TECHNISCHE UNIVERSITÄT WIEN

Diplomarbeit

Systematik zur Simulation und Darstellung der Auslastungssituation einer Fließmontage

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines

Diplom-Ingenieurs

unter der Leitung von

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dipl. Wirt.-Ing. Prof. eh. Dr. h.c. Wilfried Sihn
(E330 Institut für Managementwissenschaften, Bereich: Betriebstechnik und Systemplanung)

Univ.-Ass. Dipl.-Ing. Tanja Nemeth
(E330 Institut für Managementwissenschaften, Bereich: Betriebstechnik und Systemplanung, Fraunhofer Austria Research GmbH)

eingereicht an der Technischen Universität Wien

Fakultät für Maschinenwesen und Betriebswissenschaften

von

Johannes Kilian

0725964 (066 482)

[redacted]

Wien, im Juli 2016

Johannes Kilian

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

TECHNISCHE UNIVERSITÄT WIEN

Ich habe zur Kenntnis genommen, dass ich zur Drucklegung meiner Arbeit unter der Bezeichnung

Diplomarbeit

nur mit Bewilligung der Prüfungskommission berechtigt bin.

Ich erkläre weiteres Eides statt, dass ich meine Diplomarbeit nach den anerkannten Grundsätzen für wissenschaftliche Abhandlungen selbstständig ausgeführt habe und alle verwendeten Hilfsmittel, insbesondere die zugrunde gelegte Literatur, genannt habe.

Weiteres erkläre ich, dass ich dieses Diplomarbeitsthema bisher weder im In- noch Ausland (einer Beurteilerin/einem Beurteiler zur Begutachtung) in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe und dass diese Arbeit mit der vom Begutachter beurteilten Arbeit übereinstimmt.

Wien, im Juli 2016

Johannes Kilian

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Danksagung

Ich möchte den Menschen, die mich während der Erstellung der Diplomarbeit und darüber hinaus begleitet und unterstützt haben meinen herzlichen Dank aussprechen.

Zunächst möchte ich mich bei Herrn Professor Sihn und Frau Nemeth für die Betreuung und Begutachtung meiner Arbeit sehr herzlich bedanken.

Seitens der AUDI AG möchte ich meinen Dank an all jene richten, die mich in der Einarbeitung in dieses Thema und im Laufe der Arbeit bei den auftretenden Fragen unterstützt haben. Ein besonderer Dank gebührt Herrn Stefan Keckl, der über die gesamte Arbeit hinweg Input und konstruktive Kritik gab. Ebenso möchte ich Herrn Doktor Trinschek und Herrn Clausing sehr herzlich für die Einführung in das Simulationsprogramm Plant Simulation und die jederzeitige Unterstützung für programmiertechnische Fragen danken. Zudem gilt ein spezieller Dank Herrn Abou-Haydar, der als Leiter der Hauptmontagelinie mich stets motivierte das Simulationsmodell noch weiter zu perfektionieren. Ebenso möchte ich mich bei Herrn Wolfgang Kern bedanken, der mir in Diskussionsrunden stets konstruktive Kritik aber auch Anregungen gab. Ein spezieller Dank gilt allen Gruppensprechern und Montagemitarbeitern welche mir bei Fragen zu den Montageprozessen und Abläufen stets weiterhelfen konnten und mich bei der Datenerhebung für das Validierungsmodell unterstützten.

Ich möchte auch meinen Freunden danken, die mich während der Arbeit und auch während des gesamten Studiums unterstützen. Ein spezieller Dank gilt meiner Freundin Sofia Hollunder, welche mir immer wieder neue Kraft und emotionalen Rückhalt gegeben hat.

Ebenso möchte ich meiner Mutter Annemarie Kilian und meinem Vater Harald Fritsch sehr herzlich danken, dass sie mich während des gesamten Studiums unterstützt haben und mir stets mit Rat und Tat zur Seite gestanden sind.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Projekthinweis

Die vorliegende Arbeit ist im Rahmen des Dissertationsprojektes von Herrn Dipl. Wirtsch.-Ing. Stefan Keckl entstanden. Herr Keckl hat mich bei der Erstellung der Arbeit angeleitet und regelmäßigen Input gegeben. Zweiwöchentlich wurden Ergebnisse ausgetauscht und die Vorgehensweise abgestimmt.

Sperrvermerk

Die vorliegende Arbeit enthält vertrauliche Informationen der AUDI AG die der Geheimhaltung unterliegen. Es gilt die Geheimhaltungsvereinbarung vom 13.07.2015. Veröffentlichungen, Vervielfältigungen, Weitergabe, Verkauf oder elektronische Verarbeitung der Arbeit sind – auch in Auszügen – ohne ausdrückliche Genehmigung der AUDI AG nicht gestattet. Die Arbeit ist nur den mit der Korrektur und Bewertung sowie Benotung beauftragten Personen zugänglich zu machen. Der Sperrvermerk gilt für einen Zeitraum von 5 Jahren. Ansprechpartner für evtl. Anfragen ist im Unternehmen Herr Stefan Keckl (AUDI AG, stefan.keckl@audi.de).

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Genderklausel

Für eine bessere Lesbarkeit wurde auf die gleichzeitige Verwendung weiblicher und männlicher Personenbegriffe verzichtet. Gemeint sind natürlich immer beide Geschlechter.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Kurzfassung

Besonders in der Automobilindustrie ist die Fließfertigung bis heute das grundlegende Prinzip. Der Wandel von standardisierten Artikeln hin zu kundenspezifischen und individuellen Produkten stellt eine große Herausforderung an die Fertigung dar. Besonders in der Montage wird die Unterschiedlichkeit der Produkte und damit der Arbeitsinhalte spürbar. Dies führt zu unterschiedlichen Auslastungssituationen bei einzelnen Arbeitsplätzen. Aber auch im Zeitverlauf können sich Phasen von hoher und geringer Belastung bei einem Montagearbeiter abwechseln. Sowohl die Langzeitauslastung, als auch kurzzeitige Auslastungsspitzen haben einen wesentlichen Einfluss auf die Produktivität und die Effizienz der Fertigungseinheit.

Diese Situationen zu erfassen und darzustellen, und damit die Grundlage für eine Optimierung der Konfiguration zu schaffen, ist die Aufgabe dieser Abhandlung. Dazu ist aufgrund der vielschichtigen Zusammenhänge eine Realitätsabbildung erforderlich. Wie das System der Fließmontage systematisiert werden kann ist der Kern dieser Arbeit. Dabei werden alle theoretisch möglichen Bewegungszustände und die Einflussgrößen auf deren Veränderung diskutiert und eine Modellierungen der Teilprozesse vorgenommen. Der Zusammenhang der Subprozesse und dessen Darstellung im Zeitverlauf liefert die notwendige Datengrundlage um die erwartete reale Auslastungssituation zu erfassen und zu visualisieren. Die hiermit erworbene Transparenz der Prozesse schafft darüber hinaus ein besseres Verständnis der Vorgänge und Zusammenhänge von Fließmontagearbeitsplätzen und kann so zu einer proaktiven Arbeitsgestaltung beitragen.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Abstract

Particularly in the automotive industry, assembly line production is the basic principle today. The shift from standardized products to customized and individual products is a major challenge for production. The diversity of the products and therefore the content of the work is particularly noticeable in the assembly. This leads to different utilization situations at individual workstations. But even over time, phases of high and low utilization can alternate for an assembly worker. Both the long-term utilization as well as short-term peak utilization have a significant impact on the productivity and efficiency of the production unit.

Identifying and presenting these situations and thus creating the basis for optimal configuration is the object of this treatise. For this purpose, a true depiction is required due to the complex relationships. How the assembly line can be systematized is the core of this work. All theoretically possible states of motion and the factors influencing their modification are discussed and sub-processes are modeled. The relationship between the sub-processes and their representation provides the necessary data foundation for identifying and visualizing the expected real utilization situation. The transparency of processes acquired in this way, also creates a better understanding of the procedures and relationships of assembly line workstations and can thus contribute to a proactive work structure.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung 1

2 Grundlagen der Fließbandsimulation 3

2.1 Trends in der Massenfertigung 3

2.2 Grundlagen der Fließfertigung 5

2.2.1 Einführung und Grundgedanken der Fließbandfertigung 5

2.2.2 Produktivität und Kennzahlen effizienter Fließbandsysteme 9

2.2.3 Fließbandabstimmung 12

2.2.4 Produktionsprogrammplanung 16

2.2.5 Reihenfolgeplanung 17

2.3 Einsatz von Simulationstechnik in der Fertigung 19

2.3.1 Grundlagen und Notwendigkeit von Simulationen 19

2.3.2 Vorgehensmodell und Qualitätskriterien für Simulationen 21

2.3.3 Elemente ereignisdiskreter Simulationswerkzeuge 23

3 Systematik einer auslastungsorientierten Fließmontagesimulation 26

3.1 Ausgangssituation und Zieldefinition 27

3.1.1 Ausgangslage und Simulationswürdigkeit einer realen Montagelinie 27

3.1.2 Ziele 28

3.1.3 Annahmen 29

3.2 Eingangsgrößen 30

3.2.1 Grundkonfiguration eines Fließbandsystems 30

3.2.2 Konfiguration linienintegrierter Arbeitsplätze 31

3.2.3 Konfiguration nicht linienintegrierter Arbeitsplätze 34

3.2.4 Fertigungszeit und Produktionsprogramm 36

3.3 Objektkinematik 39

3.3.1 Objektgeschwindigkeit 39

3.3.2 Positionsveränderung 40

3.3.3 Allgemeine Bewegungsgesetze 42

3.3.4 Zusammenfügen von Teilbewegungen 45

3.4 Objekte und Elemente der Fließmontagesimulation 50

3.5 Modellregeln zur Bewegungsabfolge 51

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

3.5.1 Werkerattribute linienintegrierter Werker 51
3.5.2 Bewegungsentscheidung linienintegrierter Werker 53
3.5.3 Verrichtung des Arbeitsinhalts linienintegrierter Werker 57
3.5.4 Einfluss von Vorgängertätigkeiten 60
3.5.5 Positionsveränderung linienintegrierter Werker 64
3.5.6 Werkerkommunikation 68
3.5.7 Nicht linienintegrierte Arbeitsplätze 71
3.5.8 Bandstopp und Leistungsanpassung 72
3.5.9 Zusammenhang der linienintegrierten Bewegungsabfolgen 74
3.6 Bestimmung der Auslastungssituation 76
3.6.1 Ergebnisdatenerfassung 76
3.6.2 Simulierte Auslastung taktgebundener Arbeitsplätze 79
3.6.3 Auslastungssituation nicht taktgebundener Arbeitsplätze 82
3.6.4 Driftverhalten linienintegrierter Arbeitsplätze 83
3.6.5 Überlastungen 85
3.6.6 Produktivitätskennzahlen 87
3.6.7 Visualisierung der Teilbewegungen 88
4 Zusammenfassung und Ergebnisse 90
5 Ausblick 92
6 Literaturverzeichnis 94
7 Abbildungsverzeichnis 97
8 Formelverzeichnis 99
9 Tabellenverzeichnis 100
10 Abkürzungsverzeichnis 101
11 Symbolverzeichnis 103

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

1 Einleitung

Der amerikanische Unternehmer Henry Ford prägte den berühmten Satz:

"*Any customer can have a car painted any colour that he wants so long as it is black*."[1]

Dabei bezieht sich Ford auf die Produktion seiner Automobile, welche er als erster auf einem Fließband fertigen ließ. Er erkannte bereits, dass dieses Produktionssystem ein hohes Maß an Standardisierung erfordert.[2] Fords Produktionstechnologie wurde in den 1970er Jahren von japanischen Autoherstellern revolutioniert. Das „Lean Management" prägt ein schlankes und verschwendungsarmes Produktionssystem. Heute tendiert die Entwicklung in Richtung total vernetzter Fertigungsprozesse. Dabei soll der klassische Produktionsprozess mit moderner Informationstechnik verschmelzen und so eine höhere Flexibilität und Effizienz erreicht werden. Hierbei spricht man auch von „Industrie 4.0".[3]

Die Fließbandfertigung ist auch heute noch eines der effizientesten Mittel um Produkte in großer Stückzahl zu fertigen. Jedoch stellen geänderte Marktstrukturen und Kundenbedürfnisse die Fertigung vor immer größer werdende Herausforderungen. Besonders in der Automobilindustrie ist ein starker Anstieg der Produktvarianten zu verzeichnen.[4] Produktionsseitig bedeutet dies meist schwankende Arbeitsinhalte bei der Fertigung der verschiedenen Produkte und daher kann es zu schwankenden Auslastungszuständen und Instabilitäten im Produktionsprozess kommen, welche sich auf die Effizienz der Produktionskette meist nachteilig auswirken. Eine Ursache liegt auch in der erschwerten Standardisierung aufgrund der großen Produktvarianz, die nach Ford eine Voraussetzung einer effizienten Fließfertigung darstellt.[5]

Um die Effizienz zu steigern bedient sich die Automobilindustrie diverser Mittel wie Fließbandabstimmung, „Lean Management" oder der Produktionsprogramm- und Reihenfolgeplanung. Doch durch die hohe Komplexität, aufgrund der Produktvarianz ist das Zustandekommen der realen Effizienz ein weitestgehend intransparenter Prozess und häufig kann die konkrete Ursache einer Ineffizienz aufgrund der vielseitigen Abhängigkeiten nur schwer nachvollzogen werden. Diese Arbeit macht es sich zur Aufgabe den Prozess der Fließbandfertigung zu systematisieren und so durch eine Fließfertigungssimulation Transparenz in die Auslastung und damit die

[1] Ford; Crowther, 1922, S.72
[2] vgl. Brünglinghaus, 2013, o.S.
[3] vgl. Brünglinghaus, 2013, o.S.
[4] vgl. Dörmer, 2013, S.11
[5] vgl. Brünglinghaus, 2013 o.S.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Effizienz des Systems und der Subsysteme zu bringen. Dadurch kann eine Aussage zur Effizienz im Vorhinein gegeben werden und proaktive Gestaltungsansätze für die Fertigung aufgrund der Durchsichtigkeit erzielt werden.

Im ersten Abschnitt werden die grundlegenden Disziplinen der Produktionstechnologie und der Simulationstechnik erläutert. Zunächst werden Begriffe in Bezug auf die Fließfertigung dargestellt, welche Stellgrößen sie besitzt, wie die Auslastung ermittelt wird und mit welchen Mitteln bereits versucht wird die Effizienz der Fließlinie zu steigern. Danach wird eine Einführung in die Simulationstechnik gegeben und dabei grundlegende Begriffe, Voraussetzungen und Vorgehensweisen erläutert.

Im darauf folgenden Abschnitt wird die Fließlinie systematisiert. Dabei wird auf die Kinematik der Objekte eingegangen und durch welche Attribute die Bewegungen bestimmt werden können. Ausgehend von den verschiedenen Bewegungszuständen der Objekte im System wird anhand einer Szenarioanalyse jeder mögliche Bewegungsfall analysiert und geprüft, welche Voraussetzungen dafür vorliegen müssen. Anschließend findet eine Zusammensetzung zum Gesamtprozess statt und die verschiedenen Schnittstellen aufgrund der Abhängigkeiten können sichtbar gemacht werden. Nun ist der Bewegungsablauf systematisiert und damit kann jedes Objekt hinsichtlich seiner Auslastung bewertet werden. Dazu werden die wesentlichen Kennzahlen dargestellt und der Zusammenhang mit den Bewegungen wird gezeigt.

Der Abschnitt „Zusammenfassung und Ergebnisse“ gibt den Nutzen einer Fließmontagesimulation, wie sie im vorherigen Kapitel gezeigt wurde, wieder und zeigt, welche Vorteile dieses Vorgehen gegenüber einer statischen Berechnung hat.

Im Kapitel Ausblick wird ein kleines Spektrum an Einsatzmöglichkeiten gezeigt und das Vorgehen bei der Planung von Unterstützereinsätzen kurz näher skizziert.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek WIEN Your knowledge hub

2 Grundlagen der Fließbandsimulation

Das Thema der Systematik von Fließbandmontagen, und die daraus entwickelbare Simulationsmöglichkeit, erfordert umfassende Kenntnisse des Produktionssystems und der Informationstechnologie. Diese müssen, wie schon erwähnt gemäß dem Gedanken von „Industrie 4.0“ miteinander agieren.

In diesem Kapitel werden die Grundlagen der Fließbandsimulation erläutert. Dabei wird zunächst auf die Entwicklung der Produkte und Märkte von Massengütern eingegangen. Die sich daraus ergebenden Eingangsgrößen für die Produktion fordern sodann eine genauere Betrachtung des Fertigungsprinzips. Darauf folgend werden die Grundlagen im Bereich der Simulationstechnik gelegt.

2.1 Trends in der Massenfertigung

Im Dezember 1913 liefen in der Automobilfabrik von Ford in Detroit die ersten Fahrzeuge des „Modell T“ vom Band. Es war der Beginn des Zeitalters der Massenproduktion. Taylors Prinzip der Arbeitsteilung wurde nicht nur in der Automobilindustrie angewendet, sonder auch in anderen Branchen. Beispielsweise produziert ein Hersteller für Kosmetikcreme in Hamburg seine Produkte auf dem Fließband oder die Lübecker Marzipanhersteller verwenden das Prinzip der Fließbandfertigung um ihre Produkte kostengünstig und in großer Stückzahl herzustellen.[6]

Die Fließbandfertigung ist auch heutzutage das Produktionsmittel um große Mengen kostengünstig herzustellen. Versuche den Fordismus wegen der oftmals kritisierten „Entmenschlichung der Arbeit“ zu verlassen, scheiterten. Im Gegenteil führte die zunehmende Produktionsoptimierung durch den japanischen Autohersteller Toyota zu einer Weiterentwicklung des Fordismus.[7] Dabei stellten unter anderem Qualität und Produktivität die grundlegenden Ziele dar.[8] Das sogenannte Lean Management setzt die nachhaltige Vermeidung von Verschwendungen voraus. Toyota definierte diese Verschwendungen (japanisch: Muda) als alles, was nicht unerlässlich zur Wertsteigerung nötig ist.[9] Ein weiteres wichtiges Fundament ist eine flexible Produktion durch die gleichmäßige Aufteilung der Arbeit.[10]

Diese Grundsätze wurden sodann in ein Produktionssystem umgesetzt. Dabei soll die maximale Produktqualität zu minimalen Kosten mit der geringsten Lieferzeit

[6] vgl. Ankenbrand, 2013, o.S.
[7] vgl. Ankenbrand, 2013, o.S.
[8] vgl. Brünglinghaus, 2013, o.S.
[9] vgl. Klug, 2010, S.253
[10] vgl. Wiendahl, et al., 2014, S.99

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

erstrebt werden.[11] Die Qualität wird unter anderen durch stabile Prozesse, kontinuierliche Verbesserung, ein internes Kunden-Lieferantenprinzip sowie eine transparente Darstellung der Arbeitsabläufe gesichert.[12]

Das Ziel der Produktionssysteme der Automobilhersteller ist unter anderem die Kundenorientierung.[13] Dies setzt aber auch voraus, dass sich die Produktion an die spezifischen Kundenbedürfnisse anpassen kann. Dabei tendiert die strategische Ausrichtung heutzutage zu einer differenzierten Produkt-Markt-Strategie. Einerseits bedingen innovationsfordernde Märkte eine hohe Qualität der Produkte. Aber vor allem die BRIC-Staaten fordern aktuell ein großes Volumenwachstum. Daher ist es erforderlich auf die spezifischen Marktbedürfnisse einzugehen.[14] Daneben führt eine immer weiter anwachsende Nachfrage von individuellen Produkten und der sich daraus ergebenden großen Anzahl von Konfigurationsmöglichkeiten eine extrem große Anzahl an Varianten eines Produktes. Ein großer Variantentreiber ist neben der Aufbauart und der Farbe, die individuelle Ausstattung.[15] Auch die ausdehnende Modellpolitik trägt zu einer steigenden Produktvarianz bei.[16]

Eine große Unterschiedlichkeit der Erzeugnisse bewirkt einen hohen Grad an Komplexität in der Fertigung. Dies äußert sich durch individuelle Bearbeitungszeiten und eine komplexe Materialversorgung.[17] Dieser Herausforderung entgegnen die Automobilbauer mit Standardisierungsversuchen wie Plattformkonzepten oder Modularisierung um Synergie- und Skaleneffekte zu erzielen. Aufgrund steigender Komplexität und Individualisierung liegt die Zukunft in flexiblen Fertigungskonzepten, welche eine Vielzahl von Fahrzeugvarianten herstellen können.[18] Um auch bei stochastischen Nachfrageschwankungen eine hohe Auslastung der technischen und personellen Ressourcen zu erzielen, finden in der automobilen Endmontage zunehmend flexible Einliniensysteme Anwendung. Dabei werden unterschiedliche Baureihen und Derivate auf einer Fertigungslinie produziert.[19] Es wird versucht die Varianz so spät wie möglich zu erzeugen. Dies führt zu einer Komplexitätssteigerung am Ende der Fertigung und damit der Endmontage.[20]

Ein genereller Trend der Industrie stellt die Verknüpfung von virtueller und realer Welt dar. Dies wird unter dem Begriff „Industrie 4.0“ zusammengefasst.[21] Heutzutage finden sich in der Industrie nahezu überall rechnergestützte und vernetzte

[11] vgl. Wiendahl, et al., 2014, S.98
[12] vgl. Wiendahl, et al., 2014, S.98f.
[13] vgl. Klug, 2010, S.245
[14] vgl. Neubauer, Rudow, 2012, S.3f.
[15] vgl. Golz, 2014, S.6
[16] vgl. Klug, 2010, S.259
[17] vgl. Golz, 2014, S.6
[18] vgl. Neubauer, Rudow, 2012, S.8ff.
[19] vgl. Klug, 2010, S.420
[20] vgl. Wiendahl, et al., 2014, S.164 ff.
[21] vgl. Westkämper, 2014, o.S.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Arbeitsplätze. Zudem kommt es zu einer stetigen Steigerung der technischen Leistung der Computer. Dies kann die Produktivität der Unternehmen entscheidend beeinflussen. Jedoch besteht speziell in der Abbildung von Realsystemen durch Simulationen noch vielfältiger Forschungsbedarf.[22]

2.2 Grundlagen der Fließfertigung

In dem vorangegangenen Kapitel wurde bereits kurz erläutert, wie die Fließfertigung entstanden ist und wie sie sich zu der heutigen Form entwickelte. Dieses Kapitel beschäftigt sich mit den Eigenschaften und der Definition der grundlegenden Stellgrößen der Fließfertigung. Dabei werden zunächst grundlegende Begriffe und Eigenschaften der Fließbandfertigung erläutert. Darauf folgt ein Kapitel, welches die Eigenschaften und Kennzahlen einer effizienten Fließbandfertigung beschreiben. Danach folgt die Darstellung der Planungsebenen zur optimalen Gestaltung effizienter Fließlinie. Das Fließband muss den Anforderungen des Marktes gerecht werden, weshalb die Fließbandabstimmung auch auf die Produktions-programmplanung Rücksicht nehmen muss. Daraus kann eine optimale Stationsgestaltung abgeleitet werden und mit Hilfe einer Reihenfolgeplanung die Effizienz noch weiter gesteigert werden.

2.2.1 Einführung und Grundgedanken der Fließbandfertigung

Frederick Taylor legte schon im 19. Jahrhundert den Grundstein für die heutige Fließfertigung. Dabei wurden planende und ausführende Aufgaben streng voneinander getrennt. Dies ermöglichte eine bessere Qualität durch strengere Kontrolle und eine ausgeprägte Kostenreduktion.[23] Mit der Einführung des Fließbandes verfolgte Ford das Ziel, eine große Menge an Automobilen mit sehr geringen Kosten zu produzieren und so den Kunden einen geringen Preis bieten zu können. Durch die effiziente Fertigung setzte er den Grundstein für die industrielle Massenproduktion und das Automobil wurde für die breite Masse leistbar.[24]

Der Grundgedanke der Fließfertigung ist es, die Arbeit in viele, leicht zu erlernende Tätigkeiten zu unterteilen. Das hat zur Folge, dass die Arbeit von jedermann ausführbar ist.[25] Diese Tätigkeiten führen durch die hohe Repetition zu einem hohen Übungsgrad des Arbeiters.[26] Ford erkannte bereits, dass diese Fertigungsweise nur durch einen hohen Standardisierungsgrad möglich war.[27]

[22] vgl. Westkämper, 2014, o.S.
[23] vgl. Dickmann, et al., 2015, S.69
[24] vgl. Brünglinghaus, 2013, o.S.
[25] vgl. Dickmann, et al., 2015, S.69
[26] vgl. Boysen, et al., 2006, S.765
[27] vgl. Brünglinghaus, 2013, o.S.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Um den Anfragen des Marktes gerecht zu werden, muss sich die Produktion auf dessen Bedürfnisse einstellen. Somit soll im Kundentakt nur das produziert werden, was in derselben Zeit auch verkauft werden kann.[28] In einer schlanken Produktionsstruktur gilt der Takt als Schrittmacher für alle Wertschöpfungsprozesse im Unternehmen und bestimmt die Produktionsrate.[29] Die Taktzeit kann durch Formel 1 berechnet werden. Sie berechnet sich aus der Division von der zur Verfügung stehenden Betriebszeit und des Absatzes einer Periode:

$$Taktzeit = \frac{Nettoarbeitszeit\ je\ Periode}{Absatz\ je\ Periode}.$$

Formel 1: Definition Taktzeit[30]

Die Taktzeit variiert über eine kurze Periode, da dem Absatz Schwankungen unterliegen. Sie wird für die Produktion allerdings über eine lange Periode festgelegt.[31] Dadurch wird die Produktionsmenge konstant gehalten um dem Bullwhip-Effekt zu entgegnen[32], wo kleine Nachfrageschwankungen des Kunden eine große Produktionsmengenänderung beim Hersteller verursachen kann.

Die Verknüpfung aller wertschöpfenden Tätigkeiten mit dem Flussprinzip stellt eine Säule in der schlanken Produktion dar und soll den stetigen Produktionsfluss gewährleisten. Das Flussprinzip ist damit die bestimmende Größe und alle Prozesse sind danach auszurichten. Optimal ist das Flussprinzip dann umgesetzt, wenn die Fertigung gemäß dem so genannten One-Piece-Flow umgesetzt wird, wobei die Werkstücke immer als Einzelstück direkt nach der Bearbeitung zur nächsten Bearbeitungsstelle gebracht werden.[33]

Die Montage umfasst vor allem die Teilhandlungen Fügen und Handhaben. Hier werden meist gänzlich verschiedene Teile verbaut oder geprüft.[34] Auch aufgrund dieser Komplexität erfolgt die Montage heutzutage meist manuell.[35] Unter einer Fließmontage versteht man einen Organisationstyp einer Montageeinheit, bei der die Werkstücke auf einem gleichmäßig laufenden Fließband transportiert werden. Dabei werden Arbeitsstationen und damit die ausführenden Werker an die Fließgeschwindigkeit gebunden.[36]

Bei einer Fließbandfertigung werden die Bearbeitungsobjekte mit Hilfe eines Beförderungssystems durch die, nacheinander angeordneten, Bearbeitungsstationen

[28] vgl. Syska, 2006, S.145
[29] vgl. Klug, 2010, S.257
[30] vgl. Syska, 2006, S.145
[31] vgl. Syska, 2006, S.145
[32] vgl. Dickmann, et al., 2015, S.11
[33] vgl. Klug, 2010, S.257
[34] vgl. Wiendahl, et al., 2014, S.186
[35] vgl. Wiendahl, et al., 2014, S.187
[36] vgl. Wiendahl, et al., 2014, S.287

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

bewegt.[37] Die Bearbeitungsobjekte befinden sich dabei auf einer Förderstrecke, welche sich mit konstanter Geschwindigkeit fortbewegt. Entlang des Fertigungsbandes sind Bereiche angeordnet, welche die verschiedenen Arbeitssysteme beinhalten. Diese Gruppen können mehrere Arbeitsplätze umfassen, welche eine parallele Bearbeitung der Objekte an unterschiedlichen Orten am Werkstück vollführen können. Entlang des Bandes erfolgt zudem eine Materialanstellung der zu verbauenden Teile für kurze Reichweiten.[38]

Der Produktionsablauf ist in Zyklen unterteilt, wobei sich in jedem Zyklus genau ein Bearbeitungsobjekt an einer Bearbeitungsstation befindet. Dabei erfolgt die Bearbeitung des Objektes in Abhängigkeit des Arbeitsumfanges, welcher dem Arbeitsplatz zugeteilt ist, und der Produktkonfiguration. Während der Bearbeitung bewegt sich der Werker gleichförmig mit der Förderbandgeschwindigkeit und begibt sich nach der Fertigstellung des Arbeitsinhaltes zurück zu seinem Arbeitsbeginn.[39] Der Bearbeitungszyklus ist auch in Abbildung 1 dargestellt.

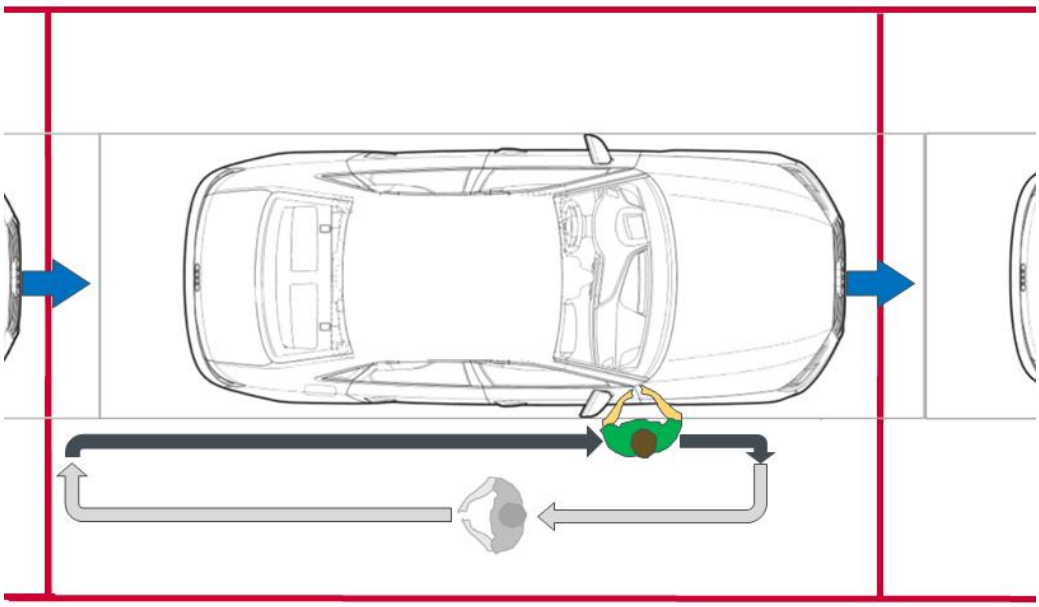

Abbildung 1: Bearbeitungszyklus[40]

Die Zykluszeit ist eine künstlich geschaffene Größe, um durch eine Einteilung in Bearbeitungszyklen eine Strukturierung und Planung von Prozessen zu ermöglichen.[41] Die Zykluszeit ist im Allgemeinen aber nicht zu verwechseln mit der Taktzeit. Unter Taktzeit wird die Zeit verstanden, bis zu welcher ein Teil dem Nachfolgeprozess zur Verfügung steht. Die Zykluszeit hingegen ist definiert durch die Zeit zwischen der Fertigstellung eins Produkts und der Fertigstellung des drauf

[37] vgl. Boysen, et al., 2006, S.760
[38] vgl. Golz, 2014, S.7
[39] vgl. Golz, 2014, S.8f.
[40] eigene Darstellung
[41] vgl. März, 2015, S.250f.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek WIEN Your knowledge hub

Folgenden Produkts. Die Taktzeit ist somit durch den Kunden vorgegeben, die Zykluszeit kann durch ständige Verbesserung reduziert werden und hat damit einen Einfluss auf das Kapazitätsangebot der Produktion. Das Ziel ist es, die Zykluszeit und die Taktzeit zu synchronisieren.[42]

Um ein optimales Fließsystem zu entwerfen ist eine zeitgleiche Planung der Fließbandabstimmung und der Reihenfolge der variantenreichen Werkstücke notwendig.[43] Unter Fließbandabstimmung versteht man das Festlegen aller relevanten Einflussgrößen der Fertigungslinie in Abstimmung mit den Eingangsgrößen. Im Wesentlichen umfasst dies die Planung der Grundkonfiguration, Stationsplanung, Arbeitsgangplanung und Pufferplanung.[44] Es wird versucht die Fließbandabstimmung mit mathematischen Modellen in eine, mit den gegebenen Eingangsgrößen, optimale Konfiguration zu bringen.[45] Da jedoch eine Eingangsgröße das tatsächliche schichtbezogene Produktionsprogramm ist, und dies zum Zeitpunkt der Fließbandabstimmung in der Regel noch nicht vorhanden ist, muss sich die Fließbandabstimmung aus Durchschnittserwartungen der Produktionsmengen der einzelnen Werkstückvarianten ableiten.[46] Boysen et al. gibt dazu eine Planungshierarchie an. Diese ist in Abbildung 2 dargestellt. Der Entscheidungsspielraum der unteren Ebenen wird dabei durch die Festlegung der oberen Ebenen eingeschränkt.[47]

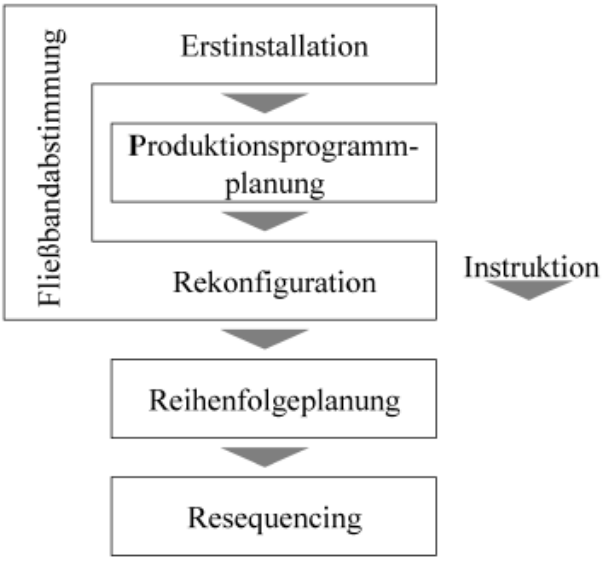

Abbildung 2: Planungshierarchie bei Variantenfließfertigung[48]

[42] vgl. Syska, 2006, S.145ff. zit. nach Takeda, 2004, S.109
[43] vgl. Boysen, et al., 2006, S.761 f.
[44] vgl. Golz, 2014, S.17f. zit. nach Mollemeier, 1997
[45] vgl. Boysen, Fliedner, 2006, S.56
[46] vgl. Boysen, et al., 2006, S.761 f.
[47] vgl. Boysen, et al., 2006, S.763
[48] Boysen, et al., 2006, S.762

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek WIEN Your knowledge hub

Die Produktivitätsmaximierung des Fließsystems ist das vorrangige Ziel der Planung und auch jenes von schlanken Produktionssystemen.[49] Im nächsten Kapitel wird kurz auf die Produktivität und die Effizienzkennzahlen von Fließsystemen eingegangen. Darauf aufbauend erfolgt in den folgenden Kapiteln die genauere Beleuchtung der Planungsebenen.

2.2.2 Produktivität und Kennzahlen effizienter Fließbandsysteme

Die Produktivität gibt das Verhältnis von Ertrag zu Faktoreinsatz wieder.[50] Bei gegebenem Output kann die Maximierung der Produktivität also nur durch Minimierung des Inputs erfolgen. Somit ist die Minimierung der einzusetzenden Arbeitszeit ein angestrebtes Ziel der Planung.

Nicht jeder Teil der Arbeitszeit muss auch zwingend in die Erstellung des Produktes eingehen. Prinzipiell unterscheidet man wertschöpfende, indirekt wertschöpfende und nicht wertschöpfende Leistungen. Wertschöpfende Leistungen sind Tätigkeit, welche eine Wertsteigerung generiert. Wo hingegen indirekt wertschöpfende Leistungen auch in den Produktionsprozess eingehen müssen, aber vom Kunden nicht wahrgenommen werden. Sie werden daher auch Stützleistungen bezeichnet. Zu der Gruppe der nicht wertschöpfenden Tätigkeiten können Produktionsschritte gezählt werden, die Kosten verursachen und nicht in die Wertsteigerung eingehen. Wertschöpfende Tätigkeiten, die aufgrund von Fehlern keine Wertsteigerung erzielen sind ebenso nicht wertschöpfende Leistungen.[51] Nach dem Lean Gedanken gilt es somit, die nicht wertschöpfenden Tätigkeiten zu vermeiden und unnötige Stützleistungen wie Leerwege so gut wie möglich zu eliminieren.[52]

Diese Unterteilung der Tätigkeiten auf die Fließmontage angewendet ergibt, dass die Bearbeitung der Objekte zu den direkt wertschöpfenden Tätigkeiten zählt. Der Laufweg zum nächsten Bearbeitungsobjekt muss erfolgen, er geht aber für den Kunden nicht sichtbar in die Herstellung ein und dies zählt somit zu den Stützleistungen. Nicht wertschöpfende Tätigkeiten sind unnötige Bewegungen oder Wartezeiten. Unnötige Bewegungen können insbesondere dann entstehen, wenn das so genannte Werkerdreieck eine große Fläche einschließt oder einen stumpfen Winkel besitzt. Das Werkerdreieck wird in Kapitel 2.2.3 auf Seite 13 genauer erläutert.

Der direkte Wertschöpfungsanteil, also die Zeit am Bearbeitungsobjekt kann durch die Fertigungszeit des Bearbeitungsobjekts quantifiziert werden. Fertigungszeitbedarfe eines Bearbeitungsobjekts ergeben sich mit Hilfe von REFA-

[49] vgl. Klug, 2010, S.254
[50] vgl. http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/55467/produktivitaet-v6.html. (Gelesen am: 12.02.2016)
[51] vgl. Klepzig, 2010, S.100f.
[52] vgl. Klug, 2010, S.264

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Zeitstudien oder MTM-Methoden und variieren mit dem Arbeitsinhalt, welcher an der jeweiligen Variante zu leisten ist.[53] Diese so ermittelten Zeiten werden auch Vorgabezeiten genannt.[54] Die sich berechnende Gesamtprozesszeit je Station sollte für jedes Bearbeitungsobjekt innerhalb der Taktzeit liegen, um eine zyklische Bearbeitung zu gewährleisten.[55] Im Fall, dass die Bearbeitungszeit während eines Zyklus geringer als die Taktzeit ist, kann es so dazu kommen, dass der Werker seine Kapazitäten nicht vollkommen nutzt und eine Unterlastsituation entsteht. Der Rücklaufvorgang ist beendet noch bevor der nächste Zyklus beginnt. Somit muss der Werker auf den Beginn des nächsten Zyklus warten. Im entgegengesetzten Fall, wenn die Bearbeitungszeit des Werkers größer als die Taktzeit ist, kann die Arbeit am Bearbeitungsobjekt nicht innerhalb der Bearbeitungsstation fertiggestellt werden. Der Werker befindet sich im Überlastungsfall.[56]

Unter Auslastung versteht man das Verhältnis der Arbeitslast zur Personalkapazität.[57] Die Arbeitslast ist die summarische spezifische Fertigungszeit (Vorgabezeit) die von der jeweiligen Station oder Gruppe zu erbringen ist. Die Personalkapazität ist die Kapazität, welche der Station oder Gruppe zur Verfügung steht. Je Betrachtungsperiode ist dies somit die Anzahl der Zyklen während dieser Periode multipliziert mit der Zykluszeit und der Mitarbeiteranzahl.[58]

Um die insgesamt eingesetzte Arbeitszeit zu minimieren und damit die Produktivität der Linie zu maximieren gilt es, die Personalkapazität zu minimieren. Dadurch wird die Auslastung erhöht. Jedoch darf die durchschnittliche Auslastung einer Station oder Gruppe 100% nicht überschreiten, da sonst mehr Arbeitsinhalt verrichtet werden müsste, als durch die Mitarbeiter erledigt werden kann.

Auch wenn die Auslastung über eine Periode unter einhundert Prozent liegt, kann es kurzzeitig dazu kommen, dass die Bearbeitung eines arbeitsintensiven Objektes, das eine Vorgabezeit enthält, die größer als die Zykluszeit ist, eine Überlastung hervorruft. Falls dies räumlich möglich ist, kann die Station der Belastung dahin entgegnen, dass in die nächste Arbeitsstation hineingearbeitet wird. Dies wird auch als Drift bezeichnet.[59] Der Driftwert entspricht der Arbeitsendposition in der nächsten Arbeitsstation gemessen in Taktzeiteinheiten.[60] Dabei müssen allerdings auch Grenzen beachtet werden. Einschränkungen der Bewegung können ressourcen-, prozess- oder stationsabhängig sein. Bei mehreren Grenzen ist immer die engere zu

[53] vgl. März, 2015, S.244
[54] vgl. Altemeier, 2009, S.9
[55] vgl. März, 2015, S.244
[56] vgl. Altemeier, 2009, S.11ff.
[57] vgl. März, 2015, S.249
[58] vgl. März, 2015, S.249
[59] vgl. Altemeier, 2009, S.11ff.; vgl. Günther, et al., 2006, S.165; vgl. Golz, 2014, S.9
[60] vgl. Günther; et al., 2006, S.166

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek WIEN Your knowledge hub

wählen. Diese Grenzen sind bei der Bildung der Auslastung zu berücksichtigen.[61] In schlanken Produktionssystemen ist den Werkern für Verzögerungsfälle im Fertigungsablauf ein solcher Pufferraum zu gewährleisten. Dies wird auch als „Baton Passing Room“ bezeichnet.[62] Der Werker ist im Allgemeinen stärker driftgefährdet, wenn der zu verrichtende Arbeitsinhalt zwischen den unterschiedlichen variantenreichen Werkstücken einer großen Streuung unterliegt.[63] Ein einfach zu ermittelndes Streuungsmaß stellt die Zeitspreizung dar. Diese lässt sich aus der Differenz der Varianten mit höchster und niedrigster Bearbeitungszeit ermitteln.[64] Zudem ist anzumerken, dass es bei einem Abdriften des Werkers mit den nachfolgenden Werkern zu gegenseitigen Behinderungen kommen kann, wenn diese an derselben Stelle am Werkstück arbeiten müssen. Man spricht dann auch von Werkerkollisionen.[65] Es könnte zudem möglich sein, dass ein Überholen eines nachgelagerten Werkers nicht zulässig ist, da dies aufgrund von Anlagen oder anderen räumlichen Beschränkungen nicht möglich ist.[66] Dem Werker muss es in weiterer Folge möglich sein, sich durch Bearbeitungsobjekte mit geringerem Arbeitsinhalt in seinen Normalarbeitsbereich zurückzuarbeiten.[67] Wenn diese Flexibilisierungsmaßnahme nicht mehr möglich ist, muss über andere Strategien nachgedacht werden um einen kontinuierlichen Fertigungsfluss aufrechtzuerhalten.[68] Im Überlastungsfall kann es zu Qualitätsmängeln oder einem Bandstopp kommen.[69]

Ist kein Abdriften möglich und bekommt der Arbeitsplatz auch keine Unterstützung, muss das Band im Überlastungsfall angehalten werden, um die Bearbeitung fertigstellen zu können.[70] Es ist im Sinne der Produktivität der Linie auf einen stetigen Produktionsfluss zu achten. Ein Bandstillstand bewirkt bei gleichbleibendem Personaleinsatz einen geringeren Output. Folglich führt der Bandstopp zu einer Verringerung der Produktivität.

