

1 Einleitung

1.1 Ausgangssituation und Problemstellung

Seit Jahrzehnten ist in den meisten entwickelten Industrienationen ein Rückgang industrieller Wertschöpfung zugunsten der Verlagerung in Niedriglohnländer zu beobachten.¹ Gleichzeitig führen die hohe Innovationsleistung dieser Länder sowie die zunehmende Bedeutung von Lieferzeit und Liefertreue dazu, dass Wertschöpfungsumfänge nicht beliebig verlagert werden können.² Die Industrielleistung industrialisierter Nationen basiert nicht zuletzt auf dem Wettbewerbsvorteil, technologisch anspruchsvollste Produkte kundenindividuell herstellen und in der geforderten Qualität liefern zu können.³ Während einzelne Prozesse oder Technologien sowie die Herstellung von Baugruppen wie bspw. von Gussteilen und arbeitsintensiven Standardkomponenten aus Kostengründen immer schwieriger in Hochlohnländern gehalten werden können⁴, ist es der Anspruch einer hohen Kundenindividualität, Diversifizierung und Wandlungsfähigkeit der Montage, welche u.a. die Nähe zum Engineering und heimischen Netzwerk erfordert und die Verlagerungsfähigkeit verringert.⁵ Das Konzept geht so lange auf, wie der Wettbewerbsvorteil dieser dynamischen, vielfältigen und mit Unsicherheiten versehenen, d.h. komplexen⁶ Leistungserstellung den Nachteil höherer Kosten an Hochlohnstandorten überwiegt. Dabei sind 15 bis 20% der Gesamtstückkosten in der variantenreichen Serienproduktion allein der Komplexität zuzuordnen.⁷ Bis zu 40% dieser Komplexitätskosten entstehen in der Produktion, die wiederum je nach Branche zu 15 bis 70% aus Montagetätigkeiten besteht.⁸ Diese seit Jahrzehnten hohe Bedeutung der Montage verdeutlicht Bild 1-1 am Beispiel des industriellen Maschinen- und Anlagenbaus. Die Montage ist als ein in höchstem Maße indeterministisches System somit besonders von diesen Kosten betroffen (siehe Bild 1-2).⁹

Während räumlich und zeitlich streng zusammenhängende und determinierte Produktionsprozesse, wie bspw. die mechanische Bearbeitung eines Bauteils oder eine hoch automatisierte Montagestraße, eine hohe Erfolgswahrscheinlichkeit haben, was ihren Ausgang betrifft, ist diese bei indeterministischen, komplexen Systemen wie der variantenreichen Montage mit vielen Freiheitsgraden bezüglich Prozessfolgen und -ausführung verhältnismäßig gering.

¹ Vgl. Belitz, H. et al. (FuE-intensive Industrien), 2012, S. 6; Zschiedrich, H. (Produktionsverlagerungen), 2006, S. 443; Brenke, K. (Industrielle Entwicklung), 2012, S. 3.

² Vgl. Belitz, H. et al. (FuE-intensive Industrien), 2012, S. 17; Kinkel, S. et al. (Produktionsverlagerungen), 2008, S. 31.

³ Vgl. Zschiedrich, H. (Produktionsverlagerungen), 2006, S. 449; Kinkel, S. et al. (Produktionsverlagerungen), 2008, S. 32.

⁴ Vgl. Kinkel, S. et al. (Produktionsverlagerungen), 2008, S. 30; Schrader, K. et al. (Globalisierung), 2009, S. 10.

⁵ Vgl. Brecher, C. et al. (Integrative Produktionstechnik), 2011, S. 55.

⁶ Vgl. Westphal, J. (Produktionslogistik), 2001, S. 79f.

⁷ Vgl. Piller, T. et al. (Modularisierung), 1999.

⁸ Vgl. Lotter, B. et al. (Industrielle Produktion), 2006, S. 3.

⁹ Vgl. Piller, T. et al. (Modularisierung), 1999.

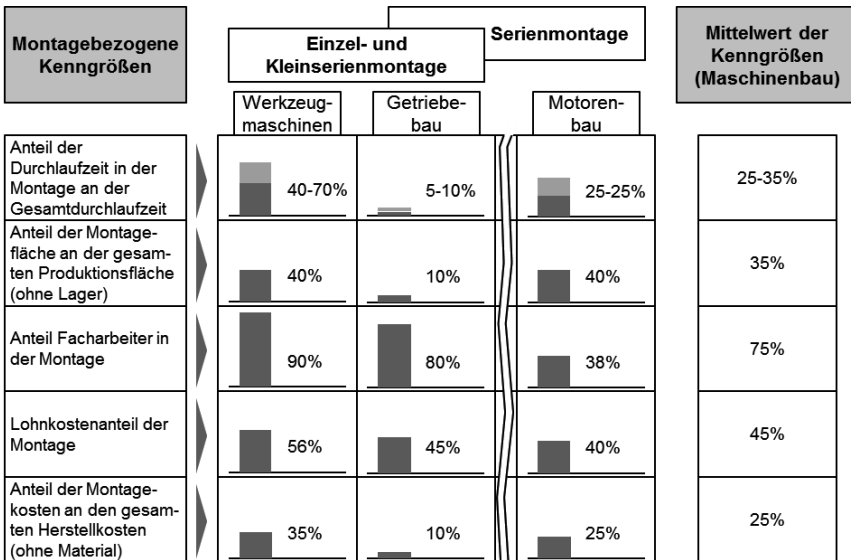


Bild 1-1: Kennwerte der Montage für Produkte aus dem Bereich des Maschinenbaus.¹⁰

