Auftrag in Vorprodukte, Teile, Komponenten und Module aufgelöst wird.⁶⁹ Um in der Fertigungsebene ausgeführt werden zu können, müssen die internen Teilaufträge einzelnen Leistungsstellen und Leistungsketten zugeordnet werden.⁷⁰ Diese Zuordnung wird realisiert über sogenannte „Ressourcenallokationsstrategien“.⁷¹

Abb. 3 macht deutlich, dass Ressourcen vielerlei unterschiedliche Attribute und dazugehörige Ausprägungsformen besitzen:

Abbildung 3: Morphologie von Ressourceneigenschaften – Auszug (eigene Darstellung)

Attribut	Ausprägungsformen		
Erscheinungsform	Physisch/ materiell		Virtuell/ immateriell
Mobilität	Stationär	Beweglich	Ortsunabhängig
Flexibilität	Auftragsspezifisch		Universell
Autonomie	Aktiv		Passiv
Verfügbarkeit	Vollständig		Teilweise
Kosten	Niedrig	Mittel	Hoch
Automatisierungsgrad	Computerisiert	Halb-Autonom	Menschlich

In Anlehnung an: Hennies; Regelin; Tojulew (2013): S. 460

⁶⁷ Vgl. Gudehus (2012) -B-: S. 45

⁶⁸ Vgl. Gudehus (2012) -B-: S. 286

⁶⁹ Ebd.

⁷⁰ Ebd.

⁷¹ Vgl. Hennies; Regelin; Tojulew (2013): S. 461 f.

Ebenso wie die Ressourcen, sind auch die Aufträge von großer Diversität, wie Abb. 4 deutlich macht:

Abbildung 4: Morphologie von Auftragseigenschaften (eigene Darstellung)

Attribut	Ausprägungsformen			
Produktionsstrategie	Make-to-stock	Make-to-order	Engineer-to-order	Assemble-to-order
Komplexität	Standardauftrag		Kundenspezifischer Auftrag	
Flexibilität	Ressourcenspezifisch		Universell	
Stichtags-Variabilität	Keine	Niedrig		Hoch
Losgröße	Einzelstück	Kleinserie	Massenproduktion	Ohne Lose
Vorhersagbarkeit	Ad hoc		Regelmäßig	
Priorität	Eilauftrag	Standardlieferzeit	Fester Liefertermin	
Wiederholungsrate	Keine	Selten	Regelmäßig	
Auslöser	Nachfrage	Forecast	Verbrauch	
Auftragswert	Gering	Mittel	Hoch	

In Anlehnung an: Hennies; Regelin; Tojulew (2013): S. 461

Eine mögliche Strategie zur Allokation von Ressourcen wäre eine Abbildung aller möglichen Situationen und Szenarien unter Berücksichtigung unterschiedlicher Zielkriterien wie Wartezeitenminimierung, Durchlaufzeitenminimierung, Maximierung der Liefertreue u.ä.⁷².

Grundsätzlich kann bei der Modellierung von Ressourcenallokationen unterschieden werden zwischen „state-based“ und „model-based“ Strategien.⁷³ „State-based“ Allokationen legen eine Momentaufnahme des Systemzustandes zugrunde und können sich dynamisch anpassen; „model-based“ Allokationen stützen ihre Entscheidungen auf eine vorangegangene Vorhersage zukünftiger Systemzustände.⁷⁴ Mit Blick auf obige Abbildungen zu den Morphologien von Aufträgen und Ressourcen ist je nach Szenario eine andere Strategie zu wählen.

⁷² Vgl. Hennies; Regelin; Tojulew (2013): S. 461

⁷³ Ebd.

⁷⁴ Ebd.

Ein. Auftrag kann bspw. ressourcenspezifisch und die Ressource auftragsspezifisch sein. (s.o.). Somit kommen hier nur „model-based“ Allokationen infrage. Denkbar wäre auch ein Szenario, bei dem ein Auftrag, der bereits einer oder mehrerer Ressourcen zugewiesen wurde, die Ressource aufgrund aktueller Situation (Störung o.ä.) wechseln muss. Hier würden sogenannte „präemptive“ Allokationsstrategien zum Einsatz kommen, also die zeitweise Unterbrechung der Bearbeitung einzelner Prozesse zugunsten anderer.⁷⁵

Den Morphologien von Ressourcen- und Auftragseigenschaften (s. Abb. 3 und 4) könnte ein weiteres Attribut der „Veränderbarkeit“ hinzugefügt werden, d.h. über einen Zeitverlauf können sich einerseits Ressourcen physisch ändern (z.B. neues Material, neue Produktionseinrichtungen) und andererseits sind Auftragsänderungen denkbar.⁷⁶ Sind bestimmten Aufträgen aufgrund von Vergangenheitsdaten und einer fehlenden Anpassung an die neue Situation eine Lager- oder Auftragsfertigung zugewiesen, so kann dies zu einer schlechteren Ressourcennutzung, Lieferfähigkeit und Wettbewerbsfähigkeit führen, als dies mit Anpassung an veränderte Situation der Fall wäre.⁷⁷ Die Entscheidung zwischen Lager- oder Auftragsfertigung ist mit Sonderartikeln, bei denen Zeichnungen, Materialdaten, Beschaffenheiten, Rezepturen nicht im Voraus gegeben sind, sondern erst nach Auftragseingang vorliegen (s. 2.1 „Auftragsvorbereitung“), nicht gegeben. Die Artikel können also nicht auf Lager, sondern müssen kundenauftragsspezifisch beschafft werden.⁷⁸ Beschaffungsstrategien werden in dieser Arbeit allerdings nicht weiter behandelt.

Um auf die oben angesprochene Veränderbarkeit reagieren zu können, muss die Disposition dynamisch sein, wobei Dispositionsstrategien wie Auftrags- oder Lagerfertigung, aber auch Strategieparameter wie Lagernachschubmengen und Sicherheitsbestände, angepasst werden müssen an eine neue Situation.⁷⁹ Hierbei kann sich die Disposition aufgrund der Auftrags-, Ressourcenänderung oder anderen Ereignissen aus der vorangegangenen Periode an die aktuelle Dispositionsperiode anpassen („periodendynamische Disposition“), oder aber nach jedem Eintreffen eines Auftrages, nach jeder Änderung einer Ressource, nach jeder auftretenden Störung o.ä. („ereignisdynamische Disposition“) eine Anpassung vornehmen.⁸⁰ Größte Flexibilität bietet die ereignisdynamische Disposition, allerdings ist hiermit direkt ein

⁷⁵ Ebd.

⁷⁶ Vgl. Mosler (2017): S. 102

⁷⁷ Ebd.

⁷⁸ Vgl. Gudehus (2012) -B-: S. 45

⁷⁹ Ebd.

⁸⁰ Ebd.

größerer Dispositionsaufwand verbunden, wenn die Häufigkeit der Änderungen in Aufträgen und Ressourcen stark steigt.⁸¹ Auf den Begriff „Dispositionsaufwand“, der auch in der Forschungsfrage dieser Arbeit eine zentrale Rolle spielt, wird detailliert im späteren Abschnitt 4.2 „Kenngröße Dispositionsaufwand“ eingegangen.

3 Selbststeuerung im Kontext der Industrie 4.0

3.1 Definition mit Hinblick auf den ganzheitlichen Logistikanatz

Aufbauend auf dem Sonderforschungsbereich „SfB 637“ des „BIBA - Bremer Institut für Produktion und Logistik“ an der Universität Bremen ist eine Definition der Selbststeuerung logistischer Prozesse vor dem Hintergrund zu wählen, dass logistische Netzwerke mit heterarchischer Organisationsstruktur betrachtet werden.⁸² Die logistischen Objekte als wesentliche Elemente in diesen logistischen Netzwerken sind u.a. Stückgüter, Ladungsträger und Transportsysteme⁸³. Selbststeuerung bedeutet in diesem Zusammenhang eine Prozessbeschreibung der dezentralen Entscheidungsfindung in diesen logistischen Netzwerken.⁸⁴ Um eine Selbststeuerung der logistischen Objekte zu realisieren, müssen diese autonom Entscheidungen treffen können.⁸⁵

Unter dem Schlagwort „Industrie 4.0“ rückt dabei die Entwicklung von selbststeuernden dezentralen Planungs- und Steuerungsmethoden in den Vordergrund.⁸⁶ Der Grundgedanke basiert darauf, dass eine Lösung eines Gesamtproblems mit zentraler Planungs- und Steuerungsinstanz ineffizienter in Bezug auf logistische Kennzahlen ist als eine Lösung von Teilproblemen in dezentralen Regelkreisen von Teilsystemen.⁸⁷ In den Teilsystemen kann mit weniger Aufwand eine Neuplanung durchgeführt werden und gleichzeitig haben Störungen einen geringeren Einfluss auf die Stabilität des Gesamtsystems.⁸⁸

⁸¹ Ebd.

⁸² Vgl. „Motivation“, 26.08.2008

⁸³ Ebd.

⁸⁴ Vgl. Schuh; Stich (2012): S.298 f.

⁸⁵ Vgl. Rekersbrink (2012): S. 1

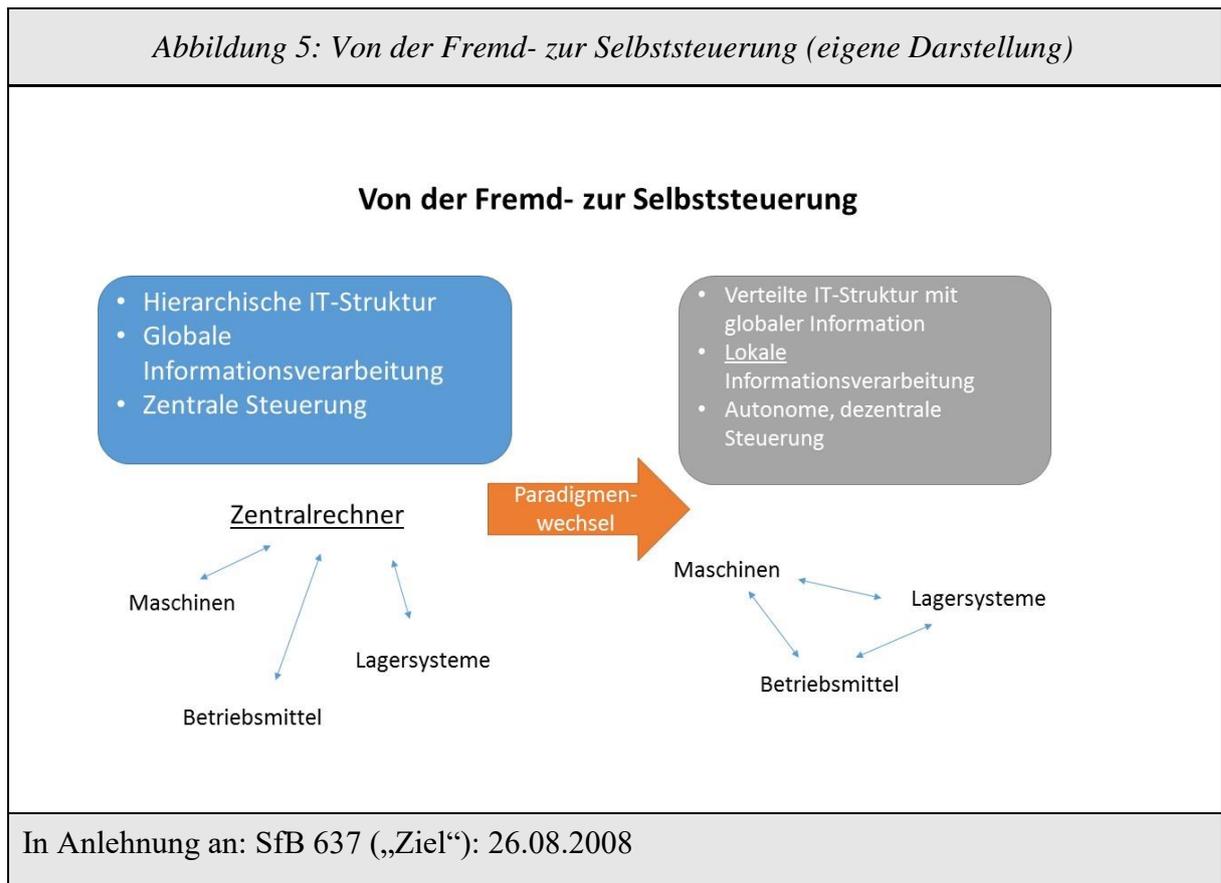
⁸⁶ Vgl. Schuh; Stich (2014): S. 63 f.

⁸⁷ Ebd.

⁸⁸ Ebd.

Die Logistik ist hier als ganzheitliches System zu verstehen, d.h. sie muss alle Aktivitäten in Flussrichtung über die gesamte Supply Chain hin zum Kundenwunsch koordinieren, um die oben angesprochene Agilität und Wandlungsfähigkeit zu erfüllen.⁸⁹ Diese Aktivitäten beschränken sich also nicht auf rein physische Prozesse wie Transport, Umschlag und Lagern („TUL“).⁹⁰

Es wird auch von einem Wechsel der Paradigmen in der Logistik gesprochen, wie folgende Abbildung deutlich macht:



Obige Abbildung macht ersichtlich, dass bei zentraler Planung und Steuerung eine hierarchische Organisationsstruktur zugrunde gelegt wird, die alle Informationen inkl. Auftragsänderungen, Parameteränderungen global in Form eines Zentralrechners verarbeitet und wieder an die logistischen Objekte (Maschinen, Betriebsmitteln und Lagernsysteme) verteilt, während bei dezentraler Planung und Steuerung die Informationsaufnahme, -verarbeitung und -weitergabe bei den logistischen Objekten selbst stattfindet.

⁸⁹ Vgl. Göpfert; Schulz; Wellbrock (2017): S. 3

⁹⁰ Ebd.

Die grundsätzlichen Paradigmen für die Umsetzung der Selbststeuerung liegen also in einer verteilten IT-Infrastruktur, welche global Informationen verarbeiten kann, einer lokalen Informationsverarbeitung auf der Fertigungsebene (s. Abb. 2) sowie der Fähigkeit zur autonomen, dezentralen Steuerung der logistischen Objekte (s. Abb. 5).

3.2 Logistik und ihre Anforderungen im Zeitalter der Industrie 4.0

Damit die Selbststeuerung in logistischen Netzwerken umsetzbar gemacht werden kann, sind Anforderungen an die Logistik zu beachten.

Vor dem Hintergrund der Forschungsfrage dieser Arbeit ist v.a. auf die Komplexität der logistischen Prozesse in der Produktionsplanung und -steuerung („PPS“) einzugehen. Die PPS als betriebswirtschaftlich planerische Funktion im Sinne einer grundlegenden Produktions- und Materialbedarfsplanung⁹¹ innerhalb der ERP-Systeme in der Unternehmensleitebene bedingt wesentlich die logistische Auftragsdisposition in der Fertigungsleitebene (s. Abb. 2). Dabei sind ERP-Systeme aus den PPS-Systemen entstanden, die auf Basis von Planungskonzepten wie dem Material Resource Planning („MRP“) -II-Konzept aus den 1980er Jahren entwickelt wurden.⁹² Das MRP-II-Konzept sollte hierbei die oben beschriebenen wirtschaftlich planerischen als auch strategische Gesichtspunkte innerhalb der PPS berücksichtigen.⁹³ In diesem Zusammenhang ist auf Defizite hinzuweisen, die die PPS in einem dynamischen Umfeld wie oben beschrieben aufweist.

Die PPS einer Organisation hat einerseits zum Ziel, Bestände und Vorräte an Material, unfertigen und fertigen Erzeugnissen zu minimieren.⁹⁴ Zudem sorgt sie für eine termin-, mengen- und qualitätsgerechte Lieferung von Produkten an die jeweiligen Kunden unter maximaler Nutzung der vorhandenen personellen und technischen Ressourcen.⁹⁵ Um dies erfolgreich umsetzen zu können, ist die logistische Auftragsdisposition (s. Kap. 2) mit ihren Funktionen, Verfahren und Strategien ein wesentliches Werkzeug.

⁹¹ Vgl. Müller (2015): S. 12 f.

⁹² Vgl. Mosler (2017): S. 377 f.

⁹³ Ebd.

⁹⁴ Vgl. Schuh; Stich (2014): S. 13

⁹⁵ Ebd.

Die PPS einer Organisation unterliegt heutzutage einer Umgebung mit hoher Änderungsdynamik in Bezug auf Märkte, Produkte und Technologien.⁹⁶ In diesem Zusammenhang spielt v.a. das sogenannte „Customizing“⁹⁷ – zu Deutsch „Kundenorientierung“ – eine große Rolle. Die Kundenorientierung hat zur Folge, dass zum einen die Variantenzahl der Produkte sowie zum anderen die Zahl der Änderungen in den Aufträgen nach Auftragserteilung steigt.⁹⁸

Mit Blick auf die logistische Auftragsdisposition bedeutet dies, dass bei zentraler Planung und Steuerung auftragspezifisch Kapazitäten terminiert und abgeglichen werden und daraufhin der Auftrag manuell in das Produktionssystem eingeplant wird.⁹⁹ Sind Ressourcen bereits terminiert zugewiesen, so ergeben sich hier aufwändige Planungen bei veränderten Rahmenbedingungen des Auftrags. Die Kundenorientierung ist hierbei nicht als ein einmaliger Prozess zu sehen, sondern erfordert eine ständige Anpassung in der Organisation an sich ändernde Marktverhältnisse.¹⁰⁰ Mit der angesprochenen steigenden Kundenorientierung gehen zudem ein erhöhter Individualisierungsgrad der Produkte sowie unterschiedlichste Kundenanforderungen einher.¹⁰¹ Die Kundenanforderung kann hierbei ein personalisiertes Produkt sein, d.h. außerhalb des Konfigurationsbereichs des Unternehmens liegen.¹⁰² Viele heutige Produkte sind zudem (Geräte, Anlagen und Maschinen) mit dem Internet verbunden, weshalb die Daten, die von diesen vernetzten Produkten erzeugt werden, in logistische Prozesse integriert werden müssen.¹⁰³ Auch Märkte verändern sich infolge des Trends zu internetfähigen Produkten.¹⁰⁴ Hersteller verkaufen meist nicht mehr nur Maschinen, sondern bieten Services rund um das Produkt an, die auf dem automatischen Auslesen von Kundendaten (z.B. Endnutzerverhalten Heizung und Einsparpotentiale für den Kunden) basieren und daraufhin optimiert werden.¹⁰⁵

⁹⁶ Vgl. Schuh; Stich (2014): S. 16f.

⁹⁷ Vgl. Kordowich (2010): S. 38 f.

⁹⁸ Ebd.

⁹⁹ Vgl. Schuh; Stich (2014): S. 16 f.

¹⁰⁰ Vgl. Kordowich (2010): S. 38 f.

¹⁰¹ Vgl. Schuh; Stich (2014): S. 63f.

¹⁰² Vgl. Kaufmann (2015): S. 2 f.

¹⁰³ Ebd.

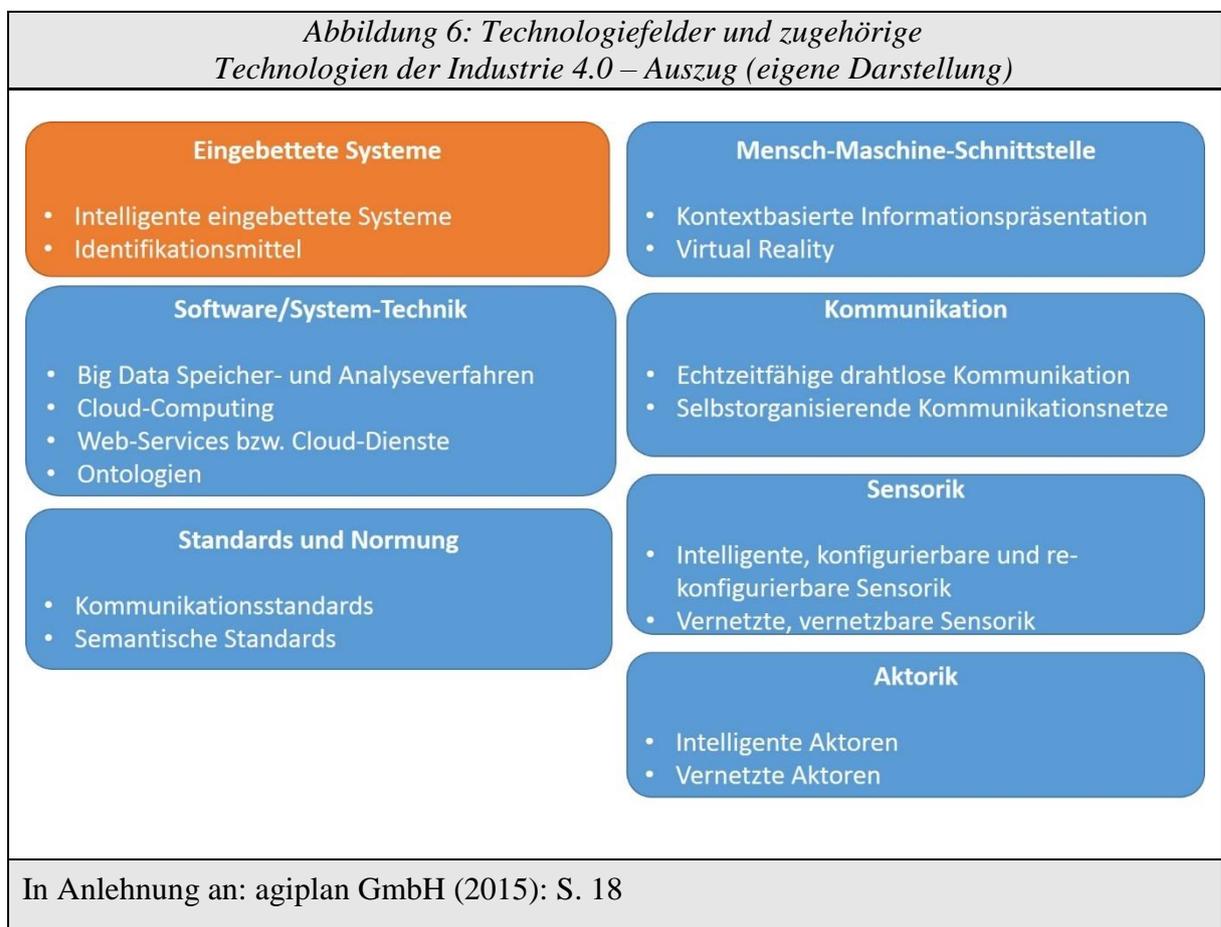
¹⁰⁴ Ebd.