Wenn bei einem Arbeitsplatz Überlastungen drohen kann dies durch den Einsatz von Unterstützern abgefangen werden. Dies setzt beim Zeitpunkt der Überlastung eine vorhandene freie Kapazität des Unterstützers voraus.[71] Altenmeier unterscheidet reaktive oder präventive Unterstützungseinsätze. Dabei wird bei einem reaktiven Unterstützereinsatz ab einer definierten Grenze die Arbeit von einem Unterstützer

[61] vgl. März, 2015, S.251
[62] vgl. Dickmann, et al., 2015, S.9
[63] vgl. Keckl, et al., 2016, S.202
[64] vgl. Altemeier, 2009, S.11
[65] vgl. Klug, 2010, S.165,
[66] vgl. Altemeier, 2009, S.12f.
[67] vgl. März, 2015, S.246
[68] vgl. März, 2015, S.246
[69] vgl. Boysen, et al., 2006, S.772
[70] vgl. März, 2015, S.251
[71] vgl. März, 2015, S.245

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek WIEN Your knowledge hub

fortgeführt. Bei der präventiven Unterstützung wird das komplette Bearbeitungsobjekt dem Unterstützer überlassen.[72]

Auch die Materialverfügbarkeit hat einen Einfluss auf die Produktivität der Fertigungslinie. Die Bereitstellung des benötigten Materials muss bis spätestens zum Beginn des Bearbeitungszyklus erfolgt sein.[73] Fehlt das vorhandene Teil, so wird es entweder nicht verbaut und es muss nachgearbeitet werden oder die Förderstrecke wird für die Zeit bis zur Versorgung des betreffenden Arbeitsplatzes angehalten. Letzterer Fall erzeugt für alle Arbeitsplätze am angehaltenen Bandabschnitt eine geringere Auslastung[74] und verringert damit auch die Produktivität.

2.2.3 Fließbandabstimmung

Die Fließbandabstimmung ist die Bestimmung der Kapazitäten des Fließsystems und umfasst die Erstinstallation und die Rekonfiguration.[75] Bei der Erstinstallation hat die Planung eine hohe Anzahl an Freiheitsgraden. Man findet zu Planungsbeginn meist nur eine leere Halle vor. Produktseitig sind meist nur die grundlegenden Eigenschaften festgelegt. Der Vorgangsgraph ist nur grob strukturiert.[76] Die Rekonfiguration wird erforderlich, wenn das Produktionsprogramm eine Anpassung der Fließbandabstimmung erfordert. Bei der Rekonfiguration sind die Ressourcen bereits den Stationen zugeordnet und eine Veränderung der Stationsanzahl oder der Tätigkeiten ist nicht ohne weiteres machbar. Die zugewiesenen Werker besitzen eine Qualifikation für den derzeitigen Arbeitsinhalt und auch die Platzrestriktionen für Materialanstellungen können eine Rekonfiguration erschweren.[77]

Grundkonfiguration und Layout	Stationsplanung	Arbeitsgangplanung	Pufferplanung
▪ Länge der Fertigungslinie ▪ Unterteilung in Bandabschnitte ▪ Band-geschwindigkeit ▪ Taktzeit	▪ Anzahl der Arbeitsstationen ▪ Stationsgröße ▪ Spezifische Stationsparameter	▪ Definition von Arbeitsvorgängen ▪ Zuordnung von Arbeitsinhalten zu Arbeitsstationen	▪ Entkopplungspunkte ▪ Größe der Puffer

Tabelle 1: Aufgabengebiete der Fließbandabstimmung[78]

[72] vgl. Altemeier, 2009, S.14f.
[73] vgl. Golz, 2014, S.10
[74] vgl. Golz, 2014, S.13
[75] vgl. Boysen, et al., 2006, S.762
[76] vgl. Boysen, et al., 2006, S.764f.
[77] vgl. Boysen, et al., 2006, S.766
[78] vgl. Golz, 2014, S.17f.; eigene Darstellung

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Die sich aus dieser Planung ergebenden Größen können quantitativ bestimmt werden und umfassen im Wesentlichen die in Tabelle 1 dargestellten Positionen. Das Zustandekommen der beschriebenen Größen wird im Folgenden dargestellt.

Grundkonfiguration

Der Aufbau einer Montagelinie ist oft aufgrund der großen Länge als Schlangenstruktur umgesetzt.[79] Um die räumliche Ausdehnung einer Fertigungslinie mit der zur Verfügung stehenden Fläche zu begrenzen, erfolgt eine Unterteilung in Bandabschnitte.[80]

In Kapitel 2.2.1 wurde bereits die Taktzeit erklärt. Somit wird die Taktzeit vom Kunden vorgegeben. Werden mehrere Produktionslinien zur Herstellung der nachgefragten Produkte eingesetzt, vergrößert sich somit die Taktzeit für eine Fertigungslinie mit der Gesamtanzahl der synchronen Linien.

Die Bandgeschwindigkeit ergibt sich aus der Taktzeit und der in dieser Zeit vom Förderband zurückgelegten Wegstrecke (Taktlänge). Um eine zyklische Bearbeitung möglich zu machen, ist Sie durch die Werkstücklänge begrenzt. Sie ist auch gleich der Stationslänge. Die Bandgeschwindigkeit und damit auch die Taktzeit kann während der Fertigung nicht ohne weiteres verändert werden.[81]

Stationsplanung

Die Bestimmung der Anzahl der Stationen geht einher mit der Arbeitsgangplanung. Um die Stationsanzahl zu bestimmen müssen die Arbeitsinhalte der zu erbringenden Leistung so zusammengefasst werden, damit sie bei gegebener Taktzeit eine möglichst geringe Stationsanzahl liefern. Hier ist sind auch Verbaureihenfolge und Vorrangbeziehungen zu beachten.[82]

Auf Arbeitsplatzebene gibt es einige Gestaltungsmerkmale. Zum einen stellt das Werkerdreieck einen Baustein der schlanken Produktion dar. Das Dreieck beschreibt die Bewegung eines Montagearbeiters während eines Bearbeitungszyklus. Nach der Aufnahme der zu verbauenden Teile bewegt sich der Werker zum Vorbauort (Kathete 1), wo er dann den Teileverbau vornimmt. Da sich das Förderband während der Bearbeitung fortbewegt, bewegt sich auch der Werker mit diesem mit (Hypotenuse). Nach dem Abschluss des Einbaus bewegt sich der Werker wieder zur Materialbereitstellung um sich die nächsten Einbaumaterialien zu besorgen (Kathete 2). Je geringer die Fläche, welche das Dreieck einschließt, desto optimierter ist der Bewegungsablauf. Voraussetzung ist eine ergonomische Bereitstellung und die

[79] vgl. Klug, 2010, S.421
[80] vgl. Golz, 2014, S.6
[81] vgl. Golz, 2014, S.18
[82] vgl. Kiener, et al., 2012, S.74ff.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Einhaltung des Sauberkeitsprinzips.[83] Wenn möglich können mitbewegte Teile und Werkzeuge das Werkerdreieck minimieren und die Griffweite optimieren.[84] Laufwege sind, wie schon erläutert Stützleistungen und damit so gut wie möglich zu reduzieren. Hat ein, an der Hypotenuse angrenzender Winkel einen Wert über 90° so ist das ein Zeichen für einen unnötigen Laufweg. Die Stützleistung wird hier folglich zur nicht wertschöpfenden Tätigkeit. In einer Ablaufsimulation ist es möglich, zusätzliche Laufwege zu erfassen.[85]

Ist die Fließfertigung getaktet, so ist die Bearbeitungszeit in den Stationen durch die Taktzeit begrenzt.[86] Ist eine Abarbeitung innerhalb eines Taktes nicht möglich, so können Arbeitsplätze auch über mehrere Takte geplant werden. Dabei muss jedoch beachtet werden, dass nicht jedes Objekt bearbeitet werden kann und die Anzahl der Mitarbeiter, welche überlappend arbeiten gleich der Anzahl der Takte des Arbeitsplatzes entspricht.[87]

Die Bereitstellung der einzubauenden Teile und der dazugehörigen Werkzeuge sollte nahe am Verbauort geschehen. Dies reduziert die Griffweite. Zudem kann bei der Vorkommissionierung von Teilen in Warenkörben ein Downsizing Effekt erzielt werden. Der Logistikmehraufwand wird durch eine Steigerung der Produktivität kompensiert.[88] Bei einer hohen Variantenvielfalt kommt es aufgrund der zusätzlich benötigten Anstellfläche zu einer Verknappung des Flächenbedarfs am Arbeitsplatz. Durch verdichtete Materialbereitstellung oder kürzeren Anlieferzyklen kann der Flächenproblematik entgegengewirkt werden. Um die Teileverfügbarkeit am Verbauort sicher zu stellen, ist der Einsatz von Puffer sinnvoll.[89]

Weitere Arbeitsplatzprinzipien zur Gestaltung von schlanken Arbeitsplätzen sind das Vermeiden von unnötigen Fehlern durch Poka Yoke und die Visualisierung von benötigten Informationen mittels des Andon-Prinzips. Poka Yoke erhöht durch die Verhinderung von vermeidbaren Fehlern die Prozesssicherheit.[90] Diese wird für die hier vorliegende Arbeit vorausgesetzt und daher wird auf das Poka Yoke hier nicht näher eingegangen. Bei Andon wird ein visuelles Managements zur Erhöhung der Qualität betreiben und Produktivitätskennzahlen und Informationen in den Arbeitsbereichen dargestellt.[91]

[83] vgl. Klug, 2010, S.265
[84] vgl. Klug, 2010, S.265
[85] vgl. Clausing, Heinrich, 2008, S.36
[86] vgl. Boysen, et al., 2006, S.760
[87] vgl. März, 2015, S.244
[88] vgl. Klug, 2010, S.264
[89] vgl. Klug, 2010, S.263
[90] vgl. Klug, 2010, S.266ff.
[91] vgl. Klug, 2010, S.266ff.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Arbeitsgangplanung

Bei der Arbeitsgangplanung werden zunächst die zu erledigenden Arbeitsgänge definiert. Diese Arbeitsgänge beinhalten eine Vorgabezeiten und werden mittels Zeitermittlungsmethoden, wie bereits in Kapitel 2.2.2 erläutert, bestimmt. Darauf folgt die Zuweisung der Arbeitsgänge zu Arbeitsstationen. Einher geht diese Zuweisung der Arbeitsinhalte zu Stationen mit der Austaktung der Produktionslinie. Unter Austaktung, versteht man einen Bereich der Arbeitsplanung bei dem versucht wird die Arbeitsinhalte den Stationen so zuzuweisen, dass die Mitarbeiter in der Produktionslinie gleichmäßig ausgelastet sind.[92] Einerseits muss dabei auf die Aufbaureihenfolge geachtet werden und weiteres ist sind Verschwendungen wie zusätzliche Laufwege in der Arbeitsfolge zu eliminieren.[93] Unter der Berücksichtigung des Produktionsprogrammes, und die sich daraus ergebenden Schwankungen des Arbeitsinhalts, soll eine Zuordnung der Arbeitstätigkeiten mit einer geringen Auslastungsstreuung und einem hohen Auslastungsniveau erfolgen.[94] Hierbei muss auch eine Bearbeitung gemäß den Vorrangbeziehungen und der Taktzeit möglich gemacht werden.[95]

Eine Austaktung gemäß der Maximalvariante ist oft nicht zielführend, da hierbei eine zu große Taktzeit eine häufige Unterlastsituation der Werker hervorruft. Somit wird bei der Austaktung meist eine kurzzeitige Überlastsituation zugelassen und dem Werker durch Vor- oder Nacharbeiten die Möglichkeit gegeben wird, die Überlastungsspitze abzubauen. Dies setzt voraus, dass der aktuell überlastete Werker seine Tätigkeit in den vor oder nachgelagerten Takt verschieben kann ohne andere Arbeitsplätze zu behindern Zudem muss dabei gewährleistet sein, dass der Werker durch eine durchdachte Reihenfolgeplanung die Möglichkeit bekommt seinen Drift durch leistungsärmere Bearbeitungsobjekte zu eliminieren.[96] März gliedert die Einflussgrößen auf die Austaktung in die Bereiche Arbeitsplanung, Sequenzplanung, Arbeitsorganisation und Produktionssystem. Zusammen ergeben diese Elemente eine dynamische Arbeitsbelastung für die Werker. Es gilt, eine gleichmäßige Belastung für den Werker zu schaffen. Abbildung 3 zeigt eine anschauliche Darstellung der Einflussgrößen.

Es ist noch darauf hinzuweisen, dass die, durch die Austaktung zugewiesenen Vorgabezeiten von der realen Vorgabezeit abweichen können. Beispielsweise ist die Vorgabezeit eines Behälterwechsels meist anteilig auf die entnommenen oder platzierten Bauteile angerechnet. Der reale Behälterwechsel erfolgt jedoch bei einem

[92] vgl. März, 2015, S.245
[93] vgl. März, 2015, S.245ff.
[94] vgl. März, 2015, S.245ff.
[95] vgl. Boysen, et al., 2006, S.763
[96] vgl. März, 2015, S.246

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek WIEN Your knowledge hub

konkreten Zyklus. Somit ist gegebenenfalls eine Aufarbeitung der Daten für eine Realitätsabbildung notwendig.[97]

Zu beachten ist auch, dass für die Austaktung das erwartete Produktionsprogramm und auch die konkrete Reihenfolge eine essentielle Rolle spielen und daher die Fließbandstimmung mit der Produktionsprogrammplanung einhergehen muss. Diese wird im nächsten Kapitel erläutert.

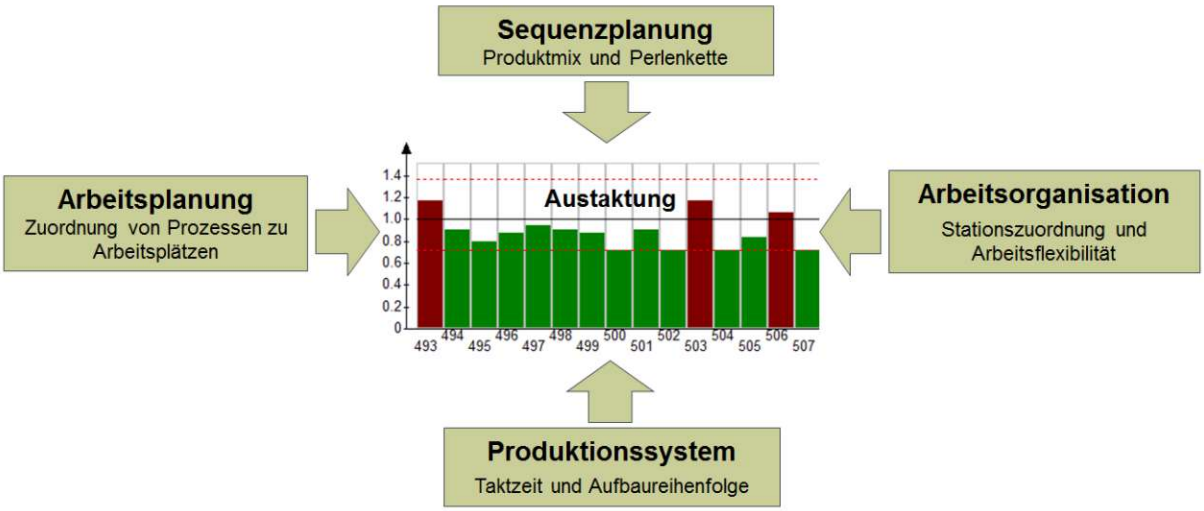

Abbildung 3 Einflussgrößen auf die Austaktung[98]

2.2.4 Produktionsprogrammplanung

Ziel der Produktionsprogrammplanung ist es, die Fertigungstermine kostenoptimal zu bestimmen. Dabei müssen die, aus der Erstinstallation bestimmten Kapazitäten berücksichtigt werden.[99] Bei Kundenauftragsfertigung entsteht das Produktionsprogramm aufgrund des Auftrags und der Kundenwünsche. Bei Auftragseingang muss dem Kunden ein Liefertermin genannt werden und somit ist ein ist ein Ziel der Produktionsprogrammplanung die Termintreue zu gewährleisten. Aus Produktionssicht besteht der Anreiz zur Produktionsprogrammplanung in der Optimierung der Auslastung der Ressourcen über die Zeit.[100] Dabei sind die zu produzierenden Varianten über die Arbeitszeit so zu verteilen, dass eine gleichmäßige Auslastung der Mitarbeiter entsteht.[101]

Die Produktionsprogrammplanung erfolgt üblicherweise rollierend auf Basis der künftigen Absatzprognosen und Einbauraten der individuellen Ausstattungsmerkmale

[97] vgl. Clausing, Heinrich, 2008, S.33
[98] In Anlehnung an März, 2015, S.248
[99] vgl. Boysen, et al., 2006, S.767
[100] vgl. Golz, 2014, S.19f.
[101] vgl. März, et al., 2011, S.134

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

des Variantenportfolios.[102] Dazu muss eine Informationsweitergabe vom Vertrieb an die Produktion erfolgen. Schwankungen in der Kundennachfrage können gefiltert werden[103] und ein geglättetes und nivelliertes Produktionsprogramm kann erzeugt werden. Auch eine Anpassung des Taktzeitniveaus wäre denkbar.[104] Die Glättung des Produktionsprogramms trägt auch nachhaltig zur Vermeidung des Bullwhip-Effekts bei.[105]

Die Bildung des Produktionsprogramms erfolgt üblicherweise in zwei Schritten. Beim „Slotting“ erfolgt eine Zuordnung von spezifischen Aufträgen zu definierten Fertigungsperioden.[106] Dadurch entsteht der periodenbezogene Auftragsvorrat. Die „Töpfe“ werden dann anhand von Kriterien geglättet.[107] Diesen Schritt nennt man „Balancing“ und dabei wird versucht Überlastungen aufgrund von Anhäufungen arbeitsintensiver Bearbeitungsobjekte in einem Zeitintervall zu vermeiden.[108]

Auf Basis des geglätteten Produktionsprogramms kann eine Austaktung der Wertschöpfungsprozesse erfolgen.[109] Das Thema der Austaktung wurde bereits im vorigen Kapitel genauer betrachtet.

Kurz vor Produktionsbeginn wird die konkrete Reihenfolge festgelegt. Die Reihenfolgeplanung wird im nächsten Kapitel behandelt.

2.2.5 Reihenfolgeplanung

In der Reihenfolgeplanung wird die Produktionsabfolge bestimmt.[110] Dabei hat häufig der Kundenliefertermin eine hohe Priorität.[111] Darüber hinaus wird das Ziel verfolgt den Materialbedarf und die Inanspruchnahme von Ressourcen zu glätten.[112]

Zur Stabilisierung der Logistikkette kann das sogenannte Perlenkettenprinzip angewendet werden. Dabei wird die Bearbeitungsreihenfolge frühzeitig festgelegt.[113] Das Perlenkettenprinzip stammt aus der Automobilindustrie und basiert auf einer push-orientierten Steuerungsphilosophie, wobei das Bearbeitungsobjekt ab der Auflage auf das Förderband durch die Fertigungslinie geschoben wird. Durch die mangelnde Sequenzgüte und geringer Änderungsflexibilität muss in der Praxis häufig eine Pull Steuerungskomponente ergänzt werden.[114] Dabei wird eine Kunden-

[102] vgl. März, 2015, S.243
[103] vgl. Klug, 2010, S.259 f.
[104] vgl. Klug, 2010, S.259 f.
[105] vgl. Dickmann, et al., 2015, S.11
[106] vgl. März, 2015, S.243
[107] vgl. März, 2015, S.243
[108] vgl. Klug, 2010, S.259 f.
[109] vgl. Klug, 2010, S.260
[110] vgl. Golz, 2014, S.20f.
[111] vgl. Klug, 2010, S.389
[112] vgl. Golz, 2014, S.20f.
[113] vgl. Klug, 2010, S.262
[114] vgl. Klug, 2010, S.388

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Lieferantenbeziehung zwischen den Gewerken gebildet, wo nur das produziert und geliefert wird, was bestellt wurde.[115]

Da die Bearbeitungszeiten aufgrund der Produktvarianz variieren, kann durch eine geeignete Reihenfolgeplanung dennoch eine effiziente Montage ermöglicht werden.[116] So wird versucht, dynamische Überlastungsspitzen durch Sequenzregeln mit einer Einsteuerung leistungsarmer Objekte nach einem Überlastobjekt auszugleichen.[117] Es werden Wartezeiten, welche durch Fertigungszeiten entstehen, die geringer als die Taktzeit sind (Taktverluste) mit Fertigungszeiten gepaart, die größer als die Taktzeit sind. Es entsteht ein sogenannter Taktausgleich.[118] Da es speziell in der Automobilindustrie ein extrem großes Spektrum an Varianten und damit auch viele unterschiedliche Arbeitsinhalte und somit Wertschöpfungszeiten gibt, liegt auch ein großes Spektrum an möglichen Sequenzregeln, welche verletzt werden können vor. Da nicht alle Regeln immer eingehalten werden können, kann die Reihenfolgeplanung alleine das Überlastungsproblem nicht lösen.[119]

Um eine optimale Stationsbelastung mit der Reihenfolgeplanung zu generieren sind Zielbelastungen zu definieren. Diese können beispielsweise eine insgesamt gleichmäßige Stationsbelastung sein, oder ein Überschreiten der Taktzeit bei der Bearbeitung in allen Stationen möglichst untersagen. Weitere Strategien sind die Bearbeitungszeit jeder Variante über alle Stationen möglichst gleich aufzuteilen (vertical balancing) oder die Schwankung der Arbeitsinhalte an einer Station zu minimieren (horizontal balancing).[120]

Bei der Planung der Bearbeitungsreihenfolge können grundlegend eine material- und eine kapazitätsorientierte Planung unterschieden werden. Ersteres wird verwendet, wenn ein gleichmäßiger Bedarfsverlauf erzeugt werden soll um somit die Voraussetzung für eine sequenzgenaue Anlieferung der zu verbauenden Teile zu schaffen. Bei der kapazitätsorientierten Reihenfolgeplanung wird versucht Überlastungen einzelner Bearbeitungsstationen zu verhindern. Eine Überlastung einer Bearbeitungsstation kann dann vorliegen, wenn mehrere, für diesen Arbeitsplatz arbeitsintensive Bearbeitungsobjekte hintereinander oder in kurzen Abständen den Arbeitsplatz erreichen. Welche Planungsgrundlage man wann verwendet ist in der Literatur nicht festgehalten.[121]

In der Automobilindustrie werden die Konzepte Mixed-Model-Sequencing und Car-Sequencing unterschieden. Durch die Vorbestimmung der Aneinanderreihung wird

[115] vgl. Klug, 2010, S.394
[116] vgl. März, 2015, S.241
[117] vgl. März, 2015, S.247
[118] vgl. Klug, 2010, S.389
[119] vgl. März, 2015, S.247
[120] vgl. Boysen, et al., 2006, S.780
[121] vgl. Boysen, et al., 2006, S.772f.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

die Voraussetzung für das Logistikkonzept Just-in-Sequenz (JIS) geschaffen.[122] Eine Strategie der kapazitätsorientierten Reihenfolgeplanung ist das Mixed-Model-Sequencing. Dabei wird die Bearbeitungsreihenfolge anhand der Grundvarianten mit besonderer Beachtung der Fertigungszeit, der Arbeitsplatzlänge und der Taktzeit gebildet. Als weitere Strategie gibt es das Car-Sequencing, wobei eine Verteilungsregelung für Arbeitsintensive Ausstattungsoptionen vorgenommen wird (H_0: N_0 Regelung). Dies bedeutet, dass in einer Sequenz von N_0 Objekten das arbeitsintensive Merkmal H_0 Objekte enthalten dürfen.[123]

Da keine einhundert prozentige Verfügbarkeit aller Ressourcen und Betriebsmittel gewährleistet werden kann, ist es gegebenen falls nötig die Reihenfolgeplanung zu überarbeiten und zu verändern. Dieser Vorgang wird Resequenzierung genannt.[124]

2.3 Einsatz von Simulationstechnik in der Fertigung

Die steigende Variantenvielfalt erzeugt eine immer komplexer werdende Planung der Produktionsfaktoren. Zudem bedingen kurze Produktlebenszyklen einen geringeren Planungshorizont. Um dieser Komplexität und Dynamik zu entgegnen kann die Simulation ein adäquates Mittel darstellen.[125] Bereits in der Planungsphase können dann Engpässe ausgemacht werden oder verschiedene Planungsalternativen verglichen werden. Aber auch im Betrieb können Probleme analysiert werden und Notstrategien getestet werden.[126]

In diesem Kapitel wird ein Einblick in die Simulationstechnik gegeben. Es wird in drei Teile unterteilt. Im ersten Unterkapitel werden grundlegende Begriffe und Zusammenhänge im Bezug auf Simulation erläutert, sowie die Notwendigkeit, der Nutzen und die Ziele erörtert. Darauf folgt ein Teil, in welchem die Aufgaben und die Vorgehensweise bei der Erstellung einer Simulation diskutiert werden und entsprechende Qualitätskriterien angesprochen werden. Im dritten Teil werden Bausteine von Simulationswerkzeugen dargelegt und die wichtigsten Modellbausteine zur Fließmontagesimulation besprochen.

2.3.1 Grundlagen und Notwendigkeit von Simulationen

Eine Simulation umfasst die Begriffe System und Modell. Ein System bezeichnet Elemente, welche durch Wechselbeziehungen verbunden sind. Das Modell ist das abstrakte Abbild eines Systems.[127] Eine Simulation ist das Nachahmen eines

[122] vgl. Golz, 2014, S.20f.
[123] vgl. Boysen, et al., 2006, S.772f.
[124] vgl. Golz, 2014, S.22
[125] vgl. Gierth, Schmidt, 2006, S.646f.
[126] vgl. Bangsow, 2010, S.1
[127] vgl. Eley, 2012, S.3

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Systems.[128] Wird das Verhalten eines Systems über eine gewisse Zeit nachgebildet, handelt es sich um ein Experiment. Die Betrachtungszeit wird dabei Simulationszeit genannt.[129] Werden stochastische Größen im Simulationsmodell verwendet, so sind mehrere Durchführungen des Experiments notwendig. Treten keine Zufallszahlen auf, so handelt es sich um ein deterministisches Modell, welches lediglich einen Simulationslauf benötigt um zu einem aussagekräftigen Ergebnis zu kommen.[130] Die Simulationsergebnisse werden sodann auf das reale System zurück übertragen.[131]

Häufig werden Computer verwendet um notwenige Berechnungen durchzuführen. Dazu muss das Simulationsmodell in eine mathematisch-logische Form gebracht werden.[132] Eine Software, mit welcher die Systemnachbildung erfolgen kann, wird Simulationswerkzeug genannt.[133] Diese verfügen meist auch über die Möglichkeit Elemente visuell und dynamisch darzustellen. Dies wird Animation genannt.[134]

Bei Simulationsmodellen unterscheidet man kontinuierliche und ereignisdiskrete Modelle. Letztere grenzen sich von den kontinuierlichen Modellen dahingehend ab, dass sich Modellzustände nur zu gewissen Zeitpunkten ändern können. Diese Änderungen werden auch Ereignisse oder Events genannt.[135]

Die Eingangsgrößen einer Simulation können kategorisiert werden. Dabei bilden Parameter die, über die Simulationsstudie unveränderlichen Werte, Zufallsvariablen die nicht beeinflussbare Größen, welche statistischen oder empirischen Verteilungen gehorchen und die Entscheidungsvariablen die festgelegten Größen sind und welche die Ausgabewerte optimieren können.[136]

Bei vorliegendem Simulationsvorhaben wird von zufallsunabhängigen und stets gegebenen Entscheidungsvariablen ausgegangen. Zudem ist bei einer Fließmontage die Annahme zutreffend, dass sich Systemzustände aufgrund konkreter Ereignisse ändern. Somit beschäftigt sich diese Arbeit mit der Systematik eines deterministischen ereignisdiskreten Simulationsmodells.

Der Beweggrund weshalb eine Simulation erfolgt, kann einerseits in der Analyse des Systemverhaltens begründet sein oder andererseits in der optimalen Planung das Systems gemäß den Beanspruchung.[137] In der Logistik wird der Simulationseinsatz aufgrund Planung und Optimierung der Systeme durchgeführt. Der Nutzen der Simulation liegt dabei in der Untersuchung von Kennzahlen wie Auslastungen oder

[128] vgl. Eley, 2012, S.4
[129] vgl. Eley, 2012, S.4
[130] vgl. Eley, 2012, S.4
[131] vgl. Eley, 2012, S.4
[132] vgl. Eley, 2012, S.4
[133] vgl. Verein Deutscher Ingenieure, 2014, S.4
[134] vgl. Eley, 2012, S.10
[135] vgl. Eley, 2012, S.8
[136] vgl. Eley, 2012, S.4
[137] vgl. Eley, 2012, S.4

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek WIEN Your knowledge hub

Kosten von alternativen Strategien und Ideen ohne einen Eingriff in den Fertigungsprozess vorzunehmen. Simulationsmodelle ermöglichen weiteres eine objektive Entscheidungsgrundlage und ein schnelles Reaktionsvermögen bei Situationsveränderungen.[138] Darüber hinaus schafft die Simulation Transparenz und Nachvollziehbarkeit der Prozesse.[139]

Eine Notwendigkeit des Simulationseinsatzes liegt dann vor, wenn analytische Methoden an ihre Grenzen stoßen, komplexe Zusammenhänge existieren und Experimente am realen System nicht möglich oder zu kostenintensiv sind.[140] Weiter vertieft kann man die Simulationswürdigkeit auch anhand eines Nutzen-Kosten Vergleichs, Komplexität der Aufgabe, Ausgangsdatenunsicherheit, dem Fehlen aufwandsärmerer Lösungsmethoden und Mehrfachverwendung des Simulationsmodells prüfen.[141]

Ein Simulationsmodell kann nur eine Unterstützung zur sorgsamen Planung liefern. Zudem muss beachtet werden, dass Teillösungen für sich betrachtet oft nur zu suboptimalen Lösungen führen. Daher wird ein ganzheitliches Planungskonzept benötigt. Allgemein wird bei einem allumfassenden Netzwerk von digitalen Methoden und Modellen in der Produktion und Logistik von „Digitaler Fabrik“ gesprochen.[142] Bei dessen Umsetzung ist unter anderem auf eine Standardisierung der Schnittstellen und Methoden zur Aufwandsreduzierung bei der Simulationserstellung zu achten.[143] Beispielsweise kann dies eine verbesserte Produktionsplanung und –steuerung durch Integration einer Ablaufsimulation ermöglichen.[144]

2.3.2 Vorgehensmodell und Qualitätskriterien für Simulationen

In der Literatur finden sich unterschiedliche Vorgehensmodelle. Beispielhaft ist das Vorgehen bei der Erstellung eines Simulationsmodells nach VDI-Richtlinie 3633 in Abbildung 4 schematisch dargestellt. Die Richtlinie 3633 hat vor allem im deutschsprachigen Raum und in der Automobilindustrie einen bedeutenden Einfluss.[145] Die wesentlichen Aufgaben bestehen demnach aus der Zielfestlegung, Datenerhebung, Implementierung, Verifikation und Validierung, Durchführung von Experimenten und Übersetzung der Simulationsergebnisse in die Realität.[146] Diese

[138] vgl. Eley, 2012, S.6
[139] vgl. Wenzel, et al., 2008, S.15
[140] vgl. Wenzel, et al., 2008, S.15; zit. nach Asim, 1997, S.6
[141] vgl. Verein Deutscher Ingenieure, 2014 S.19f.
[142] vgl. Eley, 2012, S.11
[143] vgl. Eley, 2012, S.13
[144] vgl. Gierth, Schmidt, 2006, S.647f.
[145] vgl. Rabe, et al., 2008, S.30f.
[146] vgl. Eley, 2012, S.17f.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Aufgaben finden sich jedoch mit stark abweichenden Bezeichnungen in anderen Vorgehensmodellen wieder.[147]

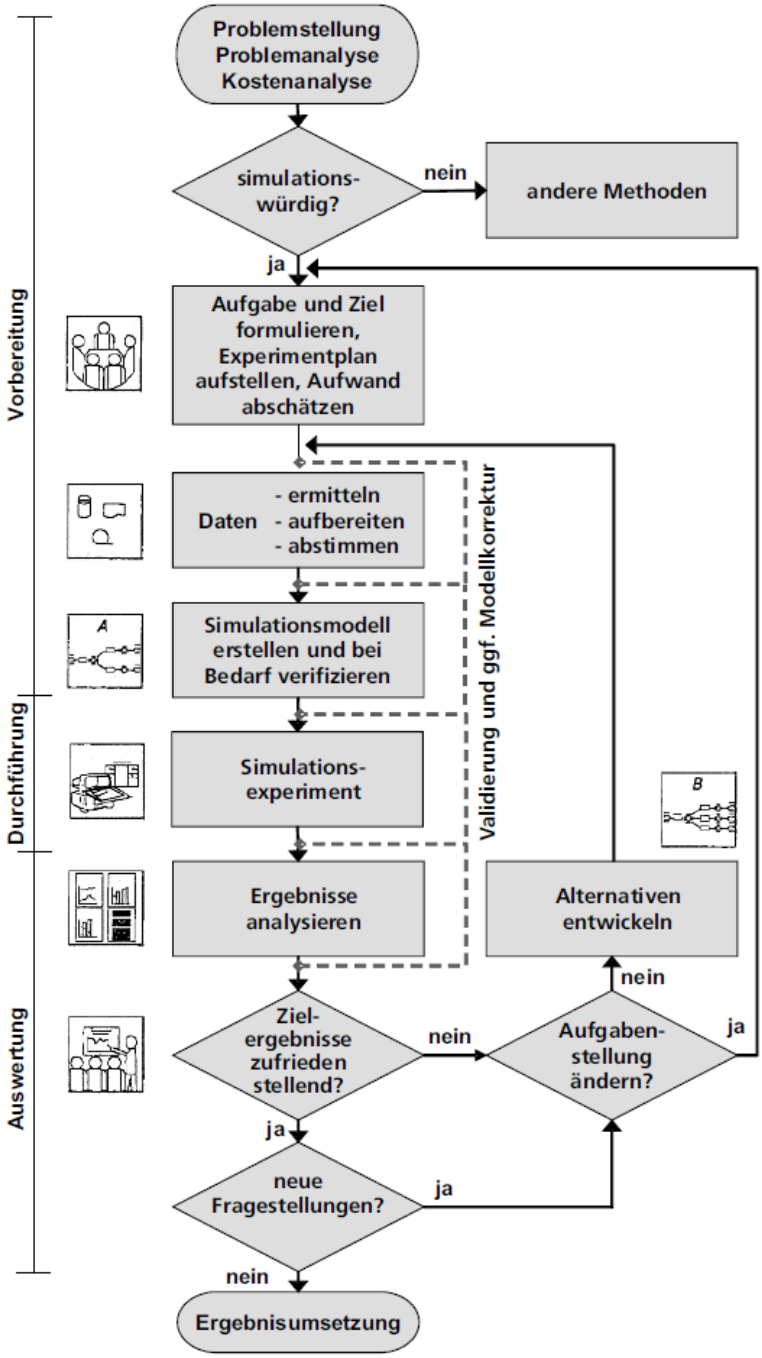

Abbildung 4: Vorgehensmodell zur Erstellung von Simulationen[148]

Die Simulation ist ein Werkzeug um komplexe Probleme zu behandeln. Jedoch ist die Simulation selbst ebenfalls ein komplexes Problem. Daher muss bei der Erstellung der Simulation sorgfältig und zielgerichtet vorgegangen werden.[149] Erfolgskriterien stellen unter anderen eine sorgfältige Projektvorbereitung,

[147] vgl. Rabe, et al., 2008, S.29
[148] Rabe, et al., 2008, S.32 zit. n. VDI, 2008
[149] vgl. Eley, 2012, S.15

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek WIEN Your knowledge hub

konsequente Dokumentation und ein laufender Abgleich des Modells mit dem realen System dar. Letzteres wird auch mit dem Begriff Verifikation und Validierung zusammengefasst.[150] Für eine Systematische Projektdurchführung können Checklisten verwendet werden, die Handlungsempfehlungen für jede Projektphase anbieten.[151]

Bei der Projektvorbereitung muss die Simulationswürdigkeit und damit die Notwendigkeit des Simulationseinsatzes geprüft werden (vgl. Kapitel 2.3.1) Daneben muss unter anderen auch die Akzeptanz geschaffen und das Simulationswerkzeug ausgewählt werden.[152] Die durchgängige Dokumentation umfasst alle Bereiche und Ebenen von der Abschlussdokumentation und dem Benutzerhandbuch über Statusberichte bis hin zu Modellaufbaubeschreibungen, Programmstruktur und kommentiertem Quellcode.[153] Bei der Verifikation und Validierung wird untersucht, ob das Modell die belangvollen Eigenschaften des Systems vollführt, in sich geschlossen ist und den Untersuchungszweck erfüllt. Bei der Verifikation wird die korrekte Implementierung geprüft.[154] Validierung untersucht, ob das Modell das Systemverhalten hinreichend genau wiederspiegelt.[155] Das Ziel dieser Prüfungen ist es, die Glaubwürdigkeit des Modells zu erzeugen[156] sowie Fehlentscheidungen aufgrund falscher Aussagen zu vermeiden.[157] Es können eine Vielzahl von Techniken bei der Verifikation und Validierung eingesetzt werden. Beispielhaft seien die Dimensionsanalyse, Sensitivitätsanalyse und Ursache-Wirkungsgraph genannt.[158]

2.3.3 Elemente ereignisdiskreter Simulationswerkzeuge

Generell unterscheidet man folgende grundlegende Elemente bei ereignisdiskreten Simulationswerkezeugen.

Der **Ereignisverwalter** ist ein Verwaltungsinstrument. Er trägt dynamisch die abzuarbeitenden Ereignisse chronologisch entlang der Simulationszeit auf.[159]

Entities sind bewegliche Elemente. Sie werden vom Simulationsprogramm erzeugt, können im Laufe der Simulation ihren Aufenthaltsort ändern und können auch wieder

[150] vgl. Eley, 2012, S.15
[151] vgl. Wenzel, et al., 2008, S.38ff.
[152] vgl. Wenzel, et al., 2008, S.14ff.
[153] vgl. Wenzel, et al., 2008, S.18ff.
[154] vgl. Eley, 2012, S.15
[155] vgl. Rabe, et al., 2008, S.15
[156] vgl. Wenzel, et al., 2008, S.31ff.
[157] vgl. Rabe, et al., 2008, S.2
[158] vgl. Rabe, et al., 2008, S.93ff.
[159] vgl. Eley, 2012, S.9

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek WIEN Your knowledge hub

vernichtet werden. Sie repräsentieren beispielsweise Werkstücke oder Transportbehälter.[160]

Ressourcen werden von den Entities verwendet und zählen zu den statischen Objekten. Beispiele bilden Werker, Bearbeitungsstationen oder Puffer.[161]

Die Eigenschaften von Entities oder Ressourcen werden **Attribute** genannt. Diese legen die Darstellung und das Verhalten des Objekts fest.[162]

Durch **Methoden** werden der Simulation die Systemeigenschaften aufgezwungen. Es werden Regeln definiert, welche in die Simulation eingreifen und beispielsweise Entities erzeugen oder Attribute verändern können. Diese Ablaufsteuerung wird durch den Einsatz von Programmiersprachen umgesetzt.[163]

In **Variablen** werden Informationen gespeichert, welche im Simulationsablauf noch verwendet werden müssen. Dazu erweisen sich Tabellen oder Listen häufig als praktikabel.[164]

Im Allgemeinen steht bei objektbezogenen Simulationswerkzeugen nur eine begrenzte Auswahl an Standardobjekten zur Verfügung. Diese Objekte werden in Basisklassen bereitgestellt und die Grundeigenschaften für die individuellen Ressourcen und Entities vererbt.[165] Als Beispiel eines objektbasierten Simulationswerkzeugs zur Analyse von Produktionsprozessen kann „Plant Simulation“ genannt werden. Es verfügt über einige Standardklassen. Zwei dieser Standardklassen stellen die Förderstrecke und die beweglichen Objekte dar, welche die Kernobjekte der Fließmontagesimulation sind. Sie werden daher im folgen kurz erläutert.