Der bis heute bedeutendste Schritt, der zunehmenden Komplexität in Produkten zu begegnen und die resultierenden Kosten in der Produktion zu senken war Taylors Scientific Management,¹¹ dessen meist bekannte Anwendung bis heute durch Ford für das Model T umgesetzt wurde.¹² Die Realisierung der Arbeitsteilung und Einführung eines getakteten Systems führte zu einer deutlich höheren Vorhersagbarkeit über Transformation und Zielzustand des Produktes, wodurch Komplexitätskosten dramatisch reduziert werden konnten (Bild 1-3). Auch heute noch gilt das Konzept der getakteten Fließmontage nicht nur in der Automobilmontage, sondern in vielen weiteren Branchen als das effizienteste: Populär geworden durch die Automobilindustrie findet die getaktete Fließmontage heute auch Umsetzung in Bereichen mit deutlich höher ausgeprägter Kundenindividualität und Prozessvarianz.¹³ Die branchenübergreifende Gemeinsamkeit besteht in der sequenziellen Arbeitsteilung zwischen beliebig vielen Montagestationen, die durch die Arbeit im gleichen Takt, d.h. mit einer markanten zeitlichen Führungsgröße, einen synchronen Montageprozess sicherstellen sollen.¹⁴

Eine der bedeutendsten Herausforderungen der getakteten Fließmontage ist der Umgang mit Varianz, welche prozessbedingte Wartezeiten in den einzelnen Arbeitsstationen und ei-

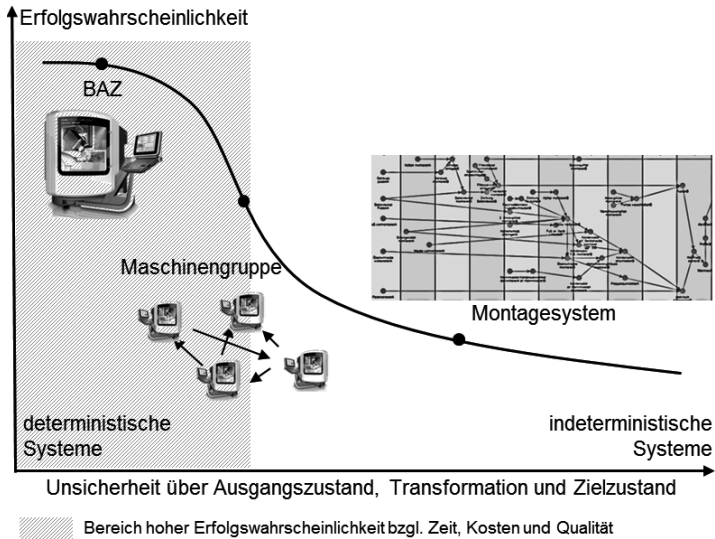
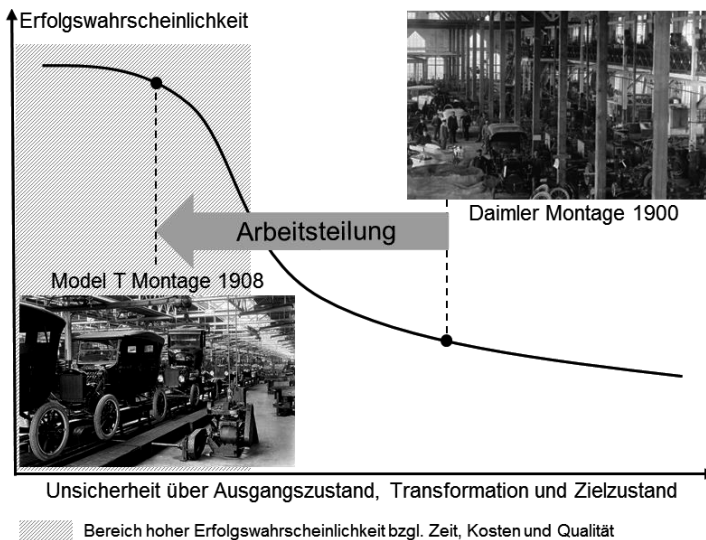
¹⁰ i.A.a. Eversheim, W. (Montageplanung), 1989, S. 141

¹¹ Vgl. Kanigel, R. (Optimierung), 2005; Buenstorf, G. et al. (Wissenschaftsmanagement) 2005, S. 543ff.

¹² Vgl. Runge, C. et al. (GMO) 2002, S. 224.

¹³ Vgl. Schuh et al. (Effizienz) 2007, S. 69; Hu, S. et al. (Assembly system design), 2011, S. 715ff.

