

itpl IT in Produktion  
und Logistik

Alexander Eskuchen, Hendrik van der Valk

# Simulation einer Modell-Fabrik

Fachwissenschaftliche Facharbeit

Studiengang  
Matrikelnummer  
Thema ausgegeben am  
Arbeit eingereicht am  
Prüfer  
Betreuer

Maschinenbau  
148785,148960  
21.04.2015  
08.06.2016  
Prof. Dr.-Ing. Markus Rabe  
M.Sc. Felix Dross

# Kurzfassung

Das Ziel der Facharbeit ist es in Plant Simulation ein ereignisdiskretes Simulationsmodell der Fischer-Technik-Modellfabrik zu erstellen. Zusätzlich sollen verschiedene Steuerungskonzepte untersucht und gegenübergestellt werden. Abschließend wird noch ein Konzept zum Einsatz der Simulation parallel zum laufenden Betrieb der Modellfabrik erstellt. Dies soll zur Optimierung der Steuerungsparameter genutzt werden.

Als Grundlage der Untersuchungen werden die Konzepte der Industrie 4.0 und das Fertigungsverfahren der Losfertigung mit verschiedenen Losgrößen genutzt. Untersucht wird die Auswirkung der Losgrößen auf die Durchlaufzeiten, sowie der prozentuale Anteil zwischen produktiver und unproduktiver Arbeitszeit. Außerdem wird das Simulationsmodell durch verschiedene Auftragsauslösungsverfahren gesteuert. Bei größeren Produktanzahlen, die mit der Losgröße drei durch die Fabrik laufen, erhöht sich die Durchlaufzeit überproportional, da sich durch die Masse an Werkstücken Staus in der Modellfabrik bilden. Diese Staus gibt es auch, wenn die Auftragsauslösung der Fabrik durch keine Steuerung erfolgt. Durch eine Auslösung nach Bestand werden die Staus geringer beziehungsweise verschwinden ganz. Hierdurch lassen sich im Vergleich auch die geringsten Durchlaufzeiten und höchsten Wertschöpfungen erzielen.

Außerdem wird die Modellfabrik für eine Kanbansteuerung modifiziert. Dazu muss aber die gesamte Fabrik umgebaut werden. Des Weiteren wird gezeigt, wie die Simulation parallel zur laufenden Fertigung mit den Methoden der Industrie 4.0 verwirklicht werden kann.

Die Facharbeit zeigt die Optimierungspotentiale der Modellfabrik. Mit einer Steuerung der Bestände lassen sich die Durchlaufzeiten massiv, bei gleichzeitiger Erhöhung der Wertschöpfung, reduzieren. Darüber hinaus zeigen die Zukunftsaussichten der Industrie 4.0 sehr interessante Entwicklungsmöglichkeiten auf.

# Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung .....	I
Inhaltsverzeichnis .....	II
Abkürzungsverzeichnis .....	IV
Tabellenverzeichnis .....	V
Abbildungsverzeichnis .....	VI
1 Motivation und Aufbau der Arbeit.....	7
2 Stand der Forschung.....	8
2.1 Industrie 4.0 (HV).....	8
2.1.1 Definition der Industrie 4.0.....	8
2.1.2 Bedeutung für den Standort Deutschland .....	9
2.1.3 Herausforderungen der Industrie 4.0 .....	11
2.2 Modellfabrik (HV).....	13
2.3 Ereignisdiskrete Simulation (AE).....	15
2.4 Plant Simulation (AE).....	17
2.5 Einsatz von Simulation in der Wirtschaft (HV).....	19
2.6 Konzepte der Fertigungssteuerung (AE) .....	21
2.6.1 Fertigungsprinzipien .....	23
2.6.2 Teilefluss.....	24
2.6.3 Logistische Zielgrößen.....	25
2.6.4 Auftragserzeugung .....	26
2.6.5 Auftragsfreigabe .....	27
2.6.6 Reihenfolgebildung.....	28
2.6.7 Kapazitätssteuerung .....	28
2.6.8 Kanban-Steuerung.....	29
3 Arbeiten mit dem Modell .....	31
3.1 Das Simulationsmodell (HV).....	31
3.1.1 Produkt A.....	31
3.1.2 Produkt B .....	32
3.1.3 Produkt C .....	33
3.1.4 Produkt D.....	33
3.2 Gegenüberstellung zweier Fertigungsstrategien und Steuerungskonzepte .....	33
3.2.1 Losgröße Eins (AE) .....	34
3.2.2 Losgröße Drei .....	40
3.3 exemplarische Modifizierung des Modells für Kanban (AE).....	45
3.4 Konzept einer Simulation parallel zur Fertigung (HV) .....	48

---

3.5	optimierbare Steuerungsparameter (AE) .....	50
3.6	Schnittstellen (HV) .....	52
3.6.1	Eingabemethoden und Datenimport .....	52
3.6.2	Datenexport.....	54
3.7	Schwierigkeiten bei der Modellerstellung (AE) .....	55
4	Zusammenfassung und Ausblick .....	57
	Literaturverzeichnis .....	64
	Anhang .....	66
	Eidesstattliche Erklärung .....	70

## Abkürzungsverzeichnis

ASCII	American Standard Code for Information Interchange
BE	bewegtes Element
BIP	Bruttoinlandsprodukt
Conwip	Constant Work in Process
CPS	Cyber-Physische-Systeme
CSC	Querverschiebewagen
DLZ	Durchlaufzeit
FIFO	First In First Out
FS	Förderstrecke
JIS	Just in Sequence
JIT	Just in Time
ODBC	Open Database Connectivity
OEM	Original Equipment Manufacturer
OPF	One Piece Flow
PPS	Produktionsplanung und -steuerung
RFID	Radio-Frequency Identification
SQL	Structured Query Language
XML	Extensible Markup Language

# Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	benutzte Fertigungsstrategien	Seite 34
Tabelle 2	Produkt D Vergleich „kein Kriterium“ und Conwip	Seite 36
Tabelle 3	Produkt D Verbesserungen	Seite 38
Tabelle 4	DLZ mit Losfertigung und der Losgröße 3	Seite 41
Tabelle 5	Zeitenanteil Standardfertigung zu Losfertigung	Seite 43
Tabelle 6	DLZ Losfertigung 30 Teile zu 90 Teile	Seite 44

# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Megatrends, die die Produktionsarbeit der Zukunft beeinflussen werden	Seite 12
Abbildung 2a	Oberer Teil des Simulationsmodells	Seite 14
Abbildung 2b	Unterer Teil des Simulationsmodells	Seite 14
Abbildung 3	Zusammenhänge im Simulationsmodell	Seite 16
Abbildung 4	Aachener PPS Modell	Seite 21
Abbildung 5	Aufgaben der Fertigungssteuerung	Seite 22
Abbildung 6	Ordnungskriterien der Fertigungsprinzipien	Seite 24
Abbildung 7	Häufigste Formen des One Piece Flow	Seite 25
Abbildung 8	direkte Umsetzung des Kunden- in Fertigungsauftrag	Seite 26
Abbildung 9	Kanban Steuerungsprinzip	Seite 30
Abbildung 10	Durchlaufzeit und Wertschöpfung über der Produktanzahl	Seite 35
Abbildung 11	Wertschöpfung und DLZ bei den Produkten C und D	Seite 36
Abbildung 12	Durchlaufzeiten aller Produkte für 240 Stück	Seite 39
Abbildung 13	Wertschöpfung aller Produkte für 240 Stück	Seite 39
Abbildung 14	Simulationsmodell in der Losfertigung mit Losgröße 3	Seite 40
Abbildung 15	DLZ Produkte A-D bei verschiedenen Stückzahlen	Seite 44
Abbildung 16	Prozentualer Anteil Transportzeit an DLZ	Seite 45
Abbildung 17	Fertigungsinseln	Seite 47
Abbildung 18	Produktionslinien	Seite 47
Abbildung 19	Layout der einzufügenden Tabelle	Seite 53

# 1 Motivation und Aufbau der Arbeit

In der vorliegenden Facharbeit wird das Thema „Simulation einer Modellfabrik“ im Kontext der vierten industriellen Revolution betrachtet. Die Autoren haben sich für dieses Thema entschieden, da es einen spannenden Einblick in die Simulationstechnik und die informations-technischen Entwicklungen dieser Zeit bietet.

Die Idee der Industrie 4.0 ist momentan sehr bedeutend. Wie das folgende Zitat von Joe Kaeser, dem Vorstandsvorsitzenden der Siemens AG, belegt: „Industrie 4.0 ist die Schicksalsfrage der deutschen Industrie, die sie aber global beantworten muss“ [Mam15]. Auch die Omnipräsenz des Themas in den Digital- beziehungsweise Printmedien der involvierten Fachbereiche, sowie die Präsenz in den Massenmedien unterstreicht die Wichtigkeit dieses Themas. An den Universitäten und in vielen Stiftungen, z.B. dem Fraunhofer Institut, wird sehr ausgiebig zur vierten industriellen Revolution geforscht. Da die Entwicklung noch sehr jung ist, hat man noch die Chance sie mit zu gestalten. Daher ist der Sachverhalt für die Autoren sehr interessant. Außerdem baut das Fachgebiet ITPL der Fakultät Maschinenbau, an der TU Dortmund, eine Modellfabrik aus Fischer-Technik auf. Mit Hilfe dieses Modells sollen Studenten an Simulationswerkzeuge herangeführt werden.

Zu Beginn der Arbeit wird der Stand der Technik vorgestellt. Dies ist erforderlich, um auch einem fachfremden Personenkreis Zugang zu dem Thema zu ermöglichen. In der Reihenfolge der Kapitel kann nochmal die Bedeutung der Industrie 4.0 nachvollzogen werden, da mit diesem Thema begonnen wird. Des Weiteren werden die ereignisdiskrete Simulation, das Programm Plant Simulation und verschiedene Fertigungssteuerungskonzepte vorgestellt. Mit denen im Stand der Technik vorgestellten Werkzeugen und Sachverhalten werden anschließend verschiedene Fertigungsstrategien simuliert. Aufbauend auf diesen Ergebnissen werden Konzepte erarbeitet, wie das Modell erweitert und optimiert werden kann. Nach dem Einstieg in die Simulierung wird einer der Vorteile der Industrie 4.0, die Simulation parallel zur Fertigung, vorgestellt. Abschließend soll der Ausblick mögliche Zukunftsszenarien und Entwicklungspotentiale der Industrie 4.0, des erstellten Simulationsmodells, sowie der Fischer-Technik Fabrik aufzeigen.

## 2 Stand der Forschung

Im folgenden Kapitel wird der aktuelle Stand der Forschung beschrieben.

### 2.1 Industrie 4.0 (HV)

Das Berufsleben wird heutzutage immer vernetzter. So haben schon lange Computer, soziale Netzwerke und Mobilgeräte Einzug in die Büros gefunden [Spa13, S. 17]. Dabei fällt auf, dass „Einer Studie des Instituts der deutschen Wirtschaft zufolge [...] gerade innovative und erfolgreiche Unternehmen vermehrt solche modernen Hilfsmittel im Bürobereich [...]“ einsetzen [Spa13, S. 17]. Hiermit wird verdeutlicht, welchen positiven Einfluss moderne Hilfsmittel auf den wirtschaftlichen Erfolg einer Firma haben können.

Von daher ist es für die Zukunftsfähigkeit des Produktionsstandortes Deutschland sehr wichtig, sich mit dem Thema Industrie 4.0 auseinander zu setzen.

In den nächsten Abschnitten wird zuerst der Begriff Industrie 4.0 definiert, danach werden die Herausforderungen der vierten industriellen Revolution und die Bedeutung für den Standort Deutschland erläutert.

#### 2.1.1 Definition der Industrie 4.0

Der Begriff „Industrie 4.0“ ist eine Wortfindung der Forschungsunion Wirtschaft – Wissenschaft, die in Zusammenarbeit mit dem Bundesministerium für Bildung und Forschung im Rahmen der Hightech-Strategie geforscht hat [BBF, S. 1/WLG, S. 1]. Nach der Fraunhofer Studie „Produktionsarbeit der Zukunft – Industrie 4.0“ versteht man „unter »Industrie 4.0« [...] die beginnende vierte industrielle Revolution nach Mechanisierung, Industrialisierung und Automatisierung [...]“ [Spa13, S. 22].

Es wird dabei vor allem der Weg hin zu einer Produktion diskutiert, die aus intelligenten und selbst steuernden Objekten besteht. Zentrales Element der Industrie 4.0 sind vernetzte Cyber-Physische-Systeme (CPS). „Cyber-Physische-Systeme [...] sind mit einer eigenen dezentralen Steuerung [...] versehene intelligente Objekte, welche in einem Internet der Daten und Dienste miteinander vernetzt sind und sich selbstständig steuern“ [Spa13, S. 23]. Es kann sich um Werkstücke, Werkzeuge, aber auch Hilfsmittel, wie zum Beispiel

Transportboxen handeln. Die Idealvorstellung wäre dabei, dass Produktionsaufträge sich selbst durch die gesamte Wertschöpfungskette steuern [Spa13, S. 22].

Das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie spricht von einer Verzahnung der Produktion mit modernsten Kommunikations- und Informationstechniken [BWE15, S. 1]. Zwingende Voraussetzung für eine Produktion im Sinne der Industrie 4.0 „[...] sind intelligente, digital vernetzte Systeme, mit deren Hilfe eine weitestgehend selbstorganisierte Produktion möglich wird“ [BWE15, S. 1]. Ein Beispiel ist der Einsatz von Radio Frequency Identification (RFID) Chips zur Ortung und Verfolgung von Werkstücken und Waren durch eine Produktionslinie.

Die Schweizer Großbank UBS sieht in einem White Paper anlässlich des Weltwirtschaftsforums in Davos die Automation, Konnektivität und die Einführung von künstlicher Intelligenz als die Haupttreiber der Industrie 4.0: „The Fourth Industrial Revolution is being driven by extreme automation and connectivity. A special feature of the Fourth Industrial Revolution will be the wider implementation of artificial intelligence“ [Baw16, S. 12].

Die traditionellen Strukturen basieren auf zentralen Abläufen der Entscheidungsfindung und grenzen einzelne Wertschöpfungsschritte starr ab. Die Voraussetzungen zur Ablösung dieser Strukturen durch variable Leistungsangebote und auf Kommunikation und Dezentralität ausgelegte Entscheidungswege schafft eine Produktion nach dem Vorbild der Industrie 4.0 [Spa13, S. 23]. Dabei sorgt die vierte industrielle Revolution für eine grundlegende Veränderung der Produktionskultur.

### 2.1.2 Bedeutung für den Standort Deutschland

Die vierte industrielle Revolution hat für den Produktionsstandort Deutschland eine sehr hohe Bedeutung. Ein wesentlicher Grund liegt darin, dass Deutschland ein Hochlohnland ist. Die Unternehmen können ihre Wettbewerbsfähigkeit nur behalten, wenn sie ihre Lohnkosten im Blick haben. Die Fraunhofer Studie zum Thema Industrie 4.0 führt Miele als Unternehmen an, für das es überlebenswichtig, dass Lohnkosten durch Prozessverkettungen und Automatisierungen gesenkt werden können [Spa13, S. 52]. Eine Produktion nach dem Prinzip der Industrie 4.0 kann dazu beitragen, dass Anlagen- und Mitarbeiterkapazitäten besser ausgelastet werden. So können auch viele Tätigkeiten vom Menschen auf die Maschinen übertragen werden. Mit der Einführung einer 4.0-Produktion lassen sich folglich auf relativ direktem Wege Lohn- und Herstellungskosten einsparen.

Nach Meinung von Experten aus der Wirtschaft und Forschung sind derzeit die Fragestellungen „Umgang mit Komplexität“, „Innovationsfähigkeit“ und „Flexibilität“ die drei Wichtigsten [Spa13, S. 19–21]. Diese sollen sich durch die Industrie 4.0 wesentlich besser beantwortet lassen als es zurzeit möglich ist. Eine wichtige Ursache für die steigende Flexibilität und Innovationsfähigkeit sind unter anderem immer kürzer werdende Lebenszyklen der Produkte. Deshalb muss sich auch die Zeit zwischen Markteintritt und Hochfahren der Produktion stark verkürzen. Die vierte industrielle Revolution kann dies durch Automatisierungsprozesse unterstützen. Diese müssen sehr schnell und ohne größere Probleme einführbar sein [Spa13, S. 53]. Des Weiteren kann die Komplexität der Produktionsprozesse durch rechnerbasierte Unterstützung besser gehandhabt werden.

Laut der Forschungsunion Wirtschaft und Wissenschaft muss Deutschland die vierte industrielle Revolution mitgestalten und passende Produktionssysteme entwickeln, um weiterhin ein erfolgreicher Produktionsstandort zu sein. Passende Produktionssysteme sind dabei Systeme, die sich mit Hilfe von Sensoren selber steuern und vorhandene Informationen unabhängig verarbeiten können [Spa13, S. 23]. Das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie rechnet damit, dass durch die vierte industrielle Revolution „Insgesamt [...] die Wirtschaftlichkeit der Produktion gesteigert, die Wettbewerbsfähigkeit der Industrie in Deutschland gestärkt und die Flexibilität der Produktion erhöht werden“ kann [BWE15, S. 1].

Eine wichtige Bedeutung für den Standort Deutschland hat auch die Umweltverträglichkeit der Produktion. Der Energieverbrauch eines Unternehmens wird größtenteils durch die Produktion bestimmt. Dabei ist es wichtig, dass der Energieverbrauch bereits während der Fabrikplanung berücksichtigt wird. Durch verbesserte Informationssysteme kann die Industrie 4.0 schon zu Beginn einer Fabrikplanung wichtige Aspekte für die Minimierung des Energiebedarfs beisteuern. Besonders wichtig wird eine ressourcen- und energieschonende Produktion, weil politischer Einfluss und immer knapper werdende Ressourcen für die Unternehmen wichtige Zielaspekte sind [Ker14, S. 53]. Wesentliche Ansätze sind dabei „die Substitution von Stoffen und Energien, die Raum-/Flächenoptimierung, die Weg-/Leistungsminimierung [...]“ [Ker14, S. 71]. Diese Überlegungen werden erst durch die Methoden und Werkzeuge der Industrie 4.0 ermöglicht.

### 2.1.3 Herausforderungen der Industrie 4.0

Die vierte industrielle Revolution bringt sowohl für die Wirtschaft als auch für die Gesellschaft verschiedene Herausforderungen mit sich. Als Beispiele seien die Cyberkriminalität, gesellschaftliche Entwicklungen und Megatrends sowie der Verlust von vor allem geringqualifizierten Arbeitsstellen genannt.

Zunächst werden die Risiken der Cyber-Kriminalität betrachtet. UBS sieht diesen Bereich als einen der kritischsten an: „In particular, the rise of extreme automation and connectivity via “smart grid” systems, [...] may be vulnerable to hacks which shut down electricity transmission or generation systems entirely“ [Baw16, S. 18]. Die vollständige Vernetzung der in der Industrie 4.0 eingesetzten IT-Systeme ermöglicht neue Angriffsmöglichkeiten durch Cyber-Kriminalität. Dabei reicht die Bedrohung bis auf die Shop-Floor-Ebene hinunter [Ker14, S. 397].

Der Einsatz von standardisierten IT-Werkzeugen mit vielen Schnittstellen nach außen erhöht eine Angriffswirkung, da durch einen Angriff gleich mehrere Unternehmen betroffen sein können [Ker14, S. 411]. „Durch eine immer einfacher werdende Bedienung von Analyse- und Angriffswerkzeugen, wächst auch der Kreis der Anwender, die es missbräuchlich einsetzen“ [Ker14, S. 415]. Am Lehrstuhl für Wirtschaftsinformatik an der Universität Potsdam wurden verschiedene Möglichkeiten einer Cyber-Attacke auf eine Fabrik simuliert. Innerhalb kürzester Zeit war es den Angreifern möglich in das Netzwerk der Fabrik einzudringen. Sie konnten dabei die Infrastruktur ausspähen und Fertigungsvorgänge sowie CPS manipulieren. Darüber hinaus konnten die Angreifer eine Robotersteuerung manipulieren. Dabei wurde der Roboter durch undefinierte Bewegungsabläufe in den Störungsmodus versetzt. Erst mit der Behebung der Störung durch Mitarbeiter konnte der Betrieb fortgesetzt werden. Bei einem weiteren Versuch wurde ein Roboter mit nur leichten Manipulationen dazu gebracht, kaum entdeckbare Fehler zu produzieren. Dies kann zu gravierenden Qualitätsverschlechterungen führen [Ker14, S. 414-415]. Da solche Eingriffe in die laufende Produktion oft nur durch sehr genaue Kontrollen der Qualität entdeckt werden können, besteht für Firmen, die ungesicherte oder schlecht abgesicherte Netzwerke einsetzen, die Gefahr, sehr große finanzielle Verluste zu erleiden.

McAfee und das Center for Strategic and International Studies, eine unabhängige Denkfabrik für die Außenpolitik der USA, haben im Jahr 2014 eine Studie über die finanziellen Auswirkungen von Cyber-Kriminalität durchgeführt. Dabei stellten sie fest, dass in

Deutschland jährlich ein Schaden von 1,6% des Bruttoinlandproduktes entsteht [CSI14, S. 21]. Im Jahr 2013 betrug das BIP 2735,8 Milliarden Euro. Der verursachte Schaden belief sich also auf knapp 44 Milliarden Euro [SBA14, S. 13]. Um dagegen anzugehen, wurde in 2012 der Cyber-Sicherheitsrat Deutschland e.V. gegründet, der aus hochrangigen Vertretern der deutschen Wirtschaft besteht und die Forschung und Sensibilisierung für das Thema vorantreiben soll.

Aber nicht nur die Cyber-Kriminalität stellt die vierte industrielle Revolution vor Herausforderungen. Vor allem so genannte gesellschaftliche Megatrends definieren die Mindestvoraussetzungen für die zukünftige Entwicklung der Produktionsarbeit. Bei den Megatrends seien exemplarisch die Bereiche Globalisierung, Energiewende und der demografische Wandel genannt [Spa13, S. 18].



Abbildung 1: Megatrends, die die Produktionsarbeit der Zukunft beeinflussen werden [Spa13, S. 18]

Im rechten Bereich der Abbildung 1 aus der Studie des Fraunhofer Institutes zum Thema Industrie 4.0 kann man auch gut erkennen, dass es immer weitere Megatrends als neue Bedarfsfelder gibt. Hierbei entspricht die Entwicklung den Veränderungen in der Gesellschaft, so dass vor allem Umweltthemen immer wichtiger werden. Intelligente Produktionen und Fabriken können auf verschiedenste Weise einen Beitrag leisten, um die gesellschaftlichen Anforderungen zu erreichen.