¹⁰⁵ Ebd.

Unter diesen Anforderungen an Unternehmen wird die vierte industrielle Revolution (Industrie 4.0) als Antwort von Unternehmen gesehen, den oben erläuterten Anforderungen an die Logistik zu begegnen.¹⁰⁶

In diesem Zusammenhang sollen Informations- und Datenverarbeitungsprozesse innerhalb des Unternehmens und über Unternehmensgrenzen hinweg mit den zugehörigen physischen Abläufen in einer neuen Art und Weise und zu neuen Angeboten und Diensten verknüpft werden.¹⁰⁷

Der in der Abb. 5 aufgezeigte Paradigmenwechsel von starren, hierarchisch gesteuerten Produktionseinheiten hin zu einer flexiblen, aktiven, autonomen, sowie selbststeuernden- bzw. selbstorganisierenden Produktion ist demnach als Nutzenversprechen der Industrie 4.0 zu verstehen.¹⁰⁸



¹⁰⁶ Vgl. agiplan GmbH (2015): S 6

¹⁰⁷ Ebd.

¹⁰⁸ Vgl. agiplan GmbH (2015) S. 7

Abb. 6 macht deutlich, dass sich die Logistik im Zeitalter der Industrie 4.0 vieler unterschiedlicher Technologien bedienen kann, um eine Selbststeuerung umzusetzen. Hierbei sind die aufgezeigten Technologiefelder mit den dazugehörigen Technologien die Basis dafür, Industrie 4.0 anzuwenden.

Dabei bilden eingebettete Systeme eine eigenständige Technologie, da Hardware und Sensorik mit integrierter, intelligenter Datenverarbeitungs- und Steuerungslogik zusammengeführt wird.¹⁰⁹

Für die Gruppierung der Technologiefelder wurden Kriterien nach Funktion (Kommunikation und Mensch-Maschine-Schnittstelle), systematischem Überbegriff (Sensorik, Aktorik, Software/Systemtechnik und eingebettete Systeme) und Querschnittsfunktion (Standards und Normung) festgelegt.¹¹⁰ Es bestehen häufig Interdependenzen zwischen zwei oder mehreren Technologiefeldern, daher sind Einzelbetrachtungen von Technologiefeldern für die Umsetzung von Industrie 4.0 Lösungen nicht ausreichend.¹¹¹ Deutlich wird dies z.B. bei der Betrachtung der Technologie „Vernetzte bzw. vernetzbare Sensorik“ (s.o.): Hier reicht das Technologiefeld der Sensorik allein nicht aus, dieser Anforderung gerecht zu werden. Es bedarf hier zusätzlich Technologien aus dem Technologiefeld der Kommunikation, um z.B. Sensoren über Unternehmensgrenzen hinweg mittels des Internetprotokolls IPv6 zu vernetzen.¹¹²

3.3 Eingebettete Systeme – Cyber-Physische Systeme als Voraussetzung für die Selbststeuerung

Cyber-Physische Systeme (CPS) können für die Umsetzung der Selbststeuerung wie folgt definiert werden:

„CPS sind physische Objekte, die mit einem eingebetteten System sowie Sensoren und Aktoren ausgestattet sind. Dies verleiht ihnen Intelligenz und die Fähigkeiten zur Selbststeuerung, zur Vernetzung mit anderen CPS und zur Interaktion mit ihrer Umgebung“.¹¹³

¹⁰⁹ Vgl. agiplan GmbH (2015): S. 19

¹¹⁰ Vgl. agiplan GmbH (2015): S. 17

¹¹¹ Ebd.

¹¹² Ebd.

¹¹³ Vgl. agiplan GmbH (2015): S. 9

Das Prinzip, Systeme in andere Systeme einzubetten, ist nicht neu.¹¹⁴ Den Ausgangspunkt für CPS bilden geschlossene eingebettete Systeme, zum Beispiel Airbags in PKW.¹¹⁵ Die Vision hin zu CPS ist ein „globales Internet der Dinge, Daten und Dienste“¹¹⁶ als evolutionäre Weiterentwicklung eingebetteter Systeme durch ihre Vernetzung über das Internet. Eingebettete Systeme bedeutet in diesem Zusammenhang, dass Kleinstcomputer, die mit einer Software bestückt sind, in physische Objekte (Produkte, Materialien, Maschinen etc.) integriert werden.¹¹⁷ Diese Systeme zeichnen sich dadurch aus, dass sie dezentral organisierte, autonome Teilsysteme hochgradig vernetzen und integrieren.¹¹⁸ Hierbei sei erwähnt, dass CPS Geräte, Anlagen und Systeme umfasst.¹¹⁹

Ein einfaches Beispiel für die Selbststeuerung mit CPS¹²⁰ dient der Verdeutlichung:

Mit einer Bohrmaschine soll ein Loch in angelieferte Bleche gebohrt werden, wobei sich das Loch je nach Variante an anderer Stelle befindet. Der Produktionsablauf wäre ohne den Einsatz von CPS wie folgt:¹²¹ Die Logistik liefert die Bleche an, woraufhin ein Mitarbeiter die Ware als Wareneingang bucht (z.B. per Scannerbuchung direkt bei Anlieferung). Der Fertigungsauftrag wird erst gestartet, sobald sich die Komponenten in der Produktion als verfügbar melden. Gleiche Varianten werden zu einem Los zusammengefasst und weitere Lose anderer Varianten anschließend gefertigt, nachdem ein Mitarbeiter ein anderes Programm der Bohrmaschine ausgewählt hat. Die Produktionssteuerung wäre hier also zentralisiert mithilfe eines Zentralrechners, welcher Aufträge, zugehörige Maschinen sowie Montagezahl in einer Datenbank verwaltet. Mitarbeiter würden den Status der Aufträge nach Auftragsabschluss manuell buchen.¹²²

Unter dem Einsatz von CPS wäre der Produktionsablauf wie folgt:¹²³

Die angelieferte Ware würde sich automatisiert auf den neuen Lagerort umbuchen, sobald die Anlieferung in der Produktion geschehen ist. Die Bleche, als intelligente Produkte, wissen selbst, welche Maschine sie mit welchem Programm durchlaufen müssen. Ein Produktionseinheit-CPS (Blech) würde an ein Maschinen-CPS (Bohrmaschine) eine Meldung

¹¹⁴ Vgl. Acatech (2011): S. 11

¹¹⁵ Ebd.

¹¹⁶ Ebd.

¹¹⁷ Vgl. agiplan GmbH (2015): S. 9

¹¹⁸ Vgl. Schuh; Stich (2014): S. 63

¹¹⁹ Vgl. Bauernhansl; ten Hompel; Vogel-Heuser (2014): S. 251

¹²⁰ Vgl. Müller (2015): S. 101 f.

¹²¹ Ebd.

¹²² Vgl. Müller (2015): S. 101

¹²³ Vgl. Müller (2015): S. 102

schicken und gleichzeitig würde in umgekehrter Kommunikationsreihenfolge je nach hinterlegten Prioritäten selbstständig ein Auftragspuffer gebildet werden. Die Produktion wäre somit im Vergleich zum Ablauf ohne CPS losgebunden, d.h. die Bohrmaschinen könnte die Bleche unabhängig von der Losbildung bearbeiten, da sie in Echtzeit auf andere Produkte reagieren können.¹²⁴

Grundsätzlich ist der Ausfall eines CPS denkbar. Es muss sichergestellt sein, dass ein anderes CPS diesen Ausfall erkennt, den Fertigungsschritt des ausgefallenen CPS kennt, Kapazitäten abgleicht, um dann zu entscheiden, ob es diese Aufgabe übernehmen kann.¹²⁵ Ist dies nicht der Fall, so muss das nächste CPS diese Überprüfung vornehmen. Systemzustände müssen demnach jedem CPS im Produktionssystem bekannt sein. In diesem Beispiel ist die Dynamik ein wichtiger Faktor; mehrere CPS können sich bei Änderungen dynamisch neu konfigurieren und sind nicht starr an Arbeitsprozesse gebunden, was eine stark individualisierte Fertigung möglich macht.¹²⁶ Wird die oben beschriebene kundenindividuelle Fertigung zugrunde gelegt und die Effizienz der Prozesse betrachtet, so ist hiermit eine Fertigung von Mengen mit Losgröße = 1 zu den Kosten einer Massenproduktion möglich.¹²⁷

Da in diesem Kapitel die Selbststeuerung in Verbindung mit Industrie 4.0 gebracht werden soll und logistische Netzwerke betrachtet werden, ist eine Unterscheidung zwischen vertikaler Verknüpfung von CPS (innerhalb der Prozesse eines Unternehmens) und horizontaler Verknüpfung (über mehrere Unternehmensbereiche als auch über mehrere Unternehmen entlang der Supply Chain hinweg) wichtig.¹²⁸

Abb. 7 stellt dar, dass eine vertikale Verknüpfung in einem Logistiknetzwerk mit mehreren produzierenden Betrieben, Kunden, Lieferanten und Unterauftragnehmern nicht ausreicht, um den Logistikanforderungen im Industrie 4.0-Umfeld – wie in Abschnitt 3.2 erläutert – beizukommen. Ressourcen und Prozesse müssen demnach entlang der inner- wie überbetrieblichen Wertschöpfungskette vernetzt werden.¹²⁹

¹²⁴ Ebd.

¹²⁵ Vgl. Scheer (2017): S. 53

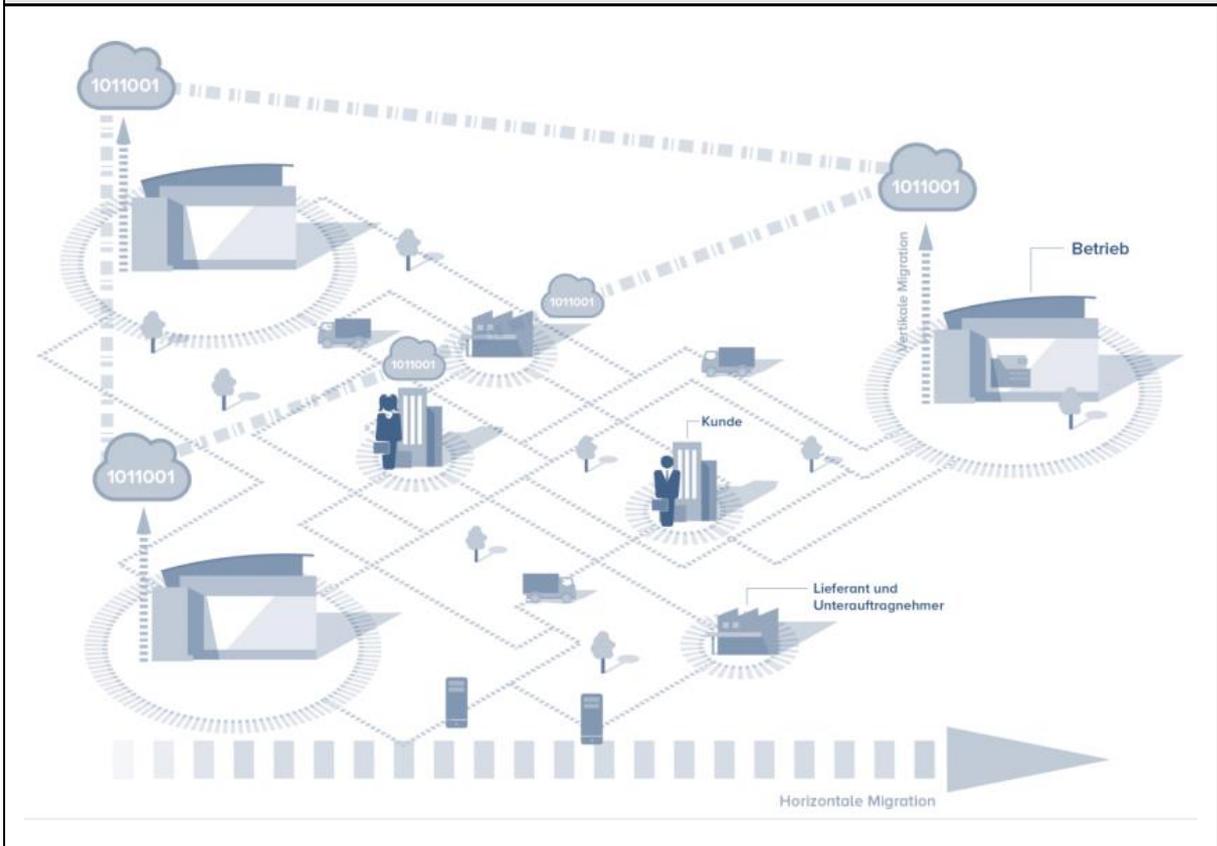
¹²⁶ Ebd.

¹²⁷ Ebd.

¹²⁸ Vgl. agiplan GmbH (2015): S. 12

¹²⁹ Ebd.

Abbildung 7: Vertikale und horizontale Integration



Entnommen aus: agiplan GmbH (2015): S. 12

Erst die horizontale Verknüpfung der Prozesse erlaubt bei vielen Produktvarianten eine hohe Wandlungsfähigkeit des Wertschöpfungsnetzwerkes, die eine Integration und Interoperabilität der produktionsnahen IT erfordert (Näheres hierzu s. 3.5).¹³⁰

3.4 Fremdsteuerung vs. Selbststeuerung im Bereich der Produktion

Klassischerweise werden in Unternehmen, die zentral organisiert sind, ERP-Systeme mit Dispositionssoftware eingesetzt, um Auftragsdaten zu verwalten.¹³¹ Der Anteil an deutschen Industrieunternehmen, die ERP-Systeme und Tabellenkalkulationssoftware in ihren Planungsprozessen einsetzen, liegt bei rund 80%.¹³² Um einen Disponenten automatisch im Planungslauf zu unterstützen, müssen alle Dispositionsdaten realitätsgetreu im ERP-System abgebildet sein sowie die gesamten Prozesse rund um das Tagesgeschäft darauf abgestimmt

¹³⁰ Vgl. Geisberger; Broy (2012): S. 54

¹³¹ Vgl. „Host-System (ERP-System)“, 2015

¹³² Vgl. Mosler (2017): S. 35

werden, damit eine Lösung des in Abb. 1 aufgezeigten Zielkonfliktes gelingt.¹³³ Eine effiziente Auftragsdisposition in zentral organisierten Unternehmen setzt voraus, dass die Abstimmungen mit anderen Beteiligten möglichst gering sind sowie Dispodaten, Arbeitspläne und Stücklisten optimal gepflegt sind.¹³⁴ Ferner müssen die gesamten im ERP-System hinterlegten Planungsdaten der Realität entsprechen.¹³⁵ Eine besondere Herausforderung liegt in diesem Zusammenhang in der Synchronisation von Zu- und Abflüssen von Material, wobei Dispositionsparameter wie Wiederbeschaffungszeiten, Bestell-Losgrößen, optimale Fertigungslosgrößen mit Bezug zur Fertigungsdisposition, Rüstzeiten u.a. berücksichtigt werden müssen.¹³⁶ Diese Parameter verändern sich ständig und auch kurzfristig, weshalb eine laufende Anpassung notwendig ist.¹³⁷ Eine adaptive Regelungstechnik, bei der sich Dispoparameter an den Prozess und an neue Realitäten aufgrund von Ereignissen mithilfe von Simulationsplattformen anpassen können, wirken mit Hinblick auf die Komplexitätsreduzierung (s. 3.2) vielversprechend.¹³⁸

Im Bereich der Produktion werden häufig unsichere Informationen und Prognosen als Entscheidungsgrundlage verwendet, die einem dynamischen Umfeld nicht mehr gerecht werden (s. 2.4 „Planungsorientierte Produktion“).¹³⁹ Zu einem dynamischen Umfeld tragen bspw. mögliche Lieferverzögerungen durch den Lieferanten oder die Berücksichtigung von kürzer werdenden Produktlebenszyklen bei.¹⁴⁰ Hierin liegt ein Problem von ERP-Systemen, die solche Veränderungen nicht berücksichtigen, sondern vielmehr transaktionsorientiert und in schnellen Routinen arbeiten.¹⁴¹ Ein ERP-System führt für alle zu planenden Bedarfsmengen – z.B. Endprodukte, Baugruppen, Einzelteile und Rohmaterial – eine Bedarfsrechnung durch (z.B. SAP ERP).¹⁴²

¹³³ Vgl. „Optimieren Sie Ihre Disposition und Grobplanung“, 2016

¹³⁴ Ebd.

¹³⁵ Ebd.

¹³⁶ Vgl. „Automatische Fertigungsdisposition - Adaptive Feinplanung“, 2011

¹³⁷ Ebd.

¹³⁸ Ebd.

¹³⁹ Vgl. Mosler (2017): S. 35

¹⁴⁰ Vgl. „Weshalb Ihr ERP-System allein nicht für eine professionelle Disposition ausreicht“, 2014

¹⁴¹ Ebd.

¹⁴² Vgl. Dickersbach; Keller (2014): S. 259

In der Auftragsdisposition, aus dem Funktionsbereich der Auftragsvorbereitung (s. 2.1), ist der Informationsfluss in der Zeit vor der Umsetzung von Industrie 4.0 weitgehend statisch dadurch, dass er prozessorientiert ist und es mehrere aufeinander folgende Prozesse gibt.¹⁴³

In der Industrie 4.0 können nachgelagerte Prozesse Informationen in Echtzeit mit vorgelagerten Prozessen rückkoppeln, also aktiv in der Gegenwart steuern.¹⁴⁴ Dies könnte im Hinblick auf die Fertigungsdisposition interessant sein, um auf Störeinflüsse (Maschinenausfälle o.ä.) schnell und gezielt reagieren zu können, indem Ressourcen neu zugewiesen werden.

Mit Hinblick auf die in Abschnitt 3.2 beschriebenen Anforderungen an die Logistik im Zeitalter der Industrie 4.0 einer Organisation ist ein auf Großserien ausgelegtes Fertigungsprinzip der Fließfertigung für die Selbststeuerung logistischer Prozesse weniger interessant.¹⁴⁵ Bei diesem Fertigungsprinzip sind die Arbeitssysteme (Arbeitsstationen) linear hintereinander angeordnet, sodass der Bedarf an Selbststeuerung hier geringer ausfällt.¹⁴⁶ Für die Selbststeuerung logistischer Prozesse in der Produktionslogistik ist vor allem das Fertigungsprinzip der Werkstattfertigung¹⁴⁷ interessant, bei dem das Fertigungssystem nach den durchzuführenden Arbeitsgängen räumlich strukturiert ist. Dabei sind die Arbeitssysteme nach dem Verrichtungsprinzip¹⁴⁸ angeordnet, d.h. gleichartige Arbeitssysteme sind räumlich zu einer Werkstatt zusammengefasst. Kennzeichnend für die Werkstattfertigung wiederum sind stark streuende Auftragszeiten.¹⁴⁹ Diese berechnen sich aus der Summe der Bearbeitungs- und Rüstzeiten aller Arbeitsplätze für einen Fertigungsauftrag multipliziert mit der Losgröße.¹⁵⁰ Hiermit geht bezogen auf den Materialfluss eine hohe Komplexität einher, die umso größer wird, je höher die Teilevielfalt, je größer die Anzahl der Arbeitsgänge und je mehr Werkstätten gebildet werden.¹⁵¹ Interessant in diesem Zusammenhang ist die Selbststeuerung einer Werkstattfertigung mit den Fertigungsarten der Einzel- und Kleinserien.¹⁵²

¹⁴³ Vgl. Kaufmann (2015): S. 5

¹⁴⁴ Ebd.

¹⁴⁵ Vgl. Schuh; Stich (2012): S. 313 f.

¹⁴⁶ Vgl. Dörmer (2013): S. 12 f.

¹⁴⁷ Vgl. Brackel (2009): S. 14 f.

¹⁴⁸ Vgl. Windt (2006): S. 8

¹⁴⁹ Vgl. Windt (2006): S. 9

¹⁵⁰ Ebd.