¹⁴ Vgl. Gulden, A. (Wertorientierung) 2009, S. 217ff.

Bild 1-2: Montage als komplexes und indeterministisches System.¹⁵Bild 1-3: Komplexitätsabbau in der Montage durch Arbeitsteilung am Beispiel Ford Model T.¹⁶¹⁵ i.A.a. von der Weth, R. (Komplexitätsmanagement), 2001, S. 121¹⁶ Eigene Darstellung.

nen Abfall der Produktivität zufolge hat.¹⁷ Während in FORDS Fabrik in Highland Park 1913 ausschließlich eine Variante – das Model T – montiert worden ist,¹⁸ führen abweichende Prozesszeiten bei gleichen Montagevorgängen unterschiedlicher Produktvarianten seit vielen Jahrzehnten zu einer inhomogenen Auslastungssituation der jeweiligen Montagestation. In der Praxis führt dies regelmäßig zu einer eingeschränkten Auslastung individueller Montagestationen bei gleichzeitig voller Auslastung der gesamten Montagelinie. Es entsteht folglich ein Produktivitätsproblem.

Die bereits seit der ersten Hälfte des vergangenen Jahrhunderts progressiv zunehmende Variantenvielfalt produzierter Güter lässt trotz vieler Gegenmaßnahmen in der Praxis eine Taktauslastung von 100% nicht zu. So liegt die durchschnittliche Taktauslastung bspw. in der Automobilendmontage heute i.d.R. zwischen 80% und 89%.¹⁹ Umgekehrt bedeutet dies, dass es hier ein Taktverlust von 11% bis 20% des Taktes zu verzeichnen gibt. Bei anderen, weniger standardisierten Produkten liegt der Taktverlust deutlich höher. Erfahrungen bspw. in der Nutzfahrzeug-, Bus- und häufig Industriegüterherstellung weisen eine Produktivität²⁰ in der Montage von etwa 70% auf.²¹ Dabei wirkt sich diese direkt auf die Herstellkosten des Produkts aus, da während der prozessbedingten Wartezeiten in der jeweiligen Montagestation häufig keine produktive Tätigkeit sichergestellt werden kann, alle Ressourcen jedoch im Einsatz sind. Die entstehenden Kosten sind ein bedeutender Teil der variantengetriebenen Komplexitätskosten.²² Die Reduzierung von Taktverlusten ist für produzierende Unternehmen folglich von hoher wirtschaftlicher Bedeutung.

Bisherige Ansätze beschäftigen sich mit der Reduzierung von Taktverlusten ausgehend von einem bekannten, auskonstruierten Produkt mit einer festgelegten Produkt- und meistens auch Produktionsstruktur. Dabei wird die Problemlösung weitgehend in die Montagesteuerung verlagert und findet in früheren Planungsphasen nur eine geringe bzw. gar keine Betrachtung. So wird die Varianz der Montageprozesse in der Planung von Fließmontagesystemen unzureichend berücksichtigt. Praktizierte Planungsverfahren, nach denen Montageprozesse auf Montagestationen verteilt werden, bedienen sich Durchschnittswerten, die aus den Prozesszeiten unterschiedlicher Produktvarianten resultieren. Eine Vielzahl weitergehender Verfahren zur Berücksichtigung der Varianz im Planungsprozess findet in der Praxis aufgrund des hohen Analyseaufwands keine Anwendung.²³ Damit erfolgt die Problemverlagerung in die Montagesteuerung. Der am intensivsten erforschte und praktizierte Ansatz für

¹⁷ Vgl. Schmidt, V. (Gruppenorientierte Arbeitsstrukturen), 1990, S. 16ff.; Koether, R. (Modell-Mix Verluste), 1985, S. 22ff.

¹⁸ Vgl. Duggan, K. (Value Streams) 2002, S. 4.

¹⁹ Vgl. Koether, R. (Modell-Mix Verluste), 1985, S. 23, 46 und 54. Koether nennt 8% Modell-Mix-Verluste und 10% Taktausgleich. Die Zahlen beziehen sich weiterhin auf unveröffentlichte Informationen von zwei PKW-Montagelinien sowie drei LKW-Montagelinien und einer Linien- und Reisebus-Montagelinie von fünf unterschiedlichen Herstellern. Die Daten sind durch zum Teil durch den Autor der vorliegenden Arbeit im Rahmen von Industrieprojekten und zum Teil in Interviews mit der Produktionsleitung der entsprechenden Produktionsstandorte erhoben worden.

²⁰ Als Produktivität wird i.d.R. der Quotient von Vorgabezeit für die Montageaufgabe und tatsächlicher Montagezeit herbeigezogen.

²¹ Es handelt sich hierbei um einen Erfahrungswert aus einer Vielzahl an Projekten des Autors in über vier Jahren am Lehrstuhl für Produktionsmanagement am WZL der RWTH Aachen.

²² Vgl. Gottschalk, S. F. (Dedicated Flexibility), 2006, S. 105.