Die Industrie 4.0 hat zwar einerseits das Potential, die Lebens- und Arbeitsqualität von vielen Arbeitnehmern merklich zu verbessern. Andererseits wird aber vor allem durch die zunehmende Automatisierung eine hohe Zahl geringqualifizierter Arbeitsplätze wegfallen. Viele Arbeitnehmer stehen daher der vierten industriellen Revolution eher negativ gegenüber. Die UBS Studie zum Weltwirtschaftsforum formuliert in diesem Zusammenhang: „Low-skill employment will likely continue to contract, and an increasing range of middle-skill jobs will become vulnerable as extreme automation is rolled out“ [Baw16, S. 14]. Gleichzeitig geht man aber davon aus, dass die Gesamtbeschäftigung nicht sinken wird. Auch wenn die Angst besteht, dass „Roboter alle Arbeit verrichten“, sei eine Abnahme der Gesamtanzahl an Stellen unwahrscheinlich [Baw16, S. 14]. Auch ein Forschungsbericht des Instituts für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung sagt eine Verlagerung von geringqualifizierten Stellen zu Arbeitsstellen mit einem höheren Qualifikationsgrad voraus. Die Autoren gehen davon aus, dass vor allem "Routine-Tätigkeiten im Verarbeitenden Gewerbe" verloren gehen werden. Dieser Verlust wird aber ausgeglichen durch "Arbeitsplätze mit Nicht-Routine-Tätigkeiten [...] die ein im Schnitt höheres Qualifikationsniveau erfordern" [Wol15, S. 62–63]. Sie befürchten auch, dass „über 490.000 bisher bestehende Arbeitsplätze bis 2025 verloren gehen“ werden [Wol15, S. 63]. Allerdings kann man durch die vierte industrielle Revolution neue Märkte und Produkte entwickeln, die eine neue Nachfrage induzieren. Dadurch werden „auch 430.000 neue [Arbeitsplätze] entstehen“ [Wol15, S. 63]. Die Angst vor massiven Arbeitsplatzverlusten ist nach Ansicht der Experten also unbegründet, da die Gesamtbeschäftigung nicht wesentlich beeinflusst wird.

## 2.2 Modellfabrik (HV)

Der Lehrstuhl IT in Produktion und Logistik an der TU Dortmund baut derzeit eine Modellfabrik auf. In ihr gibt es verschiedene Arbeitsstationen, in denen verschiedene Produkte hergestellt werden sollen. Das Ziel der Modellfabrik ist es, Studenten ein grundlegendes Verständnis von Simulationen zu vermitteln. Dazu werden die Studenten mit einem ereignisdiskreten Simulationsmodell den Materialfluss durch die Fabrik simulieren. Die reale Modellfabrik kann dann die gewählten Steuerungsmethoden sehr gut veranschaulichen. Die Studenten haben die Gelegenheit, verschiedene Simulationsmodelle zu testen. So können sie direkt am realen Objekt sehen, welche Auswirkungen Veränderungen und Optimierungen auf eine Fabrik haben können.

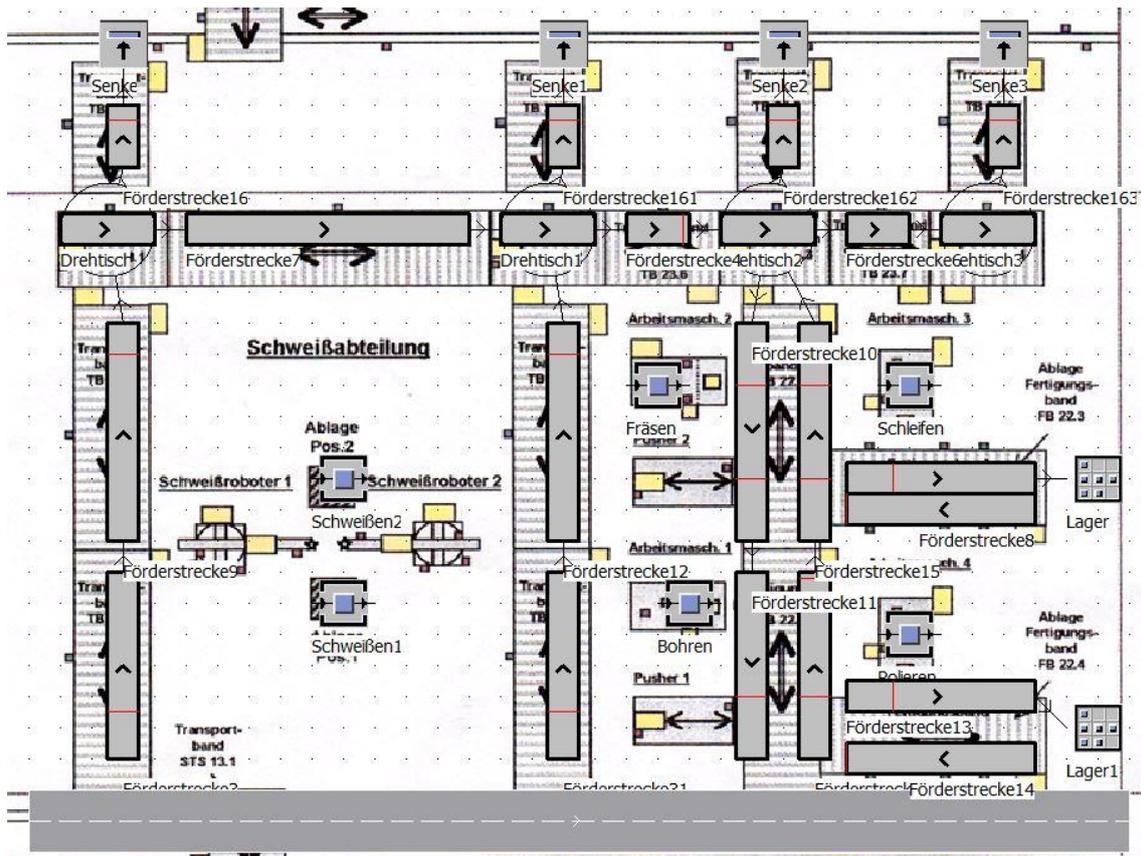


Abbildung 2a: oberer Teil des Simulationsmodells

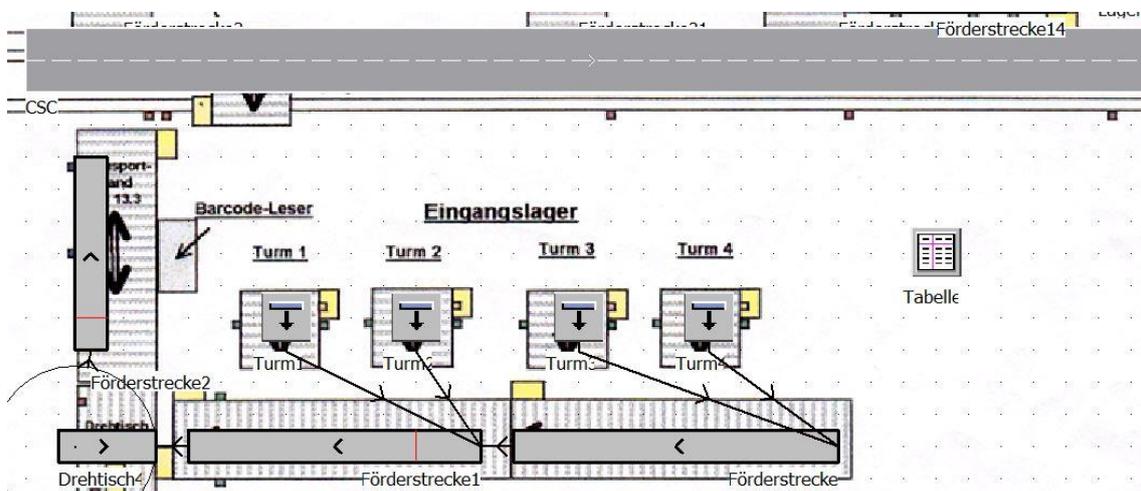


Abbildung 2b: unterer Teil des Simulationsmodells

Die Modellfabrik ist wie in Abbildungen 2a und 2b dargestellt aufgebaut. Es gibt vier Wareneingänge, die als Türme gekennzeichnet sind. Über mehrere Transportbänder und einen Drehtisch gelangen die Rohbauteile vom Wareneingang zu einer Verteilstation.

Des Weiteren gibt es insgesamt sechs Arbeitsstationen. Dabei handelt es sich um zwei Schweißroboter und vier Arbeitsmaschinen, die bohren, fräsen, schleifen und polieren. Im Bereich Schweißen werden die Werkstücke mit einem Portalkran vom Transportband auf die Arbeitsstation umgelagert. Der Portalkran kann jedoch nicht Werkstücke in den Bereich der anderen Arbeitsstationen umlagern. Um zu den Arbeitsstationen drei und vier zu gelangen werden die Werkstücke mit einem Pusher auf die Transportbänder vor den Maschinen geschoben. Am Ende der Transportbänder 22.3 und 22.4 befindet sich noch jeweils ein Zwischenpuffer.

Alle Förderbänder können sich in beide Richtungen bewegen und die Arbeitsmaschinen bearbeiten die Werkstücke auf dem Förderband. Nach dem Arbeitsbereich werden die Werkstücke über mehrere Förderstrecken in ein Hochregallager geführt.

Es gibt insgesamt vier verschiedene Ausgangsprodukte, die aus drei verschiedenen Eingangsprodukten entstehen, wobei die Türme zwei und vier das gleiche Eingangsmaterial besitzen. Produkt A wird erst geschweißt und dann poliert. Produkt B wird gebohrt und dann geschleift. Produkt C wird erst gefräst und dann poliert und Produkt D wird gebohrt, gefräst, geschleift und dann noch poliert. Die Kapazität des Hochregallagers und der Ausgabetürme wird zunächst ohne Beschränkungen angenommen.

### 2.3 Ereignisdiskrete Simulation (AE)

In einem ereignisdiskreten Simulationsmodell verändern sich Modellzustände nur zu bestimmten Zeitpunkten. Diese werden auch diskrete Zeitpunkte genannt. Das hier vorliegende Modell muss deshalb auch nur zu diesen diskreten Zeitpunkten betrachtet werden. Das folgende Beispiel soll dem Leser veranschaulichen, wie die Zeitpunkte definiert sein könnten. Zum Zeitpunkt  $t_1$  wird ein Werkstück auf eine Maschine umgelagert. Dort wird das Werkstück nun eine gewisse Zeitspanne bearbeitet. In dieser Bearbeitungszeit wird sich das Werkstück, durch z.B. spangebende- oder fügetechnische Prozesse, verändern. Diese Veränderungen sind für ein ereignisdiskretes Modell aber unerheblich. Erst der Zeitpunkt, zu welchem die Bearbeitung des Werkstücks abgeschlossen ist und das Werkstück die Maschine verlässt, ist für das Modell von Interesse. Die nächste Veränderung am System tritt zum Zeitpunkt  $t_2 = t_1 + \text{Bearbeitungszeit}$  ein. Die Systemänderungen, welche zu den Zeiten  $t_1, t_2$  usw. auftreten, nennt man auch Ereignisse. Ereignisse beenden

Aktivitäten oder lösen diese erst aus. Mehrere Aktivitäten können zu einem Prozess zusammengefasst werden.

Abbildung 3 verdeutlicht nochmals den Zusammenhang von Ereignissen, Aktivitäten und Prozessen. In dem Beispiel soll ein Auftrag durch zwei sich zeitlich überlappende Arbeitsgänge bearbeitet werden. Ereignisse sind in diesem Fall die Ankunft des Auftrags und der Beginn bzw. das Ende des jeweiligen Arbeitsgangs. Ein Arbeitsgang kann, von seinem Anfang bis Ende, wiederum als eine Aktivität bezeichnet werden. Die Ankunft und die beiden Aktivitäten bilden den Prozess. [Ele12, S. 8-9]

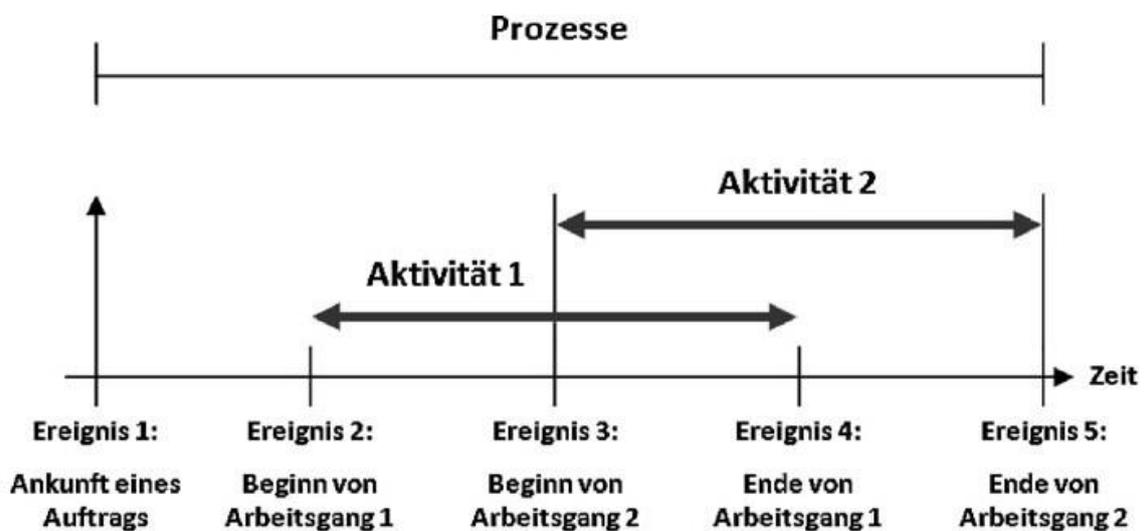


Abbildung 3: Zusammenhänge im Simulationsmodell [Ele12, S. 8]

Softwarelösungen für Simulationsmodelle verwalten alle auszuführenden Ereignisse in einer Zeitleiste, die als Ereignisverwalter bezeichnet wird. Innerhalb dieses Verwalters werden Ereignisse, ihrer Simulationszeit zugehörig, aufsteigend sortiert. Nachdem ein Ereignis abgearbeitet wurde, wird es aus dem Ereignisverwalter entfernt. Während des Simulationsdurchlaufs werden neue Ereignisse generiert und in die Zeitleiste sortiert. Der Simulationsdurchlauf ist beendet, wenn die Zeitleiste leer oder die vom Benutzer gewünschte Simulationsdauer erreicht ist.

Zur Modellierung eines realen Systems werden, neben dem Ereignisverwalter, noch weitere Elemente benutzt. Dabei werden sie in immaterielle und materielle Elemente unterschieden. Ein materielles Element ist z.B. eine Maschine oder ein anderes greifbares, im realen System vorhandenes Element. Immaterielle Elemente sind vor allem Informations-elemente, die für ein funktionierendes Simulationsmodell vorhanden sein müssen. Im

nachfolgenden Kapitel werden die materiellen und immateriellen Elemente anhand von Beispielen aus Plant Simulation weiterführend erläutert. [Ele12, S. 8-9]

## 2.4 Plant Simulation (AE)

Das vorliegende Simulationsmodell wurde mit dem Simulationsprogramm Plant Simulation von Tecnomatix erstellt. Um einen Einstieg in das Programm zu erleichtern, werden in diesem Unterkapitel die grundlegenden Funktionen des Programms erläutert, sowie an Beispielen aus dem Modell erklärt.

Im Folgenden sollen die wichtigsten materiellen bzw. immateriellen Elemente in Plant Simulation nach Michael Eley [Ele12, S. 9-10] dargestellt werden:

- **Bewegte Elemente (BE):** Bewegte Elemente sind Entities. Diese Entities können sich selbst und ihren Standort während eines Simulationslaufs verändern. Sie werden beim Start einer Simulation erzeugt, laufen durch das System und können wieder aus dem System entfernt werden. Verwendet werden sie vor allem um physische Objekte, wie Werkstücke, Fahrzeuge und Transportbehälter, darzustellen. Da jede Entity immer identifizierbar ist, kann eine Statistik für jedes einzelne Objekt angelegt werden. In dem vorliegenden Simulationsmodell werden die Produkte und der Querverschiebewagen als bewegtes Element dargestellt.
- **Ressourcen:** Ressourcen können von Entities in Anspruch genommen werden und sind im gesamten Simulationsdurchlauf vorhanden. Sie können bei bestimmter Einstellung oder Attributisierung für eine gewisse Zeit nicht zur Verfügung stehen. In dem, von uns betrachteten, Modell sind die Bearbeitungsstationen eine der Ressourcen. Von ihnen werden die BEs für eine bestimmte Zeit, die Bearbeitungszeit, aufgenommen. Weitere Ressourcen könnten z.B. Montagestationen, Förderstrecken, Quellen oder Senken sein.
- **Warteschlangen:** Warteschlangen sind „eine besondere Art der Ressource“ [Ele12, S. 9], in welcher Entities eingelagert werden können. Sie werden in dem Modell von den beiden Lagern dargestellt und können, in diesem Modell, bis zu drei BEs aufnehmen. Die BEs werden nach der First in First Out (FIFO) Regel ausgelagert.

- Attribute: „Entities und Ressourcen verfügen über Eigenschaften, die ihre Darstellung und ihr Verhalten festlegen“ [Ele12, S. 9]. So haben alle BEs, die im vorliegenden Modell geschweißt werden müssen; z.B. das Attribut „Geschweißt“. Dieses Attribut wird vor der Verteilung auf die Produktionszweige von einer sogenannten Methode ausgelesen und dadurch auf die richtige Förderstrecke geschickt. Andere Beispiele für Attribute wären „Gefräst“ oder „Beendet“.
- Methoden: „Der Methodenbaustein dient dazu, Steuerungen zu erstellen, die dann von den Grundbausteinen aufgerufen und gestartet werden“ [Ban11, S. 9]. Mithilfe von Methoden können Attribute verändert oder erzeugt werden. Zudem ist es möglich, neue Entities zu erzeugen. Dies zeigt, dass durch Methoden Zustandsänderungen gesteuert werden können. Durch diese Zustandsänderungen wiederum werden Ereignisse ausgelöst. Die Programmiersprache, in der Methoden in Plant Simulation geschrieben werden, heißt SimTalk. Die Ausgabe des Anfangsmaterials wird im Simulationsmodell von einer Methode gesteuert.
- Variablen: „Eine Variable ist ein benannter Ort im Speicher (...). Sie müssen eine Variable erst deklarieren bevor Sie diese verwenden können.“ [Ban11, S. 18]. Variablen können einfacher Struktur, z.B. eine Ganzzahl, sein, aber auch komplexe Strukturen, wie Listen und Tabellen, wiedergeben. In SimTalk wird zwischen lokalen und globalen Variablen unterschieden. Eine lokale Variable kann nur innerhalb der Methode benutzt werden, in welcher sie erstellt wurde. Andere Methoden haben auf diese Variable keinen Zugriff. Auf eine globale Variable können alle Methoden des Simulationsmodells zugreifen.

Um dem Leser eine kurze Übersicht über die Programmierung des Simulationsmodells zu geben, soll hier eine kurze Einführung zur Funktionsweise stattfinden. Diese Einführung soll mit Hilfe des verwendeten Simulationsmodells stattfinden.

Die vorgegebenen Einschränkungen für das Simulationsmodell sind folgende:

- Die Förderstrecken bei den vier Arbeitsmaschinen (Fräsen, Bohren, Polieren & Schleifen) sollen in beide Richtungen befahrbar sein
- Die Förderstrecken bei der Polier- und bei der Schleifmaschine sollen als ein kleines Zwischenlager dienen
- Der Kran ist aufgrund der maximalen Teilebeschränkung der Studentenversion von Plant Simulation nicht modellierbar

Der Nutzer des Simulationsmodells kann in der „Tabelle“ die Anzahl der Produkte eingeben, die er produzieren möchte. Wahlweise kann auch eine Excel Tabelle importiert werden, welche genauso formatiert sein muss wie die Tabelle im Programm. Außerdem muss die Anzahl aller Produkte durch drei teilbar sein. Danach kann der Nutzer noch entscheiden, ob mit Hilfe einer Losfertigung produziert werden soll. Dazu stellt er die globale Variable „Losfertigung“ entweder auf „false“ (keine Losfertigung) oder „true“. Für eine weitere Erklärung der Fertigungsverfahren wird hier auf das Kapitel 2.6 verwiesen. Durch die Betätigung des Startknopfes startet die Simulation. Das Programm ist so programmiert, dass die Produktion von Turm1 über Turm2 und Turm3 nach Turm4 erfolgt. Das heißt, dass als Erstes wird ProduktA und als Letztes ProduktD produziert wird. Direkt zu Anfang wird die angegebene Anzahl der Produkte in den globalen Variablen ProdA bis ProdD gespeichert. So kann der Nutzer nachvollziehen, ob sein Eingaben korrekt sind. Mit Hilfe der Methode „Methode“ entscheidet das Programm welches Produkt vorliegt und auf welche Förderstrecke es als nächstes geschickt wird. Verschiedene Lichtschranken und ihre dazugehörigen Methoden (z.B: „NachSchweißenSensor“) sorgen für einen reibungslosen Durchlauf der Produkte durch die Fertigung. Auf den Förderstrecken sind vor den verschiedenen Senken wiederum Lichtschranken angebracht, welche die ausgehenden Produkte zählen und in die globalen Variablen A bis D ausgeben. Die Erzeugung von BEs aus TurmB startet erst wenn:  $A=ProdA$  gilt. Dies trifft auch auf die anderen Produkte zu. So ist sichergestellt, dass kein Produkt in den Fertigungsprozess des vorherigen Produkts eingreift.

## 2.5 Einsatz von Simulation in der Wirtschaft (HV)

Simulationsmodelle werden inzwischen in vielen verschiedenen Bereichen eingesetzt. Die wichtigsten Bereiche sind dabei laut einer Studie der TU Hamburg-Harburg das Risikomanagement und die Strategie- und Unternehmensentwicklung [Mey12, S. 14]. Ziel ist vor allem die Prognose und Ermittlung von kritischen oder besonders interessanten Zielgrößen [Mey12, S. 22].

