

Bachelorarbeit

Voranalyse zur Prozessoptimierung

Wertstrom Respimat microParts GmbH

Fabian Dillenhöfer

Immatrikulationsnummer: 157607

Abgabedatum: 12.04.2017

Gutachter:

Name des Erstgutachters: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Markus Rabe

Name des Zweitgutachters: Dipl.-Inf. Dominik Schmitt

Technische Universität Dortmund
Fakultät Maschinenbau
FG IT in Produktion und Logistik (ITPL)
<http://www.itpl.mb.tu-dortmund.de>

In Kooperation mit
Boehringer Ingelheim microParts GmbH
Hauert 7
44227 Dortmund

Abstract

Produktionsprozesse werden zunehmender Turbulenzen ausgesetzt. Dies führt zu erschwerten Bedingungen verschiedene Geschäftsprozessoptimierungen, welche beispielsweise mit Hilfe der Prozessverbesserungsmethoden Lean-Management oder Wertstrommanagement entwickelt wurden, zu bewerten und so die beste Alternative auszuwählen. Deshalb wird oftmals eine dynamische Simulation als Entscheidungsunterstützung eingesetzt. Sie kann komplexes Verhalten wie Dynamik und Stochastik berücksichtigen. In dieser Arbeit wird der Ist-Zustand eines Herstellungsprozesses aufgenommen. Hierbei handelt es sich um einen Montageprozess eines industriellen Unternehmens. Auf Basis dessen wird eine Optimierung entwickelt und mit den bereits erarbeiteten Alternativen des Unternehmens verglichen. Anhand der aufgenommenen Daten wird entschieden, ob bestimmte Faktoren vorliegen, welche den Einsatz einer Ablaufsimulation begründen. Es wird beantwortet, ob und in welchem Umfang eine computergestützte Entscheidungsunterstützung ausgeführt werden soll. Aus den vorliegenden Faktoren wird eine Anforderungsliste an die Simulationssoftware erstellt. Abschließend wird ein Ausblick gegeben, wie ein weiterer Ablauf zur Entscheidungsfindung aussehen könnte.

Inhaltsverzeichnis

Abstract	ii
Inhaltsverzeichnis	iii
Abbildungsverzeichnis	vi
Formelverzeichnis	viii
Tabellenverzeichnis	ix
1. Einleitung	10
2. Einführung in das Geschäftsprozessmanagement	13
2.1. Definition Geschäftsprozessmanagement	13
2.2. Prozesse in Produktion und Logistik	13
2.3. Prozessorganisationsformen	14
2.4. Geschäftsprozessmodellierung	16
2.5. Grundlagen der Prozessverbesserungsmethoden	18
2.5.1. Einführung in Prozessverbesserungsmethoden	18
2.5.2. Lean Management	19
2.5.3. Six Sigma	20
2.5.4. Wertstrommanagement	22
3. Einblick in Factory Physics	33
3.1. Das EOQ-Model - Losgrößenoptimierung	33
3.2. Factory Physics Naturgesetze	35
3.2.1. Little's Gesetz	35
3.2.2. Die Kingman's Gleichung	36
4. Simulation in Produktion und Logistik	38
4.1. Definition Simulation	38
4.2. Simulationsarten und –ablauf	41

4.3. Anwendungsgebiete der Simulation	45
4.4. Daten im Rahmen einer Simulationsstudie	47
4.5. Simulation im Kontext der Optimierung	48
5. Prozessaufnahme bei der Boehringer Ingelheim microParts GmbH	50
5.1. Wertstromanalyse des Montageprozesses	50
5.1.1. Ermittlung der Produktvarianten	51
5.1.2. Analyse des Kundenbedarfs	52
5.1.3. Prozessmodellierung des Herstellungsprozesses	54
5.2. Belastungsstudie des Montageprozesses	60
5.3. Datenaufbereitung und -visualisierung zum Montageprozess	64
5.4. Verifikation und Validierung der Daten und des Modells	65
6. Konzeptentwicklung zu Prozessalternativen des Produktionsprozesses	68
6.1. Optimierungsansätze bezüglich des Montageprozesses	68
6.1.1. Optimierungsansätze zur Produktionsstruktur	69
6.1.2. Ansätze zur Optimierung der kapazitiven Dimensionierung	69
6.1.3. Optimierungsansätze zur Steuerung des Montageprozesses ...	70
6.1.4. Ansätze zur Optimierung der Produktionsplanung	70
6.2. Entwicklung möglicher Prozessalternativen bezüglich der Montage ...	71
6.3. Weitere Untersuchungen zur Entscheidungsunterstützung	71
7. Zusammenfassung und Ausblick	74
8. Literatur	75
Anhang (Sperrvermerk)	78
A. Analyse des Kundenbedarfs	79
B. Produktionsablauf der Montagelinie 3	80
C. Prozessmodellierung der Montagelinie 3	81
D. Belastungsstudie der Montagelinie 3	87
E. Datenaufbereitung der Rohdaten	88

F.	Entwicklung möglicher Prozessalternativen bezüglich der Montage .	100
1.	Bereits von der BImP entwickelte Prozessalternativen	100
2.	Entwicklung einer optimierten Produktionsstruktur.....	105
3.	Optimierung der Kapazitiven Dimensionierung	106
4.	Konzeption für eine optimierte Steuerung der Montage	108
5.	End-to-End Analyse der entwickelten Prozessalternative	109
6.	Risikoanalyse der Prozessalternativen	112
7.	Untersuchungen zur Entscheidungsunterstützung.....	113

Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 2.1: VERGLEICH ZWISCHEN 3-SIGMA UND SIX-SIGMA QUALITÄT [6]	22
ABBILDUNG 2.2: ERLÄUTERUNG WICHTIGER KENNZAHLEN [12]	30
ABBILDUNG 2.3: VERLUSTE IN EINER PRODUKTION UND VERANSCHAULICHUNG DER OEE-KENNZAHL [12]	31
ABBILDUNG 3.1: VERLÄUFE DER GRAPHEN NACH DEM EOQ-MODEL [15]	34
ABBILDUNG 4.1: ABLAUF EINER SIMULATIONSSTUDIE [4]	39
ABBILDUNG 4.2: DYNAMISCHES VERHALTEN EINES LAGERSYSTEMS [12]	41
ABBILDUNG 4.3: EINTEILUNG DER SYSTEME FÜR EINE SIMULATION [21]	42
ABBILDUNG 4.4: PHASEN EINER EREIGNISDISKRETEN SIMULATIONSSTUDIE NACH ASIM [22]	45
ABBILDUNG 4.5: IQ - DIMENSIONEN DER DGIQ [25]	48
ABBILDUNG 5.1: VERANSCHAULICHUNG DER VARIANTENVIELFALT [5]	51
ABBILDUNG 5.2: GERINGSTER DETAILLIERUNGSGRAD DES END-TO-END PROZESSES	56
ABBILDUNG 5.3: ERSTE STUFE DER TOP-DOWN MODELLIERUNG	57
ABBILDUNG 5.4: ENDGÜLTIGER DETAILLIERUNGSGRAD DES BETRACHTETEN MONTAGEPROZESSES	59
ABBILDUNG 5.5: VERANSCHAULICHUNG DES DURCHFLUSSES	61
ABBILDUNG 5.6: BEISPIELHAFTES TAKTABSTIMMUNGSDIAGRAMM INKLUSIVE DER OEE-VERLUSTE NACH [12]	64
ABBILDUNG 0.1: SCHNITTANSICHT DES RESPIMAT [5]	80
ABBILDUNG 0.2: WERTSTROMÜBERSICHT DER MIKROMONTAGE	85
ABBILDUNG 0.3: WERTSTROMÜBERSICHT DER ENDMONTAGE	86
ABBILDUNG 0.4: TAKTABSTIMMUNGSDIAGRAMM DER MONTAGELINIE 3 [5] NACH [12]	87
ABBILDUNG 0.5: AUSSCHUSSVERLAUF AN MODUL 2.7 [5]	89
ABBILDUNG 0.6: AUSSCHUSSVERLAUF AN MODUL 6 [5]	89
ABBILDUNG 0.7: AUSSCHUSSVERLAUF AN MODUL 7.5 [5]	90
ABBILDUNG 0.8: AUSSCHUSSVERLAUF AM MONTAGEMODUL 1.3 [5]	90
ABBILDUNG 0.9: AUSSCHUSS AM MONTAGEMODUL 3.4 [5]	91
ABBILDUNG 0.10: AUSSCHUSSVERLAUF AM MONTAGEMODUL 5 [5]	92
ABBILDUNG 0.11: AUSSCHUSSVERLAUF AM MONTAGEMODUL 8 [5]	92
ABBILDUNG 0.12: OEE-VERLAUF AN MODUL 1.3 [5]	93
ABBILDUNG 0.13: OEE-VERLAUF AN MODUL 3.4 [5]	94
ABBILDUNG 0.14: OEE-VERLAUF AN DEN MODULEN 5, 6 UND 7.3 [5]	94
ABBILDUNG 0.15: OEE-VERLAUF AN MODUL 8 [5]	95
ABBILDUNG 0.16: FREIGABEDAUER DER ENDKONTORLE [5]	96
ABBILDUNG 0.17: BESTANDSMENGE UNTERSCHIEDEN NACH STATUS DER FREIGABE [5]	97
ABBILDUNG 0.18: ZYKLUSZEIT-VERLAUF VON MODUL 2 [5]	98
ABBILDUNG 0.19: ZYKLUSZEIT-VERLAUF AN MODUL 7.5 [5]	99

<i>ABBILDUNG 0.20: BOX-PLOT ÜBER DIE SCHWANKUNGEN DER ZYKLUSZEITEN [5].....</i>	<i>100</i>
<i>ABBILDUNG 0.21: ERSTE OPTIMIERTE PROZESSALTERNATIVE DER BIMP ALS 2 JAHRESZIEL [5].....</i>	<i>102</i>
<i>ABBILDUNG 0.22: ENTWICKELTE PROZESSALTERNATIVE DER BIMP ALS 4 JAHRESZIEL [5].....</i>	<i>103</i>
<i>ABBILDUNG 0.23: OPTIMALE ZUKUNFTSVERSION ASU SICHT DER BIMP [5].....</i>	<i>104</i>
<i>ABBILDUNG 0.24: ENTWICKELTE PROZESSALTERNATIVE MIT STEUERUNGSPRINZIP</i>	<i>111</i>

Formelverzeichnis

FORMEL 2.1: FORMEL ZU ERMITTLUNG DER REICHWEITE [12].....	31
FORMEL 3.1: EOQ GESAMTKOSTEN [15].....	33
FORMEL 3.2: OPTIMALE LOSGRÖßE [15]	34
FORMEL 3.3: FORMEL FÜR DEN „WIP“ [5]	35
FORMEL 3.4: WARTEZEIT AUFGRUND DES EINFLUSSES DER VARIABILITÄT UND DER AUSLASTUNG [14]	36
FORMEL 5.1: FORMEL ZUR BERECHNUNG DES KUNDENTAKTS [12].....	52
FORMEL 5.2: ZYKLUSZEITVERLUST INFOLGE VON QUALITÄTSDEFIZITEN.....	62
FORMEL 5.3: FORMEL FÜR DIE GUTAUSBEUTE	62

Tabellenverzeichnis

<i>TABELLE 3.1: EINFLÜSSE DER VARIABILITÄT NACH [15].....</i>	<i>37</i>
<i>TABELLE 5.1: PRODUKTVARIANTENMATRIX [5]</i>	<i>51</i>
<i>TABELLE 0.1: BERECHNUNG VERSCHIEDENER KUNDENTAKTE DURCH PARAMETERVARIATION [5]</i>	<i>79</i>
<i>TABELLE 0.2: BEDARF AN MEHRPRODUKTION DURCH NACHGELAGERTE AUSSCHÜSSE</i>	<i>88</i>

1. Einleitung

Der immer größer werdende Wettbewerbsdruck industriell produzierender Unternehmen, führt zu wachsenden Anforderungen, die Produktion sowie die begleitenden Prozesse zu optimieren, um damit Kosten zu reduzieren, Qualität zu steigern und Zeit einzusparen. Zudem erfordert die steigende Variantenvielfalt sowie die zunehmende Marktdynamik eine größere Flexibilität der gesamten Produktionskette eines Unternehmens [1]. Dies hat zur Folge, dass Produktionsprozesse einem stetigen Verbesserungsbedarf unterliegen. Um Prozessverbesserungen zu erzielen, werden Managementphilosophien, wie beispielsweise Lean und Six Sigma, angewendet. Sie verfolgen das Ziel, Prozesse noch effektiver und noch effizienter zu gestalten, um Kosten-, Zeit- und Qualitätsziele zu erreichen [2].

Im Geschäftsprozessmanagement, in das auch Lean und Six Sigma einzuordnen sind, werden grundlegende Vorgehensweisen zur Prozessverbesserung angewendet. Die Vorgehensweise kann grob in die Phasen Planung, Umsetzung, Überprüfung und Stabilisierung aufgeteilt werden, in denen verschiedene Methoden und Werkzeuge verwendet werden. Beispielsweise wird versucht, abstrahierte Modelle analytisch mithilfe von mathematischen Gleichungen auszudrücken, die jedoch meist nur der Annahme eines statischen Prozesses genügen. Eine bewährte Methodik zur Bewertung dynamischer Systeme, bei denen analytische Methoden sehr komplex werden oder an ihre Grenzen stoßen, ist die Simulation [3]. Eine Simulation bietet dabei eine Entscheidungsunterstützung bei der Auswahl „*mehrerer Systemvarianten unterschiedlicher Struktur und unterschiedlichen Verhaltens an*“ [3, 4]. Um Experimente zur Optimierung durchzuführen, muss ein Soll-Prozess oder eine geplante Fabrik noch nicht einmal existieren. Ein produzierendes Unternehmen spart damit Zeit und Kosten ein, sodass ein Wettbewerbsvorteil entsteht.

Dem Anliegen dieser Arbeit liegt das Bedürfnis eines Unternehmens zugrunde, welches eine Entscheidungsunterstützung für Optimierungen nutzen möchte. In diesem Kontext hat die Boehringer Ingelheim Human Pharma Supply Deutschland (HPSG) Anfang 2016 eine Prozesskettenübergreifende Optimierung, mit den Zielen einer Effizienzsteigerung und einer Erhöhung der

Flexibilität, begonnen. Bei der Boehringer Ingelheim microParts (BlmP) GmbH in Dortmund wurden dazu Optimierungen gemäß des Lean Managements und des Wertstromdesigns entwickelt, welche durch eine Simulation als Entscheidungsunterstützung bewertet werden sollen [5]. Daher soll aus Sicht von BlmP zunächst untersucht werden, ob eine Simulation sinnvoll ist und falls dies zutrifft, welche Arten von Simulationen dafür in Frage kommen.

Daraus ergibt sich das Ziel der vorliegenden Arbeit, eine Prozessaufnahme durchzuführen und zu entscheiden, ob eine Simulation zur Entscheidungsfindung beim vorliegenden Prozess sinnvoll ist. Dafür ist zunächst eine Prozessaufnahme durchzuführen. Denn später sollen Konzepte zu möglichen Prozessalternativen unter Betrachtung der Gesamtabläufe beschrieben werden. Im Anschluss sollen Risiken aufgezeigt werden, wenn die Abläufe dementsprechend geändert würden. Zuletzt soll eine Konzeption zur Entscheidung weiterer erforderlicher Untersuchungen erarbeitet werden. Das grundsätzliche Vorgehen orientiert sich am DMAIC-Zyklus von Six Sigma (vgl. Unterkapitel 2.5.3).

Zunächst wird ein Einblick in das Geschäftsprozessmanagement gegeben (vgl. Kapitel 2). Darin werden die Organisation und einzelne Prozessverbesserungsmethoden vorgestellt. Eine vorgestellte Methode wird später benutzt, um den Ist-Zustand eines Herstellungsprozesses zu charakterisieren und im Anschluss zu optimieren.

Da die BlmP das Thema Factory Physics für ihre optimierten Alternativen genutzt hat, wird es in Kapitel 3 kurz vorgestellt. Dabei werden nur die wichtigsten Abschnitte aus dem erwähnten Thema eingeführt, welche für den weiteren Verlauf dieser Arbeit relevant sind.

Damit entschieden werden kann, ob eine Entscheidungsunterstützung mittels einer Simulation sinnvoll ist, muss festgestellt werden, ob bestimmte Faktoren für eine Verwendung vorliegen. Daher wird der Begriff Simulation in Kapitel 4 zunächst definiert und erläutert. Es wird anschließend geklärt, in welchen Anwendungsbereichen eine Simulation eingesetzt werden kann. Darüber hinaus wird die Stellung der Simulation in den Kontext der Optimierung eingeordnet, um beantworten zu können, inwiefern eine Simulation innerhalb einer Optimierung genutzt werden kann.

Danach erfolgt in Kapitel 5 eine Prozessaufnahme anhand eines Herstellungsprozesses von Inhalatoren. Mithilfe einer Wertstromanalyse wird der vorliegende Ist-Zustand des Prozesses ermittelt. Während der Prozessaufnahme wird ebenfalls die Auslastung des Prozesses analysiert. Die darauffolgende Prozessoptimierung wird in Kapitel 6 beschrieben und im Anhang durchgeführt. Hier wird ein Soll-Prozess mit Hilfe des Wertstromdesigns erstellt. Nach der Entwicklung von Konzepten zu möglichen Prozessalternativen, werden die gegebenenfalls daraus resultierenden Risiken analysiert. Ferner wird die Frage beantwortet, ob und in welchem Umfang es sinnvoll ist, eine Simulation durchzuführen, falls dynamisches Verhalten im untersuchten Produktionsprozess vorliegt und somit für die Entscheidungsfindung optimaler Lösungen maßgeblich wäre. Abgeschlossen wird mit einem Ausblick, einer Zusammenfassung und einem Fazit (vgl. Kapitel 6).

2. Einführung in das Geschäftsprozessmanagement

Zur Einordnung des Themenbereiches in das Geschäftsprozessmanagement bedarf es einer Erläuterung des letzteren. Somit beschreibt dieses Kapitel das Geschäftsprozessmanagement sowie deren Optimierungsansätze. Dafür wird in Unterkapitel 2.1 zunächst die Begrifflichkeit Geschäftsprozessmanagement erläutert, bevor der Begriff Prozess im Bereich Produktion und Logistik in Unterkapitel 2.2 beschrieben wird. Eine Vorstellung der Organisationformen wird in Unterkapitel 2.3 vermittelt. Nach einer Einführung werden Prozessverbesserungsmethoden zur Erzielung von Prozessverbesserungen vorgestellt (Unterkapitel 2.5).

2.1. Definition Geschäftsprozessmanagement

Der Begriff Geschäftsprozessmanagement setzt sich aus den drei Worten Geschäft, Prozess und Management zusammen. Somit sorgt es dafür, dass alle zum Geschäft gehörenden Prozesse geleitet werden. Das heißt, dass sich das Prozessmanagement mit der Identifikation, Gestaltung, Dokumentation, Implementierung, Steuerung und Verbesserung von Geschäftsprozessen auseinandersetzt [6]. Koch definiert den Begriff als *„die systematische Gestaltung, Steuerung, Überwachung und Weiterentwicklung der Geschäftsprozesse eines Unternehmens. Es umfasst das strategische Prozessmanagement, den Prozessentwurf, die Prozessimplementierung und das Prozesscontrolling“* [7].

2.2. Prozesse in Produktion und Logistik

Der Begriff Prozess wird im Kontext der Produktion als *„inhaltlich abgeschlossene, zeitliche und sachlogische Folge von Aktivitäten, die zur Bearbeitung eines betriebswirtschaftlich relevanten Objektes notwendig sind“* [6] definiert. Das bedeutet, dass die industrielle Herstellung eines Produktes, wie zum Beispiel ein Montageprozess, als Abfolge beschrieben wird, dessen Ziel es ist, auf wirtschaftlicher Basis Form und Wert insofern zu verändern, dass Kunden bereit sind, die Kosten für den Erwerb des Produktes zu tragen. Wie in einem Montageprozess können auch mehrere Objekte einfließen, wobei das fertig

montierte Objekt einen größeren Wert haben muss als die Summe der einzelnen Werte. Ansonsten wäre der Aspekt der Wirtschaftlichkeit nicht erfüllt [6]. Insgesamt lässt sich ein Prozess in die 5 Elemente Lieferant, Input, spezifischer Prozess, Output und Kunde unterteilen [2].

Da der Schwerpunkt dieser Arbeit auf dem Themenbereich der Produktion und Logistik liegt, werden auch diese Begriffe im Sachzusammenhang erläutert. Die Begrifflichkeiten Produktion und Logistik beschreiben "Fertigungs-, Montage-, sowie Produktionseinrichtungen einschließlich ihrer Prozesse sowie allen dazugehörigen Aufgaben der Beschaffungs-, Produktions- und Distributionslogistik" [3]. Physikalisches, kinematisches sowie kinetisches Verhalten, wie zum Beispiel das Urformen, gehören nicht in diesen Kontext [8].

Im Bereich der Produktion und Logistik wird auch der Begriff Supply Chain oft genannt. Supply bedeutet etwas versorgen, liefern oder etwas bereitstellen, sowie Informationen über etwas geben. Chain wird mit Kette ins Deutsche übersetzt. Supply Chain beschreibt eine Produktionskette, die ein bestimmtes Endprodukt (Output) aus eingehenden Ressourcen und Informationen (Input) liefert und dabei selbst Informationen ausgibt [2].

2.3. Prozessorganisationsformen

In der Vergangenheit wurden in den Funktionsbereichen nur einzelne Funktionen lokal optimiert. Somit wurde der Zusammenhang vernachlässigt, weshalb Kostenverluste aufgrund von Abstimmungsdefiziten hingenommen werden mussten [7]. Daher gilt nun der Verbesserung des Gesamtsystems eine hohe Aufmerksamkeit. Daher wurde die Begrifflichkeit „Prozessorganisation“ eingeführt.