²³ Vgl. Hu, S. et al. (Assembly system design), 2011, S. 720.

den Umgang mit Taktverlusten ist die Reihenfolgeplanung (auch *Sequencing*) in der Montagesteuerung bzw. operativen Montageplanung. In der Reihenfolgeplanung wird versucht, Produkte in der Montage so zu sequenzieren, dass sich die unterschiedlichen Prozesszeiten einander folgender Varianten möglichst ausgleichen und nicht verstärken. Mit zunehmender Leistungsfähigkeit der Informationsverarbeitung wurden insbesondere in den 1980er und 1990er Jahren zahlreiche Optimierungsverfahren entwickelt, um die optimale Montagesequenz in der getakteten Fließmontage herzustellen. In Kombination mit Ausgleichsmechanismen wie bspw. einer eingeschränkten Öffnung von Stationsgrenzen können Taktverluste so reduziert werden. In den betrachteten Phasen sind jedoch Restriktionen seitens der Produkt- und Produktionssystemgestaltung bereits festgelegt. Dabei hat die Produktgestaltung maßgeblichen Einfluss auf die Nivellierungsmöglichkeiten eines Produkts und legt somit die Grenzen für Taktverluste in der Montage fest. Die Optimierung der Schnittstelle zwischen Produktgestaltung und Montageplanung ist erkannt worden.²⁴ Wie die Montage idealerweise, d.h. unabhängig von fallspezifischen produktseitigen Restriktionen auszusehen hat, wird infolge dessen unzureichend betrachtet. Dabei kann gerade in der Phase, in der das Produkt noch nicht konstruiert ist, seitens der Montageplanung erheblicher Einfluss auf die Produkt- und Prozessgestaltung genommen werden, so dass die Herbeiführung einer Ausgangssituation für Taktverluste weniger willkürlich geschieht. Die Formulierung einer optimalen Montage für ein ggf. noch nicht konstruiertes Produkt mit dem Optimierungsziel der Taktverlustreduzierung stellt somit eine besondere Herausforderung der integrierten Produkt- und Prozessplanung dar.

1.2 Ziel der Arbeit

Angesichts der eingangs beschriebenen Problemstellung ist es das übergeordnete Ziel dieser Arbeit, einen Beitrag zur Produktivitätssteigerung der Herstellung montageintensiver und variantenreicher Produkte in einer getakteten Fließmontage zu leisten. Dafür soll das ungleiche Verhältnis von Kostenfestlegung zu Kostenverursachung entlang der Produkt-Prozess-Planungsphasen zur Vorbeugung vor Taktverlusten gezielt nutzbar gemacht werden. Die Ausführungen orientierten sich an dem Ziel, einen Beitrag zur Auslegung von Montagesystemen für neue Produkte und Produktionssysteme zu entwickeln, aus dem eine gezielte Einflussnahme auf die Produkt- und Produktionssystemgestaltung realisiert werden kann.

Mit der Einflussnahme der Produktgestaltung auf die resultierenden Produktionsprozesse beschäftigen sich vielfältige wissenschaftliche Ansätze und Methoden. Zusammengefasst unter dem Begriff *Design for X* werden seit den 1990er Jahren zunehmend produktgestaltungs-fokussierte Methoden wie *Design for Assembly*, *Design for Changeability*²⁵ oder *Design for Manufacturability* als bedeutende Stellhebel für die Effizienz und Leistungsfähigkeit der Wertschöpfung erkannt. Dieser integrierten Betrachtung von Produkt- und Prozessplanung kommt die Bedeutung zu, möglichen Herausforderungen der Produktion bereits in der Produktgestaltung entgegenzuwirken und somit Lebenszykluskosten des Produkts zu minimieren. Die in Bild 1-4 dargestellte Relation zwischen Kostenverursachung und Kostenverantwortung in der Montage und der Konstruktion verdeutlicht die Bedeutung dieses Stellhebels.

²⁴ Vgl. Bley, H. et al. (Montageplanung), 2006, S. 23f.; Dini, G. et al. (Assembly sequences), 1999, S. 17.

²⁵ z.B. Schuh, G. et al. (Design for Changeability) 2004

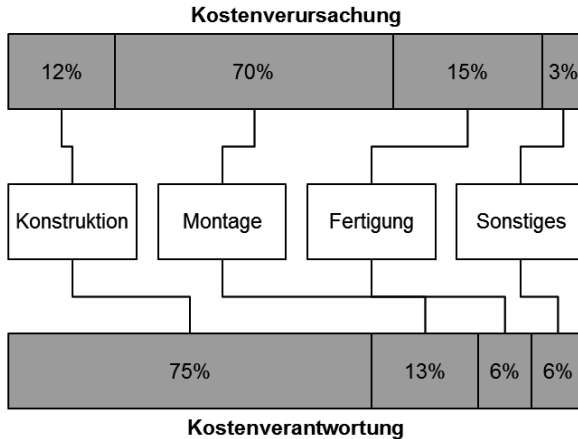


Bild 1-4: Gegenüberstellung von Kostenverursachung und Kostenverantwortung.²⁶

Vor dem Hintergrund dieser Motivation und der übergeordneten Zielsetzung lässt sich das Ziel dieser Arbeit folgendermaßen formulieren:

Ziel dieser Arbeit ist die Erarbeitung eines Erklärungsmodells, das die zentralen Wirkbeziehungen zwischen Taktverlusten und der Gestaltung des Produkt-Produktionssystems erklärt und welches Unternehmen zwecks Vorbeugung vor Taktverlusten gezielt in ihre Produkt- und Prozessentwicklung einbinden können.