Ein Beispiel für den sehr frühen Einsatz von Simulationsmodellen bei einer Fabrikplanung ist der Bau des neuen Opel-Werkes, welches 2002 in Rüsselsheim eröffnet wurde. Bei der Planung des Werkes nutzten die Spezialisten in einem so großen Umfang Simulations- und Animationswerkzeuge wie nie zuvor. Dadurch ließ sich eine bis dahin kaum

erreichte Planungssicherheit während der Bauphase und des Produktionsanlaufes sicherstellen [Bay03, S. 21]. Die Materialflusssimulation im Rüsselsheimer Opel-Werk ist die Grundlage für eine hohe Flexibilität in der Produktion. Die durch den Markt vorgegebene Variantenvielfalt konnte schon in der Planung berücksichtigt werden, so dass Puffer und Bereitstellungsräume für Anlieferungen optimal dimensioniert werden konnten. Man erreichte eine schlanke Fertigung auch durch den Vergleich verschiedener Steuerungsstrategien während der Planungsphase. Dieser Vergleich war nur durch die Materialflusssimulation möglich [Bay03, S. 23].

Auch im Bereich der Arbeitswissenschaften kommen Simulationen zum Einsatz. So konnte die Arbeitsplatzgestaltung im Opel-Werk Rüsselsheim durch Simulation verbessert werden. Es wurden zum Beispiel Bewegungsabläufe möglichst körperschonend und ergonomisch sinnvoll ausgelegt [Bay03, S. 23–24].

Aber Simulationenwerkzeuge müssen nicht immer planerisch eingesetzt werden. „[...] 3D-Layouts und Computersimulationen erweisen sich als ein hocheffizientes Kommunikationsmittel, da sie die technischen Sachverhalte [...] für alle Beteiligten allgemein verständlich und frei von subjektiven Einflüssen visualisieren“ [Bay03, S. 22]. So hat die Firma WILO SE zur Veranschaulichung ihrer Produkte einen Simulator, den man begehen kann. In ihm wird das Innenleben der verschiedenen Pumpen und Turbinen dargestellt und als Kunde kann man Teil des Fluidstromes werden. So eine Simulation hilft aber nicht nur dabei, Kunden zum Kauf zu bewegen, sondern man kann so auch bei sehr kleinen Pumpgehäusen sehr gut Stellen erkennen, an denen der Fluidfluss noch optimiert werden kann.

In Verbindung mit der vierten industriellen Revolution kommt es auch verstärkt zum Einsatz von Simulationsmodellen parallel zum laufenden Betrieb. Ein Beispiel dafür ist die Angebotserstellung von Zulieferern im Bereich Automotiv.

„Bereits heute verlangen die Struktur- und Anlagenplaner in der Automobilindustrie vielfach, dass parallel zum Angebot eines Zulieferers gleichzeitig ein Simulationsmodell abgegeben wird, das die technischen und logistischen Eckwerte des Planungsgegenstandes objektiv zu bewerten erlaubt“ [Bay03, S. 2]. Durch die enorme Auswahl, die ein OEM heutzutage bei seiner Lieferantenauswahl hat, wächst für die Zuliefererbetriebe der Konkurrenzdruck. Diese können ihre Wettbewerbssituation aber dadurch deutlich verbessern, in dem sie sich von der Konkurrenz durch innovative Simulationsmodelle abheben, die die Vorteile der eigenen Produkte aufzeigen.

## 2.6 Konzepte der Fertigungssteuerung (AE)

Im Zusammenhang mit der Produktionsplanung und –steuerung (PPS) ist die Fertigungssteuerung nur ein kleiner Teil von mehreren abzuarbeitenden Aufgaben bzw. Planungsschritten. Im Aachener PPS-Modell (Abbildung 4) ist die Fertigungssteuerung in der Eigenfertigungsplanung und –steuerung beinhaltet. [Löd08, S.5 – 6]

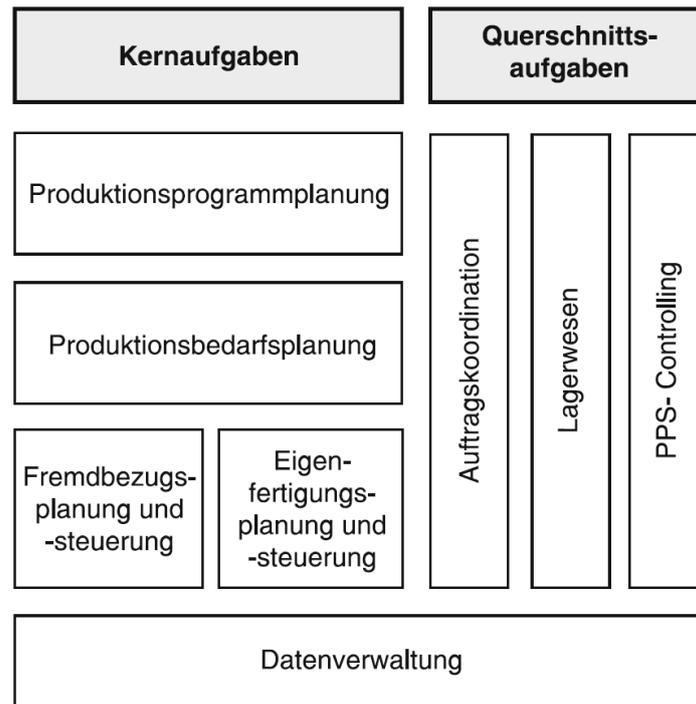


Abbildung 4: Aachener PPS Modell [Löd08, S. 5]

Für das, in dieser Arbeit erstellte, Simulationsmodell sollen lediglich unterschiedliche Fertigungssteuerungskonzepte betrachtet werden. Deshalb werden die anderen Komponenten des Aachener PPS-Modells im weiteren Verlauf nicht weiter angesprochen. Die Aufgabe einer Fertigungssteuerung ist es die, Vorgaben der Produktionsplanung, auch bei Störungen, erfolgreich umzusetzen. Anhand Abbildung 5 kann der Leser die grundsätzlichen Aufgaben einer Fertigungssteuerung nachvollziehen. Die im Modell enthaltenen Elemente (Aufgaben der Fertigungssteuerung, Aufgaben der Produktionsplanung, Stell-, Regel- und Zielgrößen) stehen in Zusammenhang.

Diese Wirkzusammenhänge sind nach Lödning [Löd08, S. 7] die Folgenden:

1. Stellgrößen werden durch die Aufgaben festgelegt
2. Aus der Abweichung von zwei Stellgrößen ergeben sich die Regelgrößen
3. Logistische Zielgrößen wiederum werden durch die Regelgrößen bestimmt

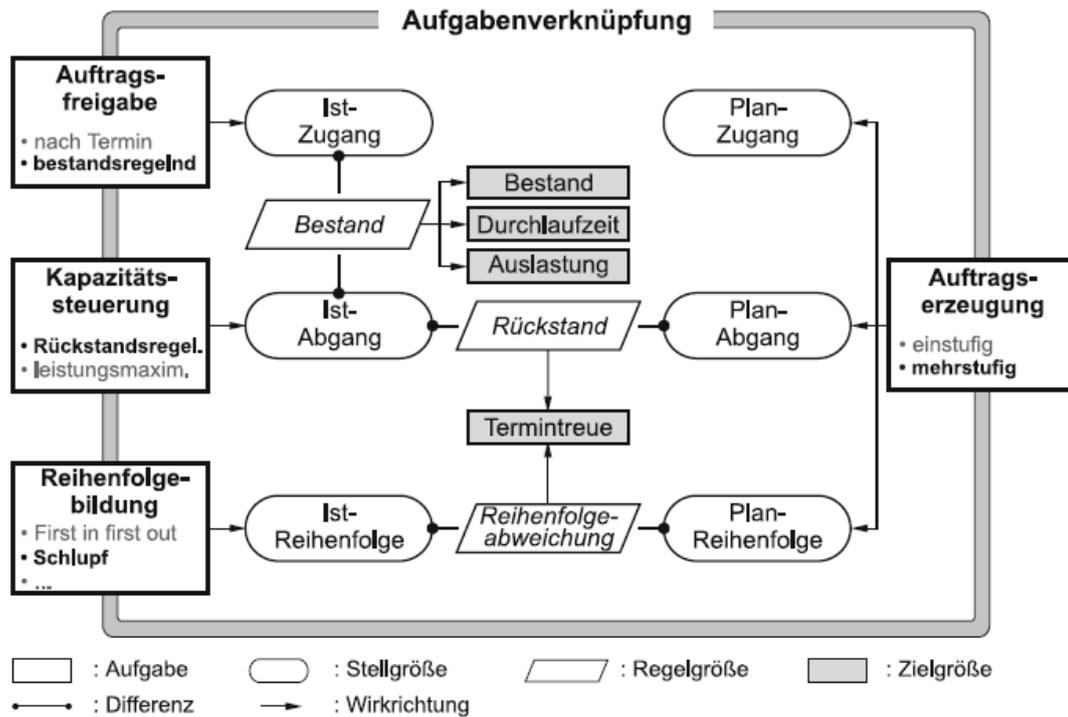


Abbildung 5: Aufgaben der Fertigungssteuerung [Löd08, S. 529]

In Abbildung 5 werden außerdem die vier Verfahrenspunkte aufgezeigt, die zusammen die Fertigungssteuerung bilden. Sie sind in der Abbildung als Aufgaben gekennzeichnet. Diese vier Verfahren müssen nach Lödning [Löd08, S. 531] in folgender Reihenfolge ausgewählt werden:

1. Wahl des bevorzugten Auftragserzeugungsverfahrens
2. Wahl des bevorzugten Auftragsfreigabeverfahrens
3. Wahl der Reihenfolgeregeln für alle Arbeitssysteme der Fertigung
4. Wahl des bevorzugten Verfahrens zur Kapazitätssteuerung

Um einen leichteren Einstieg in diese Thematik zu bieten werden in den nachfolgenden Abschnitten nur die Verfahren erläutert, die während der Erstellung des Simulationsmodells genutzt wurden oder für seine Nutzung erforderlich sind. Damit der Leser weitere

Verfahren nachschlagen könnte, werden diese erwähnt, aber nicht einzeln erklärt. Zusätzlich soll ein kurzer Einblick in die Grundlagen einer Fertigungssteuerung gegeben werden. Aus diesem Grund werden eingangs verschiedene Fertigungsprinzipien, Arten des Teileflusses und logistische Zielgrößen erklärt. Für weiterführende Erklärungen empfehlen die Autoren das Buch „Verfahren der Fertigungssteuerung“ von Hermann Lödding. [Löd08, S.528 – 532]

### 2.6.1 Fertigungsprinzipien

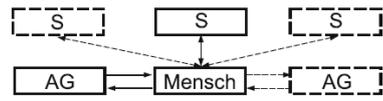
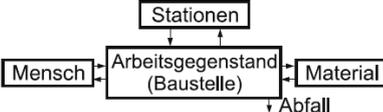
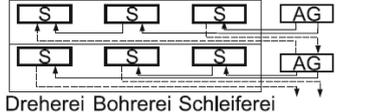
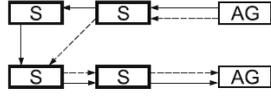
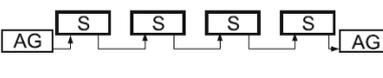
Um die verschiedenen Fertigungsprinzipien zu unterscheiden, werden diese im Folgenden nach ihrer räumlichen Struktur geordnet. Die wichtigsten Verfahren in der industriellen Fertigung sind die Werkstättenfertigung und die Fließfertigung.

Bei der Werkstättenfertigung werden „(...) gleichartige Arbeitssysteme (...) räumlich zu einer Werkstatt zusammengefasst.“ [Löd08, S. 95]. Bearbeitete Werkstücke werden in Losen von Werkstatt zu Werkstatt transportiert. Ein Vorteil ist die hohe Flexibilität der Fertigung, da sowohl in unterschiedlichen Bearbeitungsfolgen gefertigt werden kann, als auch eine Spezialisierung der Mitarbeiter gefördert wird. Der Nachteil sind die hohen Durchlaufzeiten (DLZ). [Löd08, S. 95]

Die Fließfertigung ist genau das Gegenteil. Arbeitssysteme werden im Materialfluss angeordnet. Die Werkstücke werden nicht in Losen transportiert, sondern jeweils nach ihrer Bearbeitung direkt zum nächsten Arbeitssystem gebracht. Vor allem durch diese Transportweise ergibt sich der größte Vorteil dieses Fertigungsprinzips, nämlich die kurze DLZ. Außerdem ist der Grad der Automatisierung sehr hoch. Ein Nachteil dieses Prinzips ist die geringe Variantenzahl, die produziert werden kann. [Löd08, S. 95]

Weitere Fertigungsprinzipien sind das Werkbankprinzip, die Baustellenfertigung und das Insel-/Gruppenprinzip. Diese Prinzipien sollen nicht weiter erläutert werden, da sie für das verwendete Simulationsmodell nicht relevant sind.

In Abbildung 6 werden die Unterschiede der verschiedenen Fertigungsprinzipien nochmals anhand der unterschiedlichen Ordnungskriterien und räumlichen Strukturen dargestellt. Zudem können für jedes Prinzip einige Beispiele gefunden werden. [Löd08, S. 95-96]

Ordnungskriterium	Fertigungsprinzip	Räumliche Struktur	Beispiele
Mensch	Werkbankprinzip		Handwerkliche Arbeitsplätze Werkzeugmacherei
Produkt	Baustellenprinzip		Großmaschinenbau Schiffswerft
Arbeitsaufgabe	Verrichtungsprinzip oder Werkstättenprinzip		Dreherei Bohrerei Schleiferei Schweißwerkstatt
Arbeitsfolge einer Teilefamilie	Inselprinzip Gruppenprinzip		Fertigungsinsel Montageinsel Fertigungssegment
Arbeitsfolge definierter Varianten	Fließprinzip		Fertigungslinie Montagelinie

AG : Arbeitsgang    S : Station

Abbildung 6: Ordnungskriterien der Fertigungsprinzipien [Löd08, S. 96]

## 2.6.2 Teilefluss

Der Einfluss der Art des Teileflusses auf Bestände und die DLZ eines Arbeitssystems ist sehr groß. Die Arten, die an dieser Stelle betrachtet werden sollen, sind der losweise Transport und der One Piece Flow (OPF).

Im losweisen Transport wird ein Los an einem Arbeitssystem komplett bearbeitet und dann zum nächsten Arbeitssystem transportiert. Das heißt, die Bearbeitung aller Teile eines Loses muss abgeschlossen sein, damit es zum nächsten Arbeitssystem transportiert wird. Der Vorgang wird so lange wiederholt, bis das Los die komplette Fertigung durchquert hat. Die hohe DLZ ist der vorherrschende Nachteil dieser Art des Transportes. Diese kann verringert werden, indem die Losgröße reduziert wird. Die ideale Losgröße wäre hier eins. Das heißt also, dass das Werkstück direkt nach der Bearbeitung weitertransportiert wird. [Löd08, S. 98]

Im OPF ist der grundsätzliche Gedanke, dass jeder Mitarbeiter alle Fertigungsschritte des OPF beherrscht und auch verrichten kann. In einem OPF bilden mehrere Arbeitsplätze eine Zelle. Diese Arbeitsplätze werden arbeitsteilig angeordnet. Am ersten Arbeitsplatz

startet der Mitarbeiter und durchläuft, mit dem Produkt die Zelle, bis er am letzten Arbeitsplatz angekommen ist. Dort gibt er das Produkt weiter und startet wieder am ersten Arbeitsplatz. Die Zelle wird räumlich möglichst eng aufgebaut, damit Start- und Endpunkt möglichst dicht zusammenliegen. Die häufigsten Formen sind in Abbildung 7 veranschaulicht. [Arz05, S.12]

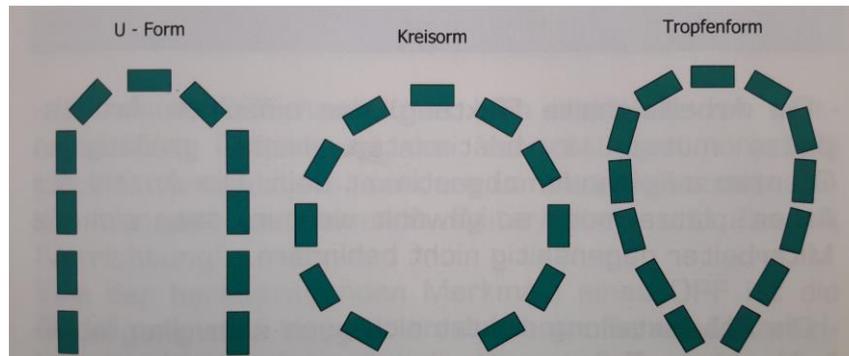


Abbildung 7: Häufigste Formen des One Piece Flow [Arz05, S.13]

Der OPF kann überall dort eingesetzt werden, wo „Arbeiten von Menschen durchgeführt werden. Dabei können einzelne Prozessschritte durchaus von Maschinen (...) übernommen werden oder auch teil- bzw. vollautomatisiert sein. Der Hauptanteil des betrachteten Prozesses muss jedoch immer eine mitarbeitergebundene Verrichtung sein“ [Arz05, S.16]. Hieraus ergibt sich auch der Hauptunterschied zum losweisen Transport mit der Losgröße eins. Dort ist eine Vollautomatisierung der gesamten Fertigung nicht unüblich. Um eine sinnvolle Wertschöpfungskette zu erhalten ist es möglich, mehrere Zellen parallel oder in Reihe aufzubauen. [Arz05, S.13]

### 2.6.3 Logistische Zielgrößen

Die logistischen Zielgrößen werden durch die Fertigungssteuerung beeinflusst. Dabei werden Logistikleistung und Logistikkosten unterschieden. Zur Logistikleistung gehört die Durchlaufzeit. Die Logistikkosten werden beispielhaft durch den Bestand repräsentiert.

Die Durchlaufzeit „(...) ist definiert als die Zeitdauer zwischen der Auftragsfreigabe und dem Bearbeitungsende eines Auftrags“ [Löd08, S. 29]. Als mittlere Durchlaufzeit bezeichnet man den Quotienten aus der kumulierten Auftragsdurchlaufzeit geteilt durch die Anzahl des hergestellten Produktes. [Löd08, S. 28 – 29]

Die Wertschöpfung berechnet Plant Simulation durch:  $\frac{\text{Produktionszeit für ein Produkt}}{\text{mittlere Durchlaufzeit}}$

#### 2.6.4 Auftragserzeugung

Aus Kundenaufträgen, Materialentnahme oder einem Produktionsprogramm generiert die Auftragserzeugung die benötigten Fertigungsaufträge. [Löd08, S. 19]

Hier sind nach Lödding [Löd08, S. 134] drei Klassifizierungsmerkmale zu unterscheiden:

- Die Auftragsfertigung und Lagerfertigung finden sich in der Auslösungsart wieder
- Durch den Erzeugungsumfang wird geregelt ob das gewählte Verfahren Aufträge für eine oder mehrere Stufen einer Stückliste zur gleichen Zeit erzeugen kann
- In der Auslösungslogik spiegelt sich wieder ob die Erzeugung zu bestimmten Zeitpunkten (periodische Auftragserzeugung) oder nach definierbaren Ereignissen (ereignisorientierte Auftragserzeugung) stattfindet

In der Auftragsfertigung wird ein Fertigungsauftrag erst getätigt, wenn einer oder mehrere Kundenaufträge bzw. Fertigungsaufträge vorliegen. Der einfachste Fall ist hier eine „einstufige Produktion“. Bei der einstufigen Produktion erfolgt die Umsetzung eines Kundenauftrags direkt in einen Fertigungsauftrag (siehe Abbildung 8). Bei weiteren Fällen werden mehrere Kundenaufträge zu einem Fertigungsauftrag zusammengefasst oder ein Kundenauftrag in mehrere Fertigungsaufträge aufgeteilt. [Löd08, S. 135]

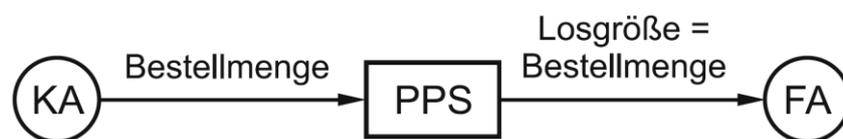


Abbildung 8: direkte Umsetzung des Kunden- in Fertigungsauftrag [Löd08, S. 135]

Bei einstufigen Verfahren der Auftragserzeugung werden „(...) Aufträge für jede Sachnummer in getrennten Regelkreisen“ [Löd08, S. 137] erzeugt. Das bekannteste einstufige Verfahren ist die Kanban-Steuerung.

In der ereignisorientierten Auftragserzeugung sind die Ereignisse, welche zur Erzeugung eines Auftrags führen, im Regelfall „(...) der Eingang eines Kundenauftrags, Materialentnahme aus einem Lager oder Änderung von Verfahrensparametern“ [Löd08, S. 141].

## 2.6.5 Auftragsfreigabe

Durch die Auftragsfreigabe wird der Zeitpunkt bestimmt, an dem ein Auftrag in die Fertigung geschickt wird. Die Bereitstellung des benötigten Materials wird auch von der Auftragsfreigabe gesteuert. Dadurch hat diese direkten Einfluss auf den Bestand und die DLZ.