Der Unterschied der Betrachtungsweisen ist in Abbildung 2.1 dargestellt. Letztere stehen laut Abbildung 2.1 orthogonal aufeinander. Anstatt von Funktionszielen werden nun Prozessziele verfolgt. Ein Vorteil der Betrachtungsweise ist die Sicht aus Kundenperspektive. Dieses Umdenken führt gleichzeitig zu weiteren Vorteilen, weil man nun individuellere Produkte herstellen, Produktlebenszyklen verkürzen, Personalkosten für die Koordination

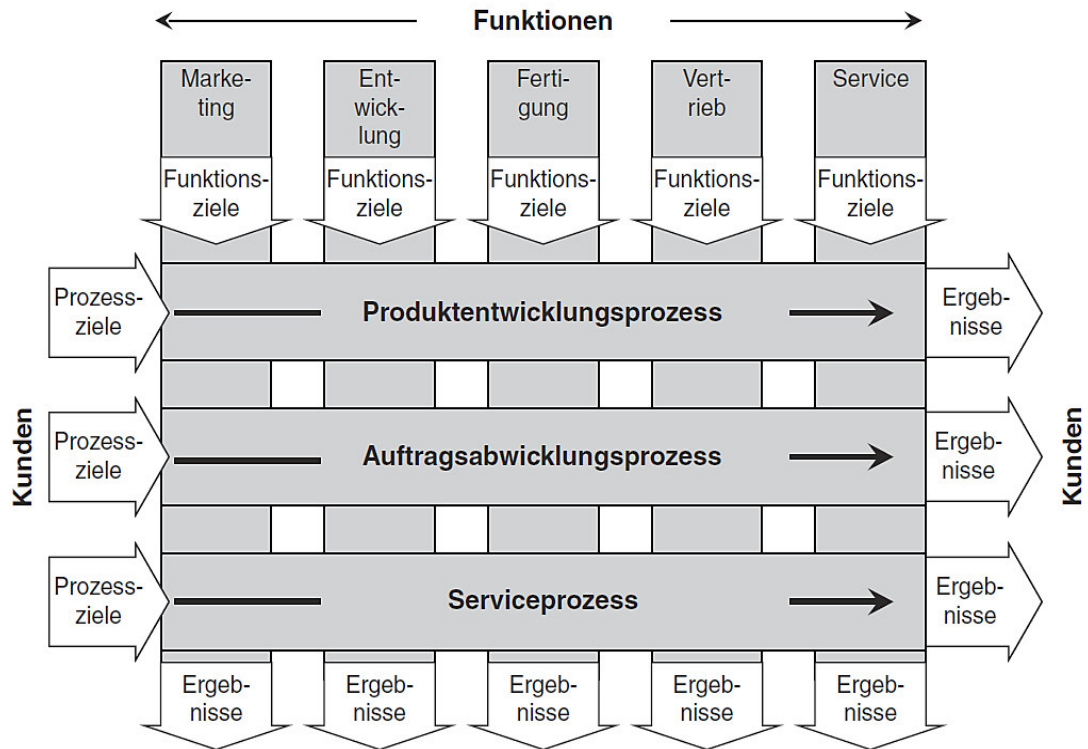


ABBILDUNG 2.1: LAGE VON PROZESS- UND FUNKTIONSORGANISATION ZUEINANDER [7]

einsparen und Informations- und Kommunikationstechnologie (EDV) besser nutzen kann. Aus dieser Veränderung entstand der Leitspruch, „Nicht die Großen besiegen die Kleinen, sondern die Schnellen die Langsamen“ [7], aufgrund der schnelleren, flexibleren, kostengünstigeren und vor allem fehlerfreieren Prozesse [7].

Unterschiede ergeben sich nach Koch (2015) in folgenden Bereichen:

Funktionsorganisation	Prozessorganisation
Vertikale Ausrichtung	Horizontale Ausrichtung
Starke Arbeitsteilung	Arbeitsintegration
Verrichtungsorientiert	Objektbearbeitung
Tiefe Hierarchie	Flache Hierarchie
Abteilungsziele	Prozessziele
Ziel: Kosteneffizienz	Ziel: Kundenzufriedenheit und Produktivität
Zentrales Fremdcontrolling	Dezentrales Selbstcontrolling
Redundanzen in der Abwicklung	Kontinuierliche Verbesserung
Komplexität	Konzentration auf Wertschöpfung

TABELLE 2.1: UNTERSCHIEDE DER ORGANISATIONSFORMEN NACH KOCH [7]

2.4. Geschäftsprozessmodellierung

Die Geschäftsprozessmodellierung ist ein wichtiger Teil des Geschäftsprozessmanagements, bei der mithilfe von Modellen versucht wird, Prozesse systematisch zu visualisieren [7]. Solche Prozessmodelle sind Abstraktionen eines Prozesses mit unterschiedlichem Detaillierungsgrad, um sie vereinfacht darstellen zu können [7]. Folglich muss zu Anfang abgewogen werden, wie genau ein Modell sein soll, da die Genauigkeit a priori festgelegt wird [6].

Die Modellierung wird angewendet, um komplexe Systeme beschreiben und zu Untersuchungszwecken nutzen zu können. Wie in Unterkapitel 2.3 beschrieben, wird die Prozessorganisation betrachtet. Das Modell soll auf der einen Seite dem realen System möglichst nahekommen und auf der anderen Seite möglichst einfach sein [9]. Außerdem kann der Fokus auf interessante Bereiche gelegt werden können.

Das Aufstellen eines Modells kann verschiedene Zwecke erfüllen. Es sollte Mehrbenutzerfähigkeit, Anpassbarkeit an das Unternehmen, Benutzerfreundlich, Variantengerechtigkeit, einen Standard und

Projektkonventionen gewährleisten [6]. Im Folgenden werden einige Ziele der Prozessmodellierung aufgezählt [6, 7]:

- Transparenz
- Fehlervermeidung
- Kosteneinsparpotentiale erkennen
- Softwareauswahl und –entwicklung
- Objektivität
- Benchmarking
- Formalisierung
- Prozessoptimierung
- Vorbereitung für Simulationen
- Zertifizierungen

Um Fehler auszuschließen und so eine hohe Qualität der Modellierung zu gewährleisten werden nach Koch folgende Grundsätze aufgestellt, die erfüllt sein sollten [7]:

- Richtigkeit
- Relevanz
- Wirtschaftlichkeit
- Klarheit und Vergleichbarkeit
- Systematischer Aufbau

Es gibt drei verschiedene Modellierungstechniken, um Prozessmodelle aufzustellen, welche auf gleicher Detaillierungsebene alle zu demselben Ergebnis führen. Die erste Möglichkeit ist der Top-Down-Ansatz. Dieser teilt das System in Schnittstellen ein, sodass die Komponenten selbst und deren Teilsysteme modelliert werden können.

Bei der zweiten Variante, dem Bottom-Up, werden geschlossene Elemente, wie zum Beispiel die Montage einer Baugruppe, abgebildet, damit die Elemente einzeln, sowie das interferierende Gesamtsystem getestet werden können.

Die letzte Vorgehensweise, das Middle-Out, modelliert nur besonders kritische Systemabschnitte, bei denen beispielsweise ein Engpass besteht.

In der Praxis wird meist ein Kompromiss aus den ersten beiden Konzepten angewendet, indem das System zunächst nach dem Top-Down

Ansatz aufgeteilt wird und dann die Modelle nach der Bottom-up Methodik aufgebaut werden [8].

2.5. Grundlagen der Prozessverbesserungsmethoden

In diesem Unterkapitel wird mit einer allgemeinen Einführung in Prozessverbesserungsmethoden (Abschnitt 2.5.1) gestartet. Danach wird das Lean-Management in Abschnitt 2.5.2 vorgestellt. Im nächsten Abschnitt wird die Prozessverbesserungsmethode Six Sigma beschrieben (Abschnitt 2.5.3). In diesem Zusammenhang werden die Ansätze Prozessverbesserung und Prozesserneuerung voneinander abgegrenzt. Das Wertstrommanagement wird in Abschnitt 2.5.4 ausführlich vorgestellt, da es später für die Prozessaufnahme und die Entwicklung optimierter Prozessalternativen genutzt wird.

2.5.1. Einführung in Prozessverbesserungsmethoden

Grundsätzlich wird zwischen Prozessverbesserungs- und Prozesserneuerungsmethoden unterschieden. Letztere werden vornehmlich bei einer Neukonstruktion von Prozessen angewendet. Der Unterschied zwischen Prozessverbesserung und -erneuerung besteht in der kontinuierlichen Leistungsverbesserung im Gegensatz zum einmaligen Leistungssprung [7].

Prozessverbesserungsmethoden versuchen Zeit, Qualität und Kosten parallel zu optimieren, auch wenn diese Ziele miteinander konkurrieren. Ein Beispiel für solche Zielkonflikte ist ein hoher Lagerbestand, um dem Kunden eine hohe Liefertreue zu gewährleisten. Dies führt jedoch zu steigenden Kosten für den Lagerbedarf [6].

Alle Verbesserungsmethoden basieren auf einem systematischen Vorgehensmodell, das auf den PDCA-Zyklus (Plan-Do-Check-Act) als Ursprung zurückzuführen ist. Dieser Zyklus wurde von Deming in den 1950er Jahren formuliert und versteht sich als kontinuierlicher Verbesserungsprozess [11]. Aus diesem Grundgedanken entwickelte sich beispielsweise der DMAIC-Zyklus (**D**efine-**M**easure-**A**nalyse-**I**mprove-**C**ontrol), die als Vorgehen im Six-Sigma Verbesserungsprozess angewendet wird (siehe Abschnitt 2.5.3) [7]. Der grundlegende Unterschied von Lean und Six Sigma sind die Optimierungsziele, nämlich die Stabilität des Prozesses bei Lean im Gegensatz zur Prozessfähigkeit

im Rahmen von Six Sigma. Die Unterschiede werden im nachfolgenden Abschnitt näher erläutert.

2.5.2. Lean Management

Die stetige Verbesserung interner Prozesse wurde von japanischen Firmen nach dem zweiten Weltkrieg eingeführt und fortlaufend als selbstverständlich angesehen. Kontinuierliche Verbesserung zum besseren hin wird ins japanische mit Kaizen übersetzt [7, 10]. Kaizen wurde als Führungsphilosophie eingeführt, die eine Vorreiterrolle für Managementmethoden zur Prozessverbesserung einnimmt, da diese Philosophie als eine der ersten einen kontinuierlichen Verbesserungsprozess (KVP) anstrebt [7, 11]. Diese Prozessverbesserungsmethode legt den Grundstein für viele andere Prozessoptimierungskonzepte, weshalb Kaizen anschließend vorgestellt wird [10].

Kaizen ist auf das Toyota Produktionssystem zurückzuführen, aus dem auch das Just-in-Time (JIT) Konzept zur zeitgerechten Anlieferung hervorgegangen ist [11]. Die historische Entwicklung begann bereits Ende des 19. Jahrhunderts in den USA. Schließlich überlieferte W. E. Deming in den 1950ern Jahren den PDCA-Zyklus (Plan-Do-Check-Act) in das durch in Folge der Wirtschaftslage leidende Japan [11]. Der Zyklus gilt als einer der ersten kontinuierlichen Verbesserungszyklen. Diese Grundlage nutzte das Toyota Produktionssystem und führte Kaizen als stetige Verbesserungsphilosophie ein, woraus auch das Lean Management entstand [10, 11]. Der Begriff „schlanke Produktion“, bekannt als Lean Production, beschreibt einen *„sparsamen und zeiteffizienten Einsatz der Produktionsfaktoren Betriebsmittel, Personal, Werkstoffe, Planung und Organisation bei allen Unternehmensaktivitäten“* [7]. Kaizen ist ein Teil des Lean Managements, da die grundlegenden Prinzipien aus Kaizen heute im Lean-Management und in anderen Methoden angewendet werden.

Das Ziel des Lean-Managements ist die Identifizierung von Verschwendung, diese zu gewichten und auf Prozess- oder Arbeitsebene abzustellen, indem die nicht wertschöpfenden Tätigkeiten (Verschwendung) der

Kapazitäten Mensch, Material und Maschine minimiert werden [7]. Dazu wurden sieben Verschwendungsarten definiert, auf die der Fokus gelegt wird [7]:

1. Überproduktion
2. Unnötige Bewegungsabläufe
3. Wartezeiten
4. Arbeitsprozesse
5. Produktionsfehler (Nacharbeit)
6. Überflüssige Transporte
7. Hohe Materialbestände

Zum besseren Verständnis werden einige oben aufgeführten Punkte näher betrachtet.

Bei einer Überproduktion entstehen vielfältige Kostentreiber. Denn für die überschüssigen Materialien müssen Lagerplätze bereitgestellt werden. Dies führt ebenfalls zu einem größeren Transportbedarf, denn Fahrer und Transporter werden benötigt, was zu steigenden Kosten führt. Darüber hinaus verursacht eine Überproduktion eine negative Auslastung, sowie Qualitätsprobleme [7].

In Bezug auf die hohen Materialbestände entstehen erheblich längere Durchlaufzeiten, da lange Wartezeiten auf das Material in den Zwischenlagern zwischen den Prozessschritten zukommen [7].

Das Lean Management führt den Verbesserungsgedanken anderer Methoden weiter, indem die gesamte Wertschöpfungskette inklusive Zulieferer und Kunde betrachtet wird (Prozessorganisation). Damit lassen sich Transport und Terminabstimmungen optimieren, damit kurzfristig und in kleinen Losgrößen gefertigt werden kann, um Kosten und Zeit einzusparen. Außerdem werden die Prozesse dezentralisiert und simultanisiert [7].

2.5.3. Six Sigma

Six Sigma ist nicht nur eine Prozessverbesserungsmethode zur Prozessverbesserung, sondern darüber hinaus auch ein Prozessziel sowie eine statistische Messgröße [2]. Six Sigma ist insofern eine statistische Größe, als dass sie in Bezug auf die Gauß'sche Normalverteilung ein Maß für die Prozessgüte für die sogenannte Glockenkurve angibt. Denn Sigma ist die Standardabweichung der Normalverteilung, welche die Wahrscheinlichkeit für die

Lage von Werten innerhalb eines Intervalls angibt. Sie ist daher ebenfalls ein Merkmal für die Streuung um den arithmetischen Mittelwert [9].

Six Sigma-Qualität bedeutet, dass der Abstand zwischen dem Mittelwert und den Prozessgrenzen sechs Mal der Standardabweichung entspricht (vgl. Abbildung 2.3) [6]. Wie in Abbildung 2.2 zu erkennen ist, wird die Normalverteilung mit zunehmendem Sigma-Niveau immer schmaler. Das bedeutet, dass die Werte insgesamt näher am Mittelwert liegen, sodass Prozessschwankungen abnehmen. Zum anderen wird die Fläche als Indikator für die Fehleranzahl außerhalb der Spezifikationsgrenzen mit zunehmendem Qualitätsniveau kleiner (vgl. Abbildung 2.3).

Üblicherweise wird eine Prozessgüte bzw. Prozessqualität als Fehler pro eine Million hergestellter Produkte ausgedrückt. Geht man von einem Prozess aus, der die Six Sigma-Qualität erfüllt, liegen nur 3,4 Defekte bei einer Million hergestellter Produkte vor [2]. Insofern entspricht Six Sigma auch einem Prozessziel, dem Erreichen einer Null Fehler Qualität [7].

Für Six Sigma als Prozessverbesserungsmethode wurde ein Vorgehensmodell entwickelt, welches sich in 5 Phasen untergliedern lässt. Diese Einteilung ist unter der DMAIC-Zyklus bekannt (Define-Measure-Analyze-Improve-Control). In der Define Phase werden die zu optimierenden Prozesse festgelegt, sowie ein Projektteam und ein Zeitplan definiert [6]. Mit speziellen Werkzeugen werden außerdem die Kundenanforderungen bestimmt.

In der Measure Phase wird der Ist-Zustand ermittelt, indem unter anderem die Fehlerrate gemessen wird. Darauf folgt die Analyse Phase, in der Schwachstellen und Verbesserungspotentiale ermittelt werden.

Das Umsetzen der Verbesserungskonzepte findet in der Improve Phase statt. Vor allem wird hierbei der Kosten-Nutzen Aspekt betrachtet.

In der abschließenden Control Phase wird der Prozesserfolg überprüft. Der Prozess wird weiterhin stetig überwacht [6, 7]. Der DMAIC-Zyklus wird in „normalen“ Six Sigma Projekten eingesetzt. Bei einem Engpass der Ressource Zeit werden weniger zeitaufwändige und weniger komplexe Tools eingesetzt (vgl. Abbildung 2.4). Die Zyklen unterscheiden sich in den jeweils eingesetzten Tool-Boxen. Für eine Prozesserneuerung ist der sogenannte

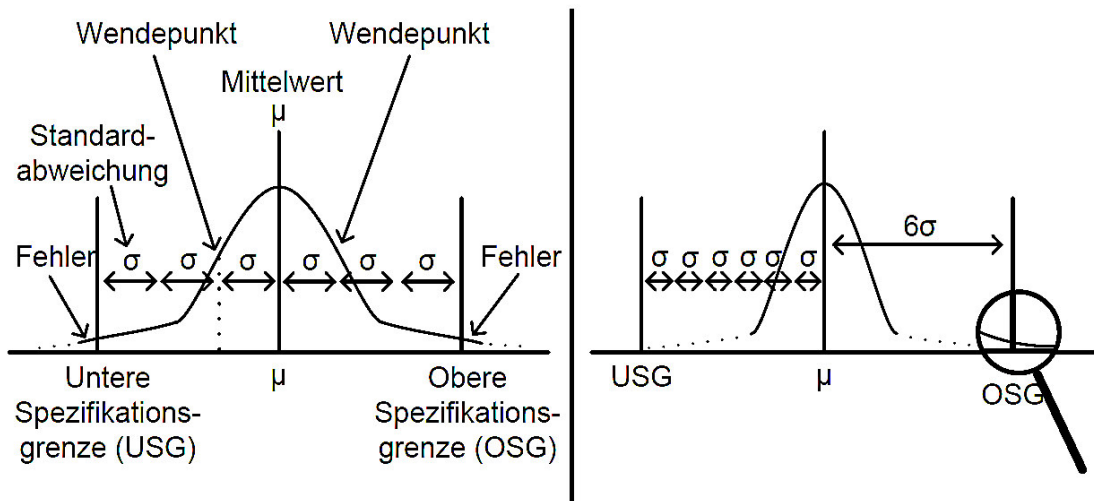


ABBILDUNG 2.1: VERGLEICH ZWISCHEN 3-SIGMA UND SIX-SIGMA QUALITÄT [6]

DMADV-Zyklus (Define-Measure-Analyse-Design-Verify konzipiert worden. Dieser wird hier jedoch nicht betrachtet. Dieser Zyklus ist laut Abbildung 2.4 auch der komplexeste und zeitaufwändigste.

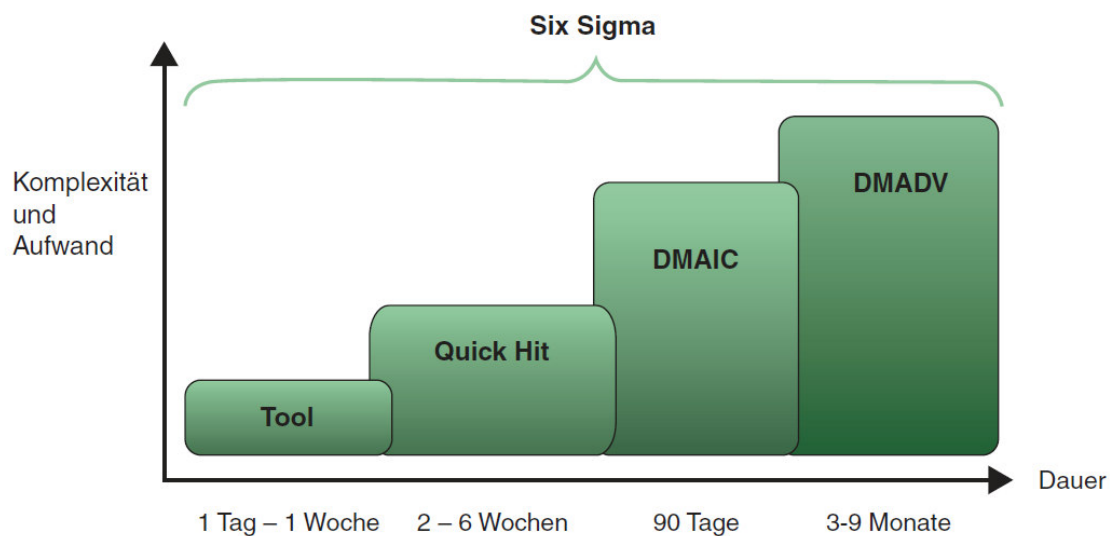


ABBILDUNG 2.3: DIE VERSCHIEDENEN ZYKLEN VON SIX SIGMA IM VERGLEICH [7]

2.5.4. Wertstrommanagement

Das Wertstrommanagement ist eine Methodik zur Optimierung des Wertstroms [12]. Der Ursprung der Wertstromanalyse liegt im Toyota

Produktionssystem. Es wurde entwickelt, um den *Material- und Informationsfluss* zu verbessern [2]. Die einfache Darstellung mittels Symbolen dient darüber hinaus zur Transparenz, damit Mitarbeiter über Prozessverbesserungen informiert werden können. Denn ein wichtiger Grundsatz vieler Managementphilosophien ist die Einbeziehung aller Prozessbeteiligten [2, 7]. Der Prozess soll wie beim Lean-Management durch die Vermeidung von Verschwendungen optimiert werden [7].