Die Förderstrecke transportiert bewegliche Objekte entlang eines vorgegebenen Weges mit konstanter Geschwindigkeit. Auf dieser Förderstrecke können sich die beweglichen Objekte nicht überholen. Die wichtigsten Attribute der Förderstrecke stellen die Länge des Transportweges und die Geschwindigkeit sowie die Bewegungsrichtung dar. Zudem sind Kenntnis der Kapazität und der Eintrittszeit essentielle Informationen.[166]

Die beweglichen Elemente fließen zwischen den Ressourcen durch das Modell. Sie werden vom System erzeugt und können von diesem auch vernichtet werden. Sie

[160] vgl. Eley, 2012, S.9
[161] vgl. Eley, 2012, S.9
[162] vgl. Eley, 2012, S.9
[163] vgl. Eley, 2012, S.10
[164] vgl. Eley, 2012, S.10
[165] vgl. Bangsow, 2010, S.12f.
[166] vgl. Bangsow, 2010, S.40ff.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek WIEN Your knowledge hub

besitzen eine Ausdehnung und einen Buchungspunkt, welcher dem Element einen eindeutigen Standort zuweisen kann.[167]

Um Methodenaufrufe zu triggern kann der Einsatz von Sensoren hilfreich sein. Dabei wird der Sensor auf einer Förderstrecke platziert, bei dessen durchlaufen eine Methode aufgerufen wird.[168]

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

[167] vgl. Bangsow, 2010, S.139ff.
[168] vgl. Bangsow, 2010, S.132

3 Systematik einer auslastungsorientierten Fließmontagesimulation

In den vorangegangenen Kapiteln wurden die Grundlangen der Disziplinen Fließfertigung und Simulationstechnik gelegt. Dieses Kapitel soll nun beides vereinen und eine Abbildung des Realsystems der Fließmontage liefern. Dazu werden die Systemeigenschaften mathematisch-logisch beschrieben und mit Hilfe einer Analyse aller möglichen Szenarien der Systemreaktionen beschrieben.

Das Vorgehen richtet sich nach dem Vorgehensmodell nach Kapitel 2.3.2. Nach der Definition der Ausgangssituation und der angestrebten Ziele findet die Datenerhebung statt. Dabei werden zunächst die Eingangsdaten für die Simulation beschrieben und wesentliche Regeln des Realsystems und Systemeigenschaften erläutert. Zur Implementierung wird kurz auf verwendete Basisklassen der Simulationswerkzeuge eingegangen und sodann der Aufbau des Simulationsmodells mit den Modellregeln ausführlich erläutert. Dabei wird bewusst eine systematische und simulationswerkzeugunabhängige Form gewählt. Zuletzt erfolgt die Beschreibung und Darstellung der Ergebnisdaten. Das Vorgehen bei der Erstellung der Systematik ist in Abbildung 5 dargestellt. Der Punkt Verifikation und Validierung wurde mit Hilfe des Simulationsprogramms „Plant Simulation“ durchgeführt. Hierfür wurde eine reale Fertigungseinheit, wie sie in Kapitel 3.1.1 beschrieben ist, herangezogen. Dabei wurden mit Hilfe eines iterativen Prozesses alle notwendigen Attribute und Szenarien identifiziert.

Es sei noch angemerkt, dass sich aufgrund der starken Anwendung die hier verwendeten Abbildungen und Beschreibungen auf die Produktion von Automobilen beziehen, die Systematik jedoch unabhängig von dem produzierten Gut ist und somit sinngemäß für jede Form der Fließbandfertigung verwendet werden kann.

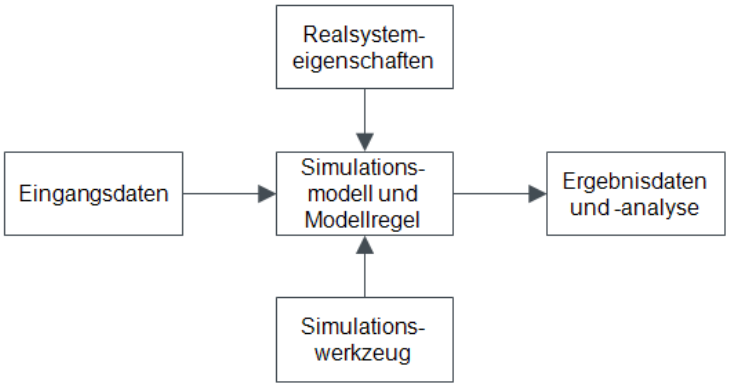

Abbildung 5: Vorgehensweise zur Erstellung der Simulationssystematik[169]

[169] eigene Darstellung

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

3.1 Ausgangssituation und Zieldefinition

In diesem Kapitel werden die Ausgangssituation und die angestrebten Ziele sowie die getroffenen Annahmen der Simulation erläutert. Dies ist wichtig, um die Aufgaben zielgerichtet zu formulieren und den Fokus der Simulation auf die Experimente zu richten.

3.1.1 Ausgangslage und Simulationswürdigkeit einer realen Montagelinie

Zur Verifikation und Validierung wurde ein Bandabschnitt einer Endmontagelinie des Automobilherstellers Audi herangezogen. Die Marke Audi gehört zum Volkswagenkonzern und steht für „Vorsprung durch Technik“. Hier werden nach eigenen Aussagen hochwertige Automobile mit ausgezeichneter Qualität gefertigt. Das auserwählte Ziel ist es, die Kunden immer wieder neu begeistern zu können.[170] Um eine exzellente Qualität der Produkte zu liefern, muss auch die Produktion der Automobile auf allerhöchstem Niveau erfolgen. Dazu gehört es, auch eine hohe Wirtschaftlichkeit der Fertigung zu erzielen und gleichzeitig Überlastungen und damit potentielle Ursachen von Qualitätsmängeln nachhaltig zu vermeiden. Um die auserkorene Vision „Audi – die Premiummarke Nummer eins“ zu erreichen und zu festigen ist eine hohe Qualität der Produkte unabdingbar.[171]

Die betrachtete Endmontageeinheit beschäftigt etwa 3.000 Mitarbeiter und bringt täglich etwa 1.750 Fahrzeuge aus. Sie ist in zwei Montagelinien aufgeteilt. Nach Abzug der geplanten Bandstoppzeit durch Pausen ergibt sich mit dem Dreischichtbetrieb eine Taktzeit von etwa 90 Sekunden. Jede Linie verfügt über 190 Fertigungstakte welche in sechs Bandabschnitte unterteilt und als Mäander angeordnet sind.[172] Aufgrund des großen Produktportfolios, welches hier produziert wird, ist diese Fertigungseinheit besonders von schwankenden Arbeitsinhalten und damit einer hohen Zeitspreizung betroffen. Neben dem SUV Q5 und seinen Derivaten Q5 Hybrid und SQ5 wird der Audi A4 als Stufenheck (Limousine), Steilheck (Avant) oder Steilheck mit Allradantrieb (Allroad) und auch der Audi A5 als Coupé oder Fließheck (Sportback) produziert. Die Anzahl an Grundvarianten wird um die sportlichen Varianten der A4 und A5 Modelle (S4 und S5) mit all ihren Derivaten sowie die Supersportler RS4 und RS5 erhöht. In Summe werden auf diesen beiden Montagelinien 14 Derivate produziert.[173] Darüber hinaus bietet die Marke Audi ein großes Spektrum an individuell konfigurierbaren Ausstattungsmerkmalen aller Derivate an. Somit entsteht eine gewaltige theoretische Variantenanzahl. Für die betrachtete Fertigungseinheit liegen keine konkreten Zahlen vor, aber alleine in der

[170] vgl. AUDI AG, 2016, S.7
[171] vgl. AUDI AG, 2016, S.8
[172] vgl. AUDI AG, 2016, S.34
[173] vgl. AUDI AG, 2016, S.39

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Kompaktklasse des Audi A3 wird von einer theoretischen Variantenanzahl von 10^{26} gesprochen.[174] Neben einer hochkomplexen Versorgungslogistik führt das Produktportfolio zu stark schwankenden Arbeitsinhalten bei den verschiedenen Montagestationen und damit zu einem komplexen Produktionsablauf mit wechselnden Überlast- und Unterlastsituationen. Somit eignet sich diese Fertigungslinie hervorragend zur Untersuchung der Auslastungssituation mit Hilfe von Simulationstechnik. Da das System eine sehr hohe Komplexität aufweist und vielschichtige Abhängigkeiten vorliegen ist die Simulationswürdigkeit in jedem Fall gegeben. Weiteres kann die Simulation dabei helfen, die komplexen Prozesse besser zu verstehen und schafft somit Transparenz.

3.1.2 Ziele

Mit dieser Simulationsstudie soll die Auslastungssituation einzelner Arbeitsstationen einer Fließmontage und des betrachteten Bandabschnitts bestimmt werden. Dabei soll ein möglichst realitätsgetreues Abbild der Fließfertigung erstellt werden welches jedoch auch mit einem verhältnismäßigen Aufwand erreicht werden soll. Zudem soll eine flexible Gestaltung des Simulationsprogramms angestrebt werden um in einer, stets im Wandel befindlichen, Montagelinie auf geänderte Eingangsgrößen reagieren zu können.

Das Simulationsmodell wird dahingehend ausgelegt, dass die Produktionsprozesse ausreichend real dargestellt werden. Durch die Wechselwirkung von Förderband und Arbeitszyklus sowie Produktionsprogramm und Produktionsreihenfolge entstehen wertschöpfende und nicht wertschöpfende Zeitanteile der Bearbeitungsstationen. Mit der Zuteilung der Zeitinhalte zu wertschöpfenden und nicht wertschöpfenden Tätigkeiten kann eine Visualisierung der Auslastungssituation erreicht werden sowie stationsspezifische Kennzahlen hinsichtlich des Wertschöpfungsanteils gebildet werden.

Zudem sollen die Überlastungen dargestellt werden. Dabei soll eine Unterscheidung in zulässiger Überlastung und unzulässiger Überlastung erfolgen. Die zulässige Überlastung kann dabei durch ein Driften im vorgegeben Rahmen geschehen. Sie muss durch nachfolgende leistungsärmere Bearbeitungsobjekte wieder abgebaut werden. Im Sinne des Werkerdreiecks kann sich diese Belastungsform aufgrund eines erhöhten Anteils indirekter Wertschöpfung dennoch nachteilig auf den Montageprozess auswirken und soll daher erfasst werden. Unzulässige Überlastungen führen zu Leistungsüberhöhungen beim Werker oder zu Bandstopps. In ersterem Fall geht die Überlastung zu Lasten des Werkers und im zweiten Fall zu Lasten der Produktivität der Linie. Beide Fälle gilt es daher zu eliminieren und somit kommt der Erfassung dieser kritischen Momente im Zuge der Simulationserstellung

[174] vgl. Klug, 2010, S.49

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

ein besonderes Augenmerk zu. Wird in weiterer Folge von Überlastung gesprochen, so ist, falls nicht anders beschrieben, immer die unzulässige Überlastung gemeint.

Damit diese Auslastungsspitzen bereinigt werden können, soll die Simulation auch dahingehend vorbereitet werden, dass diese Extremwerte mit Hilfe von Unterstützereisätzen abgebaut werden können. Eine genauere Betrachtung dieses Themas erfolgt in Kapitel 5.

3.1.3 Annahmen

Im Modell wird versucht die Realität so gut wie möglich zu imitieren. Es werden die Methoden und Objekte in der Simulation allerdings nur so real wie nötig abgebildet aber auch so real, wie sie mit verhältnismäßigem Aufwand erzielt werden können. Dies entspricht auch dem Leitsatz der VDI-Richtlinie 3633.[175] Dabei muss auch immer auf eine zielorientierte Vorgehensweise geachtet werden. Deshalb werden einige Annahmen und Vereinfachungen getroffen, die hier kurz dargestellt werden.

Es wird davon ausgegangen, dass die verbauten Teile und Module frei von Qualitätsmängeln sind. Zudem wird angenommen, dass die Werker den Verbau zu einhundert Prozent korrekt und fehlerfrei vollführen. Die Werker besitzen im Simulationsmodell keine Individualität. Die Arbeitsgeschwindigkeit der Werker spiegelt, falls nicht anders angegeben, die Normalarbeitsgeschwindigkeit, wie sie bei den Vorgabezeiten ermittelt wurden, wieder.

Die Materialversorgung durch Einheiten, die außerhalb der Systemgrenzen liegen sei stets gegeben. Für die Materialbereitstellung von systeminternen Vormontagen die Module für den Verbau an der Montagelinie erzeugen, sei angenommen, dass die Bereitstellung des Moduls ohne Zeitverzögerung ab Fertigstellung bei der Vormontage für den linienintegrierten Arbeitsplatz zur Verfügung steht. Der Transportprozess wird dabei nicht betrachtet.

Der Einfachheit halber wird davon ausgegangen, dass der Werker während der Bearbeitung die Position am Werkstück nicht verändert. In der Realität sind meist mehrere Tätigkeiten an verschiedenen Orten am Werkstück zu erledigen. Um nicht allzu komplexe Entscheidungsvariablen für das Modell bereit zu stellen wurde auf eine zu detailliertere Bewegungsauflösung verzichtet. Es wird folgend nur zwischen variabler Fertigungszeit am Werkstück und Laufzeit unterschieden. Die gesamte Fertigungszeit vollführt der Werker am Werkstücksort, wo er seinen Zyklus im Allgemeinen beginnt. Im Bezug auf die Auslastung verändert diese Vereinfachung ohnehin nichts.

[175] vgl. Verein Deutscher Ingenieure, 2014, S.6

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Bei der Werkergehbewegung wird davon ausgegangen, dass sich die Werker nicht auf einem mitlaufenden Band bewegen. Damit sind die Geschwindigkeiten der Werker ebenso wie die Fließbandgeschwindigkeit absolute Größen. Zudem seien die Bewegungen der Werkstücke und Werker immer gleichförmig und sprunghaft. Damit treten keine Beschleunigungseffekte auf. Es sei fernen angenommen, dass die Werker das zu verbauende Material nicht besorgen müssen. Diese Vereinfachung löst das Werkerdreieck auf. Mit dem Drift lässt sich jedoch trotzdem eine Aussage über zusätzliche und unnötige Wege machen.

Treten Abhängigkeiten aufgrund der Aufbaureihenfolge auf, so ist der betreffende Arbeitszyklus des Vorgängers immer bis zum vollständigen Fertigstellen des Arbeitsinhaltes am Werkstück ein Aufbauhindernis für den Nachfolger. Auch diese Annahme stellt eine Vereinfachung bezüglich der Bewegungsauflösung dar. Zudem treten im Simulationsmodell keine gegenseitigen Beeinträchtigungen auf, wenn sich Werker aufgrund von Drift im selben Bauraum wie nachgelagerte Werker befinden. Es sei angenommen, dass die Werker befähigt sind, eine Beeinflussung durch einen Vorgänger schon vor dem versuchten Arbeitsbeginn zu erkennen. Damit kann der Werker verschwenderische Laufwege vermeiden.

Ein Überlastungsfall oder ein Bandstopp wird immer von einem Werker ausgelöst und zwar dann, wenn dieser über den Arbeitsbereich hinaus driften würde. Ein fehlendes und somit nicht verbaubares Modul löst ebenfalls einen Bandstopp oder einen Überlastungsfall bei der entsprechenden Versorgungseinheit aus.

3.2 Eingangsgrößen

In diesem Kapitel werden alle relevanten Eingangsgrößen für die darauf folgende Simulation definiert. Diese lassen sich in verschiedene Bereiche unterteilen. Die Grundkonfiguration gilt für alle, sich im System befindlichen Arbeitsstationen, während die Arbeitsstationen selbst spezifische Eigenschaften besitzen können. Es wird zwischen taktgebundenen und nicht taktgebundenen Arbeitsstationen unterschieden. Die wesentlichen Eigenschaften der Stationen werden erläutert. Mit dem Produktionsprogramm und der dazugehörigen Taktung geht die wesentliche Größe der Fertigungszeit je Werkstück und Station einher. Dies wird im vierten Abschnitt dieses Kapitels behandelt.

3.2.1 Grundkonfiguration eines Fließbandsystems

Jeder Teilbereich einer Fließfertigung besitzt eine gewisse Grundkonfiguration. Einerseits beschreibt die Geschwindigkeit des Förderbandes die Produktionsgeschwindigkeit und ergibt mit dem Abstand der Bearbeitungsobjekte die einander folgen, die Ausbringungsrate. Der Abstand wird in weiterer Folge Taktlänge genannt. Die Zeit, in welcher die Bearbeitungsobjekte eine Taktlänge zurücklegen

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek WIEN Your knowledge hub

wird Taktzeit genannt. Damit kann die gewöhnliche Geschwindigkeit der Förderstrecke v_{F_N} auch mit den Größen Taktzeit und Taktlänge beschrieben werden:

$$v_{F_N} = \frac{Taktlänge}{Taktzeit}$$

Formel 2: Fließbandgeschwindigkeit

Daneben können Arbeitszeitmodelle geplante Bandstoppzeiten verursachen und Arbeitsbeginn sowie Arbeitsende der Werker definieren.

Zudem muss die Normalgehgeschwindigkeit der Werker definiert werden. Diese muss identisch mit jener aus der Vorgabezeitermittlung sein. Beispielsweise gibt es bei den MTM-Zeiten einen Baustein der einem bestimmten Gehweg eine bestimmte Vorgabezeit zuweist. Pro Meter unbehinderten Gehweg werden mit der MTM-1 Methode beispielsweise 0,64 Sekunden Gehzeit vorgehalten.[176] Mit dieser Normalgehzeit für einen Meter Gehweg lässt sich eine Normalgehgeschwindigkeit definieren, welche für alle Werker gleichermaßen gilt.

3.2.2 Konfiguration linienintegrierter Arbeitsplätze

In Kapitel 2.2.3 wurden bereits die Grundlagen der Arbeitsplätze einer taktgebundenen Fließmontage erläutert. Dabei wurde vor allem auf das Taktprinzip und die optimale Gestaltung der Arbeitsstation eingegangen. Dieses Kapitel beschäftigt sich nun konkret mit der örtlichen Identifikation der jeweiligen Arbeitsbereiche, sowie der Zuweisung des Arbeitsortes am Bearbeitungsobjekt. Zudem sind Arbeitsplatzrestriktionen einzubeziehen und die Vorrangbeziehungen müssen berücksichtigt werden. Alle notwendigen Größen sind in Abbildung 6 skizziert und werden in weiterer Folge genauer beleuchtet.

Die Abbildung zeigt einen Ausschnitt einer Fließmontagelinie. Dabei bewegen sich die Automobile mit der Fließbandgeschwindigkeit auf einem Fließband entlang der Fahrtrichtung durch die Fließlinie. Sie durchqueren dabei die örtlich fixierten Taktgrenzen. Diese stellen eine Strukturierung der Fließlinie dar, wobei die Länge eines Taktes dem Weg entspricht, welcher das Werkstück in der Taktzeit zurücklegt. Damit eine zyklische Bearbeitung innerhalb der Taktgrenzen möglich ist, darf also die stationsspezifische Fertigungszeit nicht größer als die Taktzeit sein. Ebenso muss der Abstand der Werkstücke zueinander stets gleich der Taktlänge sein. Der Werkstückarbeitsbereich umschließt eine Länge vor dem Werkstück sowie eine Länge nach dem Werkstück und die Werkstücklänge selbst. In der Variantenfließfertigung kann es passieren, dass die Werkstücklängen variieren. Damit eine zyklische Bearbeitung möglich ist, muss jedoch der

[176] vgl. Österreichische MTM-Vereinigung, o.J., S.225ff.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Werkstückarbeitsbereich gleich der Taktlänge sein. Daher genügt es in weiterer Folge die Taktlänge und somit den Werkstückarbeitsbereich zu kennen.

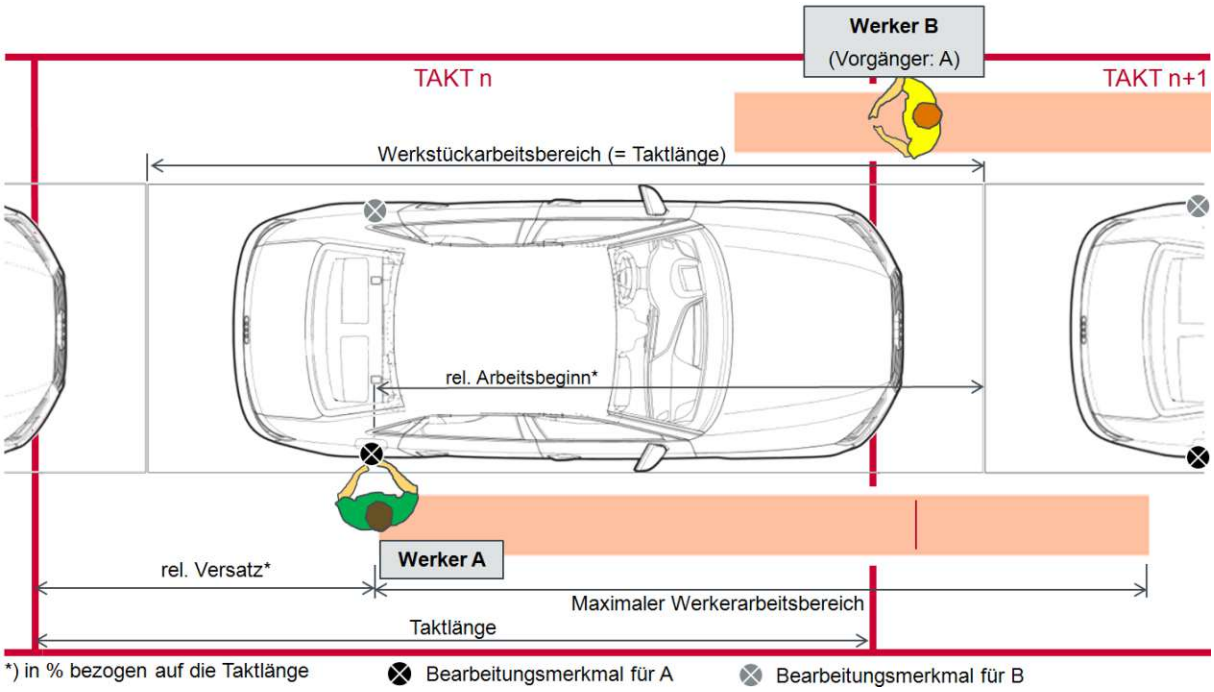

Abbildung 6: Definition der Eigenschaften von taktgebundenen Arbeitsplätzen[177]

Der Arbeitsbereich des Werkers gibt jenen Bereich an, in welchem sich der Werker bewegen darf. Er kann nur Arbeiten am Werkstück verrichten, wenn sich das zu bearbeitende Merkmal innerhalb seines Arbeitsbereichs befindet. Die örtliche Zuweisung des Arbeitsbereichs kann bei geradlinigen Fließlinien durch die Taktnummer und einen Versatz geschehen. Als praktikabel erweist sich die Größe „relativer Versatz“. Diese Beschreibt eine Einrückung des Arbeitsbereichs in den Takt hinein und ist definiert als die Versatzlänge bezogen auf die Taktlänge. Dies könnte beispielsweise nötig sein um den Arbeitsplatz nicht an seine starren willkürlichen Taktgrenzen zu binden und durch eine bessere Materialanstellmöglichkeit in einem etwas späteren Bereich zu verschieben. Die absolute Position des Beginns des Arbeitsbereichs $x_{WA_{Beg_i}}$ für den Arbeitsplatz i kann mit der Taktnummer n_i dem relativen Versatz rvs_i und der Taktlänge TL wie folgt berechnet werden:

$$x_{WA_{Beg_i}} = (n_i + rvs_i)TL$$

Formel 3: Anfangsposition des Arbeitsbereichs

Es sei noch angemerkt, dass man ebenso einen negativen Versatz definieren kann. Beispielsweise könnte man so auch ein Vorarbeiten in den vorhergehenden Takt zulassen.

[177] eigene Darstellung

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Der Arbeitsbereich selbst wird dann durch die maximale Länge MLA_i angegeben. Diese Länge stellt die örtliche Begrenzung der Arbeit dar, bis keine Bearbeitung mehr möglich ist. Im Lean Management wird hierfür auch der Begriff „Fixed Position Stop“ verwendet.[178] Diese Hindernisse stellen beispielsweise stationsgebundene Werkzeuge oder nicht betretbare Bereiche von Anlagen dar. Weiteres könnte diese Grenze auch im Sinne des Werkerdreiecks nicht übermäßig lang definiert werden. Der absolute Endpunkt des Arbeitsbereichs $x_{WA_{End_i}}$ berechnet sich somit zu:

$$x_{WA_{End_i}} = x_{WA_{Beg_i}} + MLA_i$$

Formel 4: Endposition des Arbeitsbereichs

Damit wurde der Arbeitsbereich, auf welchem sich der Montagearbeiter befindet, festgelegt. Seine Position auf dem Arbeitsbereich wird durch das aktuelle Bearbeitungsmerkmal vorgegeben. Zur Beschreibung dessen Position wird die Größe des „relativen Arbeitsbeginns“ rab_i eingeführt. Sie beschreibt die Position des zuerst bearbeiteten Merkmals an dem Werkstück im Bezug zum Anfang des Arbeitsbereichs am Werkstück. Die Größe wird auf die Taktlänge bezogen und ist somit in dimensionsloser Form mit einem Wertebereich von Null bis eins gegeben. Dabei bedeutet ein kleiner Wert eine Merkmalsposition in Bugnähe und ein hoher Wert eine Position des Merkmals am Heck des Bearbeitungsobjekts (vgl. Abbildung 6). Die Bezeichnung kann man sich dadurch vorstellen, dass der Montagearbeiter seinen Arbeitseinsatz nicht sofort mit dem Einlauf des Werkstückarbeitsbereichs beginnen kann. Der Arbeitsbeginn kann erst erfolgen, wenn das Merkmal in seinem Arbeitsbereich angekommen ist.

Nun ist die Werkerposition entlang der Fertigungslinie definiert. Man kann seine Position auf der Werkstückquerachse näherungsweise durch die beiden Werkstückseiten beschreiben (links und rechts). Arbeiten in der Mitte des Werkstücks werden der Einfachheit halber zu einer Seite zugewiesen. Beim Verlassen der Objektmitte um zum nächsten Bearbeitungsobjekt zu gelangen ist ohnehin eine Werkstückseite zu wählen und zur Ermittlung der Auslastungssituation ist obendrein nur die absolute Position des Werkers entlang der Längsachse entscheidend. Daher wird hier auf eine hohe Detaillierung in Querrichtung verzichtet.

Eine weitere wichtige Eingangsgröße ist die Kenntnis der Arbeitsplätze, welche die Voraussetzungen schaffen, dass zum aktuellen Zeitpunkt überhaupt eine Bearbeitung erfolgen kann. Dies umfasst vor allem den vollständigen Einbau aller benötigten Schnittstellen. Arbeitsplätze, welche für den betrachteten Arbeitsplatz diese Eigenschaft haben werden in weiterer Folge als Vorgänger bezeichnet. Hat ein Vorgänger seine Tätigkeit noch nicht abgeschlossen, so liegt ein Aufbauhindernis vor. Der Arbeitsplatz kann damit sein Merkmal erst bearbeiten, wenn alle Vorgänger

[178] vgl. Stewart, 2011, S.51

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

ihre Bearbeitung beendet haben. Wendet man diese Erkenntnisse auf das Beispiel in Abbildung 6 auf Seite 32 an, bedeutet dies, dass Werker B sein Merkmal nicht am Beginn seines Arbeitsbereichs bearbeiten kann, da der Vorgänger A zu diesem Zeitpunkt seine Bearbeitung noch nicht abgeschlossen hat. Das Arbeitsende wird hier durch die vertikale Linie auf seinem Arbeitsbereich symbolisiert. Der Arbeitsbeginn von Werker B verschiebt sich somit nach rechts.

Weiteres müssen dem linienintegrierten Werker die Module zugewiesen werden, welche er verbaut, da sonst die, durch Vormontage bereitgestellten, Entities nicht vernichtet werden können.

Die Eingangsgrößen für linienintegrierte Arbeitsplätze kann man somit wie folgt zusammenfassen:

- eindeutige Bezeichnung
- Taktzuordnung
- relativer Versatz
- relativer Arbeitsbeginn
- Fertigungsseite
- maximale Arbeitsbereichslänge
- Vorgänger
- zu verbauende Module

3.2.3 Konfiguration nicht linienintegrierter Arbeitsplätze

Nicht linienintegrierte Arbeitsplätze differenzieren sich von den Arbeitsplätzen in der Linie dadurch, dass sie nicht streng an den Takt der Hauptmontageline gebunden sind. Ein Beispiel eines nicht linienintegrierten Arbeitsplatzes ist ein Vormontagearbeitsplatz. Der Werker erstellt die später benötigten Module in einer vorgegebenen Reihenfolge. Diese werden in einem Puffer zwischengelagert und bei Vorhandensein des Werkstücks in der Linie der Modulverbau vorgenommen. Die dabei benötigten Eingangsgrößen sind in Abbildung 7 dargestellt.

Die Arbeitsplätze sind im Allgemeinen nur indirekt an den Zyklus der Linie gebunden. Damit ist kein definiertes Zeitfenster vorgegeben, wann das Modul gefertigt werden soll. Es muss lediglich darauf geachtet, dass das richtige Modul zum richtigen Zeitpunkt am richtigen Ort für den linienintegrierten Kunden bereitgestellt wird. Dies muss bis spätestens zum Beginn des linienintegrierten Arbeitszyklus geschehen. Anderenfalls kann das Modul entweder nicht verbaut werden oder die Fertigungslinie muss bis zum Eintreffen des fehlenden Moduls angehalten werden.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

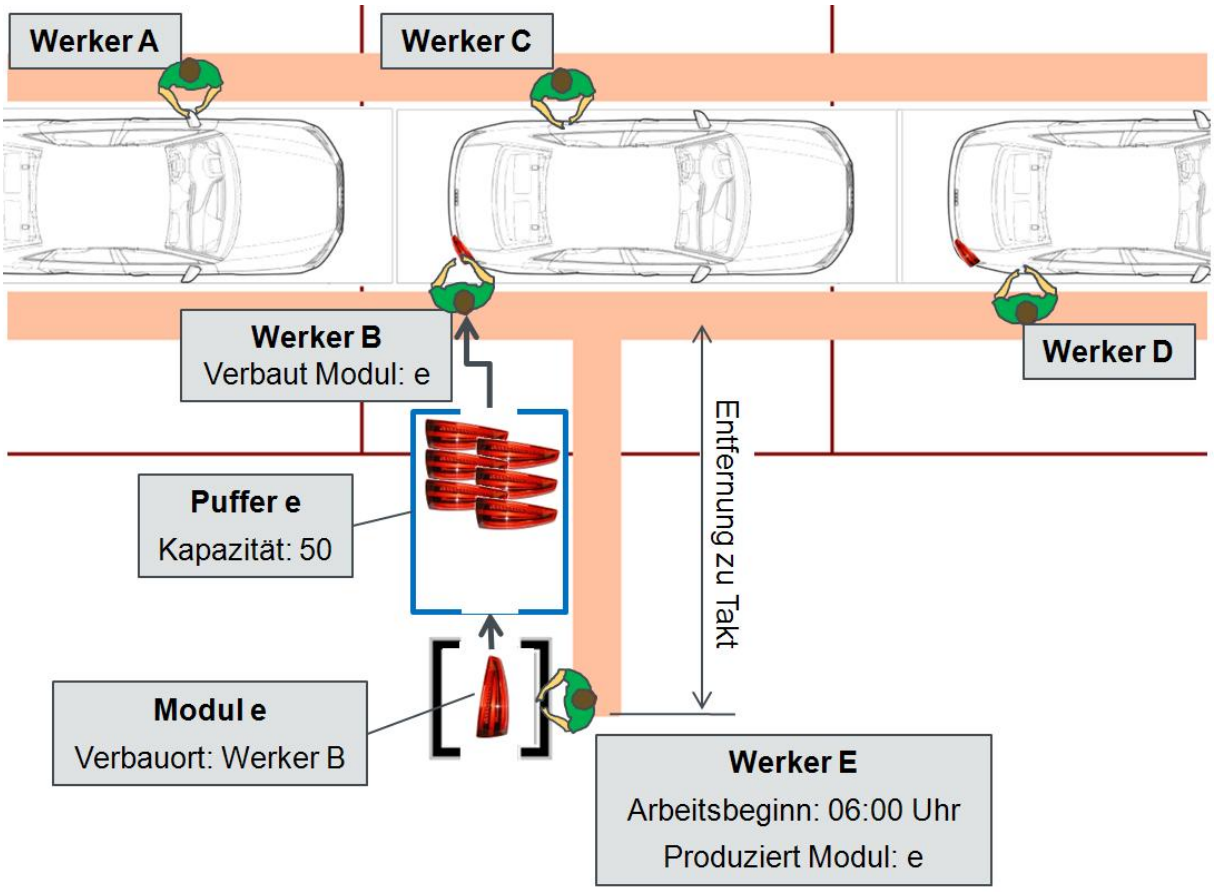

Abbildung 7: Eingangsgrößen nicht linienintegrierter Arbeitsplätze[179]

Da der nicht linienintegrierte Arbeitsplatz somit in der Regel nicht getaktet ist, ist der verrichtende Werker zeitlich nicht streng gebunden. Für eine Simulation muss dem Werker daher ein Startzeitpunkt genannt werden. Dieser beginnt ab diesem Zeitpunkt mit der Produktion des vorgegebenen Moduls in der vorgegebenen Produktionsreihenfolge.

Die Reihenfolge der spezifischen Module entspricht der Reihenfolge der dazugehörigen Halbfabrikate in der Montagelinie. Nach Fertigstellung der Module werden diese in einem Puffer zwischengelagert. Um die Sequenz zu wahren wird dieser Puffer durch ein FIFO-Prinzip (first in - first out) umgesetzt. Die wichtigste Größe stellt die Kapazität des Puffers dar. Ist der Puffer voll muss der Werker mit der Ablage des zuletzt produzierten Moduls warten bis eine Ablagefläche im Puffer frei wird. In der Realität wird die Bereitstellung der Module auch häufig in Losen vorgenommen. Hier ist auch die Kenntnis der Losgröße von Bedeutung. In dieser Arbeit wird zur Vereinfachung von einer automatischen Bereitstellung mit der Losgröße 1 ausgegangen.

[179] eigene Darstellung

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Eine weitere wichtige Größe ist der Verbauort. Dieser gibt an, welcher Arbeitsplatz die Entnahme aus dem Puffer vornimmt. Ebenso muss der Werker selbst wissen. Welche Module er verbauen muss.

Die in Abbildung 7 eingezeichnete Entfernung zum Takt ist vor allem für die Vorbereitung zur Unterstützereinsatzplanung relevant. Hierbei können Vormontagearbeiter die überlasteten Werker unterstützen. Dazu ist es wichtig zu wissen, wie weit sich dieser Werker vom Einsatzort entfernt befindet. Näheres zur Unterstützereinsatzplanung wird im Kapitel 5 besprochen.

Zusammengefasst sind die Eingangsgrößen für nicht linienintegrierte Arbeitsplätze wie Folgt:

- eindeutige Bezeichnung
- Taktzuordnung
- Seite im Bezug zur Hauptmontagelinie
- Entfernung von der Hauptmontagelinie
- zu fertigendes Modul
- Verbauort an der Hauptmontagelinie
- Arbeitsbeginn
- Pufferkapazität
- Losgröße für die Bereitstellung

3.2.4 Fertigungszeit und Produktionsprogramm

Es wurde bereits darauf eingegangen, dass jedes Bearbeitungsobjekt eine Fertigungszeit besitzt und diese bei der Austaktung die Arbeitsinhalte und damit die Fertigungszeit auf die Arbeitsstationen verteilt werden. Die spezifischen Fertigungszeiten jeder Arbeitsstation sind in der Variantenfließfertigung im Allgemeinen für jedes Bearbeitungsobjekt verschieden. Bei einer zufälligen Reihenfolge der Bearbeitungsobjekte können auch bei guter Periodenauslastung zeitweise starke Über- oder Unterlastsituationen entstehen. Aus diesem Grund wird die Reihenfolge anhand spezifischer Regeln geplant (vgl. Kapitel 2.2.5). Als Simulationseingangsgröße ist somit entscheidend, wie lange der Produktionsvorgang eines bestimmten Werkstücks dauert und wann diese Bearbeitung erfolgt. Das Produktionsprogramm der Simulation kann somit wie in Tabelle 2 dargestellt in die Simulation eingehen. In einer Zeile ist dabei die gesamte Fertigungszeit eines Produkts für den betrachteten Fertigungsbereich dargestellt. Die Summe einer Spalte ergibt die gesamte Fertigungszeit die ein Arbeitsplatz für die Abarbeitung des Produktionsprogrammes benötigt. Die Zeilennummern stellen dabei die Produktionsreihenfolge der zu produzierenden k Teile dar.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Nr.	Arbeitsplatz 1	Arbeitsplatz 2	…	Arbeitsplatz i
1	72,2	94,5	…	98,2
2	88,1	62,0	…	79,7
…	…	…	…	…
k	45,2	123,5	…	82,0

Tabelle 2: Beispielhafte Fertigungszeitentabelle in der Variantenfließfertigung[180]

Für eine Visualisierung und die Berechnung der Arbeitswege ist für linienintegrierte Arbeitsplätze ein Auftrennen der arbeitsplatzspezifischen Fertigungszeit in Bearbeitungszeit und Gehzeit zum nächsten Bearbeitungsobjekt notwendig. Letzterer Baustein wird in weiterer Folge auch als Zurücklaufen bezeichnet, da sich der Werker so nahe wie möglich an seinen Arbeitsplatzbeginn zurückbegibt. Dies ist bei der Ermittlung der Fertigungszeit einer Arbeitsfolge bereits enthalten. Es muss immer der Weg bis zum nächsten Bearbeitungsobjekt vorgehalten sein. Dieser Weg kann im Allgemeinen durch die Taktlänge beschrieben werden. Verändert der Werker während des Bearbeitens seine Position nicht und wird immer am selben Ort am Bearbeitungsobjekt gearbeitet, wird dies deutlich. Der Werker muss sich nach der Fertigstellung zum Merkmal des nächsten Bearbeitungsobjektes begeben, welches sich genau eine Taktlänge TL von seiner jetzigen Position entgegen der Förderstreckenbewegung befindet. Die Zeit, welche für die Bewältigung dieser Wegstrecke nötig ist wird in weiterer Folge Rücklaufzeit RLZ genannt und errechnet sich unter der Berücksichtigung, dass sich die Förderstrecke entgegen der Laufrichtung des Werkers bewegt zu:

$$RLZ = \frac{TL}{v_F + v_G}$$

Formel 5: Rücklaufzeit

Dabei ist v_F die Geschwindigkeit der Förderstrecke und v_G die Gehgeschwindigkeit des Werkers.

Verändert hingegen der Werker seine Position am Bearbeitungsobjekt während der Bearbeitung, so verändert sich auch der Rücklaufweg. Somit kann es in der Realität zu unterschiedlichen Rücklaufwegen bzw. –zeiten kommen. Dies ist auch in Abbildung 8 visualisiert.

[180] eigene Darstellung

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

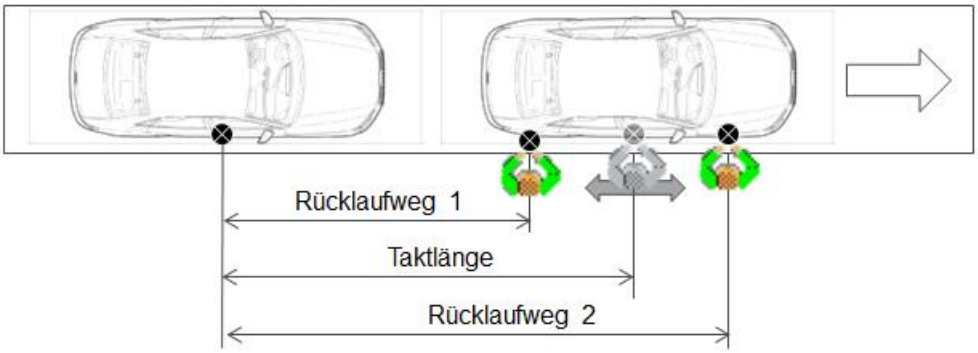

Abbildung 8: Rücklaufweg[181]

Sinnvoller Weise sollte eine Werkerbewegung während der Bearbeitung so geplant werden, dass eine Positionsveränderung entgegen der Förderrichtung stattfindet. Ein Laufweg ist im Allgemeinen eine nur indirekt wertschöpfende Tätigkeit und somit sollte diese Teilbewegung möglichst reduziert werden. In Abbildung 8 ist gezeigt, wie sich eine Werkerbewegung während der Bearbeitung in Förderrichtung nachteilig auf den Rücklaufweg auswirkt. Es ist anzumerken, dass der gesamte Laufweg für den Fall von Rücklaufweg 1 immer noch der Taktlänge entspricht, da dieser eine Positionsveränderung vornehmen muss um an das neue Merkmal zu gelangen. Für den Rücklaufweg von Fall 2 wird jedoch ein zusätzlicher Laufweg aufgenommen und zwar zum einen einmal zum neuen Merkmal hin und zum zweiten ein verlängerter Rücklaufweg um den Betrag der Merkmalsabstände.

Es wurde die Annahme getroffen, dass keine Werkerbewegung während der Bearbeitung stattfindet und der Arbeitsort am Bearbeitungsobjekt immer derselbe ist. Somit ist die Vorgabezeit für den Rücklaufweg immer konstant und nach Formel 5 berechenbar. Obendrein ist der Baustein „zum nächsten Bearbeitungsobjekt gehen“ oft standardisiert und es wird ohnehin immer dieselbe Rücklaufzeit vorgehalten. Dies ist der Tatsache geschuldet, dass in der Variantenfließfertigung Arbeitsfolgen individuell an den Bearbeitungsobjekten ausgelöst werden und zusätzlich die zum Bewertungszeitpunkt fehlende Kenntnis der Sequenz der Bearbeitungsobjekte eine exakte Berechnung des Rücklaufwegs verhindert. Da der Laufweg sinnvollerweise gegenüber der durchschnittlichen Bearbeitungszeit gering ist, ist diese Vereinfachung eine gute Näherung. Die Fertigungszeit setzt sich somit aus Bearbeitungszeit und Rücklaufzeit zusammen und die Bearbeitungszeit BZ lässt sich aus diesem Zusammenhang mit der Fertigungszeit FZ reduziert um die Rücklaufzeit RLZ, wie sie in Formel 5 definiert wurde, berechnen:

$$BZ = FZ - RLZ$$

Formel 6: Bearbeitungszeit

[181] eigene Darstellung

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

3.3 Objektkinematik

Bewegungen sind gekennzeichnet durch die räumliche Veränderung von Körpern mit den Einflussgrößen Position, Geschwindigkeit und Beschleunigung. In folgender Betrachtung wird von einer gleichförmigen und sprunghaften Bewegung ausgegangen. Die Phasen in der die Objekte eine Beschleunigung erfahren, werden in weiter Folge als vernachlässigbar klein angenommen. In diesem Kapitel wird auf die Einflussgrößen Geschwindigkeit und Position näher eingegangen.