Den Ausführungen von PATZAK entsprechend wird dieses Erklärungsmodell auf – in logisch-induktiven Schritten – ermittelten Wirkzusammenhängen basieren, die auf quantitative und qualitative Weise bestimmte Ausprägungen im Produkt-Produktionssystem im Hinblick auf relevante Wirkbeziehungen erklären sowie Besonderheiten zur Einflussnahme auf diese Wirkbeziehungen definieren. Ein Erklärungsmodell bezweckt dabei, eine möglichst weitgehende Einsicht in die Realität zu gewinnen und diese dadurch zu verstehen.²⁷

Um den Betrachtungsbereich der Arbeit festzulegen und den Forschungsprozess zu steuern, empfiehlt KUBICEK die Formulierung grundlegender Forschungsfragen.²⁸ Im Hinblick auf die Herausforderung der Taktverluste in der Montage soll mit der vorliegenden Arbeit daher die folgende Forschungsfrage beantwortet werden:

Kann in der integrierten Produkt- und Prozessplanung Taktverlusten gezielt vorgebeugt werden?

Die Fragestellung kann in die fünf Unterfragen untergliedert werden, die die Arbeit begleiten sollen:

- Was ist der Ursprung von Taktverlusten in der Montage und wie lassen sich Taktverluste formalisieren? (Kapitel 2.2)

²⁶ i.A.a. Lotter, B. et al. (Industrielle Produktion), 2006, S. 6

²⁷ Vgl. Patzak, G. (Systemtechnik) 1985, S. 313ff.

²⁸ Vgl. Kubicek, H. (Heuristische Bezugsrahmen) 1977, S. 25.

- Welchen Erkenntnisbeitrag können ausgewählte wissenschaftliche Ansätze der Produkt- und Prozessplanung für die Beantwortung der Frage nach präventiven Ansätzen zur Vorbeugung vor Taktverlusten leisten? (Kapitel 3)
- Welche Aspekte bekannter Ansätze der Montagesystemgestaltung können durch die theoriegeleiteten Überlegungen als relevante Erklärungsbausteine verwendet werden? (Kapitel 4.1)
- Wie ist ein Erklärungsmodell zur Vorbeugung vor Taktverlusten konzipiert? Welche relevanten Zielgrößen und Einflussfaktoren beinhaltet das Erklärungsmodell? (Kapitel 4.2)
- Welche Wirkmechanismen bestehen zwischen den einzelnen Größen des Erklärungsmodells und welche Implikationen und Handlungsoptionen ergeben sich aus den Erkenntnissen des Erklärungsmodells? (Kapitel 5)

1.3 Forschungsmethodischer Rahmen der Arbeit

Die Dokumentation wissenschaftlicher Forschung ähnelt einem Reisebericht: "Von einem bestimmten Ort aus beginnt der Forschende seine Reise, in deren Verlauf er – günstigstenfalls – unbekannte Ortschaften und Länder [...] auffindet, und neue Wege durch unerschlossenes Gelände bahnt".²⁹ Der Forschungsprozess hat also seinen Ausgang in einer grundlegenden Erkenntnisperspektive, von der aus der Forschende, angeleitet durch eine methodologische Vorgehensweise, seinen Weg beschreitet.³⁰ Inhalt der grundlegenden Erkenntnisperspektive ist ein Satz grundlegender Prinzipien, ein nicht mehr weiter begründbares "belief system".³¹ Nach ULRICH werden damit die jedem Forschungsansatz eigenen Vorurteile offengelegt, die Grundlage und zugleich Begrenzung des Erkenntnisprozesses darstellen.³²

Die vorliegende Arbeit ist im Bereich der Ingenieurwissenschaften angesiedelt. Die damit gegebene realwissenschaftliche Kategorisierung³³ gibt bereits Aufschluss über die angestrebte Argumentationslogik. Während formalwissenschaftliche Aussagen, z.B. in der Mathematik oder Philosophie, analytischen Charakter besitzen, deren Ziel es ist, Zeichensysteme und Verwendungsregeln zu konstruieren, ist es das Ziel der synthetischen Aussagen in den Realwissenschaften, wahrnehmbare Wirklichkeitsausschnitte empirisch zu beschreiben, zu erklären und zu gestalten.³⁴ Die Realwissenschaften lassen sich in Grundlagenwissenschaften, wie die naturwissenschaftlichen Disziplinen, und in die angewandten Handlungswissenschaften, wie die Sozialwissenschaften, untergliedern.³⁵ Die Ingenieurwissenschaften bewegen sich im Allgemeinen in einer Schnittmenge zwischen diesen Disziplinen. In der vorliegenden Arbeit werden grundlegende Zusammenhänge in der getakteten Fließmontage

²⁹ Vgl. Binder, V. (Technologiepotentiale) 1996, S. 3f.

³⁰ Vgl. Binder, V. (Technologiepotentiale) 1996, S. 3f. Die Frage nach der grundlegenden Erkenntnisperspektive wird in die ontologische ("Das Sein der Welt"), die epistemologische ("Natur der Beziehungen") und die methodologische Frage untergliedert. Aufgrund der Bedeutung der methodologischen Fragestellung für den Aufbau der Arbeit wird diese hier gesondert diskutiert.

³¹ Vgl. Guba, E. (Paradigmen), 1994, S. 107.

³² Vgl. Ulrich, H. (Systemorientierter Ansatz), 1971, S.43.

³³ Vgl. Ulrich, P.; Hill, W. (Wissenschaftstheoretische Grundlagen (Teil I)), 1976, S. 305.

³⁴ Vgl. Ulrich, P.; Hill, W. (Wissenschaftstheoretische Grundlagen (Teil I)), 1976, S. 305; Schanz, G. (Wissenschaftstheoretische Grundlagen), 1987, S. 2039.

³⁵ Vgl. Ulrich, P.; Hill, W. (Wissenschaftstheoretische Grundlagen (Teil I)), 1976, S. 305.

unter technischen Blickwinkeln erörtert und in gestaltende Handlungsempfehlungen überführt. Somit bewegt sich auch diese Arbeit in der Schnittmenge der Grundlagen- und der angewandten Handlungswissenschaften.

Wissenschaftlicher Erkenntnisgewinn ist in den Handlungswissenschaften weniger am Zuwachs der Erkenntnissicherung als am Zuwachs an Verständnis durch die Entwicklung von Modellen für eine zu gestaltende Realität orientiert.³⁶ Die grundlegende Erkenntnisperspektive einer Forschungsarbeit in den Handlungswissenschaften beschreibt daher die Leitlinien und die Grundannahmen oder, anders formuliert, das „Grundmodell“ des Forschungsprozesses.³⁷ Die grundlegende Erkenntnisperspektive der vorliegenden Arbeit kann an einer kurzen Erläuterung zum Wesen der Modellbildung dargestellt werden.

STACHOWIAK beschreibt den grundlegenden Wandel, der sich bezüglich des Modellbegriffes in der Wissenschaft vollzogen hat. Hier standen Modelle ursprünglich für „falsche“ Vorstufen zu wahren Theorien. Die Repräsentationsfunktion von Modellen ist heute in den Hintergrund getreten und wurde durch eine Zweckorientierung ersetzt. Es geht also nicht mehr um „Modelle von“, sondern um „Modelle für“ bei der Beschreibung und Untersuchung von Problemzusammenhängen.³⁸ Ebenso hat sich der Charakter von Modellen mit der Zeit verändert. VEMURI beschreibt die Chronologie der Ansätze mit der für sie prägenden Denkweise verschiedener Philosophen:³⁹

- Der Ansatz von LEIBNIZ: Die „Wahrheit“ wird analytisch gefunden; Lösungen und Entscheidungen können durch Dekomposition und Aggregation der Problemstellung bzw. des Systems ergründet werden.
- Der Ansatz von LOCKE: Wie die Welt funktioniert, lässt sich empirisch begreifen; Zusammenhänge werden experimentell ergründet und sind von Grundannahmen unabhängig.
- Der Ansatz von KANT: Die „Wahrheit“ ist synthetisch; Beschreibungs- und Entscheidungsmodelle basieren auf Theorien und deren experimenteller Validierung. Die Theorie selber schreibt die Form der Validierung vor.
- Der Ansatz von HEGEL: Wahrheit ist nicht eindeutig, sondern konfliktionär. Entscheidungs- und Problemlöseprozesse basieren demzufolge auf der Formulierung von These und Antithese, deren Dialektik aufzulösen ist.

Das durch die Ansätze von KANT und HEGEL repräsentierte Grundverständnis ist die Basis moderner Wissenschaftskonzeption, der in den kritischen Rationalismus von POPPER mündet.⁴⁰ In der Betriebswirtschaftslehre, der für die vorliegende Arbeit wesentlichsten Disziplin der angewandten Handlungswissenschaften, ist der systemtheoretische Ansatz nach ULRICH und der entscheidungstheoretische Ansatz nach HEINEN die Basis der heutigen Forschungskonzeption, die auch dieser Arbeit zu Grunde gelegt wird.⁴¹

³⁶ Vgl. Kubicek, H. (Heuristische Bezugsrahmen) 1977, S. 7.

³⁷ Vgl. Kuhn, Th. (wissenschaftliche Revolutionen), 2001.

³⁸ Vgl. Stachowiak, H. (Modelltheorie), 1973.

³⁹ Vgl. Vemuri, V. (Komplexe Systeme), 1978, S. 11-15.

⁴⁰ Siehe dazu z.B. die Erläuterungen in Ulrich, P.; Hill, W. (Wissenschaftstheoretische Grundlagen (Teil II)), 1976, S. 345f.; Popper, K. (Logik), 1967.

⁴¹ Vgl. Ulrich, P.; Hill, W. (Wissenschaftstheoretische Grundlagen (Teil I)), 1976, S. 307ff.

Das Vorgehen bei der Modellierung von Systemen wurde lange Zeit dadurch geprägt, dass alle Sachverhalte kausal-mechanistisch erklärt werden können und in deterministischen Zusammenhängen ablaufen.⁴² Eine grundlegende Erkenntnis moderner Wissenschaft ist, dass komplexe Gebilde die Verhaltenscharakteristika nichtlinearer Dynamik aufweisen und sich nicht deterministisch verstehen lassen.⁴³

Traditionelle, d.h. rein analytisch geprägte wissenschaftliche Methoden sind zur Untersuchung komplexer Systeme ungeeignet, da notwendige Bedingungen für ihre Anwendung nicht erfüllt sind; insbesondere ist die Datengrundlage unvollständig. Vollständiges Wissen über das Verhalten komplexer Systeme ist letztlich nicht erreichbar. Es ist daher Teil des Grundverständnisses der Forschungskonzeption, dass begrenztes Wissen über allgemeine Eigenschaften komplexer Systeme im Sinne von Muster-Voraussagen, Prinzip-Erklärungen u.Ä., wertvoller ist als ein Wissen, das Vollständigkeit nur vorspiegelt.⁴⁴

Im Sinne des kritischen Rationalismus von POPPER „beginnt die Erkenntnis nicht mit der Wahrnehmung oder Sammlung von Daten oder Tatsachen, sondern sie beginnt mit Problemen“⁴⁵. Dessen Formulierung ist in der Forschungskonzeption Teil des Entdeckungszusammenhangs, in dem der Objektbereich, die konkrete Problemstellung und die Arbeitshypothesen formuliert werden.⁴⁶ Für die vorliegende Arbeit ist der Objektbereich die getaktete Fließmontage. Das in Kapitel 1.1 formulierte Problem einer taktverlustgerechten Gestaltung von Produkt und Montagesystem soll unter Heranziehung bestehender Ansätze der Produkt- und Prozessplanung bearbeitet werden.

Weiterer Bestandteil der Forschungskonzeption nach ULRICH und HILL ist die Identifikation des Begründungszusammenhangs, indem die Frage nach der Verallgemeinerung und Überprüfbarkeit von Beobachtungen gestellt wird.⁴⁷ Jede empirische Validierung einer Hypothese besitzt stets nur für eine endliche Menge von Fällen Gültigkeit. Hypothesen können daher im Sinne des kritischen Rationalismus „nie endgültig als wahr bewiesen werden, sondern nur vorläufig als richtig beibehalten werden, bis sie durch eine intersubjektiv nachvollziehbare und wiederholbare Falsifizierung widerlegt werden“⁴⁸. Es muss daher Ziel der Forschungskonzeption sein, eine hinreichende Gültigkeit der Forschungsergebnisse aufzuzeigen. Dies geschieht in der vorliegenden Arbeit durch die Überprüfung der Forschungshypothese anhand eines Anwendungsbeispiels aus Praxis, das ein breites Anwendungsfeld repräsentiert.

Die Klärung des Verwendungszusammenhangs ist der dritte Bestandteil der Forschungskonzeption nach ULRICH und HILL. Die Grundfrage lautet hier, welche (gesellschaftliche) Relevanz Forschungsergebnisse (für wen) besitzen.⁴⁹ Neben der in Kapitel 1.1 dargestellten Motivation ergibt sich diese aus dem Entstehungskontext der Arbeit. Wesentlicher Teil des

⁴² Vgl. Fuchs-Wegner, G. (Systemanalyse), 1972, S. 82.

⁴³ Vgl. Nicolis, G. et al. (Komplexitätsbeherrschung), 1987, S. 316.

⁴⁴ Vgl. von Hayek, F. (Komplexe Phänomene), 1972, S. 12ff.; Senge, P. (Learning Organization), 1990, S. 71f.

⁴⁵ Popper, K. (Logik), 1967, S. 104

⁴⁶ Vgl. Ulrich, P.; Hill, W. (Wissenschaftstheoretische Grundlagen (Teil I)), 1976, S. 306.

⁴⁷ Vgl. Ulrich, P.; Hill, W. (Wissenschaftstheoretische Grundlagen (Teil I)), 1976, S. 306.

⁴⁸ Ulrich, P.; Hill, W. (Wissenschaftstheoretische Grundlagen (Teil II)), 1976, S. 346

⁴⁹ Vgl. Ulrich, P.; Hill, W. (Wissenschaftstheoretische Grundlagen (Teil I)), 1976, S. 307.

iterativen Forschungsprozesses⁵⁰ ist neben der Nutzung von Literatur der persönliche Erfahrungshintergrund des Autors aus Forschungs- und Entwicklungsprojekten in der Assistenzzeit am Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen. Die in verschiedenen Projekten gesammelten Erfahrungen zur Gestaltung von Montagesystemen gehen in die Problemformulierung und die Lösungsfindung ein und bestätigen ebenso die Relevanz im Verwendungszusammenhang.

1.4 Aufbau der Arbeit

Der Aufbau der vorliegenden Arbeit orientiert sich an der Strategie angewandter Forschung nach ULRICH, bei dem, ebenso wie beim explorativen Ansatz nach KUBICEK, der Praxisbezug im Vordergrund steht.⁵¹ ULRICH betont jedoch vor allem den Anwendungszusammenhang; d.h., der Forschungsprozess mündet nach erfolgreicher Prüfung der entwickelten Lösungen in der Implementierung sowie der Beratung der Praxis.⁵²

Die Arbeit ist in sieben Kapitel untergliedert, die einen Spannungsbogen des Forschungsprozesses beschreiben (siehe Bild 1-5). Ziel der Arbeit ist der Aufbau eines Erklärungsmodells zur Prävention vor Taktverlusten in der getakteten Fließmontage durch einen Beitrag zur integrierten Produkt- und Prozessplanung.

Den Ausführungen zu der Problemstellung, dem forschungsmethodischen Rahmen und dem Aufbau der Arbeit folgt in Kapitel 2 die Darstellung von Grundlagen der getakteten Fließmontage, deren Verständnis für die vorliegende Arbeit erforderlich ist. Es erfolgen eine Klassifizierung von Montagesystemen, eine Darstellung von den adressierten Herausforderungen sowie von Aufgaben der Montageplanung, bevor das Kapitel mit einer Ausführung zur Entstehung von und Umgang mit Prozessvarianz als Kernursache für Taktverluste abschließt.

In Kapitel 3 werden relevante Vorarbeiten und Ansätze dargestellt, welche die Prävention vor Taktverlusten in der Montage direkt oder indirekt thematisieren. Ziel von Kapitel 3 ist es nicht nur, den Stand der Technik darzustellen, sondern ebenfalls nach bestehenden Lösungsansätzen zu suchen, mit denen in der Praxis präventiv mit Taktverlusten umgegangen werden kann, und die als geeignete Ansätze an der richtigen Stelle im Erklärungsmodell integriert werden können.

In Kapitel 4 wird die Lösungshypothese entwickelt. Auf Grundlage der Vorüberlegungen aus den Kapiteln 2 und 3 wird hier das theoretische Lösungskonzept rund um ein Beschreibungsmodell erarbeitet, mit dem die zentrale Forschungsfrage zu beantworten ist. Kapitel 4 stellt somit den Höhepunkt des Spannungsbogens dieser Arbeit dar.

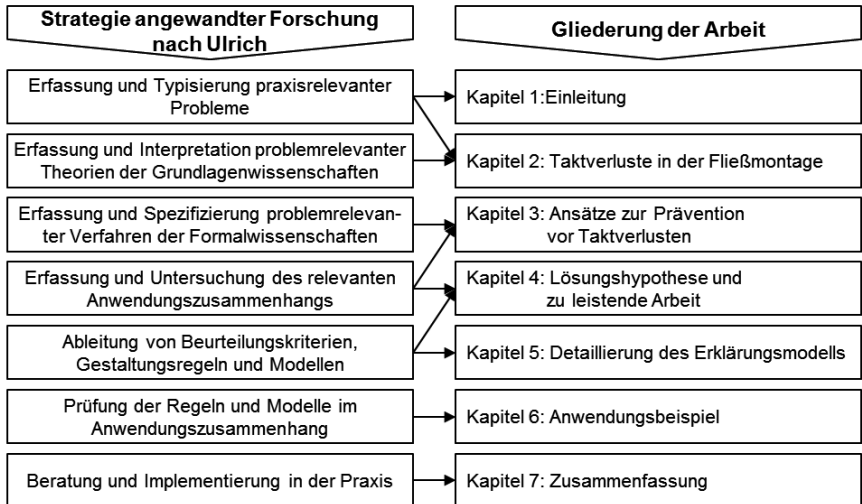
Die inhaltliche Auskleidung des Erklärungsmodells erfolgt auf Grundlage der Anwendung des Lösungskonzeptes, dem Stand der Technik sowie im Rahmen dieser Arbeit durchgeführter Simulationsstudien in Kapitel 5. Hier erfolgt die detaillierte Ausarbeitung des Erklärungsmodells, mit dem der Beitrag zur integrierten Produkt- und Prozessplanung geleistet wird.

Das Erklärungsmodell wird in Kapitel 6 durch die Anwendung auf ein Praxisbeispiel überprüft, bevor die Arbeit mit einer Zusammenfassung in Kapitel 7 abschließt.

⁵⁰ Nach Kubicek, H. (Heuristische Bezugsrahmen) 1977, S. 16 und Tomczak, T. (Qualitativer Forschungsansatz), 1992, S. 84.

⁵¹ Vgl. Ulrich, H. (Betriebswirtschaftslehre), 1984, S. 193.

⁵² Vgl. Zohm, F. (Diskontinuität), 2004, S.14.

Bild 1-5: Aufbau der Arbeit.⁵³

⁵³ i.A.a. Ulrich, H. et al. (Management), 1984, S.193