¹⁵¹ Vgl. Windt (2006): S. 9f.

¹⁵² Vgl. Schuh; Stich (2012): S.315 f.

Lean Manufacturing beschreibt in diesem Zusammenhang eine wertschöpfungskettenorientierte Produktionsgestaltung mit dem Ziel, die Grundverschwendung in der Produktion so gering wie möglich zu halten.¹⁵³

Vor dem Hintergrund der Umgebungsbedingungen einer PPS in dynamischen Logistiknetzwerken (s. 3.2) ist für die Auftragsdisposition von Produktionsaufträgen eine Bildung von dynamischen Wertschöpfungsnetzwerken interessant.¹⁵⁴ Diese Netzwerke haben sich dahingehend verändert, dass z.B. ein Zulieferer, der eine Maschine im Business-to-Business – („B2B“) Bereich verkauft, gleichzeitig den Prozess des Lackierens durch den Hersteller übernimmt.¹⁵⁵ Mit dem Einzug der 3D-Technologie sind zudem viele neue Marktteilnehmer denkbar, die das Wertschöpfungsnetzwerk verändern können.¹⁵⁶ In der Auftragsdisposition von Produktionsabläufen können dynamische Wertschöpfungsnetzwerke helfen, auf die in Abschnitt 3.2 beschriebenen Anforderungen zu reagieren. Hier könnten durch dezentrale, selbstkoordinierende Dienste einzelne Produkte oder Aufträge an das Netzwerk geknüpft werden.¹⁵⁷ Als Zentralinstanz könnte eine Plattform als Verknüpfer zwischen Nachfrage- und Angebotsseite fungieren.¹⁵⁸ In solch einem Geschäftsmodell bestünde demnach ein bestimmtes Verhältnis von Fremd- zu Selbststeuerung.

3.5 Notwendige technologische Voraussetzungen zur Realisierung

Für den Einsatz von CPS zur Selbststeuerung von Dispositionsprozessen in der kundenspezifischen Produktion sind technologische Voraussetzungen notwendig. Diese werden im Folgenden erläutert. Anschließend folgt in Bezug auf die Forschungsfrage eine Abgrenzung irrelevanter Themenbereiche. CPS können sich zu übergeordneten Systemen, sogenannten Cyber-Physical Production Systems („CPPS“) vernetzen und neue Dienste und Funktionen ausführen.¹⁵⁹ Ziel ist der Aufbau eines solchen CPPS in einem Logistiknetzwerk, um CPS in Dispositionsprozesse einzubinden.¹⁶⁰

¹⁵³ Vgl. Bauernhansl; Hompel (2014): S. 87 f.

¹⁵⁴ Vgl. VDI/VDE (2016): S. 13

¹⁵⁵ Vgl. Kaufmann (2015): S. 2 f.

¹⁵⁶ Vgl. Kaufmann (2015): S. 3

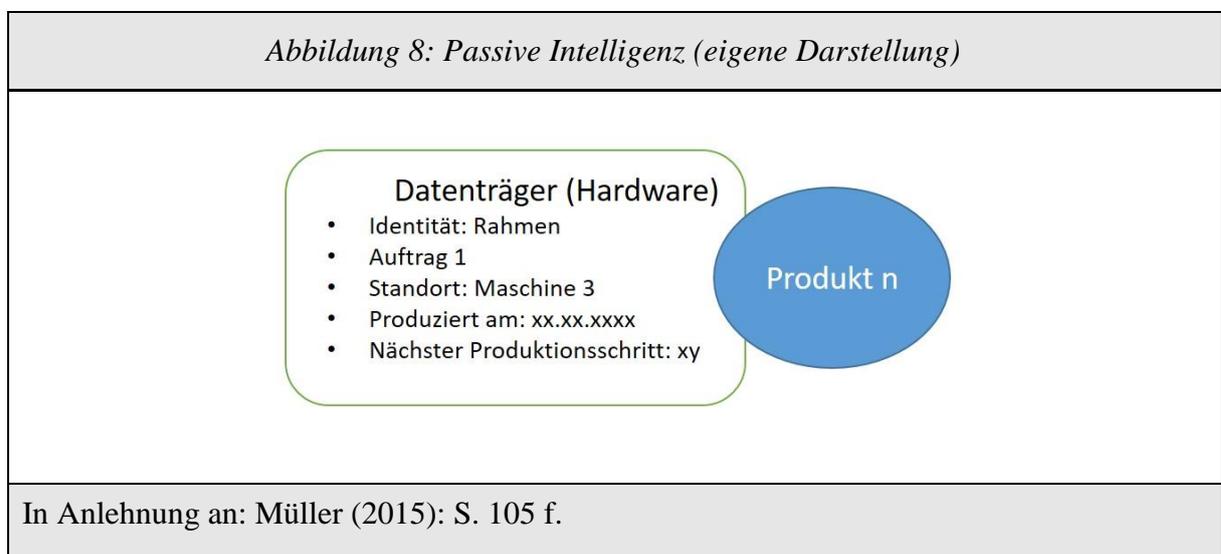
¹⁵⁷ Vgl. VDI/VDE (2016): S. 13

¹⁵⁸ Ebd.

¹⁵⁹ Vgl. Böttcher, Simon et al. (2016): S. 4

¹⁶⁰ Vgl. Mosler (2017): S. 496

Intelligente Produkte, die über die Cloud – also eine Internetanbindung – miteinander verbunden sind, bieten den Grundstein zur Umsetzung der Industrie 4.0 im Produktionsbereich.¹⁶¹ Diese Intelligenz kann in unterschiedlichen Ausprägungen vorliegen, wie die beiden Abb. 8 und 9 deutlich machen. Abb. 8 beschreibt Produkte, die mit einem Datenträger versehen sind, d.h. dass Daten auf diesem Produkt gespeichert werden können. Das betroffene Produkt weiß um seine Identität, welchen Auftrag es gerade bearbeitet, an welchem Standort (Maschine) es sich befindet, wann es produziert wurde und welcher nächste Produktionsschritt wo einzuleiten ist. Denkbar wäre, dass ein ERP-System einen Radio Frequency Identification („RFID“) -Chip des Produktes mit Auftragsdaten beschreibt, um Auftragsdaten an die Fertigung zu übergeben.¹⁶²



Die trivialste Form der Umsetzung einer passiven Intelligenz ist der Barcode-Scanner im Supermarkt, d.h. Produkte können automatisiert identifiziert und Merkmale (z.B. Preise) ausgelesen werden.¹⁶³

Vor dem Hintergrund der Selbststeuerung von Dispositionsprozessen im Bereich der Produktion bedarf es jedoch Produkten, die eigenständig Informationen verarbeiten können und aktiv mit der Umgebung (Produkten, Maschinen etc.) kommunizieren (s. Kap. 3).

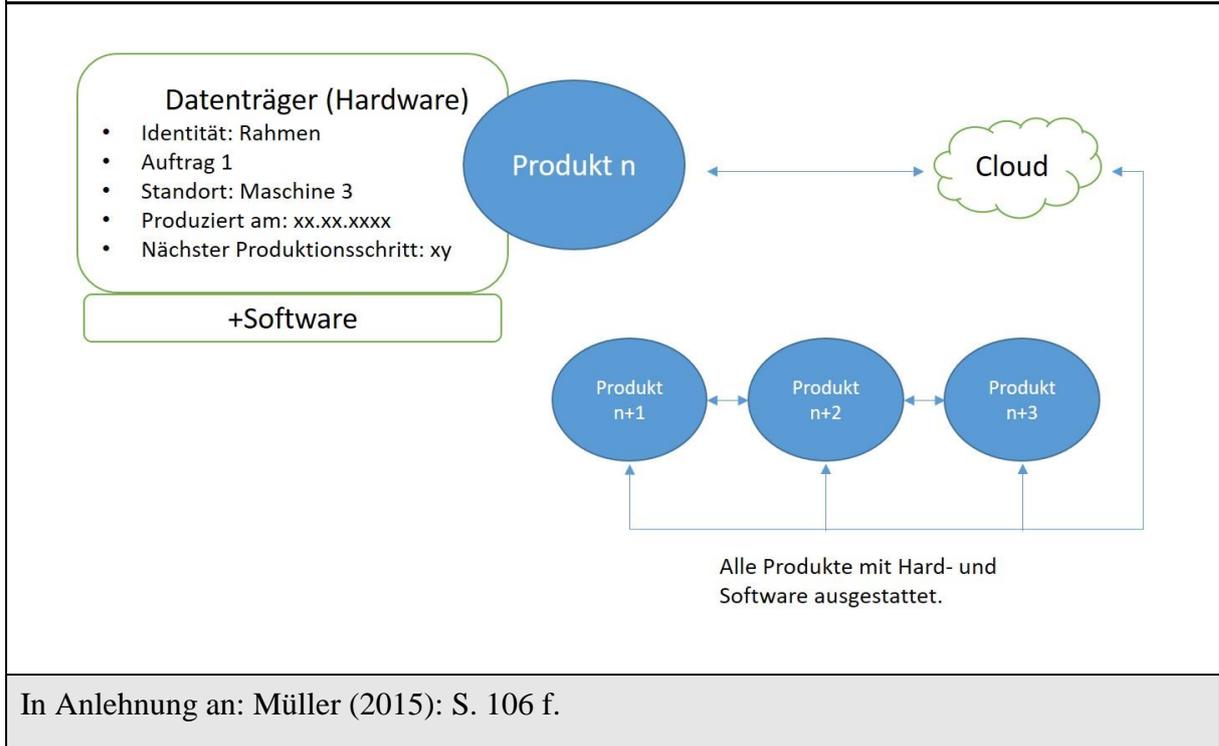
Folgende Abbildung stellt dies näher dar:

¹⁶¹ Vgl. Müller (2015): S. 105

¹⁶² Vgl. Böttcher, Simon et al. (2016): S. 20

¹⁶³ Vgl. Müller (2015): S. 105

Abbildung 9: Aktive Intelligenz (eigene Darstellung)



Aus Abb. 9 wird ersichtlich, dass die Produkte nun imstande sind, selbstständig Informationen zu verarbeiten und miteinander über das Internet („Cloud“) zu kommunizieren. Die Cloud dient einerseits als Speicherort für die gesammelten Sensor- und Maschinendaten und andererseits bietet sie Benutzern eine Weboberfläche, mithilfe derer diese über Desktops, Tablets und Smartphones auf die Anwendung zugreifen können.¹⁶⁴ Dies macht zusätzlich zur Hardware eine Software notwendig.¹⁶⁵ Vor dem Hintergrund der eingebetteten Systeme führt erst die Software zu Intelligenz, um Sensordaten zu verarbeiten.¹⁶⁶

So ist es einer Maschine bspw. möglich, einen zukünftigen Fehler zu melden und gleichzeitig das entsprechende Ersatzteil zu bestellen; denkbar sind auch Lagerorte, die mithilfe von Sensoren wissen, wann ein bestimmter Füllstand unterschritten wird.¹⁶⁷ Über die Nutzung von RFID können die intelligenten Objekte dann selbstständig ihren Weg durch die Fertigung finden.¹⁶⁸

¹⁶⁴ Vgl. Backofen (2016): S. 171 f.

¹⁶⁵ Vgl. Müller (2015): S. 106

¹⁶⁶ Vgl. Kaufmann (2015): S. 13 f.

¹⁶⁷ Ebd.

¹⁶⁸ Vgl. Scheer (2017): S. 53

Hierbei ist eine Produktklassifizierung entscheidend, die festlegt, bei welchen Produkten eine aktive Intelligenz notwendig ist.¹⁶⁹ Werden bspw. Konsumgüter in der Lebensmittelindustrie, wie Joghurts, herangezogen, so ist die produzierte Menge an Bechern pro Tag zu groß, als dass es wirtschaftlich wäre, jeden einzelnen Becher mit aktiver Intelligenz auszustatten.¹⁷⁰ Anders verhält es sich, wenn die Produkte komplexe technische Anlagen im Maschinenbau sind.¹⁷¹

Ebenso entscheidend sind intelligente Maschinen, die vernetzt sind und autonom abhängig von bestimmten Situationen Entscheidungen treffen können.¹⁷² Hier ist bereits viel Grundlagenforschung betrieben worden, sodass viele Maschinen seit Jahrzehnten eine integrierte Steuerungstechnik in Form von Speicherprogrammierbaren Steuerungen („SPS“) besitzen und am Computer gesteuert werden.¹⁷³ Für die Selbststeuerung von Dispositionsprozessen in der Produktion ist jedoch die Kommunikationsfähigkeit zwischen Maschinen (auch zwischen Maschinen unterschiedlicher Hersteller) ein entscheidender Faktor.¹⁷⁴ Denkbar ist hier eine Maschine, die freie Kapazitäten aufweist und mittels standardisierter technischer Schnittstellen (Näheres hierzu s.u.) mit einer anderen Maschine kommuniziert, z.B. einen Fertigungsauftrag anfordert, um eine gleiche Produktionsauslastung zu gewährleisten.¹⁷⁵

Unter der Prämisse, dass in oben erläuterten logistischen Netzwerken Selbststeuerung umgesetzt werden soll, werden an CPS bestimmte Anforderungen gestellt. Folgende Abbildung stellt diese Anforderungen näher dar:

¹⁶⁹ Vgl. Müller (2015): S. 106

¹⁷⁰ Ebd.

¹⁷¹ Vgl. Müller (2015): S. 107

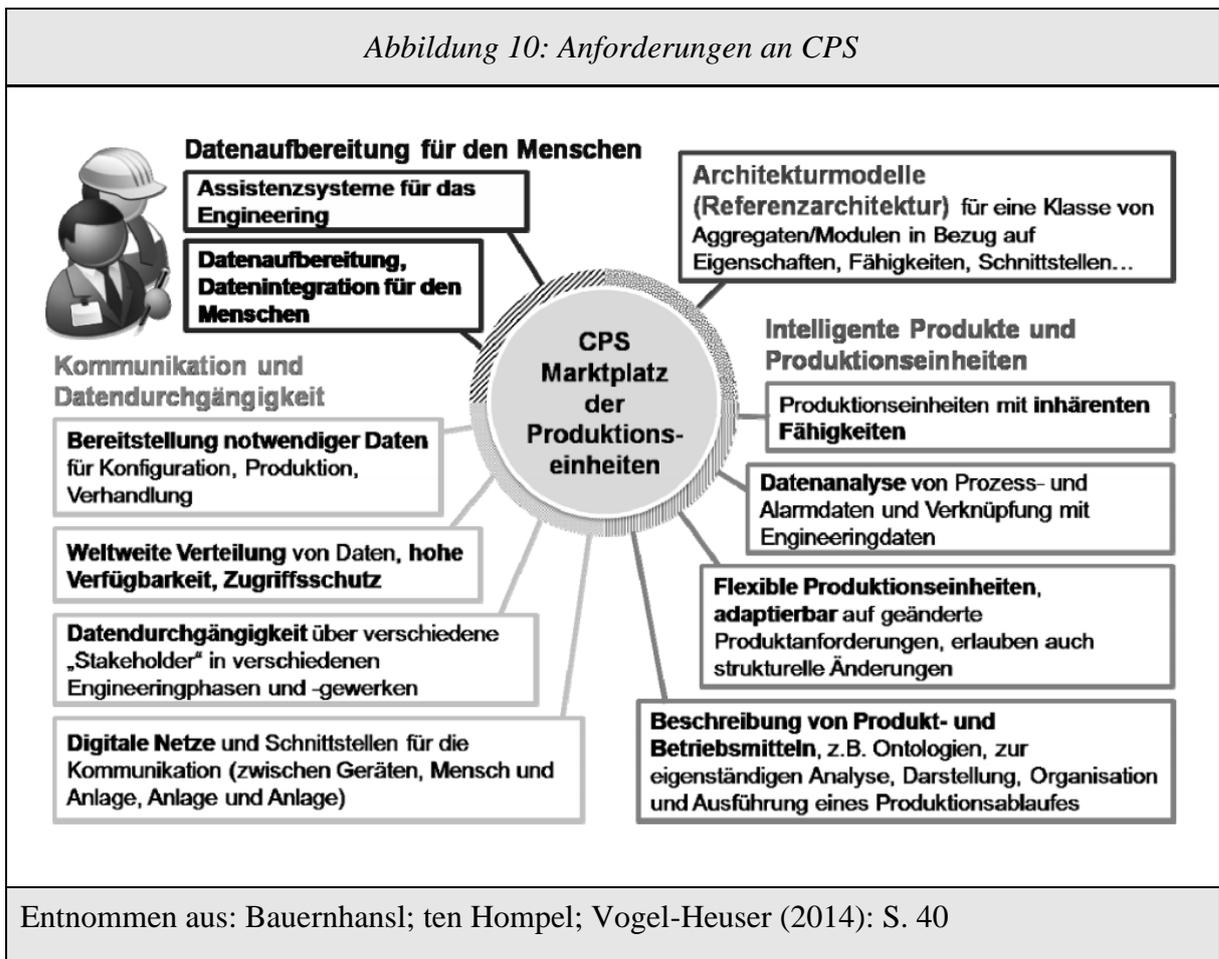
¹⁷² Ebd.

¹⁷³ Ebd.

¹⁷⁴ Ebd.

¹⁷⁵ Ebd.

Abbildung 10: Anforderungen an CPS



Mit Bezug zur Fertigungsdisposition ist eine „Smart Factory“ – also eine intelligent vernetzte Produktion – denkbar.¹⁷⁶ Hierbei sind Sensoren, Aktoren, die Auswertung von Echtzeitdaten, eine automatisierte Prozesskontrolle sowie die zustandsorientierte Maschinenüberwachung von Relevanz und gleichzeitig wichtige Parameter, die CPS erfüllen müssen.¹⁷⁷

Die Basis für die Smart Factory ist – wie in 3.3 beschrieben – eine vollständig vertikale Integration von Geschäftsprozessen (ERP-Systeme), Produktionsprozessen (Feinplanung der MES in der Fertigungsleitebene sowie physische Produktion in der Fertigungsebene) und den dazugehörigen Produktionsdaten. Dafür sind, wie oben bereits erwähnt, intelligente Produkte und Produktionseinheiten entscheidend, um aufgrund veränderter Produktionsumgebungen (Auftragsänderung, Konfigurationsänderung, Ausfall o.ä.) das Produktionssystem flexibel in Echtzeit adaptierbar zu machen.¹⁷⁸

¹⁷⁶ Vgl. Geisberger; Broy (2012): S. 29 ff.

¹⁷⁷ Vgl. Hausladen (2016): S. 18

¹⁷⁸ Vgl. Bauernhansl; ten Hompel; Vogel-Heuser (2014): S. 42 ff.

Aus Abb. 10 wird ersichtlich, dass zur Umsetzung der Selbststeuerung vier wesentliche Anforderungsprofile an CPS abgeleitet werden können: Architekturmodelle (Referenzarchitektur), intelligente Produkte und Produktionseinheiten, Kommunikation und Datendurchgängigkeit sowie die Datenaufbereitung für den Menschen.

Die oben erwähnten intelligenten Produkte müssen mit den Prozessen entlang der Wertschöpfungskette (unternehmensübergreifend) verbunden werden.¹⁷⁹ In der Praxis müssten die logistischen Objekte z.B. via Ad-Hoc-Netzen standardisiert kommunizieren, was einen schnellen Verbindungsaufbau ermöglicht.¹⁸⁰ Dies wäre notwendig, um Störungen im Produktionsablauf mit einer schnellen Echtzeitdatenübertragung zu bereinigen.¹⁸¹

Damit heterogene Geräte mit unterschiedlicher Architektur zusammenarbeiten können, müssen die technischen Schnittstellen standardisiert werden.¹⁸² Für eine minimale Standardisierung wären serviceorientierte Architekturen in Form von Cloud-Plattformen zu nennen, welche Services und Eigenschaften von Maschinen und Anlagen kapseln und anbieten.¹⁸³ Hierbei würden Maschinen- oder Anlagenteile durch ihre Fähigkeiten anhand der Software repräsentiert werden.¹⁸⁴ CPS-Komponenten und -Dienste müssen also interoperabel und flexibel mit entsprechenden Schnittstellen und Protokollen ausgestattet werden.¹⁸⁵ Ein Referenzarchitekturmodell könnte helfen, Aufgaben und Abläufe in überschaubare Teile zu zerlegen und so einen Sachverhalt anschaulicher zu machen.¹⁸⁶ In diesem Zusammenhang haben die drei Verbände „Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e. V.“ (Bitkom), „Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V.“ (VDMA) und „Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V.“ (ZVEI) ein dreidimensionales Architekturmodell – das Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI4.0) – entwickelt.¹⁸⁷ Im Rahmen dieser Arbeit wird jedoch nicht detailliert auf den Aufbau dieses Modells eingegangen.

¹⁷⁹ Vgl. Mosler (2017): S. 496

¹⁸⁰ Ebd.

¹⁸¹ Ebd.

¹⁸² Vgl. Vogel-Heuser; Bayrak; Frank (2012): S. 23

¹⁸³ Vgl. Bauernhansl; ten Hompel; Vogel-Heuser (2014): S. 40

¹⁸⁴ Ebd.

¹⁸⁵ Vgl. Geisberger; Broy (2012): S. 70

¹⁸⁶ Vgl. Hübner (2016): S. 72

¹⁸⁷ Ebd.