3.3.1 Objektgeschwindigkeit

In der Fließfertigung bewegt eine Förderstrecke ihre Güter mit gleichbleibender Geschwindigkeit um den Durchsatz sicher zu stellen. Solange kein Bandstopp vorliegt definiert sich diese Geschwindigkeit, wie schon in Formel 2 auf Seite 31 aus der Taktlänge dividiert durch die Taktzeit. Während des Bandstopps ist die Bandgeschwindigkeit Null. Die Geschwindigkeitszustände der Bearbeitungsobjekte auf dem Förderband können somit durch Formel 7 zusammengefasst werden.

$$v_F = \begin{cases} v_{F_N} & im\ Normalbetrieb \\ 0 & im\ Bandstoppbetrieb \end{cases}$$

Formel 7: Geschwindigkeitszustände des Förderbandes

Die Objekte der Werker können drei grundlegende Geschwindigkeitszustände erfahren. Sie können sich mit ihrer Gehgeschwindigkeit oder der Förderstreckengeschwindigkeit bewegen oder in Ruhe verharren. Die Gehgeschwindigkeit v_G ist in der Realität eine individuelle und veränderliche Größe. Für eine Auslastungssimulation ist jedoch die Annahme einer konstanten Gehgeschwindigkeit ausreichend und sinnvoll, da sich die Auslastung auf Planwerte bezieht und hier ebenso mit mittleren Gehgeschwindigkeiten gerechnet wird. Wenn der Arbeitsinhalt abgearbeitet wird ist die Geschwindigkeit des Werkers gleich der Förderstreckengeschwindigkeit. Im Bandstoppfall findet während der Objektbearbeitung keine Positionsveränderung statt. Eine Geschwindigkeit von Null liegt ebenfalls vor, wenn keine Positionsverbesserung möglich ist. Die absolute Geschwindigkeit v_w eines Werkers kann mit Formel 8 beschrieben werden.

$$v_W = \begin{cases} v_{F_N} & Objektbearbeitung\ im\ Normalbetrieb \\ v_G & Positionsverbesserung \\ 0 & keine\ Positionsverbesserung\ möglich\ oder\ Arbeiten\ im\ Bandstopp \end{cases}$$

Formel 8: Geschwindigkeitszustände der Werker

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

3.3.2 Positionsveränderung

Welche Geschwindigkeitszustände die Objekte erfahren können, wurde im vorhergehenden Kapitel erläutert. Um den gesamten Bewegungszustand zu beschreiben ist darüber hinaus die Kenntnis der Positionsveränderung entscheidend.

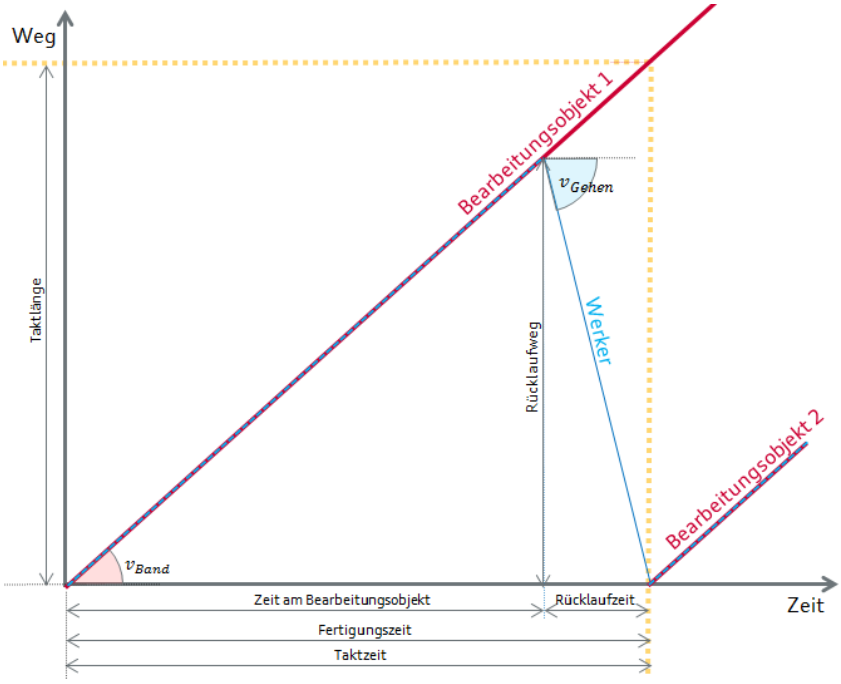

Abbildung 9: Objektkinematik bei 100% Auslastung[182]

Abbildung 9 zeigt qualitativ die zeitliche Positionsveränderung der Bearbeitungsobjekte und Werker am Beispiel eines Werkstücks, dessen Fertigungszeit gleich der Taktzeit ist. Man spricht in diesem Fall aufgrund der Vollauslastung auch von einem „100%-Objekt“. Die Fertigungszeit wird dabei in eine Bearbeitungszeit und eine Rücklaufzeit unterteilt. Während der Bearbeitungszeit befinden sich das Bearbeitungsobjekt und der Werker im gleichen Bewegungszustand. Beide bewegen sich mit der Geschwindigkeit der Förderstrecke entlang dieser. Nach der Bearbeitungszeit trennt sich der Werker von dem Werkstück um seine Position für das darauf folgende Bearbeitungsobjekt so weit wie nur möglich zu verbessern. Begrenzt wird diese Rücklaufbewegung nur durch das auftreffen am Arbeitsplatzbeginn oder durch das Auftreffen am nächsten Bearbeitungsmerkmal. Im Falle des 100%-Objekts fällt das Ende der Rücklaufbewegung mit dem Einlauf des nächsten Bearbeitungsmerkmals in den Arbeitsplatzbereich zusammen. Der Werker kann also sofort wieder mit der Arbeit beginnen und befindet sich am Beginn seines Arbeitsplatzes.

Die Steigungen der Geraden in Grafiken wie in Abbildung 9 spiegeln die aktuellen Geschwindigkeiten der Werker und Werkstücke wieder.

[182] eigene Darstellung

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Sind die Arbeitsinhalte in jedem Zyklus dieselben und entspricht die zeitliche Summe aller Arbeitsinhalte eines Zyklus der Zykluszeit, kann diese Bewegung beliebig oft wiederholt werden ohne eine Wartezeit oder ein abdriften des Werkers zu erzeugen. In der Variantenfließfertigung ist dieser Spezialfall allerdings faktisch nicht anzutreffen. Jedes Bearbeitungsobjekt besitzt verschiedene Arbeitsinhalte und somit kommt es zu ständig wechselnden Fertigungszeiten.

Ist die Fertigungszeit größer als die Taktzeit bleibt der Rücklaufweg konstant. Es wird jedoch beim Rücklauf zum nächsten Bearbeitungsobjekt die Anfangslage nicht mehr erreicht. In Abbildung 10 ist dieser Sachverhalt dargestellt. Das Bearbeitungsmerkmal des folgenden Bearbeitungsobjekts hat den Beginn des Arbeitsplatzes beim Eintreffen des Werkers bereits übertreten. Es kommt zu einer Positionsverschlechterung gegenüber der Anfangslage bezüglich des vorhergehenden Zyklus. Der Drift entsteht dabei durch das hineinarbeiten in die nachliegende Station. Zu beachten ist, dass der Drift nicht der Positionsverschlechterung für den nächsten Zyklus entspricht. Dies ist der Tatsache geschuldet, dass der Laufweg von den direkt wertschöpfenden Tätigkeiten getrennt wurde und dieser Laufweg nicht mehr in der nachgelagerten Station verrichtet wird. Daher kann es also auch ohne Drift zu einer Positionsverschlechterung kommen.

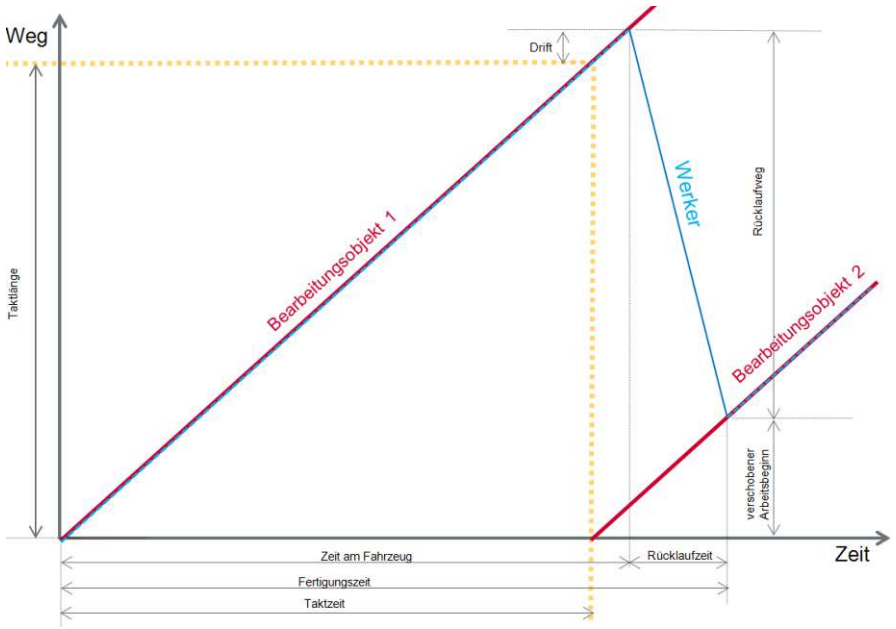

Abbildung 10: Verschobener Arbeitsbeginn und Drift[183]

Bei dem vorliegenden Szenario entstehen keine Leerzeiten für den Werker. Folgt auf dieses Szenario allerdings erneut ein Bearbeitungsobjekt mit einem Arbeitsinhalt der größer als die Taktzeit ist, wird der Drift noch weiter erhöht. Solange es durch räumliche Restriktionen nicht zu Behinderungen für den Werker kommt, können solche Flexibilisierungsmaßnahmen in gewissen Maßen prinzipiell gestattet werden.

[183] eigene Darstellung

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Im Sinne des Werkerdreiecks ist, wie schon erwähnt, ein Abdriften jedoch möglichst zu vermeiden. Durch eine durchdachte Reihenfolge der Werkstücke kann versucht werden ein abdriften der Werker zu vermeiden.

Eine Positionsverbesserung kann nur durch Fertigungszeiten, die geringer als die Taktzeit sind erreicht werden. Bei einer geringen Abweichung von der Anfangsposition aus dem vorangegangen Zyklus kann es aber auch dazu kommen, dass der Werker seinen Ort des frühestmöglichen Arbeitsbeginns erreicht und auf den Einlauf des nächsten Objektmerkmals in seinen Arbeitsbereich warten muss. Dabei ist seine Geschwindigkeit Null. Sein tatsächlich zurückgelegter Rücklaufweg wird hierbei geringer, je geringer die Fertigungszeit ist.

3.3.3 Allgemeine Bewegungsgesetze

Bisher wurden alle drei Geschwindigkeitsfälle des Werkers bei immer gleichbleibender Förderstreckengeschwindigkeit diskutiert. Im nun folgenden Abschnitt wird berücksichtigt, dass es im Allgemeinen auch zu geplanten oder ungeplanten Stillständen der Förderstrecke kommen kann. Es werden nun die verschiedenen Kombinationsmöglichkeiten der Geschwindigkeitszustände besprochen und allgemeingültige Gesetze formuliert.

Im Falle eines Bandstopps kommt es für eine gewisse Zeit zu keiner weiteren Bewegung des Bearbeitungsobjekts. Im Zeit-Weg-Diagramm äußert sich dies durch ein horizontales Teilstück der Bearbeitungsobjektlinie. Die Bandstoppzeiten sind im Simulationsmodell immer berechenbar oder bekannt. Entweder kommt es zu geplanten Bandstopps, wenn entweder durch Pausenzeiten im Schichtmodell oder geplanten Wartungsarbeiten mit vordefinierten Zeiten das Band angehalten wird. Ungeplante Bandstopps entstehen im Simulationsmodell durch Überschreitung des maximalen Arbeitsbereichs. Die Größe der Überschreitung ist durch die Startposition, der Förderstreckengeschwindigkeit und der Fertigungszeit berechenbar. Eine detaillierte Betrachtung der Bandstoppauslösung erfolgt in Kapitel 3.5.8.

Nun werden Gesetzmäßigkeiten für die Fälle des Zurücklaufens und des Bearbeitens aufgezeigt. Dabei wird jeweils von einem allgemeinen Betrachtungspunkt ausgegangen, bei welchem der Bandstopp passierte und von wo aus die Endposition der Teilhandlung errechnet wird. Alle bisher betrachteten Bewegungsfälle können aus diesem Modell abgeleitet werden.

Der allgemeine Fall des Zurücklaufens ist in Abbildung 11 dargestellt. Zu einer bestimmten Zeit befindet sich der Werker an einer bestimmten Position als ein Bandstopp passiert. Die bereits zurückgelegten Wege des Werkers Δx_W und des Bearbeitungsobjekts Δx_F in der Rücklaufbewegung sind mit der Gehgeschwindigkeit der Werker v_G, der gewöhnlichen Förderstreckengeschwindigkeit v_{F_N} und der bisher

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

im Rücklauf verstrichenen Zeit Δt errechenbar. Kommt es zu einem Neuanlauf der Förderstrecke während des restlichen Zurücklaufens, so muss diese Bewegung berücksichtigt werden. Dazu muss die restliche Rücklaufstrecke bei Bandanlauf x_A bestimmt werden. Diese Hilfsgröße kann nach Abbildung 11 mit der Bandstoppzeit BSZ berechnet werden. Die Zeit t_A, welche zwischen Bandanlauf und Eintreffen des Werkers am Bearbeitungsobjekt vergeht kann damit durch den Rücklaufweg und die Relativgeschwindigkeit errechnet werden. Zwischen zwei Bearbeitungsobjekten muss immer eine Taktlänge TL liegen.

Mit der Geometrie in Abbildung 11 und den eben definierten Größen und erworbenen Erkenntnissen kann der noch verbleibende Rücklaufweg $x_{RL_{Rest}}$ wie folgt errechnet werden

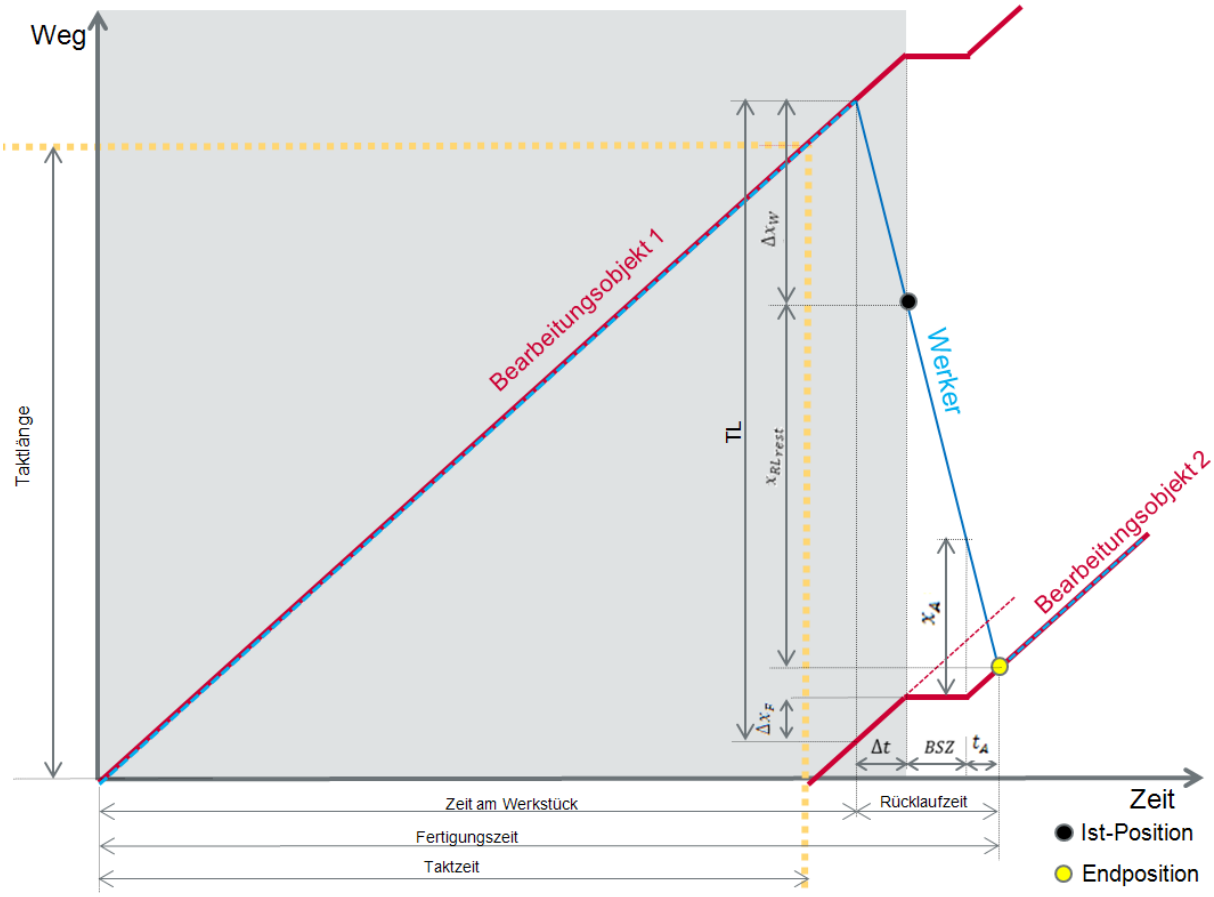

Abbildung 11: Rücklaufweg - Allgemeiner Fall[184]

$$x_{RL_{Rest}} = TL - \Delta x_W - \Delta x_F - t_A v_{F_N}$$

mit

$$\Delta x_W = v_G \Delta t\,,$$

$$\Delta x_F = v_{F_N} \Delta t,$$

[184] eigene Darstellung

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

$$t_A = \frac{x_A}{v_{F_N} + v_G}$$

und

$$x_A = TL - \Delta x_W - \Delta x_F - v_G BSZ\,.$$

Befindet sich das Bandstoppende zeitlich nach dem Eintreffen des Werkers am Bearbeitungsobjekt trifft der Werker auf das stehende Werkstück. In diesem Fall entfällt der letzte Term bei $x_{RL_{Rest}}$. Die so entstandene allgemeingültige Beziehung für den restlichen Rücklaufweg ist in Formel 9 dargestellt.

$$x_{RL_{Rest}} = \begin{cases} \frac{v_G}{v_{F_N} + v_G}(v_{F_N} BSZ + TL - \Delta x_W - \Delta x_F) & \text{für } x_A > 0 \\ TL - \Delta x_W - \Delta x_F & \text{für } x_A \leq 0 \end{cases}\,.$$

Formel 9: Beziehung für den Rücklaufweg

In dieser Beziehung ist allerdings die Restriktion des Arbeitsplatzbeginns noch nicht berücksichtigt. Unter Einbeziehen, dass der Werker nur bis zu seinem Arbeitsplatzbeginn zurückgehen darf ergibt sich schließlich mit der aktuellen Position des Werkers x_{Pos} auf seinem Arbeitsbereich die Beziehung für den Endpunkt des Zurücklaufens.

$$SGE = \begin{cases} x_{Pos} - x_{RL_{Rest}} & \text{für } x_{Pos} > x_{RL_{Rest}} \\ 0 & \text{für } x_{Pos} \leq x_{RL_{Rest}} \end{cases}\,.$$

Formel 10: Beziehung für den Rücklaufendpunkt

In Analoger Weise kann nun Verfahren werden, wenn sich der Werker zum Bandstoppzeitpunkt im Bearbeitungsfall befindet. Eine anschauliche Darstellung des allgemeinen Bearbeitungsfalls zeigt Abbildung 12. Die restliche Arbeitszeit am Bearbeitungsobjekt RAZ ergibt sich mit der seit Arbeitsbeginn verstrichenen Zeit Δt und der Fertigungszeit FZ zu

$$RAZ = FZ - \Delta t\,.$$

Der Restarbeitsweg errechnet sich aus der Restarbeitszeit, der Bandstoppzeit BSZ und der gewöhnlichen Geschwindigkeit der Förderstrecke v_{F_N} zu

$$x_{Arb_{Rest}} = \begin{cases} (RAZ - BSZ)v_{F_N} & \text{für } RAZ > BSZ \\ 0 & \text{für } RAZ \leq BSZ \end{cases}$$

Formel 11: Beziehung für den Restarbeitsweg

und somit der Endpunkt des Arbeitens:

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

$$SAE = x_{Pos} + x_{Arb_{Rest}} \,.$$

Formel 12: Beziehung für den Arbeitsendpunkt

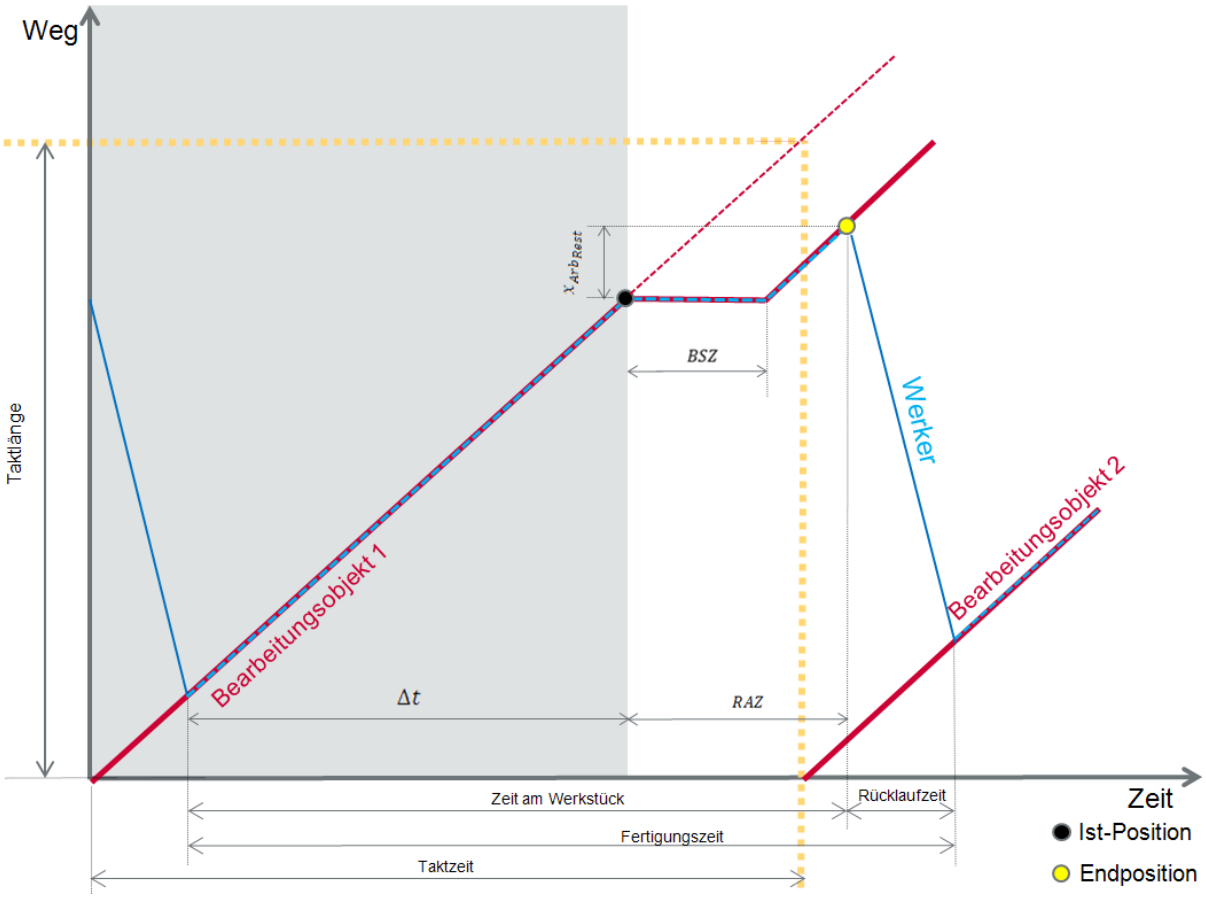

Abbildung 12: Arbeitsweg – allgemeiner Fall[185]

3.3.4 Zusammenfügen von Teilbewegungen

In den vorhergehenden Kapiteln wurden die Teilbewegungen „arbeiten“, „zurücklaufen“ und „warten“ diskutiert. In Abbildung 13 ist der grundlegende Zusammenhang der Teilbewegungen dargestellt. Auf ein „arbeiten“ folgt immer ein „zurücklaufen“. Dies liegt in der Natur der Arbeitsfolgen, wessen letzter Baustein immer das Gehen zum nächsten Bearbeitungsobjekt ist. Nach dem „Zurücklaufen“ kann entweder „arbeiten“ oder „warten“ folgen. Bei ersterem trifft der Werker beim Zurücklaufen auf das Bearbeitungsobjekt, welches sich bereits im Arbeitsbereich des Werkers befindet und so ein „arbeiten“ erfolgen kann. Folgt auf das „Zurücklaufen“ ein „warten“, kann das nächste Objekt nicht bearbeitet werden und der Werker verharrt in seiner Warteposition, bis er entweder die Bearbeitung aufnehmen kann oder aufgrund äußerer Einflüsse seine Warteposition verbessern kann. Auf den Baustein der Positionsverbesserung ist wird später im Kapitel der Werkerkommunikation 3.5.6 eingegangen.

[185] eigene Darstellung

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

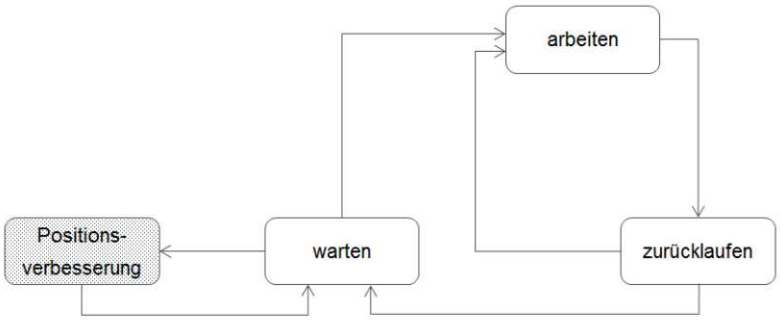

Abbildung 13: Zusammenhang der Werkerteilbewegungen[186]

Damit eine Koppelung der Bewegungszustände erfolgen kann muss der Geschwindigkeitszustand des Bearbeitungsobjekts und der Zeitpunkt der Geschwindigkeitszustandsänderung übergeben werden. Zu diesem Zweck wird die Hilfsgröße Bandstoppkapazität eingeführt. Diese beschreibt die restliche Bandstoppzeit die zum Berechnungszeitpunkt vorliegt. Diese Größe ist dem Werker zugeordnet und verändert ihren Wert bei den Übergängen von Teilbewegungen. Mit Hilfe dieser Größe können die Teilbewegungen zusammengesetzt werden.

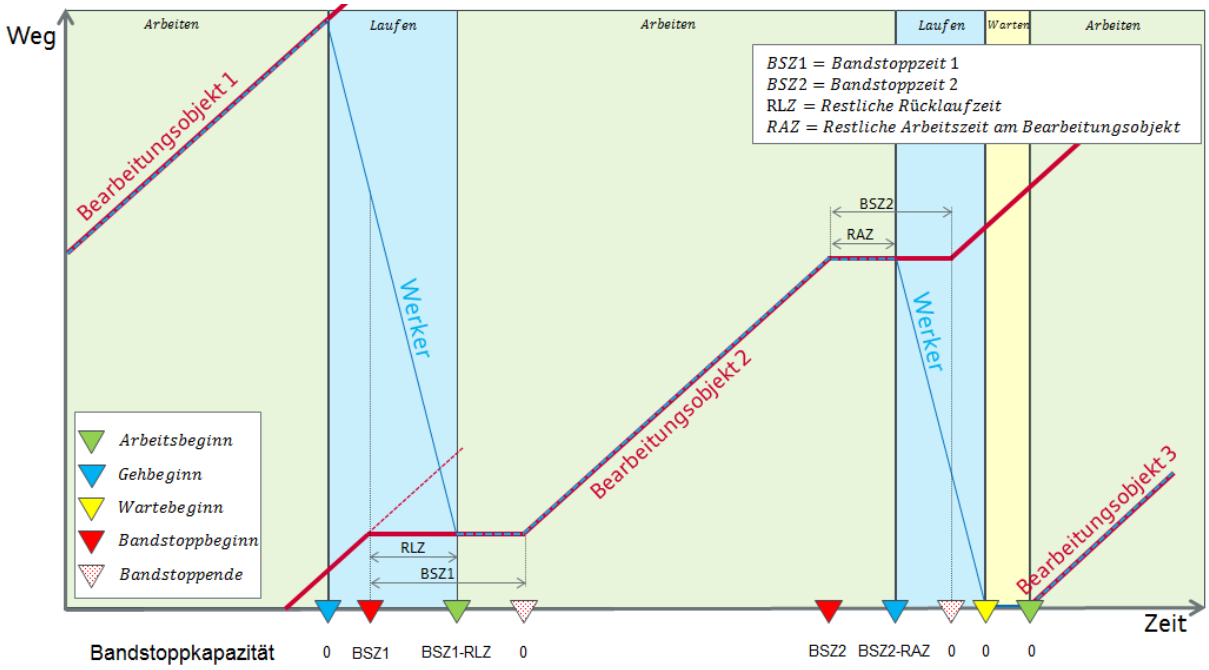

Abbildung 14: Bewegungsübergang und Bandstoppkapazität[187]

In Abbildung 14 ist beispielhaft der Zusammenhang der Teilbewegungen mit der Bandstoppkapazität aufgetragen. Neben den Bewegungen des Werkers und der Bearbeitungsobjekte sind die Schnittstellen der Teilbewegungen dargestellt. Beendet der Werker seine Arbeit am Bearbeitungsobjekt 1 wird die Teilbewegung „Laufen“ ausgelöst. Die Verbindungsgröße Bandstoppkapazität hat in diesem Fall den Wert Null, da sich die Förderstrecke mit ihrer gewöhnlichen Geschwindigkeit fortbewegt.

[186] eigene Darstellung
[187] eigene Darstellung

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Während des Zurücklaufens tritt in obigem Beispiel ein Bandstopp ein. Zu diesem Zeitpunkt erhält die Verbindungsgröße einen neuen Wert. Die Bandstoppkapazität des Werkers besitzt nun den Wert der Bandstoppzeit. Dem Werker wird hiermit mitgeteilt, dass sich die Bearbeitungsobjekte für die Zeit des Bandstopps nicht bewegen. Während dieses Zeitpunktes erfolgt eine Neuberechnung des Rücklaufweges. Wurde dem Werker also nun seine Bandstoppkapazität zugewiesen, kann Formel 9 in seine Allgemeine Form überführt werden. Die Bandstoppzeit wird durch die Bandstoppkapazität BSK ersetzt. Der restliche Rücklaufweg kann mit den schon beschriebenen Symbolen wie folgt berechnet werden:

$$x_{RL_{Rest}} = \begin{cases} \frac{v_G}{v_{F_N} + v_G}(v_{F_N} BSK + TL - \Delta x_W - \Delta x_F) & \text{für } x_A \geq 0 \\ TL - \Delta x_W - \Delta x_F & \text{für } x_A < 0 \end{cases} .$$

Formel 13: Allgemeine Beziehung für den Restrücklaufweg

mit

$$x_A = TL - \Delta x_W - \Delta x_F - v_G BSK,$$

$$\Delta x_W = v_G \Delta t$$

und

$$\Delta x_F = v_{F_N} \Delta t.$$

Der absolute Endpunkt ergibt sich zu

$$SGE = \begin{cases} x_{Pos} - x_{RL_{Rest}} & \text{für } x_{Pos} > x_{RL_{Rest}} \\ 0 & \text{für } x_{Pos} \leq x_{RL_{Rest}} \end{cases}$$

Formel 14: Allgemeine Beziehung für den Rücklaufendpunkt

und die Bandstoppkapazität für den nächsten Übergang von einer Teilbewegung zu der nächsten (BSK_{c+1}), errechnet sich nach Abzug der restlichen Laufzeit bis Bewegungsende zu

$$BSK_{c+1} = \begin{cases} BSK_c - \frac{x_{RL_{Rest}}}{v_G} & \text{für } BSK_c > v_G x_{RL_{Rest}} \\ 0 & \text{für } BSK_c \leq v_G x_{RL_{Rest}} \end{cases} .$$

Formel 15: Künftige Bandstoppkapazität in der Teilbewegung „Laufen“

Mit Hilfe der Berechnung der zukünftigen Bandstoppkapazität erfolgt zum jetzigen Zeitpunkt bereits eine Unterscheidung, ob sich der Bewegungszustand während der restlichen Zeit dieser Teilbewegung verändert oder nicht. Nimmt die künftige

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Bandstoppkapazität BSK_{k+1} einen Wert größer Null an, verändert sich der in Ruhe befindliche Bewegungszustand der Bearbeitungsobjekte während der gesamten Teilbewegung nicht. Der Endpunkt des „Zurücklaufens“ wird also während des Bandstoppbetriebs erreicht. Dies ist in Abbildung 14 beim Übergang von „Laufen“ zu „Arbeiten“ bei Bearbeitungsobjekt 2 dargestellt. Da auf ein „Laufen“ ein „Arbeiten“ folgt bedeutet dies, dass das Bearbeitungsmerkmal sich bereits im Bearbeitungsbereich befindet.

Der Bewegungszustand der Bearbeitungsobjekte wird durch die neu berechnete Bandstoppkapazität beschrieben. Diese verringert sich, wie in Formel 15 beschrieben, um die restliche Rücklaufzeit seit der letzten Bandstoppkapazitätsberechnung. Die Bandstoppkapazität hat in diesem Fall einen Wert größer Null. Der Bandstopp ist folglich noch aktiv und es existiert eine verbleibende restliche Bandstoppzeit, die gleich der Bandstoppkapazität ist.

Mittels Formel 11 und der Bandstoppkapazität kann der Arbeitsweg berechnet werden. Die Bandstoppzeit in Formel 11 wird analog zu Formel 13 durch die Bandstoppkapazität ersetzt. Man erhält mit den bekannten Symbolen, die allgemeine Formel für den verbleibenden Arbeitsweg.

$$x_{Arb_{Rest}} = \begin{cases} (RAZ - BSK)v_{F_N} & \text{für } RAZ > BSK \\ 0 & \text{für } RAZ \leq BSK \end{cases}$$

Formel 16: Allgemeine Beziehung für den Restarbeitsweg

mit

$$RAZ = BZ - \Delta t$$

Formel 17: Restliche Arbeitszeit

und damit ergibt sich die Endposition zu

$$SAE = x_{Pos} + x_{Arb_{Rest}}.$$

Formel 18: Allgemeine Beziehung für die Arbeitsendposition

Für obigen Betrachtungsfall ergibt sich, dass die Restarbeitszeit gleich der Zeit am Bearbeitungsobjekt ist, da die Teilbewegung gerade erst beginnt ($\Delta t = 0$). Die künftige Bandstoppkapazität wird analog Formel 15 gebildet:

$$BSK_{c+1} = \begin{cases} BSK_c - RAZ & \text{für } BSK_c > RAZ \\ 0 & \text{für } BSK_c \leq RAZ \end{cases}.$$

Formel 19: Künftige Bandstoppkapazität in der Teilbewegung „Arbeiten“

Wird das Beispiel aus Abbildung 14 weiter verfolgt ergibt sich mit Formel 19 nun eine künftige Bandstoppkapazität von Null, da der Bandstopp während der Bearbeitung

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

des Bearbeitungsobjekts 2 endet. Es kommt somit zu keiner weiteren Teilbewegung bevor sich der Bewegungszustand der Bearbeitungsobjekte verändert. Es erfolgt somit nach Verstreichen der Bandstoppkapazität eine Änderung des Geschwindigkeitszustandes.

Folgt man dem Beispiel weiter, so kommt es während dem Bearbeiten von Bearbeitungsobjekt 2 zu einem weiteren Bandstopp. Es erfolgt eine Neuberechnung des Arbeitsweges. Die Bandstoppkapazität des Werkers wird auf den Wert der jetzigen Bandstoppzeit gesetzt. Die verbleibende Arbeitszeit am Bearbeitungsobjekt ist, wie aus Abbildung 14 ersichtlich geringer als die Bandstoppzeit bzw. die Bandstoppkapazität. Damit erfolgt die Neuberechnung des Arbeitsweges aus Formel 16 nach dem zweiten Fall. Der restliche Arbeitsweg ist Null und es erfolgt eine Geschwindigkeitszustandsänderung nach der Restarbeitszeit. Die künftige Bandstoppkapazität ist jene, die nach der Restarbeitszeit vorliegt und berechnet sich mit Formel 19.

Am Beginn des Zurücklaufens wird der Rücklaufweg berechnet. Dazu werden wieder die Beziehungen aus Formel 13 und Formel 15 benutzt. Die bereits verstrichene Zeit Δt ist Null. Damit sind die Vorlaufwege des Werkers und der Förderstrecke gleich Null. Die Distanz x_A vom nächsten Werkstück zum Werker beim Anlauf der Förderstrecke ergibt sich nach Abbildung 14 und Formel 13 zu einem positiven Wert, da der Laufweg des Werkers während der verbleibenden Bandstoppzeit geringer als die Taktlänge ist. Damit errechnet sich der restliche Rücklaufweg nach dem oberen Ast in Formel 13. Da der Endpunkt jedoch außerhalb des Arbeitsbereichs liegt, kann nicht der gesamte Rücklaufweg genutzt werden. Der absolute Endpunkt der Teilbewegung „Laufen“ befindet sich somit am Beginn des Arbeitsplatzes und es folgt der Zustand „Warten“. Die künftige Bandstoppkapazität ist Null da die verbleibende Bandstoppzeit geringer ist als die Rücklaufzeit, wie auch aus Formel 15 ersichtlich ist. Dies bedeutet, dass nach dem „Warten“ der Geschwindigkeitszustand verändert wird

Würde während dem „Warten“ am Arbeitsbeginn erneut ein Bandstopp erfolgen, hätte dies keine Auswirkung auf die Bewegung des Werkers. Zu Wartebeginn wird der Geschwindigkeitszustand des Werkes zu Null und ändert diesen Zustand erst, wenn das Merkmal des nächsten Werkstücks sich im Arbeitsbereich des Werkes befindet. Da dies allerdings bei Bandstopp niemals möglich ist, hat die Bandstoppkapazität im Fall des „Wartens“ am Arbeitsbeginn keinen Einfluss auf die Werkerbewegung und wird somit auch nicht berechnet. Die Bandstoppkapazität verbleibt im gesamten Fall des „Wartens“ am Arbeitsplatzbeginn beim Wert Null. Es gibt jedoch Fälle wo ein „Warten“ erfolgt und dabei noch eine Positionsverbesserung möglich ist. Hier ist die Berücksichtigung der Bandstoppkapazität sehr wohl zu beachten. Dies wird in Kapitel 3.5.6 bei Mitteilungsfall B näher beleuchtet.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

3.4 Objekte und Elemente der Fließmontagesimulation

Zur Erstellung einer Fließmontagesimulation muss die Abbildung eines Realsystems erfolgen, dabei bedient man sich grundlegender Elemente von Simulationswerkzeugen. Dieses Kapitel beschäftigt sich kurz mit den wesentlichen Elementen, die für eine Fließmontagesimulation nötig sind.

In den Grundlagen wurde schon erläutert, dass die Förderstrecke und die darauf befindlichen Entities die fundamentalen Mittel beschreiben, welche zu einer Fließmontagesimulation nötig sind. Den grundlegenden Zusammenhang der Elemente zeigt Abbildung 15

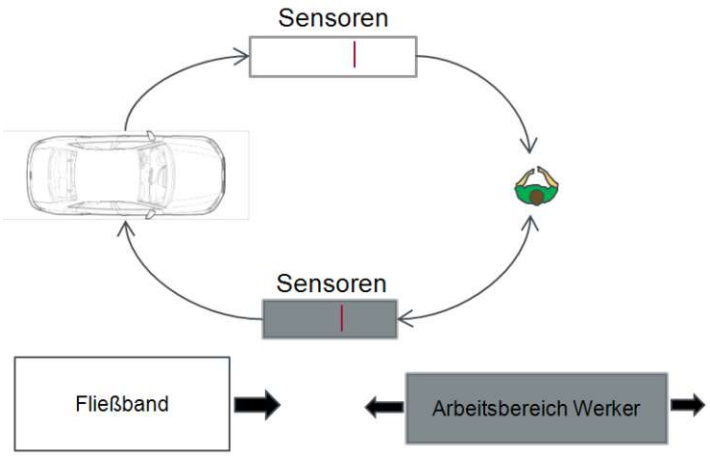

Abbildung 15: Grundlegender Zusammenhang der Simulationselemente

In dieser Abbildung ist die Entität des Werkstücks als Automobil dargestellt. Dieses befindet sich auf einem Fließband, welches die darauf befindlichen Entities transportiert. Ebenso können die Werker als ein, auf dem Arbeitsbereich befindliches, Fördergut angesehen werden. Die Werker haben somit bezüglich des Arbeitsbereichs einen Entitätscharakter, sind aber dennoch als Ressource zu sehen, da die Werkstücke von den Werkern bearbeitet werden. Die Fördergeschwindigkeit und bei den Werkern auch die Förderrichtung werden aufgrund gegenseitiger Abhängigkeiten im Zeitablauf geändert. Diese Abhängigkeiten können mit Hilfe sogenannter Sensoren gekoppelt werden. Durchläuft ein Werkstück einen Sensor auf dem Fließband, welcher den Arbeitsbeginn bei einem Werker auslösen soll, kann dadurch der Bewegungszustand des Werkers geändert werden. Durchläuft hingegen der Werker einen Sensor auf seinem Arbeitsbereich, kann er seinen Bewegungszustand selbst oder den von anderen Werkern ändern oder sogar den Bewegungszustand des Fließbandes.