Auch für dieses Verfahren gibt es nach Lödding [Löd08, S.297] drei Klassifizierungsmerkmale:

- Merkmale, die angeben, wie die Freigabe eines Auftrags entschieden wird spiegeln sich im Kriterium wieder
- Ob man einen Auftrag als Ganzes freigibt oder für jeden Arbeitsgang eine Entscheidung trifft, wird im Detaillierungsgrad bestimmt
- In der Auslösungslogik wird bestimmt, wie die Auftragsfreigabe angestoßen wird. Dies kann zu vorab festgelegten, regelmäßig wiederkehrenden Zeitpunkten geschehen, dies wird periodische Auftragsfreigabe genannt, oder nach vorher definierten Ereignissen, dies wird ereignisorientierte Auftragsfreigabe bezeichnet

Das Kriterium wird in vier Aspekte unterteilt. Als Erstes gibt es „kein Kriterium“. Das heißt, dass Aufträge sofort nach ihrer Erzeugung freigeben werden. Hier können Bestand, DLZ und Auslastung nicht beeinflusst werden. Sie sind nur vom Auftragseingang und der Abarbeitung in der Fertigung abhängig. Der zweite Aspekt ist der „Plan-Starttermin“. Bei diesem werden Aufträge nach dem Erreichen eines Plan-Starttermins freigegeben. Wenn Zugang und Abgang der Fertigung exakt geplant werden können, ist dieses Verfahren sehr gut geeignet, um die Auftragsfreigabe zu steuern. Im „Bestand der Fertigung bzw. eines Arbeitssystems“, dem dritten Aspekt, werden Aufträge freigegeben, wenn die Fertigung an sich oder ein einzelnes Arbeitssystem einen bestimmten Bestand unterschreiten. Als Letztes soll noch die „Belastung der Arbeitssysteme“ erwähnt werden. [Löd08, S. 297-305]

Die „zentral Bestandsregelung“ ist das erste Verfahren des Detaillierungsgrades. Mit ihr wird der Bestand der gesamten Fertigung geregelt. Ein Auftrag wird somit als Ganzes

freigegeben. Der bekannteste Vertreter dieser Art ist die Constant Work in Process Steuerung (Conwip). Weitere Verfahren sind die dezentrale oder die hybride Bestandsregelung. [Löd08, S. 206-207]

Die Grundidee des Conwip „Verfahrens ist es, den Bestand einer Fertigung „(...) auf konstantem Niveau zu halten“ [Löd08, S. 327]. Der Fertigungsauftrag für das Fertigungssystem wird freigegeben, wenn der Bestand der Fertigungslinie oder eines Fertigungsabschnitts unter ein vorher definiertes Niveau fällt. Dadurch werden Bestandsschwankungen des Systems reduziert. Wodurch wiederum die Durchlaufzeiten verbessert werden können. [Löd08, S.327-331]

### 2.6.6 Reihenfolgebildung

Die Reihenfolgebildung bestimmt die Reihenfolge, in welcher ein Arbeitssystem seine Warteschlange bearbeitet. Dazu werden die ankommenden Aufträge nach definierten Kriterien priorisiert. Es gibt Reihenfolgeregeln zur Erhöhung der Liefertreue, des Servicegrads oder der Leistung.

Auf die Liefertreue hat die Reihenfolgebildung die größte Einflussmöglichkeit. „Eine willkürliche Reihenfolgebildung führt zu einer Verschlechterung der Liefertreue. Reihenfolgeregeln, die die geplante Reihenfolge berücksichtigen, können Plan-Abweichungen ausgleichen und damit die Liefertreue verbessern“ [Löd08, S. 444-445]. Einer der Vertreter dieses Verfahrens ist die FIFO-Steuerung (First in First out). [Löd08, S. 444 - 445]

In einer FIFO gesteuerten Bearbeitungsstation werden alle Werkstücke gemäß ihrem Eintreffen an der Station abgearbeitet. Die Reihenfolge wird somit auch nicht vertauscht, weshalb die FIFO Regel auch als „(...) natürliche Reihenfolgeregel bezeichnet“ [Löd08, S. 445] wird. Die Vorteile dieser Regelung sind zum einen eine geringe Streuung der DLZ und zum anderen kann sie sehr einfach eingeführt bzw. durchgesetzt werden. [Löd08, S. 445]

### 2.6.7 Kapazitätssteuerung

In den Bereich der Kapazitätssteuerung fällt vor allem die kurzfristige Zuteilung von Kapazitäten. Durch eine Kapazitätssteuerung werden die allgemeinen Arbeitszeiten der Mitarbeiter bestimmt und an welchem Arbeitssystem ein bestimmter Mitarbeiter arbeiten

sollte. Somit legt sie explizit den Einsatz von Überstunden und Kurzarbeit fest. Des Weiteren steuert sie die Belastung der verschiedenen Arbeitssysteme. [Löd08, S. 461-462]

### 2.6.8 Kanban-Steuerung

Die Kanban-Steuerung wurde in Unterkapitel 2.6.3 schon als Verfahren der Auftragsherzeugung erwähnt. Da das reale Modell aber beispielhaft durch eine Kanban gesteuerte Produktion ersetzt werden soll, haben sich die Autoren entschlossen, die Eigenheiten und Schritte zu einer Kanban-Steuerung hin in einem separaten Unterkapitel zu erläutern.

„Kanban ist eine dezentrale Produktionssteuerung, die auf dem Pull-Prinzip basiert“ [Web07, S. 6]. Pull Prinzip bedeutet, dass ein Produktionsauftrag nur durch den Verbrauch an einer dahinterliegenden Stelle ausgelöst wird. Somit ist dies eine kundenorientierte Produktion. [Web07, S. 6]

Damit es möglich ist die Kanban-Steuerung einzuführen, müssen Kunden-Lieferanten-Verbindungen hergestellt werden. Zusätzlich müssen Behälter und Kanban-Karten als Basiselemente eingeführt werden. Jeder Behälter ist mit einer Kanban-Karte versehen, auf der z.B. Art und Anzahl des beinhaltenden Materials stehen. Um die Kunden-Lieferanten-Verbindungen herzustellen, wird hinter jeder Maschine/jedem Prozess der Fertigung ein Supermarkt erstellt. In diesen Supermarkt kann die dazugehörige Produktionsquelle ihre vollen Behälter ablegen. Nachgelagerte Prozesse können die Behälter aus dem Supermarkt entnehmen. Dabei wird die, zum jeweiligen Behälter gehörende, Kanban-Karte der Produktionsquelle zurückgegeben. Mit dieser Kanban-Karte darf die Quelle erneut einen Behälter mit Material produzieren. Somit ist ein Supermarkt ein kleiner Puffer, dessen Größe durch die Anzahl seiner Kanban-Karten geregelt wird. Durch das Kunden-Lieferanten-Prinzip wird die Pull-Steuerung umgesetzt [Dic15, S. 11-16]

Der optimale Teilefluss für eine Kanban-Steuerung ist der One Piece Flow. Aber auch Fertigungsinseln oder Produktionslinien sind zulässig. [Löd08, S. 178]

In Abbildung 9 wird eine Kanban-Steuerung schematisch dargestellt. In ihr ist zu erkennen, wie die Supermärkte nach einer Materialentnahme von ihren Produktionsquellen (Arbeitssystemen) wieder aufgefüllt werden. Dadurch wird ersichtlich, dass nur ein nachgelagerter Prozess einen Behälter aus dem Supermarkt entnehmen kann. Auch wird aufgezeigt, dass Material- und Informationsflüsse sich nur in eine Richtung bewegen können. [Löd08, S.178]

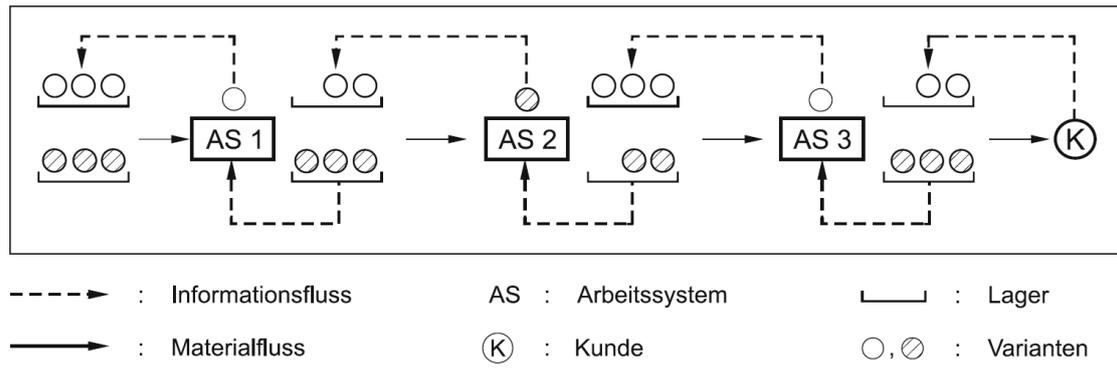


Abbildung 9: Kanban Steuerungsprinzip [Löd08, S. 178]

## 3 Arbeiten mit dem Modell

In den folgenden Kapiteln werden wir das Simulationsmodell beschreiben, zwei Fertigungsstrategien anhand des Modells vorstellen und vergleichen, sowie auf mögliche Erweiterungen und Optimierungen eingehen.

### 3.1 Das Simulationsmodell (HV)

Die vier Wareneingangs-Türme sind durch Quellen dargestellt. Jeder Quelle ist eine Tabelle zugeordnet, die die jeweiligen Produkttypen und ihre Attribute enthält. Über die Attribute wird gesteuert, zu welchen Arbeitsstationen die Werkstücke geführt werden. Die Werkstücke sind im Modell als bewegte Elemente (BEs) dargestellt. Die Attribute der BEs stehen zu Beginn alle auf „False“.

Die Verteilstation ist im Modell mit einem Querverschiebewagen umgesetzt worden. Je nach Produkttyp werden die BEs auf die Förderbänder verteilt. Bis hierhin ist der Weg über die Förderstrecken noch für alle Produkte gleich.

#### 3.1.1 Produkt A

Das Produkt A kommt aus Turm eins und besitzt die Attribute „Geschweißt“ und „Poliert“. Die Reihenfolge der Arbeitsschritte wird immer eingehalten, da die BEs so gesteuert werden, dass sie die Arbeitsstationen nur in der richtigen Reihenfolge passieren können. Die Förderstrecke zwei, die direkt vor dem Querverschiebewagen liegt, besitzt eine Methode, die prüft, ob das Attribut „Geschweißt“ vorhanden und leer oder unwahr ist. Ist dies der Fall wird das BE entweder auf die Förderstrecken drei oder 31 gelegt.

Für das Produkt A ist die Auswahl der Förderstrecke davon abhängig, welche der beiden Schweißstationen zurzeit belegt ist. Ist keine Station belegt, wird zuerst immer Schweißen eins und damit Förderstrecke drei ausgewählt. Sind beide Stationen belegt, bleibt das BE auf dem Querverschiebewagen bis Station eins wieder frei ist.

Von den beiden Förderstrecken werden die BEs mit der Methode „Umlagern“ auf die beiden Schweißstationen verteilt. Damit wird ein Portalkran simuliert, der im realen Modell die Werkstücke umlagern würde. Die Umlagerzeit ist in der Bearbeitungszeit der

Maschine berücksichtigt. Nach der Bearbeitung werden die BEs wieder mit der Methode Umlagern auf die Förderstrecken neun und zwölf gesetzt. Alle Produkte, die geschweißt wurden, werden nach dem Schweißen zum Polieren transportiert. Zu Beginn wurde dem BE das Attribut „Poliert = False“ zugewiesen. Das BE wird über die Förderstrecken zum Drehtisch zwei befördert. Dieser besitzt eine Steuerungsmethode, die alle BEs, die noch nicht poliert sind zur Förderstrecke zehn schickt. Von dort wird das BE auf die Förderstrecke elf geleitet, die die Methoden „Pusher 1“ und „Pusher 1\_2“ besitzt. Im realen Modell würde ein Pusher das Werkstück nun auf die Förderstrecke vor der Poliermaschine schieben. Im Simulationsmodell wird dies wieder mit dem Befehl „umlagern“ realisiert. Die Zeit, die zum Pushvorgang benötigt wird, ist in der Methode enthalten, da die Förderstrecke anhält und die Methode fünf Sekunden wartet, bevor sie den Umlagerbefehl ausführt. Da im realen Modell die Werkstücke auf dem Band direkt vor der Maschine bearbeitet werden, besitzt das Förderband 13 eine Steuerung. Diese bewirkt, dass das BE in die Arbeitsstation umgelagert wird. Gleichzeitig wird das Förderband 13 aber gestoppt, sodass keine weiteren BEs die Arbeitsstation passieren können. Wie im realen Leben, steht das Band in diesem Bereich also still. Die Arbeitsstation lagert das BE nach der Bearbeitung mit der Methode „Ausgang Polieren“ wieder auf die Förderstrecke 13 zurück. Von dort geht das BE in das Lager eins, das den Puffer aus dem realen Modell simuliert. Die Kapazität des Puffers beträgt drei BEs. Danach wird der Puffer entleert und die BEs werden auf die Förderstrecke 14 ausgelagert. Über die Förderstrecken 311, 15 und sechs, sowie die Drehtische zwei und drei verlässt das BE das Modell über die Förderstrecke 163 in die Senke drei.

### 3.1.2 Produkt B

Produkt B besitzt die Attribute „Gebohrt“ und „Geschleift“. Der Querverschiebewagen übergibt das BE an die Förderstrecke 311. Hier wird mit der Methode „Bohren“ geprüft, ob das Attribut „Gebohrt“ unwahr ist. Ist dies der Fall greift eine analoge Steuerung zur Förderstrecke 13 (s. 3.1.1). Nach der Bearbeitung läuft das BE weiter auf die Förderstrecke 15. Hier wird mit der Methode „Pusher 2“, die genau wie Methode „Pusher 1“ funktioniert und nur nach einem anderen Attribut prüft, das BE auf die Förderstrecke fünf umgelagert (s. 3.1.1). Der Ablauf der Bearbeitung in der Station „Schleifen“, das Puffern im Lager und das rausschicken der BEs, nachdem der Puffer voll ist, funktioniert genauso

wie im Kapitel 3.1.1 für die FS 13 und 14 beschrieben (siehe 3.1.1). Ab dem Drehtisch zwei wird das BE über die FS 162 in die Senke 2 befördert.

### 3.1.3 Produkt C

Da der generelle Ablauf für Produkt C dem von Produkt B ähnlich ist, wird hier nur noch auf die Aspekte eingegangen, die unterschiedlich und zu beachten sind. Das Produkt C muss gefräst und poliert werden.

Das BE wird vom Querverschiebewagen auf die Förderstrecke 31 umgelagert und passiert somit auch die Schweißroboter, wird aber von diesen nicht bearbeitet. Die Methoden der Arbeitsstationen und das Ausführen des BEs arbeiten analog zu denen aus Kapitel 3.1.1.

### 3.1.4 Produkt D

Das Produkt D beinhaltet die meisten Arbeitsschritte, da es gebohrt, gefräst, geschleift und poliert werden muss. Wie Produkt B wird es auf die Förderstrecke 311 geleitet und durchläuft dort alle Arbeitsschritte.

## 3.2 Gegenüberstellung zweier Fertigungsstrategien und Steuerungskonzepte

Da durch das Fischer-Technik-Modell zahlreiche Einschränkungen in der Funktionsweise gegeben sind, haben sich die Autoren dazu entschlossen, zwei Teileflüsse mit unterschiedlichen Auftragsfreigaben zu modellieren. In Kapitel 3.2.1 wird ein losweiser Transport mit der Losgröße eins untersucht. Die Auftragsfreigabe erfolgt hier über Conwip oder „kein Kriterium“. In 3.2.2 wird auch ein losweiser Transport untersucht, aber mit der Losgröße drei. Die Freigabe soll hier durch eine „periodische Auslösung“ erfolgen. Es kann argumentiert werden, dass hier die gleichen Strategien modelliert werden. Dies ist aber nur bedingt richtig, weil die Losgröße der Teileflüsse unterschiedlich ist und vor allem die Auftragsfreigabe jeweils eine andere ist. Die unterschiedlichen Simulationsparameter können in Tabelle 1 nachgelesen werden.

Beide Modelle werden mit dem gleichen Fertigungsprinzip, der gleichen Auftragserzeugung, Reihenfolgebildung und Kapazitätssteuerung betrieben. Die Auftragserzeugung erfolgt im realen Modell durch den Eingang eines Kundenauftrags, somit handelt es sich um eine Auftragsfertigung. Außerdem ist vor den Bearbeitungsstationen des gegebenen Modells kein Puffer oder Lager vorhanden. Demzufolge kann die Bearbeitungsreihenfolge bzw. Reihenfolgebildung der Materialien nicht verändert werden. Hierdurch wird gezeigt, dass die Reihenfolgebildung durch eine FIFO-Steuerung geregelt wird. Bei dem Modell handelt es sich um eine automatisierte Fertigung. Außer von den Schweißstationen gibt es von jeder Maschine nur eine Ausführung. Aus den genannten Gründen ist eine Kapazitätssteuerung des erstellten Modells nicht möglich.

Kapitel	Teilefluss	Auftragsauslösung	Produktanzahl
3.2.1	losweiser Transport (Losgröße eins)	kein Kriterium	12, 24, 120, 240
		Conwip-Steuerung	12, 24, 120, 240
3.2.2	losweiser Transport (Losgröße drei)	periodische Auslösung	30, 90, 120, 150, 180, 210

Tabelle 1: benutzte Fertigungsstrategien

### 3.2.1 Losgröße Eins (AE)

Für jeden Durchlauf sollen jeweils die Losgrößen 12, 24, 120 und 240 simuliert werden. Um die verschiedenen Auftragsfreigaben miteinander vergleichen zu können, werden die mittlere Durchlaufzeit und die Wertschöpfung als Hilfsmittel benutzt. Darüber hinaus werden für jede Auftragsfreigabe zwei Produkte zur Erläuterung genutzt. Die Wertetabellen für sämtliche Simulationsdurchläufe, der vier Produkte, im Anhang aufgeführt.

Als Erstes soll in diesem Kapitel die Auftragsfreigabe durch „kein Kriterium“ erfolgen. Die betrachteten Produkte sollen C und D sein. Die Freigabe bedeutet für das reale Modell, dass die Quellen die geforderte Gesamtanzahl an Material sofort auslagern. So entsteht bei jedem Produkt ein Stau auf den Förderstrecken. Bei Produkt C staut es sich auf den Förderstrecken 0, 1, 2, 31, 12 und 4. Produkt D staut sich auf den Förderstrecken 0, 1 und 2. Aufgrund dieser Staus steigt die mittlere Durchlaufzeit der Produkte proportional zur Produktanzahl an. Der Anstieg der Durchlaufzeit führt wiederum zu einer fallenden Wertschöpfung. Dass sich die Durchlaufzeit von Produkt D geringer verändert als die von

Produkt C, ist der geringeren Staustrecke geschuldet. Insgesamt unterliegen die Durchlaufzeiten und die Wertschöpfung in einem durch „kein Kriterium“ auftragsausgelösten Fertigungsprozess sehr starken Veränderungen. Diese Zusammenhänge können auch in Abbildung 10 betrachtet werden. Auf der linken vertikalen Achse wird die mittlere Durchlaufzeit abgetragen. Die rechte stellt die Wertschöpfung dar. Horizontal aufgetragen befindet sich die jeweilige Anzahl der Produkte.

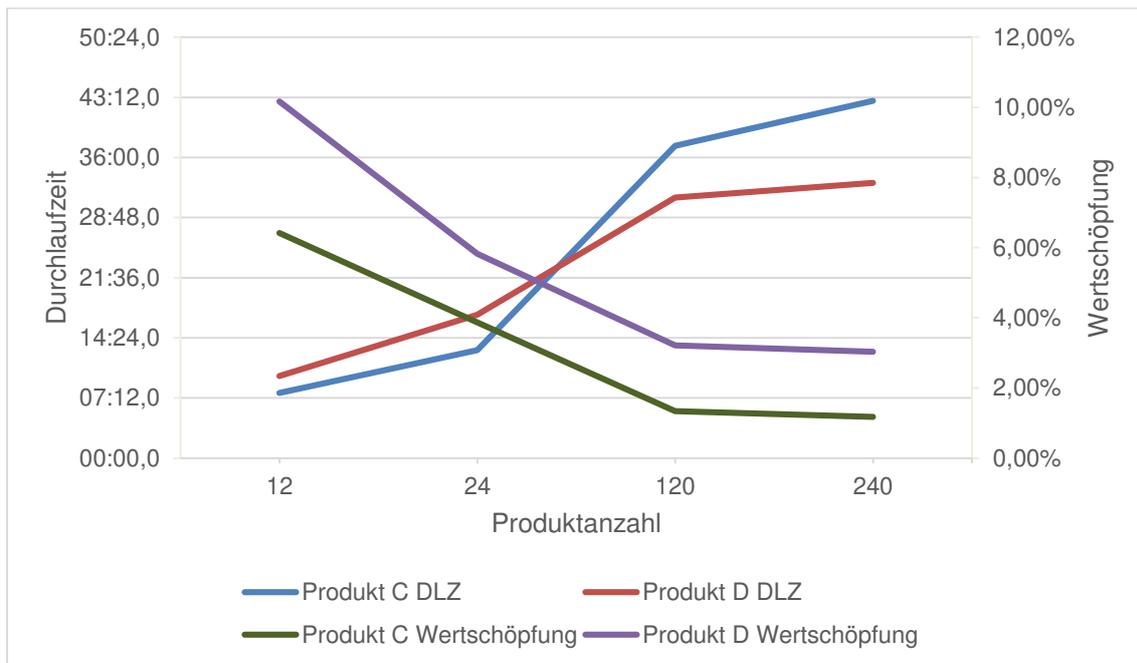


Abbildung 10: Durchlaufzeit und Wertschöpfung über der Produktanzahl

In der folgenden Simulation soll die Auftragsauslösung mittels einer Conwip-Steuerung stattfinden. Durch diese Art der Auftragsauslösung wird versucht den Bestand in der Fertigung auf ein minimales Maß zu reduzieren. Dadurch können in der Theorie die DLZ und die Wertschöpfung stabilisiert oder sogar verbessert werden. In einem ersten Versuch wird das Material für alle Produkte durch den jeweils gleichen Bestandwert und die gleiche Kontrollstrecke geregelt. Der Bestandwert soll 1 sein. Die Strecke, auf welcher der Bestand kontrolliert wird, startet bei der jeweiligen Quelle des Produkts und endet direkt hinter dem Querverschiebewagen (CSC). Das bedeutet, dass jedes Mal, wenn der Bestand der Strecke unter 1 fällt, durch die aktuelle Quelle ein Materialteil ausgelagert wird. Die Quelle lagert also nur neues Material aus, wenn das vorherige den Querverschiebewagen verlassen hat und dadurch der Bestand der definierten Strecke unter 1 fällt.

In der Simulation selbst werden dadurch die Staus sichtbar reduziert. Dieses spiegelt sich auch in den DLZ und Wertschöpfungen wieder. Wie aus Tabelle 2 hervorgeht wurde die DLZ bei 12 Teilen um 3 Minuten reduziert. Die maximale Reduzierung liegt bei 240 Teilen vor und beträgt 26 Minuten. Auch die Werte für die Wertschöpfung verbesserten sich. Sie konnten um 5% bzw. maximal 11% gesteigert werden.