Für den Bereich der Kommunikation zwischen CPS in der Smart Factory ist im Hinblick auf Änderungen im Produktionsprozess eine Kopplung von Daten unterschiedlicher IT-Systeme notwendig (Laufzeitsysteme, Engineering-Systeme u.a.).¹⁸⁸ Bei einem neu hinzukommenden IT-System bzw. bei einem Ablösen eines solchen IT-Systems können diese IT-Systeme und Produktionslinien in einem Modell abgebildet werden.¹⁸⁹ Gleichzeitig wird die Interoperabilität der unterschiedlichen Unternehmensebenen wie MES-, ERP- Systeme durch eine „Ablösestrategie“ bei transparenten Datenstrukturen sichergestellt.¹⁹⁰ Diese Änderungen im IT-System müssen standardisiert abgefragt sowie Verhaltensalternativen klassifiziert werden.¹⁹¹ Zusätzlich sind hier ein Multi-User-Betrieb mit klaren Zugriffsrechten sowie die Sicherstellung der Security weitere kritische Anforderungen, die im Rahmen dieser Arbeit allerdings nicht näher ausgeführt werden.¹⁹²

Des Weiteren sind kompatible semantische Schnittstellen notwendig, d.h. Basisinformationen müssen von allen Produkten in einer „einheitlichen“ Sprache (Syntax) verstanden und weitergegeben werden.¹⁹³ Um den Pool an Basisinformationen auszuweiten, müssen diese semantischen Schnittstellen dynamisch erweiterbar sein, z.B. über eine dienstorientierte Kommunikation.¹⁹⁴

Die schlussendliche Form der Informationsaggregation und -aufbereitung für den Menschen ist entscheidend, damit Zusammenhänge zwischen den Daten erkennbar sind.¹⁹⁵ Hierzu müssen die Daten geclustert, gefiltert und in ihren Zusammenhängen als Informationen bereitgestellt werden.¹⁹⁶ Applikationen („APPs“) mit eigener Benutzeroberfläche visualisieren bspw. Auftragsreihenfolgen als Ergebnis einer Fertigungsfeinplanung (sogenannte „Gantt-Chart-APPs“).¹⁹⁷ Gleichzeitig stellen sie über Daten und Informationen spezifische Funktionen für den Menschen bereit, die ihm bei der Entscheidungsfindung helfen.¹⁹⁸

¹⁸⁸ Vgl. Bauernhansl; ten Hompel; Vogel-Heuser (2014): S. 41

¹⁸⁹ Ebd.

¹⁹⁰ Ebd.

¹⁹¹ Vgl. Broy (2010): S. 118

¹⁹² Vgl. Broy (2010): S. 120

¹⁹³ Ebd.

¹⁹⁴ Ebd.

¹⁹⁵ Vgl. Bauernhansl; ten Hompel; Vogel-Heuser (2014): S. 45 ff.

¹⁹⁶ Ebd.

¹⁹⁷ Vgl. Sauer (2016): S. 60

¹⁹⁸ Vgl. Yoon, S., Um, J., Suh, SH. et al. J Intell Manuf (2016): S. 2

Durch den Zugriff über die Cloud ergibt sich das große Potential, immer die aktuellsten Informationen auf den unterschiedlichsten Geräten des Anwenders anzuzeigen, da sich die APPs aus jedem verfügbaren Gerät die Daten sammeln und sich mittels Zugriff auf die Cloud untereinander synchronisieren.¹⁹⁹

CPS unterstützen in der Smart Factory den Prozess der Auftragsdisposition, indem sie bei kundenauftragsorientierter Produktion Aufträge annehmen und weiterleiten, d.h. untereinander Kapazitäten terminieren und abgleichen, und schließlich die Aufträge automatisiert freigeben.²⁰⁰ Hierbei dient die Vernetzung über die Cloud als Informationsquelle für CPS in Form von Leitlinien, Verhaltensregeln (Kommunikation), Kooperationsmechanismen und Entscheidungskorridore.²⁰¹ Das Ziel ist es, übergeordnete Entscheidungen zu treffen.²⁰²

Bezugnehmend zu Abb. 2 würde die Selbststeuerung im Kontext der Industrie 4.0 Fertigungsmanagementsysteme (MES) durch CPS repräsentieren können, sofern alle Anforderungen an CPS – wie in Abb. 10 dargestellt – erfüllt werden.²⁰³ Alle Funktionalitäten auf Fertigungsleitebene könnten demnach durch CPS übernommen werden, somit auch die Auftragsdisposition.

Die globale Verbindung aller Fertigungseinheiten und Produkte über die Cloud setzt nahezu unbegrenzte Speicher- und Netzkapazitäten voraus.²⁰⁴ Big Data bedeutet in diesem Zusammenhang die zunehmende Digitalisierung verbunden mit dem Versprechen des Gewinns neuartiger Erkenntnisse aus raffinierten statistischen Verfahren.²⁰⁵ Dieses weltweit vorhandene Datenvolumen muss insofern beherrscht werden, als dass relationale Datenbanksysteme Volumen, Geschwindigkeit und Unterschiedlichkeit dieser Daten für die Fertigung durch Heuristiken bzw. Mustererkennung analysieren müssen.²⁰⁶ Hier könnten CPS in der Auftragsdisposition so vernetzt werden, dass sie einerseits mit anderen CPS interagieren können und andererseits mit vorhandenen IT-Systemen kommunizieren, d.h. diese Mustererkennung für Dispositionsentscheidungen nutzen können.²⁰⁷

¹⁹⁹ Vgl. Bauernhansl; ten Hompel; Vogel-Heuser (2014): S. 587

²⁰⁰ Vgl. agiplan GmbH (2015): S. 9

²⁰¹ Vgl. Weber (2016): S. 24

²⁰² Ebd.

²⁰³ Vgl. Müller (2015): S. 103

²⁰⁴ Ebd.

²⁰⁵ Vgl. Bousonville (2017): S. 3

²⁰⁶ Vgl. Hofmann (2017): S. 50 f.

²⁰⁷ Vgl. Hofmann (2017): S. 57

4 Einbindung von CPS zur Selbststeuerung von Dispositionsprozessen am Beispielszenario „Kundenspezifische Produktion einer Küche“

In diesem Kapitel wird anhand eines Beispielszenarios ein Dispositionsprozess von Produktionsaufträgen auf Basis von CPS beschrieben, mit anschließender Einschätzung, wie der Begriff „Dispositionsaufwand“ mit Blick auf dieses Szenario definiert werden kann. Abschließend wird näher auf die Kommunikationsstruktur der beteiligten logistischen Objekte eingegangen, sowie der Ablauf der Auftragsfreigabe erläutert.

4.1 Auftragsdisposition am Beispielszenario: Prozessbeschreibung

In folgendem Szenario werden Möglichkeiten zum Einsatz von CPS in intelligent vernetzten Fabriken und Wertschöpfungsketten aufgezeigt, mit dem Ziel einer flexibleren, effizienteren und kundenindividuelleren Produktion.²⁰⁸

Die dezentralen Entscheidungsstrukturen der Industrie 4.0 ermöglichen eine Auftragsänderung nach Auftragsbestätigung und während der Produktion dadurch, dass der Wertschöpfungsprozess digital in Echtzeit und somit der Auftragsstatus sowie der Fortschritt von ebendiesem bekannt sind.²⁰⁹ Diese Veränderungen in der Produktion bedeuten auch eine Veränderung der Logistik und des Supply Chain Managements.²¹⁰ Zur Umsetzung der Selbststeuerung in der Produktionslogistik müssen die betroffenen CPS also horizontal integriert werden (s. Abb.7), um ein dynamisches Wertschöpfungsnetzwerk zu schaffen.²¹¹ Hierbei ist eine hohe Flexibilität von allen Teilnehmern im Logistiknetzwerk vonnöten.²¹² Für einzelne Produkte oder Aufträge müssen Bedarfe und Stückzahlen dynamisch im Netzwerk allen Teilnehmern zur Verfügung gestellt werden.²¹³ Dies kann über Ad-Hoc-Verbindungen zwischen den Teilnehmern geschehen.²¹⁴

²⁰⁸ Vgl. Mosler (2017): S. 498

²⁰⁹ Vgl. agiplan GmbH (2015): S. 7

²¹⁰ Ebd.

²¹¹ Vgl. VDI/VDE (2016): S. 13

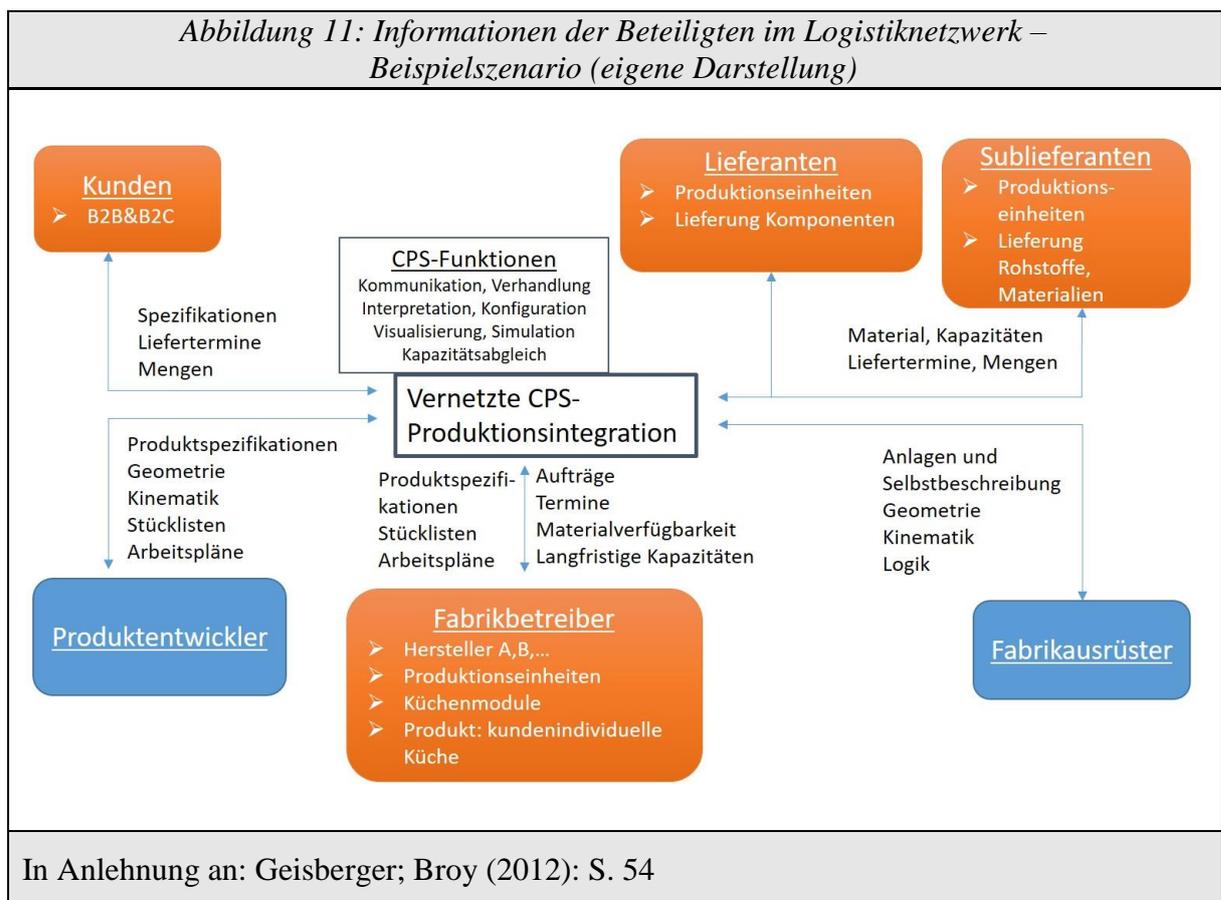
²¹² Ebd.

²¹³ Ebd.

²¹⁴ Ebd.

Im Bereich der Auftragsdisposition sind primär die Verfügbarkeiten von Produktionsressourcen entscheidend sowie auftragsindividuell zu erfüllende Nebenanforderungen (z.B. besonderes Herstellungsverfahren).²¹⁵ Diese Informationen müssten allen Teilnehmern zur Verfügung gestellt und damit das Netzwerk geknüpft werden.²¹⁶

Das folgende beispielhafte Szenario dient dazu, einen Auftragsdispositionsprozess unter Anwendung von CPS anhand des Kaufs einer kundenspezifischen Küche aufzuzeigen. Hierdurch sollen Potentiale von CPS zur Selbststeuerung der Auftragsdisposition deutlich werden.



Der Kauf einer kundenspezifischen Küche stammt aus dem Business-to-Consumer („B2C“) Bereich.²¹⁷ Anforderungen aus dem B2B – Bereich, wie die Beschaffung von hochkomplexen technischen Anlagen oder Maschinen durch einen industriellen Anlagenbetreiber von einem Fabrikausrüster (s. Abb. 11) und die dazugehörige Rekonfiguration des Produktionssystems des

²¹⁵ Vgl. Vogel-Heuser; Bayrak; Frank (2012): S. 11 ff.

²¹⁶ Vgl. Vogel-Heuser; Bayrak; Frank (2012): S. 19 ff.

²¹⁷ Vgl. Geisberger; Broy (2012): S. 53

Betreibers,²¹⁸ sind zwar für eine ganzheitliche Betrachtung und für ein ganzheitliches Verständnis des Szenarios wichtig, allerdings für die Beantwortung der Forschungsfrage dieser Arbeit nicht relevant. Ebendies ist der Grund für die gewählte Darstellung der Abb. 11, die Produktentwicklung und die Fabrikausrüster zwar der Vollständigkeit halber aufzuführen, vor dem Hintergrund der Forschungsfrage allerdings die Selbststeuerung von Dispositionsprozessen mithilfe von CPS zwischen Kunden, Fabrikbetreibern und (Sub-)Lieferanten (in orange dargestellt) näher zu erläutern. Das Szenario soll dazu dienen, produktionsspezifische Fähigkeiten von CPS aufzuzeigen, um letzten Endes erklären zu können, wie CPS-Systeme in der Auftragsdisposition eingesetzt werden können.

Zunächst ist eine Prozessbeschreibung des Beispielszenarios²¹⁹ erforderlich:

Ein Privatkunde möchte sich eine individuelle Küche unter bestimmten Rahmenbedingungen (Budgetrestriktionen, Verwendung bestimmter Materialien, Aspekte der Nachhaltigkeit u.ä.) anschaffen. Hierzu nutzt der Kunde einen Online-Assistenzdienst, der ihm hilft, unter allen Rahmenbedingungen sowie gewünschter Konfiguration die Wunschküche zusammenzustellen. Anschließend gibt der Kunde den Auftrag frei. Nach Freigabe des Auftrags fragt der Assistenzdienst über ein Produktionsmanagementsystem des Küchenanbieters die infrage kommenden Produktionseinheiten der Hersteller von Komponenten und Geräten (Lieferanten, s. Abb. 11) ab. Dies setzt voraus, dass der Assistenzdienst über Verhandlungen und Kapazitätsabgleiche mit vernetzten CPS verbunden ist und erkennen muss, welche Lieferanten zur Herstellung der betroffenen Artikel infrage kommen (s. Abb. 11). Hersteller A fertigt hierbei die gewünschten Komponenten und Hersteller B die Arbeitsplatte. Die Production CPS („ProCPS“) der Hersteller A und B (A: Hersteller in Deutschland; B: Hersteller in Osteuropa) melden nach der Anfrage des Assistenzdienstes an ebendiesen zurück, dass sie die Komponenten oder Geräte zu gegebenen Kundenspezifikationen im Zeitrahmen und zum Wunschtermin des Kunden herstellen können. Unter ProCPS werden in diesem Szenario flexible, adaptive, sich selbst organisierende Produktionseinheiten verstanden, die auf die Prozessklassen der Verfahrens- und Fertigungstechnik begrenzt sind.²²⁰ Der Assistenzdienst bestätigt dem Kunden den Auftrag und der Kunde erteilt dem Assistenzdienst den Auftrag. Das Produktionsmanagementsystem des Anbieters überwacht und steuert die Prozesse bei den Lieferanten ab Auftragsannahme bis zur Auftragserfüllung.

²¹⁸ Ebd.

²¹⁹ Vgl. Geisberger; Broy (2012): S. 55

²²⁰ Vgl. Vogel-Heuser; Bayrak; Frank (2012): S. 10

Der beschriebene Prozess weist viele Parallelen zu dem in Abschnitt 2.1 beschriebenen Prozess der Auftragsdisposition auf. Ein wesentlicher Unterschied ist jedoch, dass relevante Dispositionsparameter nicht manuell für jeden Auftrag durch einen Disponenten priorisiert und den Beteiligten zugeordnet werden müssen, sondern dies durch dezentrale Regelkreise in Form von vernetzten, horizontal integrierten CPS in einem dynamischen Wertschöpfungsnetzwerk autonom geschieht (s. 2.1 und Abb. 11).

Die in 2.1 beschriebene Auftragsdisposition impliziert schon bei dem zweiten Prozessschritt eine manuelle Auftragsprüfung durch einen Mitarbeiter, bei der Auftragsdaten im System hinterlegt und geprüft sowie ggf. angepasst werden müssen. Im hier vorliegenden Szenario übernimmt die Auftragsprüfung das Produktionsmanagementsystem eigenständig, indem es mit Produktionseinheiten mit aktiver Intelligenz (s. 3.5) über die Cloud kommuniziert. Die Auftragsdisposition des Beispielszenarios lief laut obiger Beschreibung reibungslos ab. Eine kundenindividuelle Küche konnte unter globalen Zielen erfolgreich geliefert werden.

Vor dem Hintergrund komplexer logistischer Netzwerke mit sich ständig ändernden Rahmenbedingungen sind jedoch Änderungen denkbar, deren Ursachen verschiedenster Art sein können und auf die die Auftragsdisposition reagieren muss. Folgende Tab. stellt dies näher dar:

Tabelle 1: Problemstellungen und Lösungsansätze – Auszug (eigene Darstellung)

Prozessschritt	Aufgabe	Herausforderungen	Lösungsansatz
<u>Auftragsänderung seitens Kunde nach Auftragsvergabe</u> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Anderes Design der Arbeitsplatte gewünscht 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Assistenzdienst: Möglichkeit und Bedingungen prüfen, unter denen die Küche wie gewünscht geliefert werden kann ➤ Kommunikation mit Fertigungsmanagementsystem des Herstellers B 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Anderes Fertigungsverfahren notwendig ➤ Aufwendige Vorbehandlung der Roharbeitsplatte 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Kopplung der Engineering-Werkzeuge der ProCPS mit den übergelagerten ERP- und MES-Systemen ➤ Fertigungsmanagementsystem als zentraler „Marktplatz“ für ProCPS ➤ Einbeziehung weiterer Betreiber
<u>Änderung der Produktionsmethode</u>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Infrage kommende Produktionseinheiten melden sich an Zentralplattform an ➤ Kalkulation unter Berücksichtigung der Randbedingungen des Auftrags → Betreiber xy bekommt den Zuschlag 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Integration von Produktionseinheiten in Produktionssysteme anderer Betreiber ➤ Globale Verteilung der Produktionseinheiten ➤ Standardisierte Schnittstellen zur IT-Integration 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Mobile Produktionseinheiten der Betreiber (Transportfähigkeit zu anderen Betreibern) ➤ Selbstständige Daten-Integration der ProCPS in ein neues Produktionssystem
<u>Anderes Produktionsverfahren als geplant</u>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Anpassung der Produktionseinheiten an veränderte Produktspezifikationen 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Ortsunabhängige Produktion (nur ein bestimmter Betreiber kommt infrage) ➤ Erweiterbarkeit von Produktionseinheiten zur Produktion unbekannter Komponenten ➤ Auftragsverwaltung von Unteraufträgen und Integration in den Wertschöpfungsprozess eines anderen Betreibers (z.B. C) 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Verhandlungen zwischen Betreibern ➤ Unterangebote mit Spezifikationen zu Logistikkosten für den Transport, Entwicklungs-, Fertigungskostenabgleich ➤ Selbstständige Annahme der Angebote
<u>Ausfall Komponente beim Betreiber</u>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Änderungen im Produktionsablauf erkennen ➤ Neuorganisation der ProCPS 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Randbedingungen (Liefertermin, Verfügbarkeit, Kosten) beachten ➤ Kompensieren des Ausfalls 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Permanente Überwachung der Auftragszustände samt Kommunikation von Abweichungen im Produktionsnetzwerk

In Anlehnung an: Bauernhansl; ten Hompel; Vogel-Heuser (2014): S. 10

Tab. 1 zeigt lediglich einen Auszug aus möglichen Szenarien, die für die Auftragsdisposition problematisch sein können. Denkbar wären zudem Qualitätsmängel, die während der Produktion auftreten können.²²¹ Eine wesentliche Aufgabe der ProCPS bestünde dann darin, den Produktfehler zunächst festzustellen, eine Entscheidung über die Notwendigkeit einer Reparatur des Werkstücks bzw. einer Technikerbegutachtung zu treffen, außerdem im ERP-System zu prüfen, ob Liefertermine verletzt werden sowie zu entscheiden, ob Ersatzrohware disponiert werden muss.²²² Hier wäre eine wesentliche Herausforderung, planungsrelevante Informationen an höher gelagerte IT-Systeme automatisiert weiterzugeben. Der Lösungsansatz bestünde in der Sensorik und Aktorik der ProCPS in Verbindung mit einer Anpassung der Feinplanung an neue Produktionsgegebenheiten auf der Fertigungsleitebene (MES).²²³ Zudem müssten beteiligte Maschinen informiert sowie die Änderung der Reihenfolgeplanung durchgeführt werden.²²⁴

Ein Punkt ist im Szenario ungeklärt, nämlich wo der Kundenauftrags-Entkopplungspunkt liegt.²²⁵ Da hier von der Herstellung von komplexen Erzeugnissen mit der Folge vieler Baugruppen und Unterbaugruppen ausgegangen wird, müssen bestimmte Fertigungs- bzw. Beschaffungsvorgänge schon vor dem Eintreffen eines Kundenauftrags starten, um die Auftragsdurchlaufzeit zu verkürzen.²²⁶ Beim „make-to-stock“-Prinzip wäre v.a. das sogenannte Postponement relevant für die Fragestellung, wieweit die Individualisierung des Produktes an das Ende der Supply Chain geschoben werden kann.²²⁷ Realistisch wäre eine Supply Chain-Struktur, bei der Varianten eines Grundproduktes erstellt würden und ab der Anfrage des Assistenzdienstes an das Produktionsmanagementsystem der jeweiligen Betreiber kundenindividuelle Varianten gefertigt werden (make-to-stock).²²⁸ Denkbar wäre, dass die Produktionseinheiten und ProCPS nach den Kriterien der Effizienz und Nachhaltigkeit das optimale Produktionssystem ermitteln, das die jeweiligen Kundenanforderungen erfüllt.²²⁹ In diesem Zusammenhang könnten ProCPS losgelöst von einem Kundenauftrag entwickelt werden, etwa wenn ein bestimmtes Verhältnis von Auftrags- zu Lagerfertigung bestünde (s.