Insgesamt lässt sich das „Wertstrommanagement“ in die drei folgenden Phasen einteilen [12]:

1. Wertstromanalyse: Prozessaufnahme mit Datenerfassung und Visualisierung des Wertstromes (Ist-Stand)
2. Wertstromdesign: Konstruktion eines wertstromoptimierten Prozesses durch Reduzierung von Verschwendungen (Soll-Zustand)
3. Wertstromplanung: kontinuierliche Verbesserung des Produktionsprozesses

Die Wertstromanalyse nimmt den momentanen Zustand eines Prozesses auf [7]. Das Ziel ist eine transparente Visualisierung des Prozesses mit vorher festgelegtem Detaillierungsgrad (vgl. Abbildung 2.5) [2]. Die Abbildung 2.5 zeigt, wie eine Top-Down Modellierung abläuft. Eine Lupe wird an den zu betrachtenden Prozessabschnitten angesetzt, sodass diese auf anderer Ebene weiter modelliert werden können. Die Vorgehensweise einer Wertstromanalyse ist klar definiert und lässt sich in die nachfolgenden Schritte unterteilen (nach Rother Erlach und [12, 13]):

- 1.1 Aufstellen der Produktfamilienbildung
- 1.2 Kundenbedarfsanalyse anfertigen
- 1.3 Durchführung der Wertstromaufnahme
- 1.4 Auswertung der Verbesserungspotentiale

Zuerst wird das Produktionsprogramm in der Regel mittels einer Produktmatrix bestimmt. So kann erkannt werden, worin sich die hergestellten Produkte unterscheiden. Mithilfe der Kundenbedarfsanalyse können der erforderliche Kundentakt sowie die Lieferfrequenz bestimmt werden [2]. Bei der Wertstromaufnahme gibt es eine Symbolkonvention, welche die Erfassung des

Wertstroms vereinheitlicht. Letztere beginnt mit der Schnittstelle zum Kunden [12, 13]. Daraufhin wird der Strom flussaufwärts bis zum Zulieferer anschaulich

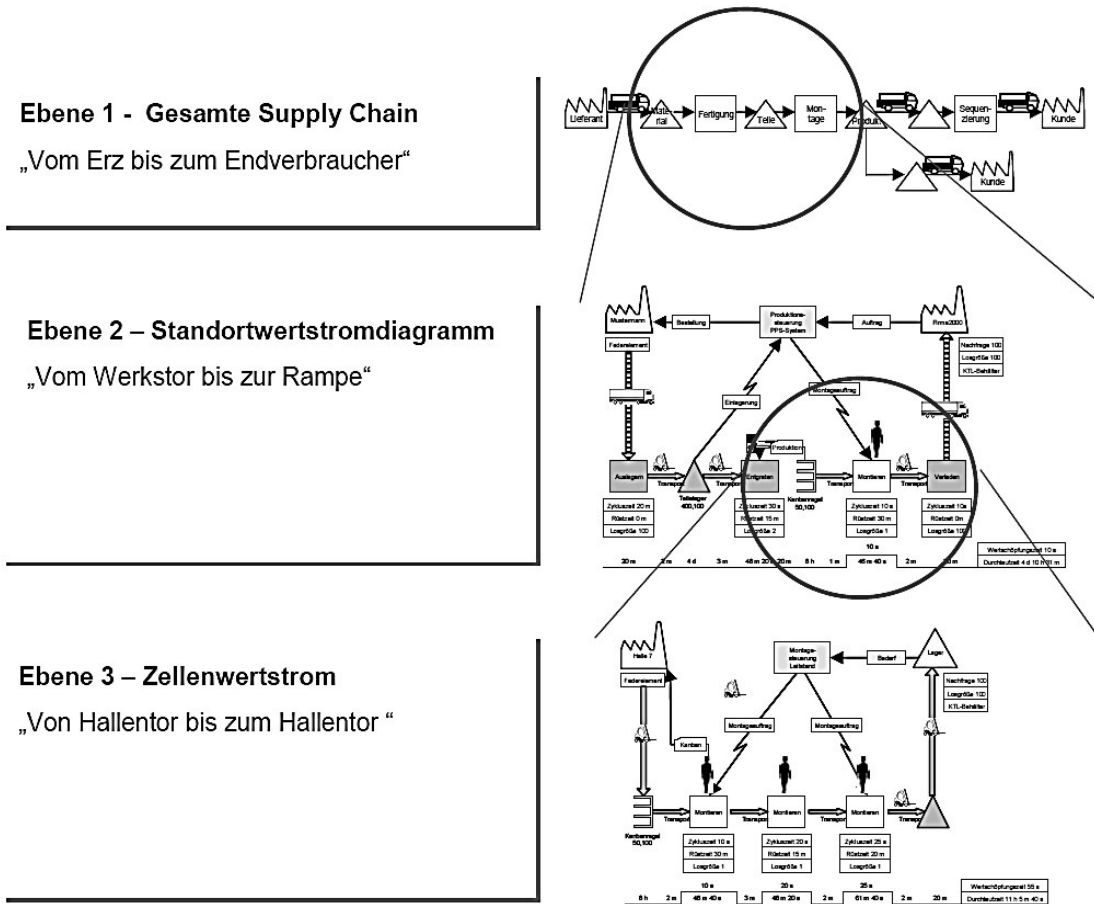


ABBILDUNG 2.4: VERSCHIEDENE DETAILLIERUNGSGRAD BEI DER TOP-DOWN MODELLIERUNG [2]

visualisiert (vgl. Abbildung 2.6). Wichtige Kennwerte wie die Reichweite oder die Zykluszeit werden in das Schema eingetragen. Zuletzt werden Verbesserungspotentiale ermittelt, damit ein „flussgerechter, effizienter und kundenorientierter Wertstromfluss“ [7] erreicht wird.

In der zweiten Phase, dem Wertstromdesign, soll ein in der Effizienz und Kundenorientierung optimierter Zielzustand des Produktionsprozesses erarbeitet werden [7, 12]. Dies soll durch die Reduktion von Verschwendungen erreicht werden.

Um Verschwendungen zu minimieren, werden diese in acht verschiedenen Arten unterteilt nach [12, 13]:

- Überproduktion: Produktion über den Marktbedarf hinaus, sowie sich stark unterscheidende Zykluszeiten
- Lagerhaltung: Hohe Bestände erhöhen Kosten für Lagertechnik, Flächenbedarf, Personalaufwand, die Verwaltung und das Veraltungsrisiko
- Transport: Erhöhter logistischer Aufwand durch ungünstiges Fabriklayout und Auftragsunterbrechung
- Schlechteile: Qualitätsdefizite müssen nachbearbeitet oder aussortiert werden und führen zu erhöhten Kosten
- Bewegung: Effizienzverlust durch ungünstige ergonomische Rahmenbedingungen wegen schlechter Arbeitsplatzgestaltung
- Bearbeitung: *„Ungünstige Bearbeitungsprozesse wie unpassender Automatisierungsgrad zur Produktvarianz“*
- Wartezeit: Beispielsweise warten auf Material
- Auftragsabwicklung: Durch Informationsflussprobleme

Nachdem Verschwendungen aufgedeckt wurden, wird die Neugestaltung des Prozesses anhand folgender fünf Schritte vorgenommen [12]:

1. Produktionsstrukturierung: Bilden von Produktionssegmenten
2. Kapazitätsdimensionierung: Kapazitive Auslegung nach dem Kundentakt
3. Produktionssteuerung: Logistische Verknüpfung hin zum Schrittmacher Prozess
4. Produktionsplanung: Planung und Freigabe von Aufträgen gestalten
5. Verbesserungsmaßnahmen: *„Umsetzungsplanung“*

Im Anschluss an die fünf genannten Schritte sollte eine Realplanung (inklusive Umsetzung) erfolgen. Die Wertstromplanung findet im Anschluss an die Optimierung statt und sorgt für die stetige Verbesserung des Prozesszustandes [12].

Um weitere Ansätze zur Verbesserung des Wertstroms vorstellen zu können, werden die dafür benötigten Begrifflichkeiten erläutert.

Zunächst wird der Begriff Supermarkt-Pull-System erläutert. Wie der Name schon sagt, besteht das System aus einem Lager in Form eines Supermarktes, an dem benötigte Teile bereitgestellt werden. Das „Pull-Prinzip“ beschreibt, dass der Teileverbrauch des Lagers vom Bedarf der nächsten Station abhängt.

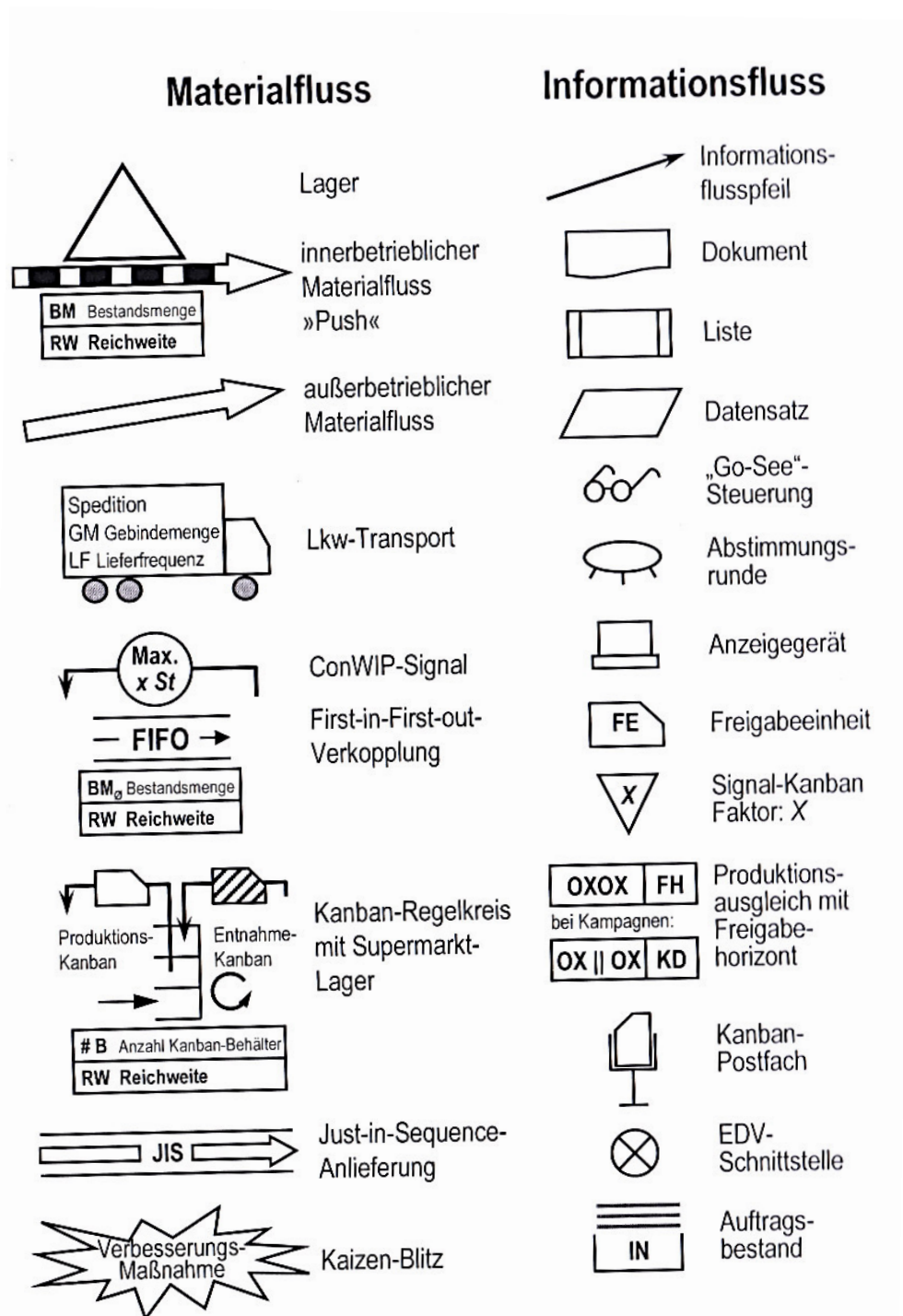


ABBILDUNG 2.5: SYMBOLKONVENTION DER MATERIALFLUSSANALYSE [12]

Das bedeutet, dass sich beispielsweise der nächste Prozessschritt diejenigen Teile aus dem Supermarkt besorgt, die er für den nun durchzuführenden Prozessschritt benötigt. Im Gegensatz dazu würde bei einem „Push-Prinzip“ ein

vorher durchgeführter Prozessschritt, die nächste Prozessstation kontinuierlich beliefern.

Der Vorteil in der Pull-Steuerung liegt darin, dass das Zwischenlager nur dann befüllt wird, wenn Teile benötigt werden. Eine kontinuierliche Push-Versorgung kann zu großen Zwischenlagern führen. Im Zusammenhang mit Supermarkt-Pull-Systemen treten die Begrifflichkeiten Supermarkt-Kanban-Lager und Kanban-Lager auf. Diese Begrifflichkeiten haben dieselbe Bedeutung wie ein Supermarkt-Pull-System.

Die nächste zu erläuternde Begrifflichkeit ist der Schrittmacher-Prozess. Diese beschreibt einen kontinuierlichen Fertigungsprozess nach einem festgelegten Takt, welcher im Optimalfall dem Kundentakt entspricht [12]. Das bedeutet, dass zwischen einzelnen Arbeitsstationen kein Lager bzw. Puffer besteht, sondern die zu fertigenden Objekte den Prozess stetig durchlaufen. Der sogenannte Schrittmacher, welcher die Taktzeit vorgibt, ist dabei der langsamste Prozessschritt, auch Engpass oder Bottleneck genannt. Ein kontinuierlich durchlaufender Prozess ohne Unterbrechung, wie er gerade beschrieben wurde, wird auch Fließfertigung genannt [12].

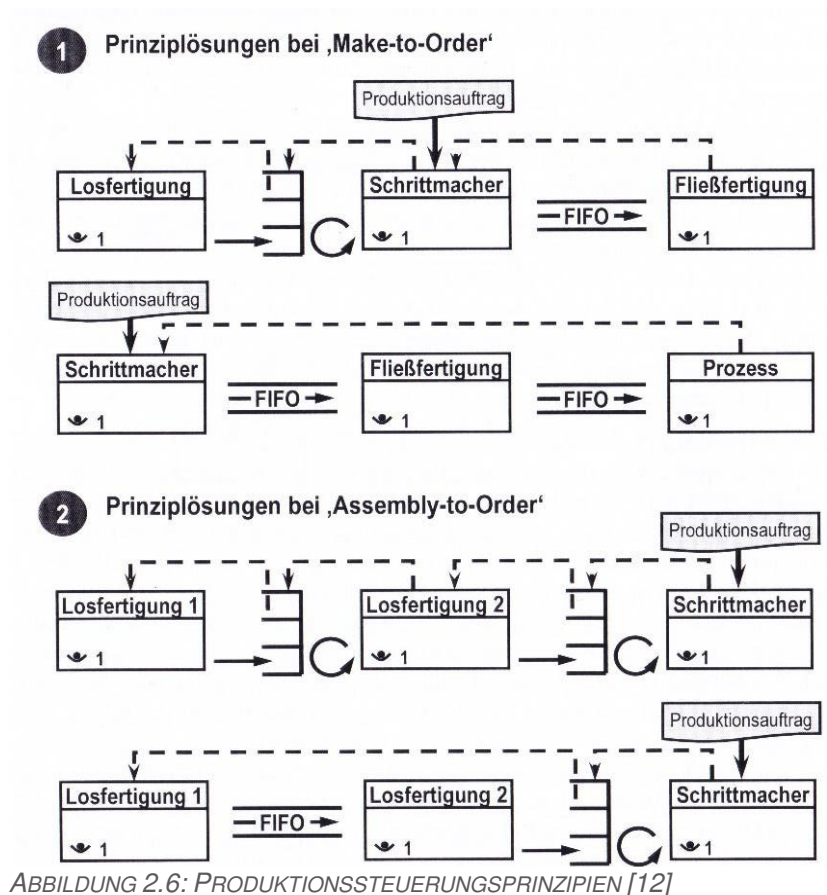
Eine weitere Charakterisierung des Prozesses bietet die Steuerung anhand von verschiedenen Produktionstypen. Der Hauptunterschied besteht im Kundenkopplungspunkt. Auf der einen Seite kann eine Fertigung in ein Pufferlager, Make-to-Stock genannt, erfolgen. Auf der anderen Seite kann auch nach dem Make-to-Order Prinzip gefertigt werden. Das heißt, dass eine Produktion durch einen Produktionsauftrag gestartet wird, der direkt von der Kundenbestellung übertragen wird. Das Make-to-Stock Prinzip kann jedoch eine kurze Lieferzeit sowie eine gute Termintreue gewährleisten, da das Produkt vorliegt und nicht noch gefertigt werden muss.

Ein Steuerungstyp nach dem Make-to-Stock Prinzip ist in der Regel nur sinnvoll, falls die Variantenvielfalt gering ausfällt, da jede Variante vorrätig gelagert sein muss. Der Vorteil des Make-to-Stock Prinzips ist, dass der Kunde nur warten muss, bis das Produkt verpackt ist, während beim Make-to-Order Prinzip die Durchlaufzeit der Montage als Wartezeit hinzukommt. Wie der Abbildung entnommen werden kann, findet in der vorgelagerten Produktion links

eine Make-to-Stock Produktion statt. Ein Spezialfall ist das Assembly-to-Order Prinzip, bei dem im letzten Montageschritt eine Produktvariante festgelegt wird (vgl. Abbildung 2.7).

In neueren Versionen der Wertstromanalyse können weitere Ansätze zur Reduktion von Verweilzeit und Systembestand gefunden werden. Diese Hinweise lauten nach Arnold [14]:

- Einsatz von Supermarkt-Pull-Systemen
- Montieren nach Taktzeit
- Implementierung kontinuierlicher Fließfertigung
- Reduktion der Rüstzeiten und Losgrößen
- Produktionsmix durch Losgrößenoptimierung ausgleichen
- Produktionsvolumen durch Taktung des Prozesses ausgleichen



Im Wertstrommanagement werden Kennzahlen benötigt, um den Prozess genauer beschreiben und charakterisieren zu können. Diese dienen der von Prozessen und werden im Folgenden erläutert [12, 13].

- **Bearbeitungszeit:** Die Bearbeitungszeit gibt an, wie lange ein Teilprozess der Produktionskette dauert [12]. Diese Kenngröße gibt die Grundzeit für ein Betriebsmittel an. Enthalten sind verschiedene Zeitanteile wie die Nutzungszeit, nach denen jedoch nicht weiter unterschieden wird (vgl. Abbildung 5.2).
- **Prozesszeit:** Die Prozesszeit sagt aus, wie lange sich Teile in einem Teilprozess befinden (vgl. Abbildung 5.2). Sie ist bei einem produzierten Teil im Teilprozess gleich der Bearbeitungszeit. Ein Beispiel ist eine Ofenzeit mit mehreren im Ofen befindlichen Teilen. In diesem Fall entspricht die Verweilzeit im Ofen der Prozesszeit.
- **Rüstzeit:** Die Rüstzeit beschreibt die Dauer eines Wechsels von Werkzeugen, Materialien etc. an einer Maschine (vgl. Abbildung 5.2). Diese ist als eine Produktionspause zu interpretieren, in der keine Fertigung stattfindet. Das Rüsten wird zwischen der Fertigstellung eines hergestellten Teils und dem Produktionsanfang des nächsten Bauteils durchgeführt.
- **Zykluszeit:** Die Zykluszeit kennzeichnet wie lange die Fertigstellung für ein Teil in einem Teilprozess andauert (vgl. Abbildung 5.2). Bei einer zur Verfügung stehenden Ressource ist sie gleich der Bearbeitungszeit. Als Beispiel soll eine Ofenbehandlung einer Charge dienen. Die Zykluszeit lässt sich durch die Verweilzeit im Ofen, Prozesszeit, geteilt durch die Anzahl der Teile im Ofen, berechnen. Daher kann diese Kenngröße als zeitlicher Durchschnitt für ein Teil zur Wertschöpfung interpretiert werden. Wenn zwei Öfen zur Verfügung stehen, ist die Zykluszeit halb so groß wie die Bearbeitungszeit.
- **Durchlaufzeit (DLZ):** Die Durchlaufzeit beschreibt, wie lange ein Produkt benötigt, den gesamten Produktionsprozess zu durchlaufen. Dazu werden diejenigen Zeiten, welche zur Fertigung benötigt werden und die Dauer, in der sich das Produkt in den Zwischenlagern befindet, addiert.

- Losgröße: Die Losgröße gibt an, „wie viele Gleichteile in direkter Abfolge im Produktionsprozess bearbeitet werden“ [12]. Sie ist eine wichtige Größe zur Beeinflussung der Produktionskosten, der Zeitanteile und Lagercharakteristik eines Fertigungsprozesses
- Verfügbarkeit: Die Verfügbarkeit beschreibt die Zeit, in der eine Maschine zur Fertigung zur Verfügung steht. Wenn die Maschine aufgrund von Störungen oder Wartungen stillsteht, ist sie technisch nicht verfügbar.

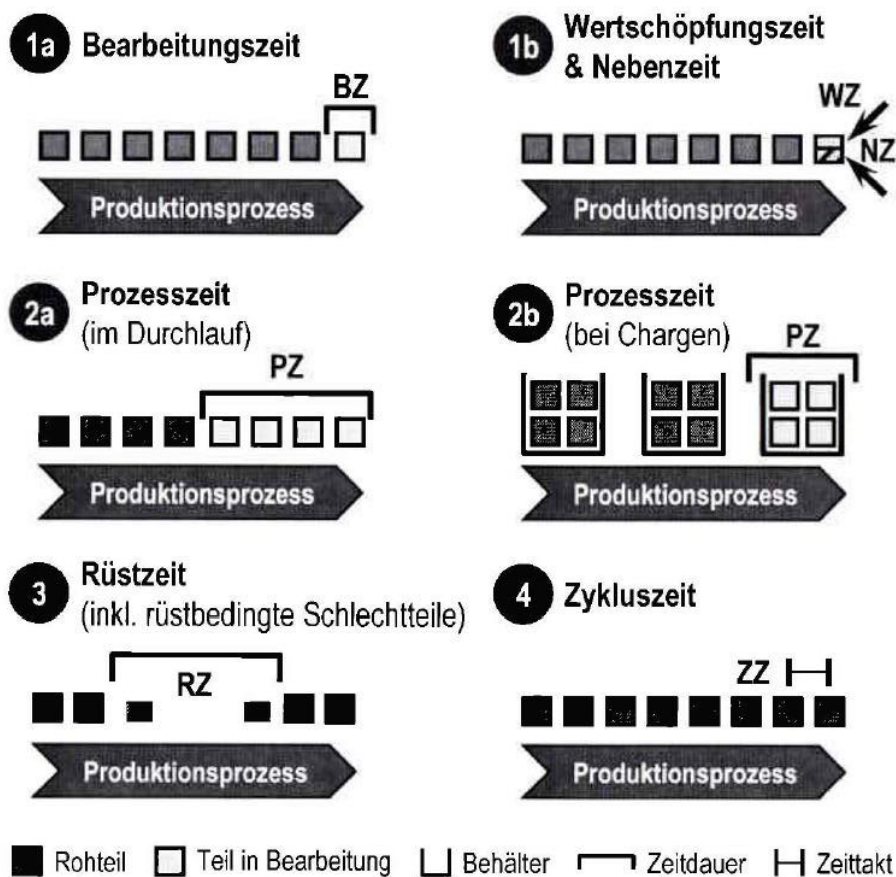


ABBILDUNG 2.2: ERLÄUTERUNG WICHTIGER KENNZAHLEN [12]

- OEE-Kennzahl (Overall Equipment Efficiency): Die OEE-Kennzahl spiegelt die Effektivität einer Anlage wieder. Sie lässt sich durch die Anlagenverfügbarkeit mal den Leistungsgrad und den Qualitätsgrad bestimmen (siehe Abbildung 5.3). Verluste entstehen durch Rüstvorgänge, Stillstände und Ausschuss.

- Reichweite: Die Reichweite gibt den Bestand eines Lagers abhängig vom Tagesbedarf in der Einheit Tag an.



ABBILDUNG 2.3: VERLUSTE IN EINER PRODUKTION UND VERANSCHAULICHUNG DER OEE-KENNZAHL [12]

$$RW = \frac{BM * GA_i}{TB * \#T}$$

(mit $BM \triangleq$ Bestandsmenge, $TB \triangleq$ Tagesbedarf, $\#T \triangleq$ Anzahl Gleichteile pro Produkt, $GA \triangleq$ Gutasbeute)

FORMEL 2.1: FORMEL ZU ERMITTLUNG DER REICHWEITE [12]

Eine relative Reichweite, d.h. ohne die Berücksichtigung von Schlechteilen, kann somit angegeben werden. Dagegen kann, durch die Berücksichtigung von kontinuierlich auftretenden Qualitätsverlusten in der Gutasbeute, eine tatsächliche Reichweite für eine Montagelinie wie folgt angegeben werden:

Dabei muss beachtet werden, dass die Gutasbeute von der Station i abhängt, da die Qualitätsverluste flussaufwärts zunehmen (siehe Unterkapitel 5.2).

Der Grund für die Aufnahme der Qualitätsverluste wird in Unterkapitel 5.2 deutlich. Eine Betrachtung der Gutteile für eine Station würde lediglich einen Ausschuss an der jeweiligen Prozessstation berücksichtigen. Da im später betrachteten Prozess jedoch kontinuierlich an allen Stationen Ausschuss entsteht, muss letzterer im Zusammenhang des Gesamtprozesses analysiert werden. In einer üblichen Formel zu Bestimmung der Reichweite wird die

Gutausbeute im Zähler des Bruchs berücksichtigt (vgl. Formel 5.2). Die Gutausbeute nimmt angefangen an der letzten Prozessstation flussaufwärts ab.

3. Einblick in Factory Physics

Das Thema Factory Physics wurde von der BlmP bei der Entwicklung von Prozessalternativen benutzt. Deshalb wird in diesem Kapitel ein kurzer Einblick in das Thema gewährt. Factory Physics ist eine Theorie, welche sich mit der industriellen Herstellung befasst. Sie gliedert sich in das Prozessmanagement ein. Mithilfe von Factory Physics sollen Möglichkeiten zu Prozessverbesserungen identifiziert werden, sodass neue effektive Systeme erstellt werden können [15]. Aus dem gleichnamigen Buch werden die für die vorliegende Arbeit wichtigen Themen herausgearbeitet. Hier wird zunächst das EOQ-Model zur Losgrößenoptimierung eingeführt (vgl. Unterkapitel 3.1) bevor zwei wichtige sogenannte Gesetze zur Produktion in Unterkapitel 3.2 vorgestellt werden.

3.1. Das EOQ-Model - Losgrößenoptimierung

Das Economic Order Quantity Model ist ein Modell zur Berechnung der optimalen Losgröße [15]. Der Zusammenhang zwischen der Losgröße und den Kosten pro Periode wird modelliert, sodass das Modell jedoch nur die Dimension Kosten optimieren kann. Dem EOQ-Model liegen einige vereinfachende Annahmen zugrunde, die im Folgenden aufgelistet werden [15]:

- Konstante einstufige Produktion ohne kapazitiven Engpass
- Geschlossene Losweitergabe ohne Lücke zwischen Produktion und Nachfrage
- Kontinuierlicher Verbrauch (Determinismus)
- Fixe Rüstkosten unabhängig von der Losgröße
- Keine Interaktionen zwischen Produkten

Die Gesamtkosten für ein Jahr lassen sich in Abhängigkeit von der Losgröße Q wie folgt berechnen:

$$Y(Q) = \frac{hQ}{2} + \frac{AD}{Q} + cD \quad (3.1)$$

(Mit D = Marktbedarf pro Jahr; c = Produktionskosten pro Einheit ohne Rüst- und Lagerkosten; A = Herstellkosten für ein Los (setup cost); h = Lagerhaltungskosten pro Einheit für ein Jahr; Q = Losgröße)

FORMEL 3.1: EOQ GESAMTKOSTEN [15]

Die Summanden beinhalten der chronologischen Reihenfolge zufolge die Lagerkosten, die Auftragskosten (Bestellung und Lieferung) sowie die Produktionskostenkosten (vgl. Abbildung 3.1). Der Faktor $c \cdot D$, Produktionskosten pro Einheit, ist konstant und hebt die Funktion $Y(Q)$ um einen bestimmten Wert an (vgl. Abbildung 3.1). Dagegen steigen die Lagerkosten linear an. Der Abbildung 3.1 ist außerdem zu entnehmen, dass die Herstellkosten mit steigender Losgröße abnehmen.

Um das Minimum der Funktion $Y(Q)$ zu erhalten, muss die Ableitung von Y nach Q ($\frac{dY}{dQ}$) gebildet und gleich 0 gesetzt werden. Damit ergibt sich nach Umstellen für die optimale Losgröße:

$$Q^* = \sqrt{\frac{2AD}{h}} \quad (3.2)$$

FORMEL 3.2: OPTIMALE LOSGRÖßE [15]

Da die zweite Ableitung von Q im betrachteten Intervall ($Q > 0$) immer größer als null ist, handelt es sich bei den Kosten Y^* um ein Minimum. Mit dieser Formel

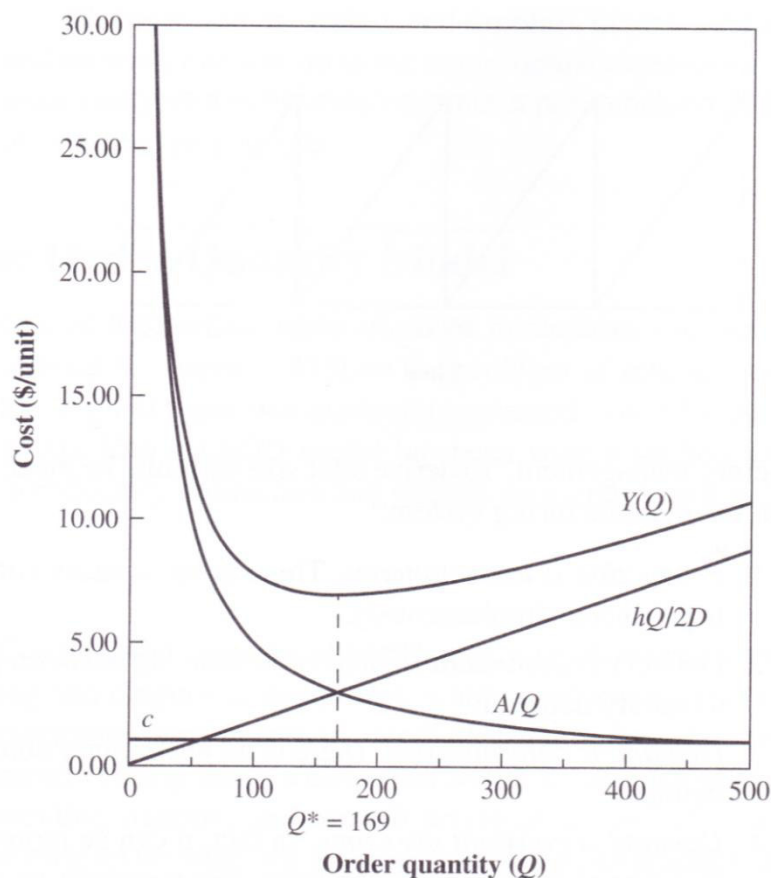


ABBILDUNG 3.1: VERLÄUFE DER GRAPHEN NACH DEM EOQ-MODEL [15]

kann die optimale Losgröße in Abhängigkeit der Herstellkosten, dem Marktbedarf (Nachfrage) und den Lagerhaltungskosten berechnet werden [15].

3.2. Factory Physics Naturgesetze

Dieses Unterkapitel erläutert die in der Factory Physics Theorie entwickelten Gesetze, sogenannte Factory Physic Laws, und erklärt diese im Sachzusammenhang. Es werden Erkenntnisse verschiedener Einflussgrößen auf die Produktion gewonnen, die intuitiv klar sind, jedoch anhand einfacher mathematischer Formeln erklärt werden. Zunächst wird in Abschnitt 3.2.1 der Zusammenhang zwischen der Arbeit im Prozess und den Größen Durchfluss und Zykluszeit dargestellt. Danach wird der Einfluss der Variabilität in Abschnitt 3.2.2 erläutert.

3.2.1. Little's Gesetz

Little's Law setzt den Durchfluss und die Zykluszeit in den Zusammenhang mit dem „*work in process*“ (WIP) [15]. Die WIP-Kennzahl beschreibt, wie viel Arbeit sich in den Zwischenlagern des Prozesses befindet. Der Durchfluss, Throughput (TH) genannt, gibt die Durchlaufrate an, in welchen Zeitabständen der Output den Prozess verlässt [15]. Die Zykluszeit (CT) wird von der Ankunft einer Einheit an einer Arbeitsstation bis zur Fertigstellung dieser Einheit an jener Arbeitsstation gemessen. Sie setzt sich zusammen aus der Wartezeit vor der Arbeitsstation (CT_q) und der durchschnittlichen effektiven Bearbeitungszeit (t_e). Mit den aufgezählten Kenngrößen lässt sich folgender proportionaler Zusammenhang herleiten [15]:

$$WIP = TH * CT$$

FORMEL 3.3: FORMEL FÜR DEN „WIP“ [5]

Das bedeutet, dass die Erhöhung der Arbeit im Prozess zu einer verlängerten Durchlaufzeit führt. Auf der anderen Seite kann die Durchlaufzeit verbessert werden, indem WIP und Zykluszeit bis zu einem bestimmten kritischen Punkt reduziert werden [15]. Die Reduktion des WIP ist jedoch nur bis zu einem Punkt möglich, bei dem die Produktion ausbalanciert ist. Ein schlecht

balancierter Prozess, bei dem der Engpass einen großen Einfluss hat, ist ein minimaler WIP bestand kritisch. Denn dann ist die Gefahr der Unterversorgung einzelner Stationen um den Engpass herum sehr hoch [15].

3.2.2. Die Kingman's Gleichung

Ein weiterer Einflussfaktor ist die Variabilität. Letztere wird unterschieden in die Variabilität der Ankünfte und der effektiven Bearbeitungszeiten an einer Station [15]. Es wird angenommen, dass die Verteilung der Variabilität normalverteilt ist. Dieser Faktor der Variabilität wird in diejenige Zeit mit einberechnet, die eine Einheit in einer Schlange vor einer Station warten muss. Außerdem wird die Wartezeit (CT_q) von der Verfügbarkeit einer Anlage sowie der effektiven Bearbeitungszeit (t_e) beeinflusst. Somit ergibt sich folgender Zusammenhang [15]:

$$CT_q = V * U * T = \left(\frac{c_a^2 + c_e^2}{2}\right) * \left(\frac{u}{1-u}\right) * t_e \quad \text{Varianz(V)-Auslastung (U)-Zeit(t)}$$

Mit c_i = Variationskoeffizienten (a=arrival/ e=effective process time)

FORMEL 3.4: WARTEZEIT AUFGRUND DES EINFLUSSES DER VARIABILITÄT UND DER AUSLASTUNG [14]

Falls entweder die Eingangsrate oder die Bearbeitungszeit zufällig variieren, werden die Wartezeit und dadurch auch die Durchlaufzeit verlängert. Bei höherer Auslastung nimmt die Signifikanz des Einflusses der Variabilität zu.

Die Aufgabe des Prozesses liege darin, die Variabilität abzufangen [15]. Dazu wird ein weiteres Gesetz aufgestellt. Das „*Variability Buffering*“ Law besagt, dass die Variabilität durch Lager, Kapazität und Zeit kompensiert werden können [15]. Die Zykluszeit wird verringert, indem die aus dem erwähnten Lean-Management (vgl. Abschnitt 2.5.2) bekannten Verschwendungen reduziert werden. Die Verschwendungen lassen sich nun anhand der Formel 3.3 ablesen.

Zuletzt unterscheidet Hopp [15] zwischen guter und schlechter Variabilität und gibt jeweils Gründe dafür an (vgl. Tabelle 3.1).

Bewertung der Variabilität	Grund	Beispiel
Schlecht	Geplante Stillstände	Rüsten
Schlecht	Ungeplante Stillstände	Maschinenstörung
Schlecht	Qualitätsprobleme	Nacharbeit
Schlecht	Variabilität des Arbeiters	Unterschiedliche Fähigkeiten
Schlecht	Unpassendes Design	Engineering
Gut	Produktvielfalt	GM
Gut	Neue Technologie	Intel
Gut	Nachfrage	Jiffy Lube

TABELLE 3.1: EINFLÜSSE DER VARIABILITÄT NACH [15]

4. Simulation in Produktion und Logistik

In dieser Arbeit soll beantwortet werden, ob eine Simulation als Entscheidungsunterstützung angebracht ist. Deshalb wird der Begriff der Simulation als computergestützte Entscheidungshilfe eingeführt. So wird zunächst der Begriff Simulation (vgl. Unterkapitel 4.1) definiert. In Abschnitt 4.2 werden anschließend verschiedene Simulationsarten vorgestellt und ein Simulationsablauf beschrieben. Danach werden verschiedene Anwendungsgebiete für eine Ablaufsimulation vorgestellt (vgl. Abschnitt 0). Hier wird beantwortet, wann und warum eine Simulation als Unterstützung benötigt wird. In Unterkapitel 4.4 wird die Bedeutung von Daten innerhalb einer Simulationsstudie erläutert. Abschließend erfolgt eine Einordnung der Simulation im Kontext der Optimierung (vgl. Unterkapitel 4.5).

4.1. Definition Simulation

Eine Simulation ist laut VDI Richtlinie 3633 das „*Nachbilden eines Systems mit seinen dynamischen Prozessen in einem experimentierbaren Modell, um zu Erkenntnissen zu gelangen, die auf die Wirklichkeit übertragbar sind. [...]*“ [4]. Dies besagt, dass ein Prozessmodell aufgestellt wird, welches die dynamischen Effekte in einem Produktionssystem berücksichtigt (vgl. Abbildung 4.1). Anhand von formalen Ergebnissen aus den Experimenten kann laut Abbildung 4.1 auf das reale System geschlossen werden. Oder es kann eine Optimierung mittels Parametervariation anhand des Modells vorgenommen werden [6].

Da Experimente am Realsystem oftmals zu teuer, riskant und zeitaufwändig sind, eignen sich Simulationen sowohl für die Planung neuer Produktionssysteme oder Soll-Prozesse, als auch für Optimierungszwecke als ein Leistungsfähigkeitsstand [16]. Denn die Simulation soll Aussagen über das Prozessverhalten in Bezug zur Laufzeit geplanter Prozesse vermitteln [6]. Genau wie bei der Optimierung von Prozessen wird ein Modell zur Vereinfachung des realen Systems erstellt (siehe Abschnitt 2.4). Diese Definition entspricht genau der Bedeutung der Begrifflichkeit Simulation, nach dessen Herkunft die Bezeichnung Nachahmung zutrifft [16].

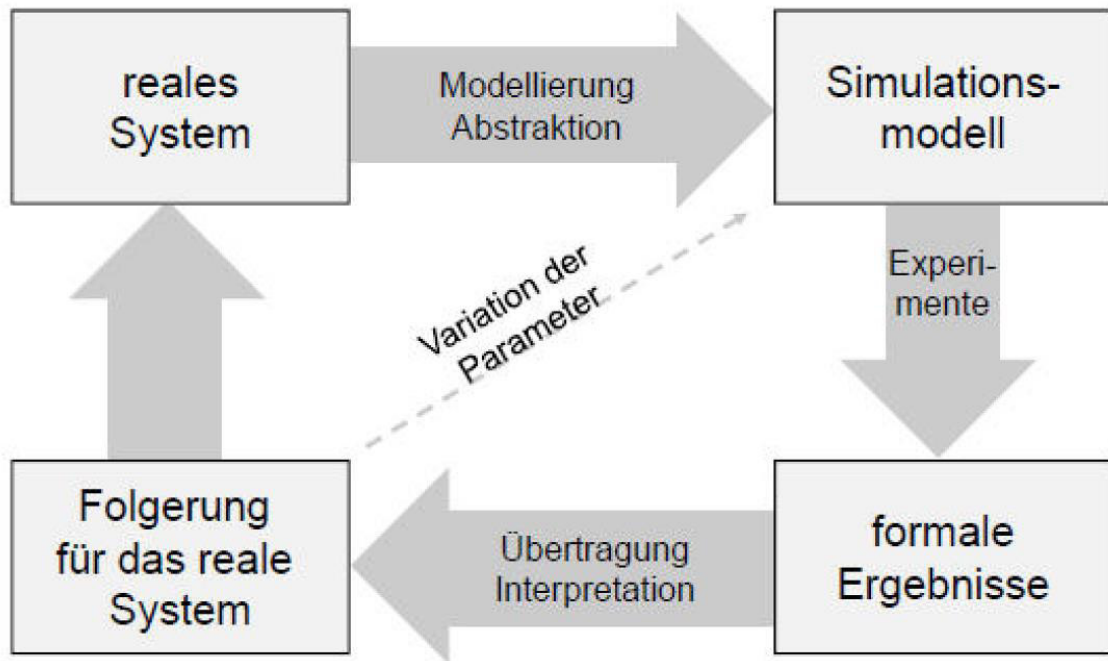


ABBILDUNG 4.1: ABLAUF EINER SIMULATIONSSTUDIE [4]

Die Simulation als „*Hilfsmittel bei Planung, Realisierung und Betrieb von technischen Systemen*“ [4] hat sowohl Vor-, als auch Nachteile, welche im Folgenden diskutiert werden. Ein Nachteil ist, dass ein Simulationsdurchlauf kein exaktes Ergebnis liefert, sondern nur eine Schätzung abgibt [16]. Daher müssen mehrere Iterationen durchgeführt werden. Deshalb und weil eine Simulation einer großen Datendichte mit ausreichender Qualität bedarf, ist sie zeitaufwändig [16].

Zusätzlich kann die Beschaffung einer für die Anwendung geeignete Simulationssoftware die Kosten erhöhen. Weiter ist ein breites Expertenwissen notwendig, da Fähigkeiten im Umgang mit der Software und in den Bereichen Modellierung, Validierung und Statistik notwendig sind [16].

Die Gefahr von übersteigertem Selbstvertrauen bei der Interpretation der Simulationsergebnisse stellt ebenfalls ein Risiko dar. Weitere Fehler können ein falsch gewählter Detaillierungsgrad, ein falsches Verständnis des Managements, schlechte Daten (vgl. Unterkapitel 4.4), ungeeignete Simulationssoftware sowie das Verwenden falscher Inputs für die Simulation sein [18].

Demgegenüber sind Experimente am realen System noch teurer und zeitaufwändiger. Außerdem sind Simulationen Modellvariabel, das heißt, dass Änderungen im System angepasst werden können. Beispielsweise können

Parameter bei Änderungen an einer Maschine angepasst werden, falls sich beispielsweise Zykluszeiten oder Maschinenanzahlen ändern. Somit können viele Experimentzustände getestet werden (Variabilität), obwohl dazu das reale System nicht einmal existieren muss. Wie im nächsten Abschnitt noch erläutert wird, kann ein Ergebnis visualisiert werden, weshalb Manager ein Simulationsergebnis besser nachvollziehen können [16, 18].

Zuletzt kann der Detaillierungsgrad des Modells passend gewählt werden, sodass auf modularer Ebene simuliert werden kann [16]. Die Simulationen erlauben es außerdem, ein System über einen langen Zeitraum im Rahmen von Langzeitstudien zu betrachten [18].

Simulationen werden bei speziell vorliegenden Faktoren im System angewendet. Zum einen finden Simulationen in Produktion und Logistik bei dynamischen Verhalten des betrachteten Systems Anwendung [16,18]. Deshalb bedarf diese Begrifflichkeit einer Erläuterung.

Dynamik kann mithilfe von innerer Bewegung umschrieben werden. Wenn sich Systemzustände zeitlich verändern, wird von einem dynamischen System gesprochen. Ein Beispiel hierfür ist ein Lagersystem, welches in der Logistik als Puffer dient. Hierzu wird ein sich zeitlich diskret ändernder Bestand in Abbildung 1 betrachtet. $X(t)$ ist dabei der Lagerbestand aufgetragen über die Zeit t und die Anzahl der Ereignisse n . Aus dem stufenförmigen Bestand können bestimmte Ereignisse abgeleitet werden. Wenn der Bestand steigt, liegt eine Ankunft vor. Andersherum kann aus einem Abfall des Bestandes eine Ablieferung sowie die Bediendauer des Vorgangs bestimmt werden. Das dynamische Verhalten des Befüllen und Leeren eines Lagers kann mittels einer ereignisorientierten Simulation analysiert werden, da nur die Änderung von Ereignissen von Interesse ist [14]. Was genau zwischen den Ereignissen passiert, ist für diese Art von Simulation uninteressant.

Zum anderen wird nach der Zufälligkeit unterschieden [16, 19]. Letztere wird nach deterministischem und stochastischem Verhalten unterteilt. Stochastisches Verhalten beschreibt, das zufällige Eintreten von Ereignissen. Letztere können nicht genau vorhergesagt werden. Stattdessen wird das

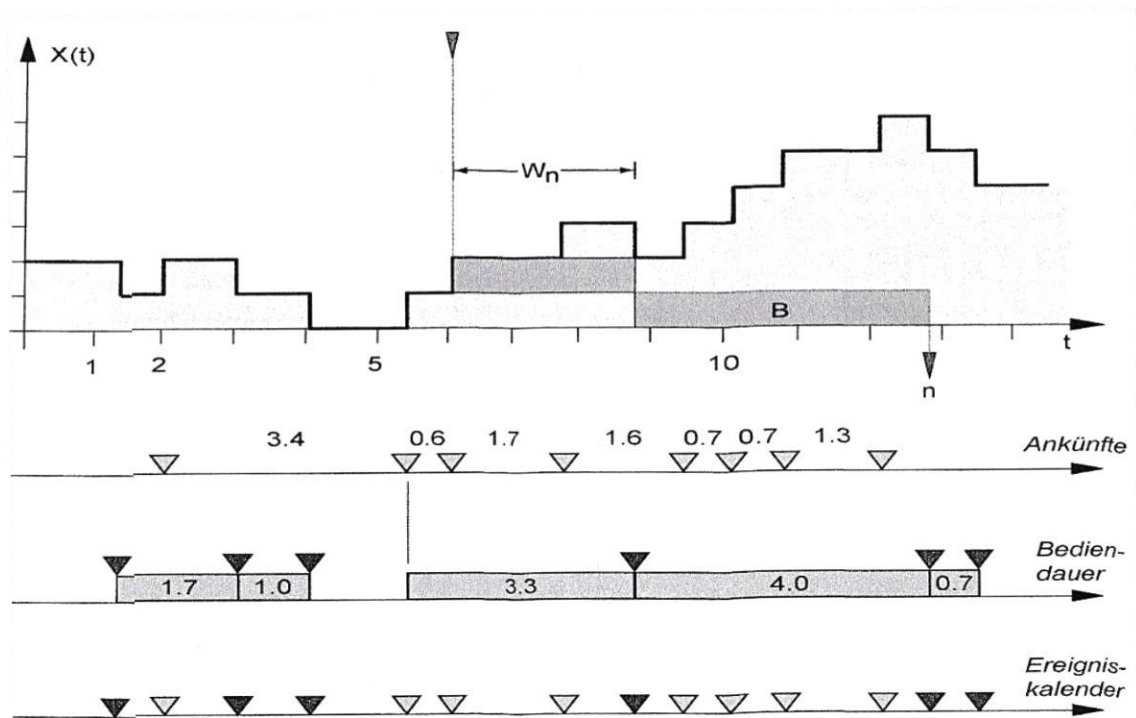


ABBILDUNG 4.2: DYNAMISCHES VERHALTEN EINES LAGERSYSTEMS [12]

Eintreffen stochastischer Ereignisse über eine Normalverteilung beschrieben. Ein Beispiel für stochastisches Verhalten ist das Eintreten von Maschinenstörungen, welche meist nicht vorhersehbar sind. Allerdings kann man einen Zeitraum angeben, in dem eine Störung wahrscheinlich eintritt [20].

4.2. Simulationsarten und -ablauf

Nachdem das System bereits als dynamisch, zeitinvariant, und nichtlinear eingeordnet worden ist, spielt vor allem der zeitliche Aspekt eine Rolle (siehe Abbildung 4.3). So wird nach kontinuierlicher Simulation (continuous simulation), Präemptiblen Multitasking (Time slice) sowie ereignisdiskreter Simulation (discrete event Simulation) unterschieden. Erstere eignet sich für Systeme, die sich kontinuierlich über die Zeit ändern. Robinson nennt dazu einen Wassertank als Beispiel, dessen Volumen sich kontinuierlich ändert. Da Computer keine kontinuierlichen Änderungen modellieren können, werden sie mithilfe eines infinitesimal kleinen Zeitschritts (Δt) approximiert [16]. Dies findet ebenfalls in der Finite-Elemente-Methode Anwendung, welche bei der numerischen Lösung von Deformationen infolge von Kräfteinwirkungen oder Wärmeleitungsproblemen

benutzt wird. Der Ausgangspunkt solcher Probleme sind meist Differentialgleichungen, die analytisch nicht gelöst werden können.

Das „Time Slicing“, auch combined discrete-continuous Simulation genannt, verwendet feste konstante Zeitschritte (Δt), die größer gewählt werden als bei einer kontinuierlichen Simulation [16, 18]. Wenn es ausreicht, das

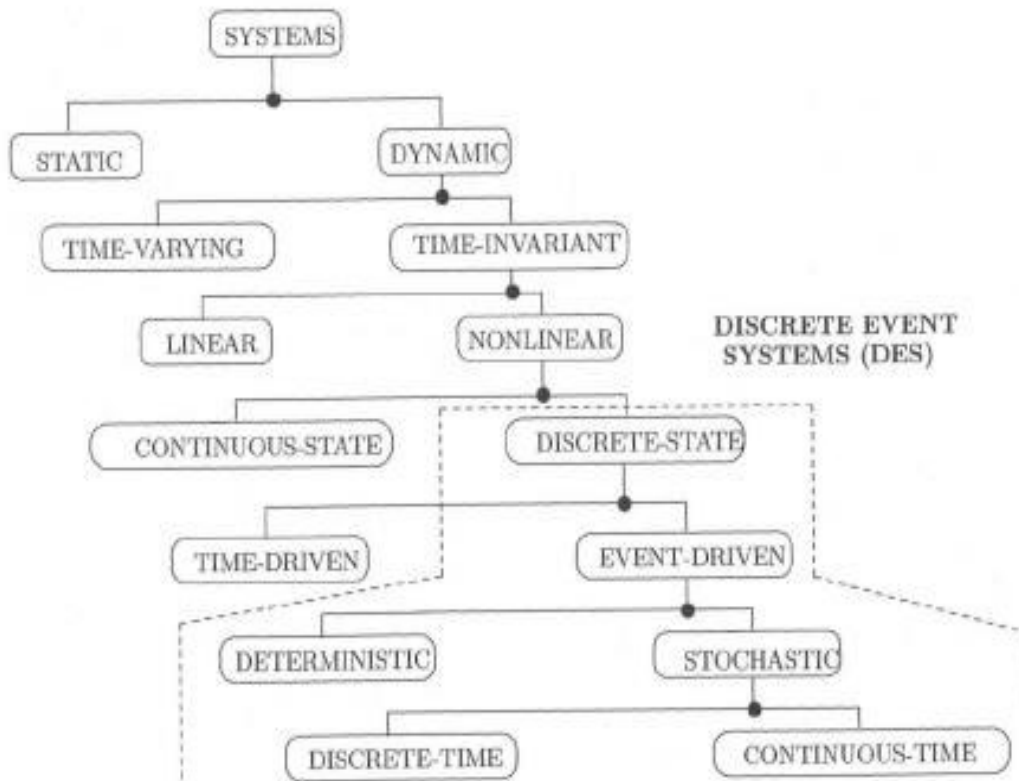


ABBILDUNG 4.3: EINTEILUNG DER SYSTEME FÜR EINE SIMULATION [21]

System alle 2 Sekunden zu betrachten, dann wird ein Zeitschritt (Δt) von 2 Sekunden gewählt. Somit erfolgt keine stetige Betrachtung des Systems. Denn Systemzustände der Simulation können sich während eines Zeitschrittes nicht ändern [16, 18]. Allerdings muss sich der Systemzustand nach der betrachteten Zeit ebenfalls nicht ändern. Daher sind viele Berechnungen unnötig [16]. Neben jener Ineffizienz stellt die willkürliche Wahl des Wertes für den Zeitschritt ein Problem dar. Denn Letzterer bestimmt sowohl den Rechenaufwand als auch die Detaillierung der Simulation maßgeblich [16].

Die möglichen Interaktionen zwischen der Veränderung diskreter und kontinuierlicher Variablen zählt Law folgendermaßen auf:

- Ein diskretes Ereignis schreibt eine diskrete Wertänderung der stetigen Variablen vor
- Ein diskretes Ereignis sorgt für eine Änderung eines Zusammenhangs, welche die stetige Variable beeinflusst
- Ein Auslösen eines diskreten Ereignisses erfolgt durch das Erreichen eines Grenzwertes einer stetigen Variable

Das Interesse einer ereignisdiskreten Simulation gilt Zustandsänderungen, welche durch Ereignisse ausgelöst werden. Plötzlich unvorhersehbar eintretende Ereignisse können festgestellt werden [16]. Das Modell wird durch die Klassifizierung in zwei Ergebniszustände, „B und C events“, erweitert. „B events“ lösen zwangsläufig einen veränderten Systemzustand, meist eine komplettierte Aktivität, zu einem bestimmten Zeitpunkt aus, wohingegen „C events“ Systemzustandsänderungen nur bei bestimmten modellabhängigen Bedingungen herbeiführen und meist ein Ereignis starten

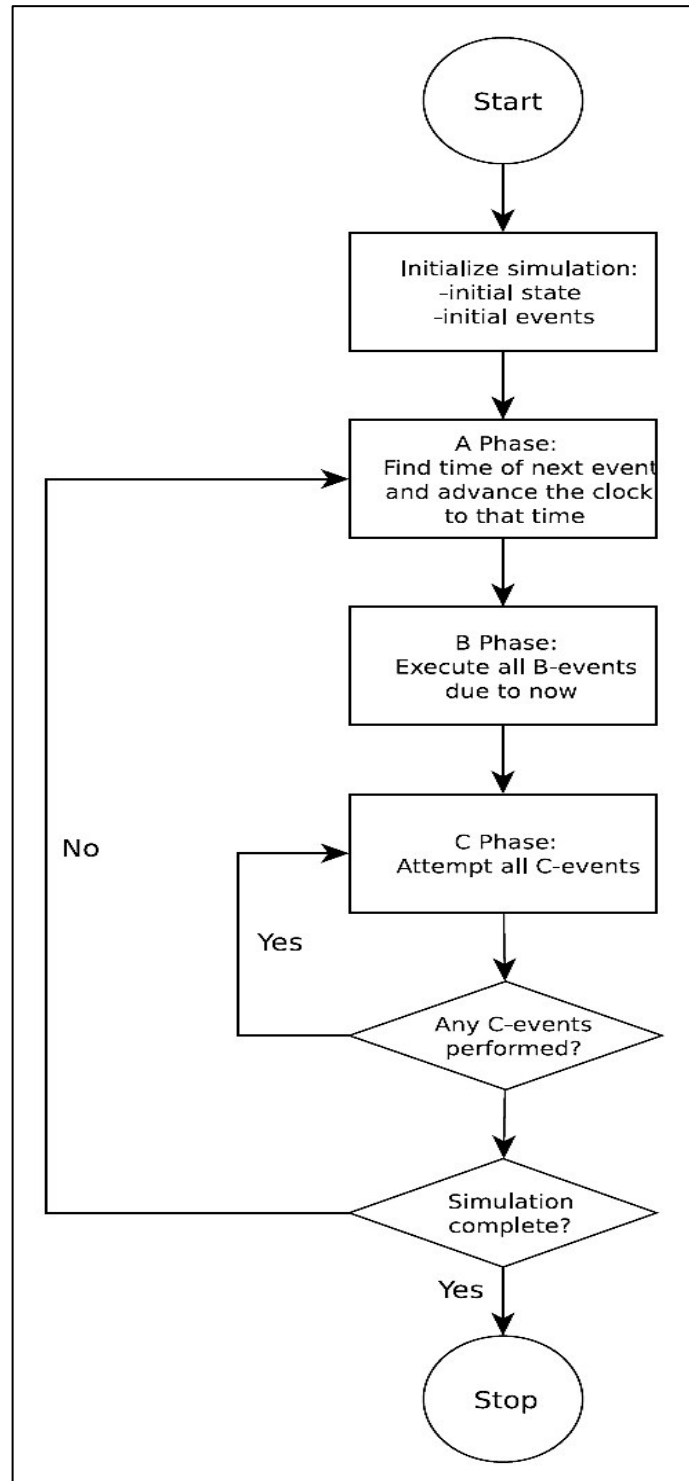


ABBILDUNG 4.3: DREI-PHASEN-METHODE [16]

[16]. Um eine Simulation zu starten, wird ein Zustand mit initialisierten

Bedingungen festgelegt [16]. Der genaue Ablauf dieser drei Phasen-Methode nach Robinson ist in Abbildung 4.3 dargestellt. Hier findet ein „A event“ zur Initialisierung statt (Abbildung 4.3) [16].

Bei einer allgemeineren Sichtweise einer Simulation wird die gesamte Studie betrachtet. Es existieren wie in der Definition erwähnt allgemeine Vorgehensmodelle zu Simulationsstudien. Ein spezielles Vorgehen zur Durchführung einer Simulationsstudie für eine ereignisdiskrete Simulation hat die Arbeitsgemeinschaft Simulation (ASIM) "Verifikation und Validierung" [19] konzipiert (vgl. Abbildung 4.4). Das Vorgehensmodell sorgt für eine strukturierte und systematische Arbeitsweise. Demnach werden zunächst eine Zielbeschreibung sowie eine Aufgabendefinition festgelegt. Danach werden parallel, jedoch nicht unabhängig voneinander, die Daten gesammelt und verarbeitet sowie ein Modell erstellt. Aus der Analyse folgen die Simulationsergebnisse, welche in einem abschließenden Dokument festgehalten werden [19, 22].

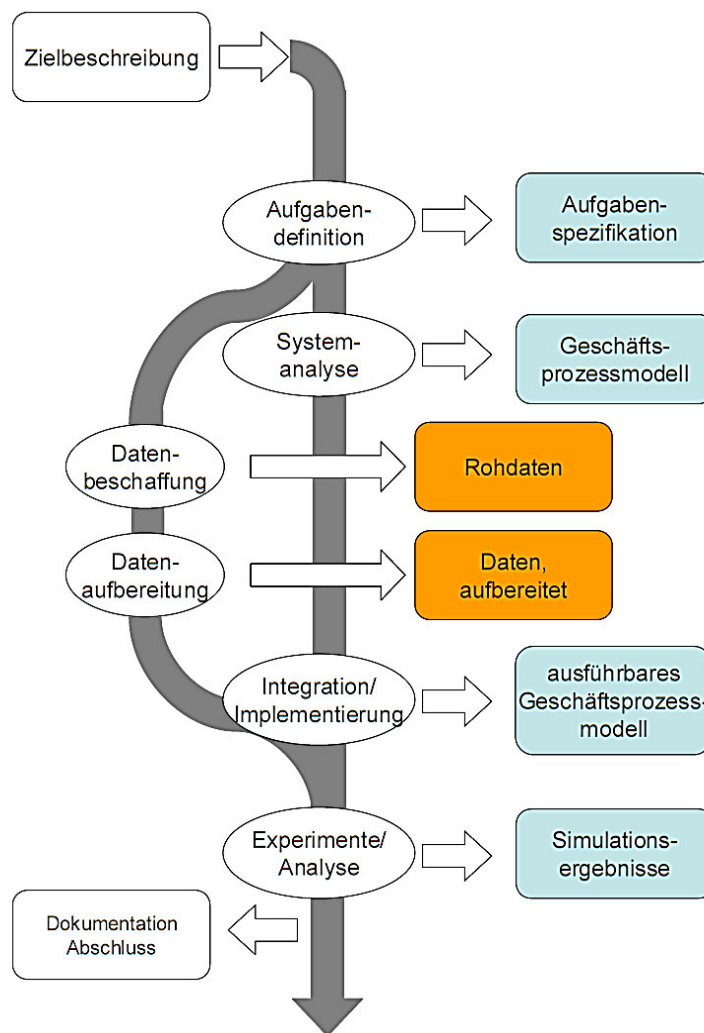


ABBILDUNG 4.4: PHASEN EINER EREIGNISDISKRETEN SIMULATIONSSTUDIE NACH ASIM [22]

4.3. Anwendungsgebiete der Simulation

Die Anwendungsgebiete der Simulation ergeben sich aus den Vor- und Nachteilen einer Ablaufsimulation. Nach Robinson gibt es folgende Gründe, warum eine Simulation anderen Methoden vorgezogen werden sollte.

Der erste Grund ist, dass Änderungen im Prozess unverzüglich am Modell geändert werden können. Somit ist eine Simulation sehr Modellvariabel. Daher kann der Effekt verschiedener Modellvarianten getestet werden [16]. So können auch Systeme modelliert werden, die analytisch nicht lösbar sind. Darüber hinaus können Annahmen in das Modell einfließen, um es zu vereinfachen und die Quantität an benötigten Daten zu verringern [16]. Solche Vereinfachungen

werden beispielsweise bei der Verbindung von Prozessen getroffen, damit eine komplexe Schnittstelle einfach dargestellt werden kann.

Darüber hinaus ist die Transparenz, welche für eine Simulation spricht. Denn anstatt von mathematischen Gleichungen, können intuitive Animationen sowie grafische Ausgaben verwendet werden. Das Verständnis eines Managers, der in der Regel kein Simulationsexperte ist, wird erleichtert und die Zufriedenheit in Bezug auf das Modell wird verbessert [16]. Allerdings liefert die Simulation keine Lösung, sondern bewertet lediglich das Experiment.

Das Hauptaugenmerk einer dynamischen Simulation liegt auf der Betrachtung sich zeitlich ändernder Systeme [18]. Daraus ergeben sich die folgenden Anwendungsgebiete. Demnach finden sich spezielle Anwendungen der Simulation im Bereich Militär, in Krankenhäusern oder an Flughäfen wieder [16, 19]. Nach Law [18] hat sich die Simulation bei den nachfolgenden Anwendungen etabliert:

- Entwerfen und Analysieren von Herstellungsprozessen
- Auswertung militärischer Waffensysteme und deren Logistik
- Hard- und Softwareanforderungen für Computersysteme feststellen
- Neugestaltung eines Geschäftsprozesses

Der häufigste Anwendungsfall von Simulationen ist die Produktion und Logistik [19]. Bei diskreten Zustandsänderungen, wie das Einlagern, werden ereignisorientierte Modelle verwendet. Sie können mittels einer ereignisdiskreten Simulation getestet werden [3].

Das Ziel einer Geschäftsprozesssimulation kann *„häufig eine Optimierung von Durchlaufzeit, Nutzungsgrad o. ä. sein und daher eine Modellierung [...] des Materialflusssysteme“* [22]. Ebenfalls werden Maschinenbelegungspläne in der Werkstattfertigung (Job Shop Scheduling) oder in der Fließproduktion (Flow Job Scheduling) optimiert [16, 19]. Andererseits werden neue Emulationsmodelle, welche ursprünglich einem anderen Zweck gedient haben, aktualisiert, um die aktuelle Produktionssituation darstellen zu können. Mit diesen aktuellen Informationen zu Durchsätzen und Fahrzeugsequenzen, die täglich erstellt werden, entsteht eine *„tägliche operative Einbindung in den Anlagenbetrieb“* [19, 22]. Das ist auch der Grund, warum sich die Tendenz zur längerfristigen Nutzung von Simulationsmodellen entwickelt [23].

4.4. Daten im Rahmen einer Simulationsstudie

Für Simulationsprojekte ist die Datenbasis von großer Bedeutung. Denn die Daten müssen zum einen vollständig sein sowie zum anderen die notwendige Qualität aufweisen. Laut Hellingrath und Rabe [24] machen die Datenbeschaffung und -bereitstellung rund 30-50 Prozent des Gesamtaufwandes einer Simulationsstudie aus. Neben der Datenbeschaffung kommt der Aufbereitung der Daten zur Bereitstellung eine hohe Relevanz zu. Robinson [16] gruppiert Daten in die folgenden drei Kategorien ein.

Kontextdaten sind Grundlegendaten, die sich im Vergleich zu anderen Daten nicht so schnell und häufig ändern. Sie beschreiben beispielsweise die Fabrikgröße und die Anzahl der Maschinen.

Zweitens nennt Robinson [16] die Modelldaten, wie Fertigungszeiten, welche stärker schwanken. Zuletzt werden Schätz- und reale Vergleichsdaten in die Gruppe der Verifikationsdaten eingeteilt [16].

Um eine hohe Datenqualität zu gewährleisten, sollte eine Validierung der Erhebungs-, Visualisierungs- und Aufbereitungsmethoden durchgeführt werden. Denn wie das Sprichwort „Garbage in, garbage out“ besagt, können schlechte Daten zu einem falschen Ergebnis führen. Eine Hilfestellung für eine sehr gute Datenqualität bietet die Deutsche Gesellschaft für Informations- und Datenqualität e.V. (DGIQ). Sie stellt Kriterien für Daten auf, um hochwertige Informationen zu gewährleisten (vgl. Abbildung 4.6) [25]. Diese in Abbildung 4.6 angeführten 15 Punkte werden später in Unterkapitel 5.3 benötigt, um eine Validierung der Daten vorzunehmen. Ebenfalls ist die Datenquantität von größerer Bedeutung. Da dies im Kontext dieser Arbeit jedoch unerheblich ist, weil eine ausreichende Datendichte gegeben ist, wird das Thema Quantität nicht näher betrachtet.

- 1) **Zugänglichkeit (accessibility):** Informationen sind zugänglich, wenn sie anhand einfacher Verfahren und auf direktem Weg für den Anwender abrufbar sind.
- 2) **Angemessener Umfang (appropriate amount of data):** Informationen sind von angemessenem Umfang, wenn die Menge der verfügbaren Information den gestellten Anforderungen genügt.
- 3) **Glaubwürdigkeit (believability):** Informationen sind glaubwürdig, wenn Zertifikate einen hohen Qualitätsstandard ausweisen oder die Informationsgewinnung und -verbreitung mit hohem Aufwand betrieben werden.
- 4) **Vollständigkeit (completeness):** Informationen sind vollständig, wenn sie nicht fehlen und zu den festgelegten Zeitpunkten in den jeweiligen Prozessschritten zur Verfügung stehen.
- 5) **Übersichtlichkeit (concise representation):** Informationen sind übersichtlich, wenn genau die benötigten Informationen in einem passenden und leicht fassbaren Format dargestellt sind.
- 6) **Einheitliche Darstellung (consistent representation):** Informationen sind einheitlich dargestellt, wenn die Informationen fortlaufend auf dieselbe Art und Weise abgebildet werden.
- 7) **Bearbeitbarkeit (ease of manipulation):** Informationen sind leicht bearbeitbar, wenn sie leicht zu ändern und für unterschiedliche Zwecke zu verwenden sind.
- 8) **Fehlerfreiheit (free of error):** Informationen sind fehlerfrei, wenn sie mit der Realität übereinstimmen.
- 9) **Eindeutige Auslegbarkeit (interpretability):** Informationen sind eindeutig auslegbar, wenn sie in gleicher, fachlich korrekter Art und Weise begriffen werden.
- 10) **Objektivität (objectivity):** Informationen sind objektiv, wenn sie streng sachlich und wertfrei sind.
- 11) **Relevanz (relevancy):** Informationen sind relevant, wenn sie für den Anwender notwendige Informationen liefern.
- 12) **Hohes Ansehen (reputation):** Informationen sind hoch angesehen, wenn die Informationsquelle, das Transportmedium und das verarbeitende System im Ruf einer hohen Vertrauenswürdigkeit und Kompetenz stehen.
- 13) **Aktualität (timeliness):** Informationen sind aktuell, wenn sie die tatsächliche Eigenschaft des beschriebenen Objektes zeitnah abbilden.
- 14) **Verständlichkeit (understandability):** Informationen sind verständlich, wenn sie unmittelbar von den Anwendern verstanden und für deren Zwecke eingesetzt werden können.
- 15) **Wertschöpfung (value-added):** Informationen sind wertschöpfend, wenn ihre Nutzung zu einer quantifizierbaren Steigerung einer monetären Zielfunktion führen kann.

ABBILDUNG 4.5: IQ-DIMENSIONEN DER DGIQ [25]

4.5. Simulation im Kontext der Optimierung

Die Simulation bietet wie bereits erwähnt eine Entscheidungsunterstützung bei der „Auswahl mehrerer Systemvarianten unterschiedlicher Struktur und unterschiedlichen Verhaltens an“ [4]. Reale Systeme sind komplex und weisen in der Regel stochastisches Verhalten auf. Eine Optimierung zielt meist auf Ressourcenauslastung, Durchlaufzeiten, Termintreue und Kosten ab [3]. Optimierungsmethoden werden üblicherweise

nur bei einfach zu modellierenden Systemen und unter vereinfachten Annahmen angewendet. Im Gegensatz zur Optimierung kann eine „*praxisrelevante Komplexität*“ berücksichtigt werden. Auch zufällige Ereignisse können modelliert werden. Demgegenüber findet die Simulation keine optimale Lösung im Vergleich zur Optimierung. Sie vergleicht lediglich mehrere Lösungsalternativen miteinander [16, 18, 19]. Deshalb wird eine Simulation als Prognoseverfahren innerhalb der Optimierung angewendet [3]. Sie stützt die Auswahl einer Lösung durch Zahlenergebnisse. Die Anwendung einer Simulationsart ergibt sich aus der Anwendung und dem Ziel der Optimierung. Nachdem ein Prozess analysiert und optimiert worden ist, kann eine Anforderungsliste an die Simulation erstellt werden.

Die Simulation wird zunächst durch einen Simulationsexperten erstellt. Daraufhin soll ein Entscheidungsträger, bspw. ein Manager, die Simulation nutzen, um zu neuen Erkenntnissen in Bezug auf vorher entwickelte Prozessoptimierungen zu gelangen. Damit wird die Auswahl eines Optimums anhand von Untersuchungsergebnissen gestützt.

5. Prozessaufnahme bei der Boehringer Ingelheim microParts GmbH

Zur Beantwortung der Frage, ob eine Simulation als Entscheidungsunterstützung angewendet werden kann, müssen bestimmte Kriterien erfüllt sein. Daher gilt es nun, den Prozess zu analysieren und charakterisiert. Folglich nimmt dieses Kapitel den Ist-Zustand eines industriellen Herstellungsprozesses auf. In der Terminologie von Six Sigma entspricht der erste Teil der Measure-Phase des DMAIC-Zyklus und der zweite der Analyse-Phase. In diesen Phasen werden Werkzeuge aus Lean Six Sigma verwendet. Diese Kombination ist eine Ergänzung des Lean Managements im Six-Sigma Projekt [10]. Hierzu wird zunächst eine Prozessmodellierung mittels Wertstromanalyse durchgeführt, um den Prozess in eine einfache Visualisierung zu abstrahieren (vgl. Unterkapitel 5.1). Die einfache Symbolkonvention der Wertstromanalyse erlaubt es auch für Nicht-Experten, den Prozess nachzuvollziehen. Darüber hinaus ist eine Visualisierung des Wertstroms in dieser Form effektiv und anschaulich, da alle Flüsse, egal ob elektronisch oder physisch, in einem Schaubild visualisiert werden. In Unterkapitel 5.2 wird eine Belastungsstudie erläutert, um die Auslastung des Montageprozesses zu analysieren. Danach werden weitere Datenaufbereitungen und Visualisierungen beschrieben, damit der Prozess an bestimmten Stellen auf Dynamik untersucht werden kann (siehe Unterkapitel 5.3). Eine Auswertung findet jedoch erst im Anhang statt. Verifikation und Validierung finden in Unterkapitel 5.4 statt, damit Fehler frühzeitig erkannt werden. Das Ergebnis dieses Kapitels ist der ausführliche Ist-Zustands des betrachteten Herstellungsprozesses.

5.1. Wertstromanalyse des Montageprozesses

Eine Wertstromanalyse stellt den Ist-Zustand eines Prozesses dar. In dieser Arbeit geht es um die Aufnahme eines Herstellungsprozesses von Inhalatoren, sogenannter Respimat®-Geräte. Bei der Analyse der Produktvarianten wird zunächst die Variantenvielfalt der Inhalatoren in Abschnitt 5.1.1 analysiert. Danach wird der durch den Marktbedarf vorgegebene

Kundentakt ermittelt (Abschnitt 5.1.2). Ein Prozessmodell wird in Abschnitt 5.1.3 aufgestellt, sodass der Wertstrom visualisiert werden kann.

5.1.1. Ermittlung der Produktvarianten

Die in Dortmund hergestellten sogenannten Respimat Inhalatoren gibt es in verschiedenen Hubzahlvarianten und mit verschiedenen Kappenfarben. Die Kappenfarbe ist einer bestimmten Medikation (Wirkstoff) zugeordnet. Die Hubzahlvariante gibt an, für wie viele Anwendungen der Inhalator ausgelegt ist. Nach der jeweiligen Anzahl an Anwendungen, sperrt das Gerät die weitere Benutzung. Die Vorgabe der Hubzahl wird konstruktiv innerhalb einer Gehäuse und Zählwerk umfassenden Gehäusebaugruppe realisiert. Die Kappen werden als letzter Montageschritt auf die Geräte montiert.

Alle Produktvarianten sind in Tabelle 5.1 dargestellt. Die Matrix teilt die Varianten nach Kappenfarbe in den Spalten und Hubzahlen in den Zeilen auf. Eine 1 bedeutet, dass die Kappenfarbe (Medikation) mit der jeweiligen Hubzahl hergestellt wird. Eine null bedeutet, dass eine Hubzahl nicht in Verbindung mit der jeweiligen Kappenfarbe hergestellt wird.

Hubzahl Kappenfarbe	grau	orange	türkis	gelb	hellgrün
120	1	1	0	0	0
60	1	1	1	1	1
28	0	0	1	1	1

TABELLE 5.1: PRODUKTVARIANTENMATRIX [5]



ABBILDUNG 5.1: VERANSCHAULICHUNG DER VARIANTENVIELFALT [5]

Nach Table 5.1 gibt es 10 verschiedene Produktvarianten. Da alle Varianten die gleichen Montageschritte durchlaufen, können sie als eine Produktfamilie zusammengefasst werden. Die eingesetzten Betriebsmittel sind

für die verschiedenen Varianten identisch. Die Einordnung in eine Produktfamilie belegen auch die folgenden Merkmalsähnlichkeiten. Bis auf die Kappen und das Zählwerk im Gehäuse unterscheiden sich die Produktvarianten nicht. Bei einer Montage wird jedes Bauteil genau einmal benötigt. Die Produkte haben jeweils die gleiche Geometrie, die gleiche Funktion sowie die gleiche Handhabung.

5.1.2. Analyse des Kundenbedarfs

Zur Analyse des Kundenbedarfs wird zunächst der Kunde spezifiziert. Der Kunde aus Sicht der BlmP ist die HPSG in Ingelheim. Geographisch gesehen liegen zwischen dem Produktionsstandort Dortmund und Ingelheim ca. 270km. Den Transport übernimmt eine fremdbeauftragte Spedition.

Eine grundlegende Kennzahl zur Prozessbewertung ist der Kundentakt. Mit diesem lässt sich diejenige Zeit berechnen, welche die einzelnen Produktionsschritte maximal benötigen dürfen, damit die geplante Jahresabsatzmenge erreicht wird. Der Kundentakt lässt sich durch den Quotienten aus geplanter verfügbarer Arbeitszeit pro Jahr geteilt durch den Kundenbedarf pro Jahr berechnen [12]. Das Endergebnis besitzt die Einheit Zeit pro Stück.

Die verfügbare Arbeitszeit kann unter Berücksichtigung des angewandten Schichtmodells errechnet werden. Der Kundenbedarf pro Jahr ist eine geplante Absatzmenge. Diese wird auf 39 Millionen beziffert. Damit entspricht die geplante Absatzmenge der Produktionsmenge des letzten Jahres von rund 39 Millionen Inhalatoren.

Da an der Produktion sowohl Arbeiter als auch Maschinen beteiligt sind, muss zwischen einem manuellen und einem automatischen Kundentakt unterschieden werden. Es wird beispielhaft mit einer Zahl von 50 Produktionswochen pro Jahr gerechnet. Zurzeit wird nach einer Marktbedarfsprognose von 39 Mio. Respimate produziert. Daraus lässt sich der aktuelle Kundentakt wie folgt berechnen.

$$KT = \frac{FT * AZ}{n} = \frac{\text{verfügbare Arbeitszeit pro Jahr}}{\text{Kundenbedarf pro Jahr}} \quad (5.1)$$

FORMEL 5.1: FORMEL ZUR BERECHNUNG DES KUNDENTAKTS [12]

Eine beispielhafte Rechnung bei 15 Schichten pro Woche, 40 Produktionswochen im Jahr und 8 Stunden Maschinenbetriebszeit (Anmerkung: Zahlen stehen in keinem Zusammenhang mit der Produktion bei BImP, sondern sind zur Veranschaulichung beispielhaft gewählt). Eine Berechnung in Bezug auf den Montageprozess wird im Anhang durchgeführt:

$$KT_{aut} = \frac{FT * AZ}{n} = \frac{15 * 8 * 50}{39000000} = 0,55 \frac{s}{stck}$$

Der beispielhafte automatische Kundentakt beträgt 0,55 Sekunden pro Stück. Folglich müsste ein Respiemat in dieser Zeitspanne gefertigt werden. Der errechnete Kundentakt gilt für die gesamte Prozesskette.

Da die Betrachtung einer Montagelinie a priori festgelegt wurde, muss ein Konzept zur Berechnung des Kundentaktes für die einzelne Linie angegeben werden. Deshalb wird ein prozessspezifischer Kundentakt für eine Linie entwickelt, indem für die Montage folgende zwei unterschiedliche Ansätze mit einer vereinfachenden Annahme erarbeitet werden:

- Annahmen: Anzahl der Linien $i=3$; Alle Linien benötigen die gleiche Taktzeit: $t_1=t_2=t_3=t$; p_i entspricht dem Anteil der Linien:

$$p_1 * t_1 + p_2 * t_2 + p_3 * t_3 = 3 * KT_{aut} \Leftrightarrow$$

$$t = 3 * KT_{aut}, \quad da \sum_{i=1}^3 p_i = 1 \Leftrightarrow$$

$$t = 3 * KT \Leftrightarrow$$

$$t = \frac{1,33 s}{stck}$$

- Annahme: 35% des Marktbedarfes fertigt die betrachtete Linie:

$$n' = p_i * n = 0,35 * 39000000$$

$$KT_{aut} = \frac{FT * AZ}{p * n} = \frac{15 * 8 * 40}{0,35 * 39000000} = \frac{1,26 s}{stck}$$

*p * n dem Anteil der Linienbezogenen Jahresstückzahl*

$$KT_{man} = \frac{FT * AZ}{p * n} = \frac{19 * 7,5 * 39}{0,35 * 39000000} = \frac{1,18 s}{stck}$$

Bei der ersten Annahme könnten alle Linien die dreifache Zeit des Kundentaktes benötigen und würden trotzdem noch bedarfsgerecht produzieren. Da sich die Produktion jedoch ungleich auf die verschiedenen Fertigungslinien

verteilt, ist eine Taktrate für eine Linie nicht ohne weiteres angebar. Die erste Annahme muss deshalb verworfen werden, da die Takte der einzelnen Fertigungslinien sehr unterschiedlich sind. Dagegen kann die Annahme einer prozentualen Belegung der betrachteten Linie angenommen werden, wenn ein kontinuierlicher, approximativ konstanter Produktionsanteil vorliegt.

Der Kundentakt geht davon aus, dass der Marktbedarf konstant auf dem Niveau des Durchschnitts liegt. Diese Annahme kann in die Betrachtung übernommen werden, da die Kundenbedarfsschwankungen durch Boehringer Ingelheim, dem Kunden in Ingelheim, durch vorausgeplante Bestellmengen ausgeglichen werden. Die Schwankungen können durch weitere Lagermöglichkeiten ausgeglichen werden. Erfolgt keine Steuerung der Bedarfe, kann zu unkontrollierbaren Schwankungen, Bullwhip-Effekt oder Peitscheneffekt genannt, kommen. Dieser Effekt besagt, dass ein kleiner Unterschied zwischen der Bestellmenge des Zwischenhändlers und dem Bedarf des Endkunden zu größeren Schwankungen in den vorgelagerten Prozessen führt. Dieser wird durch die vorausgeplanten Bestellmengen abgedämpft.

Eine weitere Charakterisierung des Kunden ergibt sich durch die Anwendung. Wichtige Kundenanforderungen in der Medizinindustrie ist demnach die Termintreue, weil die ständige Verfügbarkeit der Medikamente (Liefertreue) gewährleistet werden muss. Aus diesem Grund werden leicht erhöhte Lagerkosten in Kauf genommen. Außerdem muss sich der Kunde auf ein fehlerfrei funktionierendes Gerät (Qualität) verlassen können, da die Medikation immer eine wichtige Rolle spielt. Eine nicht sachgemäße Medikation kann zu schlimmen Folgen für den Patienten führen.

5.1.3. Prozessmodellierung des Herstellungsprozesses

Für die hier durchzuführende Prozessmodellierung wurde eine Montagelinie zur Analyse ausgewählt, da diese einen größeren Anteil an der Gesamtproduktion hat. Diese separate Betrachtung einer Fertigungslinie ist insofern erlaubt, weil keine Untermischung zwischen den Linien stattfindet. Deshalb liegt der Schwerpunkt der Betrachtung auf dem Fluss des Wertstroms durch die gesamte Montage einer Fertigungslinie bis zur Auslieferung nach Ingelheim. Damit später jedoch auch Optimierungen und Risiken betrachtet

werden können, die den gesamten Herstellungsprozess betreffen, wird auch eine End-to-End Analyse von der Herstellung der Vorprodukte bis zur Anlieferung beim Kunden erfolgen. Sämtliche Daten zu den Prozessen stammen aus internen Datenquellen [5].

Für die Abstraktion wird der Prozesses zunächst beschrieben, damit ein Materialfluss für das Prozessmodell erstellt werden kann:

Zunächst werden Bauteile von externen Zulieferern angeliefert. Einige Zukaufteile müssen vorab gereinigt werden. Spezielle Bauteile kommen hingegen aus der Eigenfertigung und werden per Spritzguss hergestellt. Außerdem wird die Düse des Inhalators in Dortmund selbst produziert. Sie wird mit Hilfe von Mikrotechnik hergestellt, da kleinste austretende Tropfengrößen gewährleistet werden müssen. Denn sie sorgt am Ausgang des Inhalators für die Zerstäubung des Medikamentes.

In der Montage wird der Respimat in Mikro- und einer Endmontage zusammengebaut. Eine stetige Qualitätsüberprüfung in den Prozess integriert. Nach der Montage werden die funktionsfähigen Inhalatoren in einem Hochregallager eingelagert. Danach werden Sie zur Hauptzentrale nach Ingelheim transportiert, wo der Respimat mit der Medikamentenkartusche und einem Beipackzettel verpackt wird.

Im Folgenden wird der Prozess mittels Wertstromsymbolik modelliert, sodass eine visuelle Übersicht sowie ein schnelles Verständnis gewährleistet sind. Als Ausgangspunkt soll eine Makroübersicht dienen (vgl. Abbildung 5.4). Die Modellierung wird mit der Top-Down Methodik durchgeführt. Ein Wertstrom wird aus Kundenperspektive flussaufwärts betrachtet, da dies laut Erlach [12] folgende Vorteile bietet:

- Überprüfung der Erfüllung von Kundenwünschen
- Bessere Übersicht über Lieferprozess
- Eindeutiger Startpunkt im Gegensatz zum Wareneingang mit mehreren zugelieferten Teilen
- Besseres Verständnis für Prozessschritt (Wozu) und dem Prozess selbst

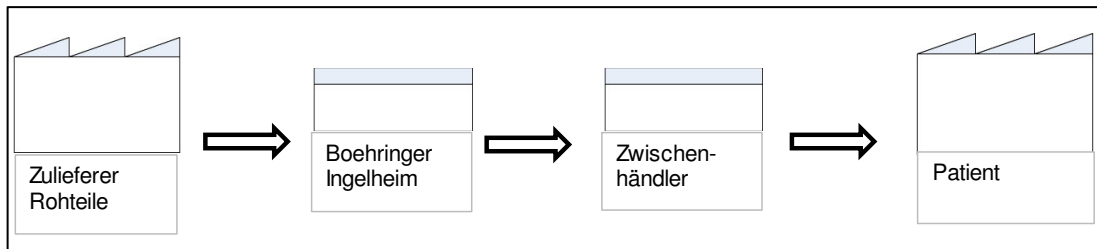


ABBILDUNG 5.2: GERINGSTER DETAILLIERUNGSGRAD DES END-TO-END PROZESSES

Zunächst wird der Patient in der End-to-End Betrachtung als Kunde angesehen und dient als Ausgangspunkt des Prozesses (Abbildung 5.4). Jener Patient benötigt den Inhalator aufgrund einer Atemwegserkrankung. Der Patient bekommt einen Respimat von einem Zwischenhändler, wie zum Beispiel einer Apotheke. Der Zwischenhändler wird von der Boehringer Ingelheim Human Pharma Supply Deutschland (HPSG) aus Ingelheim beliefert. Die Bauteile für die Montage werden entweder von der Boehringer Ingelheim microParts GmbH selber produziert oder von verschiedenen Zulieferern geliefert.

Beim Fokus auf die Produktion des Respimat kann diese in die Komponenten Eigenfertigung und die Montage zerlegt werden (vgl. Abbildung 5.3). Der fertige Inhalator wird nach Ingelheim transportiert. Auf dieser Betrachtungsebene wird nun HPSG als Kunde angesehen. Erst wenn die Kartusche mit Medikament, Beipackzettel und der Inhalator gemeinsam verpackt werden, ist der Respimat vollständig.

Aus der Düsenfertigung, der Bauteilreinigung, dem Spritzguss und dem Hochregallager werden die Teile in die Montagelinien transportiert. Die Bauteile müssen teilweise vor der Montage gereinigt werden, da in der Pharmaindustrie die sogenannte „Good Manufacturing Practice“ (GMP), übersetzt „Gute Herstellungspraxis“, gilt. Das bedeutet, dass *„der Inhaber einer Herstellungserlaubnis Arzneimittel so herstellen muss, dass ihre Eignung für den vorhergesehenen Gebrauch gewährleistet ist, sie den im Rahmen der Zulassung spezifizierten Anforderungen entsprechen und die Patienten keiner Gefahr wegen unzureichender Sicherheit, Qualität oder Wirksamkeit“* ausgesetzt sind [27]. Deswegen wird die Montage in einem Reinraum durchgeführt.

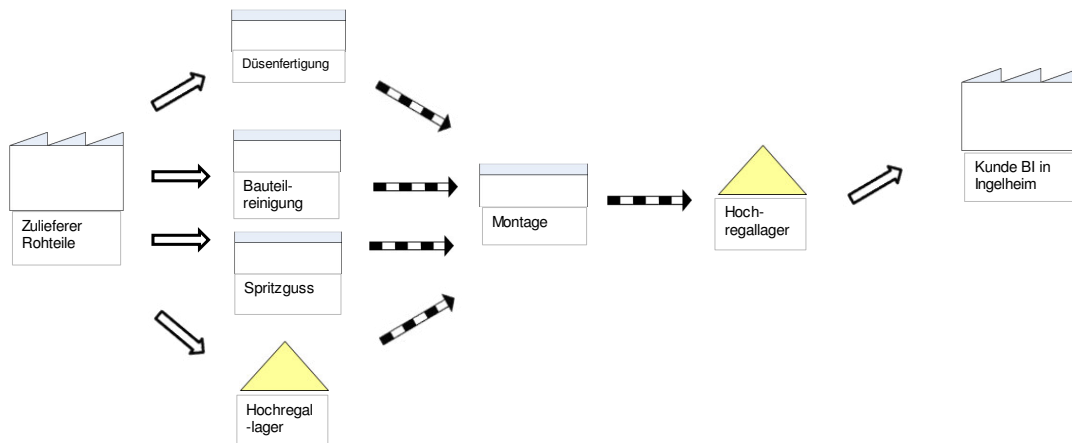


ABBILDUNG 5.3: ERSTE STUFE DER TOP-DOWN MODELLIERUNG

Die endgültige Prozessmodelldetaillierung erfolgt auf Montageebene (vgl. Abbildung 5.4). In einer Wertstromübersicht wird nicht nach wertschöpfenden und nicht wertschöpfenden Tätigkeiten unterschieden. Somit wird der Fluss aller Tätigkeiten und Informationen, sowohl auf physischem als auch auf elektronischem Wege, dargestellt. Grundsätzlich ist eine Wertstromübersicht in mehrere Teile aufgeteilt. In der Mitte der Übersicht ist der Fluss des zu fertigenden Materials mittig dargestellt. Das Schema gliedert den Fluss in Lager und Prozessstationen aufweist. Die Transportinformation wird per Materialflusspfeil angegeben. An den Prozessstationen werden Kennzahlen eingetragen, welche den Teilprozess charakterisieren. Links im Materialflusses steht der Zulieferer und rechts der Kunde. Über dem Materialfluss steht ein Symbol für ein elektronisches Produktionsplanungssystem, welches den Materialfluss steuert. Die Pfeile zeigen an, wohin ein elektronischer Informationsfluss verläuft. Auf den Pfeilen steht in der Regel, welche Information weitergegeben wird. Im unteren Teil der Grafik befindet sich ein Zeitstrahl, der Durchlaufzeit, Prozesszeit und Zykluszeit angibt. Die zum jeweiligen Montageteil gehörige Zeit im Zeitstrahl befindet sich direkt darunter. Dazwischen befinden sich jeweils Reichweiten, in Tagen angegeben, welche die Größe des Puffers angeben.

Gestartet wird beim Kunden, der HPSG. Letztere bestellt nach einem 15-Wochenplan, in dem die Informationen zur Hubzahl und Medikation bzw. Kappenfarbe festgelegt sind. Eine LKW Lieferung findet zweimal wöchentlich statt. Bevor die Inhaltoren nach Ingelheim geliefert werden können, müssen diese final von der Qualitätssicherung freigegeben werden. Dieser Prozessschritt

wird in den Wertstrom mit aufgenommen, da es sich um einen Prozess handelt, der die Fertigstellung des Produktes verzögert. Die Dauer bezieht sich auf den Zeitraum, welcher ab dem Fertigungsende bis zur Endfreigabe benötigt wird. Aus diesem Grund wird die Endlagerung des Gerätes in zwei Lager aufgeteilt, einmal einen freigegebenen Lagerort und dazu in ein nicht freigegebenen Lagerort.

Die Lieferung ins Endlager und an die Qualitätssicherung erfolgt direkt aus der Endmontage. Aus der Abbildung 5.4 kann außerdem entnommen werden, dass alle Transporte per Push-Prinzip erfolgen. Das heißt, dass ohne Rücksicht auf Bedarf, sofort in das Lager für die nächste Station geliefert wird.

Die Montage ist in die Mikro- und Endmontage aufgeteilt. An den einzelnen Modulen werden entweder Montageschritte oder fortlaufende Prüfungen durchgeführt. Die Prüfstationen überprüfen die korrekte Montage, den Zustand der Bauteile sowie die Funktionalität (Spraybild, Dosierung, Bedienkräfte) der Geräte.

Die Zulieferung von zusätzlich benötigten Teilen zur Montage an den Prozessstationen erfolgt über ein Kanban-Supermarkt-System. Das heißt, dass Teile erst angeliefert werden, wenn diese benötigt werden. Dadurch können die Lager kleiner gehalten werden, da diese so konzipiert sind, dass nur festgeschriebene Mengen in die Regale passen. Das Auffüllen der Kanban-Supermarkt Systeme erfolgt durch einen Produktionsmitarbeiter, der regelmäßig die Lager überprüft und nachschaut, ob Nachschub benötigt wird. Alle der Montage zugelieferten Teile kommen aus Pufferlagern, die im Modell zu einem großen zusammengefasst werden.

Die Abbildung 5.4 zeigt nicht den genauen Wertstrom, sondern ist nur eine Quantitative Darstellung des Montageprozesses, da Prozesse innerhalb der Mikro- und Endmontage vernachlässigt worden sind. Eine detaillierte Wertstromübersicht mit detaillierten Informationsflüssen wird im Anhang betrachtet. Dennoch werden die im Zeitstrahl aufgetragenen Informationen nun näher analysiert.

Da die Montage zudem mit maximaler Geschwindigkeit fertigt, entsteht großer Puffer in den Zwischenlagern, sogenannter WIP (work in process), welcher die Durchlaufzeit erhöht. Denn die Zwischenlager sind teilweise so dimensioniert, dass das Produkt mehrere Tage zwischen den Stationen ruht (vgl.

Abbildung 5.4). Demgegenüber benötigen die Fertigungsschritte an den Modulen im Vergleich zur Lagerzeit nur sehr wenig Zeit. Denn sie benötigen maximal 5 Sekunden (siehe Abbildung 5.4). Insgesamt sind die Zykluszeiten im Vergleich zwischen Mikro- und Endmontage auf den ersten Blick ausbalanciert, ohne dabei Zeitverluste und die genauen Prozessschritte zu berücksichtigen.

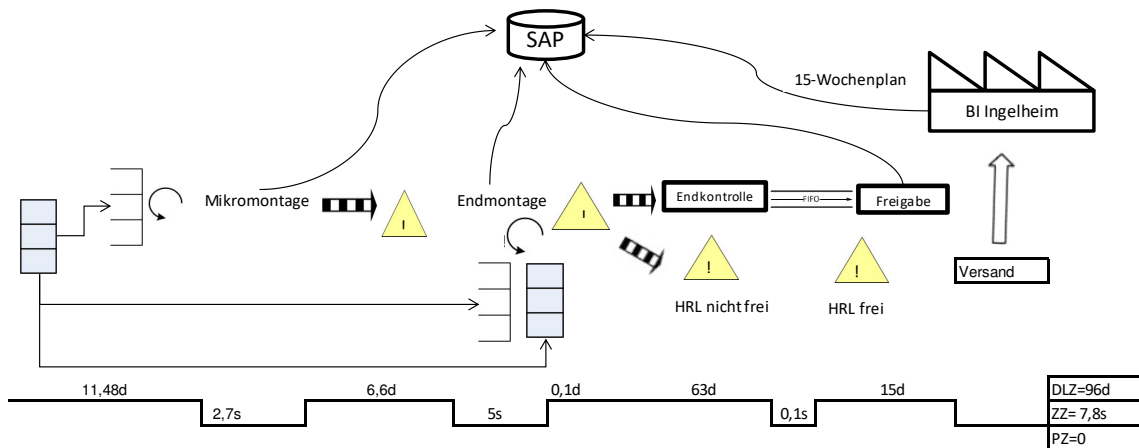


ABBILDUNG 5.4: ENDGÜLTIGER DETAILLIERUNGSGRAD DES BETRACHTETEN MONTAGEPROZESSES

Die Verweildauer in den Zwischenlagern beträgt wie bereits erwähnt teilweise mehrere Tage, obwohl ein hoher Tagesbedarf vorliegt. Größere Mengen im Kanban-Lager vor der Mikromontage sind den Losgrößen der vorgelagerten Produktionen geschuldet. Dazu nehmen die Kleinteile sehr wenig Raum ein. Nach der Mikromontage sind die Lager ebenfalls sehr groß konzipiert. Eine Verknüpfung der Montageabschnitte zwischen Mikro- und Endmontage ist nicht gegeben. Im Gegenteil dazu existieren unterschiedliche voneinander unabhängige Produktionsziele. Zudem muss nach der Mikromontage eine Freigabe zur Weiterfertigung erfolgen. Im Gegensatz zum vorgelagerten Materialfluss sind die Dimensionen der Lager zwischen den Modulen in der Endmontage klein.

Damit nachvollzogen werden kann, wie die Informationen im Zeitstrahl zustande kommen, werden wichtige Schritte zur Berechnung der Kenngrößen angegeben.

Die Zykluszeiten stammen aus Maschinendaten und bedurften daher keiner Berechnung. Im Gegensatz dazu müssen die Reichweiten zur Charakterisierung der Bestände errechnet werden. Eine beispielhafte

Berechnung der Reichweite zwischen Mikro- und Endmontage wird anhand von Beispielzahlen im Folgenden durchgeführt.

$$RW = \frac{BM*GA_i}{TB*#T} = \frac{300.000*0,938}{\frac{0,35*39000000}{320}} = 6,6d$$

Die Anzahl der Gleichteile (#T) ist gleich 1. Die Bestandsmenge im Zwischenlager stammt aus vor Ort Begutachtungen und beträgt 300.000 Stück. Damit ergibt sich die Reichweite zu 6,6 Tagen. Das Ergebnis zeigt, dass die Mikromontage rund 6 Tage lang stillstehen könnte, ohne dass die Endmontage unterversorgt sein würde.

Der Produktionstyp lässt sich als eine scheinbare Mischung aus Make-to-Stock und Make-to-Order einordnen. Während auf der einen Seite in einen großen Puffer in Ingelheim produziert wird, wird gleichzeitig nach Bestellung hergestellt. Diese Bestellung wird schon viele Wochen im Voraus getätigt, sodass sich die Produktion darauf einstellen kann. Diese nach einem Auftrag produzierten Mengen werden jedoch wieder in größeren Puffern gelagert. Das scheinbare Make-to-Order Prinzip dient lediglich der Pufferregelung. Deshalb ist die Steuerung der Montage als Make-to-Stock Prinzip einzustufen.

5.2. Belastungsstudie des Montageprozesses

Die Belastungsstudie analysiert die Auslastung der Prozessschritte. Sie setzt die Zykluszeiten in Zusammenhang mit dem geforderten Kundentakt und vergleicht diese. Somit kann analysiert werden, wie produktiv und ausgeglichen die Herstellung ist. Erlach [12] beschreibt sie als „*Stimmigkeit der Prozesse untereinander*“. Nach DIN 33415 soll die Taktabstimmung Arbeitsinhalte möglichst gleich auf die Prozessschritte verteilen [12].

Zur Analyse wird das sogenannte Taktabstimmungsdiagramm, ein Balkendiagramm, verwendet (Erlach). Im Diagramm werden die Prozessstationen auf der Abszisse aufgetragen. Auf der Ordinate wird die Zeit üblicherweise in Sekunden angetragen. Zur üblichen Grundzeit, Zykluszeit, müssen verlangsamende Faktoren berücksichtigt werden [12]. Rüstvorgänge, Verfügbarkeiten und Qualitätsprobleme sorgen dafür, dass sich die Zykluszeit im

Brutto erhöht. Die Verlustzeiten durch Rüstvorgänge und Verfügbarkeiten können durch die OEE-Kennzahl ausgedrückt werden.

Diejenige Zeit, die nicht zum Produzieren genutzt wird, ist die Verlustzeit. Verluste entstehen durch Ausschuss, Geschwindigkeitsabsenkungen, Stillstände und Störungen. Das Ziel ist es die Verluste soweit es geht zu quantifizieren. Zunächst werden die Qualitäts-Verluste beschrieben. Dazu ist in Abbildung 5.7 ein Pfeil aufgezeichnet, der den Ausschuss an 3 verschiedenen Positionen aufzeigt. Der Ausschuss wird nicht nachbearbeitet, sondern entsorgt. An den Modulen, an denen Ausschuss entsteht fließt jedoch die gleiche Menge durch, wie beim vorherigen Modul. Im folgendem wird ein Ansatz zur Berechnung der Qualitätsverluste aufgestellt.

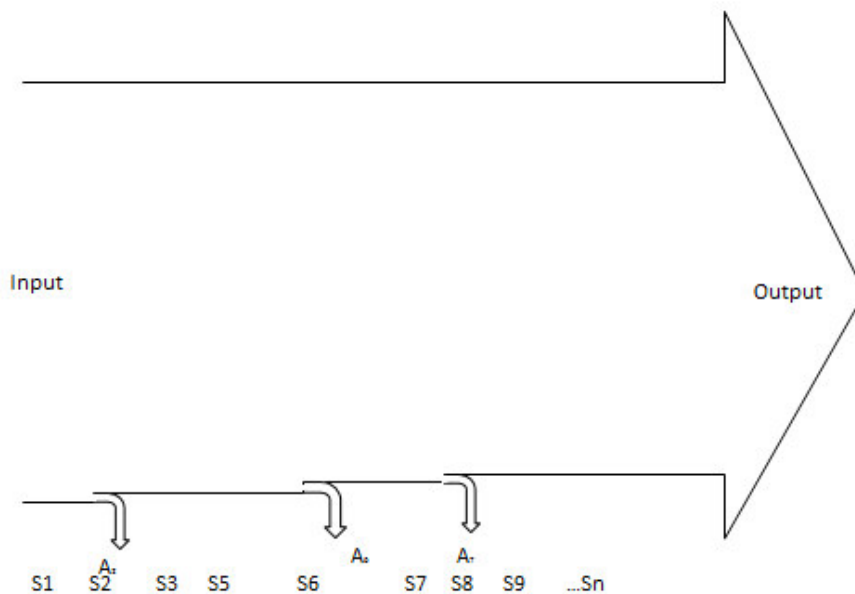


ABBILDUNG 5.5: VERANSCHAULICHUNG DES DURCHFLUSSES

Zunächst stellt sich die Frage, wie viel Teile an der vorherigen Station produziert werden müssten, wenn sie teilweise im Ausschuss (A) aussortiert werden. Dazu wird DF_{Qk} definiert als der Durchfluss durch Modul k infolge von Qualitätsverlusten (Q).

$$DF_{Q1} = \frac{ZZ_{Q2}}{(1 - \frac{A_1}{100})} \quad \text{weiter gilt } DF_{Qn} = \left(1 - \frac{A_1}{100}\right) * \dots * \left(1 - \frac{A_n}{100}\right) * DF_{Q1}$$

Beweis mit vollständiger Induktion:

1.) Behauptung/ Induktionsvoraussetzung:

$$DF_{Q_{n+1}} = \left[\prod_{k=1}^n \left(1 - \frac{A_k}{100} \right) \right] * DF_{Q_1} = DF_{Q_n} * \left(1 - \frac{A_n}{100} \right)$$

$$\forall n \in \mathbb{N}: (n \geq k \wedge A(n) \Rightarrow A(n+1)); k \in \mathbb{N}; A_k \in [0,1]; DF_k \in \mathbb{R}^+$$

2.) Induktionsanfang k=1:

$$DF_{Q_2} = DF_{Q_1} * \left(1 - \frac{A_1}{100} \right) \quad \text{stimmt, damit wird auf } n+1 \text{ geschlossen:}$$

3.) Induktionsende n = n+1:

$$\begin{aligned} DF_{Q_{n+1+1}} &= \left[\prod_{k=1}^{n+1} \left(1 - \frac{A_k}{100} \right) \right] * DF_{Q_1} = \left[\prod_{k=1}^n \left(1 - \frac{A_k}{100} \right) \right] * DF_{Q_1} * \left(1 - \frac{A_{n+1}}{100} \right) \\ &= DF_{Q_{n+1}} * \left(1 - \frac{A_{n+1}}{100} \right) \quad \blacksquare \end{aligned}$$

Das bedeutet, dass an Prozessstation 1 das $t_k := \frac{1}{\left[\prod_{k=1}^n \left(1 - \frac{A_k}{100} \right) \right]}$ -fache mehr

durchfließen muss als am Ende der Montage.

Mithilfe des Durchflusses kann nur errechnet werden, um welchen Zeitanteil sich die Zykluszeit infolge von Qualitätsverlusten erhöht. Ein Zykluszeitverlust infolge von Qualitätsdefiziten kann wie folgt errechnet werden:

$$ZZ_{Qk} = ZZ_k * t_k - ZZ_k$$

FORMEL 5.2: ZYKLUSZEITVERLUST INFOLGE VON QUALITÄTSDEFIZITEN

Auf der anderen Seite kann die Gutasbeute nun folgendermaßen ausgedrückt werden:

$$GA_i = \frac{1}{t_i}$$

FORMEL 5.3: FORMEL FÜR DIE GUTASBEUTE

Der Zusammenhang der Zykluszeitverluste infolge von Qualitätsdefiziten wird zur Anteilsbestimmung der Qualitätsverluste an den OEE-Verlusten benötigt.

Die Zykluszeiten sind in einem beispielhaften Taktabstimmungsdiagramm (siehe Abbildung 5.6) über die Prozessstationen angetragen. Die Balkenanteile für die Verlustzeiten sind dunkelrot gehalten. Eingerechnet sind die größeren Bedarfe, die durch Verluste flussaufwärts größer werdend anfallen. Es ist zu erkennen, dass die OEE-Verluste einen größeren Zeitanteil von bis 50 Prozent

aufweisen. In den OEE-Verlusten sind Rüstzeiten und Ausschussanteile enthalten.

Insgesamt sind alle Prozessstationen ausbalanciert. Nur die ersten beiden Prozessstationen sind etwas schneller als die übrigen. Dies hängt damit zusammen, dass sich die Ausschüsse am Anfang der Produktion stärker auswirken und somit Kapazität freigehalten wird, falls sich die Ausschussraten erhöhen.

Zudem sind zwei waagerechte Linien eingezeichnet, die den geforderten, zuvor in Abschnitt 5.1.2 errechneten, Kundentakt angeben. Die rote Linie spiegelt den automatisierten Kundentakt wieder, während die orangene Waagerechte den manuellen Kundentakt wiedergibt. Es ist zu erkennen, dass alle Module den geforderten Kundentakt einhalten. Nur die Prozessstation 2 muss den manuellen Kundentakt einhalten.

Es stellt sich die Frage, welchen Anteil die einzelnen Verluste an der OEE-Kennzahl haben. Deshalb wird der Zykluszeitverlust beispielhaft berechnet. Laut obiger Formel 5.2 ergibt sich bei beispielhaften Ausschüssen von einem, 1,5 und 2 Prozent an drei Prozessstationen eine 4,6 Prozentige Mehrleistung an der ersten Prozessstation. Der Bezug auf die erste Prozessstation wurde gewählt, da hier die Qualitätsdefizite am größten auswirken. Diese Mehrleistung von 4,6 Prozent entspricht bei OEE-Verlusten von über 30 lediglich einem geringen Anteil. Folglich entstehen größere Verluste durch Geschwindigkeits- und Zeitverluste. Daher sind die Zykluszeitverluste durch Qualitätsdefizite innerhalb der OEE-Verluste sehr gering und können daher vernachlässigt werden.

Ein zur Produktion der BlmP gehöriges Taktabstimmungsdiagramm wird im Anhang ausgewertet.

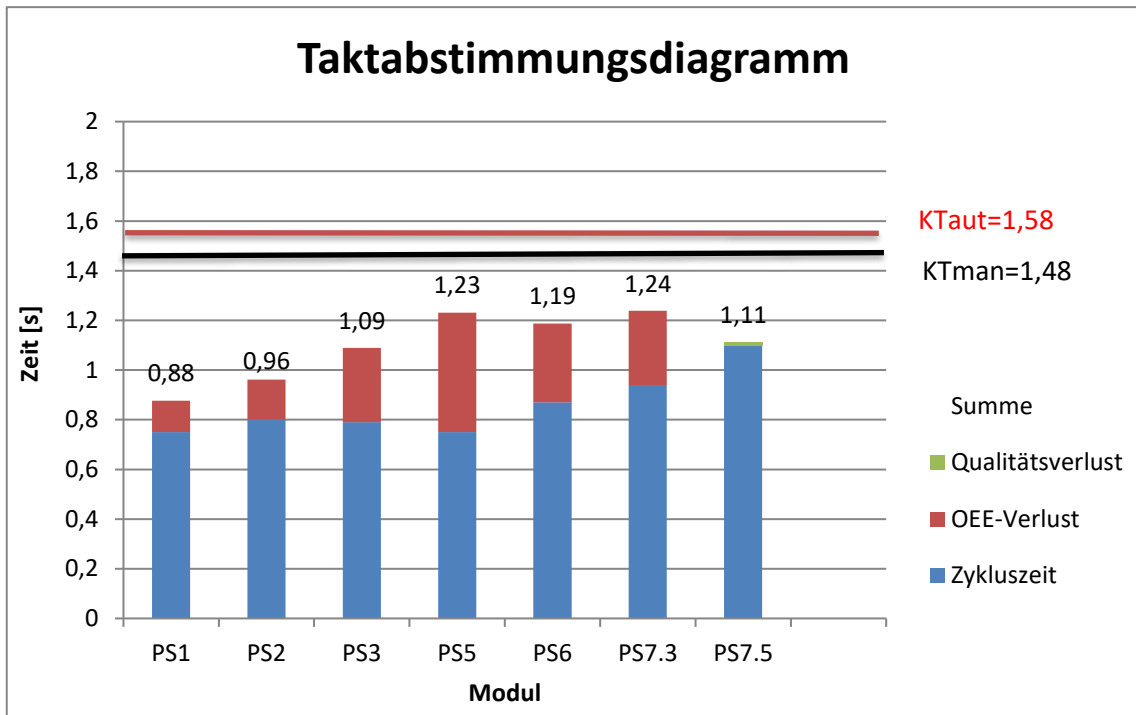


ABBILDUNG 5.6: BEISPIELHAFTES TAKTABSTIMMUNGSDIAGRAMM INKLUSIVE DER OEE-VERLUSTE NACH [12]

5.3. Datenaufbereitung und -visualisierung zum Montageprozess

Dieses Unterkapitel nennt die Daten des Montageprozesses, welche im Anhang mithilfe von Visualisierungen aufbereitet werden. Eine Datenaufbereitung bereitet vorliegende Rohdaten auf, sodass sie für Experimente und Analyse innerhalb einer Simulationsstudie verwendet werden können [19]. Zuallererst kann jedoch damit begründet werden, ob der Einsatz einer Simulation bei bestimmten Verhaltensweisen des Systems angebracht wäre. Denn bestimmte Verhaltensweisen erfordern neben einer grundlegenden Optimierung eine weitere Entscheidungsunterstützung. Dazu werden die aus der Prozessmodellierung vorliegenden Kennzahlen näher analysiert, indem beispielsweise Streuung und Tendenz untersucht werden.

Um diesen Prozess näher zu charakterisieren, werden zunächst die Schwankungen, der Ausschüsse analysiert. Bei konstanten Ausschüssen ist eine statische Betrachtung denkbar. Bei schwankenden Ausschüssen kann das System eventuell nur dynamisch betrachtet werden.

Als nächstes werden die OEE-Kennzahlen ausgewertet. Sie sind ein Indikator dafür, ob eine Maschine konstant produziert, oder ob häufig Störungen auftreten. Bei letzterem Verhalten muss das Teilsystem stochastisch betrachtet werden. Darüber hinaus kann darauf geschlossen werden, ob bestimmte Prozessstationen als Ablauffolge für eine Fließfertigung geeignet sind.

Eine weitere Aussage über Dynamik und Stochastik im System bietet die Auswertung der Zykluszeiten. Die Schwankungen der Zykluszeiten werden in einem Box-Plot analysiert. Das Ergebnis der Auswertung ist, dass die Prozessschritte sowohl dynamisches als auch stochastisches Verhalten aufweisen.

Zuletzt wird der kritische Bereich der Endfreigabe analysiert. Dazu wird die Freigabedauer, der Bestandsverlauf in Abhängigkeit vom Freigabestatus sowie deren Zusammenhang ausgewertet.

Das endgültige Ergebnis der Datenaufbereitung ist, dass das Produktionssystem dynamisches, zeitinvariantes, nichtlineares sowie stochastisches Verhalten aufweist. An welchen Stellen genau welches Verhalten auftritt wird Unterkapitel 6.3 beantwortet.

5.4. Verifikation und Validierung der Daten und des Modells

Folgendes Unterkapitel beschäftigt sich mit der Verifikation und Validierung der ausgewerteten Daten sowie des aufgestellten Prozessmodells. Hierfür werden zunächst die beiden genannten Begrifflichkeiten erläutert. Verifikation prüft das Übertragen eines Konzeptmodells in ein angemessenes Computermodell. Die VDI [4] beschreibt es als „[...] *formalen Nachweis der Korrektheit des Simulationsmodells*“ [4].

Eine Validierung garantiert, dass das Prozessmodell das betrachtete Realsystem für eine spezielle Anwendung akkurat und im Kontext der Zielsetzung abbildet [16]. Konzeptmodellvalidierung und Datenvalidierung schaffen eine Ergebnisvalidierung und sorgen für Glaubwürdigkeit und Nachvollziehbarkeit [19].

Durch die Verifikation und Validierung soll Fehlerfreiheit gewährleistet werden. Nachvollziehbarkeit und Glaubwürdigkeit dienen dafür, den Anwender bzw. Entscheidungsträger davon zu überzeugen, dass durch Aussagen für das

Simulationsmodell, Rückschlüsse auf das reale System gezogen werden können [19].

Das Prozessmodell wurde anhand der Wertstromanalyse visualisiert. Eine Begutachtung durch Experten ist vorgenommen worden. Für eine erfolgreiche Begutachtung gibt Rabe [19] mehrere Kriterien an. Die Detaillierung soll so gewählt, dass sie die Anwendung angemessen wiedergibt. Zum anderen müssen Richtlinien eingehalten werden, sodass die Verständlichkeit garantiert ist. Eine Überprüfung auf Vollständigkeit hat ebenfalls stattgefunden.

Mathematische Ergebnisse aus Formeln, wie beispielsweise der Kundentakt, wurden anhand von Dimensionstests verifiziert. Anhand der Formel 5.1 wird ein Dimensionstest beispielhaft durchgeführt. Die Verfügbare Arbeitszeit pro Jahr wurde durch die Multiplikation von Schichten pro Woche mal Dauer der Schicht in Stunden mal die Wochen pro Jahr, in denen gearbeitet wird, berechnet. Der Kundenbedarf ist in Stück pro Jahr angegeben. Damit folgt

$$KT = \frac{\text{verfügbare Arbeitszeit pro Jahr}}{\text{Kundenbedarf pro Jahr}} = \frac{\frac{\text{Schicht}}{\text{Woche}} * \frac{\text{std}}{\text{Schicht}} * \frac{\text{Wochen}}{\text{Jahr}}}{\frac{\text{Stück}}{\text{Jahr}}} =$$

$$\frac{\text{std}}{\text{stck}} * 3600 \frac{\text{s}}{\text{std}} = \frac{\text{s}}{\text{stck}}$$

Um in SI-Einheiten und den üblichen in einer Wertstromanalyse vorkommenden Einheiten zu bleiben, wird die Einheit Stunde in Sekunde umgerechnet, indem mit 3600 multipliziert wird. Damit stimmt die Dimension mit dem allgemein gültigen Kundentakt überein.

Ebenfalls wurden die Daten und das Modell mittels Schreibtischtest und strukturiertem Durchgehen überprüft. Eine Begutachtung der Daten durch Experten hat ebenfalls stattgefunden.

Abschließend werden die Daten auf ihre Qualität nach den IQ Dimensionen der Deutsche Gesellschaft für Informations- und Datenqualität e.V. (vgl. Unterkapitel 4.4) validiert. Die erste Qualitätsdimension Zugänglichkeit ist erfüllt, da sämtliche Daten der Prozessaufnahme abrufbar sind. Dazu können sie jederzeit aus den genannten Quellen neu beschafft werden. Weiterhin sollte die Datenmenge ausreichen, da sämtliche Daten ausgewertet wurden. Da die Daten mit hohem Aufwand beschafft und aufbereitet wurden, ist eine große Glaubwürdigkeit gegeben. Dazu wurden sie mithilfe von Experten validiert.

Die Daten sind insgesamt vollständig und übersichtlich dargestellt. Sie sind fast immer einheitlich. Falls dies nicht der Fall sein sollte, sind sie dem speziellen Anwendungsfall angepasst. Dazu sind die Daten bearbeitbar sowie fehlerfrei. Eine Mehrdeutigkeit bezüglich der Daten ist ausgeschlossen. Die Daten sind mit der höchstmöglichen Objektivität aufgenommen worden.

Daten wurden nur erfasst, wenn sie für die vorliegende Arbeit oder weitere Untersuchungen relevant sind. Die Systeme wie zum Beispiel das SAP, aus denen die Daten entnommen wurden, genießen ein hohes Ansehen und eine hohe Vertrauenswürdigkeit. Die Daten sind aktuell. Falls Daten, welche nicht aus dem letzten Jahr stammen, verwendet worden sind, sind sie im Zusammenhang mit den neuen Daten betrachtet worden. Es wurden nur Daten ausgewertet, welche nach dem 1. Januar 2015 erfasst worden sind. Damit ist die Aktualität der Daten sichergestellt. Um die Verständlichkeit der Daten zu gewährleisten wurden Visualisierungen erstellt. Dazu wurden letztere detailliert beschrieben und analysiert. Die letzte IQ-Dimension der Wertschöpfung ist ebenfalls erfüllt, da ihre weitere Nutzung einen Mehrwert für die vorliegende Arbeit darstellt.

6. Konzeptentwicklung zu Prozessalternativen des Produktionsprozesses

Neben der Entwicklung einer Prozessalternative wird analysiert, welche Faktoren die Komplexität des Prozesses erhöhen. Anhand dieser Faktoren wird erläutert, warum eine kausale Auswahl einer Prozessalternative nur sehr schwer oder gar nicht möglich ist. Daraus ergibt sich die Antwort, ob eine Simulation als Entscheidungsunterstützung empfohlen werden kann.

Somit wird in diesem Kapitel zunächst analysiert, wo Optimierungspotentiale bestehen (Unterkapitel 6.1). Danach werden Maßnahmen zu Prozessalternativen unter der Betrachtung bereits erarbeiteter Alternativen in Unterkapitel 6.2 beschrieben. In diesem Zusammenhang wird auch analysiert, wo bestimmte Faktoren (dynamische Effekte etc.) im Prozess vorliegen. Zuletzt wird in Unterkapitel 6.3 beantwortet, welche Unterstützenden Maßnahmen Abhilfe schaffen können, um eine Auswahl einer Prozessalternative herbeizuführen. Es wird eine Entscheidungsunterstützung mit der Entwicklung von Anforderungen, die diese erfüllen muss, empfohlen. Eine ausführliche Konzeptentwicklung und eine Risikoanalyse in Bezug auf die betrachteten Alternativen werden im Anhang durchgeführt. Im Kontext von Six Sigma entspricht dieses Kapitel der Improve-Phase des DMAIC-Zyklus.

6.1. Optimierungsansätze bezüglich des Montageprozesses

Im kommenden Unterkapitel wird gezeigt, wo Optimierungsansätze vorliegen. Das Vorgehen dieses und des nächsten Unterkapitels orientiert sich am Wertstromdesign aus dem Wertstrommanagement (vgl. Abschnitt 2.5.4). Der Unterschied besteht darin, dass zuerst nur gezeigt wird, wo Optimierungsansätze vorliegen. So werden die Ansätze zunächst anhand der Produktionsstruktur beschrieben (siehe Abschnitt 6.1.1). Danach wird in Abschnitt 6.1.2 analysiert, wo sich Ansätze für eine Kapazitätsdimensionierung befinden. In Abschnitt 6.1.3 werden anschließend Vorschläge zur Produktionsplanung entwickelt. Zuletzt

werden Ansatzpunkte in Bezug auf den Informationsfluss der Produktionsplanung genannt (siehe Abschnitt 6.1.4).

6.1.1. Optimierungsansätze zur Produktionsstruktur

Die Produktion ist in Bezug auf die Reihenfolge der Montage eindeutig festgelegt. Eine Änderung des speziellen Montageablaufes ist nicht möglich. Die Reihenfolge des Prozesses könnte lediglich geändert werden, wenn Prüfungen geändert würden, sodass die Prozessfolge umstrukturiert werden könnte. Dies entspricht einer Verschiebung der Prüfungen zwischen den Montageschritten. Dieses Thema wird im Anhang näher betrachtet.

Neben dem Ablauf kann der Materialfluss geändert werden. Das Befüllen eines Lagers der nächsten Station findet durch ein Push-Prinzip statt. Um die Bestände zwischen den Prozessstationen zu verringern, sollte auf ein Supermarkt-Pull-System umgestellt werden. Das bedeutet, dass eine Weiterfertigung erst erfolgt, wenn noch Kapazität im Lager der nächsten Station vorhanden ist. So könnten die Bestände bei konstanter Produktion minimiert werden.

Ein weiterer Ansatzpunkt ist die Strukturierung der Zwischenlager. Teilweise muss zunächst eine Freigabe zur Weiterfertigung vorliegen, damit das nächste Modul mit der Produktion aus dem Zwischenlager beginnen kann. Das bedeutet, dass sich in Zwischenlagern freies und noch zu prüfendes Material befindet. Hier ist eine Einteilung der Zwischenlager in freien Lagerbestand und nicht freien Lagerbestand sinnvoll.

Zuletzt kann die Mikromontage optimiert werden, indem ein manueller Prozessschritt automatisiert wird. Dann könnte ein kontinuierlicher Materialfluss in der Mikromontage stattfinden.

6.1.2. Ansätze zur Optimierung der kapazitiven Dimensionierung

Das Ziel der kapazitiven Auslegung ist das Einhalten des Kundentakts. Folglich müssen die Prozessschritte an den Kundentakt angepasst werden, sodass automatisch eine Ausgewogenheit gewährleistet ist. Dazu wird das Taktabstimmungsdiagramm verwendet. Aus letzterem ergibt sich der erste

Ansatzpunkt, nämlich eine Anpassung der ersten beiden Module näher zum Kundentakt hin.

Um die Produktionsprozesse näher an eine kontinuierliche Fließfertigung heranzuführen, ist eine Optimierung der Durchlaufzeit zwangsläufig. Diese kann durch eine drastische Verkürzung der Bearbeitungszeiten oder einer Minimierung der Puffer zwischen den Modulen herbeigeführt werden [12]. Die Bearbeitungszeiten könnten mit der Einführung eines anderen Schichtmodells, optimiert werden. Die Optimierung der Zwischenlager ist ein separates Thema und wird daher ebenfalls im Anhang durchgeführt.

6.1.3. Optimierungsansätze zur Steuerung des Montageprozesses

Ein Produktionsauftrag wird vom Kunden in Ingelheim 15 Wochen im Voraus generiert. Der Auftrag entsteht aus einem Puffer, welcher wieder aufgefüllt werden muss. Der Kundentakt (bezüglich des Patienten) gibt an, wann eine Bestellung einer speziellen Variante im Prozess berücksichtigt wird. Letzterer ist nicht an die Produktion, sondern am Puffer des Zwischenhändlers gekoppelt, obwohl eine Variantenfestlegung bereits in der Produktion stattfindet. Somit lässt sich die Steuerung als Make-to-Stock einordnen. Der Produktionsauftrag, generiert durch einen Bedarf an Puffer, wird an die Endmontage übermittelt. Hier beginnt ein spezieller Produktionsauftrag, welcher die Produktionsvariante festlegt.

Die Entfernung vom Anfang, der Bestellung, 15 Wochen im Voraus, bis zum Kunden ist extrem groß. Hieraus ergibt sich ein wichtiger Ansatzpunkt, welcher im nächsten Unterkapitel behandelt wird. Dabei wird sowohl auf die Steuerung des Auftrages durch Kundenbedarf, als auch auf die Steuerung des Produktionsprozesses eingegangen.

6.1.4. Ansätze zur Optimierung der Produktionsplanung

Die Produktionsplanung beschäftigt sich zunächst mit der Festlegung der Freigabeeinheit und somit auch der Losfertigung. Die Losfertigung kann anhand des Marktbedarfes, der Freigabeeinheit und den Kosten (EOQ-Model) optimiert

werden. Dies wird in dieser Arbeit jedoch aus Kapazitätsgründen nicht behandelt. Eine Produktionsglättung ist nicht erforderlich, da die Kundennachfrageschwankungen ausgeglichen werden (siehe Abschnitt 5.1.3).

6.2. Entwicklung möglicher Prozessalternativen bezüglich der Montage

Dieses Unterkapitel schildert den Weg zur Entwicklung einer Prozessalternative, welche im Anhang durchgeführt wird. Es benennt, welche Ansatzpunkte aus dem vorherigen Unterkapitel genutzt werden, um eine Prozessalternative zu gestalten.

Zunächst werden die von der BlmP konzipierten Prozessalternativen analysiert. Zur Entwicklung einer neuen Prozessalternative wird zunächst eine optimale Struktur entwickelt.

Ein Ansatzpunkt zur Optimierung der Montage ist beispielsweise das Einführen von Supermarkt-Pull-Systemen (siehe Abschnitt 6.1.1), weil diese Zwischenlager kleinere Puffer bzw. kleinere WIPs erlauben [15]. Danach wird die Produktion kapazitiv am Kundentakt ausgelegt.

Im nächsten Abschnitt wird die Steuerung des Montageprozesses behandelt. Hier könnte versucht werden, den Kundenkontaktpunkt näher zum Kunden hin zu verschieben. Zuletzt wird der gesamte Prozess von der Montage in Dortmund bis hin zum Patienten betrachtet (End-to-End). In diesem Zusammenhang wird die entwickelte Prozessalternative näher erläutert.

6.3. Weitere Untersuchungen zur Entscheidungsunterstützung

Es stellt sich nun die Frage, ob eine computergestützte Entscheidungsunterstützung für den analysierten Prozess sinnvoll ist. Deshalb wird im weiteren Verlauf gezeigt, welche speziellen Faktoren der Prozess aufweist.

Die Dynamik ist ein Faktor, der das ganze Produktionssystem komplexer macht. In dem vorliegenden Prozess sind viele Bereiche dynamisch geprägt. Oftmals ist der Lagerbestand zwischen den Modulen als dynamisch anzusehen,

da dieser stärker schwankt. Dies ist teilweise Prozessen mit Prozesszeiten geschuldet, weil eine Anlieferung an die nächste Station in größeren Abständen und mit größeren Losen bzw. Unterlosen stattfindet. Oftmals treten diese Schwankungen in der Endmontage zwischen dem Minimum und dem Maximum des Lagerbestands auf.

Gerade deswegen sind sowohl Mikro- als auch Endmontage kontinuierlicher Dynamik ausgesetzt. Dies untermauern die OEE-Kennzahlen der einzelnen Module (vgl. Anhang). Da Ausschüsse laut der Prozessaufnahme nur einen kleinen Einfluss auf die OEE-Verluste haben, sind die niedrigeren OEE-Kennzahlen den Geschwindigkeits- und Zeitverlusten zuzuordnen. Diese Verluste erhöhen die Dynamik, da nicht konstant produziert werden kann.

Ebenfalls haben die Zwischenfreigaben wegen der In-Prozessprüfungen einen Einfluss auf die Dynamik. So weisen die Lager einen Zeitabhängigen Verlauf in Bezug auf Bestand und der Freigabe auf. Die zuletzt genannten Punkte sorgen darüber hinaus für eine Zeitinvarianz des Systems, da sich die Systemzustände zeitlich unabhängig voneinander ändern.

Ein weiterer Faktor, welcher für eine Entscheidungsunterstützung spricht ist die Zufälligkeit. Da bestimmte Ereignisse stochastisch auftreten, wird die Komplexität des Systems zusätzlich erhöht. Beispiele für ein zufällig eintretendes Ereignis sind eine Störung, Eintreffen von Arbeit und Material oder ein Maschinenausfall. Hier haben auch die Prozesszeiten an den Arbeitsstationen einen großen Einfluss auf das zufällige Eintreffen größerer Lose bzw. Unterlose an der nächsten Station.

Weiterhin ist das gesamte System abhängig von diskreten Zustandsänderungen. Ein Beispiel ist die Freigabe zur Weiterfertigung nach der In-Prozesskontrolle hinter der Mikromontage. Daher ist eine kontinuierliche Betrachtung des Gesamtsystems nicht zielführend. Da sich das Produktionssystem als nicht zeitgesteuert, sondern ereignisorientiert charakterisieren lässt. Deshalb kommt eine ereignisdiskrete Simulation in Frage.

Aufgrund der Faktoren, die im Prozess vorkommen, kann nicht direkt entschieden werden kann, welche Prozessalternative die Beste ist. Neben einer in dieser Arbeit entwickelten Prozessalternative, stehen drei weitere Alternativen der Firma BlmP zur Verfügung (vgl. Anhang). Außerdem kann bei einer Änderung

einer Stellgröße, wie zum Beispiel der Bestand in den Zwischenlagern, kein Ergebnis über den Endzustand des Systems angegeben werden. Daher sollte eine weitere computergestützte Untersuchung als Entscheidungsunterstützung durchgeführt werden, welche die genannten Faktoren berücksichtigt.

Somit ergeben sich folgende Anforderungen an eine Simulationssoftware, welche in „harte“ und „weiche“ Anforderungen unterteilt werden.

Folgende „harte Anforderungen“ müssen erfüllt werden:

- Ereignisdiskrete Simulationssoftware
- Berücksichtigung von stochastischen Ereignissen
- Gewährleistung von bestimmten Parameteränderungen für den Anwender (Beispielsweise Bestand und Durchlaufzeit)
- Eignung für erarbeitete Prozessalternativen (siehe Anhang)
- Abbildung des betrachteten des Montageprozesses
- Keine voraussetzenden Simulationskenntnisse als Anforderung an den Anwender

Dazu sind folgende „weiche Anforderungen“ wünschenswert:

- Innerhalb von 6 Monaten durchführbar
- Graphical User Interface (GUI) zur einfachen Bedienung
- Einfache Bedienung und Handhabung
- Animation wünschenswert

Das Ausmaß Komplexität der Anwendung kann im Voraus nicht bestimmt werden, da sie vom Detaillierungsgrad der weiteren Betrachtung abhängt.

7. Zusammenfassung und Ausblick

Der Ist-Zustand des Montageprozesses wurde detailliert aufgenommen. Dessen Auslastung wurde mittels einer Belastungsstudie analysiert. Rohdaten wurden zur genaueren Charakterisierung aufgenommen und aufbereitet. Das Ergebnis der Prozessaufnahme sind ein verifiziertes und validiertes Prozessmodell sowie zum besseren Verständnis dienende Visualisierungen. Darüber hinaus wurde gezeigt, wie eine Erarbeitung einer optimierten Prozessalternative durchgeführt wird. Im Anhang wurde dazu eine Prozessalternative entwickelt und mit bereits vorhandenen Alternativen verglichen. Dabei wurden sich potentiell ergebene Risiken analysiert.

Es wurde außerdem gezeigt, welche Faktoren im Produktionssystem vorliegen, sodass eine Simulation als Entscheidungsunterstützung empfohlen wird. Denn bei der Lösungsfindung müssen dynamische und stochastische Effekte mitberücksichtigt werden. Denn die Variabilität der Zykluszeiten sowie stärkere Schwankungen in Zwischenlagern, beispielsweise bedingt durch Prozesszeiten, bedürfen einer komplexeren Betrachtung des Produktionssystems.

Das Ergebnis dieser Arbeit ist, dass zur weiteren Bewertung der Prozessalternativen eine computergestützte Simulation als Entscheidungsunterstützung empfohlen wird. Dafür wurde eine Anforderungsliste erstellt, die eine Simulationssoftware zur anwendungsgerechten Benutzung erfüllen sollte. Mithilfe einer computergestützten Ablaufsimulation könnte unter anderem ein kritischer Lagerbestand (WIP) ermittelt werden, welcher derart niedrig ist, sodass eine kürzest mögliche Durchlaufzeit gefunden wird.

Demnach sollte im weiteren Verlauf nach einer ereignisdiskreten Simulationsstudie der ASIM vorgegangen werden, damit eine Lösungsauswahl auf eine Ablaufsimulation gestützt werden kann. Dies würde voraussichtlich 6 Monate Zeit in Anspruch nehmen.

8. Literatur

- 1 *Nyhuis P, Reinhart G, Abele E (Hrsg.):* Wandlungsfähige Produktionssysteme Heute die Industrie von morgen gestalten. Garbsen, Hannover: PZH Produktionstechnisches Zentrum; Technische Informationsbibliothek u. Universitätsbibliothek, 2008
- 2 *Becker, Torsten:* Prozesse in Produktion und Supply Chain optimieren. Berlin: Springer, 2005. Online verfügbar unter: <http://site.ebrary.com/lib/alltitles/docDetail.action?docID=10182944>
- 3 *März, Lothar, Krug, Wilfried, Rose, Oliver, Weigert, Gerald (Hrsg.):* Simulation und Optimierung in Produktion und Logistik Praxisorientierter Leitfaden mit Fallbeispielen. Springer, 2011, S.3 ff.
- 4 *Verein Deutscher Ingenieure:* Simulation von Logistik-, Materialfluss- und Produktionssystemen - Begriffe. 01. Aufl. (Dezember 2013); 2013
- 5 *BImP:* interne Quelle. Dortmund: 2017
- 6 *Becker, Jörg, Kugeler, Martin, Rosemann, Michael (Hrsg.):* Prozessmanagement. Ein Leitfaden zur prozessorientierten Organisationsgestaltung. Siebte, korrigierte und erweiterte Auflage. Berlin Heidelberg: Springer Gabler, 2012, S.4 ff.
- 7 *Koch, Susanne:* Einführung in das Management von Geschäftsprozessen, Six Sigma, Kaizen und TQM, 2. Auflage. Springer Vieweg; 2015, S.1 ff.
- 8 *Wenzel S, Weiß M, Collisi-Böhmer S, Pitsch H, Rose O:* Qualitätskriterien für die Simulation in Produktion und Logistik. Berlin: Springer, 2007
- 9 *Günther, Marco, Velten, Kai:* Mathematische Modellbildung und Simulation Eine Einführung für Wissenschaftler, Ingenieure und Ökonomen. Weinheim: Wiley-VCH, 2014, S.1-68
- 10 *Zollondz Hans-Dieter:* Grundlagen Lean Management Einführung in Geschichte, Begriffe, Systeme, Techniken sowie Gestaltungs- und Implementierungsansätze eines modernen Managementparadigmas; Edition Management; Oldenbourg Verlag, 2013, S.3 ff.
- 11 *Bicheno, John, Holweg, Matthias:* The Lean Toolbox 5th Edition, Ausgabe 5. Buckingham: Verlag Picsie Books, 2016, S.1 ff.

- 12 *Erlach, Klaus*: Wertstromdesign Der Weg zur schlanken Auflage 2. bearbeitete und erweiterte Auflage. Berlin Heidelberg: Springer 2010, S.1 ff.
- 13 *Rother, Mike, Shook, John*: Learning To See. Cambridge, MA: Lean Enterprise Institute, 1998
- 14 *Arnold, Dieter, Furmans, Kai*: Materialfluss in Logistiksystemen 6. Erweiterte Auflage. Springer; VDI, 2009, S.11 ff.
- 15 *Hopp, Wallace J, Spearman, Mark L*: Factory Physics, Third Edition. Long Grove: Waveland Press, INC., 2008
- 16 *Robinson, S.*: Simulation. The Practice of Model Development and Use. Chichester. John Wiley & Sons Ltd. Verlag, 2004
- 17 *Fischer, Peter, Hofer, Peter*: Lexikon der Informatik, 15. Auflage. Springer, 2011
- 18 *Law, A.M.; Kelton, W.D.*: Simulation Modeling and Analysis. New York, McGraw-Hill Verlag, 2000
- 19 *RABE, M., SPIECKERMANN, S., S., WENZEL, S.*: Verifikation und Validierung für die Simulation in Produktion und Logistik. Berlin: Springer, 2008
- 20 *Zhou , Zhugen , Rose, Oliver*: A WIP Balance Study from Viewpoint of Tool Group in a Wafer Fab, Studie zur WIP-Balancierung von Lastverbänden in der Halbleiterfertigung. Dresden: University of Technology, Dresden, 2010
In: *Zülch, Gert, Stock, Patricia (Hrsg.)*:Integrationsaspekte der Simulation: Technik, Organisation und Personal. Karlsruhe: KIT Scientific Publishing, 2010
- 21 *Cassandras CG, Lafortune S.*: Introduction to discrete event systems. 2. Aufl. New York, NY: Springer, 2010; S.341-348
- 22 *Mutzke , Harald, Rabe, Markus, Wiener, Kurt* Ergebnisse aus einem VDI-Richtlinienausschuss Business Process Modelling and Simulation, Oldenburg (Germany). In: *Zülch, Gert, Stock, Patricia (Hrsg.)*: Integrationsaspekte der Simulation: Technik, Organisation und Personal. Karlsruhe: KIT Scientific Publishing, 2010;S. 551-558

- 23 *Mayer, Gottfried, Spieckermann, Sven*: Lebenszyklus von Simulationsmodellen: Anforderungen und Fallbeispiele aus der Automobilindustrie Life Cycle of Simulation Models: Requirements and Case Studies in the Automotive Industry. In: *Rabe, Markus (ed.)*. Advances in Simulation for Production and Logistics Applications. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2008, S.61-69
- 24 *Hellingrath B, Rabe M (Hrsg.)*: Handlungsanleitung Simulation in Produktion und Logistik - Ein Leitfaden mit Beispielen für kleinere und mittlere Unternehmen. San Diego: SCS International, 2001
- 25 *Kasten, Gerhard; Rohweder, Jan Philipp*: Informationsqualität – Definitionen, Dimensionen und Begriffe. In: Hildebrand, Knut; Gebauer, Marcus; Hinrichs, Holger; Mielke, Michael: Daten - und Informationsqualität, 2. Edition. Wiesbaden: Vieweg + Teubner, 2011, S.25 - 45
- 26 *Gorecki, Pawel, Pautsch, Peter*: Praxisbuch Lean Management Der Weg zur operativen Excellence. München: Hanser 2013
- 27 *Bundesministeriums für Gesundheit*: Anlage 2 zur Bekanntmachung zu §2 Nr. 3 der Arzneimittel- und Wirkstoffherstellungsverordnung vom 27. Oktober 2006 (Banz. S. 6887): Leitfaden der Guten Herstellungspraxis Teil I