Produkt D				
	Kein Kriterium		Conwip	
Durchsatz	Mittlere DLZ [min:sek]	Wertschöpfung [%]	Mittlere DLZ [min:sek]	Wertschöpfung [%]
12	9:49.7075	10,17	6:22.3309	15,69
24	17:09.7728	5,83	6:34.4652	15,21
120	31:11.8142	3,21	6:44.1726	14,85
240	32:58.1696	3,03	6:45.3860	14,80

Tabelle 2: Produkt D Vergleich „kein Kriterium“ und Conwip

Bei einem Vergleich der Abbildungen 11 und 12 zeigt sich auch, dass im Fall „kein Kriterium“ die, bei steigender Produktanzahl vorhandenen Unterschiede in Wertschöpfung und DLZ durch die Conwip-Steuerung ausgeglichen werden. Bei Produkt D steigen die Durchlaufzeiten, von 12 auf 240 Produkte betrachtet, um 4 Sekunden an. Gleichzeitig sinkt die Wertschöpfung um 0,14 %. Bei der durch „kein Kriterium“ gesteuerten Auslösung lagen die Unterschiede noch bei 23 Minuten für die DLZ und bei 7 % für die Wertschöpfung. Durch die Conwip-Steuerung wurde somit eine wesentliche Verbesserung der Bestandssteuerung erreicht.

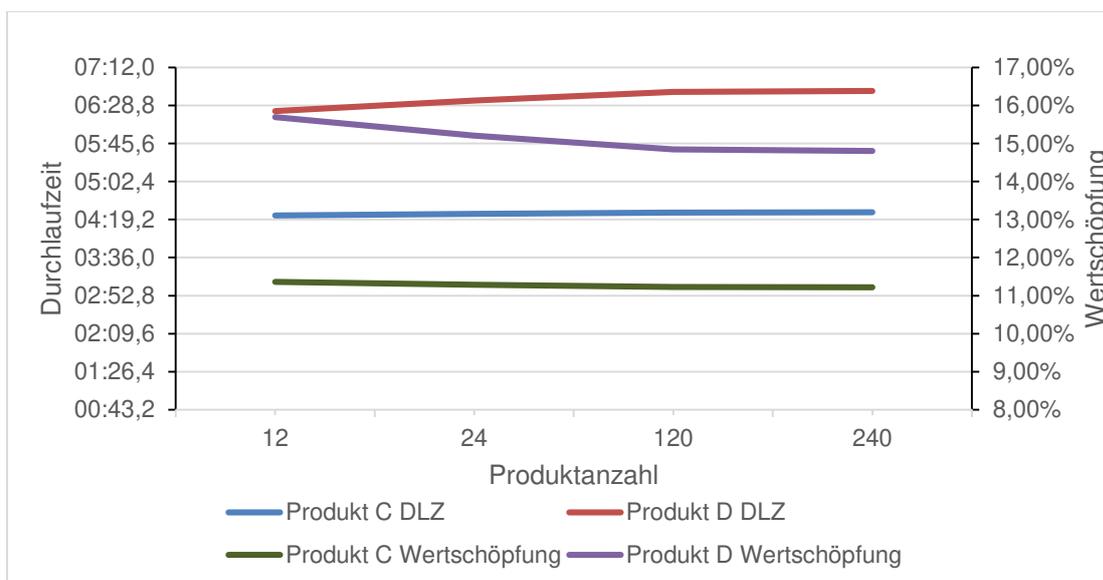


Abbildung 11: Wertschöpfung und DLZ bei den Produkten C und D

Im nächsten Schritt soll die Conwip-Steuerung weiter verbessert werden. Dazu wird die Kontrollstrecke, auf welcher der Bestand gemessen wird, verändert. Die betrachteten Produkte sind wiederum C und D.

Bei der Verbesserung soll mit Produkt C gestartet werden. In der Simulation entsteht auf Förderstrecke 4 ein Stau. Dieser soll durch eine Erweiterung der Kontrollstrecke um Förderstrecke 31 aufgelöst werden. In der Simulation mit 240 Produkten fällt auf, dass die DLZ nun auf 4:39 min steigt und die Produktion auf 10,74 % fällt (siehe Anhang Tabelle „Conwip Produkt C Veränderungen“ S. 69).

Ein weiterer Versuch soll zeigen, ob sich mit einer verkürzten Kontrollstrecke eine Verbesserung erzielen lässt. Aus der Kontrollstrecke wird nun das CSC entfernt. Das heißt, dass die Materialien ausgelagert werden, wenn Förderstrecke 2 leer ist. Während des Simulationsdurchlaufs ist zu beobachten, dass sich der Stau auf die Förderstrecke 31 verlagert. Dieses ist in der DLZ in einem Anstieg auf 18:05 min, und in der Wertschöpfung, sie sinkt auf 2,76%, zu erkennen (siehe Tabelle „Conwip Produkt C Veränderungen“ S. 69). Dieses Verhalten hätte durch eine genauere Betrachtung der Simulation vorhergesagt werden können. Der Stau auf Förderstrecke 4 entsteht, da Lager1 mit der Auslagerung wartet, bis drei Produkte im Lager liegen. Nach der Auslagerung müssen die Produkte noch zur Senke 3 transportiert werden. Da nur ein Förderband für beide Richtungen vorhanden ist, müssen die nicht bearbeiteten Produkte warten. Wird nun die Kontrollstrecke verkürzt, werden die Materialien früher aus der Quelle ausgelagert. Daraus ist ersichtlich, dass ein größerer Stau entsteht. Wird die Strecke verlängert, dauert es länger bis im Lager 1 drei Produkte vorhanden sind. Dadurch erhöhen sich Lager- und Förderzeiten, welche wiederum die DLZ negativ beeinflussen.

Bei Produkt D werden diese Überlegungen von Anfang an berücksichtigt. In der Beobachtung des Simulationsmodells fällt auf, dass der Abstand zwischen den einzelnen BEs sehr groß ist. Dadurch warten die BEs eine Zeit lang im Lager, bis sie ausgelagert werden können. In Folge dessen wird die DLZ erhöht und die Wertschöpfung verringert. Eine spätere Auftragsauslösung kommt somit nicht in Frage, da diese die Lagerzeit erhöhen würde. In einem ersten Anlauf wird die Kontrollstrecke auf die Auslösung nach Förderstrecke 2 verkürzt. In der Tabelle 3 steht dieser Anlauf unter Conwip Durchlauf 1. Durch diese Änderung wird eine Verbesserung der DLZ und Wertschöpfung erreicht. Bei einer Betrachtung des Simulationsdurchlaufs fällt aber auf, dass der Abstand der BEs immer noch sichtbar ist. In einem neuen Anlauf findet die Auslösung hinter Drehtisch 4 statt

(siehe Tabelle 3 unter Conwip Verbessert). Dadurch lassen sich die DLZ und Wertschöpfung abermals verbessern. Die Durchlaufzeit sinkt auf 6:15 min und die Wertschöpfung steigt auf 15,97%.

Produkt D		
Durchsatz 240		
Auftragsauslösung	Mittlere DLZ [min:sek]	Wertschöpfung [%]
Conwip	6:45.3860	14,80
Conwip Durchlauf 1	6:30.3168	15,37
Conwip Verbessert	6:15.6153	15,97

Tabelle 3: Produkt D Verbesserungen

In den Abbildungen 12 und 13 können die Verbesserungen nochmals für alle Produkte betrachtet werden. Diese Verbesserungen wurden für jeweils 240 Produkte dargestellt. Wenn beide Steuerungen zur Auswahl stehen, ist die Conwip-Steuerung der Steuerung durch „kein Kriterium“ vorzuziehen. Durchlaufzeiten können mit einer Conwip-Steuerung gesenkt werden. Die Wertschöpfung wird erhöht. Außerdem werden durch die Conwip-Steuerung die Durchlaufzeiten und Wertschöpfungen stabilisiert. Die Unterschiede, in DLZ und Wertschöpfung werden, im Vergleich zu einer Steuerung durch „kein Kriterium“, ausgeglichen. Dies ist vor allem bei einer großen Anzahl an Produkten zu beobachten. In einer durch „kein Kriterium“ gesteuerten Produktion steigt die DLZ von Produkt C von 7:47 min bei einer Anzahl von 24 Produkten und auf 42:46 min bei 240 Produkten. Durch die Conwip-Steuerung steigt die DLZ von 4:23 min auf 4:27 min. Dies bedeutet einen Anstieg um vier Sekunden bei der 10-fachen Anzahl an Produkten. Bei der Steuerung durch „kein Kriterium“ lag dieser Anstieg noch bei 35 Minuten.

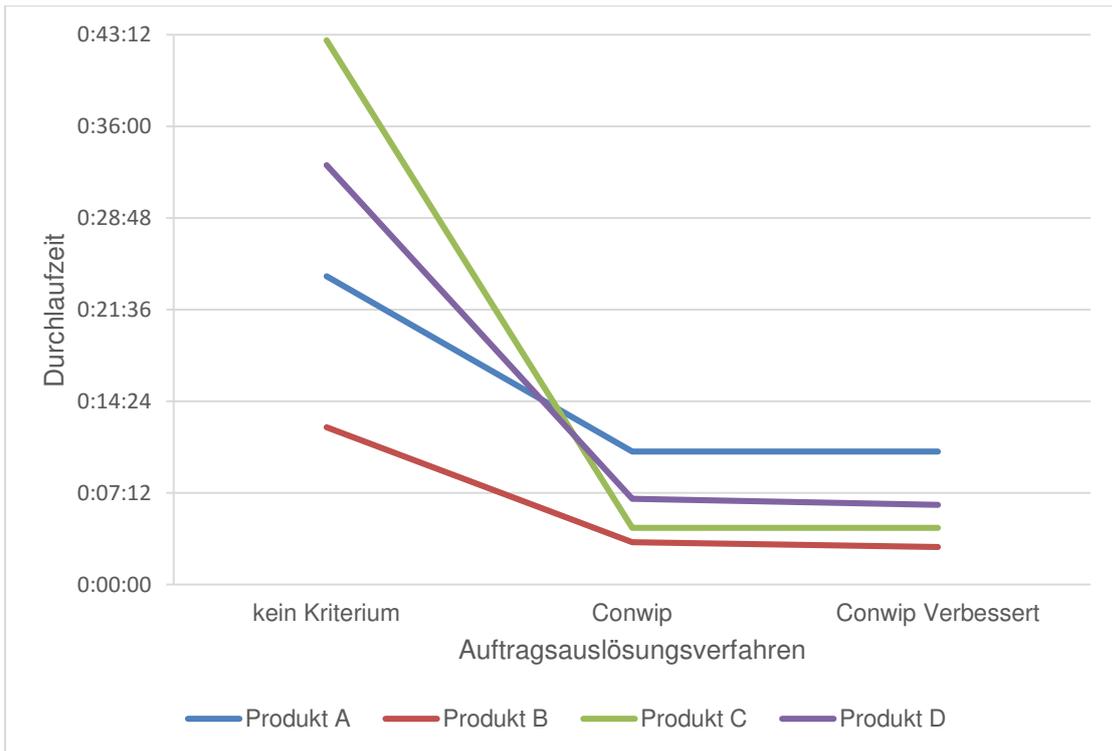


Abbildung 12: Durchlaufzeiten aller Produkte für 240 Stück

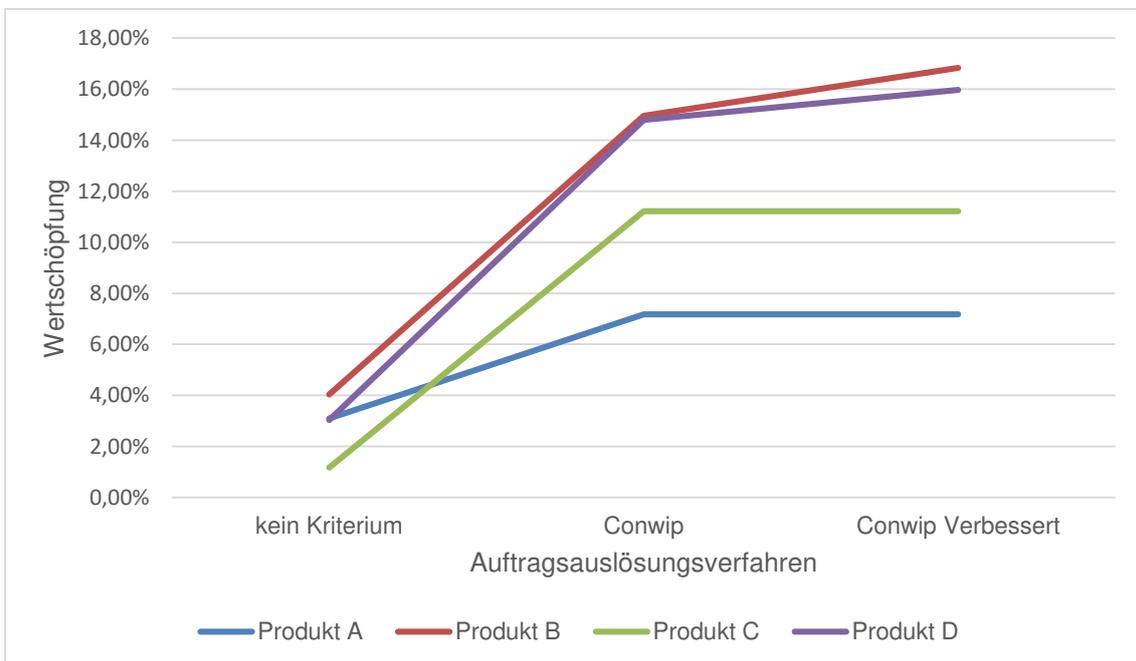


Abbildung 13: Wertschöpfung aller Produkte für 240 Stück

### 3.2.2 Losgröße Drei

Für die Losfertigung muss das Simulationsmodell erweitert werden. Im Ursprungszustand werden alle BEs einzeln über die Drehtische und den Querverschiebewagen befördert. Damit die Losfertigung simuliert werden kann, wird nach den Drehtischen und dem Querverschiebewagen ein virtuelles Lager eingebaut. In diesem Lager werden die BEs gespeichert, bis die Losgröße erreicht worden ist. Dann werden alle BEs des Loses gemeinsam ausgelagert und weiterbefördert. Nach dem gleichen Prinzip wurden auch Lager vor und nach der Bearbeitungsstation eingefügt. So wird mit der Bearbeitung der BEs erst begonnen, wenn das komplette Los an der Arbeitsstation eingetroffen ist. Nach der Bearbeitung werden die BEs gesammelt, bis das komplette Los bearbeitet und zum Abtransport bereit ist (vgl. rot markierte Lager in Abbildung 14).

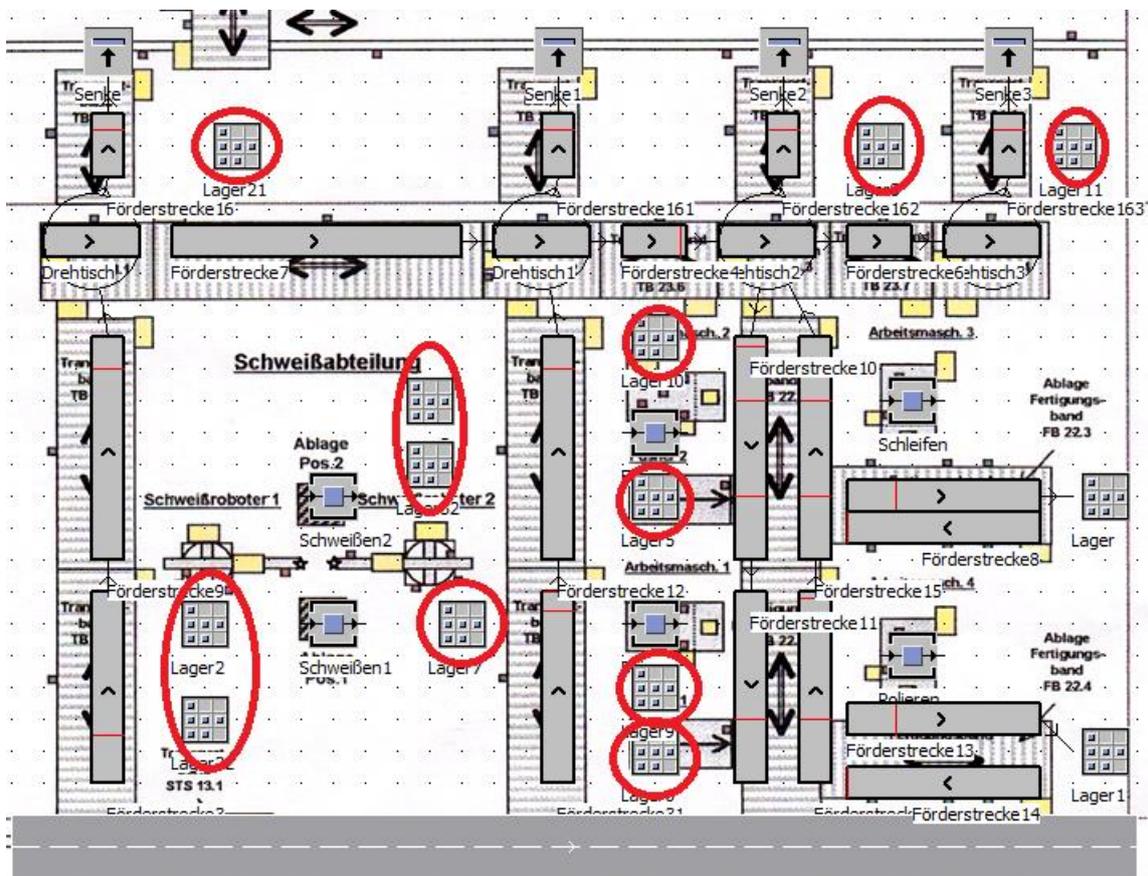


Abbildung 14: Simulationsmodell in der Losfertigung mit Losgröße 3

Da die Lager im realen Modell nicht existieren, gibt es auch keinen Umlagerungs- oder Haltemechanismus. Im Simulationsmodell kann daher der Befehl „@.umlagern“ benutzt werden. Im realen Modell würde ein Los über die Förderbänder laufen und dabei würden

alle Werkstücke direkt auf einander folgen. Da auf den Förderbändern gearbeitet wird, ist eine Umlagerung in die Arbeitsmaschine nicht erforderlich. Die Größe des Loses bei einer Losfertigung wird im realen Modell durch die Aufnahmefähigkeit des Querverschiebewagens und der Drehtische reglementiert. Daher kann das Los nicht sehr groß sein. Um eine Veränderung gegenüber der Einzelstück-Fließfertigung zu bemerken, gleichzeitig aber die Reglementierung aus dem realen Modell zu beachten, wurde die Losgröße in den Simulationsversuchen auf drei Einheiten begrenzt. Diese Größe ist änderbar, dafür müssen aber die Lagergröße und die Umlagermethoden dementsprechend angepasst werden.

Durch die Losfertigung kann man erwarten, dass die Durchlaufzeit der einzelnen BEs steigt. Sie müssen immer wieder auf die nachfolgendes BEs des Loses warten. Am meisten Zeit verlieren dabei die BEs, die das Erste im Los sind.

Um diese Theorie zu überprüfen, wurde ein Experiment einmal mit dem Standard-Simulationsmodell und einmal mit dem erweiterten Simulationsmodell für die Losfertigung durchgeführt. Die Eingangswerte und -parameter wurden zur Vergleichbarkeit gleich gewählt. Von allen Produkten wurden 30 Stück gefertigt. Alle Quellen arbeiteten mit der Erzeugungszeit in Gleichverteilung zwischen 0:15 und 1:15 Minuten. Die Bearbeitungszeit der beiden Schweißmaschinen beträgt jeweils eine Minute und die der anderen vier Arbeitsstationen jeweils zehn Sekunden.

Das Standardmodell benötigte eine gesamte Durchlaufzeit von 1:33:05 Stunden. Damit benötigte es gute 22 Minuten mehr als das Simulationsmodell in der Losfertigung, welches 1:11:52 Stunden brauchte. Dies steht im Widerspruch zu der obigen Vermutung. Der Grund hierfür wird im Folgenden betrachtet.

Die mittleren Durchlaufzeiten in Minuten verteilen sich auf die einzelnen Produkte wie folgt:

	Standardfertigung 1:33:05 h	Losfertigung 1:11:52 h
Produkt A	12:22 min	13:13 min
Produkt B	7:36 min	6:52 min
Produkt C	12:22 min	8:59 min
Produkt D	18:17 min	12:57 min

Tabelle 3: DLZ mit Losfertigung und der Losgröße 3

Der Anteil der Lagerzeit an der gesamten Durchlaufzeit erhöht sich natürlich bei allen BEs, da sie in der Simulation systembedingt zwischengelagert werden. Der Zeitanteil für den Transport verringert sich allerdings enorm. Produkt A hat zum Beispiel einen um 23% verringerten Anteil bei der Transportzeit. Durch diese großen Zeitersparnisse beim Transport können die länger andauernden Lagerzeiten ausgeglichen werden. Die Zeiterparnisse sind sogar so groß, dass die Durchlaufzeit insgesamt sinkt. In die Transportzeit fällt auch die Zeit, die ein BE auf einem Förderband stillsteht und wartet, dass es auf dem nächsten Förderband weiterfahren kann. Im Standardmodell warten die BEs an vielen Punkten. Dies liegt an dem einzigartigen Design der Modellfabrik. Die Anordnung der Förderbänder und vor allem die Bearbeitung der Werkstücke auf dem Förderband bedingen eine sehr ineffiziente Auslastung der Anlage. Nachfolgende BEs werden immer wieder gestoppt, bis das Förderband wieder frei ist.

Bei der Losfertigung werden immer drei Werkstücke zeitgleich an die Maschine geliefert. Die BEs Nummer zwei und drei können also mit an die Maschine heranzufahren und werden direkt bearbeitet, wenn das vorhergehende BE fertig ist. Sie müssen nicht auf einer anderen Förderstrecke warten, bis der Vorgänger ein Förderband weiter ist.

Lediglich bei Produkt A verlängert sich die Durchlaufzeit um 51 Sekunden. Dies hat zwei Gründe. Zum einen werden die BEs nach dem Drehtisch vier gelagert bis drei BEs den Drehtisch passiert haben. Das erste BE kommt daher später auf die Förderstrecke zwei als im Standardmodell und löst damit auch den Querverschiebewagen später aus. Dies betrifft nur das Produkt A, da der Querverschiebewagen bei allen späteren Produkten bereits ausgelöst ist und die BEs nach dem Lager direkt auf den Wagen fahren können.

Zum anderen werden die Lose des Produkts A auf die Schweißstationen „Schweißen1“ und „Schweißen2“ nach Bedingungen verteilt. Schweißteile werden an die Station „Schweißen1“ geschickt,

- wenn es das erste Los ist,
- wenn Station „Schweißen1“ leer und Station „Schweißen2“ voll ist,
- wenn Station „Schweißen1“ voll und Station „Schweißen2“ voll ist, wobei dann gewartet wird, bis Station „Schweißen1“ wieder leer ist.