Um dieser Kopplung die realitätsgetreuen Regeln aufzuzwingen sind Methoden und Variablen nötig. Methoden können direkt oder nach einem Verweis aufgerufen werden. Ein Verweis kann einerseits einen zeitlichen Bezug besitzen, bei dem eine Methode nach einem definierten zeitlichen Versatz aufgerufen wird oder sie kann auf

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

das Durchlaufen eines Sensors verweisen. Wird also ein Sensor gesetzt, wird damit auch festgelegt, was bei dessen Durchlaufen berechnet werden soll. Auf die Methoden wird im darauf folgenden Kapitel näher eingegangen.

3.5 Modellregeln zur Bewegungsabfolge

Bisher wurden fundamentale Bewegungsgleichungen hergeleitet und die grundlegenden Elemente der Fließmontagesimulation eingeführt. Dieses Kapitel beschäftigt sich nun ausgiebig mir der Systematik des Simulationsmodells. Dabei werden die Teilbewegungen mit Hilfe der hier definierten Modellregeln so zusammengefügt, dass eine Realitätsabbildung erfolgen kann. Dazu sind variable Stellgrößen nötig, welche hier definiert werden. Darauf folgt die Einführung einer Steuerungsmethode, welche dem Werker den abzuleistenden Bewegungsfall zuordnen kann. Die Bewegungsfälle hängen aber auch direkt miteinander zusammen. Daher werden in weiterer Folge die Teilbewegungen und die Prozesse innerhalb dieser Teilbewegungen näher beleuchtet, sowie die direkten Zusammenhänge der Teilbewegungen erläutert. Bevor der Gesamtprozess in aggregierter Form betrachtet wird, wird noch auf Bewegungen und Stellgrößenveränderungen eingegangen, welche aufgrund Werkerkommunikation entstehen können.

3.5.1 Werkerattribute linienintegrierter Werker

In den vorherigen Kapiteln wurde gezeigt, dass es drei grundlegende Teilbewegungen gibt. Die Simulation bedient sich dieser Teilbewegungen und erstellt eine Abfolge dieser Bewegungen. Damit von einer Teilbewegung zu einer anderen Übergegangen werden kann, werden arbeitsplatzspezifische Variablen benötigt. In diesem Kapitel werden alle benötigten Informationen definiert, welche in den darauf folgenden Kapiteln die Art und die Abfolge der Teilbewegungen bestimmen.

<u>Werkerstatus:</u> Um jederzeit abfragen zu können in welcher Teilbewegung sich der Werker gerade befindet gibt es das Attribut „Werkerstatus“. Dies ist nötig um bei Zustandsänderungen den ordnungsgemäßen Ablauf zu gewährleiten. Dabei ist oft die Kenntnis des vorangegangenen Bewegungszustandes von Nöten. Es existieren die Grundfälle „arbeitend“, „laufend“ und „wartend“.

<u>Warten auf Vorgänger (WaV):</u> Dieses Attribut ist vom booleschen Typ und unterscheidet, ob der Werker aktuell auf einen seiner Vorgänger wartet. Ist der Wert dieses Attributs wahr besteht keine Freigabe und er befindet sich in einem Wartefall.

<u>Bandstoppkapazität (BSK):</u> Die Definition der Bandstoppkapazität wurde bereits in Kapitel 3.3.4 gegeben und erläutert. Sie beschreibt bei jeder Zustandsänderung des Werkers den Zeitwert bis sich die in Ruhe befindliche Förderstrecke wieder in

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek WIEN Your knowledge hub

Bewegung setzt. Sie ist demnach die, bei der nächsten Zustandsänderung verbleibende Bandstoppzeit. Ist die Förderstrecke in Bewegung ist die Bandstoppkapazität gleich Null. Somit existieren nur positiv semidefinite Werte für die Bandstoppkapazität.

Höchste bearbeitbare Objektnummer ($BANr$): Die höchste bearbeitbare Werkstücknummer wird mit jedem Merkmalseinlauf in den Arbeitsbereich erhöht. Sie muss mindestens gleich groß wie die aktuell vorliegende Objektnummer sein. Andernfalls ist keine Bearbeitung möglich und ein Wartefall liegt vor.

Objektnummer in Bearbeitung ($ISTNr$): Die Nummer gibt an welches Objekt sich aktuell in der Bearbeitung durch den Werker befindet. Die Zuweisung beginnt mit der erstmaligen Arbeitsaufnahme und endet dann, wenn mit der Bearbeitung des darauf folgenden Objekts begonnen wird. Sie wird als eine aufsteigende ganzzahlige Größe definiert und entspricht der Anzahl der Bearbeitungsobjekte seit Betrachtungsbeginn.

Objektnummer freigegeben ($FGNr$): Die Freigabenummer gibt an, welches Objekt mit der dazugehörigen Objektnummer der Werker zuletzt zur Bearbeitung für die Nachfolger freigegeben hat. Die Freigabe erfolgt ab dem „Laufen“ zum nächsten Bearbeitungsobjekt. Daraus ergibt sich, dass dieses Attribut mit dem Attribut $ISTNr$ gekoppelt ist und um die Bearbeitungszeit am Bearbeitungsobjekt versetzt ist.

Werkerposition (Pos): Es beschreibt die aktuelle Position des Werkers auf seinem Arbeitsbereich gegenüber dem frühestmöglichen Beginn. Sie ist somit als Länge definiert und der Wertebereich erstreckt sich von Null bis zur maximalen Arbeitsbereichslänge.

Werkergeschwindigkeit (v_W): Die aktuelle Geschwindigkeit des Werkers gemäß den drei möglichen Zuständen (vgl. Kapitel 3.3.1).

Bewegungsrichtung: Rückwärts/ Vorwärts: Man unterscheidet generell zwei mögliche Bewegungsrichtungen. „Vorwärts“ bewegt sich ein Werker, wenn er sich in Förderrichtung bewegt. Dies ist während der Objektbearbeitung immer der Fall. Unter gewissen Voraussetzungen kann dies aber auch bei der Positionsverbesserung der Fall sein. Details dazu werden in Kapitel 3.5.5 genauer beleuchtet. „Rückwärts“ bedeutet, dass sich der Werker entgegen der Förderrichtung bewegt. Dies ist nur bei der Positionsverbesserung möglich.

Stelle des Arbeitsendes (SAE): Befindet sich der Werker in der Objektbearbeitung so wird eine Stelle errechnet, an welcher der Werker seine Arbeit abschließen wird. Diese Stelle ist für mögliche Nachfolger von Belang, welche durch diesen Arbeitsplatz beschränkt sein könnten. Daher wird die Stelle des künftigen Arbeitsendes als Länge zwischen Arbeitsbereichsbeginn und künftigen Arbeitsende

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek WIEN Your knowledge hub

benötigt. Das Attribut wird am Beginn der Bearbeitung zugewiesen und erhält den Wert Null sobald der Status ungleich „arbeitend“ ist.

Vorgänger (VG): Alle direkten Vorgänger die gemäß des Vorranggraphen Arbeitsinhalte vollführen, deren Fertigstellung zur Aufnahme des jetzigen Produktionsschritt geschehen sein muss, werden in die Liste der Vorgänger eingetragen. Diese werden benötigt um eine mögliche Beeinflussung durch die Vorgänger zu prüfen.

Nachfolger (NF): Analog der Vorgänger werden die direkten Nachfolger in Listen eingetragen. Diese müssen gegebenenfalls bei Änderungen im Ablauf über den geänderten Zustand informiert werden.

Modulverbau (MVB): Der Modulverbau ist ebenso eine Listengröße in welche alle, vom Werker zu verbauenden Teile eingetragen werden. Diese Entities werden beim Arbeitsbeginn des Werkers vom System vernichtet und gehen in das Erzeugnis ein. Jede Modulklasse besitzt genau so viele sogenannter „Kinder“, wie es Werkstücke gibt. Die Kinder besitzen dann die spezifischen Eigenschaften und jedes Modulkind ist einem spezifischen Werkstück zugeordnet. Die Modulkinder werden gemäß der Produktionsreihenfolge bereitgestellt Fehlt eines der spezifischen Module bei Arbeitsbeginn so kann der Werker den Aufbau nicht beginnen und das Band muss bis zur Wiederbeschaffung angehalten werden.

3.5.2 Bewegungsentscheidung linienintegrierter Werker

Damit die Abbildung einer Fließfertigung erfolgen kann, müssen alle Objekte zu jedem Zeitpunkt wissen wie sie sich bewegen sollen. Die grundlegenden Teilbewegungen und die dazugehörigen Bewegungsgesetze wurden in Kapitel 3.3 bereits diskutiert. Welche Teilbewegung auf eine andere folgt unterliegt gewissen Gesetzmäßigkeiten. Für welchen Bewegungsfall sich der Werker entscheidet, wenn dieser ein Objekt bearbeiten soll und welche Eigenschaften dafür vorliegen müssen ist die Aufgabe dieses Kapitels.

Die Werkstücke bewegen sich für gewöhnlich mit der Förderstreckengeschwindigkeit. Nur durch geplante Bandstopps, wie Pausen oder durch ungeplante Bandstopps die aufgrund der Werkerbewegungen entstehen, wird die Förderstrecke für eine gewisse Zeit gestoppt. Andererseits beeinflusst die Position der zu bearbeitenden Fördergüter die Bewegung der Werker. Durch die Werte bestimmter ausschlaggebender Attribute können die jeweiligen Grundfälle der Bewegungen ausgelöst werden. Wie schon in vorherigen Kapiteln gezeigt, lassen sich drei Grundfälle der Bewegung unterscheiden. Zum einen kann der Werker das Objekt bearbeiten und eine wertschöpfende Tätigkeit aufnehmen. Weiteres kann der Arbeiter seine Position verändern, um zum Bearbeitungsmerkmal des nächsten Objekts zu gelangen. Diese

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek WIEN Your knowledge hub

indirekt wertschöpfende Tätigkeit wird in weiterer Folge als „Laufen“ bezeichnet. Der dritte Fall tritt ein, wenn der Werker keine wertschöpfende Tätigkeit verrichten kann. Er befindet sich im Zustand „wartend“.

Um bei einem Impuls die Zustandsentscheidung des Werkers zu bestimmen sind im Wesentlichen vier grundlegende Entscheidungskriterien zu überprüfen. Diese sind in Abbildung 16 benannt und dargestellt.

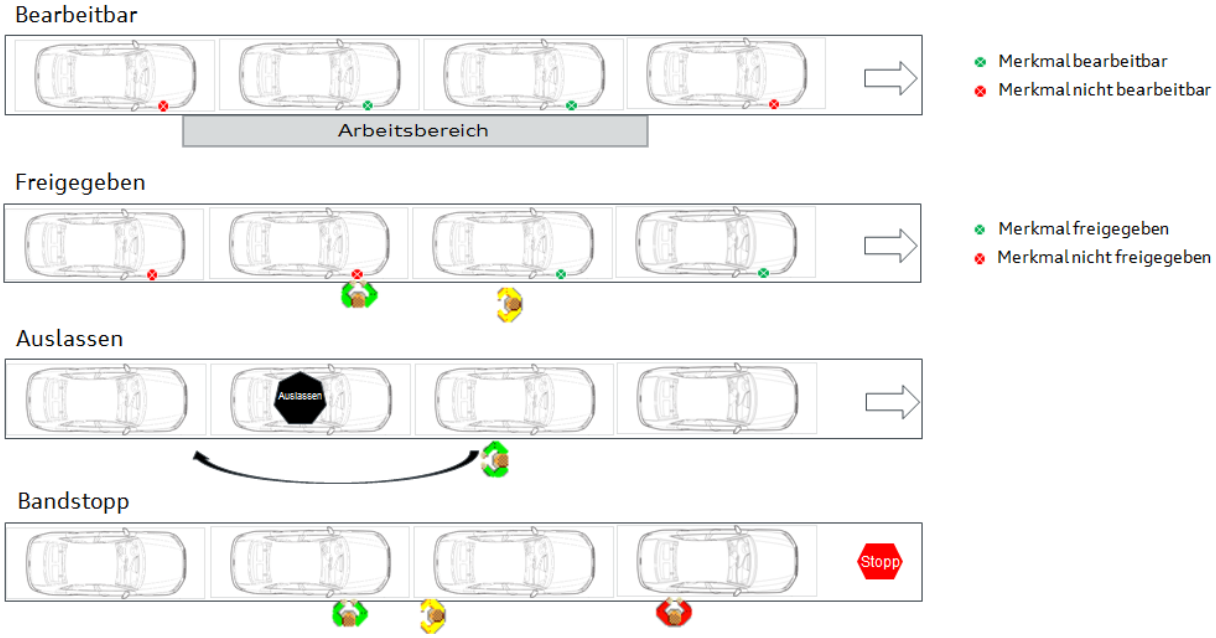

Abbildung 16: Entscheidungsgrößen zur Werkersteuerung[188]

Ist das Merkmal des Objekts, welches als nächstes bearbeitet werden soll außerhalb des Arbeitsbereichs kann keine Bearbeitung erfolgen. Das Attribut „bearbeitbar“ ist in Abbildung 16 oben dargestellt. Nur wenn das Merkmal, welches als nächstes Bearbeitet werden soll, sich innerhalb des Arbeitsbereichs befindet, kann ein arbeiten erfolgen. Kann der Werker obendrein seine Position nicht weiter verbessern, befindet er sich also bereits am Beginn seines Arbeitsbereichs, wird der Zustand „wartend“ eingeleitet.

„Bearbeitbar“ ist jedoch nicht das einzige Kriterium damit ein Objekt bearbeitet werden kann. Neben dem Attribut „bearbeitbar“ muss das zu bearbeitende Merkmal auch „freigegeben“ sein. Dieses Attribut ist der Tatsache geschuldet, dass Abhängigkeiten im System eine Bearbeitung verhindern bzw. verzögern können. Beim Aufbauprozess ergeben sich Abhängigkeiten, welche sich in Form von Vorgänger-Nachfolger-Beziehungen ausdrücken. Dies bedeutet, dass eine Arbeitsfolge erst ausgelöst werden kann, wenn alle relevanten Vorgängertätigkeiten abgeschlossen sind. Zum Beispiel können Radkappen nicht montiert werden bevor die Montage des Rades abgeschlossen ist oder der Einbau eines Moduls kann nicht

[188] eigene Darstellung

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

erfolgen bevor die Modulhalterung montiert ist. Bei einem Aufbauprozess sind diese Tätigkeiten mittels eines Vorranggraphen definiert. Befindet sich also das zu bearbeitende Merkmal innerhalb des Arbeitsbereichs kann eine Bearbeitung nur dann erfolgen, wenn das Merkmal auch durch all seine Vorgänger freigegeben ist. Erst wenn das Merkmal des zu bearbeitenden Werkstücks einerseits sich innerhalb des Arbeitsbereichs des Werkers befindet, also „bearbeitbar“ ist, und andererseits das Merkmal zur Bearbeitung freigegeben ist kann eine Wertschöpfung erfolgen. Ist eines der beiden Prüfwerte nicht gegeben und ist auch keine Positionsverbesserung möglich, muss der Werker warten bis beide Prüfwerte erfüllt sind.

Es wird also zwischen zwei Arten des Wartens unterschieden. Diese unterscheiden sich lediglich durch den Wert des Attributs „Warten auf Vorgäner“. Ist das Objekt nicht bearbeitbar können etwaige Bandstoppkapazitäten nicht mehr genutzt werden, da im Falle eines Bandstopps sich das Merkmal nicht mehr bewegt und somit bis zum Ende des Bandstopps nicht in den Arbeitsbereich gelangen kann (Fall W2). Befindet sich das Merkmal hingegen im Arbeitsbereich und ist eine Bearbeitung nur dadurch verhindert, dass einer oder mehrere Vorgänger das Merkmal noch nicht freigegeben haben, kann es im Fall des Bandstopps noch zu der Nutzung von Bandstoppkapazitäten kommen, wenn das Merkmal freigegeben wird bevor der Bandstopp endet. In diesem Fall arbeitet der Werker auf Zuruf des letzten Vorgängers (Fall W1) (vgl. Mitteilungsfall B Kapitel 3.5.6).

Wird das nächste Bearbeitungsobjekt nicht bearbeitet, dann wird es ausgelassen. Die Fertigungszeit besteht in diesem Fall lediglich aus dem Laufweg zum nächsten Bearbeitungsobjekt. Die Arbeitszeit am Bearbeitungsobjekt ist gleich Null. Dieser Sachverhalt kann bei konsistenten Daten durch den Fall „Arbeiten“ beschrieben werden. Dabei ist die Zeit am Bearbeitungsobjekt Null und nach diesem infinitesimal kleinen Arbeitsintervall wird mit dem „Laufen“ fortgesetzt. Ist allerdings der Rücklaufweg in den Eingangsgrößen nicht berücksichtigt, gibt es also beispielsweise eine Fertigungszeit von Null, muss dies von den gewöhnlichen Arbeitsfällen differenziert werden. Es würde sich durch den Berechnungsalgorithmus nach Formel 6 auf Seite 38 eine negative Bearbeitungszeit ergeben, welche zu Fehlermeldungen in der Simulation führen kann. Um diese Fehler schon vor der Berechnung zu vermeiden, wird bei Fertigungszeiten die kleiner oder gleich des Rücklaufwegs sind der Fall „Laufen“ ausgelöst“ (Fall L). Sinngemäß könnte man diese Operation auch damit beschreiben, dass Fertigungszeiten die kleiner als die Rücklaufzeit sind durch die Rücklaufzeit ersetzt werden.

Ist nun das nächste Bearbeitungsobjekt „bearbeitbar“ und „freigegeben“ und ist dessen Fertigungszeit größer als die Rücklaufzeit kann der Arbeitsfall erfolgen. Hierbei ist allerdings noch zu prüfen in welchem Geschwindigkeitszustand sich die Werkstücke befinden. Diese Information ist für den Geschwindigkeitszustand der

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Werker während des Abarbeitens nötig. Die beiden grundlegenden Arbeitsfälle unterscheiden sich somit mit dem Geschwindigkeitszustand der Bearbeitungsobjekte durch Bandstoppbetrieb (Fall A1) und Normalbetrieb (Fall A2). Der in diesem Kapitel erläuterte Zusammenhang der Entscheidungsattribute ist in kompakter Weise in Abbildung 17 dargestellt.

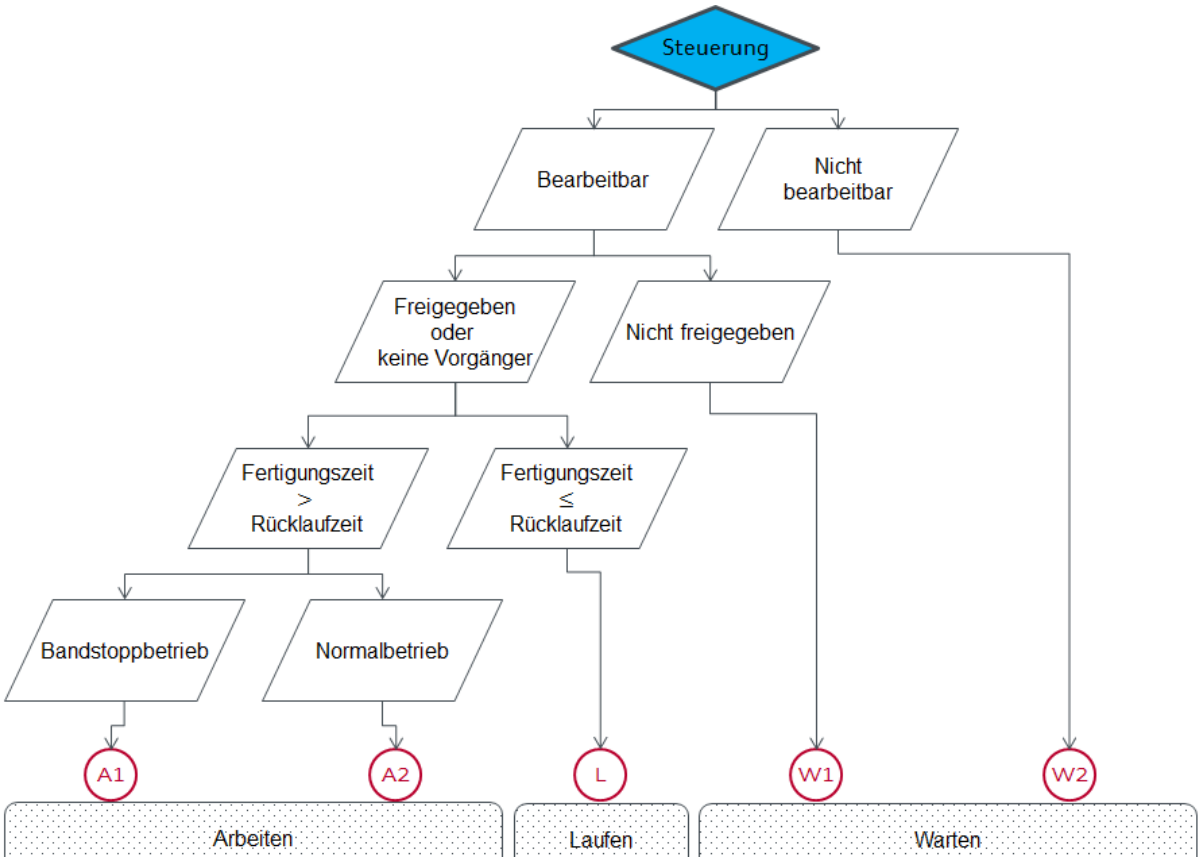

Abbildung 17: Entscheidungsbaum bei Bewegungsentscheidung[189]

Die in Abbildung 17 dargestellte Entscheidungssystematik bezieht sich auf den Bearbeitungsbeginn. Befindet sich der Werker in einem Arbeits- oder Bewegungsfall, so ist die Bewegungsfolge so lange durch direkte Beziehungen zwischen den Teilbewegungen gegeben, bis der Bearbeitungszyklus abgeschlossen ist. Vor der nächsten Werkstückbearbeitung muss stets eine Überprüfung nach Abbildung 17 erfolgen. Da der Entscheidungsbaum die grundlegenden Bewegungsfälle steuert, wird in weiterer Folge dabei auch von der Steuerungsmethode gesprochen.

Befindet sich der Werker in Warteposition so muss ihm ein Impuls gegeben werden, sobald sich ein arbeitshinderliches Attribut ändert. Dies ist zum einen das Vorhandensein des Bearbeitungsmerkmals in seinem Arbeitsbereich, welches bei Durchlaufen der absoluten Position des Arbeitsbereichsbeginns diese Steuerung aufrufen muss. Zum anderen muss der Werker, welcher keine Freigabe erteilen

[189] eigene Darstellung

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

konnte den Nachfolger über diese Freigabe informieren (vgl. Mitteilungsfall B Kapitel 3.5.6).

3.5.3 Verrichtung des Arbeitsinhalts linienintegrierter Werker

Im vorherigen Kapitel wurden die Grundvoraussetzungen für das Arbeiten am Bearbeitungsobjekt diskutiert. Hat das nächste Bearbeitungsobjekt eine signifikante Fertigungszeit, ist es in seinem Arbeitsbereich und durch all seine Vorgänger freigegeben kann das Arbeiten erfolgen. Dabei wird noch generell zwischen Arbeiten im Normalbetrieb und im Bandstopp unterschieden. Im hier gezeigten Kapitel wird dargestellt, wie die Modellierung einer Arbeitsmethode aussehen kann. Dabei werden zunächst grundsätzliche Zuweisungen getroffen, die Berechnungen durchgeführt und eine Unterscheidung in vier grundlegende Arbeitsfälle getroffen.

Wird durch einen Impuls die Methode „Arbeiten“ ausgelöst, so wird in jedem Fall eine mögliche Warteposition aufgehoben. Dabei wird dem Steuerungsattribut „Warten auf Vorgänger“ (WaV) die Beendigung des Wartefalls mitgeteilt. Weiteres befindet sich der Werker ab sofort im Status „arbeitend“. Zudem wird die Werkergeschwindigkeit in einem Arbeitsfall immer mit der aktuellen Bandgeschwindigkeit in Einklang gebracht.

Im nächsten Schritt erfolgen die Berechnung des Arbeitswegs und sodann eine Unterscheidung von Arbeitsfällen. Die Arbeitsendposition (SAE) und die Restarbeitszeit (RAZ) errechnet sich durch die allgemeinen Beziehungen, wie sie in Kapitel 3.3.3 hergeleitet wurden.

In Abbildung 18 sind neben den Berechnungsgrößen und den Attributzuweisungen die verschiedenen Arbeitsfälle dargestellt. Als primäres Unterscheidungsmerkmal dient das Vorhandensein einer Bandstoppkapazität (BSK). Trifft dies zu, bleiben die Fördergüter in Ruhe. Da eine Bearbeitung erfolgt und sich im Arbeitsfall die absoluten Bewegungen der Werker und der Werkstücke synchronisieren, verharrt auch der Werker in Ruhe. Seine Geschwindigkeit (v_W) ist Null.

Besteht eine Bandstoppkapazität, dann wird als nächstes noch überprüft wie lange der Bandstopp dauert. Ist die Restarbeitszeit kleiner als die Bandstoppkapazität (Arbeitsfall a1) heißt dies, dass die Arbeit am Objekt beendet wird bevor sich die Förderstrecke mit den Bearbeitungsobjekten wieder in Bewegung setzt. Folglich kommt es zu keiner Änderung des Geschwindigkeitszustandes des Werkers bevor der gesamte Arbeitsinhalt am Objekt verrichtet wurde. Die Position an der das Arbeitsende passiert ist die aktuelle Position. Die darauf folgende Bewegung ist das „Laufen“ zum nächsten Bearbeitungsobjekt nach der restlichen Bearbeitungszeit (RAZ). Es verbleibt eine künftige Bandstoppkapazität. Diese ist gegenüber der jetzigen Bandstoppkapazität um die Restarbeitsarbeitszeit reduziert.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

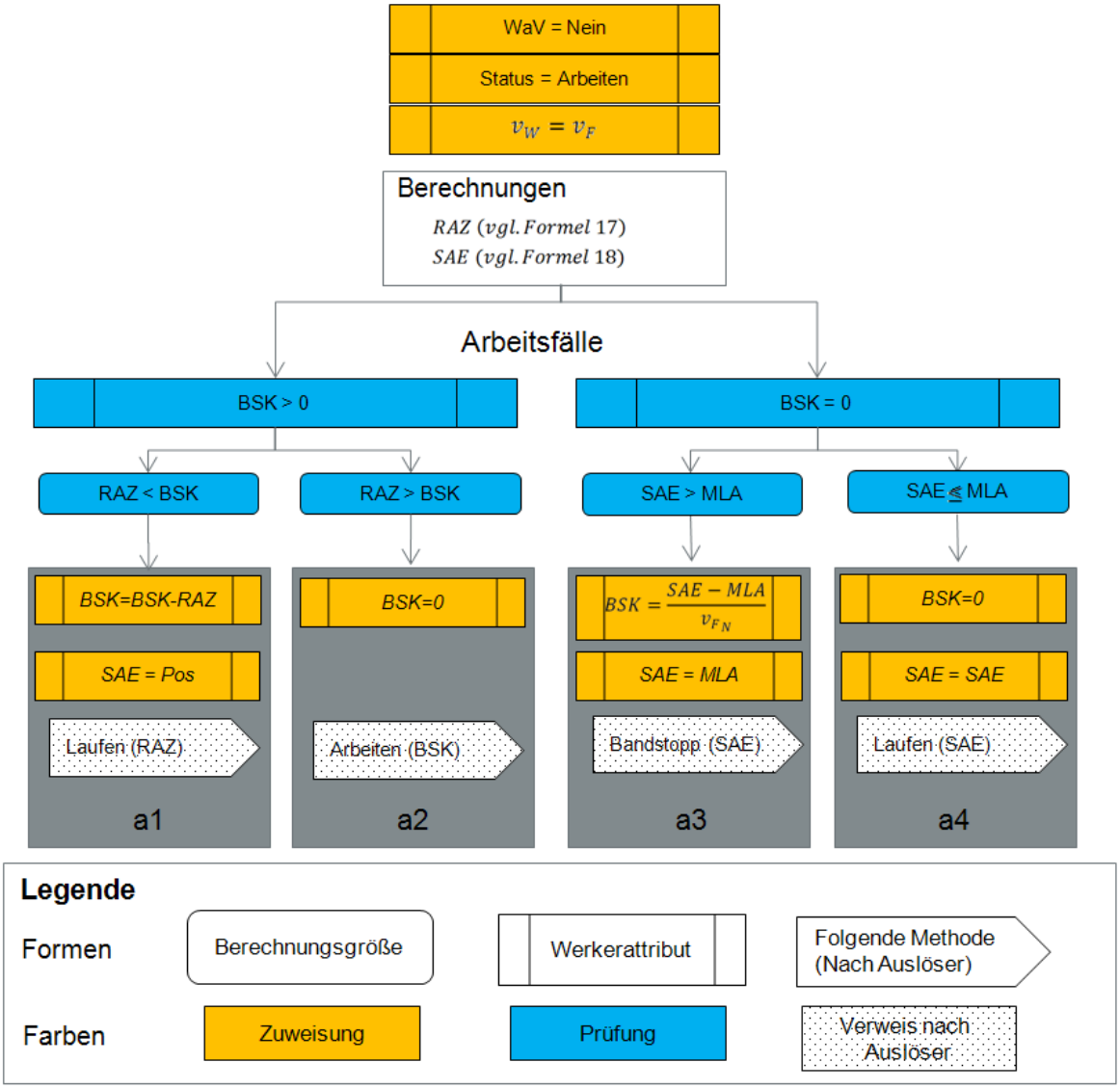

Abbildung 18: Arbeitsfälle bei Werkstückbearbeitung[190]

Ist eine Bandstoppkapazität vorhanden und ist dessen Wert kleiner als die Zeit bis zum Arbeitsende (a2) heißt dies, dass der Bandstopp endet, bevor die Arbeit am Objekt vollendet wurde. Es erfolgt somit eine Änderung des Bewegungszustandes des Werkers, während der Abarbeitung. Man kann diese Zustandsänderung modellieren, in dem man die Bearbeitung des Objekts mit der absoluten Geschwindigkeit von Null beginnen lässt und nach der Bandstoppkapazität, also der Zeit bis die Förderstrecke ihren Neuanlauf erfährt, erneut die Methode „Arbeiten“ aufruft. Die künftige Bandstoppkapazität ist Null, da die nächste Teilbewegung im Normelbetrieb stattfindet. Somit wird die nächste Abarbeitung mit dem Arbeitsfall (a3) oder (a4) fortgesetzt.

Ist die Bandstoppkapazität gleich Null befindet sich das System im Normalbetrieb. Im Arbeitsfall bewegen sich dann sowohl die Fördergüter als auch die Werker mit der

[190] eigene Darstellung

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

gewöhnlichen Fließbandgeschwindigkeit. Im Normalbetrieb unterscheidet man zwei Arbeitsfälle, welche aufgrund der berechneten Endposition bei Arbeitsende entstehen. Der Arbeitsweg eines Werkers kann nie unbegrenzt sein. Es wird beispielsweise durch Anlagen, welche eine weitere Bearbeitung verhindern, der maximale Arbeitsbereich vorgegeben. Spätestens durch das Ende der Förderstrecke wird die maximale Arbeitslänge eingegrenzt. Ist die Arbeit beim Erreichen des Begrenzungspunktes noch nicht abgeschlossen muss ein Bandstopp erfolgen, welcher solange andauert, bis die Arbeit beendet wurde. Bei den Berechnungen erfolgte bereits die Bestimmung des künftigen Arbeitsendes mit den gegebenen Größen. Nun wird überprüft, ob sich das Arbeitsende innerhalb oder außerhalb des maximalen Arbeitsbereichs befindet. Eine Anschauliche Darstellung zu dieser Überprüfung liefert Abbildung 19.

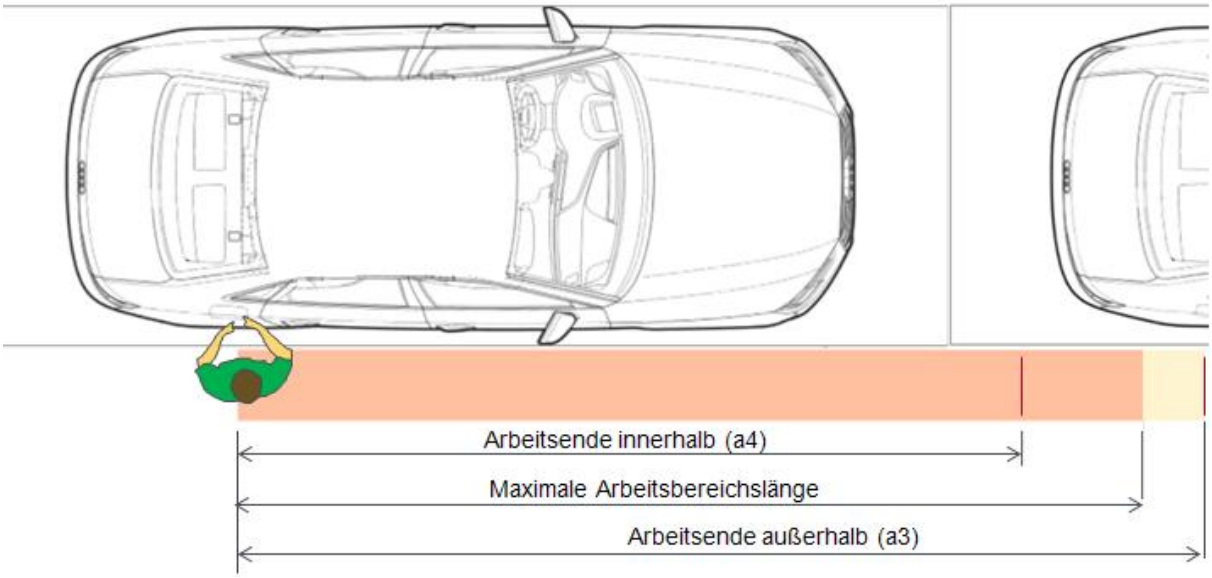

Abbildung 19: Position der Sensoren für das Arbeitsende[191]

Ist der berechnete Arbeitsweg größer als der Weg bis zum letztmöglichen Arbeitspunkt muss beim Erreichen der maximalen Arbeitsplatzlänge ein Bandstopp ausgelöst werden (a3). Dieser künftige Bandstopp dauert so lange, wie für die Abarbeitung der Überlänge nötig ist. Mathematisch ausgedrückt ergibt sich die künftige Bandstoppkapazität für die nächste Teilbewegung $k + 1$ zu

$$BSK_{k+1} = \frac{SAE - MLA}{v_{F_N}} \ .$$

Formel 20: Bandstoppkapazität beim Überschreiten des Arbeitsbereichs

Dabei ist BSK_{k+1} die künftige Bandstoppkapazität, SAE der berechnete Endpunkt der Arbeitsbewegung, MLA die maximale Länge des Arbeitsbereichs und v_{F_N} die

[191] eigene Darstellung

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

gewöhnliche Geschwindigkeit der Förderstrecke bzw. die aktuelle Geschwindigkeit des Werkers.

Der Endpunkt der Bewegung (a3) ist somit die maximale Arbeitsplatzlänge, welche bei dessen Durchlaufen die Methode Bandstopp auslöst. Diese Methode wirkt sich auf alle linienintegrierten Arbeitsplätze aus. Sie verändert die Geschwindigkeitszustände und löst eine Neuberechnung aller aktiven Teilbewegungen der Werker aus. Eine detaillierte Betrachtung der Methode Bandstopp erfolgt in Kapitel 3.5.8 Für den Werker der sich nun im Arbeitsfall (a3) befindet und sodann den Punkt der Bandstoppauslösung erreicht bedeutet dies, dass die Bandstoppmethode wieder ein „Arbeiten“ bei ihm auslöst. Seine Bandstoppkapazität ist nun größer Null und daher wird das „Arbeiten“ mit einem Arbeitsfall (a1) fortgesetzt. Die wesentlichen Operationen des Arbeitsfalls (a3) sind in Abbildung 18 auf Seite 58 ersichtlich.

Der noch nicht beleuchtete Arbeitsfall ist der gewöhnliche und gewünschte Arbeitsablauf. Es ist aktuell kein Bandstopp aktiv und das Arbeitsende liegt innerhalb des maximalen Arbeitsbereichs (Arbeitsfall a4). Somit ergibt sich auch keine künftige Bandstoppkapazität. Der Endpunkt der Arbeitshandlung ist gleich dem berechneten Arbeitsende, bei dessen Erreichen mit dem „Laufen“ zum nächsten Bearbeitungsobjekt fortgesetzt wird. Zusammengefasst ist der Arbeitsfall (a4) mit allen anderen Arbeitsfällen in Abbildung 18 auf Seite 58 dargestellt.

3.5.4 Einfluss von Vorgängertätigkeiten

Es wurde bereits erwähnt, dass Arbeitsplätze einer Fließfertigung von der Aufbaureihenfolge und dem fertigen Verbau aller notwendigen Schnittstellen sind. Damit entstehen Vorgänger-Nachfolger-Beziehungen, welche im Driftfall eines Vorgängers zu Verzögerungen bei den nachgelagerten Stationen führen können. In diesem Kapitel wird erläutert, wie diese Abhängigkeiten entstehen können und wie man sie berechnen kann. Zudem wird gezeigt, wie man eine Abhängigkeit durch mehrere Vorgänger behandeln kann.

Eine Beeinflussung durch Vorgängertätigkeiten verhindert den Montagebeginn eines Werkers. Damit muss vor Beginn der Tätigkeit geprüft werden, ob ein Einfluss vorliegt. In der Realität erfolgt dies meist nicht erst, wenn der Werker an seinem berechneten Arbeitsort ist und anfangen möchte zu arbeiten. Wird nämlich dann eine Beeinflussung festgestellt, so muss der Werker aufgrund der Fließbewegung der Werkstücke seine Position soweit verändern bis die Vorgängertätigkeit abgeschlossen ist und damit ein Arbeitsbeginn möglich ist. Dies hat zur Folge, dass die Laufwege zum Arbeitsort vor der Feststellung des Einflusses und der Laufweg der Positionsveränderung nach der Feststellung der Abhängigkeit zumindest zum

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Teil unnötig waren. Daher wird im Folgenden von einem proaktiven Erkennen der Abhängigkeit ausgegangen.

Zunächst wird beleuchtet, wie eine mögliche Beeinflussung durch Vorgängertätigkeiten geprüft werden kann. Wenn es mehrere Vorgänger gibt, genügt es den relevantesten Vorgänger herauszufiltern. Damit ist gemeint, dass der Vorgänger, welcher als letztes die Bearbeitung verhindert, gefunden wird. Die grundlegende Priorisierungssystematik zeigt Abbildung 20.

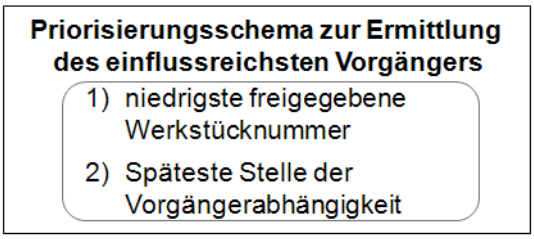

Abbildung 20: Einfluss von Vorgängertätigkeiten auf den Rücklaufweg[192]

Vorab ist zu prüfen, ob ein oder mehrere Vorgänger vorliegen und wenn ja, welcher davon den wichtigsten Einfluss hat. Die Priorisierung erfolgt hierbei zunächst über das Werkerattribut der geringsten freigegebenen Objektnummer und bei Gleichheit ist die späteste Stelle der Vorgängerabhängigkeit entscheidend um den wesentlichsten Vorgänger ausfindig zu machen. Mit der Stelle der Vorgängerabhängigkeit SVA wird das Arbeitsende SAE der Vorgänger auf den betrachteten Arbeitsplatz projiziert und dabei ein eventueller Unterschied der Arbeitsorte am Werkstück beachtet. Dies ist notwendig, da die Arbeitsendposition jene des betrachteten Werkers darstellt und alleine nicht die Objektposition zu diesem Zeitpunkt wiedergeben kann. Eine anschauliche Darstellung liefert Abbildung 21. Der Werker W ist von der Fertigstellung der Arbeit seines Vorgängers VG abhängig. W versucht nach der Fertigstellung des Objekts seine Position so weit wie möglich zu verbessern. Ein weiterlaufen zum nächsten Werkstück würde dem Werker W jedoch keinen Positionsvorteil liefern. Er muss an jener Stelle warten, an der sein Vorgänger die Tätigkeit vollenden wird. Da Werker W jedoch an einer anderen Werkstückposition arbeitet ist diese absolute Arbeitsendposition nicht mit der Warteposition ident. Die Stelle der Vorgängerabhängigkeit wird somit im Folgenden näher beleuchtet.

Bei der Abhängigkeitsberechnung durch das Arbeitsende muss also beachtet werden, dass die Größe des relativen Arbeitsbeginns rab berücksichtigt werden muss. Dabei ist das absolute Arbeitsende des Vorgängers um die Differenz der Merkmalspositionen am Werkstück zu erweitern. Die Arbeitsendposition des Vorgängers ist in der Simulation immer im Bezug auf seinen Arbeitsplatz gegeben. SVA muss für den Werker W auch auf seinen Arbeitsbereich bezogen vorliegen.

[192] eigene Darstellung

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Somit muss eine Umrechnung der relativen Größen erfolgen. Der Zusammenhang der Stelle der Vorgängerabhängigkeit bezogen auf den Arbeitsbereich von W mit der Arbeitsendposition des Vorgängers kann damit nach Abbildung 21 durch Formel 21 mathematisiert werden.

$$SVA_W = SAE_{VG} - (x_{WA_{Beg_W}} - x_{WA_{Beg_{VG}}}) + (rab_{VG} - rab_W)TL$$

Formel 21: Stelle der Vorgängerabhängigkeit

Die Größen $x_{WA_{Beg_W}}$ und $x_{WA_{Beg_{VG}}}$ sind hierbei die absoluten Positionen des Beginns der Arbeitsbereiche der jeweiligen Werker und wurden bereits in Kapitel 3.2.2 und der Formel 3 definiert.