²²¹ Vgl. Bauernhansl; ten Hompel; Vogel-Heuser (2014): S. 11

²²² Ebd.

²²³ Ebd.

²²⁴ Ebd.

²²⁵ Vgl. Geisberger/Broy (2012): S. 53 ff.

²²⁶ Vgl. Gudehus (2012) -B-: S. 211 ff.

²²⁷ Vgl. Poppe (2017): S. 56

²²⁸ Ebd.

²²⁹ Vgl. Vogel-Heuser; Bayrak; Frank (2012): S. 18

2.5).²³⁰ Ideal im Hinblick auf die Flexibilität des Systems wäre eine Supply Chain-Struktur nach dem „engineer-to-order“-Prinzip, bei dem die Auftragsdisposition ausschließlich auf Basis von Kundenaufträgen steuert.²³¹ Hier würde das Produkt nicht nur kundenindividuell gefertigt werden, sondern zusätzlich Produkte für den Kunden entwickelt werden.²³² Auf die Kommunikationsstruktur der ProCPS wird in einem späteren Teil dieser Arbeit näher eingegangen.

4.2 Kenngröße Dispositionsaufwand

In diesem Abschnitt wird zunächst das Dispositionsverfahren der planungsorientierten Disposition (s. 2.4) als Grundlage herangezogen, um eine Definition des Begriffs „Dispositionsaufwand“ zu geben und anschließend auf Basis der Dispositionsstrategie der Auftragsfertigung mit der ereignisdynamischen Disposition (s. 2.5) anhand von Einflussgrößen auf den Dispositionsaufwand die Auftragsdisposition des Beispielszenarios integriert.

4.2.1 Eine Definition

In der Literatur existieren keine einschlägigen Definitionen des Begriffs „Dispositionsaufwand“. Vor dem Hintergrund der Forschungsfrage ist eine Definition sinnvoll, die sich an den Prozessschritten, die der Auftragsdisposition zugrunde liegen (s. 2.1), ausrichtet. Demnach wäre der Dispositionsaufwand der Aufwand, welcher zur Erledigung der einzelnen Prozessschritte vonnöten ist. Legt man für die Definitionsfindung des Dispositionsaufwands zunächst ein kundenauftragsorientiertes, produzierendes Unternehmen zugrunde, welches mit dem Dispositionsverfahren der planungsorientierten Disposition (s. 2.4) arbeitet, so bedarf es vieler Abstimmungen in der Planungsabteilung.²³³ Folgende Abbildung hilft bei der Erläuterung:

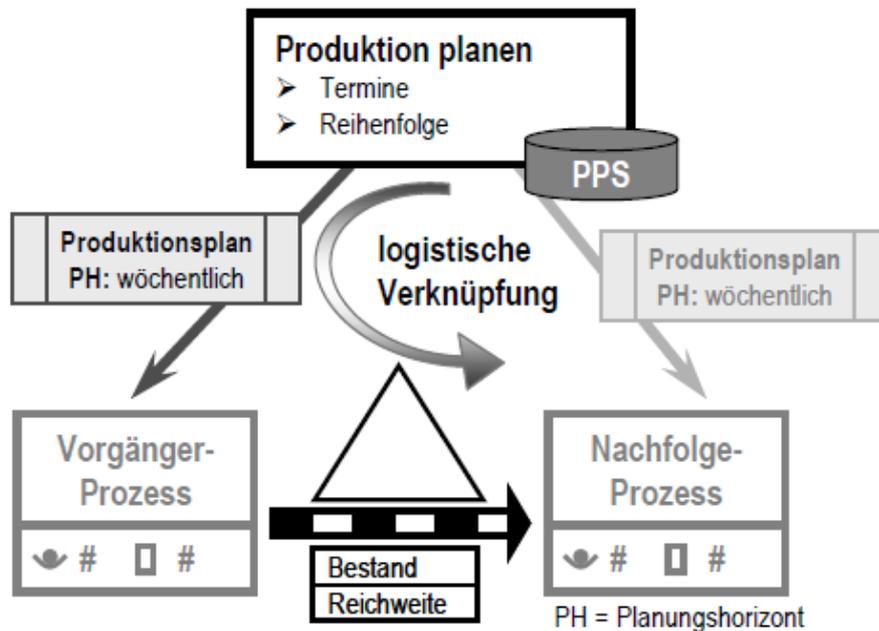
²³⁰ Vgl. Vogel-Heuser; Bayrak; Frank (2012): S. 25

²³¹ Vgl. Poppe (2017): S. 57

²³² Ebd.

²³³ Vgl. Erlach (2010): S. 95 f. Hinweis: bis Fußnote 234 aus dieser Quelle entnommen

Abbildung 12: Planungsorientierte Disposition



Entnommen aus: Erlach (2010): S. 96

Der Geschäftsprozess „Produktion planen“ (analog zur Auftragsvorbereitung der Auftragsdisposition, s. 2.1) erzeugt im Rahmen der PPS Produktionspläne für alle Produktionsprozesse aufgrund von Prognosen oder bestehenden Kundenaufträgen. In diesen Plänen sind alle abzuarbeitenden Kundenaufträge gelistet, die in einem bestimmten Planungshorizont zu erledigen sind. Als Planungshorizont wird hier eine Woche zugrunde gelegt. Der Planungshorizont ist in diesem Beispiel gleich der Planungshäufigkeit (PH), d.h. einmal wöchentlich werden Produktionsaufträge erstellt, die innerhalb einer Woche abgearbeitet werden müssen. Prioritäten (z.B. bei Eilaufträgen) geben Reihenfolgen in der Produktion vor. Eilaufträge und Planungsänderungen müssen in diesem Fall von der Planungsabteilung manuell eingesteuert und dem Auftrag eine Priorität zugeordnet werden. Der Produktionsplan ist an bestimmte Produktionsprozesse gebunden, welche die Planungsabteilung festlegt.

Entscheidend ist, dass ein Nachfolgeprozess so auf den Vorgängerprozess abgestimmt ist, dass keine Produktionsverzögerungen auftreten. Realisiert wird dies über Bestände zwischen beiden Prozessen (Dreieck), die aus einer Zeitpufferberechnung durch das System resultieren.²³⁴

Die obige Abb. macht deutlich, dass die Zuordnung von Arbeitsschritten zu Produktionsressourcen lange vor Beginn des tatsächlichen Produktionsprozesses in der Arbeitsvorbereitung stattfindet.²³⁵ Hierin ist eine starre Planung zu erkennen, wodurch der Feinplanung durch fix vorgegebene Belegungspläne der PPS und durch fixe Arbeitspläne die nötigen Freiheitsgrade fehlen, um z.B. auf Maschinenausfälle adäquat zu reagieren.²³⁶ Aus oben Erwähntem ergibt sich ein kürzerer Planungshorizont bei höherer Zahl an Auftragsänderungen.

Diese beschriebene zentrale Organisation der Auftragsdisposition hat einen hohen manuellen Aufwand zur Folge. Dieser erhöht sich bei steigender Änderungsrate von Parametern, die ins ERP-System zu übertragen sind, um neue Produktionspläne zu erstellen. Realisiert werden diese Datenaktualisierungen letztlich über die Mitarbeiter in den Planungsfunktionen.²³⁷ Hier könnte eine Kennzahl generiert werden, die die Anzahl der Zeitstunden in der Planung absolut darstellt oder es könnten Zeitstunden an Aufträge gekoppelt werden, d.h. dass die Zeitstunden relativ zu der Anzahl der Fertigungsaufträge bestimmt werden.²³⁸ Diese Kennzahl würde auf der Planungshäufigkeit bzw. dem Planungshorizont basieren. Die logistische Verknüpfung der Produktionsplanung, des Materialflusses innerhalb und zwischen Prozessen (s. Abb. 12), wird mit kürzeren Planungsintervallen bzw. größerer Planungshäufigkeit aufwendiger. Hier bedarf es vieler manueller Anpassung in der Planung. Diese manuelle Planung erhöht zudem die Gefahr, verzögert auf Planabweichungen zu reagieren und eine Entscheidungsfindung auf Basis veralteter IST-Zustandsinformationen durchzuführen.²³⁹

Mit Bezug zum Beispielszenario wäre hier also die Auftragsdisposition der Fabrikbetreiber und der (Sub-)Lieferanten zu betrachten. Vor dem Hintergrund der Einbindung von CPS zur Selbststeuerung von Dispositionsprozessen, wie in 3.5 beschrieben, wäre für den Dispositionsaufwand demnach eine folgende Definition sinnvoll:

²³⁴ Vgl. Erlach (2010): S. 96

²³⁵ Vgl. Westkämper; Zahn (2009): S. 84

²³⁶ Ebd.

²³⁷ Vgl. Weber (2016): S. 35

²³⁸ Vgl. Bauernhansl; ten Hompel; Vogel-Heuser (2014): S. 25

²³⁹ Vgl. Schulte (2017): S. 686

Der Dispositionsaufwand in der Fertigungsdisposition ist das Verhältnis von manuellen zu automatisch geplanten Aufträgen. Anders formuliert: Je mehr Fertigungsaufträge und deren Änderungen bzw. Störungen automatisch disponiert werden, desto geringer ist der Aufwand des Menschen, aktiv auf die Feinplanung und -steuerung einzuwirken.

4.2.2 Einflussgrößen

Mit Blick auf das obige Beispielszenario können verschiedene Kriterien ausgemacht werden, die für einen erhöhten Dispositionsaufwand – so wie in 4.2.1 definiert – sorgen.

Zunächst einmal spielt der Grad der Selbststeuerung in der Auftragsdisposition eine große Rolle, um den Menschen bei Planungsfunktionen in einer kundenspezifischen Fertigung mit wenigen Standardprodukten in seiner Entscheidung zu unterstützen.²⁴⁰ Autonom ablaufende Planungs- und Steuerungsvorgänge entlasten zentrale Planungsstellen dahingehend, dass im Normalfall lediglich Nachkorrekturen sowie vereinzelt Parametereinstellungen durchgeführt werden müssen.²⁴¹

Besonders für die Kapazitäts- und Ressourcenplanung in der PPS ist die Anforderung gegeben, alle notwendigen Prozessdaten zu generieren²⁴². Fehlende, ungenaue und veraltete Datensätze entstehen besonders durch manuelle Eingaben.²⁴³ Eine Korrektur derselben bedeutet einen erhöhten manuellen Aufwand, der durch den Einsatz von Sensorik und der automatisierten Erfassung, Auswertung und Verarbeitung von Maschinen, Anlagen- und Produktdaten nicht entstehen würde.²⁴⁴

In obigem Szenario ist der identifizierte Dienst bzw. die identifizierte Fähigkeit der ProCPS, selbständig Aufträge auf den Produktionseinheiten einzuplanen, deutlich geworden. Diese Aufgabe muss demnach kein Mitarbeiter aus der Planung übernehmen. Voraussetzung hierfür ist die vertikale Integration der ProCPS (s. 3.3). Diese ermöglicht es, die jeweiligen Produktionsanlagen zu steuern (top-down) sowie Produktionsdaten aus der Fertigungsebene, wie die Betriebsdatenerfassung („BDE“) als auch die Materialdatenerfassung („MDE“), in einem MES- bzw. ERP-System zu speichern.²⁴⁵ Diese angesprochene vertikale Integration der

²⁴⁰ Vgl. agiplan GmbH (2015): S. 132

²⁴¹ Ebd.

²⁴² Vgl. agiplan GmbH (2015): S. 76

²⁴³ Ebd.

²⁴⁴ Ebd.

²⁴⁵ Vgl. Bauernhansl; ten Hompel; Vogel-Heuser (2014): S. 18

ProCPS begünstigt auch insofern einen geringeren Zeitaufwand in der Produktionsplanung, als dass der „Dreiklang“ aus ERP-System, Finanzplanungssoftware und Tabellenkalkulationssoftware synchronisiert würde.²⁴⁶

Bei obigem Szenario sind schon auf der Ebene der Sublieferanten je nach Kundenwunsch viele Varianten des Materials und der Rohstoffe denkbar, d.h. auf der Ebene der Fabrikbetreiber sind die Konfigurationsmöglichkeiten für das Endprodukt um ein Vielfaches größer. Die Anzahl an möglichen Produkten, Baugruppen und Teilen ist daher sehr groß. In diesem Szenario wird also davon ausgegangen, dass die Komplexität des Produkts (Bauteile, Komponenten, Baugruppen) hoch und die Produktstruktur vielfältig ist. Demnach existieren für das verkaufsfähige Produkt (Küche) sehr viele Stücklistenstufen. Betrachtet werden hier also A- und B-Teile, die dem Bereich der plangesteuerten Disposition zugeordnet werden (s. 2.4)²⁴⁷.

Ein ERP-System würde im Rahmen des bedarfsgesteuerten Dispositionsverfahrens in der Materialdisposition eine vollständige Stücklistenauflösung auftragsbezogen durchführen.²⁴⁸ Im Prozessschritt der Auftragsvorbereitung (s. 2.1) würden für alle zu planenden Bedarfsmengen Bedarfsrechnungen durchgeführt werden, anschließend eine Losgrößenbestimmung für eigengefertigte Baugruppen (Einsatzmengen) durchgeführt sowie mithilfe einer Terminierung der Bereitstellung die benötigten Baugruppen und Komponenten ermittelt werden.²⁴⁹ Im Planungslauf sind hier immer wieder Anpassungen vorzunehmen, wenn sich der Termin des Bestellvorschlags bzw. die Bestellmenge oder auch die Stücklistenstruktur ändert.²⁵⁰ Je kürzer hier der Planungshorizont ist, desto schwieriger wird es, alle Produktionseinheiten logistisch unter globaler Zielsetzung (Anforderungen des Kunden) zu verknüpfen (s.o.).

Im Bereich der Materialdisposition wäre nach obiger Ausführung also ein hoher Dispositionsaufwand gegeben, wenn die jeweiligen Mitarbeiter einen hohen Buchungsaufwand haben, um einen Produktionsauftrag abzuwickeln. Dies wäre hauptsächlich bei der ereignisdynamischen Disposition der Fall, vorausgesetzt die Änderungswahrscheinlichkeit von eingesteuerten Aufträgen ist hoch. Bei der Anzahl an Veränderungen von Dispositionsparametern einerseits sowie kleiner werdenden Produktlebenszyklen andererseits ist zu beachten, dass ERP-Daten manuell angepasst werden müssen, da das ERP-System auf

²⁴⁶ Vgl. Mosler (2017): S. 485

²⁴⁷ Vgl. Dickersbach; Keller (2014): S. 255

²⁴⁸ Vgl. Dickersbach; Keller (2014): S. 259

²⁴⁹ Ebd.

²⁵⁰ Ebd.

Pauschaldaten zurückgreift, welche zu Beginn der Implementierung eingegeben wurden.²⁵¹ Eine ereignisdynamische Disposition stieße hier auf ihre Grenzen, wenn durch fehlende Automatisierung in der Disposition bei jedem Ereignis eine manuelle Prüfung der verwendeten Daten stattfinden müsste.²⁵² Ungleich der planungsorientierten Disposition (s. Abb. 12) sind hier keine Planungshorizonte vorhersagbar.

Idealerweise würde ein unternehmensinternes CPS die Funktionen eines heutigen ERP, MES-Systems abdecken, sofern sichergestellt ist, dass die Kommunikation einerseits über standardisierte Schnittstellen mit den Produktionseinheiten des jeweiligen Anlagenbetreibers gelingt und andererseits mit der ProCPS, d.h. auch mit Produktionseinheiten anderer Anlagenbetreiber bzw. Zulieferern und Kunden. (s. Tab. 1, Prozessschritt „Änderung der Produktionsmethode“).²⁵³ Das unternehmensinterne CPS sendet hierbei die vom ProCPS erhaltenen Produktionsaufträge über ebenjene Standardschnittstelle an die infrage kommenden Produktionseinheiten.²⁵⁴ Mit Blick auf den Prozessschritt der Auftragsannahme (s. 2.1) würde hiermit ein geringerer Dispositionsaufwand einhergehen, da auch neben der Übertragung der Produktionsaufträge eine Übermittlung und Interpretation von Daten automatisiert erfolgt, welche für die Kennzahlenberechnung und längerfristige Produktionssteuerung relevant sind.²⁵⁵

Innerhalb der Supply Chain des Szenarios sind produzierende Unternehmen denkbar, deren Kernkompetenz nicht auf Produktionsprozessen liegt.²⁵⁶ Eine weitere Möglichkeit ist Outsourcing der Produktionsprozesse an externe Dienstleister.²⁵⁷ Durch die dezentrale Datenerfassung kann der Status eines jedes Dienstleistungsauftrages nachverfolgt und z.B. Lieferzeiten besser kalkuliert und geplant werden.²⁵⁸ Der Dispositionsaufwand der betroffenen Fabrikbetreiber würde dadurch gesenkt werden, indem nicht mehr sämtliche Maschinen, Anlagen und die zugehörigen Ressourcen vor Ort vorgehalten werden müssten.²⁵⁹ Die Prozessschritte 4-6 (s. 2.1) der Auftragsdisposition wären an den externen Dienstleister vergeben.

²⁵¹ Vgl. „Weshalb Ihr ERP-System allein nicht für eine professionelle Disposition ausreicht“, 2014

²⁵² Ebd.

²⁵³ Vgl. Vogel-Heuser; Bayrak; Frank (2012): S. 23

²⁵⁴ Ebd.

²⁵⁵ Ebd.

²⁵⁶ Vgl. agiplan GmbH (2015): S. 119

²⁵⁷ Ebd.

²⁵⁸ Ebd.

²⁵⁹ Ebd.

Unter Anwendung der Dispositionsstrategie der Auftragsfertigung bei ereignisdynamischer Disposition wäre ein erhöhter Dispositionsaufwand auch mit der Einführung von Neuteilen gegeben. Mithilfe des Online-Assistenzdienstes können gleichzeitig Data-Mining-Methoden - also eine Mustererkennung aus Internetdaten (Cloud) – wie das „Web Log Mining“ – ²⁶⁰ angewandt werden, um Aufschluss über Verhaltensmuster und Interessen der (potentiellen) Kunden zu geben. Der Dispositionsaufwand wäre hier mit Hinblick auf die Auftragsvorbereitung hoch, da die Auftragsdisposition gleichzeitig die Entwicklungsabteilung, den Einkauf, das Lager und die Produktion koordinieren müsste.²⁶¹ Läge ein personalisiertes Produkt (s. 3.2) vor, so müssten diese Neuteile zunächst in das CPPS integriert werden, um in den Dispositionsprozess aufgenommen zu werden.

4.3 Disposition mithilfe von CPS

4.3.1 Kommunikationsstruktur

In diesem Szenario ist die auftragsbezogene Informationsweitergabe und -verwendung entscheidend. Auftragspezifische Informationen, die im Rahmen der Auftragsdisposition entstehen, müssen bereitgestellt und verteilt werden. Im Laufe der Auftragsdisposition werden neue Informationen aus ursprünglichen Informationen generiert (s. Tab. 1) und müssen im Dispositionsprozess in Echtzeit berücksichtigt werden.