Zur Station „Schweißen2“ werden Schweißteile nur geschickt, wenn Station „Schweißen1“ belegt und Station „Schweißen2“ leer ist. Es kann nun vorkommen, dass die zweite Station schneller fertig ist mit dem Los als die erste Station und dementsprechend leer ist und das nächste Los erhalten könnte. Da die Verteilmethode aber wartet bis die Station

„Schweißen1“ leer ist, wenn beide Stationen vorher befüllt waren, entsteht hier in seltenen Fällen ein Leerlauf, der die Durchlaufzeit der BEs erhöht.

Generell lässt sich feststellen, dass die Zeit, in der die Maschinen wertschöpfend arbeiten relativ zur Gesamtzeit sehr gering ist. Am besten sieht das Verhältnis noch bei den beiden Schweißmaschinen aus, doch selbst hier wird nur knapp 20% der Zeit wertschöpfend gearbeitet (vgl. Tabelle 5).

Maschine	Standardfertigung		Losfertigung	
	Anteil Wartezeit	Anteil Arbeitszeit	Anteil Wartezeit	Anteil Arbeitszeit
Schweißen 1	80,66%	19,34%	74,96%	25,04%
Schweißen 2	87,11%	12,89%	83,30%	16,70%
Bohren	89,26%	10,74%	86,09%	13,91%
Fräsen	89,26%	10,74%	86,09%	13,91%
Schleifen	83,89%	16,11%	86,09%	13,91%
Polieren	89,26%	10,74%	79,13%	20,87%

Tabelle 5: Zeitenanteil Standardfertigung zu Losfertigung

Durch die Losfertigung kann also der Zeitanteil, in dem die Maschinen wertschöpfend arbeiten, gesteigert werden. Die einzige Ausnahme bildet hier das Schleifen.

Mit den gleichen Parametern aber einer veränderten Eingangsgröße wird das Experiment erneut durchgeführt. Es werden jeweils 90 Produkte eines jeden Produkttyps hergestellt. Damit verdreifacht sich der Durchsatz durch das Simulationsmodell. Die Simulationszeit im Modell Losfertigung verlängert sich nicht ganz um den Faktor drei auf 3:09:38 Stunden.

Die mittlere Durchlaufzeit der Werkstücke verlängert sich, wobei der Faktor zwischen 1,34 und 1,8 schwankt. Die exakten Zeiten sind in Tabelle FFF ersichtlich. Es ist nachvollziehbar, dass bei größeren Stückzahlen die Bearbeitungszeit pro BE steigen muss. Je mehr BEs sich im System befinden, desto eher besteht die Gefahr des Verstopfens. Anhand des steigenden Anteils der Transportzeit kann man sehen, dass die BEs sich länger auf den Förderstrecken befinden. Da die Wege gleich bleiben, bedeutet dies, dass die BEs auf der Förderstrecke warten bis sie weiterfahren können.

Die Verteilung der Zeitanteile zwischen Leerlauf und Arbeit bei den Maschinen ist annähernd gleichgeblieben und hat sich nur im Rahmen von einem Prozent bewegt.

	Losfertigung 90 Teile 3:09:38 h	Losfertigung 30 Teile 1:11:52 h
Produkt A	18:11 min	13:13 min
Produkt B	9:15 min	6:52 min
Produkt C	16:06 min	8:59 min
Produkt D	19:01 min	12:57 min

Tabelle 6: DLZ Losfertigung 30 Teile zu 90 Teile

In weiteren Experimenten wird die Anzahl der zu produzierenden BEs pro Produkttyp erhöht. Zunächst wachsen die Durchlaufzeiten sehr stark an. Wobei sie sich nicht verdreifachen, obwohl sich die Anzahl der BEs verdreifacht. Die Durchlaufzeiten wachsen für größere Anzahlen an BEs immer weniger stark.

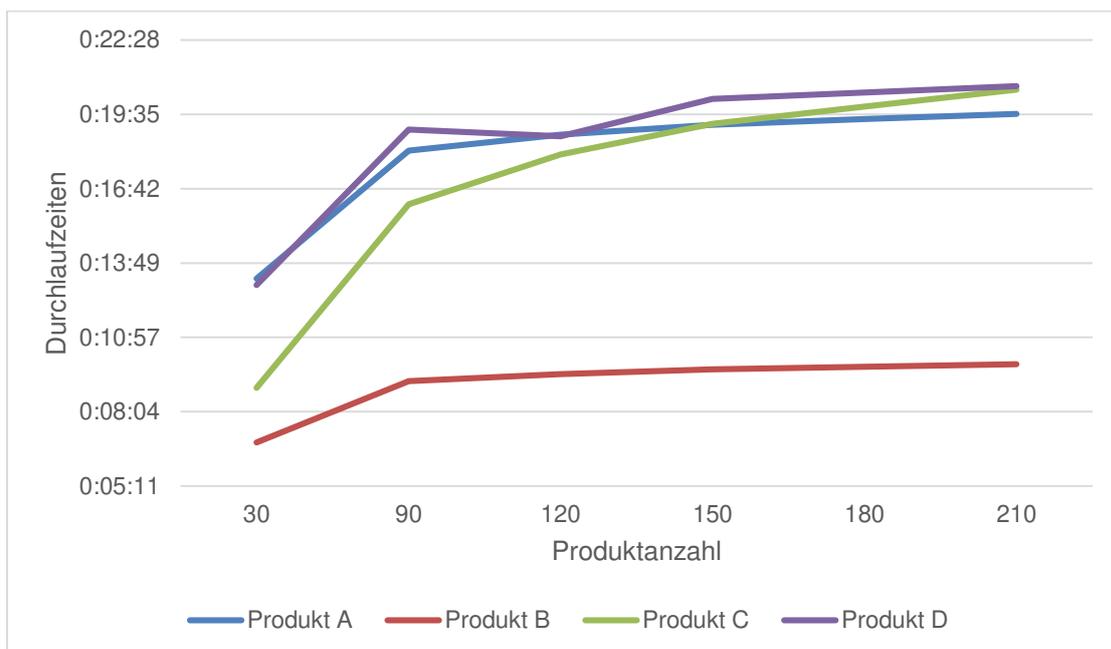


Abbildung 15: DLZ Produkte A-D bei verschiedenen Stückzahlen

Der Anteil der Transportzeit steigt jedoch überproportional an. Es zeigt sich also, dass die BEs in der Produktion an verschiedenen Stellen immer länger warten müssen bis sie zu einer Arbeitsstation gelangen. Die Auslastung der Arbeitsstationen und die Wertschöpfende Zeit sinkt jedoch. Es bestätigt sich also die Hypothese, dass bei steigender Anzahl der zu produzierenden BEs die Durchlaufzeiten steigen und der Anteil der Wartezeiten ebenfalls steigt.

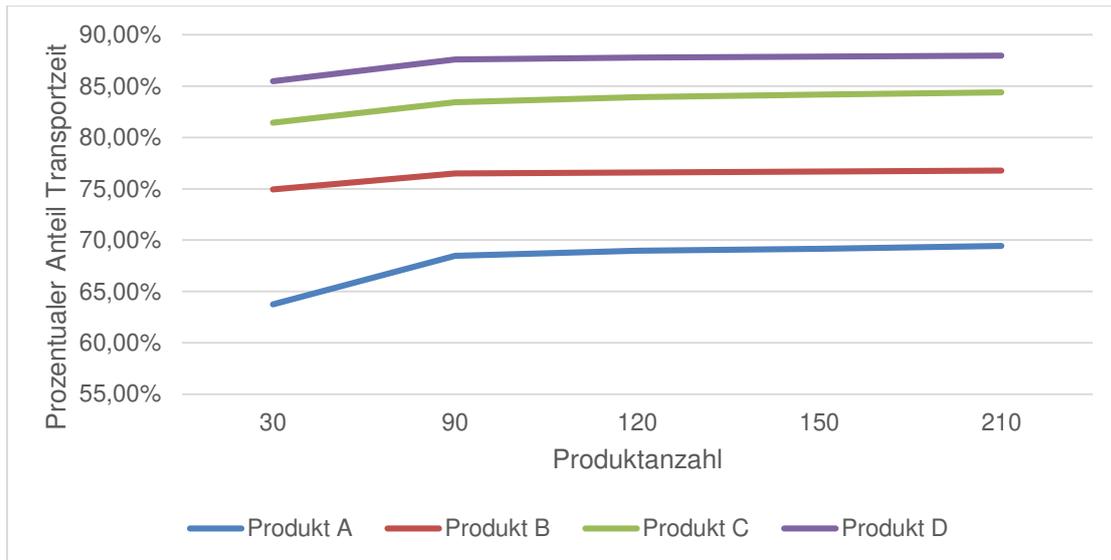


Abbildung 16: Prozentualer Anteil Transportzeit an DLZ

Die Experimente haben gezeigt, dass sich die Transportzeit der einzelnen BEs durch die Losfertigung verringern lässt. Ebenfalls lässt sich durch die Losfertigung die produktive Arbeitszeit der Maschinen deutlich erhöhen. Bedingt durch das Layout der Modellfabrik stellt dies eine Besonderheit dar. Im Normalfall kann man davon ausgehen, dass die Durchlaufzeiten der einzelnen BEs mit dem Einzelstückfluss sinken sollten.

Die Experimente zeigen aber auch, dass mit steigender Anzahl der BEs die Durchlaufzeiten steigen und die Anteile wertschöpfender Arbeiten sinken. Bei beliebig vielen BEs würde das System also verstopft.

### 3.3 exemplarische Modifizierung des Modells für Kanban (AE)

Um das Fischer-Technik-Modell für Kanban zu modifizieren, muss zuerst entschieden werden, welcher Teilefluss gewählt werden soll. Damit das vorliegende Modell realitätsnah abgebildet werden kann, soll zuerst ein neues Simulationsmodell mit Fertigungsinseln erstellt werden. Als zweite Möglichkeit sollen Produktionslinien gebildet werden. Um mit Plant Simulation eine Kanbansteuerung erstellen zu können, müssen spezielle Kanbanbausteine verwendet werden. Weil die Erstellung exemplarisch erfolgen soll, werden sich die Autoren auf die Erklärung des Teileflusses und dessen wesentlichen Elemen-

ten beschränken. Für weitere Details soll hier auf die Hilfsbibliothek des Simulationsprogramm verwiesen werden. Dort wird in einer detaillierten Erklärung gezeigt, wie die Simulation zu erstellen ist (Index → Schritt-für-Schritt-Hilfe → In Tecnomatix Plant Simulation 2D modellieren → Ein Kanban-System modellieren). Aus dem vorher erstellten Modell können eine Senke und die Bearbeitungsstationen übernommen werden. Die Förderstrecken bleiben erhalten. Diese sind von den Autoren, um die Übersicht zu erhöhen, in den folgenden Abbildungen nicht dargestellt. Die Quelle wird durch eine Kanban-Source ersetzt. Hinter der Source und den jeweiligen Bearbeitungsstationen wird je ein Buffer gesetzt. Diese Buffer stellen die Supermärkte dar. Aus ihnen können die nachgelagerten Bearbeitungsmaschinen oder Senken die benötigten Teile beziehen. Der gesamte Prozess wird durch eine Kanban-SingleProc gesteuert. Diese erstellt die Aufträge für die benötigten Bedarfe.

Durch die Bildung von Fertigungsinseln bleibt der Teilefluss des Simulationsmodells möglichst nah an dem realen Modell. Jeder einzelne Fertigungsschritt eines Produkts wird in einer eigenen Fertigungsinsel getätigt. In Abbildung 17 ist dies dargestellt. Nach der Bearbeitung werden die Zwischenprodukte in ihrem jeweiligen Supermarkt zwischengelagert. Durch die Supermärkte wird die Fertigung unabhängiger von Bestandsschwankungen. Wichtig sind auch die Größe der Supermärkte und die Anzahl an Kanbankarten. Da durch sie bestimmt wird wie groß der Gesamtbestand in der Fertigung wird. Produkte, welche eine hohe Nachfragehäufigkeit besitzen, müssen in größeren Mengen vorliegen als Produkte mit einer niedrigen Nachfragehäufigkeit. Wird diesem Punkt keine Beachtung geschenkt, kommt es zu Engpässen in der Fertigung. Dieser Punkt wird umso wichtiger, weil verschiedene Materialien auf die gleichen Bearbeitungsstationen (z.B. Produkt A und C auf die Poliermaschine) zugreifen. Außerdem greifen verschiedene Produkte auf das gleiche Material (z.B. Produkt B und D auf gebohrtes Material) zu. Deswegen müssen in den Puffern die verschiedenen Materialien in ausreichenden Mengen bereitliegen. Durch diese Faktoren ist das Modell sehr umfangreich und komplex.

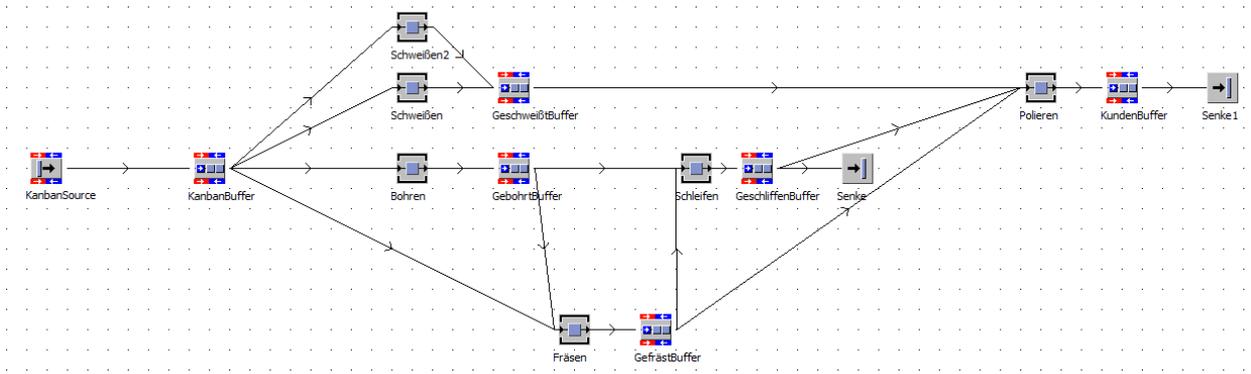


Abbildung 17: Fertigungsinseln

In einem neuen Simulationsmodell können mit Hilfe von Produktionslinien die Übersicht und Durchlaufzeiten verbessert werden. In diesem Modell sind die vier Produkte jeweils in einzelne Linien aufgeteilt. Das heißt, dass jedes Produkt seine eigenen Bearbeitungsstationen bekommt, die nur von ihm genutzt werden. Dies wird in Abbildung 18 verdeutlicht. Diese Simulation ähnelt aufgrund der zusätzlichen Bearbeitungsstationen nicht mehr der abzubildenden Fertigung und soll nur eine Verbesserung des Modells mit Fertigungsinseln sein. Auch wird der benötigte Gesamtbestand in der Fertigung geringer ausfallen als mit dem vorherigen Teilefluss. Das liegt daran, dass jedes Produkt seine eigenen Supermärkte zur Verfügung hat und somit nicht auf die Supermärkte der anderen Produkte zugreift. Wenn in jedem Supermarkt nur ein einziges Teil zwischengelagert wird kann der Teilefluss als One Piece Flow bezeichnet werden. Da nur jeweils ein Teil gelagert wird ist der Bestand in einem One Piece Flow am geringsten.

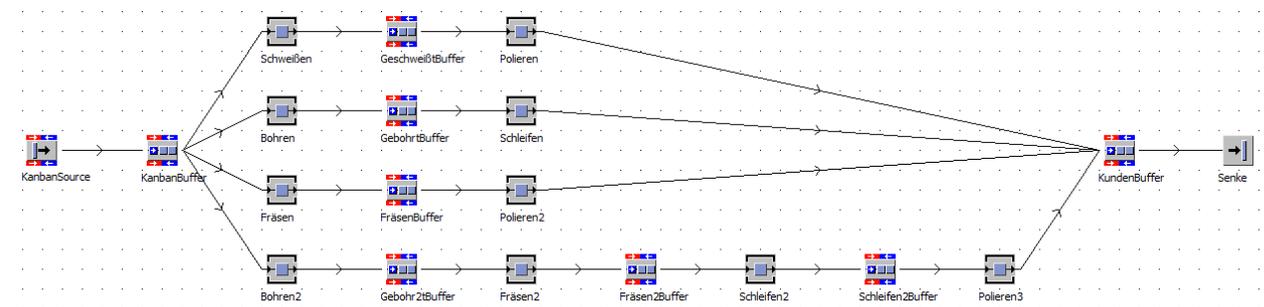


Abbildung 18: Produktionslinien

Durch die strikt voneinander getrennten Bearbeitungsstationen ist die Produktionslinie weniger umfangreich und komplex als das Inselprinzip. Im Vergleich mit den Fertigungsinseln ist die Produktionslinie, aufgrund der höheren Anzahl an Maschinen, mit höheren Anschaffungskosten verbunden. Das Inselprinzip hat durch den höheren Bestand aber

mehr Umlaufkosten. Dies sollte bei einem Vergleich der beiden Strategien beachtet werden.

### 3.4 Konzept einer Simulation parallel zur Fertigung (HV)

Wie bereits in Kapitel 2.5 beschrieben, wird die Simulation inzwischen sehr häufig in der Wirtschaft parallel zum Betrieb eingesetzt. Ziel beim Einsatz eines Simulationsmodells ist es immer, die Fertigung zu optimieren. Dies gilt ganz besonders, wenn das Simulationsmodell parallel zum laufenden Betrieb eingesetzt wird. Der Ansatz zur Optimierung kann dabei ganz unterschiedlich sein. Zum Beispiel kann man die Produktionsreihenfolge von verschiedenen Produkten, die auf der gleichen Fertigungslinie produziert werden, in der Simulation verändern. Dadurch lässt sich feststellen, ob man mit einem anderen Produktmix die Auslastung der Anlagen und eventuell auch die Lieferzeit der Produkte verkürzen kann.

Als Beispiel sei gewählt, dass die Modellfabrik in der Realität mit der Produktreihenfolge Produkt A, B, C und D arbeitet. Es wird immer die komplette Bestellung eines Produkttyps abgearbeitet, bevor mit der nächsten Charge begonnen wird. So produziert man ein gewisses Volumen, bei dem man dann die Durchlaufzeit, die Bestände und alle weiteren wichtigen Kennzahlen messen kann. Nun möchte der Anwender aber wissen, ob es sich lohnt, die Produktionsreihenfolge umzustellen. Dabei sind die verschiedensten Varianten vorstellbar. Es können Produktfamilien vorgezogen werden. Aus AAA/BBB/CCC/DDD würde dann zum Beispiel BBB/DDD/AAA/CCC. Eine Neuordnung nach A/B/C/D A/B... wäre aber auch vorstellbar. Ohne eine Simulation hätte man nur begrenzte Möglichkeiten zur Optimierung. Bei sehr trivialen Systemen kann man eventuell noch mit einer Berechnung herausfinden, ob sich andere Produktionsreihenfolgen lohnen. Werden aber in der Fabrik zehn oder zwölf Derivate hergestellt, bliebe einem nur noch die Möglichkeit die Produktion zu stoppen, umzustellen und die alternative Reihenfolge auszuprobieren.

Mit einem Simulationsmodell kann man nun alle für sinnvoll erachteten Ideen durchspielen. Dabei läuft die Ausgangsproduktion erst einmal weiter. Je nach Größe und Komplexität ist ein Ergebnis eventuell innerhalb von wenigen Arbeitstagen vorhanden. In einem Review kann man dann die neu gewonnenen Kennzahlen und Daten bewerten. Lohnt sich eine Umstellung ist das aus dem Simulationsmodell erkennbar. Auf dieser Basis kann

somit entschieden werden, ob die Produktion auch in der Realität abgeändert werden sollte.

Bei einer intelligenten und vernetzten Fabrik kann man dieses Beispiel sogar noch erweitern. Im Rahmen der Industrie 4.0 ist es möglich, Echtzeitdaten von allen Maschinen zu erhalten. Ein zentrales System kann diese Daten empfangen und auswerten. Als Firmenführung gibt man dem steuernden System nur vor, welche Mengen von welchen Produkten zu welchem Termin produziert werden sollen.

Die Steuerung errechnet mit einer Simulation nun automatisch den günstigsten Ablauf in der Produktion, so dass alle Teile pünktlich fertig gestellt werden. Dabei kann nun ein beliebiger Produktmix wie A/C/B/A/D/C/C/A das Ergebnis sein. Auf das System wirken von außen natürlich mehrere Störgrößen ein, zum Beispiel ein Maschinendefekt oder ein Lieferverzug bei den Ausgangsmaterialien. Die Steuerung erkennt diese Engpässe, sobald sie auftreten, und passt die Produktion dementsprechend an, indem sie zum Beispiel andere Produkttypen in der Produktionswarteschlange vorzieht. Dafür muss allerdings die Steuerung auch mit den Wareneingängen verknüpft sein und an diesen die zu produzierenden Bauteile für die Produktion freigeben.

Eine Simulation kann auch zur Steuerung von Zwischenpuffern genutzt werden. In vielen Fabriken wird eine Art Puffer realisiert, in dem auf längeren Zwischentransporten die Geschwindigkeit der Transportfahrzeuge angepasst wird. Eventuell werden die Transportfahrzeuge sogar gestoppt und es laufen mehrere hintereinander auf. Die Simulation würde jetzt hierbei unterstützend eingreifen. Sie simuliert die Arbeit der nachfolgenden Arbeitsstation und errechnet dadurch den genauen Zeitpunkt, an dem das Werkstück dort sein muss. Über eine einfache Berechnung kann die Simulation auch herausfinden, mit welcher Geschwindigkeit der Transportbehälter sich bewegen muss, damit das Werkstück genau zum Bearbeitungsbeginn an der Maschine eintrifft. Klassische Puffer können so entfallen, was einerseits eine Einsparung im Umlaufbestand und andererseits eine Verkleinerung der benötigten Produktionsfläche bedeutet. Beides trägt dazu bei, die Produktionskosten zu senken.

Ein weiteres Einsatzgebiet der Simulation ist die Kapazitätsbetrachtung bei neu eingehenden Aufträgen. Hierzu kann man prüfen, ob mit den gegebenen Kapazitäten noch weitere Aufträge angenommen werden können. Dazu lässt man im Simulationsmodell die neuen Aufträge in die virtuelle Fabrik einfließen. Ab einem bestimmten Punkt würde die

Produktion verstopft. Die Durchlaufzeiten würden sich drastisch erhöhen und die Liefertermine könnten nicht mehr gehalten werden. Diese Grenze, bis zu der man neue Aufträge einlasten kann, kann mit einem Simulationsmodell sehr schnell und genau herausgefunden werden. Der Firma ist es also möglich, ihre Kapazitäten viel besser auszulasten. Eine automatische Ausgabe eines Programms, welche Maschinen noch sehr viel freie Kapazität in einer zukünftigen Zeitphase haben, ist auch denkbar. So kann man gezielt für die freien Kapazitäten Aufträge akquirieren und so seine Produktion wesentlich besser auslasten.