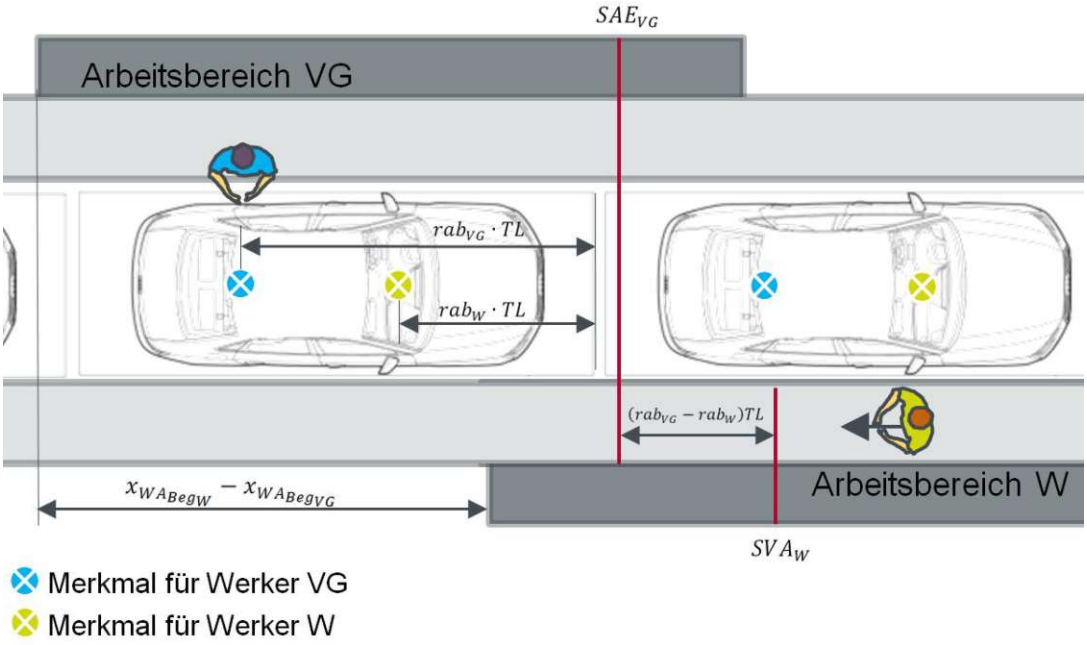

Abbildung 21: Arbeitsendposition und Vorgängerabhängigkeit[193]

Ist nun eine Priorisierung gemäß Abbildung 20 vorgenommen kann der relevante Vorgänger definiert werde. Eine Beeinflussung kann nur dann vorliegen, wenn die zuletzt freigegebene Objektnummer des einflussreichsten Vorgängers gleich der Bearbeitungsnummer des betrachteten Werkers ist. Dies bedeutet, dass für die Objektnummer, die auf die aktuelle folgt, noch keine Freigabe erteilt wurde und der Werker nun auf die Freigebe durch den Vorgänger warten muss. Ist die Bearbeitungsnummer des Werkers $ISTNr_W$ kleiner als die Freigabenummer $FGNr_{VG}$ des relevanten Vorgängers, so kann keine direkte Beeinflussung vorliegen, da die nächste Objektnummer in jedem Fall freigegeben ist. SVA_{W_i} erhält dann den Wert Null. Dies gilt auch bei gänzlicher Unabhängigkeit. Der Fall, dass die Bearbeitungsnummer des Werkers größer ist, als die, durch den relevanten Vorgänger freigegebene Nummer, kann nicht vorkommen, da sonst der Widerspruch

[193] eigene Darstellung

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

entstehen würde, dass der Werker aktuell ein nicht freigegebenes Objekt bearbeitet. Es können nun die Stellen der Vorgängerabhängigkeit SVA_{W_i} zur Weiterverarbeitung nach Formel 22 ermittelt werden und diese zur Bestimmung des relevanten Vorgängers $SVA_{W_{rel}}$ durch dessen größten Wert herangezogen werden.

$$SVA_{W_i} = \begin{cases} SAE_{VG_i} - (x_{WA_{Beg_W}} - x_{WA_{Beg_{VG_i}}}) + (rab_{VG_i} - rab_W)TL & \text{für } FGNr_{VG_i} = ISTNr_w \\ 0 & \text{für } FGNr_{VG_i} > ISTNr_w \text{ oder unabh.} \end{cases}$$

$$SVA_{W_{rel}} = \max\,(SVA_{W_i})$$

Formel 22: Stelle des relevanten Vorgängereinflusses

Ist nun die Bearbeitungsnummer mit der Freigabenummer des Vorgängers ident und besitzt obendrein die Stelle der Vorgängerabhängigkeit einen Wert größer Null kann prinzipiell eine Abhängigkeit vorliegen. Ergänzend sei noch erwähnt, dass alle anderen Vorgänger im aktuellen Bewegungsfall keinen Einfluss haben. Bei einer Neuberechnung aufgrund eines äußeren Impulses ist jedoch jedes Mal neu zu prüfen, welcher der Vorgänger den relevanten Einfluss auf den Nachfolger ausüben könnte und wo sich die Stelle der Arbeitsendposition bezogen auf den eigenen Arbeitsbereich befindet . Die eben erläuterte Systematik wird nun noch anhand eines Beispiels, wie es in Abbildung 22 dargestellt ist, manifestiert.

In Abbildung 22 sind drei Werker dargestellt die alle am selben Bearbeitungsmerkmal stationiert sind. Dabei sind die Werker A und B Vorgänger des Werkers C. Der Werker C hat soeben seine Bearbeitung an Bearbeitungsobjekt k vollendet und beginnt mit dem „Laufen“ zum nächsten Bearbeitungsstück und möchte als nächstes Werkstück $(k+1)$ bearbeiten. Nun soll nach obiger Systematik geprüft werden, ob eine Beeinflussung durch die Vorgänger vorliegen könnte und wenn ja, welcher den wesentlichen Einfluss darstellt. Die Systematik aus Abbildung 20 besagt nun, dass alle Vorgänger von Werker C hinsichtlich der Freigabe für das nächste Bearbeitungsobjekt überprüft werden müssen. Werker A hat das Bearbeitungsobjekt $(k+1)$ bereits freigegeben. Er kann somit den Werker C nicht beeinflussen. Der Werker B arbeitet noch an selbigen und hat erst die Objektnummer k zur weiteren Bearbeitung freigegeben. Damit ist der relevanteste Vorgänger Werker B. Die Rücklaufbewegung von Werker C macht somit auch nur bis maximal des Arbeitsendpunktes von Werker B Sinn, wenn Werker C am gleichen Ort am Werkstück arbeitet wie Werker B, da eine Bearbeitung nicht vor diesem Ort erfolgen kann. Es ist weiteres noch zu prüfen, ob Werker C vorher seinen Ort des frühestmöglichen Arbeitsbeginns erreicht. Damit würde die Begrenzung des Rücklaufweges auf den Arbeitsplatzbeginn fallen, da vorher keine Bearbeitung stattfinden kann. Wie aus Abbildung 22 ersichtlich ist, befindet sich das Arbeitsende des relevantesten Vorgängers innerhalb des Arbeitsbereichs und daher ist eine Beeinflussung durch Werker B generell möglich. Der Rücklaufendpunkt für Werker C

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

aufgrund der Abhängigkeit von Werker B ist SAE_B bezogen auf den Arbeitsbereich von Werker C. Später bei der Unterscheidung der Lauffälle muss noch geprüft werden ob wirklich eine Beeinflussung aufgrund der Vorgänger vorliegt oder ob der Rücklaufweg ohnehin kürzer ist, als der Weg bis zum Arbeitsende des relevanten Vorgängers.

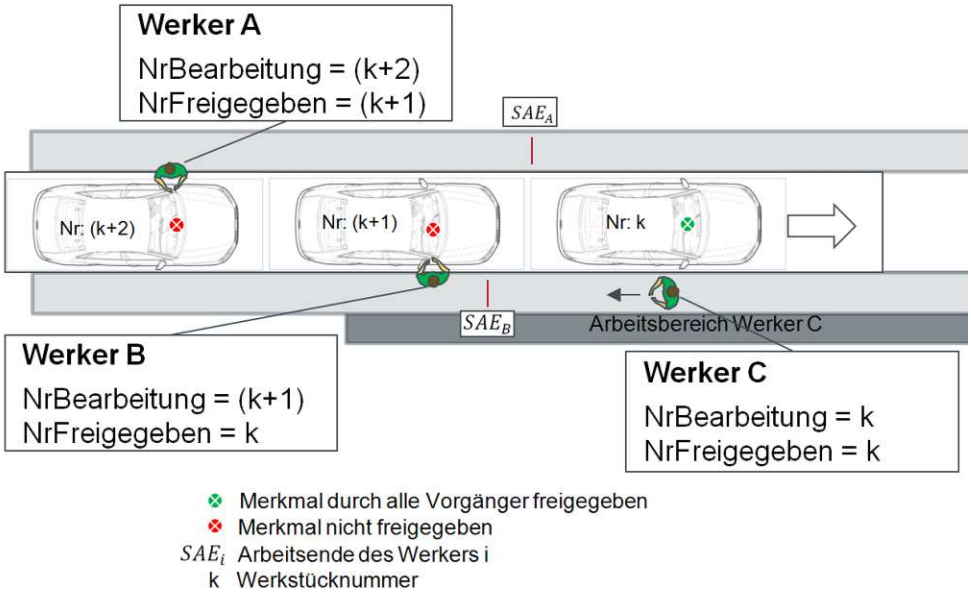

Abbildung 22: Systematik zur Ermittlung der Beeinflussung durch Vorgänger[194]

3.5.5 Positionsveränderung linienintegrierter Werker

Um von einem Bearbeitungsobjekt zum nächsten zu gelangen, ändert der Werker im Allgemeinen seine Position. Dabei wird versucht die Position so weit wie nur möglich zu verbessern, so dass er sich möglichst nahe an den Ort des frühestmöglichen Arbeitsbeginns begibt. Der Endpunkt dieser Bewegung ist nach Formel 14 auf Seite 47 berechenbar. Dabei gibt der obere Teil den gesamten Rücklaufweg an. Beim unteren Teil wird die Bewegung durch den Beginn des Arbeitsbereichs eingeschränkt. Die Bewegung kann aber auch dadurch begrenzt sein, dass Vorgängertätigkeiten noch nicht abgeschlossen sind und die folgende Bearbeitung deshalb nicht schon an einem früheren Ort erfolgen kann. Dies wurde im vorherigen Kapitel behandelt. Der Akt der Positionsänderung wird im Folgenden auch als „Laufen“ bezeichnet. Dies umfasst das Zurücklaufen und die Positionsveränderung aufgrund äußerer Einflüsse. Welche Regeln für die Unterscheidung der verschiedenen Bewegungsfälle gelten, wie weit der Werker seine Position verändern muss und auf welche Attribute sich der Zustand „laufend“ auswirkt, wird in diesem Kapitel diskutiert. Der Gesamtprozess der Teilbewegung „Laufen“ ist in Abbildung 23 dargestellt.

[194] eigene Darstellung

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

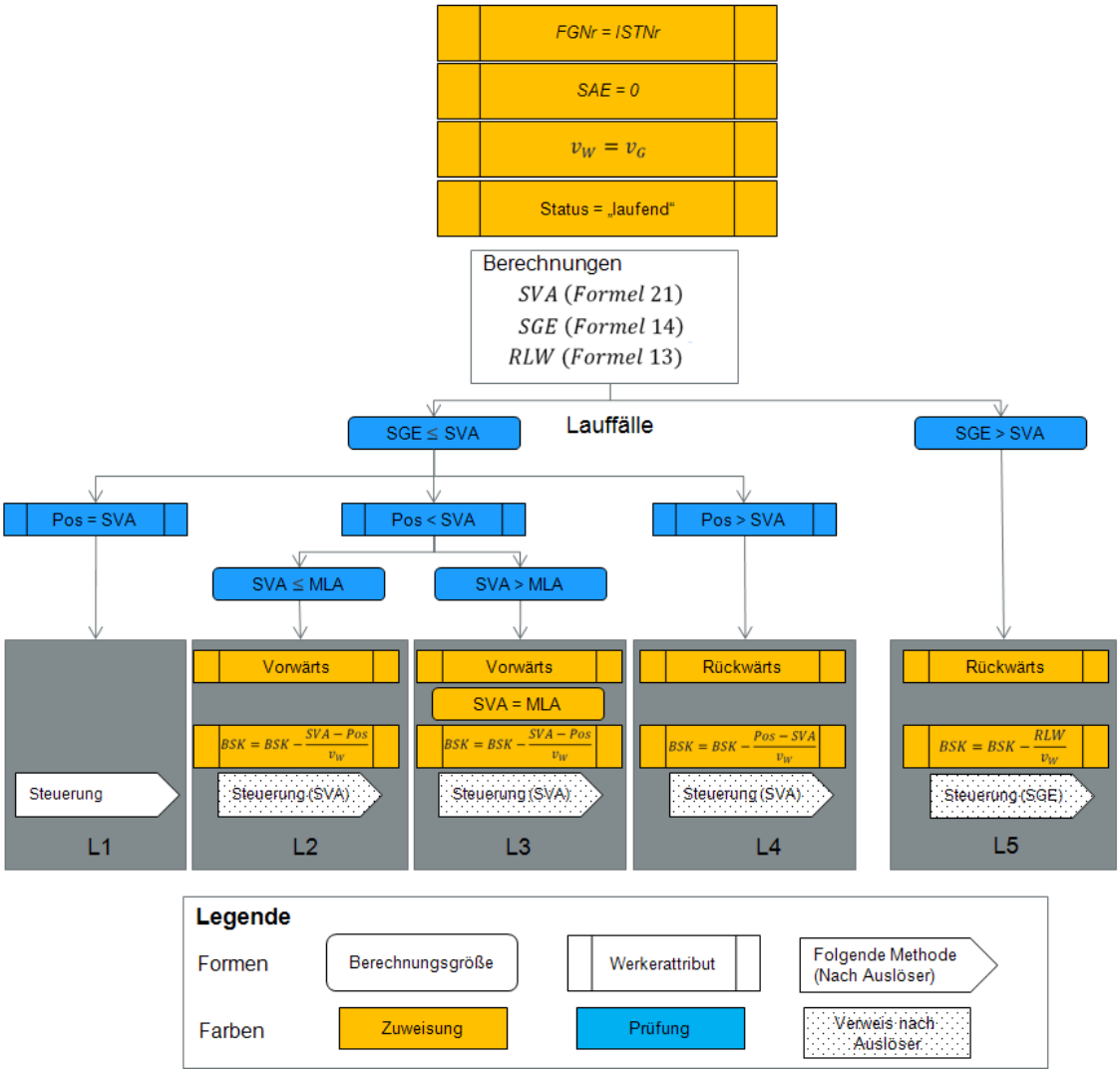

Abbildung 23: Detailprozesse der Methode "Laufen"[195]

Zunächst werden die methodenspezifischen Attribute zugewiesen. Darauf folgen die Bestimmung des relevanten Vorgängers mit der Stelle der Vorgängerabhängigkeit und sodann die Berechnungen der Rücklaufbewegung. Anschließend werden Fallunterscheidungen getroffen. Dabei wird unterschieden ob der Vorgängereinfluss oder der berechnete Rücklaufweg die Bewegung bestimmt und auch in welche Richtung sich der Werker bewegen muss. Die Details dieses Prozesses werden im Folgenden beschrieben.

Ein „Laufen" erfolgt immer nach der Vollendigung des Arbeitsinhaltes am Bearbeitungsobjekt. Daher wird das aktuelle Werkstück immer für die Nachfolger freigegeben und das Arbeitsende wird zurückgesetzt. Der Werkerstatus wird zu „laufend" gesetzt und die Werkergeschwindigkeit wird zu der Gehgeschwindigkeit.

Auf die Zuweisung der Attribute erfolgt die Bestimmung des relevanten Vorgängers mit der Bestimmung der Stelle der Vorgängerabhängigkeit. Wie diese erfolgen kann

[195] eigene Darstellung

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

wurde oben in Kapitel 3.5.4 bereits gezeigt. Weiteres ist die Endposition der Gehbewegung zu berechnen. Die wesentlichen Gesetze wurden in Kapitel 3.3 hergeleitet.

Sind nun die Endpositionen aufgrund der Abhängigkeiten und aufgrund der regulären Rücklaufbewegungen bestimmt, kann die konkrete Bewegung definiert werden. Dabei sind fünf grundlegende Lauffälle zu unterschieden. Einerseits wird unterschieden ob die Bewegung durch eine Vorgängerabhängigkeit begrenzt wird oder ob eine reguläre Rücklaufbewegung erfolgt. Eine Begrenzung durch einen Vorgänger liegt dann vor, wenn die Endposition des relevanten Vorgängers weiter in den Arbeitsbereich des Werkers ragt als die berechnete Endposition ohne Abhängigkeit. Ein Beispiel für diese Lauffallkonfiguration liefert Abbildung 24. Es existiert hier ein relevanter Vorgänger, welcher das Merkmal zu dem sich der Werker nun bewegt, noch nicht freigegeben hat. Würde der Werker seinen regulären Rücklaufweg antreten, gäbe es beim Eintreffen am Endpunkt der Rücklaufbewegung keine Freigabe für den Werker das Merkmal zu bearbeiten. Diese wird räumlich erst beim Arbeitsende des Vorgängers erteilt. Daher kann ein Bearbeiten erst ab diesem Punkt erfolgen und der Werker muss sich nur bis zum Arbeitsendpunkt des Vorgängers bewegen.

Nun ist noch zu Prüfen in welche Richtung sich der Werker bewegt. Ist die Position des Werkers auf dem Arbeitsplatz (Pos) größer als der Ort an dem der Vorgänger seine Arbeit abschließt, muss eine Bewegung entgegen der Förderrichtung erfolgen (Lauffall L4). Das „Zurücklaufen“ ist auch in Abbildung 24 dargestellt. Die Bandstoppkapazität wird um die Zeit reduziert, welche für das Erreichen des Arbeitsendpunktes des Vorgängers nötig ist. Die darauf folgende Methode ist die Steuerungsmethode um eine Arbeitsentscheidung für das nächste Werkstück zu treffen.

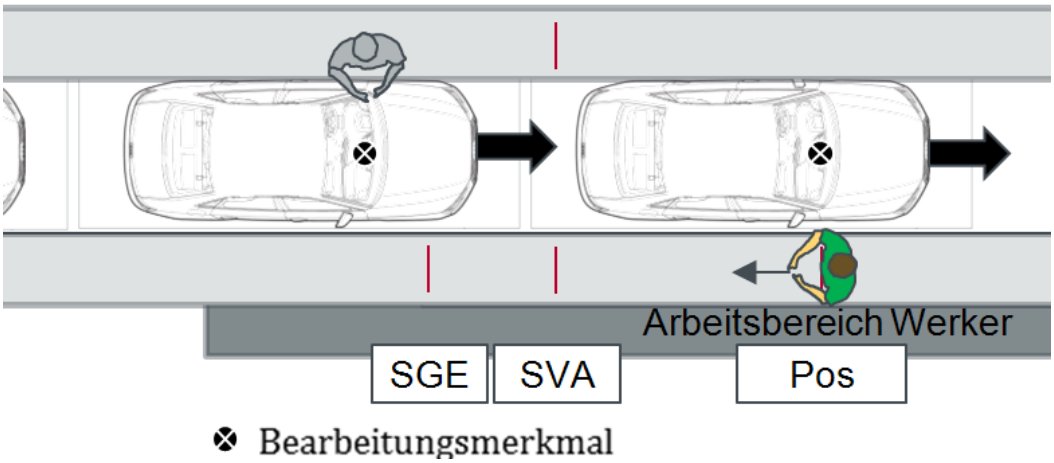

Abbildung 24: Beispiel zur Lauffallzuordnung (Lauffall L4)[196]

[196] eigene Darstellung

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Liegt beim „Laufen“ eine Beeinflussung durch Vorgängertätigkeiten vor und ist das Arbeitsende des relevanten Vorgängers hinter der Werkerposition, muss der Werker „Vorlaufen“, sich also in Förderrichtung bewegen um zum Arbeitsendpunkt des Vorgängers zu gelangen. Zu unterscheiden ist noch, ob sich dieser Arbeitsendpunkt innerhalb (L2) oder außerhalb (L3) des Arbeitsbereichs befindet. Liegt ein Vorlaufen vor und wird dieses innerhalb des Arbeitsbereichs beendet erfolgt analog Lauffall L3 eine Änderung der Bandstoppkapazität um die Vorlaufzeit. Auch hier wird dann die Steuerungsmethode beim Erreichen des Arbeitsendpunktes aufgerufen. Liegt der Punkt, welchen der Werker erreichen will, außerhalb des maximalen Driftbereichs muss in weiterer Folge ein Bandstopp geschehen, damit der Arbeitsbeginn für das nächste Bearbeitungsobjekt innerhalb des Arbeitsbereichs fällt. Dies kann zum Beispiel dadurch umgesetzt werden, dass sich der Werker bis zum Ort des maximalen Arbeitsbereichs begibt und dort auf das zu bearbeitende Merkmal wartet. Dieses ist durch seinen Vorgänger nicht freigegeben, als sich das Merkmal dann auf Höhe des Werkers befindet. Spätestens hier muss der Bandstopp erfolgen, da keine örtlich spätere Bearbeitung zulässig ist. Die folgende Bandstoppzeit setzt sich nun aus der Restarbeitszeit des Vorgängers und der gesamten Arbeitszeit des betrachten Werkers zusammen. Erst nach der vollständigen Bearbeitung kann der Bandstopp aufgehoben werden. Um dieses Szenario zu modellieren, muss schon bei der Vorlaufbewegung eine Werkerkommunikation stattfinden, um den Bandstopp auszulösen, wenn das Merkmal die maximale Arbeitsbereichslänge durchläuft. Dazu sei auf das Kapitel 3.5.6 verwiesen. Im Lauffall L3 wird die Bewegungsrichtung „vorwärts“ zugewiesen und der Werker bewegt sich bis zum Ort des maximalen Arbeitsbereichs. Die Bandstoppkapazität reduziert sich um den Laufzeit bis zum Endpunkt der Laufbewegung.

Für die praktische und programmtechnische Umsetzung ist zur Vollständigkeit noch der Fall aufgezeigt, bei dem das Arbeitsende des relevanten Vorgängers mit der Werkerposition übereinstimmt (Lauffall L1). Man könnte diesen Lauffall auch nach L2 oder L4 modellieren, wobei die jeweilige Laufzeit Null wäre. Da jedoch keine Positionsveränderung stattfindet wird auch kein Impuls aufgrund des Durchlaufens eines Sensors angeregt und somit keine Nachfolgemethode aufgerufen. Daher wird im Lauffall L1 der direkte Zusammenhang mit der Steuerungsmethode notwendig und eine Änderung der Bandstoppkapazität erfolgt nicht.

Auf die Laufbewegungen L1, L2, L3 oder L4 erfolgt ein Aufruf der Steuerungsmethoden. Nach der Prüfung der Steuerungsattribute wir hierbei die Steuerung immer einen Wartefall einleiten. Entweder das Bearbeitungsobjekt ist nicht freigegeben oder es ist nicht bearbeitbar. Letzteres liegt vor wenn $SVA = 0$ ist und der berechnete Endpunkt ohne Abhängigkeit ebenfalls den Wert Null zugewiesen bekommt.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Liegt keine oder nur eine geringe Abhängigkeit vor und wird der Beginn des Arbeitsbereichs nicht erreicht, dann erfolgt eine Bewegung entgegen der Förderrichtung mit dem berechneten Rücklaufweg (Lauffall L5). Die aktuelle Position muss größer als der Rücklaufweg sein und der berechnete Endpunkt ist kleiner als die aktuelle Werkerposition mit einem Wert größer Null. Daher muss hier keine Unterscheidung aufgrund der Werkerposition erfolgen. Es wird immer „rückwärts“ gegangen und der Endpunkt der Bewegung ist näher als der frühestmögliche Arbeitsbeginn auf dem Arbeitsbereich. Die Bandstoppkapazität reduziert sich um die Zeit, welche für den Rücklaufweg notwendig ist. Beim Erreichen des berechneten Endpunktes wird die Steuerungsmethode aufgerufen. Der Werker wird dann auf ein freigegebenes und bearbeitbares Objekt treffen.

In diesem Kapitel wurde gezeigt, wie sich die Werker nach Beendigung der Abarbeitung bewegen können und mit welchen Kriterien die Lauffälle unterschieden werden. Es existieren allerdings noch weitere Positionsveränderungen die aufgrund eines Impulses durch einen anderen abhängigen Arbeitsplatz entstehen. Die Positionsverbesserung aufgrund eines Zurufs wird im Kapitel 3.5.6 diskutiert.

3.5.6 Werkerkommunikation

In den vorhergehenden Kapiteln wurde besprochen, welche Bewegungen Werker aufgrund der Zusammensetzung von Attributen und Parametern vollführen. Die Impulse für die Änderungen der Attributwerte entstehen meist durch den Übergang der eigenen Teilbewegung zu einer Anderen. Manchmal wird aber die Bewegung des Werkers auch durch Zustandsänderungen von anderen Werkern hervorgerufen. Daher muss der Werker über die relevanten Zustandsänderungen der beeinflussenden Werker informiert werden. Es wurden drei bedeutende Mitteilungsarten identifiziert. Diese wurden in die Mitteilungsfälle A, B und C klassifiziert und sind nun im Folgenden dargestellt.

Mitteilungsfall A informiert alle Nachfolger darüber, dass mit dem Arbeiten begonnen und ein neues Arbeitsende berechnet wurde. Somit muss dieser Mitteilungsfall immer dann angewendet werden, wenn ein neues Arbeitsende zugewiesen wird. Dies ist in den Arbeitsfällen a1, a3 und a4 der Fall. Die Systematik ist in Abbildung 25 dargestellt.

Dass der Vorgänger eine neues Arbeitsende besitzt, ist vor allem für die Werker entscheidend, die sich aktuell mit der letzten Arbeitsendposition des Vorgängers befasst haben. Dies können alle Nachfolger sein, welche sich aktuell auf dem Laufweg zum nächsten Bearbeitungsobjekt befinden oder Nachfolger die derzeit in Wartestellung agieren. Ergo könnten alle Nachfolger betroffen sein, die aktuell nicht den Status „arbeitend“ besitzen. Arbeitende Werker müssen sich in der aktuellen Teilbewegung keine Gedanken über einen Vorgängereinfluss machen. Dies muss

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

erst nach der Bearbeitung und dem Zurücklaufen zum nächsten Bearbeitungsobjekt geschehen. Allen nicht arbeitenden Nachfolgern wird kollektiv die Methode „Laufen“ aufgezwungen. Ist der betroffene Werker schon vorher im Status „laufend“ gewesen wird der Laufweg neu berechnet. Hat die Änderung des Arbeitsendpunktes dieses Vorgängers keinen Einfluss auf den Laufweg, bestand keine Beeinflussung durch diesen Vorgänger. Die Endposition der Laufbewegung errechnet sich somit in diesem Fall zu der vorherigen. Auch für einen „wartenden“ Nachfolger ist das Aufrufen der Methode „Laufen“ sinnvoll. Da sich der Arbeitsendpunkt des Vorgängers geändert hat wäre eine Positionsverbesserung denkbar. Wenn keine Positionsverbesserung möglich ist, wird der Fall L1 des „Laufens“ erfolgen. Hierbei wird die Steuerung den Werker zurück in seine Wartestellung versetzen.

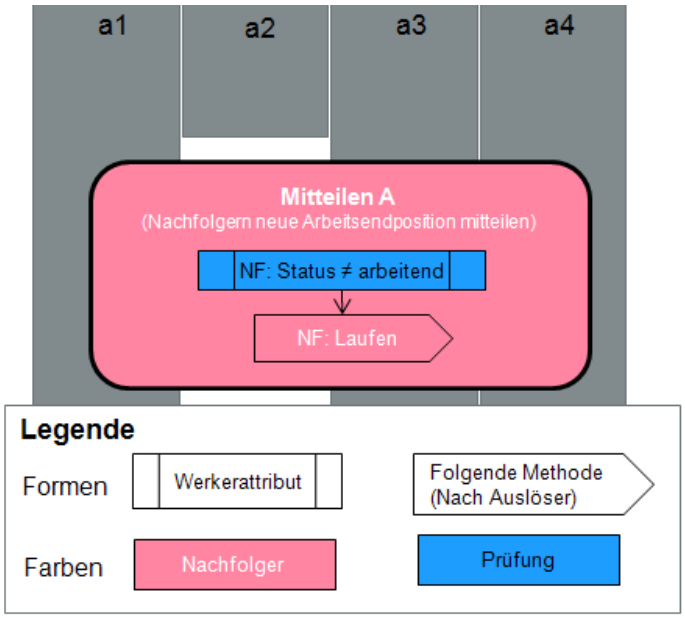

Abbildung 25: Werkerkommunikation nach Mitteilungsfall A[197]

Mitteilungsfall B teilt allen Nachfolgern mit, dass die Bearbeitung eines Werkstücks abgeschlossen ist und dieses sodann freigegeben wird. Die Freigabe erfolgt beim Aufrufen der Methode Laufen. Diese Information kann für alle Nachfolger von Belang sein, welche aktuell auf die Freigabe eines Vorgängers warten. Diese Eigenschaft enthält das Attribut „Warten auf Vorgänger“ WaV, wenn es einen Wahrheitswert besitzt. Das sind alle Werker die sich aktuell in einem Wartefall W1 befinden. Für alle anderen Nachfolger ist die Objektfreigabe aktuell nicht von Belang.

Allen wartenden Nachfolgern wird der Impuls gegeben, die Steuerungsmethode zu durchlaufen und somit zu Prüfen ob der Wartefall W1 nun verlassen werden kann. Dabei reduziert sich im Bandstoppfall die Bandstoppkapazität um die Wartezeit. Diese errechnet sich aus der Zeitdifferenz zwischen Wartebeginn und der aktuellen Zeit. Der Wartebeginn wird anschließend auf die aktuelle Zeit zurückgesetzt, damit

[197] eigene Darstellung

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

eine korrekte Berechnung der Bandstoppkapazität erfolgen kann, wenn der gerade informierte Werker immer noch auf einen Vorgänger wartet und dieser Mitteilungsfall später durch den relevanten Vorgänger erneut aufgerufen wird. Eine anschauliche Darstellung der Mitteilung nach Fall B liefert Abbildung 26.

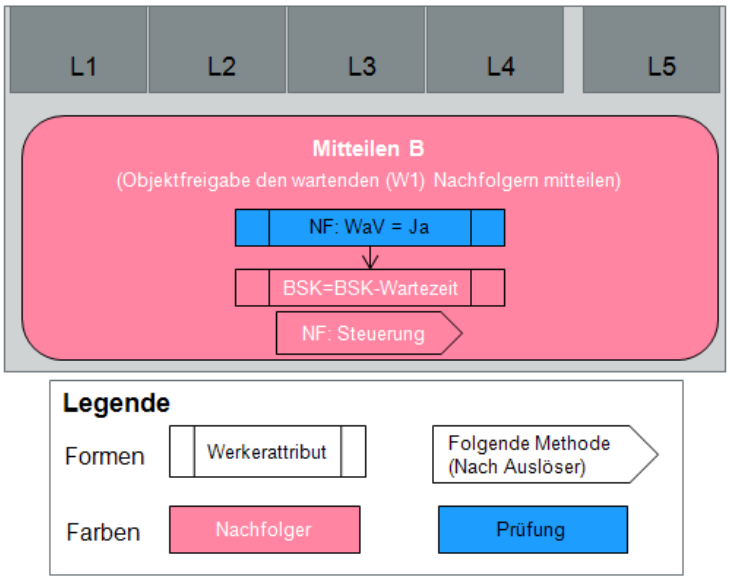

Abbildung 26: Werkerkommunikation nach Mitteilungsfall B[198]

Mitteilungsfall C beschäftigt sich mit der Kommunikation zwischen zwei Werkern, welche durch eine Vorgänger-Nachfolgerbeziehung gekoppelt sind. Dabei bemerkt der Impulsgeber, dass er aufgrund eines Vorgängereinflusses einen Ort für die künftige Arbeitsaufnahme zugewiesen bekommen hat, welcher sich außerhalb seines maximalen Arbeitsbereichs befindet. Diese Feststellung macht der Werker, wenn er sich im Lauffall L3 befindet Die Notwendigkeit eines Handlungsbedarfes wurde bereits in Kapitel 3.5.5 kurz erläutert. Eine Arbeitsaufnahme außerhalb des Arbeitsbereichs ist nicht zulässig. Damit der Arbeitsbeginn innerhalb des zulässigen Arbeitsbereichs erfolgen kann, muss daher die Förderstrecke für eine bestimmte Zeit angehalten werden, so dass sich das Arbeitsende des Vorgängers örtlich spätestens an der maximalen Arbeitsbereichslänge befindet. Sinnvollerweise wird mit dem Bandstopp bis zur letzten Sekunde gewartet, da gegebenenfalls durch andere Arbeitsplätze eine Situationsverbesserung entstehen könnte und daher der Ort für die künftige Arbeitsaufnahme eventuell durch Neuberechnungen doch innerhalb liegen würde. Somit kann man diesen Mitteilungsfall, wie in Abbildung 27 dargestellt, modellieren.

Während des Lauffalls L3 begibt sich der Werker zum Ende seines Arbeitsbereichs. Dem einflussgebenden Werker, aufgrund dessen der Lauffall L3 gewählt wurde, wird nun mitgeteilt, dass er bei der, auf seinen Arbeitsbereich projizierten, Endposition des betroffenen Nachfolgerarbeitsbereichs MAL_W einen Bandstopp einleiten muss. Dazu

[198] eigene Darstellung

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

muss ihm eine Bandstoppkapazität zugewiesen werden. Diese ergibt sich zu der Verschiebungstrecke des Arbeitsendpunktes geteilt durch die Bandgeschwindigkeit. Der angesprochene Werker hat nun ein neues Arbeitsende, welches durch das Attribut SAE zugewiesen wird. Man beachte, dass nach Beendigung des hier eingeleiteten Bandstopps sofort ein erneuter Bandstopp erfolgt. Der Auslöser ist dann der jetzige Impulsgeber, welcher für die gesamte Bearbeitungszeit am Objekt das Band still halten muss, da dieser sich am Ende seines Arbeitsbereichs befindet.

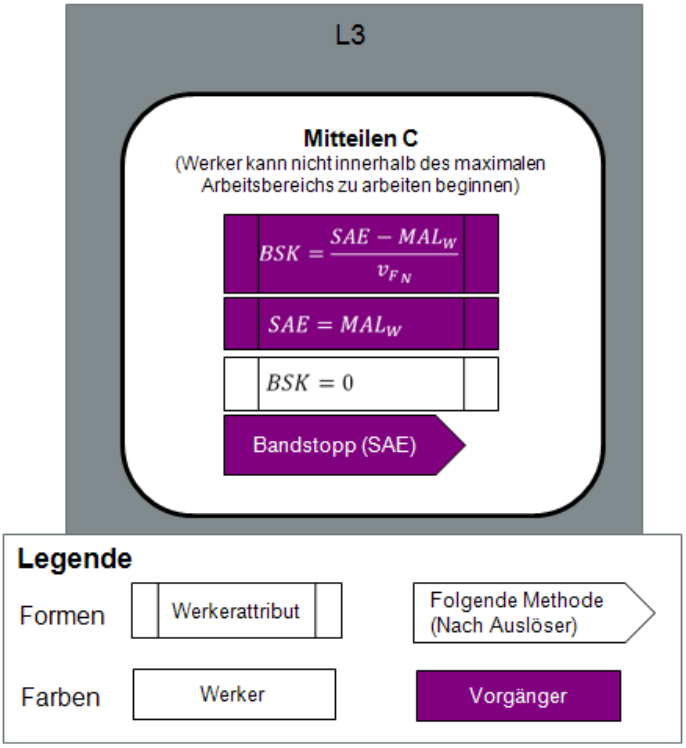

Abbildung 27: Werkerkommunikation nach Fall C[199]

3.5.7 Nicht linienintegrierte Arbeitsplätze

Die bisherigen Betrachtungen bezogen sich auf die Bewegung der linien- und taktgebundenen Arbeitsstationen. Zur Vollständigkeit werden hier noch die Prozesse der nicht linienintegrierten Arbeitsplätze beleuchtet.

In den Annahmen wurde davon ausgegangen, dass Arbeitsplätze keinen Laufweg zur Materialanstellung besitzen. Da sich die Arbeitsstationen von nicht linienintegrierten Werkern während der Bearbeitung nicht bewegen, verharrt auch der Werker stets in Ruhe und vollführt somit keine Bewegung.

Da hier der Werker auch nicht streng an die Taktzeit gebunden ist, kann der Werker nach der Fertigstellung eines Moduls direkt zum nächsten Werkstück übergehen, sofern er das eben produzierte Modul in seinem Puffer ablegen kann. Der Puffer wird jedoch fortlaufend durch den Verbauer an der Montageline entleert. Falls im Puffer

[199] eigene Darstellung

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

alle Plätze belegt sind muss der Werker auf eine Entnahme vom Verbauer warten um das Teil ablegen zu können. Es entstehen Wartezeiten. Andererseits wenn im Puffer beim Zeitpunkt der Entnahme des Verbauers das entsprechende Modul nicht bereitsteht, kommt es zum Bandstopp an der Linie. Nur durch eine Leistungserhöhung kann der Vormontagearbeiter das Modul noch rechtzeitig liefern. Dies stellt jedoch eine Überlastung der Station dar.

Die wesentlichen Stellgrößen bezüglich der Überlastung und der Auslastung bilden somit eine abgestimmte Austaktung von Verbauer- und Vormontagearbeitsplatz und die Größe des Puffers.

3.5.8 Bandstopp und Leistungsanpassung

Erreicht der linienintegrierte Werker das Ende seines Arbeitsbereichs und ist dabei die Verrichtung des Arbeitsinhalts noch nicht abgeschlossen, dann ist der Arbeitsplatz überlastet und es erfolgt ein Bandstopp. Es wird hier noch eine weitere Optionsmöglichkeit eingeführt, um der Überlastung zu entgegnen. Hierbei wird angenommen, dass es zu keinen ungeplanten Bandstopps kommen kann und die Werker die Tätigkeiten mit Hilfe einer kurzfristigen und sprunghaften Überhöhung des Dauerarbeitsniveaus rechtzeitig fertigstellen. In der Realität entspricht das einer Arbeitsleistung die über dem Normalarbeitsniveau liegt. Die Sinnhaftigkeit dieser Optionsmöglichkeit liegt in der besseren Möglichkeit zur Austaktung, da in der Simulation anderen Arbeitsplätzen durch eine Überlastung nicht mehr Zeit zur Verrichtung der Arbeitsinhalte gegeben wird und damit eine mögliche Überlastung verdeckt werden könnte. Es ist zu beachten, dass eine Leistungserhöhung keine Realitätsvorgabe sein darf, sondern lediglich zur Ermittlung der simulierten Überlastung eingesetzt werden soll. Will man das Realsystem abbilden, ist eine Betrachtung mit Bandstopp sinnvoll. Die beiden Möglichkeiten zum Umgang mit Überlastungen sind in Abbildung 28 visualisiert.

Tritt ein Bandstopp ein, so wird der Betrag der Geschwindigkeit der Bearbeitungsobjekte zu Null verändert. Damit können sich auch die Geschwindigkeitszustände der Werker verändern. Beim Passieren eines Bandstopps müssen daher alle Werker über diesen geänderten Geschwindigkeitszustand der Bearbeitungsobjekte informiert werden. Somit kann man den Bandstopp auch als Mitteilungsfall sehen. Die wesentliche Systematik ist in Abbildung 29 dargestellt.

Es wurde bereits erläutert, dass der Betrag einer Bandstoppzeit unter Einhaltung der jeweiligen Normarbeitszeit immer gegeben ist. Im geplanten Fall, etwa durch Pausenzeiten oder Wartungsintervallen ist dies direkt durch die Planwerte ersichtlich. Selbst im ungeplanten Fall ist aufgrund der gegebenen Eingangsgrößen und die, sich daraus ergebende Bandstoppkapazität die Dauer des Bandstopps zu jeder Zeit berechenbar.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek WIEN Your knowledge hub

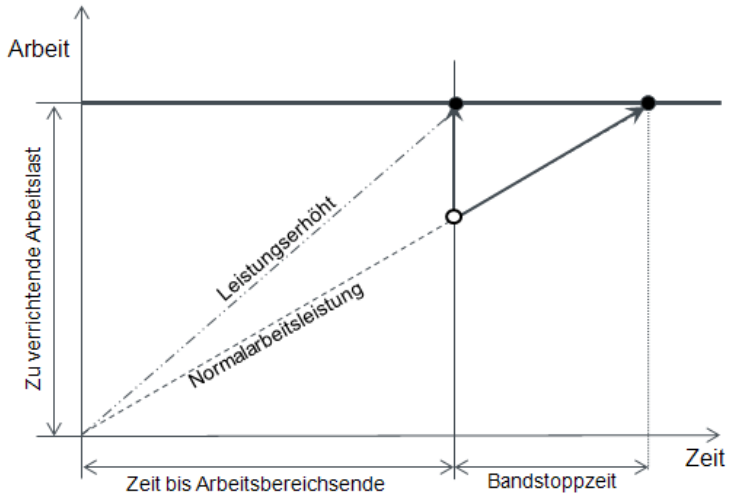

Abbildung 28: Bandstopp und Leistungsanpassung[200]

Welche Operationen im Bandstoppfall auftreten, auf welche Attribute sich die Methode auswirkt und welche Impulse die Methode hervorruft ist in Abbildung 29 ersichtlich. Zunächst wird die Bandstoppzeit ermittelt, welche durch den Impulsgeber des Bandstoppaufrufs bestimmt wird. Der Methodenaufruf kann verschiedene Ursachen haben. Kommt es zu einem fehlenden Modul ist die Bandstoppzeit gleich der Wiederbeschaffungszeit. Im zweiten ungeplanten Fall kann der Bandstopp auch aufgrund eines Überschreitens des maximalen Arbeitsbereichs hervorgerufen werden. Die Bandstoppzeit entspricht dabei dann der Bandstoppkapazität des Auslösers. Diese wurde in der Methode „Arbeiten“ im Arbeitsfall a3 zugewiesen. Im geplanten Fall entspricht die Bandstoppzeit des Planwerts.