Um den oben beschriebenen Dispositionsprozess des Beispielszenarios zu realisieren, bedarf es einer echtzeitfähigen, kontextadaptiven Kommunikation innerhalb des CPPS.²⁶² Entscheidend ist hierbei, dass die Produktionseinheiten horizontal vernetzt (s. Abb. 7) sind und Verhandlungsstrategien mittels CPS-Funktionen umgesetzt werden müssen (s. Abb. 11). Die Kommunikationsstruktur zwischen ProCPS mehrerer Betreiber, die eine wesentliche Voraussetzung für eine funktionierende Interaktion (s. Abb. 11) der ProCPS im Logistiknetzwerk schafft, ist zunächst näher zu betrachten. Besonders vielversprechend für die Auftragsdisposition des Szenarios ist dabei die horizontale Integration zur Sicherstellung des Datenflusses, welcher dem Produktionsprozess folgt (z.B. im Bereich Tracking, Produktionsdokumentation).²⁶³

²⁶⁰ Vgl. Cleve; Lämmel (2016): S. 66

²⁶¹ Vgl. „Unternehmensbereich Disposition“, 2016

²⁶² Vgl. Geisberger; Broy (2012): S. 55

²⁶³ Vgl. Vogel-Heuser; Bayrak; Frank (2012): S. 18

Vor dem Hintergrund, Verhandlungsstrategien der CPS untereinander unter globalen Zielen realisieren zu können (s. Abb. 11), sind serviceorientierte Architekturen („SOA“) und das Cloud-Computing („CC“) interessant, mithilfe derer die Beteiligten im Logistiknetzwerk in den Dispositionsprozess integriert sind.²⁶⁴ SOA und CC ergänzen sich, da die Infrastruktur der Cloud eine ideale Ablaufumgebung für die Services bietet, und die Qualitätsanforderungen der Services (z.B. Wiederverwendbarkeit, Ausfallsicherheit, Skalierbarkeit, Abrechenbarkeit) diese Ablaufumgebung gut nutzen können.²⁶⁵

SOA können in einem heterogenen Umfeld operieren, bei dem Anbieter und Nutzer auf unterschiedlichen Plattformen – wie dies im Beispielszenario angedeutet ist – arbeiten.²⁶⁶ Gleichzeitig ist die Informatisierung der Wertschöpfungskette mit den damit einhergehenden Big Data (s.o.) verantwortlich für die Steigerung der Rechenleistung und der flächendeckenden Verfügbarkeit hoher Bandbreiten und der Ursprung für die Entwicklung des CC.²⁶⁷

Das CC beinhaltet das Speichern von Daten in einem entfernten Rechenzentrum sowie die Ausführung von Programmen, die nicht auf einem lokalen Rechner installiert sind.²⁶⁸ Beim CC wird das Internet genutzt, um umfangreiche IT-Dienstleistungen im und über das Netzwerk zu beziehen.²⁶⁹ Bezugnehmend zu den notwendigen technologischen Voraussetzungen für die Umsetzung von Dispositionsprozessen mit CPS (s. 3.5) ist das CC mit seiner Skalierbarkeit, der hohen Datenverfügbarkeit, einer schnellen Netzwerkverbindung, und Bereitstellung von Funktionalität durch definierte Schnittstellen relevant für die Umsetzung eines hohen Vernetzungsgrades von Industrieanlagen.²⁷⁰ CC könnte mit dem Ziel der höheren Adaptivität und automatisierten Organisation der Produktionsanlagen, wie dies im Beispielszenario gefordert ist, eingesetzt werden.²⁷¹ Hierzu könnte eine Architektur entwickelt werden, um die Integration von CPS im Logistiknetzwerk zu verdeutlichen. Das Logistiknetzwerk wäre also in diesem Fall in einer funktionsübergreifenden Anwendung im Technologiebereich der Architekturkonzepte IT-gestützt, um die Produktionseinheiten im Szenario horizontal vernetzen zu können.²⁷²

²⁶⁴ Vgl. Sauer (2016): S. 61

²⁶⁵ Vgl. Werner (2016): S. 256

²⁶⁶ Vgl. Schulte (2017): S. 100

²⁶⁷ Ebd.

²⁶⁸ Ebd.

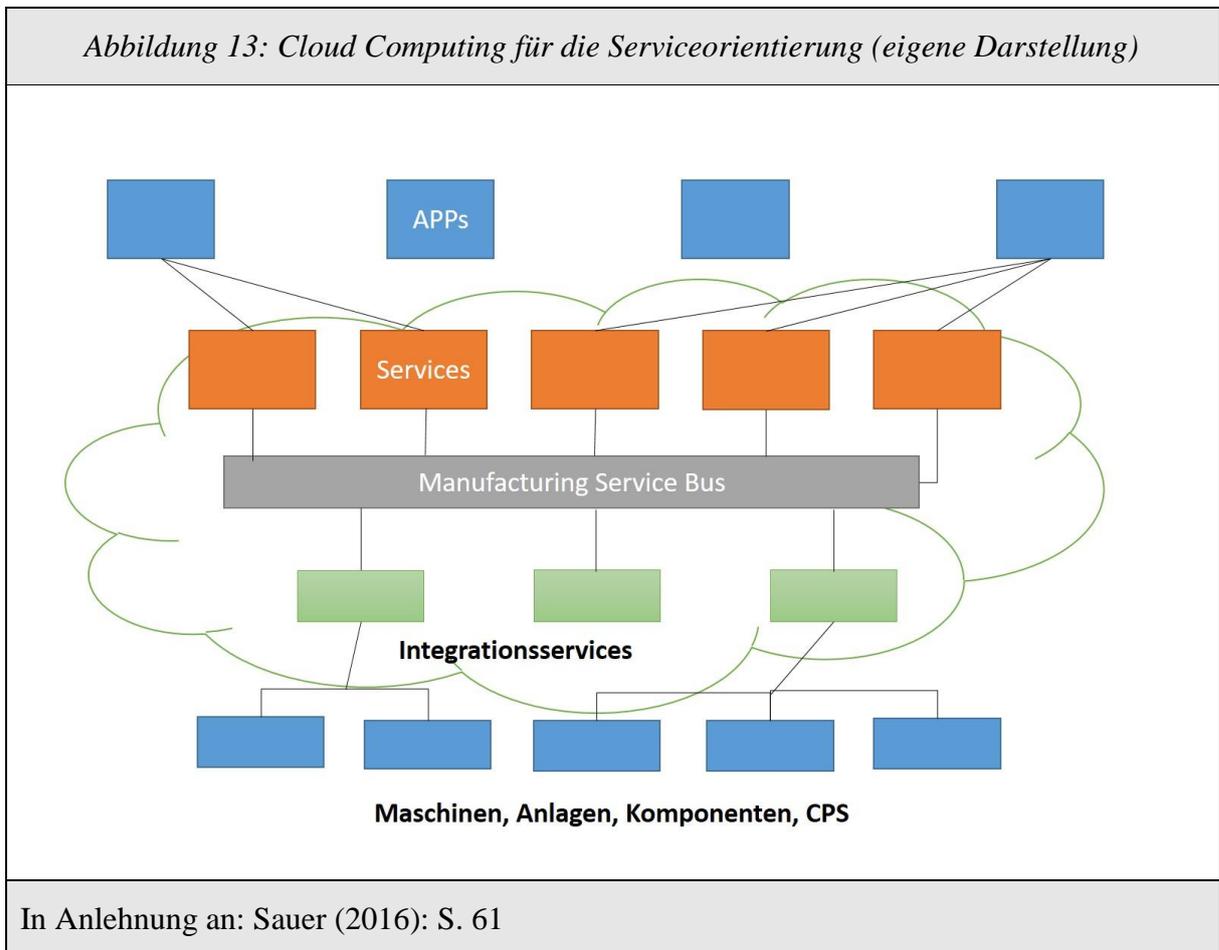
²⁶⁹ Vgl. Bousonville (2017): S. 23

²⁷⁰ Vgl. Bauernhansl; ten Hompel; Vogel-Heuser (2014): S. 404 f.

²⁷¹ Ebd.

²⁷² Vgl. Hausladen (2016): S. 54 / Abb. 3-2

Die Auftragsdisposition, als Feinplanungs- und Steuerungsfunktion, ist der Fertigungsleitebene zugeordnet (s. Abb. 2) und damit Bestandteil der MES-Systeme. Bezugnehmend zu Abb.2 würden CPS im Rahmen der Selbststeuerung MES ersetzen können, sofern die Anforderungen an CPS, wie in Abb. 10 beschrieben, erfüllt sind (s.o.). Somit ist neben der horizontalen auch die vertikale Integration von CPS innerhalb eines Betriebes in diesem Szenario entscheidend (s. Abb. 7) Folgende Abbildung stellt die vertikale Integration der ProCPS im Szenario vor:



Die APPs, wie in 3.5 beschrieben, haben eine eigene Benutzeroberfläche, jedoch keine oder nur sehr eingeschränkte eigene Datenhaltung und können auf mobilen Endgeräten genutzt werden.²⁷³ Die Services sind Einheiten mit konkreter Funktion und eindeutigen Ein- und Ausgabeparametern. Hierbei werden entweder einzelne Funktionen für Fertigungsmanagementsysteme wie MES angeboten oder mehrere Funktionen zusammengefasst.²⁷⁴ Mit Blick auf das Szenario ist entscheidend, dass Services unabhängig von einem Client über Standardmechanismen abgerufen werden können, um das CPPS flexibel

²⁷³ Vgl. Manzej; Schleupner; Heinze (2016): S. 60 f.

²⁷⁴ Ebd.

erweiterbar zu machen.²⁷⁵ Je nach Tiefe der in der Cloud abgerufenen Dienstleistung kann zwischen mehreren Servicemodellen unterschieden werden: Infrastructure as a Service („IaaS“), Platform as a Service („PaaS“) und Software as a Service („SaaS“).²⁷⁶ Im Szenario wäre das Modell SaaS interessant, da hiermit Endanwender adressiert werden (in diesem Fall ProCPS), die vollwertige Software-Anwendungen über das Netz nutzen können.²⁷⁷ Auch ERP-Systeme sind inzwischen als SaaS-Lösungen verfügbar²⁷⁸, was in diesem Szenario besonders relevant für die vertikale Integration der ProCPS ist. Der Manufacturing Service Bus dient der Kommunikation der Services untereinander und damit als Integrationsfunktion für das Zusammenspiel der Services.²⁷⁹ Er ermöglicht die vertikale Integration der CPS, da er die Funktion der Middleware übernimmt und über die Anbindung aller am Produktionsprozess beteiligten Services und CPS sowie die Workflow-Steuerung ebendieser gewährleistet.²⁸⁰ Im Beispielszenario sind mehrere Hersteller an der Produktion der kundenindividuellen Küche beteiligt. Hier müsste die Kommunikations- und Integrationsplattform auf Unternehmens- und Netzwerkebene mit sogenannten Enterprise Service Buses aufgebaut werden, dementsprechend analog zu den Manufacturing Service-Bussen, auf horizontaler Ebene.²⁸¹ Problematisch könnten sich hier mehrere unterschiedliche Softwareanbieter für MES-Services erweisen, sodass Service-Busse sich nicht mit diesen verbinden könnten, da diese zugeschnitten auf den jeweiligen Hersteller sind.²⁸² Diese Thematik wird jedoch im Rahmen dieser Arbeit nicht näher behandelt. Damit ProCPS sich mit den Services der MES verbinden können, werden Integrationservices benötigt.²⁸³

Im Szenario müssen die unterschiedlichen CPS je nach Dispositionsparameter auf verschiedene Services Zugriff haben, wobei die Services die aufgezeigten Funktionen abdecken müssen (s. Abb. 11). Im Zuge der vertikalen Integration von CPS müssen Produktionsdaten in die Feinsteuerung, und wiederum Qualitätsdaten aus der Produktion in die Leitsysteme rückübertragen werden.²⁸⁴ Dies entspräche einer bidirektionalen Kommunikation, bei der Auftragsdaten aus der Unternehmensleitebene vom ERP-System z.B. nach dem top-down-

²⁷⁵ Vgl. Schulte (2017): S. 100

²⁷⁶ Vgl. Bousonville (2017): S. 23

²⁷⁷ Ebd.

²⁷⁸ Ebd.

²⁷⁹ Vgl. Schulte (2017): S. 100

²⁸⁰ Vgl. IPA (2015): S. 16

²⁸¹ Ebd.

²⁸² Ebd.

²⁸³ Ebd.

²⁸⁴ Vgl. Vogel-Heuser; Bayrak; Frank (2012): S. 22

Ansatz bis in die Fertigungsebene hinuntergebrochen, sowie gleichzeitig Bottom-up-Rückmeldungen zum Sender erfolgen.²⁸⁵ Die vertikale Integration ist für eine Minimierung des Dispositionsaufwands insofern entscheidend, als dass übergeordnete IT-Systeme wie ERP oder Data-Monitoring-Lösungen tief in den Auftragsdispositionsprozess eingebunden werden und falls notwendig, unmittelbar in die Situation eingreifen können.²⁸⁶ Dies begünstigt eine vereinfachte Datenhaltung und eine Minimierung von Medienbrüchen, denn vorhandene Daten werden automatisiert weitergegeben.²⁸⁷ Somit entfällt an dieser Stelle die händische Erfassung der Daten und eine Übertragung dieser. Auf der Steuerungsebene der Maschinen, Anlagen, Komponenten und CPS (s. Abb. 13) wäre die Machine-to-Machine („M2M“) – Kommunikation in der SOA vor dem Hintergrund auftretender Störungen (s. Tab. 1) interessant, um eine Neukonfiguration des Produktionssystems zu gewährleisten.²⁸⁸ Bei dem Aufbau einer SOA steht die Prozessorientierung im Vordergrund, d.h. dass sich die IT schnell und flexibel an veränderte Geschäftsbedingungen anpassen kann, um den Geschäftsprozess zu unterstützen.²⁸⁹

Mit Bezug zur Forschungsfrage wäre ein Geschäftsprozess die „Feinplanung und -steuerung von Produktionsaufträgen“. Hierfür müssen Ressourcen und Dienstleistungen, wie die beschriebene SOA, Entwicklungsplattformen, Software-Funktionalitäten und der Geschäftsprozess an sich, bereitgestellt werden.²⁹⁰ Wird von einer SOA ausgegangen, so wäre ein mögliches Servicemodell des CC das Business as a Service („BaaS“) -Modell.²⁹¹ Hierbei haben die ProCPS Zugang zu Geschäftsprozessen und Fähigkeiten, sodass sie die oberste Schicht der Unternehmensarchitektur adressieren können.²⁹²

Auf die Offenheit der Plattformen, also die Art des Zugriffs von Nutzern auf die einzelnen Plattformen der Anbieter, wie der „Hybrid Cloud“²⁹³, wird in dieser Arbeit nicht näher eingegangen.

²⁸⁵ Vgl. Schulte (2017): S. 689

²⁸⁶ Vgl. Fischer; Gorecky (2016): S. 153

²⁸⁷ Ebd.

²⁸⁸ Vgl. Sandler (2013): S. 11

²⁸⁹ Vgl. Schulte (2017): S. 99

²⁹⁰ Vgl. Schulte (2017): S. 101

²⁹¹ Vgl. Schulte (2017): S. 102

²⁹² Ebd.

²⁹³ Vgl. Baun et al. (2011): S. 27 ff.

4.3.2 Ablauf der Auftragsfreigabe

Die Aufträge innerhalb der Funktionsgruppe der Termin- und Kapazitätsplanung werden mit Start- und Endterminen versehen, womit Funktionen des Teilbereichs der Produktionsplanung abgearbeitet sind.²⁹⁴

Es folgt der Teilbereich der Produktionssteuerung mit seinen Aufgaben der Planung und Realisierung der Aufträge im Kurzfristbereich.²⁹⁵ Die Auftragsfreigabe ist der entscheidende Prozessschritt der Auftragsdisposition für die Erfüllung eines Auftrags (s. 2.1). Sie ist neben der Fertigungsplanung und Engpassverarbeitung ein Teil der Feinplanung und -steuerung.²⁹⁶ Die Auftragsfreigabe umfasst im Allgemeinen die Prüfung der Disponibilität aller Ressourcen, um einen vorliegenden Kundenauftrag auszuführen.²⁹⁷ Hierbei wird sowohl für den Beschaffungs- als auch für den Produktionsprozess ein Güterfluss ausgelöst.²⁹⁸ Im Rahmen einer Verfügbarkeitsprüfung ist mittels Abgleich von Auftragslage und vorhandenen Materialien, Betriebsmitteln, Vorrichtungen und Werkzeugen zu prüfen, ob eine Auftragsfreigabe für einen Auftrag erfolgen kann.²⁹⁹

Die größte Herausforderung für die Auftragsdisposition in vorgestelltem Szenario sind Produktionsbedingungen mit hoher Variabilität, womit Schwierigkeiten einhergehen, Angaben zu bspw. konkreten Lieferzeiten zu machen (s. Abb. 11). Die Fabrikbetreiber sind Betriebe mit Auftragsfertigung stark individualisierter Produkte, bei denen keine Standardlieferzeiten gegeben sind.³⁰⁰ Hier wird demnach eine Erzeugnisstruktur mit mehrteiligen Erzeugnissen (Unternehmen, Subunternehmen) und komplexer Struktur zugrunde gelegt³⁰¹. Für die Disposition mithilfe von CPS ist v.a. das Prinzip der Werkstattfertigung als Grundlage für die Prozessgestaltung der Fertigungssteuerung interessant, die hier der Bedarf an Selbststeuerung in Kombination mit der Fertigungsart der Einzel- und Kleinserienfertigung am größten ist (s. 3.4).

²⁹⁴ Vgl. Schulte (2017): S. 650 f.

²⁹⁵ Ebd.

²⁹⁶ Vgl. Schulte (2017): S. 686

²⁹⁷ Vgl. Schönsleben (2016): S. 608 ff.

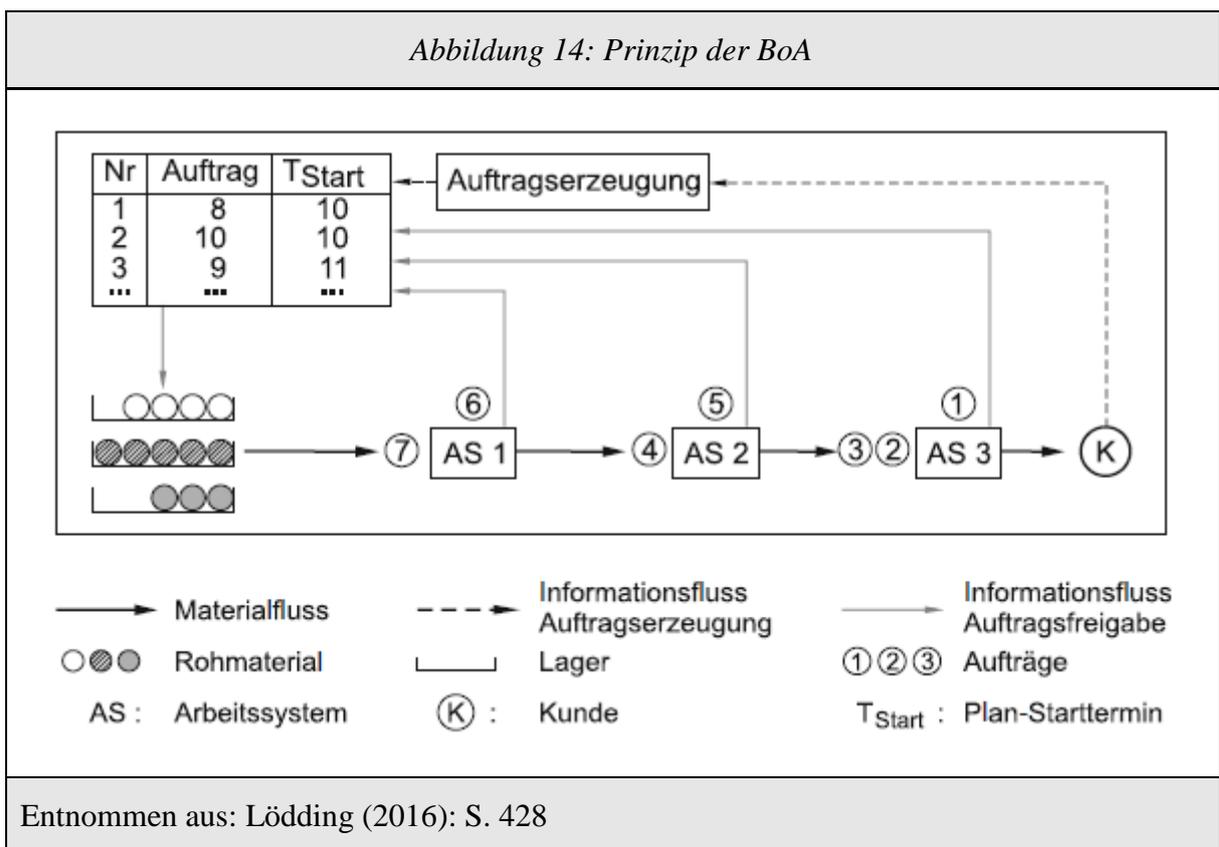
²⁹⁸ Ebd.