Eine andere Möglichkeit, die Fertigung mit einem Simulationsmodell zu verbessern, ist Veränderungen des Fabriklayouts zu simulieren. In dem Modell werden die Arbeitsstationen versetzt und so die Transport- und Laufwege der Werkstücke beeinflusst. Damit ist es möglich Laufwege in der Produktion auszuprobieren, die Engpässe reduzieren. Das Umbauen einer Produktionslinie ist sehr kostspielig, da hierfür die Produktion unterbrochen werden muss. Nicht jede Maschine kann einfach umgesetzt werden. Alle Maschinen und Transportbänder müssen an ihrer neuen Position wieder ausgerichtet und kalibriert werden, was sehr zeitintensiv sein kann. Von daher möchte der Fabrikbetreiber sein Layout nur verändern, wenn die Veränderung klare Vorteile bietet. Hat man es versäumt, vor dem Bau der Fabrik das beste Layout zu bestimmen, so kann man mit dem Simulationsmodell dies noch nachträglich tun.

### 3.5 optimierbare Steuerungsparameter (AE)

In diesem Unterkapitel soll dargestellt werden, wie das Simulationsmodell optimiert werden kann bzw. wo die Autoren noch Verbesserungsbedarf sehen. Hierzu werden zunächst generelle Aspekte angesprochen, die das Modell betreffen. Ferner werden auch alle Produkte die das Modell produzieren kann, einzeln besprochen. Alle generellen Aspekte und produktspezifischen Verbesserungen wurden für das Conwip-optimierte Modell getätigt.

Die ersten Verbesserungen können am CSC vorgenommen werden. Beim Start des Simulationsmodells startet das CSC immer auf der rechten Seite am Ende der Fahrstrecke. Wenn die Strecke gespiegelt wird, wird die Be-& Entlade-Animation durch CSC nicht mehr korrekt dargestellt. Unter der Voraussetzung, dass der Startpunkt des CSC nach links, an den Anfang der Fahrstrecke, zu verlegen ist, könnte die DLZ verringert werden.

Außerdem bleibt das CSC nach dem Entladevorgang, auf eine der weiterführenden Förderstrecken, an der Stelle stehen wo es zuletzt ein BE entladen hat. Wird die CSC Steuerung so verändert, dass es nach der Entladung direkt zu seinem Beladepunkt, vor Förderstrecke 2, fährt, könnte dieses ebenfalls die DLZ verbessern.

Um das Simulationsmodell weiter dem realen Modell anzunähern, könnte für die Schweißteile eine zusätzliche Steuerung eingeführt werden. Diese Steuerung berücksichtigt den Zeitverlust des Be- und Entladevorgangs durch den Kran. Unter diesen Punkt fällt auch, dass momentan Produkte nur von A nach D produziert und nicht gemixt werden können. Durch eine Änderung der gesamten Fertigungssteuerung könnte eine gemixte Produktion erreicht werden. Dies beinhaltet auch die Steuerungen der Bearbeitungsstationen, Lager und Auftragsfreigabe.

Bei Produkt A fällt auf, dass eine der beiden Schweißstationen oft leer ist, weil die Auslagerung des Materials nicht schnell genug erfolgt. Findet die Auftragsauslösung früher statt, wird das Material zwar schneller ausgelagert, aber an Förderstrecke 4 entsteht ein Stau. Der Stau kommt dadurch zustande, dass die Förderstrecken 10, 11, 15 und 311 gleichzeitig nur in eine Richtung benutzt werden können. Auch hier müsste die Fabrik grundlegend geändert werden um eine Verbesserung zu erzielen. Mit dieser Änderung könnte eine Erhöhung der DLZ und Wertschöpfung erfolgen.

Jedes vierte BE, bei Produkt B, hält auf Förderstrecke 311 kurz an, damit das Lager geleert werden kann. Dies muss geschehen, damit die BEs nicht auf Förderstrecke 15 miteinander kollidieren. Eine genauere Betrachtung des Ablaufs zeigt, dass das vierte BE auf Förderstrecke 5 umgelagert werden könnte, bevor die BEs aus dem Lager bei Förderstrecke 15 eintreffen. Dazu müsste die Methode „ProduktBVollesLager“ geändert werden, um einen reibungslosen Ablauf zu gewährleisten. Auch durch diese Änderungen könnten die DLZ und Wertschöpfung verbessert werden.

Produkt C wiederum staut sich ab dem vierten BE auf Förderstrecke 4. Da die BEs auf den Förderstrecken 10, 11, 15 und 311 nur in eine Richtung befahrbar, sind müssen alle BEs auf Förderstrecke 4 warten, bis die Förderstrecken leer sind. Eine konstruktive Änderung der Fabrik würde dieses Problem beheben. Dazu sollte Lager 1 eine direkte Verbindung zu einer Senke bekommen. Diese Verbindung kann durch eine Förderstrecke hinter Lager 1 vorgenommen werden. Auch Produkt A würde von dieser Änderung profitieren.

Drehtisch 4 stellt für Produkt D einen Haltepunkt dar. Jedes vierte BE muss dort angehalten werden, damit die vorherigen BEs fertig bearbeitet werden und Lager 1 reibungslos verlassen können. Sinnvolle Änderungen können hier an der Auftragsauslösung für jedes vierte BE vorgenommen werden. Die Auslösung sollte erst erfolgen, wenn die drei vorherigen BEs einen bestimmten Punkt passiert haben.

In einer Losfertigung kann eine generelle Verbesserung erreicht werden, wenn nicht alle benötigten BEs zusammen aus der Quelle ausgelagert werden. Hier kann in den Tabellen (T1 bis T4) der jeweiligen Quellen unter der Spalte „Anzahl“ eine Losgröße definiert werden. Im vorhandenen Plant Simulation Modell wird die Losgröße durch einen Programmcode in der Methode „init“ bestimmt. Mit Hilfe der Losgröße und Produktanzahl wird die Losanzahl berechnet. Dann muss die globale Variable „Losfertigung“ auf „true“ gesetzt werden. In der Quelle muss unter Erzeugungszeiten „Gleich“ ausgewählt werden. Daneben kann nun der Zeitraum angegeben werden, in dem die Verteilung stattfinden soll. Durch diese Maßnahmen werden die BEs in Höhe der Losanzahl gleichmäßig über einen Zeitraum aus der Quelle ausgelagert. Um eine Verbesserung der DLZ und Wertschöpfung zu erreichen, sollte ein Zeitraum gewählt werden, der dem vorausfahrenden Los ausreichend Zeit zur Bearbeitung einräumt. Eine zusätzliche Verbesserung kann möglicherweise durch eine Conwip Steuerung erreicht werden.

## 3.6 Schnittstellen (HV)

In den beiden folgenden Kapiteln soll dargestellt werden, welche Eingangsinformationen das Simulationsmodell benötigt. Des Weiteren werden die allgemeinen Möglichkeiten und die Vorgehensweise beim Datenimport und Datenexport beschrieben.

### 3.6.1 Eingabemethoden und Datenimport

Das Simulationsmodell benötigt zu Beginn vom Nutzer die Angaben, wie viele Teile er von jedem Produkt fertigen lassen möchte und ob dies in einer Losfertigung stattfinden soll oder nicht. Die Angaben über die Produktionsmenge können entweder händisch eingegeben oder aus einer anderen Datei, zum Beispiel einer Excel-Tabelle, importiert werden. Dabei ist aber darauf zu achten, dass die Anzahl der Produkte durch drei teilbar ist. Dies liegt in den Puffern am Ende der Förderstrecken fünf und dreizehn begründet. Die

Puffer fassen immer drei BEs und lagern auch erst nach drei BEs aus. Gibt man beispielsweise an, dass vier Produkte vom Typ A gefertigt werden sollen, dann werden alle vier BEs die Produktion zunächst normal durchlaufen. Die ersten drei BEs werden nacheinander in den Puffer eingelagert und verlassen diesen, sobald das dritte BE eingelagert werden wurde. Gelangt nun das vierte BE an diesen Puffer wird es eingelagert. Da aber keine weiteren BEs folgen, wird das vierte BE nicht mehr ausgelagert. Dadurch, dass es sich um eine ereignisdiskrete Simulation handelt, läuft die Zeit nicht einfach ins Unendliche weiter, sondern möchte zum nächsten Ereignis springen. Es existiert allerdings kein weiteres Ereignis. Es befinden sich keine BEs mehr in der Anlage und weitere BEs würden erst in den nachfolgenden Türmen ausgelöst, wenn alle Produkte vom Typ A das Modell verlassen haben. Der Simulationsdurchlauf wird in diesem Moment beendet.

Werte kann man in Plant Simulation in die Tabellen normal eingeben. Es ist aber darauf zu achten, dass man nach der Eingabe in ein leeres Feld der Tabelle klickt. Erst dadurch werden die Werte übernommen und gespeichert.

Die Anzahl der zu fertigenden Teile kann man aber auch aus einer Exceltabelle importieren. Dabei ist darauf zu achten, dass die importierte Tabelle genau das gleiche Layout besitzt wie die Tabelle aus Plant Simulation (vergleiche Abbildung 19).

	string 1	integer 2
string	Typ	Anzahl
1		
2		
3	Produkt A	24
4	Produkt B	24
5	Produkt C	9
6	Produkt D	12

Abbildung 19: Layout der einzufügenden Tabelle

In Spalte eins muss der Name des Typs und in Spalte zwei muss die Anzahl stehen. Des Weiteren ist wichtig, dass die Spalten einer Excel-Datei typenrein sind. Das bedeutet, dass alle Zellen einer Spalte zum Beispiel den Typ String besitzen müssen.

Dateien importiert man über den Befehl „Importieren“ unter dem Reiter „Liste“. In dem sich öffnenden Fenster kann man nun den Ordner und die Datei, die man importieren möchte, auswählen. Dabei muss es sich nicht zwingend um Excel- oder andere Tabellenformate handeln. In Plant Simulation kann man auch Tabellen aus Textdateien erzeugen. Dazu müssen in der ersten Zeile der Textdatei die Spaltenüberschriften stehen. In den folgenden Zeilen finden sich dann die eigentlichen Daten jeweils getrennt durch Tabulatoren.

In unserem Modell benötigt man keine importierten Dateien, wenn man von der Zahl der zu produzierenden Teile absieht. Generell bietet Plant Simulation aber auch die Möglichkeit, jeder Arbeitsstation zum Beispiel einen Schicht- und Arbeitszeitenkalender in Tabellenform zuzuweisen.

Ferner ist es möglich auch Informationen aus verschiedenen Datenbanken zu importieren. Dabei ist es wichtig, dass die Bibliotheken, zum Beispiel SQLite für SQL-Datenbanken, aus den Klassenbibliotheken dem Modell zugefügt werden. Im Modell selbst wird dann das Objekt „MeinSQLite“ eingebunden. Außerdem benötigt man noch mehrere Methoden: eine, die die Datenbank aufruft, mindestens eine, die Datensätze aus der Datenbank in die betroffene Tabelle im Modell schreibt, und eine die die Datenbank wieder schließt. Für andere Datenbanktypen und -formate wie XML, ASCII oder ODBC funktioniert der Datenimport analog.

### 3.6.2 Datenexport

Nachdem man seine Experimente mit dem Simulationsmodell durchgeführt hat, öffnet sich automatisch ein neues Fenster, das die Statistik des vorangegangenen Experimentes beinhaltet. Des Weiteren kann von jedem einzelnen Element des Modells die Statistik geöffnet werden. Möchte man diese Statistiken auswerten, so besteht die Möglichkeit, die Daten zu exportieren.

Analog zum Datenimport gibt es unter dem Reiter „Liste“ den Befehl „Exportieren“. Verändert man nicht die Grundeinstellungen, dann exportiert das Programm die gewünschten Daten in eine Textdatei, in der die Zellenwerte durch Tabulatoren getrennt sind. Es ist aber auch möglich, das Format auszuwählen, in das die Daten exportiert werden sollen. Auf diesem Wege kann man dann auch Exceldateien erzeugen. Zu beachten ist, dass Plant Simulation die Daten in wesentlich mehr Datentypen unterteilt, als dies Excel tut. Hier

werden die exportierten Daten lediglich in den Typen „Text“, „Boolean“ und „Zahl“ dargestellt.

Möchte man die Statistiken zum Beispiel bei sehr großen Modellen nicht für jede Arbeitsstation einzeln exportieren, kann man dies auch mit einer Methode automatisieren. Dazu gibt es den Befehl `.schreibeExcelDatei`. Mit diesem Befehl können unter anderem Tabellen in Exceldateien exportiert werden. Dabei kann die Exceldatei sogar im Format `.xslm` gespeichert werden, also eine Makroprogrammierung zur weiteren Auswertung beinhalten.

Der bis hierhin betrachtete Datenexport beschäftigt sich besonders mit den Statistiken und Auswertungen der Ergebnisse. Stellt man aber ein 3D Modell her und animiert die einzelnen Arbeitsstationen aufwendig, kann es sehr interessant sein, diese Animationen zu exportieren. So kann man eine einmal animierte Arbeitsstation in verschiedensten Modellen wieder verwenden. Gerade für Firmen, die Werkzeugmaschinen herstellen und mit einer Simulation ihre Produkte präsentieren möchten, hat dies klare Vorteile.

Durch Schnittstellen mit Datenbanksystemen, wie SQL, und die Möglichkeiten, per Methoden den Datenimport und –export zu automatisieren kann man seine Simulationsmodelle automatisch betreiben. Dies bringt die grundlegende Möglichkeit im Rahmen der Industrie 4.0, das Simulationsmodell als Steuerungsmechanismus zu nutzen.

### 3.7 Schwierigkeiten bei der Modellerstellung (AE)

Die Erstellung des Simulationsmodells erfolgte anhand eines realen Fischer-Technik-Modells. Hierdurch waren dem Simulationsmodell von vorneherein Grenzen gesetzt. Diese Grenzen mussten von den Autoren bei der Programmierung beachtet werden.

Die Lagerung auf den Förderstrecken (5, 8, 13 und 14) ist ein erster Problempunkt. Sowohl den Stopper aus dem realen Modell, als auch eine Lagerung auf den Förderstrecken gibt es in Plant Simulation nicht. Letzten Endes wurde dieser Punkt durch das Einfügen von Lagerbausteinen in das Simulationsmodell gelöst.

Eine dynamische Lagergröße in das Simulationsmodell einzuführen ist, nach Ansicht der Autoren, ohne tiefere Programmierkenntnisse nicht möglich. Damit trotzdem ein reibungsfreier Ablauf zu gewährleisten ist, wurde die Lagergröße auf drei festgesetzt. Dem Nutzer des Simulationsmodells wurde die Beschränkung auferlegt, dass die Anzahl

der Produkte, die er produzieren möchte, jeweils durch drei teilbar sein muss. Dadurch wird sichergestellt, dass die Lager immer geleert werden können. Kann ein Lager nicht geleert werden, bricht die Simulation ab.

Im realen Modell bewegen sich die Förderstrecken um die Bearbeitungsmaschinen herum in beide Richtungen. Aus diesem Grund wurden im Simulationsmodell jeweils entgegelaufende Förderstrecken implementiert. Mit Hilfe von Methoden (ProduktAVollesLager bis ProduktDVollesLager) und Lichtschranken wird verhindert, dass sich BEs auf den Förderstrecken begegnen können.

Viele Bauteile des realen Modells existieren in Plant Simulation nicht. Die Autoren haben versucht, diese Teile durch Methoden zu beschreiben. Die Pusher, jeweils vor der Polier- und Schleifmaschine, gehören zu diesen Teilen. In den Methoden (Pusher 1, 2, 1\_2 & 2\_2) wird durch die Programmierung das Verhalten eines realen Pushers nachempfunden. Gleiches wurde für den Kran gemacht (Methoden: UmlagernSchweißen1 & 2).

## 4 Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Kapitel werden die Erkenntnisse der Facharbeit resümiert. Dazu werden dem Leser im Ausblick mögliche Zukunftsszenarien aufgezeigt.

Zu Beginn des Projektes ist auf Grundlage einer Modellfabrik aus Fischertechnik ein Simulationsmodell erstellt worden. Dafür wurde das Programm Tecnomatix Plant Simulation 11/12 von Siemens genutzt. Mit Hilfe des erstellten Modells wurden verschiedenste Untersuchungen durchgeführt. Dadurch wird dem Leser ein umfassenderer Einblick in den Ablauf von Simulationen gegeben.

Dieser Einblick wurde, im Speziellen, durch mehrere Simulationsdurchläufe unter Variation von verschiedenen Auftragsauslösungsverfahren und Teileflüssen gewährt. Der Modellaufbau und die Simulationsergebnisse wurden in Kapitel 3 beschrieben. Auf den Modellaufbau wird an dieser Stelle aber nicht weiter eingegangen (siehe Kapitel 3.1).

In den betrachteten Simulationsmodellen, wurden die Teileflüsse mit der Losgröße eins und mit der Losgröße drei modelliert.

Anschließend wurde das Modell für eine Simulation mit Hilfe von „keinem Kriterium“ vorbereitet. Dazu musste lediglich dafür gesorgt werden, dass das Material ohne Verzögerung aus seiner jeweiligen Quelle ausgelagert wird. Dadurch entstehen während der Simulation Staus auf den Förderstrecken. Deshalb hat bei dieser Art der Auftragsauslösung die Anzahl der Produkte einen großen Einfluss auf die Durchlaufzeit und Wertschöpfung. Je größer die Anzahl, desto höher wird die Durchlaufzeit, die Wertschöpfung fällt hingegen ab. Durch den entstehenden Bestand werden die Umlaufkosten und Bestandskosten der Fertigung sehr groß.

Als nächstes wurde die Fertigung mit einer Conwip-Steuerung simuliert werden. Für die Conwip-Steuerung waren für das Simulationsmodell erhebliche Modifizierungen nötig. Jede Quelle musste eine individuelle Ausgangssteuerung bekommen. In dieser Steuerung wurden die Kontrollstrecken für die Auftragsauslösung für jedes Produkt bis zum Querverschiebewagen definiert. Mit Hilfe dieser individuellen Ausgangssteuerung wurde gewährleistet, dass der Bestand auf den Kontrollstrecken nicht größer als eins wurde. Dadurch sind die Durchlaufzeiten und Wertschöpfungen verbessert worden, weil auf den Förderstrecken kein Stau mehr entstehen konnte. Auch wurden die Unterschiede in der

DLZ und Wertschöpfung, bezogen auf die Anzahl der Produkte, reduziert. Auf Basis der Erkenntnisse aus den vorherigen Simulationen, wurde eine neue Simulation durchgeführt. In ihr bekam jedes Produkt seine eigene Kontrollstrecke. Dadurch konnte eine größtmögliche Anpassung des Umlaufbestandes für jedes Produkt geleistet werden. Diese Anpassungen resultierten in einer erneuten Verringerung der Durchlaufzeiten und einer Erhöhung der Wertschöpfung.

Der Auftragsauslösung durch „kein Kriterium“ können keine großen Chancen in der Steuerung von zukünftigen Prozessen eingeräumt werden. Die Implementierung ist sehr einfach, aber die Nachteile, wie in Kapitel 3.2.1 beschrieben, sind zu groß. Die Conwip Steuerung ist sehr zukunftsfähig. Es ist zwar sehr komplex sie zu implementieren, aber es lassen sich große Verbesserungen der DLZ und Wertschöpfung erreichen (siehe Kapitel 3.2.1). Dies konnte im „Kleinen“ schon mit dem vorliegenden Simulationsmodell gezeigt werden. [AE]

Als nächstes wurde das Simulationsmodell für die Experimente einer Losfertigung mit einer Losgröße drei modifiziert. Dadurch wurde gewährleistet, dass immer drei BEs zusammen durch die Produktion führen. Die Größe des Loses wurde auch begründet dargestellt. Es soll einen Kompromiss zwischen der im realen Modell maximal zulässigen Größe und einer für einen merkbaren Unterschied notwendigen Größe darstellen.

Als Basis für weitere Versuche wurde erst einmal ein Experiment mit dreißig BEs pro Produkttyp in der Standardversion des Modells durchgeführt. Die Durchlaufzeiten der einzelnen BEs, die Gesamtdurchlaufzeit und die prozentuale Verteilung von produktiver Zeit, Transport- und Lagerzeit wurden erfasst.

Die gleichen Kenngrößen wurden dann in einem weiteren Simulationsdurchlauf für dreißig BEs von jedem Produkttyp im Losfertigungsmodell erfasst. Die Auswertung ergab, dass die Durchlaufzeiten im Losfertigungsmodell erstaunlicher Weise sinken. Dass das einzigartige Layout der Modellfabrik einen großen Einfluss und Anteil auf diese Beobachtung hat wurde dargestellt. Die BEs behindern sich gegenseitig weniger, wenn sie immer im Dreierpaket an die Arbeitsstationen geliefert wurden. Warum das Produkt A hier eine Ausnahme bildet wurde auch begründet. Da der Querverschiebewagen immer rechts startet, verlängert sich die Wartezeit für die BEs natürlich, wenn sie nicht sofort den Querverschiebewagen anfordern können, sondern erst auf das dritte BE warten müssen.

Um die Beobachtungen zu bestätigen und sich das Verhalten bei steigendem In- und Output anzuschauen wurde das Experiment im Modell für die Losfertigung mit einer Produktanzahl von neunzig BEs je Produkttyp wiederholt. Wie zu erwarten war verlängern sich die Durchlaufzeiten der einzelnen BEs. Dabei steigt der Anteil der Transportzeit an der Gesamtzeit. Wie gezeigt, bedeutet dies, dass die BEs länger im System auf ihre Weiterfahrt warten müssen.

Diese Beobachtung bestätigt sich auch nachdem weitere Experimente mit steigenden Produktanzahlen durchgeführt wurden. Der Anteil produktiver Arbeit sinkt immer weiter ab.

Es konnte also nachgewiesen werden, dass die Losfertigung in diesem speziellen Modell von Vorteil erscheint. Des Weiteren konnte gezeigt werden, dass bei steigender BE-Zahl das System beginnt zu verstopfen und die Transportzeiten stark steigen.

In der Mehrzahl der Fabriken wird sich aber der Trend zum One-Piece-Flow weiter fortsetzen. In Verbindung mit der Industrie 4.0 ermöglicht sich dadurch auch die immer wichtiger werdende Customizierung der Produkte. Jedes einzelne Element kann durch die intelligente Produktionssteuerung gezielt gesteuert werden. [HV]

Um eine Kanbansteuerung zu ermöglichen müssen an dem Simulationsmodell einige Änderungen vorgenommen werden (siehe Kapitel 3.3). Zuerst muss ein Teilefluss eingeführt werden. Danach müssen einige Simulationsbausteine des Modells durch Kanban-Bausteine ersetzt werden, andere können im Modell verbleiben. Eine Kanban-SingleProc steuert den Prozess. Für diese muss eine Methode programmiert werden. Den Supermarktgrößen fällt, in einem Kanbangesteuerten Prozess, eine große Rolle zu. Durch sie wird der Gesamtbestand der Fertigung beeinflusst. Sie haben einen großen Einfluss auf die Beseitigung von Engpässen und Bestandsschwankungen. Jeder Teilefluss hat seine Vor- und Nachteile. Nach einer Abwägung beider Seiten kann der One-Piece Flow als idealer Teilefluss bezeichnet werden.

Eine Kanban gesteuerte Fertigung ist nicht für jeden Teilefluss geeignet. Außerdem ist die Umsetzung sehr komplex. Da durch sie aber der Bestand kontrollierbarer wird und die Termintreue verbessert werden kann, sollte diese Steuerung bei zukünftigen Fertigungsplanungen in die Auswahl einbezogen werden. [AE]

Im weiteren Verlauf der Arbeit wurde aufgezeigt welche Möglichkeiten für den Einsatz von Simulationsmodellen parallel zum laufenden Betrieb bestehen. Es gibt vielseitige Einsatzbereiche, wie Veränderung der Produktionsreihenfolge, Layoutveränderungen des

Fabrikgrundrisses, Steuerungen der realen Produktion und genauere Vorhersagen, ob und wann weitere Aufträge in die Produktion eingesteuert werden können.

Ziel ist es immer die laufende Produktion zu optimieren. Viele Optimierungen sind aber sehr teuer und zeitaufwendig, weswegen den entscheidenden Gremien sehr gute Argumente für die optimierenden Maßnahmen vorgelegt werden müssen. Eine Simulation bietet den Vorteil, dass sie sehr schnell und sehr übersichtlich exakte Kennzahlen produziert. Diese können gegenübergestellt werden. So lässt sich sehr genau erkennen welchen monetären Wert eine Optimierungsmaßnahme besitzt. Eine Entscheidung für oder gegen diese Maßnahme wird dadurch massiv erleichtert.

Der Ablauf eines solchen Projektes ist immer sehr ähnlich. Zuerst wird analysiert, wo es Optimierungspotential in der Produktion gibt. Dann wird dieser Teilbereich simuliert. Meistens ist es nicht nötig und auch zu zeitaufwendig die gesamte Produktion zu modellieren. In verschiedenen Experimenten werden dann die Optimierungsideen ausprobiert und bewertet. Schlussendlich kommt man dann zu einem Bewertungsergebnis, dass vorgestellt werden kann.

Die zukünftigen Möglichkeiten sind sehr vielfältig. Eine Steuerung der Transportmittel und der einzelnen Arbeitsstationen ist vorstellbar. Dabei muss die gesamte Produktion allumfassend modelliert sein. Sie kann dann aber genau erkennen wo es Probleme im Produktionsablauf gibt und dem Echtzeitablauf vorausgreifen. Sie kann dann genau bestimmen, welche Maßnahmen zu treffen sind um den Produktionsablauf möglichst schnell wieder zu normalisieren. Eine Steuerung der Geschwindigkeit der Transportmittel ist genauso möglich wie eine Veränderung in der Produktionsreihenfolge verschiedener Produkttypen.

In der Zukunft wird es auch viel öfter vorkommen, dass Simulationsmodelle für planerische Aufgaben in der Produktionsplanung und –steuerung benutzt werden. Eine genaue Bestimmung des Kapazitätsbedarfes ist möglich, sodass die Ausnutzung der verfügbaren Ressourcen viel besser geplant werden kann. Den Firmen eröffnen sich hier neue Möglichkeiten ihre Liefertreue zu verbessern und gleichzeitig die Lieferzeiten zu senken. Eine bessere Auslastung der Produktionsanlagen senkt spürbar die Produktionskosten. Dies ermöglicht es Firmen am Standort Deutschland wieder international konkurrenzfähige Herstellkosten zu erreichen. Der Einsatz von Simulationsmodellen parallel zum Betrieb in Verbindung mit intelligenten Produktionsanlagen im Sinne der Industrie 4.0 trägt also sehr viel dazu bei Arbeitsplätze und Produktionsstandorte in Deutschland zu sichern.

[HV]

In Kapitel 3.5 wurden die optimierbaren Steuerungsparametern betrachtet. Allgemeines Verbesserungspotential wird beim CSC gesehen. Außerdem sollte eine Steuerung eingeführt werden, welche den Zeitverlust des Krans berücksichtigt. Damit die Realitätsnähe erhöht wird, sollte es außerdem möglich sein die Produkte gemixt zu produzieren.

Bei den Produkten sind vor allem konstruktive Verbesserungen vorzunehmen. Auch könnten vereinzelt die Methoden verbessert werden. In manchen Fällen könnte es auch sinnvoll sein den Auftragsauslösungspunkt zu betrachten und gegebenenfalls zu verändern.

Die Losfertigung lässt sich auch durch einen anderen Auslösungspunkt verbessern. Gegebenenfalls sollte die Auftragsauslösung durch eine Conwip Steuerung erfolgen.

In einer zukünftigen Simulation sollten die vorgeschlagenen Verbesserungen durchgeführt werden. Hierzu sollte überlegt werden die komplette Fabrik zu einer Produktionslinie mit Kanban-Steuerung umzubauen. Ob dieser Umbau sinnvoll ist, kann eine Simulation zeigen. Wie diese Änderung aussehen könnten, kann in Kapitel 3.3 nachgelesen werden. [AE]

Das Programm Plant Simulation besitzt vielfältige Methoden das Datenimport und –exportes. In Kapitel 3.6 wurde ausführlich beschrieben, dass das Simulationsmodell relativ unabhängig von äußeren Daten arbeiten kann. Lediglich die Anzahl der zu produzierenden Produkttypen muss vorgegeben werden. Es sei noch einmal darauf hingewiesen, dass die Anzahl je Produkttyp unbedingt durch drei teilbar sein muss. Weitere Vorgaben zum automatischen Import der zu produzierenden Anzahl wurden vorgestellt. Die Tabellen müssen das gleiche Format wie die Tabelle des Programms Plant Simulation haben. Die Voraussetzungen und Möglichkeiten von zu importierenden Textdateien wurden ebenfalls vorgestellt.

Durch die zahlreichen Schnittstellen mit Datenbanksystemen bietet Plant Simulation auch die softwareseitigen Voraussetzungen um die Steuerungsaufgaben der Produktion auch zukünftig zu übernehmen. [HV]

Wie in Kapitel 2.1 bereits dargestellt hat die vierte industrielle Revolution besonders für den Standort Deutschland eine große Bedeutung. Es ist davon auszugehen, dass mittelfristig alle Produktionen mit einem großen Teilevolumen in Deutschland auf eine Produktion nach der Idee der Industrie 4.0 umgestellt werden. Für kleinere Produktionssysteme lohnt sich derzeit der finanzielle Aufwand einer Umstellung noch nicht. Daher wird

hier der klassische Produktionsstil sicherlich noch eine lange Zeit seine Anwendung finden.

In Deutschland lassen sich für die Zukunft zwei Strömungen in Bezug auf die Industrie 4.0 erkennen. Einerseits werden die Produktionen auf das Prinzip Industrie 4.0 umgestellt. Hierdurch wird auch eine Rückkehr von Produktionsanlagen aus dem Ausland nach Deutschland ermöglicht. Andererseits kann Deutschland durch sein Know-How und seine Breite im Bereich Maschinen- und Anlagenbau eine Vorreiterrolle bei der Entwicklung, dem Vertrieb und dem Bau von kompletten Produktionsanlagen nach dem Prinzip Industrie 4.0 einnehmen. Beide Aspekte bedeuten für den Industriestandort Deutschland einen positiven Ausblick. Ein Hauptgrund hierfür ist das enorme Sparpotential bei den Herstellkosten.

Allerdings zeigt sich auch, dass die vierte industrielle Revolution große Herausforderungen mit sich bringt. Diese müssen in der Zukunft angegangen werden, sodass die Industrie 4.0 für Deutschland eine Erfolgsgeschichte werden kann. Viele sehen in dem Verlust von geringqualifizierten Jobs eine große Gefahr. Deutschland hat jedoch durch sein sehr gutes Ausbildungssystem hier die Möglichkeit, viele Menschen für höher qualifizierte Jobs auszubilden. Die Experten sind sich einig, dass gerade im Bereich der hochqualifizierten Arbeitsstellen viele zusätzliche Arbeitskräfte benötigt werden. Die Aussichten besonders für den deutschen Arbeitsmarkt sind also positiv einzuschätzen.

Auch die anderen Herausforderungen, wie die Cyber-Kriminalität, können in der Zukunft zu den Stärken der Wirtschaft werden. Die Firmen sensibilisieren bereits heute ihre Mitarbeiter in Bezug auf die Datensicherheit. Der Geschäftszweig der IT-Sicherheit entwickelt sich immer weiter. Auch in diesem Bereich wird es viele neue Geschäftsmöglichkeiten für Firmen geben, die sich auf die IT-Sicherheit von Unternehmen spezialisiert haben. Wie aufgezeigt, ist eine Absicherung der internen Netzwerke elementar wichtig für die Industrie 4.0. Natürlich bieten Firmen ihren Konkurrenten und anderen Angreifern durch die Einführung einer Produktionslinie im Sinne der Industrie 4.0 komplett neue Angriffsmöglichkeiten. Diese Gefahr darf man auch nicht unterschätzen. Man kann sicherlich davon ausgehen, dass zunächst einmal der durch Cyber-Kriminalität verursachte Schaden sich vergrößern wird. Dies darf aber keinesfalls abschrecken. Mit einem entsprechenden Schutz der Firmeninterna und dem auf IT-Sicherheit geschärften Bewusstsein der eigenen Mitarbeiter kann man sich sehr effektiv gegen Angriffe durch Hacker schützen.

In der Zukunft werden die Themen soziale Verantwortung von Unternehmen, Umweltschutz und Mitarbeiterzufriedenheit stark an Bedeutung zunehmen. In allen drei Bereichen kann die Industrie 4.0 einen großen Anteil beitragen, um dem Anspruch der Menschen gerecht zu werden. Durch moderne Produktionslinien werden Transportwege minimiert. Ausschuss und Materialverbrauch können ebenfalls merkbar gesenkt werden. Allein dadurch können moderne Fabriken die Umweltbelastung spürbar senken. Des Weiteren verändert sich die Rolle des Mitarbeiters so, dass er vor allem eine überwachende Funktion einnimmt oder nur noch hoch spezialisierte Arbeiten erledigt. Die körperliche Belastung kann dadurch nach der Automatisierung nochmals spürbar verringert werden. Dies steigert einerseits die Mitarbeiterzufriedenheit, andererseits verringert es gesundheitliche Schäden bei den Mitarbeitern.

Es lässt sich abschließend feststellen, dass die positiven Aspekte der vierten industriellen Revolution die negativen Aspekte überwiegen. Die Zukunftsaussichten für den Wirtschaftsstandort Deutschland im Zusammenhang mit der Industrie 4.0 sehen sehr positiv aus. [HV und AE]

## Literaturverzeichnis

- [Arz05] Arzet, Harry: Grundlagen des One Piece Flow, 1. Auflage, Berlin: Rhombos Verlag, 2005
- [Ban11] Bangsow, Steffen: Praxishandbuch Plant Simulation und SimTalk, 1. Auflage, München: Carl Hanser Verlag, 2011
- [Baw16] Baweja, Bhanu et al: Extreme automation and connectivity: The global, regional, and investment implications of the Fourth Industrial Revolution, 2016. [https://www.ubs.com/global/en/about\\_ubs/follow\\_ubs/highlights/davos-2016/\\_jcr\\_content/par/columncontrol/col1/actionbutton.1402140804.file/bGluay9wYXR0PS9jb250ZW50L2RhbS91Yn-MvZ2xvYmFsL2Fib3V0X3Vicy9mb2xsb3ctdWJzL3dlZi13aGl0ZS1wYXBldi0yMDE2LnBkZg==/wef-white-paper-2016.pdf](https://www.ubs.com/global/en/about_ubs/follow_ubs/highlights/davos-2016/_jcr_content/par/columncontrol/col1/actionbutton.1402140804.file/bGluay9wYXR0PS9jb250ZW50L2RhbS91Yn-MvZ2xvYmFsL2Fib3V0X3Vicy9mb2xsb3ctdWJzL3dlZi13aGl0ZS1wYXBldi0yMDE2LnBkZg==/wef-white-paper-2016.pdf), visited 25.01.16
- [Bay03] Bayer, Johann: Simulation in der Automobilproduktion, 1. Auflage, Berlin: Springer Verlag, 2003
- [BBF] Bundesministerium für Bildung und Forschung: Zukunftsprojekt Industrie 4.0. <https://www.bmbf.de/de/zukunftsprojekt-industrie-4-0-848.html>, visited 14.01.16
- [BWE15] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie: Was ist Industrie 4.0?, 2015. <http://www.plattform-i40.de/I40/Navigation/DE/Industrie40/WasIndustrie40/was-ist-industrie-40.html;jsessionid=036F1766BF6E34967DF5ED37C849C2FF>, visited 11.01.16
- [CSI14] Center for Strategic and International Studies: Net Losses: Estimating the Global Cost of Cybercrime, 2014. [http://csis.org/files/attachments/140609\\_rp\\_economic\\_impact\\_cybercrime\\_report.pdf](http://csis.org/files/attachments/140609_rp_economic_impact_cybercrime_report.pdf), visited 30.04.16
- [Dic15] Dickmann, Philipp: Schlanker Materialfluss mit Lean Production, Kanban und Innovationen, 3. Auflage, Berlin Heidelberg: Springer Verlag, 2015
- [Ele12] Eley, Michael: Simulation in der Logistik, 1. Auflage, Berlin Heidelberg: Springer Verlag, 2012

- [Ker14] Kersten, Wolfgang et al: Industrie 4.0, 1. Auflage, Berlin: Gito Verlag, 2014
- [Löd08] Lödding, Hermann: Verfahren der Fertigungssteuerung, 2. Auflage, Berlin Heidelberg: Springer Verlag, 2008
- [Mam15] Manager Magazin: Schicksalsfrage der deutschen Industrie, 2015. <http://www.manager-magazin.de/unternehmen/industrie/joe-kaeser-ueber-industrie-4-0-schicksalsfrage-a-1028179.html>, visited 05.06.16
- [Mey12] Meyer, Matthias et al: Simulation in der Unternehmenssteuerung, 1. Auflage, Brannenburg: RiskNET, 2012
- [SBA14] Statistisches Bundesamt: Bruttoinlands-Produkt 2013 für Deutschland, Wiesbaden: 2014
- [Spa13] Spath, Dieter (Hrsg.): Produktionsarbeit der Zukunft – Industrie 4.0, Stuttgart: Fraunhofer-Verlag, 2013
- [Web07] Weber, Rainer: Kanban-Einführung, 5. Auflage, Renningen: expert verlag 2007
- [WLG] Springer Gabler Verlag (Hrsg.), Gabler Wirtschaftslexikon, Stichwort: Industrie 4.0. [35/Archiv/-2080945382/industrie-4-0-v1.html](http://www.gabler.de/Archiv/-2080945382/industrie-4-0-v1.html), visited 04.06.16
- [Wol15] Wolter, Marc Ingo et al: IAB Forschungsbericht 8/2015, 1. Auflage, Nürnberg: Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung der Agentur für Arbeit, 2015

## Anhang

Durchsatz	Mittlere Durchlaufzeit [min:sek]	Wertschöpfung [%]	Produktion [%]	Transport [%]	Lagerung [%]
12	6:14.0048	12,03	12,23	87,2	0,57
24	9:33.3871	7,85	8,62	91,03	0,35
120	21:45.2393	3,45	7,05	92,81	0,15
240	24:13.4776	3,10	6,99	92,88	0,13

„Kein Kriterium“ Produkt A

Durchsatz	Mittlere Durchlaufzeit [min:sek]	Wertschöpfung [%]	Produktion [%]	Transport [%]	Lagerung [%]
12	4:44.7280	10,54	10,79	81,85	7,35
24	7:31.2086	6,65	7,66	87,7	4,64
120	11:48:2879	4,24	7,85	89,19	2,96
240	12:21.6633	4,04	7,87	89,91	2,82

„Kein Kriterium“ Produkt B

Durchsatz	Mittlere Durchlaufzeit [min:sek]	Wertschöpfung [%]	Produktion [%]	Transport [%]	Lagerung [%]
12	7:47.1146	6,42	6,58	93,01	0,41
24	12:54.5026	3,87	3,97	95,78	0,25
120	37:23.3301	1,34	2,65	97,26	0,08
240	42:46.3209	1,17	2,76	97,17	0,07

„Kein Kriterium“ Produkt C

Durchsatz	Mittlere Durchlaufzeit [min:sek]	Wertschöpfung [%]	Produktion [%]	Transport [%]	Lagerung [%]
12	9:49.7075	10,17	10,30	85,83	3,87
24	17:09.7728	5,83	5,90	91,88	2,22
120	31:11.8142	3,21	6,29	92,49	1,22
240	32:58.1696	3,03	6,37	92,48	1,15

„Kein Kriterium“ Produkt D

Durchsatz	Mittlere Durchlaufzeit [min:sek]	Wertschöpfung [%]	Produktion [%]	Transport [%]	Lagerung [%]
12	4:16.8439	17,52	29,40	66,24	4,36
24	4:41.8835	15,96	27,25	70,43	2,32
120	7:37.7272	9,83	18,17	81,21	0,62
240	10:27.6682	7,17	13,94	85,68	0,38

Conwip Produkt A

Durchsatz	Mittlere Durchlaufzeit [min:sek]	Wertschöpfung [%]	Produktion [%]	Transport [%]	Lagerung [%]
12	3:17.0040	15,23	35,17	43,85	20,98
24	3:18.8948	15,08	35,79	43,61	20,60
120	3:20.4075	14,97	36,28	43,42	20,30
240	3:20.5966	14,96	36,34	43,40	20,26

Conwip Produkt B

Durchsatz	Mittlere Durchlaufzeit [min:sek]	Wertschöpfung [%]	Produktion [%]	Transport [%]	Lagerung [%]
12	4:23.9843	11,36	28,03	66,41	5,56
24	4:25.7520	11,29	28,55	68,05	3,40
120	4:27.1662	11,23	28,96	69,35	1,68
240	4:27.3430	11,22	29,02	69,51	1,47

Conwip Produkt C

Durchsatz	Mittlere Durchlaufzeit [min:sek]	Wertschöpfung [%]	Produktion [%]	Transport [%]	Lagerung [%]
12	6:22.3309	15,69	36,07	49,33	14,59
24	6:34.4652	15,21	36,80	49,06	14,14
120	6:44.1726	14,85	37,35	48,85	13,08
240	6:45.3860	14,80	37,42	48,82	13,76

Conwip Produkt D

Durchsatz	Mittlere Durchlaufzeit [min:sek]	Wertschöpfung [%]	Produktion [%]	Transport [%]	Lagerung [%]
12	4:16.8439	17,52	29,40	66,24	4,36
24	4:41.8835	15,96	27,25	70,43	2,32
120	7:37.7272	9,83	18,17	81,21	0,62
240	10:27.6682	7,17	13,94	85,68	0,38

Conwip Verbessert Produkt A

Durchsatz	Mittlere Durchlaufzeit [min:sek]	Wertschöpfung [%]	Produktion [%]	Transport [%]	Lagerung [%]
12	2:55.4095	17,10	33,61	52,28	14,11
24	2:56.8310	16,97	34,15	52,53	13,32
120	2:57.9681	16,86	34,58	52,72	12,70
240	2:58.1102	16,84	34,63	52,75	12,62

Conwip Verbessert Produkt B

Durchsatz	Mittlere Durchlaufzeit [min:sek]	Wertschöpfung [%]	Produktion [%]	Transport [%]	Lagerung [%]
12	4:23.9843	11,36	28,03	66,41	5,56
24	4:25.7520	11,29	28,55	68,05	3,40
120	4:27.1662	11,23	28,96	69,35	1,68
240	4:27.3430	11,22	29,02	69,51	1,47

Conwip Verbessert Produkt C

Durchsatz	Mittlere Durchlaufzeit [min:sek]	Wertschöpfung [%]	Produktion [%]	Transport [%]	Lagerung [%]
12	5:50.0926	17,14	34,78	56,13	9,09
24	6:03.5256	16,51	35,50	55,76	8,74
120	6:14.2720	16,03	36,04	55,49	8,47
240	6:15.6153	15,97	36,10	55,46	8,44

Conwip Verbessert Produkt D

Durchsatz/ Nummer Durchlauf	Mittlere Durchlauf- zeit [min:sek]	Wert- schöpfung [%]	Produktion [%]	Transport [%]	Lagerung [%]
240/ Durchlauf 1	4:39.3180	10,74	29,91	60,88	9,21
240/ Durchlauf 2	18:05.1308	2,76	7,15	92,63	0,22

## Conwip Produkt C Veränderungen

Durchsatz/ Nummer Durchlauf	Mittlere Durchlauf- zeit [min:sek]	Wert- schöpfung [%]	Produktion [%]	Transport [%]	Lagerung [%]
240/ Durchlauf 1	6:30.3168	15,37	36,94	51,66	11,41
240/ Durchlauf 2	6:15.6153	15,97	36,10	55,46	8,44

## Conwip Produkt D Verbesserung

## Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre hiermit, dass ich diese Facharbeit selbstständig ohne Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Quellen und Hilfsmittel verfasst habe. Alle den benutzten Quellen wörtlich oder sinngemäß entnommenen Stellen sind als solche einzeln kenntlich gemacht.

Diese Arbeit ist bislang keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt worden und auch nicht veröffentlicht worden.

Ich bin mir bewusst, dass eine falsche Erklärung rechtliche Folgen haben wird.

---

Ort, Datum, Unterschrift