Nun ist noch zu bestimmen, wie dieser vorliegenden Bandstoppzeit entgegnet werden soll. Wie oben erklärt, kann man einen Bandstopp in der Simulation zulassen oder von einer überhöhten Werkerleistung ausgehen. Ist der aktive Bandstopp ein ungeplanter und ist die Überlastungsentgegnung mit Leistungsanpassung vorgenommen, dann wird die Bandstoppzeit und die Bandstoppkapazität Null gesetzt, sowie ein „Laufen“ zum nächsten Bearbeitungsobjekt eingeleitet. Dies ist Notwendig, da dem auslösenden Werker hiermit signalisiert wird, dass er seinen Arbeitsinhalt bereits jetzt fertiggestellt hat und er sich zum nächsten Objekt bewegen kann. Im Bandstoppfall muss eine Mitteilung an alle Werker erfolgen. Zum jetzigen Zeitpunkt haben alle Werker die gleiche verbleibende Zeit, in der die Förderstrecke für sie in Ruhe ist, und diese ist gleich der lokalen Größe der Bandstoppzeit BSZ. Daher wird jedem Werker eine Bandstoppkapazität in Höhe der Bandstoppzeit zugewiesen. Darauf folgend wird nun jedem Werker aufgrund seiner letzten Bewegung eine Methode zugewiesen. „Arbeitende“ Werker werden weiter arbeiten und für „laufende“ Werker wird die Methode „Laufen“ aufgerufen. Diese Werker führen ihre bereits begonnen Handlungen nun mit einem anderen

[200] eigene Darstellung

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Geschwindigkeitszustand fort, da ihre Bandstoppkapazität nun größer Null ist. „Wartende“ Werker werden über die Steuerungsmethode wieder zurück in ihren jeweiligen Wartezustand geführt. Dies ist Notwendig um den Einfluss der Bandstoppkapazität hinsichtlich des Wartebeginns neu zu berechnen.

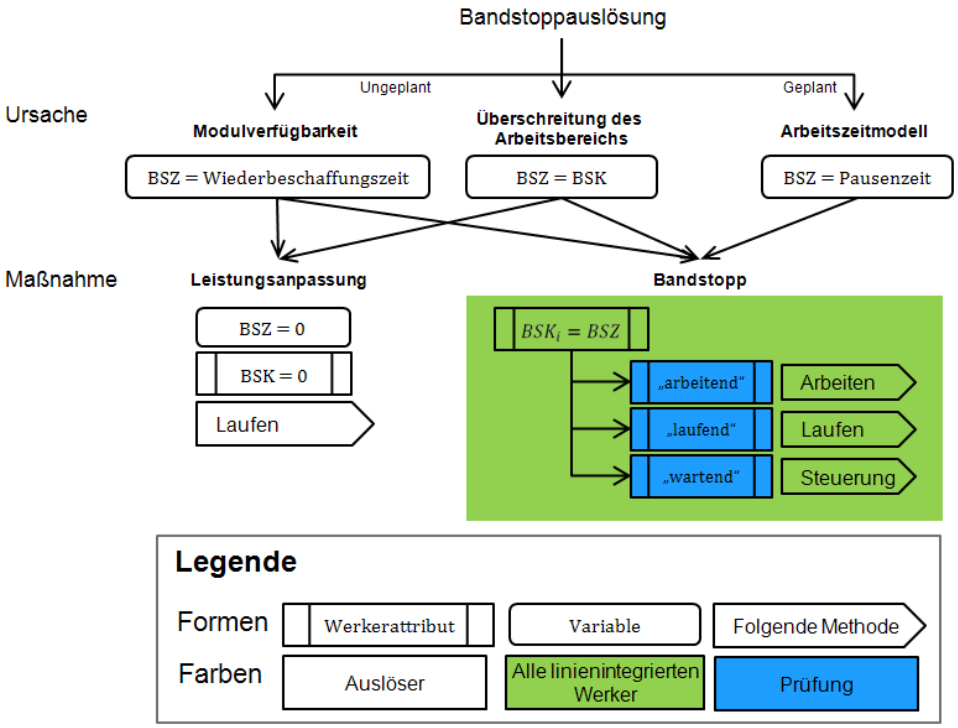

Abbildung 29: Systematik der Bandstoppmethode[201]

3.5.9 Zusammenhang der linienintegrierten Bewegungsabfolgen

In diesem Kapitel wurden ausführlich die Teilprozesse der verschiedenen Bewegungen linienintegrierter Werker diskutiert. Es wurde im Detail betrachtet, welche Voraussetzungen für die Teilbewegungen vorliegen müssen und auch wie diese mit den nachfolgenden Bewegungen zusammenhängen. Dieses Kapitel soll nun abschließend den Zusammenhang des linienintegrierten Bewegungsprozesses darstellen. Dazu werden die eben besprochenen Teilbewegungen und die Steuerungsmethode zu einem in sich geschlossenen Gesamtprozess zusammengesetzt. Dieser ist in Abbildung 30 visualisiert und wird im Folgenden kurz zusammengefasst. Es sei vorweg angemerkt, dass die Anordnung der detaillieren Bewegungsfälle im Vergleich zu den bereits bekannten Darstellung abweicht. Bei vorheriger Anordnung konnte die Systematik und der Einfluss der Variablen einfach gezeigt werden. Die hier vorliegende Abbildung soll jedoch den Gesamtprozess möglichst übersichtlich darstellen.

[201] eigene Darstellung

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

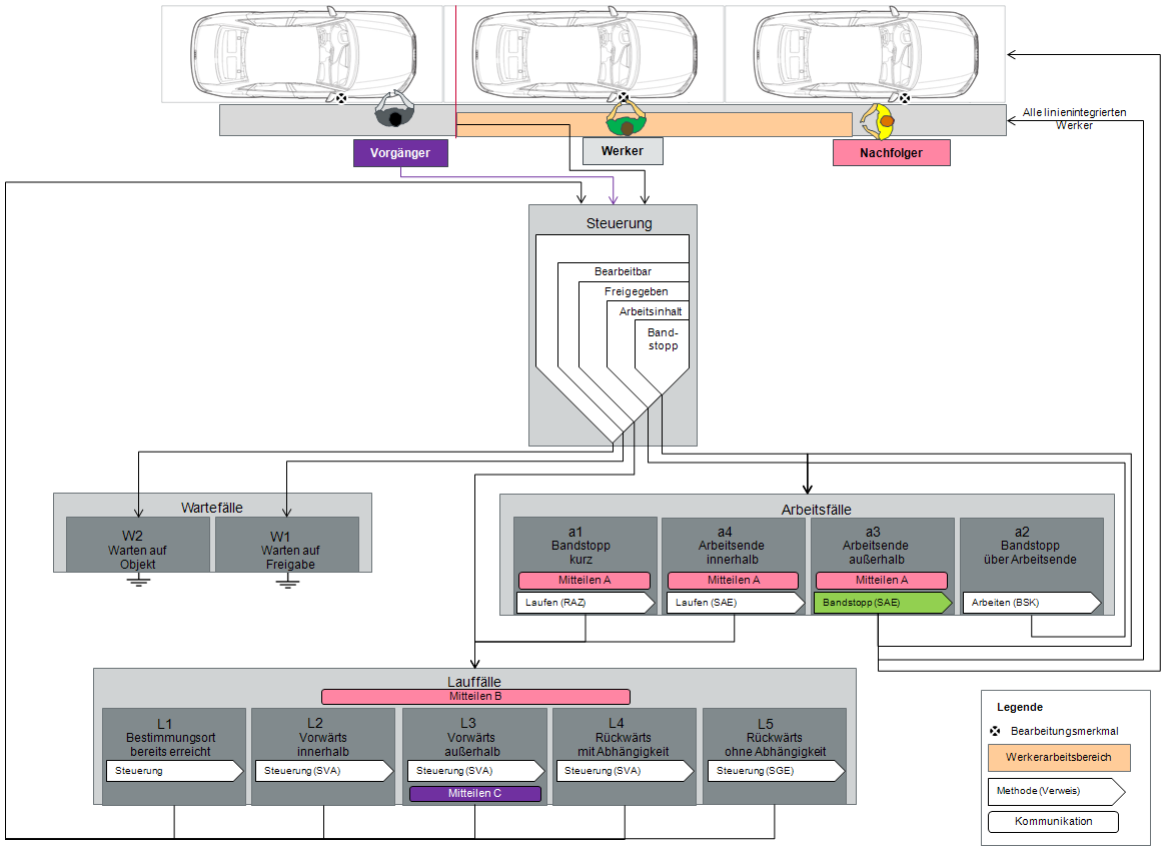

Abbildung 30: Zusammenhang der Hauptprozesse[202]

Der Prozess beginnt mit dem Einlauf des Bearbeitungsmerkmals des ersten Werkstücks in den Arbeitsbereich des Werkers. Dabei versucht die Steuerung bei der Prüfung der arbeitsnotwendigen Attribute so weit wie möglich in das Zentrum des Pentagons zu gelangen. Je nachdem, wie weit das gelingt, können die Wartefälle W1 oder W2 erreicht werden, ein Weiterlaufen zum nächstem Objekt eingeleitet werden oder ein Arbeitsfall im Normalbetrieb oder Bandstoppbetrieb folgen. Bei der Bearbeitung kann eine Positionsveränderung der Nachfolger ausgelöst werden. Auf die Arbeitsfälle folgt prinzipiell immer ein Lauffall, es sei denn, eine Geschwindigkeitsänderung des Fließbandes bewirkt einen Neuaufruf der Methode. Tritt während der Bearbeitung ein Bandstopp ein, ändert dieser die Geschwindigkeitszustände aller Werkstücke auf dem Bandabschnitt und aller linienintegrierten Werker. Auch in einem Lauffall kann eine Zustandsänderung der Nachfolger erfolgen. Dabei erhalten wartende Nachfolger die Werkstückfreigabe und können gegebenenfalls zu arbeiten beginnen. Hier ist ebenso die Steuerungssystematik anzuwenden. Darüber hinaus muss beim Laufen gegebenenfalls eine Abstimmung mit dem Vorgänger erfolgen um eine Bearbeitung überhaupt zu ermöglichen. Ist der Lauffall abgeschlossen, wird der Werker versuchen das nächste Werkstück zu bearbeiten. Ob dies Möglich ist wird wiederum mit der Steuerungssystematik geprüft. Wird eines der Wartefälle betreten, ist der

[202] eigene Darstellung

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Kreislauf vorerst gestoppt. Der Impuls den Prozess wieder in Gang zu setzen, wird durch die Attributsveränderung beim Merkmalseinlauf oder durch Mitteilungen von vorgelagerten Werkern gegeben.

3.6 Bestimmung der Auslastungssituation

Im vorhergehenden Kapitel wurde erläutert, welche möglichen Bewegungsabläufe es in der Fließbandmontage geben kann und wie sie zusammenhängen. Somit kann eine Abbildung des Realsystems der Fließmontage erfolgen und damit ist die Simulation erstellt. Wie man nun daraus auf die Auslastungssituation des betrachteten Bandabschnitts und der einzelnen Stationen schließen kann ist die Aufgabe dieses Kapitels. Dabei muss zunächst gezeigt werden, welche Daten dafür von der Simulation benötigt werden und welche Kennzahlen sich damit errechnen lassen.

3.6.1 Ergebnisdatenerfassung

In der Zieldefinition der Simulation wurde erwähnt, dass die Abbildung den Zweck verfolgt einerseits Auslastungskennzahlen zu ermitteln und darzustellen und andererseits Überlastungsereignisse zu erfassen. Die dazu notwendigen Daten werden in diesem Kapitel diskutiert.

Schon zur Aufrechterhaltung der Simulation ist die Kenntnis von Ort und Zeit beim Übergang von einer Teilbewegung zu einer Anderen eine essentielle Information. Diese Daten können allerdings auch anderweitig genutzt werden. Wie bereits in Kapitel 2.2.2 gezeigt, bestimmt sich die Auslastung mit dem Verhältnis der Arbeitslast zu Personalkapazität. Die Auslastungskennzahlen sind Abbildungen der Wertschöpfungsanteile. Die Zeit im Status „arbeiten“ entspricht der wertschöpfenden Zeit. Dazu kommt die indirekt wertschöpfende Arbeitszeit im Status „laufend“. Entgegnet der Werker einer Überlastung durch Leistungsanpassung, so ist der Zeitanteil der eingesparten Bandstoppzeit auch als wertschöpfende Arbeitslast zu sehen. Der Status „wartend“ repräsentiert den nicht wertschöpfenden Zeitanteil. Alle wertschöpfenden Zeitanteile werden unter dem Begriff „Arbeitslast“ zusammengefasst.

Um die Arbeitslast nun quantitativ bestimmen zu können ist es erforderlich zu wissen, wann der jeweilige Arbeitsplatz einen neuen Werkerstatus annimmt. Die Werkerzustände werden in den Methoden der Bewegungsabläufe geändert (vgl. Kapitel 3.5). Die Simulationszeit kann somit dort erfasst werden.

Neben der Arbeitslast ist die Personalkapazität zur Ermittlung der Auslastung notwendig. Diese ist die verstrichene Simulationszeit seit Betrachtungsbeginn.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Zur Ermittlung der Überlastungen wird zwischen ausgleichbarer oder zulässiger Überlastung und nicht mehr ausgleichbarer bzw. nicht zulässiger Überlastung unterschieden. Um eine ausgleichbare Überlastung möglich zu machen muss dem Werker ein Driftbereich eingeräumt werden. Erst wenn der Driftbereich überschritten ist kommt es zu einer nicht mehr ausgleichbaren Überlastung und ein Bandstopp oder eine Leistungsanpassung folgt. Das Maß der ausgleichbaren Überlastung kann mit dem Drift erfasst werden und ist mit der Arbeitsendposition beschreibbar. Die Werkerpositionen können ebenso im Laufe der Zustandsänderungen erfasst werden.

Vorgänge, die zu Überlastungen in Form von Bandstopp oder Leistungsanpassung führen, durchlaufen immer die Methode „Bandstopp“ und der zeitliche Betrag ist in Form der Bandstoppkapazität bestimmt. Damit können die unzulässigen Überlastungen in dieser Methode einfach abgegriffen werden.

Tabelle 3 zeigt eine beispielhafte Ergebnistabelle eines Arbeitsplatzes. Zu jeder Objektnummer können die Zeit und die Werkerposition bei der Zustandsänderung bestimmt und die nicht mehr ausgleichbaren Überlastungen erfasst werden. Die Zeit bezieht sich dabei auf die absolute Simulationszeit und die Position auf jene im Arbeitsbereich des Werkers, wobei Null den Anfang des Arbeitsbereichs darstellt. Die Überlastung bezieht sich auf die simulierte Bandstoppzeit bzw. im Falle der Leistungsanpassung auf die Zeit, die durch eine schnellere Arbeitsverrichtung eingespart wurde um den Bandstopp zu verhindern.

Objekt Nr.	Startzeit [HH:MM:SS]	Rücklaufzeit [HH:MM:SS]	Endzeit [HH:MM:SS]	Startpunkt [m]	Rücklauf-punkt [m]	Endpunkt [m]	Überlastung [M:SS]
1	0:15:04,70	0:16:03,36	0:16:06,68	0,0	3,446	0,0	0:00,00
2	0:16:43,70	0:18:22,36	0:18:27,37	0,0	5,780	0,273	0:00,00
3	0:18:27,37	0:19:41,04	0:19:45,21	0,273	4,590	0,0	0:00,00
…	…	…	…	…	…	…	…
k-1	19:29:55,70	19:31:34,70	19:31:39,71	0,0	5,800	0,293	0:13,56
k	19:31:39,71	19:32:41,72	19:32:45,28	0,293	3,926	0,0	0:00,00

Tabelle 3: Beispieltabelle zur Datenerfassung[203]

Die Startwerte erhält die Ergebnistabelle, wenn die Arbeitsfallmethode bei der Bearbeitung eines bestimmten Objektes erstmalig betreten wird. Nach dem „arbeiten“ erfolgt das Weiterlaufen zum nächsten Bearbeitungsobjekt. Somit werden die Rücklaufwerte aus der Methode der Lauffälle abgeleitet. Die Endwerte eines Arbeitszyklus werden dann ermittelt, wenn der Werker entweder erstmalig für dieses Objekt einen Wartefall betritt oder ein Arbeitsfall direkt auf ein Bewegungsfall folgt.

[203] eigene Darstellung

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Zur Veranschaulichung sind die Beschreibungspunkte auch in Abbildung 31 dargestellt.

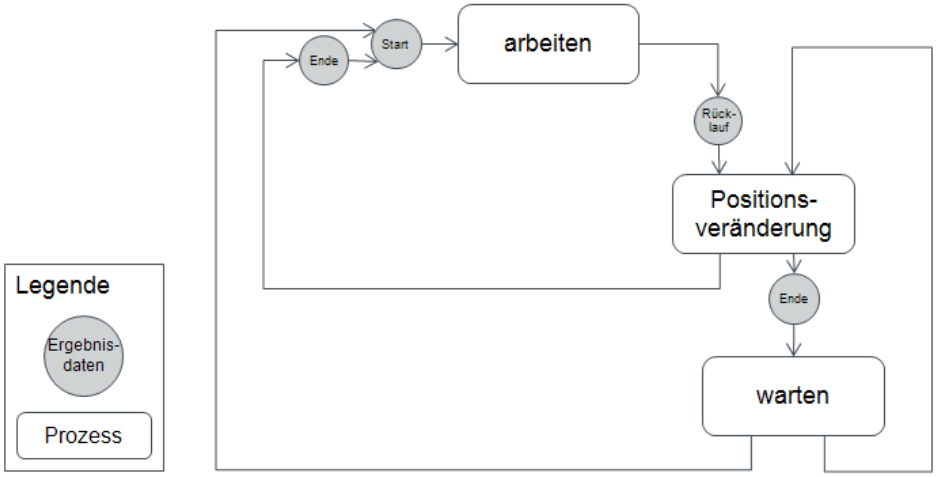

Abbildung 31: Datenerfassungspunkte im Simulationsablauf[204]

Aufgrund der Übersichtlichkeit und leichteren Datenverarbeitung ist es sinnvoll die Überlastungen in einer separaten Tabelle abzuspeichern. Die nützlichen Informationen sind hier der Auslösezeitpunkt, der auslösende Arbeitsplatz, das Objekt, welches der Werker dabei bearbeitet hat und die Dauer der Überlastung. Zusätzlich ist die Maßnahme, mit welcher der Belastung entgegnet wurde festzuhalten. Wie schon besprochen stehen hierbei die Optionen Bandstopp und Leistungsanpassung zur Verfügung. Welche Maßnahme dabei gewählt wird, könnte vor allem von der Dauer der Überlastung abhängen. Zur Validierung der Ergebnisse wurde die Annahme getroffen, dass die Entgegnung der Belastungen über das gesamte Experiment konstant gehalten wird. Beispielhaft zeigt Tabelle 4 die Notation der Überlastungen.

Auslösezeit [HH:MM:SS]	Arbeitsplatz	Objekt Nr.	Dauer [s]	Maßnahme [Bandstopp/Leistungsanpassung]
06:10:33,8	Werker C	1	11,53	Bandstopp
06:12:12,4	Werker A	5	12,48	Bandstopp
06:25:25,3	Werker C	11	2,37	Bandstopp
06:30:00,9	Werker B	13	4,75	Bandstopp
06:34:44,8	Werker A	15	3,78	Bandstopp

Tabelle 4: Beispielnotation der Überlastungen[205]

[204] eigene Darstellung
[205] eigene Darstellung

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

3.6.2 Simulierte Auslastung taktgebundener Arbeitsplätze

Die Auslastung ist, wie schon in Kapitel 2.2.2 erläutert, das Verhältnis der Arbeitslast zur Personalkapazität. Im vorhergehenden Kapitel wurde erläutert, dass bei Normalarbeitsleistung die Arbeitslast der Wertschöpfungszeit im Simulationsmodell entspricht. Diese Zeit muss gegebenenfalls um den Betrag der Leistungsanpassung erhöht werden.

Die Wertschöpfungszeit eines Arbeitszyklus kann aus den Eingangsdaten durch Subtraktion der absoluten Startzeit des Zyklus von der absoluten Endzeit des Zyklus errechnet werden. Die Wartezeit hingegen bestimmt sich durch Subtraktion der Endzeit von der Startzeit des Nachfolgezyklus. Wird einer Überlastung durch Bandstopp entgegnet, entspricht die Wertschöpfungszeit auch der Arbeitslast. Erfolgt eine Leistungsanpassung, so entspricht die Arbeitslast der Wertschöpfungszeit um die Normalarbeitsdauer der Überlastung erhöht. Die höhere Arbeitslast ist auch zu erwarten, da mehr Arbeit in der gleichen Zeit verrichtet wird. Die Arbeitslast eines Bearbeitungszyklus k kann somit nach Formel 23 definiert werden.

$$Arbeitslast_k = \begin{cases} Wertschöpfungszeit_k & bei\ Bandstopp \\ Wertschöpfungszeit_k + Überlastungszeit_k & bei\ Leistungsanpassung \end{cases}$$

Formel 23: Arbeitslast eines Bearbeitungszyklus

Möchte man die Auslastung der einzelnen Zyklen berechnen, kann die Personalkapazität durch die Taktzeit beschrieben werden. Die Auslastung über einem Zyklus kann damit nach Formel 24 berechnet werden.

$$Auslastung_k = \frac{Arbeitslast_k}{Taktzeit}$$

Formel 24: Auslastung eines Bearbeitungszyklus

Formel 24 zeigt die Auslastung über einen Zyklus. Die Personalkapazität beträgt hierbei die Taktzeit. Auslastungen von über einhundert Prozent entstehen folglich dann, wenn die Arbeitslast größer als die Taktzeit ist. Die Auslastung bezogen auf einzelne Zyklen und die Darstellung im Zeitverlauf wird auch folgend als dynamische Auslastung bezeichnet.

Abbildung 32 zeigt beispielhaft die Darstellung der dynamischen Auslastung einer Arbeitsstation. Man erkennt, dass die Belastungen im Zeitverlauf schwanken können. Im arithmetischen Mittel hat dieser Arbeitsplatz eine Auslastung von 87,8%. Jedoch fällt kurzfristig mehr Arbeitsaufwand an, als innerhalb der Zykluszeit abzuarbeiten wäre. Diese Arbeitsinhalte können durch ein Hineinarbeiten in den nächsten Arbeitsbereich abgefangen werden, da in weiterer Folge leistungsärmere Werkstücke ein Zurückarbeiten ermöglichen würden. Ist eine Ausweitung des Arbeitsbereichs

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

nicht möglich muss der Werker den Überlastungen durch Bandstopp begegnen oder seine Arbeit schneller als vorgegeben erfüllen.

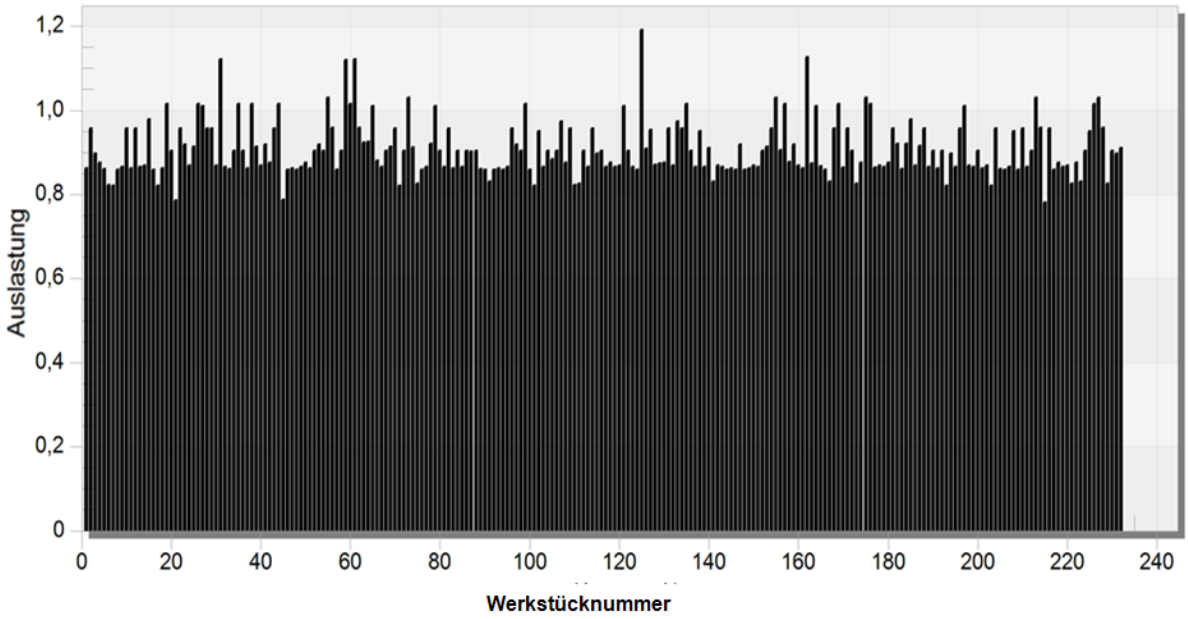

Abbildung 32: Dynamische Auslastung[206]

Betrachtet man die Auslastung über einen bestimmten Zeithorizont (beispielsweise das Tagesprogramm) kann in Analogie zur Formel 24 verfahren werden. Die Arbeitslast einer Periode T kann dann mit der Arbeitslast und der Arbeitszeit innerhalb der Periode berechnet werden. Die Arbeitslast ist dann die Summe aller Zyklenbelastungen (vgl. Formel 23) und die Arbeitszeit entspricht der simulierten Periodenzeit abzüglich der Pausenzeiten. Die Berechnungsformel zur Auslastung über eine Periode ist in Formel 25 dargestellt.

$$Auslastung_T = \frac{\sum_T Arbeitslast_i}{Periodenzeit - Pausenzeit}$$

Formel 25: Auslastung über eine Periode

Kommt es zu ungeplanten Bandstopps, so sind die Periodenarbeitszeiten für die Arbeitsstationen länger als die Arbeitszeit bei Leistungsanpassung. Die Arbeitsbelastung bleibt dieselbe. Somit erhält man bei der Simulation mit Bandstopps eine geringere Auslastung.

Die Periodenauslastung kann auch in guter Näherung über den arithmetischen Mittelwert der Zyklusauslastungen bestimmt werden. Bei der so ermittelten Auslastung ist jedoch zu beachten, dass sie nicht, wie vielleicht zu erwarten wäre, die Verteilung der wertschöpfenden und der wertschöpfungsfreien Zeit liefert. Betrachtet man beispielsweise ein System das vier Zyklen durchläuft und drei dieser Zyklen mit

[206] eigene Darstellung

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

50% Auslastung belegt sind, der vierte hingegen mit 250% stark überlastet ist, so liegt die Periodenauslastung über dem Mittelwert der Zyklusauslastungen bei 100%. Das bedeutet aber nicht zwangsläufig, dass das System vollbeschäftigt ist. Denn kommen die drei Unterlastzyklen vor dem Überlastungszyklus entsteht bis zum vierten Zyklus eine Wartezeit von insgesamt dem 1,5-fachen der Taktzeit. Somit bedeutet eine hohe Periodenauslastung nicht zwangsläufig einen hohen Anteil der Wertschöpfungszeit. Zur Eliminierung der Verschwendungen macht eine genauere Betrachtung dieser Kennzahlen Sinn.

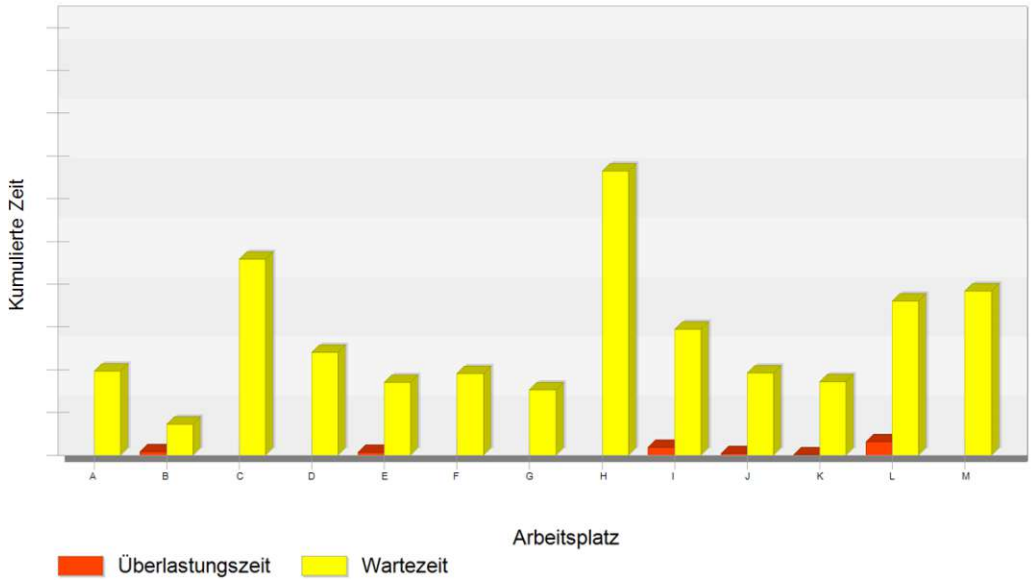

Abbildung 33: Abweichung der Normalarbeit[207]

Abbildung 33 zeigt beispielhaft die Abweichungen von der Normalarbeitszeit für einige Arbeitsplätze. Diese können in Überlastungszeit und Wartezeit unterteilt werden. Sind beide Zeiten ähnlich hoch bedeutet dies, dass dieser Arbeitsplatz eine hohe Auslastung besitzt, da sich die Zusatzarbeit durch die Wartezeit egalisiert. Damit sind die Höhen der kumulierten Abweichungszeiten nicht direkt relevant für die Auslastungszahl, sondern lediglich deren Differenz. Jedoch spielen die Höhen der Abweichungszeiten eine entscheidende Rolle für die Effizienz des Herstellungsprozesses.

Eine anschauliche Darstellung der Zeitanteile auf Arbeitsplatzebene ist in Abbildung 34 gegeben. Hier wird der oben in Abbildung 32 betrachtete Arbeitsplatz hinsichtlich der Zeitverteilung genauer untersucht. Die Wertschöpfungszeit setzt sich aus der Normalarbeitszeit und der Überlastungszeit zusammen. Die Normalarbeitszeit ist jene Zeit, in der mit normaler Arbeitsleistung gearbeitet wird. Die Überlastungszeit kann nur als Leistungsanpassung vorliegen und gibt die Dauer der eingesparten Bandstoppzeit an.

[207] eigene Darstellung

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

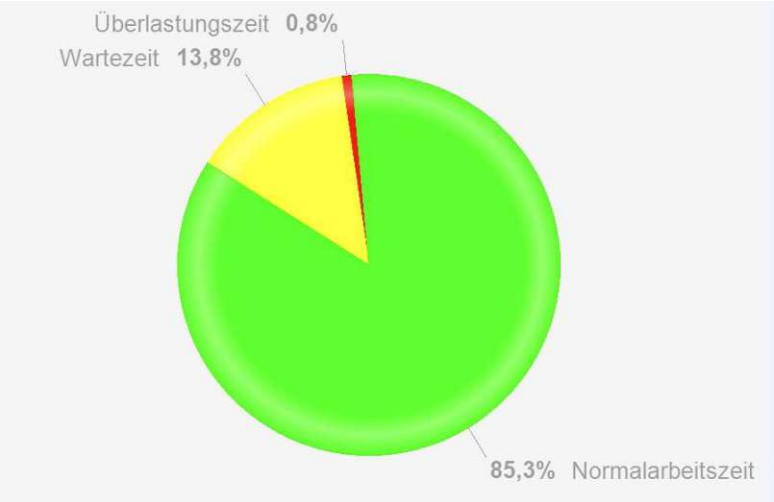

Abbildung 34: Beispiel der Verteilung der Zeitanteile[208]

3.6.3 Auslastungssituation nicht taktgebundener Arbeitsplätze

Die bisherigen Überlegungen bezogen sich auf einen, an die Taktzeit gebundenen Arbeitsplatz. Bei der Untersuchung der Auslastungssituation von Arbeitsplätzen, die nicht taktgebunden sind, stellen sich die bisher betrachteten Kennzahlen ein wenig anders dar.

Wird mit der Herstellung der Module begonnen, so kann der Wertschöpfungsvorgang nur durch festgelegte Pausen oder durch einen vollen Modulpuffer verhindert werden. Ist der Puffer groß genug, hemmt die Push-Steuerung wertschöpfungsfreie Zeiten. Dabei vollendet der Vormontagewerker das Periodenprogramm früher, als das letzte Modul am Verbauort benötigt wird. Diese Zeit entspricht der Reichweite des Puffers. Ist die Pufferreichweite auf das Schichtmodell abgestimmt, so kann der Vormontagearbeitsplatz ohne ungewollte wertschöpfungsfreie Zeiten betrieben werden.

Pufferkapazitäten sind nach dem Lean-Gedanken Verschwendungen und daher möglichst gering zu halten. Darüber hinaus schränken Platzrestriktionen die Puffergröße ein. Dennoch muss über eine ausreichende Puffermöglichkeit nachgedacht werden. Da sowohl die Entnahme der Module aus dem Puffer als auch die Modulfertigstellung durch den Vormontagearbeiter aufgrund der Variantenvielfalt deutlichen Schwankungen unterliegen könnte, ist ein One-Piece-Flow in der Regel nicht umsetzbar. Zudem kommt, dass eine mangelnde Modulverfügbarkeit nicht nur den Verbauer betreffen kann, sondern den gesamten Bandabschnitt. Daher könnte in der Praxis auch eine Zuweisung der Arbeitsinhalte vorsichtiger erfolgen und der Vormontagearbeitsplatz stellt dann seine Module im Mittel schneller fertig, als sie entnommen werden. Die Folge ist ein stetig steigender Pufferfüllstand. Ein solches Beispiel ist auch in Abbildung 35 gezeigt. Die Vollbeschäftigung kann bis zum

[208] eigene Darstellung

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Erreichen des maximalen Pufferstandes gewährleistet werden. Erst danach entstehen Wartezeiten.

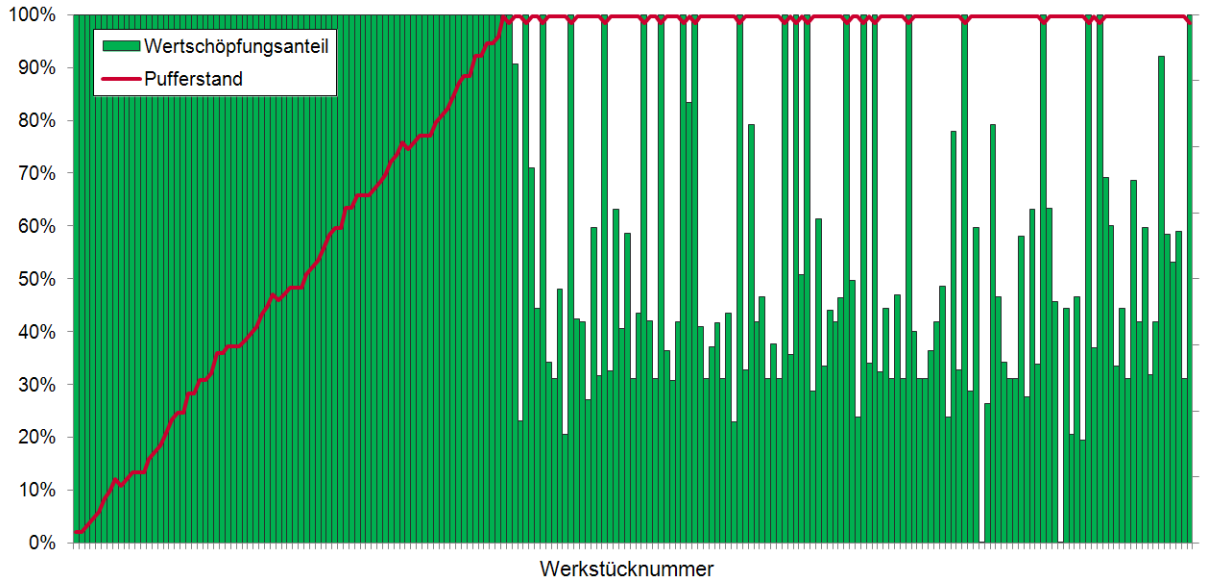

Abbildung 35: Wertschöpfungsanteil bei nicht taktgebundenen Arbeitsplätzen[209]

3.6.4 Driftverhalten linienintegrierter Arbeitsplätze

Wie schon in den Grundlagen erläutert ist es sinnvoll, Arbeitsplätzen einen gewissen Spielraum einzuräumen, um bei einem zeitweilig hohen Arbeitsaufwand nicht sofort einen Bandstopp auszulösen. Jedoch muss gewährleistet werden, dass der Werker sich rasch wieder zurückarbeiten kann, denn das Abdriften kann zu verlängerten Wegen zur Materialbereitstellung und damit zu längeren Prozesszeiten führen. Zudem könnte der Werker die nachgelagerten Stationen behindern. Im besonderen Maße dann, wenn direkte Nachfolger an der Bearbeitung gehindert werden, was zu Verzögerungen für die nachgelagerten Arbeitsstationen bedeuten kann. Daher ist es bei der Betrachtung der Auslastung zweckmäßig, auch die ausgleichbaren Überlastungen und damit das hineinarbeiten in nachgelagerte Arbeitsstationen zu erfassen.

Bei den Ergebnisdaten wurden die Zeit und die Position der Zustandsänderungen erfasst. Für das Abdriften ist lediglich die Endposition der Arbeit am Werkstück notwendig. Der Rücklaufpunkt ist jener Punkt auf dem Werkerarbeitsbereich, der diese Eigenschaft erfüllt. Die Wegstrecke von Beginn des Arbeitsbereichs bis zum Rücklaufpunkt wird hier als genutzter Arbeitsbereich bezeichnet, der durch einen maximalen Wert in den Eingangsgrößen begrenzt wurde. Falls dieser Wert erreicht wird, muss ein Bandstopp oder eine Leistungsanpassung erfolgen.

[209] eigene Darstellung

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

In Abbildung 36 ist ein beispielhaftes Schaubild des genutzten Arbeitsbereichs und des Drifts für einen Arbeitsplatz gegeben. Die Kurve zeigt den genutzten Arbeitsbereich des Werkers, wobei dem Werker immer mindestens eine Taktlänge (kurz: Takt) zur Verfügung steht. Dem Werker wird hier in diesem Beispiel kein maximaler Arbeitsbereich zugewiesen, weshalb der Werker einer Überlastung immer mit einem Abdriften entgegnen kann. Mit dem Abdriften vergrößert sich auch der genutzte Arbeitsbereich. Der Drift gibt die Arbeitsendposition bei einem Hineinarbeiten in die nächste Arbeitsstation wieder und wird somit ab dem Ende der zugeordneten Arbeitsstation gezählt. Damit ist der genutzte Arbeitsbereich gleich dem Driftwert plus einer Taktlänge.

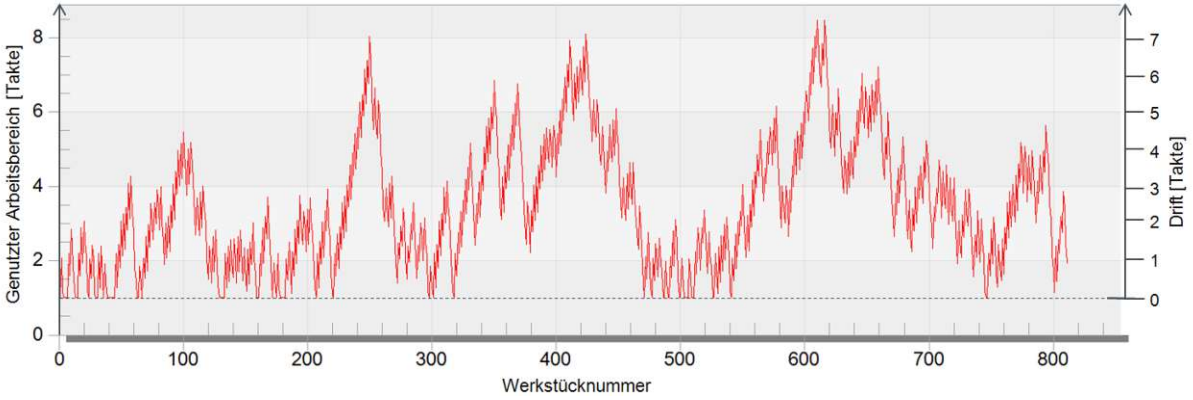

Abbildung 36: Darstellung des Driftverhaltens[210]

Man erkennt eine deutliche Werkerverschiebung im Laufe der Bearbeitung. Durch arbeitsärmere Werkstücke schafft es der Arbeitsplatz sich wieder zurückzuarbeiten um sodann wieder abzudriften. Verbaut der Werker Module, welche er sich von einer fixierten Materialanstellung aus seinem Zuordnungstakt holen muss, dann entstehen sehr große Laufwege, welche zu erhöhten Fertigungszeiten führen würden. Diese Laufwege sind in dieser Simulation nicht berücksichtigt. Die Driftkurve liefert aber Aufschluss über einen möglichen Anstieg der Stützleistungen. Damit kann eine solche Werkerverschiebung nur geduldet werden, wenn in an dieser Arbeitsstation keine Module verbaut und keine Werkzeuge benötigt werden oder die Module und Werkzeuge bereits am Bearbeitungsobjekt bereitliegen. Zudem darf ein darauf angewiesener Nachfolger nicht in unmittelbarer Nähe folgen und die Zugänglichkeit zum Werkstück muss für alle Arbeitsplätze gegeben sein. Ist der Werker in irgendeiner Form abhängig von seinem Ausgangstakt sollte im Sinne der Effizienz sein Drift nicht beliebig hoch werden. Anzumerken ist auch, dass ein Driftbereich niemals offen gelassen werden kann. Spätestens am Ende des Bandabschnitts muss die Arbeit verrichtet sein.