²⁹⁹ Vgl. Schulte (2017): S. 651

³⁰⁰ Vgl. Thüerer; Stevenson; Protzman (2016): S. 159

³⁰¹ Vgl. Schulte (2017): S. 668

Für die Werkstattfertigung wurde ursprünglich die Belastungsorientierte Auftragsfreigabe („BoA“) entwickelt, welche eine rückstandsorientierte Kapazitätssteuerung mit einer bestandsgeregelten Auftragsfreigabe kombiniert.³⁰² Da die ereignisdynamische Disposition größte Flexibilität für die Reaktion auf jegliche Änderungen im System bietet (s. 2.5), wäre auch die BoA im Rahmen einer ereignisorientierten Auftragsfreigabe zu betrachten. Hierfür eignet sich die BoA grundsätzlich.³⁰³ Es wäre demnach eine Beschreibung des Prinzips der BoA (s. Abb. 14) sinnvoll, um darauf aufbauend ein selbststeuerndes Auftragsfreigabesystem mithilfe von CPS zu erstellen.



Die BoA gehört zu den zentralen Auftragsfreigabeverfahren, wobei ein Belastungsabgleich von vorher definierten Arbeitssystemen stattfindet (s. Abb. 14).³⁰⁴ Bei der planungsorientierten Disposition erzeugt ein zentrales PPS-System ausgehend von Kundenaufträgen eine Liste mit dringlichen Aufträgen für eine Planperiode (s. Abb. 12).

³⁰² Ebd.

³⁰³ Vgl. Lödding (2016): S. 428

³⁰⁴ Vgl. Lödding (2016): S. 354

Die BoA gibt einen Auftrag unter der Prämisse frei, dass an keinem Arbeitssystem („AS“) die Bestandsgrenze („BG“) überschritten wird, die der Auftrag durchlaufen wird.³⁰⁵ Die Auftragsdisposition muss im Rahmen der BoA einigen Merkmalen gerecht werden, um diese Anforderung umzusetzen.³⁰⁶ Hierzu zählt zunächst eine Liste der freizugebenden Aufträge, die stets aktualisiert werden muss; in dieser sind die von der PPS bekannten, noch nicht freigegebenen Aufträge enthalten, deren Plan-Starttermin innerhalb eines bestimmten Vorgriffshorizonts liegt.³⁰⁷ Des Weiteren ist jedes AS einem Bestandskonto in der PPS zugeordnet (s. Abb. 14). Wird ein Auftrag freigegeben, so wird dieser mit einer bestimmten Buchungsauftragszeit in das betreffende AS eingebucht sowie bei Fertigstellung ausgebucht.³⁰⁸ Die Buchungsauftragszeit ist hierbei die abgezinste Auftragszeit an einem AS, mit der ein Auftrag in das Bestandskonto dieses AS eingebucht wird. Die oben genannte BG ist für jedes AS zu hinterlegen, bei Überschreitung der BG muss das Verfahren die Freigabe der Aufträge blockieren, die das betreffende AS durchlaufen würden.³⁰⁹ Als wesentliches Merkmal sei ferner der Abzinsungsfaktor genannt, der auf der Grundidee basiert, die Buchungsauftragszeit umso mehr zu reduzieren, je länger der Auftrag bis zum Eintreffen am betrachteten AS laut Planung braucht.³¹⁰ Er bestimmt einen Prozentsatz, mit dem die Auftragszeit in den Bestandskonten nachfolgender AS zu berücksichtigen ist.³¹¹

Eine ereignisdynamische Disposition setzt eine ereignisorientierte Auftragsfreigabe voraus (s.o.). Die Disposition müsste hier also Entscheidungskriterien für die Auftragsfreigabe wählen, die sich an den oben beschriebenen Merkmalen der BoA orientiert. So wäre ein Auftragsfreigabekriterium z.B. die Bestandsreichweite des Bestandskontos, die das Ergebnis einer Division des Gesamtbestandes des Bestandskontos mit der Plan-Kapazität wäre.³¹²

³⁰⁵ Vgl. Lödding (2016): S. 428

³⁰⁶ Ebd.

³⁰⁷ Vgl. Lödding (2016): S. 429

³⁰⁸ Ebd.

³⁰⁹ Ebd.

³¹⁰ Ebd.

³¹¹ Ebd.

³¹² Vgl. Lödding (2016): S. 409

Im Szenario sind vorrangig Liefertermine, Mengen, Material und Kapazitäten auf Hersteller-, Lieferantenseite abzugleichen, um nicht ausführbare Aufträge möglichst zu vermeiden (s. Abb. 11). Mit Bezug zur Materialdisposition müsste die Verfügbarkeitsprüfung (s.o.) anhand von Daten über physisch vorhandene Lagerbestände für den jeweiligen Auftrag und bereits eingetroffene, jedoch noch nicht eingelagerte Bestellungen durchgeführt werden.³¹³

Beim Prozessschritt „Auftragsänderung seitens Kunde nach Auftragsvergabe“ (s. 4.1) wird ein aktualisierter Auftrag aus einem bereits geplanten und freigegebenen Auftrag erzeugt, dem aufgrund der Wichtigkeit hinsichtlich des Liefertermins eine hohe Priorität zugrunde liegt (s. Abb. 11). In diesem Fall müsste also die Auftragsfreigabe eines anderen zuvor eingeplanten Auftrags abgelehnt werden, sofern diesem eine niedrigere Priorität zugrunde liegt. Der hinzugekommene Auftrag dürfte in diesem Fall nicht als zusätzlicher Auftrag in die Liste freizugebener Aufträge hinzugebucht werden, da sonst evtl. die BG der AS überschritten würde und der Auftrag vom Freigabesystem blockiert würde (s. Abb. 14). Somit müsste eine Einbuchung des geänderten Auftrags in die Bestandskonten der betroffenen AS erfolgen und gleichzeitig der alte Auftrag aus den betroffenen Bestandskonten ausgebucht werden.³¹⁴ Die Rückwärtsterminierung des PPS-Systems³¹⁵ müsste von Neuem starten sowie die Verfügbarkeitsprüfung erneut gestartet werden, da die Kundenauftragsänderung in diesem Falle eine aufwendige Vorbehandlung der Roharbeitsplatte (s. Tab. 1) erfordert, womit z.B. andere AS beansprucht würden.

Denkbar ist auch, dass die Auftragsfreigabe abgelehnt wird, wenn benötigte Vorrichtungen und Werkzeuge, die dem Auftrag zugewiesen werden, nicht bereit sind.³¹⁶ Ausgehend vom Prozessschritt „Ausfall Komponente beim Betreiber“ ergeben sich Änderungen im Produktionsablauf durch bspw. Störungen an Maschinen. Das Kapazitätsangebot der betroffenen Maschinen ist zu kontrollieren, um durch diese kurzfristig entstandenen Störungen Kapazitätsüberbelastungen in der Fertigung und daraus resultierende Terminverschiebungen (s. Abb. 11) zu identifizieren. Eine neue Priorisierung des Auftrags wäre die Folge, bevor eine Freigabe erfolgen kann.³¹⁷

³¹³ Vgl. Schulte (2017): S. 651

³¹⁴ Vgl. Lödding (2016): S. 410

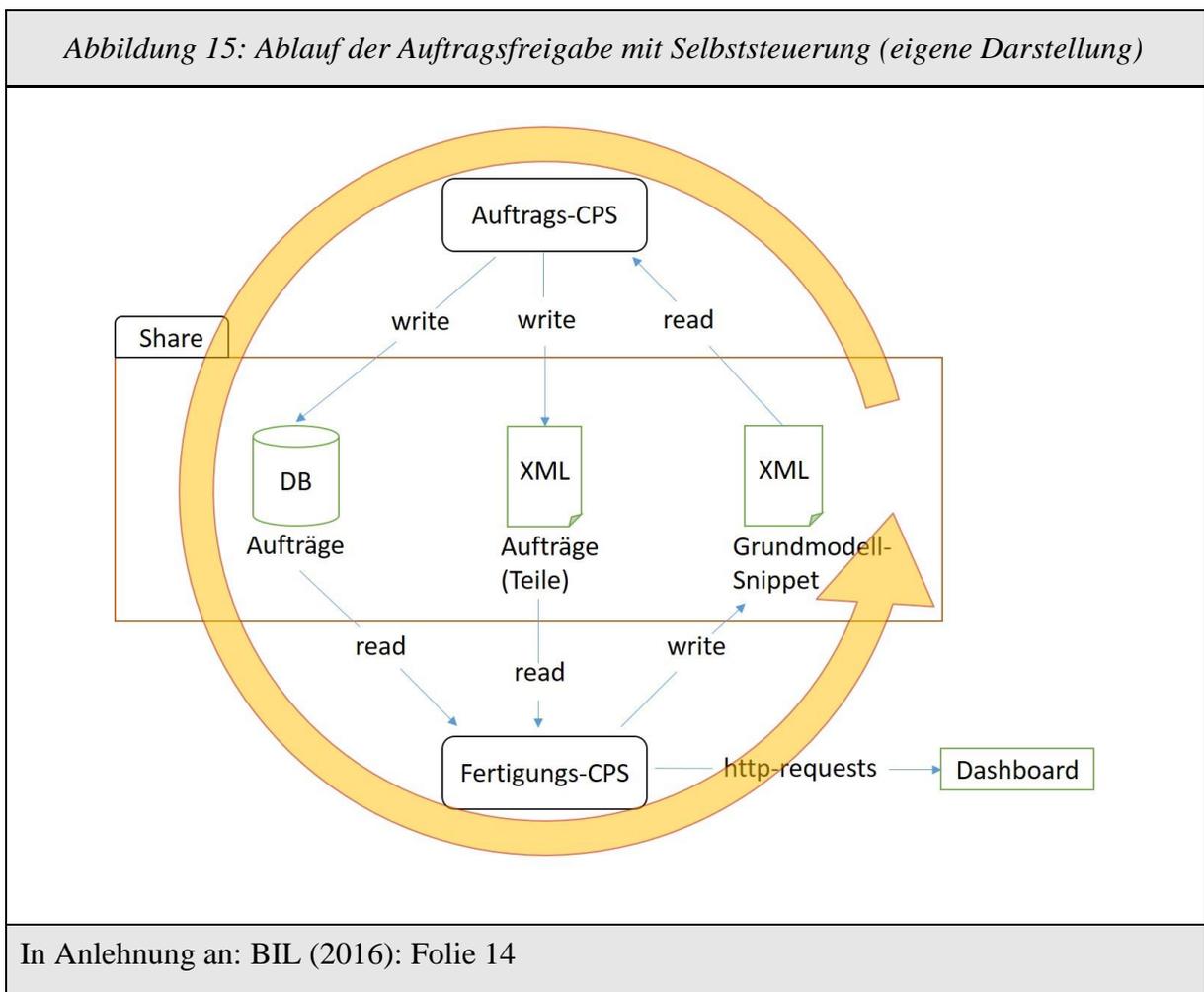
³¹⁵ Vgl. Lödding (2016): S. 428

³¹⁶ Ebd.

³¹⁷ Ebd.

Im Szenario ist ein unternehmensübergreifender Einsatz von Fertigungssteuerungsverfahren Voraussetzung für eine effiziente Auftragsdisposition (s.o.). Die BoA würde sich in diesem Szenario nur dann für den Einsatz in der Auftragsdisposition eignen, wenn übereinstimmende Fertigungslosgrößen sowie sehr enge Lieferbeziehungen zwischen produzierenden Unternehmen (Hersteller) und liefernden Unternehmen ((Sub-)Lieferanten) bestünden.³¹⁸ Hierzu sind im Szenario keine genauen Angaben gemacht worden.³¹⁹ Um einen unternehmensübergreifenden Einsatz zu realisieren, könnte eine Disposition mithilfe von CPS realisiert werden.

Folgende Abb. stellt dies näher dar:



Ein Auftrags-CPS übernimmt im Zuge der vertikalen Integration Auftragsdaten aus dem ERP-System des betroffenen Herstellers, bei Änderungen bzw. Störungen (z.B. Szenario „Ausfall Komponente beim Betreiber“) müsste eine untertägige Übernahme erfolgen.³²⁰ Die

³¹⁸ Vgl. Lödding (2016): S. 446

³¹⁹ Vgl. Vogel-Heuser; Bayrak; Frank (2012): S. 12 ff.

³²⁰ Vgl. BIL (2016). Folie 12

Auftragsdaten werden in eine Datenbank (z.B. Cloud) gespeichert und durch Fertigungs-CPS ausgelesen (s. Abb. 15). Die M2M-Kommunikation zwischen Auftrags- und Fertigungs-CPS wird hierbei in der Daten-Integrationsschicht über Standardschnittstellen (XML) realisiert (s. 3.5)³²¹ Planabweichungen in der Auftragsfreigabe werden von Fertigungs-CPS an das Auftrags-CPS zur Auftragsverwaltung rückgemeldet, woraufhin das Auftrags-CPS auf Basis neuer Parameter eine Auftragsfreigabe veranlasst.³²² Alle bestehenden AS müssten idealerweise durch ein Fertigungs-CPS repräsentiert werden, womit eine kontinuierliche Kapazitätsrechnung bzw. ein kontinuierlicher Kapazitätsabgleich (Prozessdaten) in den AS in Echtzeit nach dem Prinzip der BoA möglich wäre.³²³ Die Fertigungs-CPS könnten dem Nutzer im Sinne der Mensch-Maschine-Kooperation über die Cloud relevante Informationen wie die angesprochene Buchungsauftragszeit in einem Überblick darstellen.³²⁴ Hierbei könnte jedem Fertigungs-CPS eine eigene Identifikationsnummer („ID“) zugeteilt, ein Status hinterlegt sowie eine Aufgaben-ID (z.B. TASK-ID) hinterlegt werden.³²⁵ Die Visualisierung könnte über http-requests mithilfe eines Dashboards erfolgen (s. Abb. 15). Im Dashboard kann der Nutzer über sein Endgerät (z.B. Tablet) alle Fertigungs-CPS und deren Auslastung bzw. Buchungsauftragszeit als auch deren Status im jeweiligen AS in Echtzeit einsehen.³²⁶

Durch diese Form der Auftragsfreigabe sind Umwandlungs- und ÜbergabeprozEDUREN, manuelle Rückmeldeprozesse, Redundanzen und unterschiedliche Datenaktualitäten in den verschiedenen Systemen nicht mehr notwendig.³²⁷

³²¹ Vgl. Schulte (2017): S. 122

³²² Vgl. BIL (2016): Folie 13

³²³ Vgl. BIL (2016): Folie 11

³²⁴ Vgl. Schulte (2017): S. 121

³²⁵ Vgl. BIL (2016): Folie 15

³²⁶ Vgl. BIL (2016): Folie 15 ff.

³²⁷ Vgl. Mosler (2017): S. 505

5 Fazit

Grundsätzlich tun sich mit dem Einsatz von CPS in Dispositionsprozessen große Chancen auf, der wachsenden Dynamik und Komplexität heutiger Logistiknetzwerke zu begegnen. Durch die Möglichkeit der autonomen Echtzeitüberprüfung und -steuerung der Produktion kann der Dispositionsaufwand – so wie in 4.2.1 definiert – in Relation zum Dispositionsergebnis verringert werden. Besonders vielversprechend ist die Möglichkeit, selbstständig Aufträge auf den Produktionseinheiten einzuplanen sowie die permanente Auftragsüberwachung der Auftragszustände samt der Kommunikation von Abweichungen im Produktionsnetzwerk zu gewährleisten.³²⁸

Um den in 2.1 beschriebenen Dispositionsprozess komplett zu automatisieren, wären auch im Prozessschritt der Auftragserfüllung ein vollautomatischer Versand sowie die vollautomatische Abrechnung der betroffenen Teile denkbar und technisch machbar.³²⁹ Allerdings ist hier klar zu unterscheiden, wo technische Möglichkeiten sinnvoll sind und wie die Praxis aktuell den Bedarf sieht, an solchen Stellen eine Selbststeuerung einzusetzen.

Die Forschungsfrage dieser Arbeit wurde auf Basis eines praxisrelevanten Szenarios beantwortet. In diesem sind lediglich beispielhafte Möglichkeiten der Integrierung von ProCPS aufgezeigt, womit ist das Szenario teilweise nicht anwendungsnah ist.³³⁰ Grundsätzlich bieten sich Unternehmen, die in Zukunft an der Vision der Selbststeuerung ihres Produktionssystems festhalten, Wettbewerbsvorteile gegenüber denjenigen Unternehmen, die bei herkömmlichen hierarchischen Strukturen in ihrer Planung bleiben.³³¹ Deutlich wird dies v.a. im Bereich der Kundenorientierung, welche im Beispielszenario eine wesentliche Anforderung an die Gestaltung der Auftragsdisposition ist (s. 4.1). Hierbei ist entscheidend, den Kunden noch früher und intensiver in den Produktionsprozess einzubinden (im Szenario realisiert über die Produktentwickler), um somit den kommerziellen Erfolg des Produktes bzw. der Dienstleistung bei allen Beteiligten des Wertschöpfungsnetzwerkes sicherzustellen.³³²

³²⁸ Vgl. Geisberger; Broy (2012): S. 56

³²⁹ Vgl. „Disposition in Zeiten der Cloud“, 2016

³³⁰ Vgl. Vogel-Heuser; Bayrak; Frank (2012): S. 10

³³¹ Vgl. Mosler (2017): S. 36

³³² Vgl. Manzej; Schlepner; Heinze (2016): S. 241

Hier spielt Big Data Analysis (s. 3.5) im Rahmen der Informatisierung des Wertschöpfungsnetzwerkes eine große Rolle, das eigene Leistungsprogramm auf die Bedürfnisse und Wünsche einzelner Zielgruppen abzustimmen.³³³ Big Data und 3D-Druck sind beides wesentliche Technologien, die den Ursprung für noch härteren, globalen, kundenfokussierteren Wettbewerb zwischen Industrieunternehmen legen.³³⁴

Die Forschungsfrage dieser Arbeit konzentrierte sich auf die Kennzahl „Dispositionsaufwand“. Dieser kann je nach betrachteter logistischer Kennzahl in Bezug auf die Effizienz in der Auftragsdisposition unterschiedlich ausfallen. Beim Einsatz von Selbststeuerung sind Durchlaufzeiten, Lagerbestände, Kapazitätsauslastungen, Flexibilität je nach betrachteten Szenario entscheidend darüber, Aussagen über den Dispositionsaufwand und Effizienzsteigerungen zu treffen.³³⁵ Die aufgezeigte selbststeuernde Auftragsfreigabe mit CPS nach dem Prinzip der BoA verringert den Dispositionsaufwand vor allem in Relation zu einem besseren Dispositionsergebnis in Form einer gleichmäßigeren Kapazitätsauslastung der einzelnen AS.

Fertigungsmanagementsysteme in Form von MES bilden hier die Grundlage für Industrie 4.0 auf dem Weg zu einer sich selbststeuernden Produktion mit Cyber-Physischen Systemen.³³⁶ Allerdings werden über viele Jahre unzählige Anlagen und Maschinen mit klassischen Steuerungssystemen im Einsatz sein, was MES als Schnittstellen erschwert.³³⁷ Somit besteht vielmehr ein bestimmtes Verhältnis von Fremd- und Selbststeuerung, da die Selbststeuerung noch Zukunftsvision ist und ihre Implementierung in Produktionsprozesse wesentlich abhängt von einem Verhältnis von Kennzahlenverbesserung in der Logistik auf der einen und Realisierbarkeit, Finanzierbarkeit auf der anderen Seite.

Im Bereich der Finanzierbarkeit ist eine interessante Fragestellung, ob durch die bedarfsvariable Nutzung von CC-Infrastruktur die entstehenden Betriebsaufwendungen je Anwendungsfall deutlich sinken, wenn demgegenüber potentielle Investitionen in eigene Server-Infrastruktur gestellt werden.³³⁸ Hier muss jedoch auch je nach Anforderungsprofil des Unternehmens geprüft werden, wo Automatisierung wirklich notwendig ist. Die Schwierigkeit

³³³ Ebd.

³³⁴ Ebd.

³³⁵ Vgl. Weber (2016): S. 39

³³⁶ Vgl. Müller (2015): S. 129

³³⁷ Ebd.

³³⁸ Vgl. Schulte (2017): S. 100 f.

liegt hier in einer Quantifizierung von Komplexität, d.h., wo und in welchem Umfang ist Automatisierung gerechtfertigt, wenn dieser Investitionskosten gegenübergestellt werden.³³⁹ Zudem sind viele Maschinen in vielen heutigen Produktionswerken starr strukturiert, da sie fest mit Fördertechnikelementen, wie z.B. Rollenbahnen, Kettenförderern und anderen Transporteinrichtungen verbunden sind.³⁴⁰ Eine offene Frage ist also, inwieweit sich die Infrastruktur in der Intralogistik verändert lässt, sodass CPS integriert werden können. Hier besteht also auch ein hoher Planungs- und Koordinationsaufwand.

Zudem ist eine unbeantwortete Frage, wie Echtzeitdaten aus der Produktionsplanung in die Erfolgs- und Finanzplanung miteinfließen können.³⁴¹ Mit anderen Worten: Wie passt die Echtzeitplanung und -steuerung in der digitalen Fabrik zusammen mit einer Erfolgs- und Finanzplanung, die zeitverzögert (mehrere Wochen oder gar Monate) auf veränderte Planungsparameter reagiert?³⁴² Wenn diese Parameter nicht in die ökonomische Planung aufgenommen werden, ist die Planungs- und Steuerungsfähigkeit eines Unternehmens mit Hinblick auf Erfolgsziele und Liquiditätssicherung trotz verbesserter Produktionsplanung und -steuerung träge, zeitversetzt und nicht an reale Gegebenheiten angepasst.³⁴³ Im Rahmen der Industrie 4.0 könnte der Aufbau eines „AEP I 4.0“-Modells interessant sein.³⁴⁴ Hiermit einher ginge die Möglichkeit, für jeden einzelnen Fertigungsauftrag und für jedes einzelne Erzeugnis den tatsächlichen Materialverbrauch zu bestimmen, anstatt Durchschnittsverbrauchswerte heranzuziehen.³⁴⁵ Dies wäre z.B. für die Bewertung von Beständen sehr vielversprechend, da für jedes einzelne Erzeugnis, welches seine tatsächlichen Herstellkosten speichert, der aktuelle Bestand dieses Erzeugnis festgestellt werden kann.³⁴⁶

Außerdem ist der Themenbereich der Mensch-Maschine-Schnittstelle in dieser Arbeit nicht näher behandelt worden. Der Mensch kann mit dem CPPS über multimodale Schnittstellen interagieren, wie im Bereich der Auftragsfreigabe angedeutet.³⁴⁷ Mit Bezug zur Forschungsfrage nimmt der Mensch im Dispositionsprozess von Produktionsaufträgen trotz zunehmender Automatisierung und Digitalisierung von Fertigungsprozessen auch zukünftig als

³³⁹ Vgl. Soder (2017): S. 22

³⁴⁰ Vgl. Soder (2017): S. 24

³⁴¹ Vgl. Mosler (2017): S. 36

³⁴² Ebd.

³⁴³ Ebd.

³⁴⁴ Vgl. Mosler (2017): S. 571

³⁴⁵ Ebd.

³⁴⁶ Ebd.

³⁴⁷ Vgl. Hertel (2015): S. 23

Entscheidungs- und Erfahrungsträger eine unabdingbare Rolle ein.³⁴⁸ Die Ausgestaltung der Mensch-System-Kooperation steht vor den Herausforderungen der intuitiv beherrschbaren und sicheren Interaktion zwischen Mensch und Maschine.³⁴⁹ Für die Zusammenarbeit mit CPS bedarf es der Akzeptanz seitens des Mitarbeiters.³⁵⁰

Unternehmensübergreifende Produktionsprozesse erfordern mit den technischen Möglichkeiten der Industrie 4.0 ein Informationsmanagement im Sinne des Schutzes der Informations- und Betriebssicherheit (Safety und Security)³⁵¹. Hier wäre ein Themengebiet der Aufbau von sicheren Industrie 4.0-Plattformen, d.h. der Aufbau geeigneter Referenzarchitekturen im Sinne kooperativer Plattformen für verschiedene Dienste und Ressourcen in horizontalen Wertschöpfungsnetzwerken, die den Aspekt der IT-Security berücksichtigen.³⁵²

³⁴⁸ Ebd.

³⁴⁹ Vgl. Geisberger; Broy (2012): S. 18

³⁵⁰ Ebd.

³⁵¹ Vgl. Hertel (2015): S. 20 ff.

³⁵² Vgl. Diemer (2017): S. 183

VI. Literaturverzeichnis

- Acatech (Hrsg.): Cyber-Physical Systems. Innovationsmotor für Mobilität, Gesundheit, Energie und Produktion (acatech POSITION), Heidelberg (Springer Verlag), 2011
- agiplan GmbH (Hrsg.): Erschließen der Potenziale der Anwendung von „Industrie 4.0“ im Mittelstand, Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi), Mülheim an der Ruhr, Fraunhofer IML, 2015
- Backofen, Dirk: Praxisbeispiel: Die digitalisierte Werkhalle, in: Industrie 4.0 im internationalen Kontext – Kernkonzepte, Ergebnisse, Trends (Hrsg. Manzei, Christian; Schleupner, Linus; Heinze, Ronald), Berlin Offenbach: (VDE Verlag GmbH), 2016
- Bauernhansl, Thomas; Ten Hompel, Michael; Vogel-Heuser, Birgit: Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik: Anwendung, Technologien, Migration, Wiesbaden (Springer Vieweg), 2014
- Baun, C. et al.: Informatik im Fokus - Cloud Computing – Web-basierte dynamische IT-Services, 2. Auflage, Berlin Heidelberg (Springer), 2011
- Bonkosch, Martin: „Weshalb Ihr ERP-System allein nicht für eine professionelle Disposition ausreicht“, 20.11.2014, in „LogControl – Software Power for Logistics“, <http://logcontrol.de/logcontrol-erp-system/> (11.01.2017)
- Böttcher, Simon et al.: Die flexible Fertigungszelle als ein Cyber-Physikalisches Produktionssystem (CPPS), Arbeitspapiere der Nordakademie, No. 2016-06, Elmshorn, 2016
- Bracht, Uwe; Geckler, Dieter; Wenzel, Sigrid: Digitale Fabrik: Methoden und Praxisbeispiele, Berlin Heidelberg (Springer), 2011
- Brackel, Thomas: Adaptive Steuerung flexibler Werkstattfertigungssysteme: Nutzung moderner Informations- und Kommunikationstechnologien zur effizienten Produktionssteuerung unter Echtzeitbedingungen, Wiesbaden (Springer Gabler), 2009
- Broy, Manfred (Hrsg.): Acatech diskutiert - Cyber-Physical Systems – Innovation durch softwareintensive eingebettete Systeme, Berlin Heidelberg (Springer-Verlag), 2010
- Bousonville, Thomas: Logistik 4.0: Die digitale Transformation der Wertschöpfungskette, Wiesbaden (Springer Gabler), 2017
- Business Innovation Lab (BIL): Use-Cases bei Pfannenberg und Wulf Gaertner Autoparts, HAW Hamburg, Präsentation, 07.08.2016
- Chaumien, Giselle: “Unternehmensbereich: Disposition”, 01.08.2016, in Wissenswinkel – Die Wissensdatenbank – Für freiberufliche Übersetzer und andere Spracharbeiter, <http://www.wissenswinkel.com/2016/08/unternehmensbereich-disposition/#more-679> (07.01.2017)
- Cleve, Jürgen; Lämmel, Uwe: Data Mining, 2. Auflage, Berlin; Boston (De Gruyter Oldenbourg), 2016
- Dangelmeier, Wilhelm; Laroque, Christoph; Klaas, Alexander (Hrsg.): Simulation in Produktion und Logistik – Entscheidungsunterstützung von der Planung bis zur Steuerung, 15. ASIM Fachtagung, Paderborn, Heinz-Nixdorf-Institut, 2013
- Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN e.V.) (Hrsg.): Industrie 4.0 - Auf dem Weg zur digitalen Produktion, 1. Auflage, Berlin (Beuth Verlag), 2017

- Dickersbach, Jörg Thomas; Keller, Gerhard: Produktionsplanung und -steuerung mit SAP ERP, 4., aktualisierte Auflage, Bonn (Galileo Press), 2014
- Diemer, Johannes: Sichere Industrie - 4.0-Plattformen auf Basis von Community-Clouds, in Handbuch Industrie 4.0 Bd. 1 – Produktion (Hrsg. Vogel-Heuser, Birgit; Bauernhansl, Thomas; ten Hompel, Michael), 2. Auflage, Berlin (Springer Reference Technik), 2017
- Dörmer, Jan: Produktionsprogrammplanung bei variantenreicher Fließproduktion: untersucht am Beispiel der Automobilendmontage, Wiesbaden (Springer), 2013
- Erlach, Klaus: Wertstromdesign – Der Weg zur Schlanken Fabrik, Berlin Heidelberg (Springer), 2010
- Fischer, Stefanie; Gorecky, Dominic: Smart Factory – Eine Idee wird Realität, in Industrie 4.0 im internationalen Kontext – Kernkonzepte, Ergebnisse, Trends (Hrsg. Manzei, Christian; Schleupner, Linus; Heinze, Ronald): Berlin Offenbach (VDE Verlag GmbH), 2016
- Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA): Geschäftsmodell-Innovation durch Industrie 4.0 – Chancen und Risiken für den Maschinen- und Anlagenbau, Studien in Kooperation mit Dr. Wieselhuber & Partner GmbH – Unternehmensberatung, 2015
- Geisberger, Eva; Broy, Manfred: agendaCPS -Integrierte Forschungsagenda Cyber-Physical Systems (acatech STUDIE), Heidelberg u. a. (Springer Verlag), 2012
- Gläß, Rainer; Leukert, Bernd (Hrsg.): Handel 4.0 – Die Digitalisierung des Handels – Strategien, Technologien, Transformation, Berlin Heidelberg (Springer-Verlag), 2017
- Gomes-Barthelt: Marktorientierte Disposition, Diplomarbeit, Hochschule Darmstadt – University of Applied Sciences, Darmstadt, 2009
- Göpfert, Ingrid; Braun, David; Schulz, Matthias (Hrsg.): Trends in der Automobillogistik, In Automobillogistik – Stand und Zukunftstrends, 3. Auflage, Wiesbaden (Springer Gabler), 2017
- Gudehus, Timm: Dynamische Disposition - Strategien, Algorithmen und Werkzeuge zur optimalen Auftrags-, Bestands- und Fertigungsdisposition, 3. Auflage, Berlin Heidelberg (Springer), 2012 – A –
- Gudehus, Timm: Logistik 1 - Grundlagen, Verfahren und Strategien, Studienausgabe der 4. Auflage, Berlin Heidelberg (Springer), 2012 – B –
- Gudehus, Timm: Dynamische Disposition: Strategien zur optimalen Auftrags- und Bestandsdisposition, 2. Auflage, Berlin Heidelberg (Springer), 2006
- Günter, Ullrich: Fahrerlose Transportsysteme – Eine Fibel – mit Praxisanwendungen – zur Technik – für die Planung, 2. Auflage, Voerde (Springer Vieweg), 2013
- Harjes, Florian: Selbststeuernde Disposition im Umlaufmanagement von Verleihartikeln, Dissertation, Universität Bremen, Bremen, 2016
- Hausladen, Iris: IT – gestützte Logistik – Systeme – Prozesse – Anwendungen, 3. Auflage, Wiesbaden (Springer Fachmedien), 2016
- Hennies, Til; Reggelin, Tobias; Tojulew, Jori: Ressourcenverteilung in mesoskopischen Simulationsmodellen für Produktions- und Logistiknetzwerke, in Simulation in Produktion und Logistik – Entscheidungsunterstützung von der Planung bis zur

- Steuerung (Hrsg. Dangelmeier, Wilhelm; Laroque, Christoph; Klaas, Alexander), Paderborn, Heinz-Nixdorf-Institut, 2013
- Hertel, Michael Stefan: Risk and Return Management for the Digital Economy, Dissertation, Universität Augsburg, 2015
- Hofmann, Johann: Die digitale Fabrik, in Industrie 4.0 - Auf dem Weg zur digitalen Produktion (Hrsg. DIN - Deutsches Institut für Normung e.V.), 1. Auflage, Berlin (Beuth Verlag), 2017
- Hübner, Inge: Referenzarchitekturmodell 4. (RAMI 4.0), in Industrie 4.0 im internationalen Kontext – Kernkonzepte, Ergebnisse, Trends (Hrsg. Manzei, Christian; Schleupner, Linus; Heinze, Ronald), Berlin Offenbach (VDE Verlag GmbH), 2016
- Kaufmann, Timothy: Geschäftsmodelle in Industrie 4.0 und dem Internet der Dinge – Der Weg vom Anspruch in die Wirklichkeit, Wiesbaden (Springer Vieweg), 2015
- Kiem, René: Qualität 4.0 – QM, MES und CAQ in digitalen Geschäftsprozessen der Industrie 4.0, in Praxisreihe Qualitätswissen (Hrsg. Matyas, Kurt.), München (Carl Hanser Verlag), 2016
- Kordowich, Philipp: Betriebliche Kommunikationsprozesse bei Dienstleistern: Herausforderungen für Organisation und IT durch Kundenorientierung, Wiesbaden (Gabler Verlag), 2010
- Limberger, Markus: Moderne Unternehmenslogistik – Von der Einfachheit komplexer logistischer Prozesse, 1. Auflage, Wiesbaden (Gabler), 2010
- Lödding, Hermann: Verfahren der Fertigungssteuerung – Grundlagen, Beschreibung, Konfiguration, 3. Auflage, Berlin Heidelberg (Springer Vieweg), 2016
- Manzei, Christian; Schleupner, Linus; Heinze, Ronald (Hrsg.): Industrie 4.0 im internationalen Kontext – Kernkonzepte, Ergebnisse, Trends, Berlin (VDE Verlag GmbH, Beuth Verlag GmbH), 2016
- Mathieu, Markus: Aufgabenbezogene Leistung in ERP-gestützten Arbeitsprozessen: eine empirische Analyse am Beispiel der dispositiven Auftragsbearbeitung, Dissertation, Johannes-Gutenberg-Universität Mainz, 2014
- Matyas, Kurt (Hrsg.): Praxisreihe Qualitätswissen, München (Carl Hanser Verlag), 2016
- Mosler, Andreas: Integrierte Unternehmensplanung – Anforderungen, Lösungen und Echtzeitsimulation im Rahmen von Industrie 4.0, Wiesbaden (Springer), 2017
- Müller, Christian; Mouelhi, Mohammed; Özgür, Cagdas: Einsatz der Simulation zur Evaluation von Personaleinsatzplanungsergebnissen, in Simulation in Produktion und Logistik – Entscheidungsunterstützung von der Planung bis zur Steuerung (Hrsg. Dangelmeier, Wilhelm; Laroque, Christoph; Klaas, Alexander), 15. ASIM Fachtagung, Paderborn, Heinz-Nixdorf-Institut, 2013
- Müller, Stefan: Manufacturing Execution Systeme (MES) – Status Quo, zukünftige Relevanz und Ausblick in Richtung Industrie 4.0, Norderstedt (BoD - Books on Demand), 2015
- Poppe, Ronald: Kooperationsplattformen für das Supply Chain Management: Gestaltungsempfehlungen für die kooperative Koordination der Supply Chain, Wiesbaden (Springer Gabler), 2017

- Rekersbrink, Henning: Methoden zum selbststeuernden Routing autonomer logistischer Objekte - Entwicklung und Evaluierung des Distributed Logistics Routing Protocol (DLRP), Dissertation, Universität Bremen, 2012
- Sauer, Olaf: Entwicklungstrends bei Manufacturing Execution Systems (MES), in Industrie 4.0 im internationalen Kontext – Kernkonzepte, Ergebnisse, Trends (Hrsg. Manzei, Christian; Schlepner, Linus; Heinze, Ronald), Berlin (VDE Verlag GmbH, Beuth Verlag GmbH), 2016
- Scheer, August-Wilhelm: The Big Change. Auswirkungen der neuen Technologien von Industrie 4.0 – Neue Wertschöpfungsketten für den Handel, in Handel 4.0 – Die Digitalisierung des Handels – Strategien, Technologien, Transformation (Hrsg. Gläß, Rainer; Leukert, Bernd), Berlin Heidelberg (Springer-Verlag), 2017
- Scholz-Reiter, Bernd et al.: Selbststeuerung als Ansatz in der Praxis manuell getriebener Logistik, in Erfolg kommt von innen (Hrsg. Wimmer, Thomas), Hamburg (DVV Media Group, Dt. Verkehrs-Verl.), 2009
- Schönsleben, Paul: Integrales Logistikmanagement: Operations und Supply Chain Management innerhalb des Unternehmens und unternehmensübergreifend, 7., erweiterte und überarbeitete Auflage, Berlin, Heidelberg (Springer Vieweg), 2016
- Schuh, Günther; Stich, Volker: Enterprise –Integration: Auf dem Weg zum kollaborativen Unternehmen, Berlin Heidelberg, (Springer Vieweg), 2014
- Schuh, Günther; Stich, Volker: Enterprise –Integration: Auf dem Weg zum kollaborativen Unternehmen, Berlin Heidelberg, (Springer Vieweg), 2012
- Schulte, Christof: Logistik – Wege zur Optimierung der Supply Chain, 7. Auflage, München (Verlag Franz Vahlen), 2017
- Sendler; Ulrich (Hrsg.): Industrie 4.0: Beherrschung der industriellen Komplexität mit SysLM, Berlin Heidelberg (Springer-Vieweg), 2013
- Simon, Thomas: Auftragsdisposition in der Intralogistik, 18.04.2016, in Logistik KnowHow, <https://logistikknowhow.com/auftragsdisposition-in-der-intralogistik/> (09.01.2017)
- Simon, Thomas: Host-System (ERP-System), 26.08.2015, in Logistik KnowHow, <https://logistikknowhow.com/host-system-host/> (11.01.2017)
- Soder, Johann: Use Case Production – Von CIM über Lean Production zu Industrie 4.0, in Handbuch Industrie 4.0 Bd. 1 – Produktion (Hrsg. Vogel-Heuser, Birgit; Bauernhansl, Thomas; ten Hompel, Michael), 2. Auflage, Berlin (Springer Reference Technik), 2017
- Sonderforschungsbereich 637 (SfB 637): Selbststeuerung logistischer Prozesse - Ein Paradigmenwechsel und seine Grenzen, 26.08.2008, Universität Bremen <http://www.sfb637.uni-bremen.de/> (17.01.2017)
- Soppa, Tobias: Disposition in Zeiten der Cloud, 16.03.2016, in CEITON Blog, <http://ceiton.com/blog/de/digitale-disposition-und-ressourcen-planung-in-der-cloud/> (16.02.2017)
- Thürer, Matthias; Stevenson, Mark; Protzman, Charles W.: Kartenbasierte Steuerungssysteme für eine schlanke Arbeitsgestaltung - Grundwissen Kanban, ConWIP, POLCA und COBACABANA, Wiesbaden (Springer), 2016
- Verein Deutscher Ingenieure e.V. (VDI)/ Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik (VDE): Statusreport – Digitale Chancen und Bedrohungen – Geschäftsmodelle für Industrie 4.0, RWTH Aachen, 2016

- Verein Deutscher Ingenieure e.V. (VDI): „Fachausschuss 140: Manufacturing Execution Systems – Gegenstand und Ziele der Arbeiten“, 10.2016
<https://www.vdi.de/technik/fachthemen/produkt-und-prozessgestaltung/fachbereiche/informationstechnik/themen/mes-manufacturing-execution-systems/> (13.01.2017) -A-
- Verein Deutscher Ingenieure e.V. (VDI): Richtlinien – Fertigungsmanagementsysteme, 26.10.2016, in VDI Richtlinien, https://www.vdi.de/uploads/tx_vdirili/pdf/2436698.pdf, (13.01.2017) -B-
- Vogel-Heuser, Birgit; Bauernhansl, Thomas; ten Hompel, Michael (Hrsg.): Handbuch Industrie 4.0 Bd. 1 – Produktion, 2. Auflage, Berlin (Springer Reference Technik), 2017
- Vogel-Heuser, Birgit; Bayrak, Gülden; Frank, Ursula (Hrsg.): Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik – Anwendung – Technologien – Migration, Wiesbaden (Springer Vieweg), 2014
- Vogel-Heuser, Birgit; Bayrak, Gülden; Frank, Ursula (Hrsg.): Forschungsfragen in Produktionsautomatisierung der Zukunft, in acatech Materialien – Diskussionspapier für die acatech Projektgruppe „ProCPS – Production CPS“, München, 2012
- Vorburg, Volker: „Automatische Fertigungsdisposition - Adaptive Feinplanung“, 07.09.2011, in IT& Production online- Das Industrie 4.0-Magazin für erfolgreiche Produktion, http://www.it-production.com/index.php?seite=einzel_artikel_ansicht&id=58139 (07.01.2017)
- Wassermann Unternehmensberatung AG: „Optimieren Sie Ihre Disposition und Grobplanung“, 2016 <http://www.wassermann.de/management-consulting/sales-operations-planning/disposition-und-grobplanung.html> (09.12.2016)
- Weber, Lukas: Industrie 4.0 in der Intralogistik, Masterthesis, HAW Hamburg, 2016
- Werner; Florian: Wertorientiertes Controlling von Service-orientierten Informationssystemen – Erfolgsfaktoren flexibler IT-Applikationen, Wiesbaden (Springer), 2016
- Westkämper, E.; Zahn, E. (Hrsg.): Wandlungsfähige Produktionsunternehmen – Das Stuttgarter Unternehmensmodell, Berlin Heidelberg (Springer), 2009
- Windt, K.: Selbststeuerung intelligenter Objekte in der Logistik. in: Selbstorganisation – Ein Denksystem für Natur und Gesellschaft (Hrsg. Vec, M.; Hütt, M.; Freund, A.), Köln (Böhlau Verlag), 2006
- Wimmer, Thomas (Hrsg.): Erfolg kommt von innen, Hamburg (DVV Media Group, Dt. Verkehrs-Verl.), 2009
- Yoon, S., Um, J., Suh, SH. et al. J Intell Manuf: Smart Factory Information Service Bus (SIBUS) for manufacturing application: requirement, architecture and implementation, New York (Springer Science+Business Media), 2016

VII. Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere, dass ich die vorliegende Arbeit ohne fremde Hilfe selbständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.

Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quelle kenntlich gemacht.

Ort, Datum

Unterschrift / Nils Otte

VIII. Einverständniserklärung

Ich erkläre mich damit einverstanden, dass ein Exemplar meiner Bachelor-Thesis in die Bibliothek des Fachbereichs aufgenommen wird.

Rechte Dritter werden dadurch nicht verletzt.

Ort, Datum

Unterschrift / Nils Otte