Wie stark ein Arbeitsplatz driftanfällig ist hängt, wie schon erwähnt von der Arbeitsbelastung und der Verteilung der einzelnen Arbeitszeiten ab, sowie von deren

[210] eigene Darstellung

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Streuung. Der Arbeitsplatz, welcher in Abbildung 36 dargestellt ist, besitzt eine mittlere Auslastung von 96,6%. Hätten alle Bearbeitungsobjekte die gleiche Bearbeitungszeit würde der Arbeitsplatz nur seinen vorgegebenen Arbeitstakt benötigen. Umso weiter die Fertigungszeiten des Arbeitsplatzes um ihren Mittelwert streuen, desto driftanfälliger ist der ausführende Werker. Damit ist die Streuung der Fertigungszeiten eine wichtige Kennzahl um die Anfälligkeit für Überlastungssituationen zu beschreiben. Ein schnell zu bestimmender Streuungsmaß ist die bereits erläuterte Zeitspreizung. Die Streuung kann bereits aus den Vorgabezeiten bestimmt werden und benötigen keinen Simulationseinsatz.

3.6.5 Überlastungen

Es wurde schon mehrfach erwähnt, dass Überlastungen, die nicht durch Driften ausgeglichen werden können, eine Leistungsanpassung erfordern oder zu einem Bandstopp führen. Ein Bandstopp senkt, wie schon erwähnt, die Auslastung der Arbeitsstationen und verringert obendrein noch die Produktivität der Linie. Leistungsanpassungen werden vom Werker aufgenommen und erhöhen dessen Auslastung. Es muss jedoch kurzzeitig eine schnellere Arbeitsverrichtung erbracht werden. Auch wenn die durchschnittliche Arbeitsleistung im Normalbereich bleibt, könnten kurzzeitige Überlastungsspitzen aus arbeitswissenschaftlicher Sicht dennoch als bedenklich eingestuft werden. Zudem kommt, dass die schnellere Arbeitsweise ein möglicher Fehlerherd sein kann und dadurch oft die Qualität der Produkte nicht erreicht wird. Egal wie also diesen Überlastungen entgegnet wird. Es gilt sie tunlichst zu vermeiden. Ein Ansatz zum Abbau der Überlastungsspitzen durch den Einsatz von Unterstützern wird in Kapitel 5 gegeben.

Eine Überlastung kann mit den drei Dimensionen Ort, Zeit und Betrag beschrieben werden. Der Ort entspricht der Arbeitsstation bzw. dem Werker, welcher Überlastet ist. Der Überlastungszeitpunkt ist durch die Simulationszeit gegeben. Der Betrag der Überlastung ist ein Zeitwert, welcher der eingesparten Bandstoppzeit entspricht.

Zur Darstellung der Überlastungen kann somit einerseits die Verteilung der Überlastungsfälle auf die verschiedenen Arbeitsstationen vorgenommen werden. In Abbildung 37 ist dies als Diagramm dargestellt. Hier wird deutlich, welche Arbeitsstationen bei der Rekonfiguration oder auch bei der Erstellung von Regeln zur Reihenfolgebildung priorisiert behandelt werden müssen.

Andererseits kann eine Verteilung der Überlastungsfälle über die Zeit erfolgen. Dies ist in Abbildung 38 über den gesamten Bandabschnitt visualisiert. Diese Darstellungsform ermöglicht es, kommende Überlastungsfälle zu terminieren. Das bildet auch die Grundlage zur Unterstützereinsatzplanung. Zu beachten ist, dass sich im Bandstoppfall beim Ausbleiben einer Überlastung die Terminierung künftiger

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek WIEN Your knowledge hub

Überlastungen verschieben kann. Daher ist eine dynamische Terminierung nur mit Hilfe der Leistungsanpassung möglich.

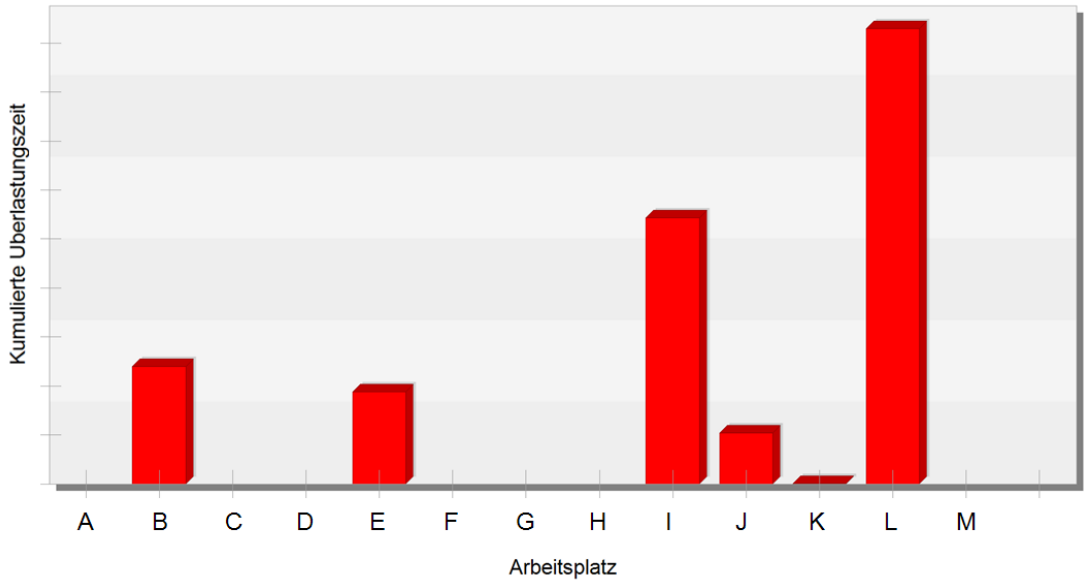

Abbildung 37: Überlastungsort[211]

Die Terminierung der Überlastungen kann auch auf Arbeitsplatzebene erfolgen. In einer solchen Darstellung ist es gegebenenfalls auch zielführend anstatt der Zeitachse, die Werkstücknummer zu wählen. Wenn diese Informationen dazu verwendet werden um den Werker „vorzuwarnen“ kann dies durchaus Sinn machen, da die Werkeruhr in Arbeitszyklen läuft.

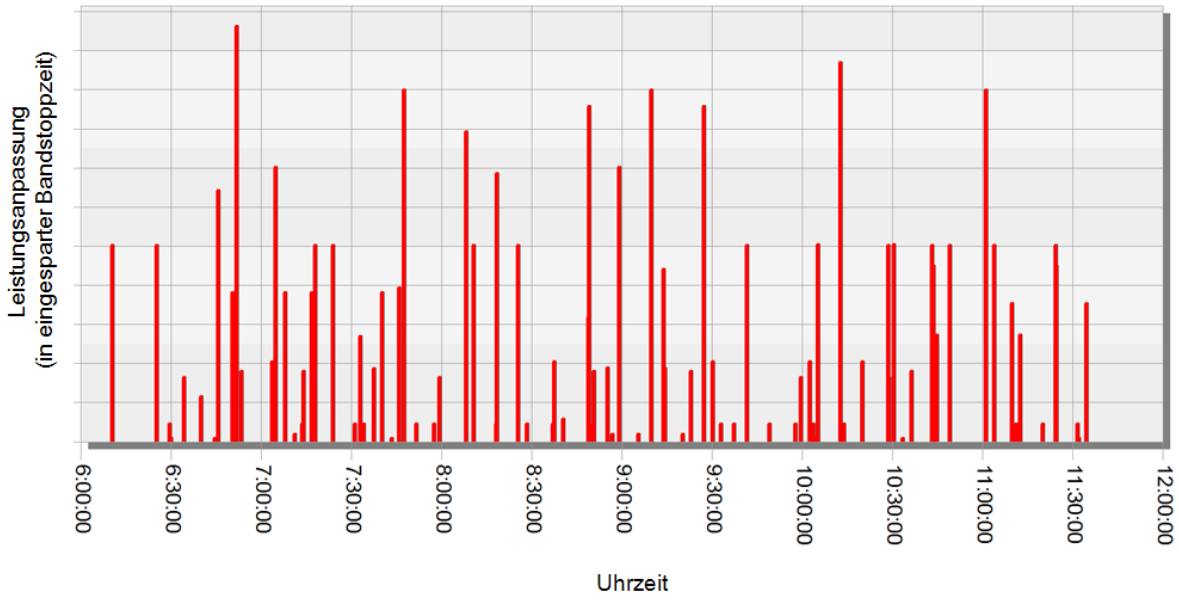

Abbildung 38: Überlastungszeit[212]

[211] Eigene Darstellung
[212] Eigene Darstellung

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Aber auch mit mehreren Arbeitsplätzen kann eine Darstellung der kumulierten Überlastung über die Objektnummer sinnvoll sein. Dies ermöglicht eine Auswertung der Werkstücke, die für die Überlastung gesorgt haben. Bei der Analyse der Objektmerkmale können gegebenenfalls Arbeitsinhalte umgelagert werden, oder Änderungen an der konstruktiven Auslegung des Produktes vorgenommen werden.

Ein globaler Kennzahlwert stellt die Summe der Überlastungen für den Bandabschnitt dar. Der Wert diese Kennzahl kann dabei entweder als Bandstopp oder Leistungsanpassung ausgeprägt sein. Wählt man als Maßnahme gegen eine Überlastung die Leistungsanpassungen so ist die Überlastungssumme immer mindestens gleich groß wie bei der Bandstoppmaßnahme, denn der Bandstopp weitet die Taktzeit kurzzeitig auf und kann dadurch eine Überlastung an einem anderen Ort verhindern.

3.6.6 Produktivitätskennzahlen

Der Durchsatz oder Produktionsrate ist eine wichtige wirtschaftliche Kennzahl. Diese ist definiert als der Quotient aus Anzahl fertiger Produkte und Betrachtungszeit.[213] Der Aufwand, den simulierten Durchsatz zu ermitteln ist verhältnismäßig gering und aufgrund deren Wichtigkeit wird die Erfassung dieser Kennzahl hier kurz erläutert.

Zur Erfassung des Durchsatzes kann man sich sogenannter Zählpunkte bedienen. Am Ende der Simulationslinie erfasst ein Sensor den Durchlauf der Produkte und erfasst die Simulationszeit des durchlaufenden Objekts. So kann der tatsächliche Durchsatz jederzeit über die Anzahl gezählter Produkte bezogen auf die verstrichene Simulationszeit seit der Zählung des ersten Produkts berechnet werden. Daher wird diese wichtige Kennzahl zusätzlich zu den Auslastungskennzahlen dargestellt. Die Produktivitätsrate spiegelt den Kehrwert der mittleren tatsächlichen Taktzeit wieder und ist gleich diesem, wenn keine Bandstopps die Produktion verzögern und damit den Betrachtungszeitraum vergrößern. Treten Bandstopps auf ist der Durchsatz geringer.

Neben dem Durchsatz kann dabei auch die Ausbringungsmenge dynamisch dargestellt werden und mit der Sollausbringung verglichen werden. Die Sollausbringung kann man hierbei mit der verstrichenen Simulationszeit seit dem Durchlaufen des ersten Produkts am Zählpunkt geteilt durch die Taktzeit berechnen. Die Abweichung von der Sollausbringungsmenge und weitere Leistungskennzahlen werden in schlanken Produktionslinien gerne dazu verwendet um Mitarbeiter zu motivieren und Transparenz zu schaffen. Die Produktivitätskennzahlen werden

[213] vgl. http://www.wirtschaftslexikon24.com/d/produktionsrate/produktionsrate.htm (Gelesen am: 14.02.2016)

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

hierbei auf sogenannten Andon-Tafeln in den Fertigungsbereichen für alle sichtbar dargestellt.[214]

3.6.7 Visualisierung der Teilbewegungen

Bisher wurden Diagramme oder Zahlenwerte zur Darstellung der Auslastungssituation verwendet. Eine weitere Darstellungsform sei hier gezeigt. Dabei wird direkt die Abbildung des realen Systems verwendet. Der Betrachter kann dabei die Simulation in gewünschter Geschwindigkeit abspielen. Es werden dabei die Werker entsprechend ihres Arbeitszustandes eingefärbt. Beispielhaft sei dies in Abbildung 39 gezeigt.

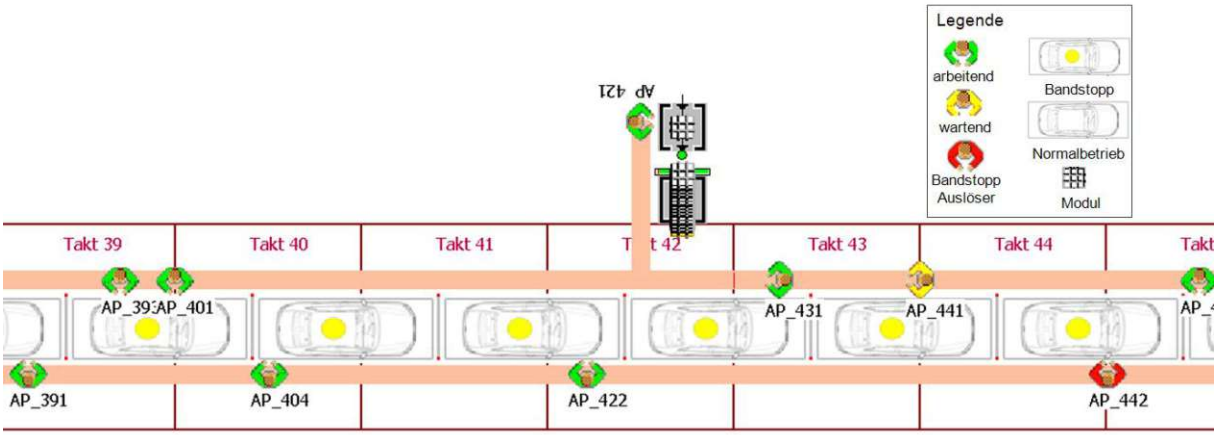

Abbildung 39: Visualisierung der Teilbewegungen[215]

Die Farbgebung erfolgte in diesem Beispiel in Anlehnung an die Andon Signalfarben. Dabei bedeutet grün, dass der Werker sich im Fertigungsablauf befindet und dieser normal von statten geht. Der rot eingefärbte Werker ist der Auslöser eines aktuell passierenden Bandstopps. Daraufhin verharrt die Fertigungslinie in Ruhe. Dies kann durch eine Farbgebung der Bearbeitungsobjekte erfolgen. Werker die warten, also aktuell nicht wertschöpfend arbeiten, werden hier gelb eingefärbt.

Der Betrachter erhält somit einen kartographischen Eindruck von der Auslastungssituation. Ihm ist es möglich durch Detailkenntnisse der Fertigungslinie mögliche Ursachen und Zusammenhänge rasch zu erfassen, ohne eine umfassende Datenauswertung durchzuführen. Zudem kann in einer solchen Abbildung auch eine mögliche gegenseitige Beeinflussung in Form von Werkerkollisionen erkannt werden.

Ein weiterer Vorteil dieser Darstellung ist, dass hier ein realgetreues Abbild der Fertigungslinie gezeigt wird. Dies kann dazu führen, dass Handlungsbedarfe einfacher eingefordert werden können, da jedem gezeigten Zustand realgetreue

[214] vgl. Klug, 2010, S.267f.
[215] eigene Darstellung

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Bewegungen vorausgegangen sind und somit eine hohe Glaubwürdigkeit erreicht werden kann.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

4 Zusammenfassung und Ergebnisse

In dieser Arbeit wurde gezeigt, wie man eine Abbildung einer Fließbandfertigung erstellen kann. Zudem wurde gezeigt, wie die Auslastungsdaten aus einer Simulation gewonnen werden können und diese sodann für eine zielführende Bewertung aggregiert bereitgestellt werden können.

Diese hier entwickelte Systematik gilt für alle möglichen Konfigurationen von geradlinigen Fließbandsystemen. Damit kann nach einmaliger Implementierung der Modellregeln die Simulation flexibel eingesetzt werden. Es wurden alle, hinsichtlich der Auslastung relevanten, Faktoren als Eingangsgrößen parametrisiert. Durch eine Anpassung dieser Eingangsparameter ist es sofort möglich zu untersuchen, wie das Fließsystem auf diese Änderung reagiert. Da die Eingangsparameter einer Arbeitsstation sich lediglich auf die wichtigsten Größen beschränken und die Bewegungssystematik sich dabei nicht ändert, ist es ebenso sehr schnell möglich ein anderes Fließbandsystem zu untersuchen. Sind die Eingangsgrößen der Arbeitsstationen einmal definiert behalten diese im Allgemeinen für eine längere Zeit ihre Gültigkeit im Realsystem und sie müssen damit nur bei Bedarf geändert werden. Man kann somit das Auslastungsverhalten bei verschiedenen Produktionsprogrammen und Reihenfolgen untersuchen. Dabei müssen lediglich das sequenzierte Produktionsprogramm und die Aufteilung der Arbeitsinhalte zu den Arbeitsstationen gegeben sein.

Der wesentliche Vorteil dieser Simulation im Vergleich zu statischen Auslastungsberechnungen liegt in der Abbildung von gegenseitigen Abhängigkeiten. Diese sind durch Hochrechnungen über die Produktionszeit nicht in trivialer Weise durchführbar. Es müssen dazu parallele Berechnungen durchgeführt werden und diese durch einen Ereignisverwalter organisiert werden.

Außerdem werden beim Simulationsmodell die Gehzeiten als Vorgabewerte von der direkten Wertschöpfung getrennt und diese anhand des Arbeitsbereichs und den Abhängigkeiten in einen realen Bezug gebracht. Dabei rücken die simulierten Laufwege ein Stück näher an die Wirklichkeit heran als die Planwerte.

Die Simulation macht es auch möglich, die simulierten Wertschöpfungszeiten zu erfassen. Dies ist aufgrund der Abhängigkeiten ohne Simulation nicht trivial berechenbar.

Weiteres bietet das Modell die Möglichkeit, eine Simulation von logistischen Versorgungsprozessen anzuschließen. Diese Schnittstelle wurde durch den Einsatz von nichtlinienintegrierten Arbeitsplätzen und dem Zusammenhang mit dem Verbau an der Hauptmontagelinie geschaffen.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Weiteres konnte gezeigt werden, wann und wo Überlastungen stattfinden. Es können sodann zusätzliche Regeln erstellt werden, um überlastete Arbeitsplätze zu unterstützen. Dies wird im Ausblick in Kapitel 5 näher beleuchtet.

Aber nicht nur die Simulation selbst kann als Nutzen dieser Arbeit definiert werden. Auch der Prozess, wie diese Realitätsabbildung entstanden ist schafft Transparenz bei der Betrachtung von Fließsystemen. So war die wesentliche Herausforderung dieser Arbeit nicht, das ungestörte System abzubilden, sondern alle erdenklichen Bewegungsmöglichkeiten, in dieses System zu integrieren. Dies schafft ein Verständnis für die Abfolge nichtgewollter Prozesse. In der Planung der Fließlinie werden im Allgemeinen keine ungewollten Bewegungsabläufe betrachtet. Lediglich Notstrategien für den Ausfall von Anlagen werden berücksichtig. Die Kenntnis und die Systematisierung von ungewollten Abläufen helfen dabei, auch diese Worst-Case Szenarien in der Planung zu berücksichtigen.

Um die Abbildung der Bewegungen vorzunehmen und die Teilbewegungen logisch zu verknüpfen, wurden in dieser Arbeit Attribute eingeführt. Da diese nun bekannt sind und das Vorhandensein aller Attribute einen zusammenhängenden Bewegungsablauf ermöglicht, können diese Attribute eine Sensibilisierung vornehmen und so zu einer auslastungsoptimalen Planung oder Optimierung beitragen. Zudem wurden die wesentlichen Eingangsgrößen identifiziert und der strukturelle und mathematische Zusammenhang mit der Auslastung und der Produktivität der Fließbandfertigung gegeben.

Weiters wurde im Zuge dieser Arbeit eine stetige Gegenüberstellung der Überlastungsentgegnung vorgenommen und die möglichen Konsequenzen diskutiert. Im Vergleich zu den realen Ergebnissen und der sich ergebenden realen Produktivität kann mit der Gegenüberstellung der Simulationsergebnisse auch auf die wirkliche Überlastungsentgegnung der Arbeitsstationen zurückgeschlossen werden.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

5 Ausblick

Die hier entworfene Simulationssystematik für Fließmontagelinien ist einerseits als Ausgangslage für tiefer gehendere Betrachtungen von internen oder angrenzenden Systemen zu sehen und andererseits bildet das System eine Grundlage um Maßnahmen zur Auslastungsverbesserung durchzuführen und zu erproben.

Unter einem internen System kann hier beispielsweise die detailliertere Betrachtung des Fertigungsprozesses und die Unterteilung in ihre Grundarbeitsfolgen genannt werden. Angrenzende Systeme können beispielsweise die Versorgungs- oder Distributionslogistik darstellen. Dabei könnten beispielsweise stochastische Qualitätsprobleme und deren Auswirkungen überprüft werden. Für Logistiksimulationen existieren in der Literatur bereits einige Vorgehensmodelle.

Maßnahmen zur Auslastungsverbesserung können einerseits eine Rekonfiguration der Arbeitsplätz und/ oder ein Verschieben der Arbeitsplatzzuordnung von spezifischen Arbeitsinhalten sein. Im Umgang mit Überlastungen kann auch ein Unterstützereinsatz zielführend sein. Es sei an dieser Stelle kurz skizziert, welche Voraussetzungen dafür notwendig sind und was bei einer solchen Planung berücksichtigt werden muss.

Bei der Unterstützereinsatzplanung wird folgend davon ausgegangen, dass im Falle eines Unterstützereinsatzes der Unterstützer den gesamten Arbeitsinhalt der überlasteten Arbeitsstation für das betreffende Objekt übernimmt. Damit handelt es sich um einen präventiven Unterstützereinsatz. Der unterstützende Werker muss über genügend freie Kapazität verfügen um diesen Einsatz überhaupt antreten zu können. Der Unterstützer verrichtet in der Regel selbst andere Tätigkeiten und kann damit nicht immer aushelfen. Am ehesten eignen sich dafür nicht linienintegrierte Werker oder Supervisor, da sie zeitlich nicht streng an den Kundentakt gebunden sind. In Abbildung 40 ist der Unterstützereinsatz durch einen Vormontagearbeitsplatz dargestellt. Dieser besitzt eine Qualifizierung für gewisse Arbeitsplätze. Diese melden nach einem Simulationsdurchlauf ihre Leistungsanpassungen an den Unterstützer. Dieser muss sodann einen Kapazitätsabgleich vornehmen und entscheiden ob eine Unterstützung einerseits sinnvoll und andererseits auch machbar ist.

Das Vermögen des Vormontagearbeitsplatzes einen Unterstützereinsatz zu begehen kann durch den Pufferfüllstand seiner produzierten Module quantifiziert werden. Dabei muss der Unterstützer zudem berücksichtigen, dass er einen Laufweg zum Unterstützungsort benötigt und danach einen Laufweg wieder zurück zu seinem Vormontagearbeitsplatz leisten muss. Diese nur indirekte Wertschöpfungstätigkeit muss dem Nutzen dieser Unterstützungsaktion gegenüber gestellt werden. Daher

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

kann es Sinn machen eine Unterstützung erst ab einer gewissen Mindestüberlastung des unterstützen Arbeitsplatzes zuzulassen. Darüber hinaus macht eine Unterstützung nur Sinn, wenn die Werkerstartposition des überlasteten Arbeitsplatzes hinter dem Beginn seines Arbeitsbereichs liegt, denn wenn der reguläre Arbeitsplatz die Arbeit nicht innerhalb des maximalen Arbeitsbereichs fertigstellen kann, dann kann das der Unterstützer auch nicht.

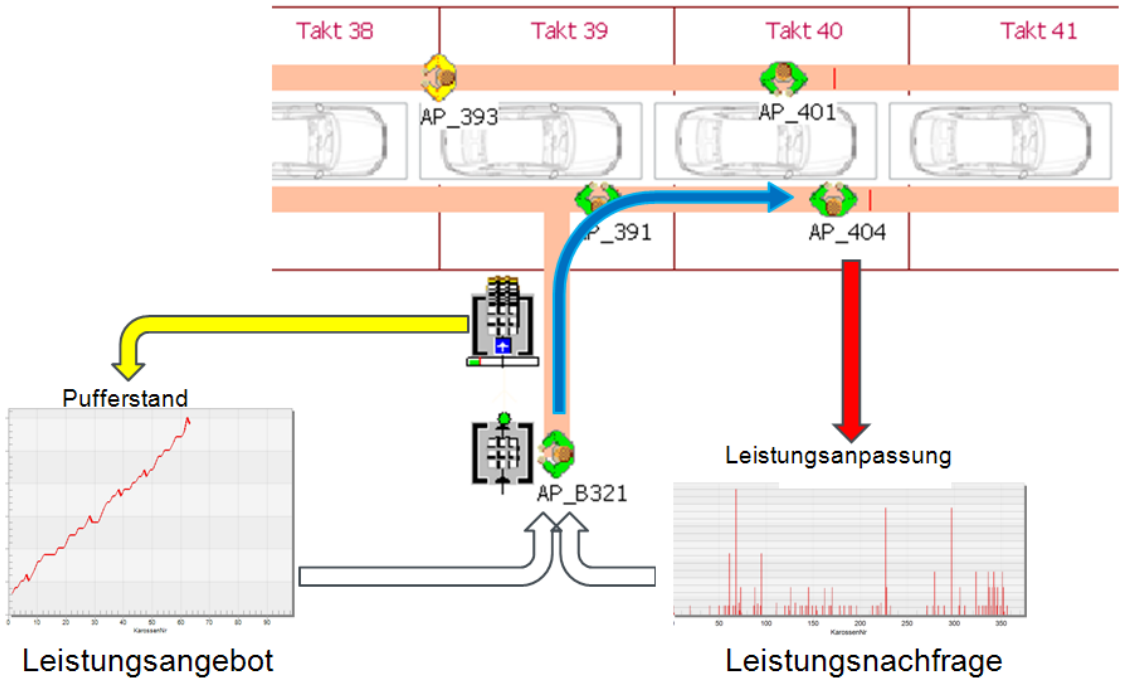

Abbildung 40: Unterstützereinsatz durch eine Vormontage

Eine Unterstützung ist machbar, wenn das Leistungsangebot des Unterstützers, die Leistungsnachfrage des unterstützten Arbeitsplatzes und alle dazu nötigen Stützleistungen decken kann. Dabei muss berücksichtigt werden, dass die Laufwege zum Unterstützungsort Zeit benötigen und dass gegebenenfalls vorangegangene Unterstützereinsätze und damit die Absenz des Vormontagearbeiters einen geringeren Pufferfüllstand ergeben. Es kann sinnvoll sein einen Mindestpufferstand zu definieren, da ein leerer Modulpuffer selbst zu einem Bandstopp führen würde. Auch zeitlich ist darauf zu achten, dass der Unterstützer nicht mehrere Arbeitsplätze gleichzeitig unterstützen kann.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

6 Literaturverzeichnis

Altemeier, S.: Kostenoptimale Kapazitätsabstimmung in einer getakteten Variantenfließlinie unter expliziter Berücksichtigung des Unterstützereinsatzes und unterschiedlicher Planungszeiträume, Paderborn, Univ. Diss., 2009

Ankenbrand, H.: Hundert Jahre Fließband, in: Frankfurter Allgemeine Zeitung (30.03.2013), http://www.faz.net/aktuell/wirtschaft/ massenproduktion-hundert-jahre-fliessband-12126094.html (gelesen am: 24.03.2016)

AUDI AG: Gesamtpräsentation Montage A4/A5/Q5, Ingolstadt, 2016

Bangsow, S.: Manufacturing simulation with plant simulation and simtalk, usage and programming with examples and solutions, Berlin Heidelberg, Springer Verlag, 2010

Boysen, N.; Fliedner, M.: Ein flexibler zweistufiger Graphen-Algorithmus zur Fließbandabstimmung mit praxisrelevanten Nebenbedingungen, in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 76. Jg. 2006 (zit. 2006a), S.55-78

Boysen, N.; et. al.: Produktionsplanung bei Variantenfließfertigung: Planungshierarchie und Elemente einer Hierarchischen Planung, in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 77. Jg. 2006, S.759-793

Brünglinghaus, C.: Produktionskonzepte: vom Fordismus zum Lean Management (31.07.2013), https://www.springerprofessional.de/automobilproduktion/ industrie-4-0/produktionskonzepte-vom-fordismus-zum-lean-management/6559276 (Gelesen am: 24.03.2016)

Clausing, M.; Heinrich, S.: Vergleich der Werkzeuge MTM und Ablaufsimulation zur Darstellung von Werkerabläufen, in: Advances in Simulation for Production and Logistics Applications, 2008

Dickmann, P.; et. al.: Elemente moderner Schlanker Produktionssysteme, in: Schlanker Materialfluss, Berlin-Heidelberg, Springer Verlag, 2015, S.1-178

Dörmer, J.: Variantenreiche Serienproduktion in der Automobilindustrie, in: Produktionsprogrammplanung bei variantenreicher Fließproduktion, Wiesbaden, Springer Fachmedien, 2013, S.7-30

Eley, M.: Simulation in der Logistik, Eine Einführung in die Erstellung ereignisdiskreter Modelle unter Verwendung des Werkzeuges „Plant Simulation“, Berlin-Heidelberg, Springer Gabler Verlag, 2012

Ford, H.; Crowther, S.: My life and work, Cornstalk Publishing Company, 1922

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Gierth, A.; Schmidt, C.: Zeitdynamische Simulation in der Produktion, in: Schuh, G. (Hrsg): Produktionsplanung und-steuerung, Berlin-Heidelberg, Springer Verlag, 2006, S.646-681

Golz, J.: Materialbereitstellung bei Variantenfließlinien in der Automobilendmontage, Berlin Heidelberg, Springer Verlag, 2014

Günther, H.-O.; Tempelmeier, H.: Übungsbuch Produktion und Logistik, Berlin Heidelberg, Springer Verlag, 2006

Keckl, S.; et al.: An analytical framework for handling production time variety at workstations of mixed-model assembly lines, in: Procedia CIRP 41, 2016, S.201-206

Kiener, S.; et al.: Produktions-Management, Grundlagen der Produktionsplanung und –steuerung, 10. verbesserte Auflage, München, Oldenbourg Verlag, 2012

Klepzig, H.-J.: Working Capital und Cash Flow, Finanzströme durch Prozessmanagement optimieren, 2. Auflage, Wiesbaden, Springer Fachmedien, 2010

Klug, F.: Logistikmanagement in der Automobilindustrie, Grundlagen der Logistik im Automobilbau, Berlin Heidelberg, Springer-Verlag, 2010

März, L.: Dynamische Austaktung in sequenzierten Produktionslinien der Automobilindustrie, in: Claus H.; et.al.: Produktionsplanung und –steuerung, Forschungsansätze Methoden und deren Anwendung, Berlin Heidelberg, Springer Verlag, 2015, S.241-255

März, L.; et al.: Integrierte Programm- und Personaleinsatzplanung sequenzierter Produktionslinien, März, L.; et al.: Simulation und Optimierung in Produktion und Logistik, Heidelberg Dordrecht London New York, Springer Verlag, 2011, S.133-150

Neubauer, W.; Rudow, B.: Trends in der Automobilindustrie, Entwicklungstendenzen – Betriebsratsarbeit – Steuer- und Fördertechnik – Gießereitechnik – Informationstechnologie, München, Oldenbourg Verlag, 2012

Österreichische MTM-Vereinigung: Basic MTM, MTM-1-Grundsystem und MTM-UAS-Grund-/Standardvorgänge, Lehrunterlage für die studentische Ausbildung, o.J.

Rabe, M.; et al.: Verifikation und Validierung für die Simulation in der Produktion und Logistik, Vorgehensmodelle und Techniken, Berlin-Heidelberg, Springer, 2008

Stewart, J.: The Toyota Kaizen Continuum, A Practical Guide to Implementing Lean, CRC Press, 2011

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Syska, A.: Produktionsmanagement, Das A-Z wichtiger Methoden und Konzepte für die Produktion von heute, Wiesbaden, Gabler Verlag, 2006

Verein Deutscher Ingenieure: VDI Richtlinie 3633, Simulation von Logistik-, Materialfluss- und Produktionssystemen, Blatt 1 - Grundlagen, Berlin, Beuth Verlag, 2014

Wenzel, S.; et al: Qualitätskriterien für die Simulation in der Produktion und Logistik, Planung und Durchführung von Simulationsstudien, Berlin-Heidelberg, Springer Verlag, 2008

Westkämper, E.: Aktuelle Trends in der industriellen Produktion (09.12.2014), https://www.springerprofessional.de/industrie-4-0/produktion---produktionstechnik/aktuelle-trends-in-der-industriellen-produktion/6594126? (Gelesen am: 14.02.2016)

Wiendahl, H.-P.; et al.: Handbuch Fabrikplanung, Konzept, Gestaltung und Umsetzung wandlungsfähiger Produktionsstätten, 2. Auflage, München-Wien, Carl Hanser Verlag, 2014

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

7 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Bearbeitungszyklus 7
Abbildung 2: Planungshierarchie bei Variantenfließfertigung 8
Abbildung 3 Einflussgrößen auf die Austaktung 16
Abbildung 4: Vorgehensmodell zur Erstellung von Simulationen 22
Abbildung 5: Vorgehensweise zur Erstellung der Simulationssystematik 26
Abbildung 6: Definition der Eigenschaften von taktgebundenen Arbeitsplätzen 32
Abbildung 7: Eingangsgrößen nicht linienintegrierter Arbeitsplätze 35
Abbildung 8: Rücklaufweg 38
Abbildung 9: Objektkinematik bei 100% Auslastung 40
Abbildung 10: Verschobener Arbeitsbeginn und Drift 41
Abbildung 11: Rücklaufweg - Allgemeiner Fall 43
Abbildung 12: Arbeitsweg – allgemeiner Fall 45
Abbildung 13: Zusammenhang der Werkerteilbewegungen 46
Abbildung 14: Bewegungsübergang und Bandstoppkapazität 46
Abbildung 15: Grundlegender Zusammenhang der Simulationselemente 50
Abbildung 16: Entscheidungsgrößen zur Werkersteuerung 54
Abbildung 17: Entscheidungsbaum bei Bewegungsentscheidung 56
Abbildung 18: Arbeitsfälle bei Werkstückbearbeitung 58
Abbildung 19: Position der Sensoren für das Arbeitsende 59
Abbildung 20: Einfluss von Vorgängertätigkeiten auf den Rücklaufweg 61
Abbildung 21: Arbeitsendposition und Vorgängerabhängigkeit 62
Abbildung 22: Systematik zur Ermittlung der Beeinflussung durch Vorgänger 64
Abbildung 23: Detailprozesse der Methode "Laufen" 65
Abbildung 24: Beispiel zur Lauffallzuordnung (Lauffall L4) 66
Abbildung 25: Werkerkommunikation nach Mitteilungsfall A 69
Abbildung 26: Werkerkommunikation nach Mitteilungsfall B 70
Abbildung 27: Werkerkommunikation nach Fall C 71
Abbildung 28: Bandstopp und Leistungsanpassung 73
Abbildung 29: Systematik der Bandstoppmethode 74
Abbildung 30: Zusammenhang der Hauptprozesse 75
Abbildung 31: Datenerfassungspunkte im Simulationsablauf 78
Abbildung 32: Dynamische Auslastung 80
Abbildung 33: Abweichung der Normalarbeit 81
Abbildung 34: Beispiel der Verteilung der Zeitanteile 82
Abbildung 35: Wertschöpfungsanteil bei nicht taktgebundenen Arbeitsplätzen 83
Abbildung 36: Darstellung des Driftverhaltens 84
Abbildung 37: Überlastungsort 86
Abbildung 38: Überlastungszeit 86

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Abbildung 39: Visualisierung der Teilbewegungen 88
Abbildung 40: Unterstützereinsatz durch eine Vormontage.....93

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

8 Formelverzeichnis

Formel 1: Definition Taktzeit 6
Formel 2: Fließbandgeschwindigkeit 31
Formel 3: Anfangsposition des Arbeitsbereichs 32
Formel 4: Endposition des Arbeitsbereichs 33
Formel 5: Rücklaufzeit 37
Formel 6: Bearbeitungszeit 38
Formel 7: Geschwindigkeitszustände des Förderbandes 39
Formel 8: Geschwindigkeitszustände der Werker 39
Formel 9: Beziehung für den Rücklaufweg 44
Formel 10: Beziehung für den Rücklaufendpunkt 44
Formel 11: Beziehung für den Restarbeitsweg 44
Formel 12: Beziehung für den Arbeitsendpunkt 45
Formel 13: Allgemeine Beziehung für den Restrücklaufweg 47
Formel 14: Allgemeine Beziehung für den Rücklaufendpunkt 47
Formel 15: Künftige Bandstoppkapazität in der Teilbewegung „Laufen“ 47
Formel 16: Allgemeine Beziehung für den Restarbeitsweg 48
Formel 17: Restliche Arbeitszeit 48
Formel 18: Allgemeine Beziehung für die Arbeitsendposition 48
Formel 19: Künftige Bandstoppkapazität in der Teilbewegung „Arbeiten“ 48
Formel 20: Bandstoppkapazität beim Überschreiten des Arbeitsbereichs 59
Formel 21: Stelle der Vorgängerabhängigkeit 62
Formel 22: Stelle des relevanten Vorgängereinflusses 63
Formel 23: Arbeitslast eines Bearbeitungszyklus 79
Formel 24: Auslastung eines Bearbeitungszyklus 79
Formel 25: Auslastung über eine Periode 80

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

9 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Aufgabengebiete der Fließbandabstimmung 12
Tabelle 2: Beispielhafte Fertigungszeitentabelle in der Variantenfließfertigung.....37
Tabelle 3: Beispieltabelle zur Datenerfassung.....77
Tabelle 4: Beispielnotation der Überlastungen 78

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

10 Abkürzungsverzeichnis

a1, a2, usw.	Arbeitsfall 1, Arbeitsfall 2 und so weiter
AG	Aktien Gesellschaft
AP	Arbeitsplatz
Ass.	Assistent
BANr	höchste bearbeitbare Werkstücknummer
BRIC	Brasilien, Russland, Indien, China
Dipl.	Diplom
Diss.	Dissertation
Dr.	Doktor
eh.	ehren
et al.	et alii
evtl.	eventuell
f.	folgend
ff.	folgende
FGNr	höchste freigegebene Werkstücknummer
FIFO	First in first out
ggf.	gegebenenfalls
GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung
h.c.	honoris causa
HH:MM:SS	Zeitformat Stunde:Minute:Sekunde
Hrsg.	Herausgeber
Ing.	Ingenieur
ISTNr	Werkstücknummer in Bearbeitung
Jg.	Jahrgang
JIS	Just in sequence
L1, L2, usw.	Lauffall 1, Lauffall 2 und so weiter
m	Meter
M:SS	Zeitformat Minute:Sekunde
max.	maximal
MLA	maximale Länge des Arbeitsbereichs
MTM	Methods-Time Measurement
MVB	Modulverbau
NF	Nachfolger
Nr.	Nummer
o.S.	Ohne Seite
Pos	Position des Werkeres auf dem Arbeitsbereich
Prof.	Professor
Proj.	Projekt
rab	relativer Arbeitsbeginn

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

REFA	Reichsausschuß für Arbeitszeitermittlung
rel	relevant
RS4	Audi A4 Racing-Sport-Line
s	Sekunde
S.	Seite
S4	Audi A4 Sport-Line
SAE	Stelle des Arbeitsendes
SGE	Stelle des Gehendes
SVA	Stelle der Vorgängerabhängigkeit
unabh.	unabhängig
usw.	Und so weiter
Univ.	Universität
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
VG	Vorgänger
vgl.	vergleiche
W	Werker
W1	Wartefall 1
W2	Wartefall 2
WaV	Warten auf Vorgänger
Wirt.	Wirtschaft
Wirtsch.	Wirtschaft
z.B.	zum Beispiel
zit.	Zitat

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

11 Symbolverzeichnis

$\%$	Prozent
$BANr$	Höchste bearbeitbare Werkstücknummer
BSK	Bandstoppkapazität
BSZ	Bandstoppzeit
BZ	Bearbeitungszeit
c	Nummer der Teilbewegung eines Werkers
Δt	Zeit seit dem Beginn der aktuellen Werkerteilbewegung
Δx_F	bereits zurückgelegter Werkstückweg auf dem Fließband
Δx_W	bereits zurückgelegter Werkerweg
$FGNr$	Freigabenummer
FZ	Fertigungszeit
H_0	Anzahl der Merkmalsträger
i	Arbeitsplatznummer
$ISTNr$	Werkstücknummer in Bearbeitung
k	Zyklusnummer/ Werkstücknummer
MLA	maximale Länge des Arbeitsbereich
N_0	Sequenzlänge
n_i	Takt i
rab	relativer Arbeitsbeginn
RAZ	restliche Arbeitszeit
rel	relevant
RLZ	Rücklaufzeit
rvs	relativer Versatz
SAE	Stelle des Arbeitsendes
SGE	Stelle des Gehendes
t_A	Zeit zwischen Bandanlauf und Eintreffen des Werkers am Objekt
T	Periode
TL	Taktlänge
v_F	Fließbandgeschwindigkeit
v_{F_N}	Normalgeschwindigkeit des Fließbandes
v_G	Werkergehgeschwindigkeit
v_W	Werkergeschwindigkeit
VG	Vorgänger
W	Werker
x_A	Rücklaufweg bei Bandanlauf
$x_{Arb_{Rest}}$	Restarbeitsweg
x_{Pos}	Position des Werkers bezogen auf seinen Arbeitsbereich
$x_{RL_{Rest}}$	restlicher Rücklaufweg

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

$x_{WA_{Beg}}$	absolute Position des Arbeitsplatzbeginns
$x_{WA_{End}}$	absolute Position des Arbeitsplatzendes

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub