

1 Einleitung

1.1 Ausgangssituation und Problemstellung

Angesichts zunehmender Individualisierung und Variantenvielfalt, kürzerer Innovations- und Produktlebenszyklen sowie stark schwankender Absatzmengen sieht sich die Mehrzahl produzierender Unternehmen mit einem dynamischen und komplexen Unternehmensumfeld konfrontiert [LATOS et al. 2018, S. 90]. Dieser Entwicklung kann immer weniger durch eine Komplexitätsreduktion der Produktionsabläufe im Sinne einer homogenen Materialflussorientierung mit einheitlichen Durchlaufzeiten begegnet werden [ENGELHARDT 2015, S. 2]. Die Produktionsstrategien durchleben einen Wandel von standardisierten zu individualisierten Produktionsabläufen [ENGELHARDT 2015, S. 3]. Zur Sicherstellung von Wettbewerbsfähigkeit und Markterfolg bedarf es neuartiger Strukturierungs- und Steuerungskonzepte zur Steigerung der Flexibilität und Wandlungsfähigkeit der Produktions- und Logistiksysteme (PLS) [GÖPPERT et al. 2018, S. 151]. Die betroffenen Unternehmen stehen daher im Konflikt zwischen einer durch steigenden Kostendruck notwendigen Sicherstellung hoher Produktivität ihrer Systeme einerseits und den Flexibilitätsanforderungen bei der Gestaltung und Herstellung von Leistungsangeboten andererseits [THALER et al. 2014, S. 545f.].

In diesem Zusammenhang wird insbesondere der Montage als eigentlicher Ort der Variantenbildung und häufig letzte Stufe der Wertschöpfung eine hohe Bedeutung beigemessen [LATOS et al. 2018, S. 90]. Während ein Teil aktueller Arbeiten die Weiterentwicklung konventioneller Linienmontagesysteme bemüht (siehe hierzu [KÜBER 2017; EISELE 2018]), werden für den Umgang mit zunehmend variantenreichen Produktprogrammen vermehrt sogenannte frei verkettete Montagesysteme als vielsprechender Lösungsansatz zur Auflösung des Dilemmas zwischen Flexibilität und Produktivität diskutiert [SCHMITT et al. 2017, S. 339]. Das Konzept basiert im Wesentlichen auf der Auflösung von Takt und Band als charakteristische Eigenschaft konventioneller, getakteter Linienmontagesysteme. Auf diese Weise sollen vorwiegend Austaktungsverluste infolge hoher Taktzeitspreizungen durch zunehmend individualisierte Produktprogramme und weiterer variabilitätsverursachender Faktoren entgegen gewirkt werden [HOFMANN et al. 2019, S. 155f.] (siehe hierzu Abbildung 1-1). Ein zentrales Potential der räumlichen und zeitlichen Entkettung ist die deutlich gesteigerte Materialflussflexibilität und die damit verbundenen Freiheitsgrade in der Abfolge der Montagesequenz [SCHÖNEMANN et al. 2015, S. 106]. Einzig begrenzend für die Sequenz sind technologische Restriktionen, die i.d.R. durch Montagevorranggraphen abgebildet werden [MUCKENHIRN 2005, S. 26]. Die verbleibenden Freiheitsgrade werden als Arbeitsplanflexibilität bezeichnet [CHAN 2004, S. 447].

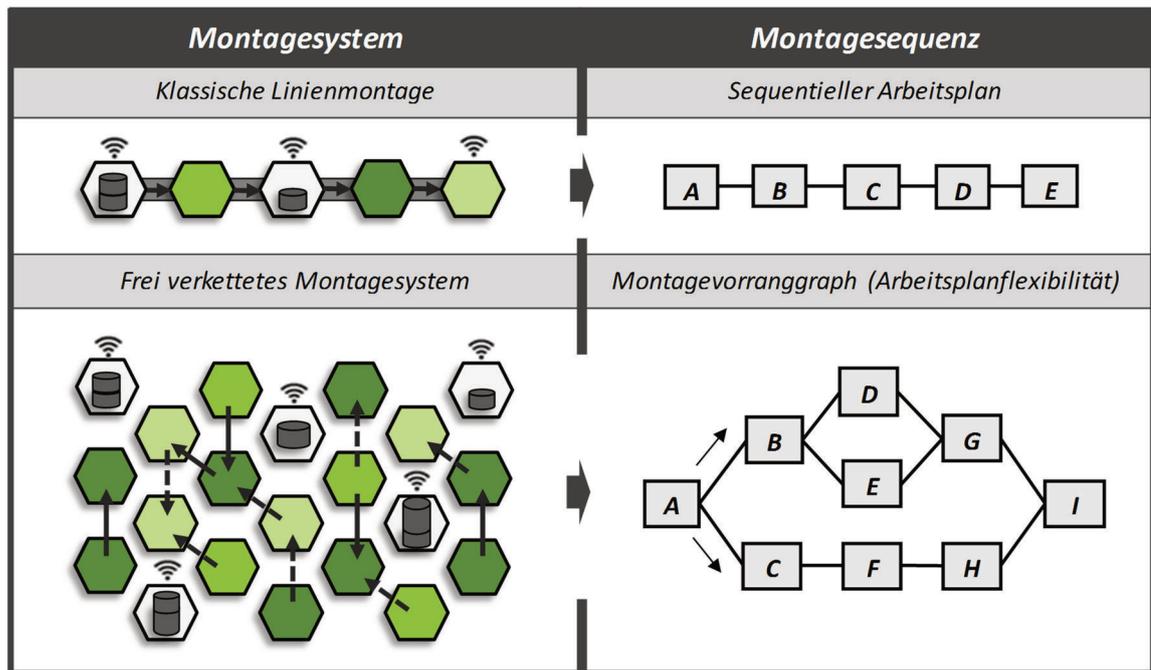


Abbildung 1-1: Freiheitsgrade der Montagesequenz in cyber-physischen, frei verketteten Montagesystemen

Frei verkettete Montagesysteme zeichnen sich durch eine systeminhärente Variabilität in Form heterogener Materialflüsse infolge asynchroner Prozesszeiten aus, was eine Komplexitätsbeherrschung durch die Planungs- und Steuerungsprozesse zwingend notwendig macht [MÄRTENS et al. 2007, S. 471; WILDEMAN 2008, S. 20]. Durch die industriellen Digitalisierungsbestrebungen im Rahmen des Industrie-4.0-Konzepts ergeben sich neue Möglichkeiten zur Bewältigung dieser Komplexität. Die Fortschritte bei der Entwicklung von Informations- und Kommunikationstechnologien ermöglichen den Einsatz cyber-physischer Systeme (CPS), die im Internet-der-Dinge miteinander kommunizieren, sodass eine echtzeitfähige und an den Kundenwünschen individuell ausgerichtete Wertschöpfung ermöglicht wird [THALER et al. 2014, S. 545f.]. Durch die Integration von CPS in die Produktion wird es möglich, Entscheidungen auf die Ebene der Fabrikelemente zu delegieren und eine dezentrale und intelligente Vernetzung aller an der Wertschöpfung beteiligter Akteure zu realisieren [GRONAU 2018, S. 7f.; OBERMAIER 2016, S. 15]. Auf dieser Basis ist es ihnen möglich, selbstständig Entscheidungen zu treffen und situationsbedingt zu reagieren [SAUTER et al. 2015, S. 479; SIEPMANN 2016, S. 43; WILDEMAN 2018, S. 136f.].

Vor diesem Hintergrund wird bereits seit über einem Jahrzehnt der Übergang von der konventionellen Fremd- zu einer Selbststeuerung der logistischen Prozesse als vielversprechender Ansatz in dynamischen und komplexen Produktionsumgebungen diskutiert [SCHOLZ-REITER et al. 2007c, S. 179ff.; WINDT et al. 2010b, S. 109ff.; MARTINS et al. 2018, S. 425ff.]. Der Grundgedanke der Selbststeuerung besteht darin, dass logistische Objekte als CPS zu einer dezentralen und autonomen Entscheidungsfindung

befähigt werden, sodass sie eigenständig und kontextsensitiv ihre Bearbeitungsreihenfolge festlegen [WINDT 2006, S. 271f.]. Zahlreiche Arbeiten argumentieren, dass die Zukunft von Produktion und Logistik in netzwerkartigen, dynamischen, offenen und rekonfigurierbaren Systemen aus kooperativen und autonomen Entitäten besteht [MONOSTORI et al. 2015, S. 12; MEISSNER et al. 2017, S. 168f.]. Dem enormen Komplexitätsanstieg kann demnach nur durch dezentrale autonome Intelligenz in synergistischen und emergenten Strukturen begegnet werden [BAUERNHANSL 2014, S. 15]. Entsprechend der aktuell erheblichen Zunahme publizierter Arbeiten im Forschungsgebiet kann davon ausgegangen werden, dass die Bedeutung selbststeuernder Produktionssysteme zukünftig signifikant zunehmen wird [MARTINS et al. 2018, S. 425].

Nach SCHOLZ-REITER besteht eine Möglichkeit zur Umsetzung von Selbststeuerung in der Entwicklung von Selbststeuerungsmethoden, die einen Rahmen zur Entscheidungsfindung determinieren [SCHOLZ-REITER et al. 2008b, S. 129]. Vorhandene Selbststeuerungsmethoden verwenden in der Regel kurzfristige – sogenannte myopische – Planungshorizonte, wobei die Voraussicht meist auf die nächste Arbeitsstation beschränkt ist [ZEIDLER et al. 2018, S. 2507]. Diese Art der Entscheidungsfindung zielt auf eine hohe Reaktionsfähigkeit der Methoden ab [ZAMBRANO REY et al. 2013, S. 800]. Längere Planungshorizonte sind vor dem Hintergrund ansteigender Volatilität eher als problematisch zu sehen, muss doch bei häufigen Änderungen der zugrundeliegenden Produktionssituation regelmäßig innerhalb kurzer Zeit auf neuartige Bedingungen reagiert werden [GRUNDSTEIN 2017, S. 50]. In Kombination mit der ausgeprägten Materialflussdiversität infolge systembedingter Variabilität im betrachteten Anwendungsszenario führt diese Kurzsichtigkeit allerdings zu hohen Varianzen der Auftragsdurchlaufzeiten [ZEIDLER et al. 2018, S. 2505]. Eine derartige ist für rein verfahrenstechnisch verkettete Systeme charakteristisch [ARZBERGER 2016, S. 66].

Diese Volatilität verschärft die Problematik eines logistisch stabilen Systembetriebs, was in autonomen Systemen eine persistente Unsicherheit auf operativer Ebene erzeugt. Aus dieser Unsicherheit resultiert ein mangelndes Prozess- und Entscheidungsvertrauen in derartig autonomen Systemen, was als wesentliche Implementierungshürde gilt [BLUNCK und BENDUL 2016, S. 158f.]. Gemäß der Kennlinientheorie [LÖDDING 2008, S. 29ff.] erschwert eine steigende Durchlaufzeitvarianz die Einhaltung von Planterminen. Damit wird die Gewährleistung einer hohen Termintreue als marktseitig wahrgenommenen Logistikleistung durch den Kunden gefährdet, die sich jedoch als zentrale Einflussgröße für die Kaufentscheidung entwickelt hat [GIERTH 2009, S. 30]. Weiterhin gilt der Umgang mit autonomen Produktionssystemen innerhalb einer übergeordneten Unternehmensplanung im Sinne des Supply Chain Managements als große Herausforderung [BOCHMANN et al. 2015, S. 273]. Anhand der aufgezeigten Problemstellung wird deutlich, dass es der Entwicklung und Evaluierung weiterer spezifischer Selbststeuerungs-

methoden bedarf, um die mit autonomen Systemen assoziierte Unsicherheit zu reduzieren [BLUNCK und BENDUL 2016, S. 158].

1.2 Zielsetzung und Forschungsfragen

Zur Auflösung des aufgezeigten Dilemmas ist die übergeordnete Zielstellung, eine Selbststeuerungsmethode zu entwickeln, die zum einen den Umgang mit steigender Dynamik durch myopische Entscheidungen unterstützt, zum anderen jedoch auch den Auswirkungen dieser kurzsichtigen Entscheidungen auf nachgelagerte Montageoperationen Rechnung trägt. Als Beitrag zur Auflösung dieses vermeintlichen Widerspruchs wird in dieser Arbeit die Flexibilitätsorientierte Selbststeuerung (FOS) als neuartige Selbststeuerungsmethode vorgestellt. Das zugrundeliegende Konzept beruht dabei auf der Zusammenführung von zwei gegenwärtigen Entwicklungen des Produktionsmanagements:

- **Komplexitätszunahme und Flexibilisierung der PLS:** Zur Reaktion auf zunehmende externe Komplexität steigt die Flexibilität und Wandlungsfähigkeit von PLS insbesondere im Gewerk der Montage seit Jahrzehnten stetig an [PHILIPP 2014, S. 28]. Diese Entwicklung hat jedoch eine ansteigende strukturelle und dynamische Komplexität des Produktionssystems selbst (interne Komplexität) zur Folge [SCHOLZ-REITER et al. 2008b, S. 110]. Im Rahmen frei verketteter Montagesysteme äußert sich dies insbesondere anhand der hohen Materialflusskomplexität.
- **Dezentralisierung und Flexibilitätsbedarf der Produktionssteuerung:** Komplexität und damit verbundene große Lösungsräume gelten als enorme Herausforderung für die konventionelle Ablaufplanung [GRONAU et al. 2011, S. 271]. Selbststeuerung hingegen erschließt die durch Komplexität eröffneten Flexibilitätpotentiale, sodass zunehmende Komplexität plötzlich als Chance und gleichzeitig notwendige Voraussetzung für die Leistungsfähigkeit von selbststeuernden Produktionssystemen zu verstehen ist [SCHOLZ-REITER et al. 2008b, S. 122f.; BLUNCK und WINDT 2013, S. 109ff.; BRETTEL et al. 2016, S. 95f.]. Damit verlangt die Bewältigung des permanenten Komplexitätszuwachses die zunehmende Dezentralisierung und Autonomisierung der Produktionssteuerung [BAUERNHANSL 2014, S. 15]. Die aktuellen industriellen Migrationsbestrebungen zu cyber-physischen Produktionssystemen und die damit verbundene Digitalisierung der Produktions- und Logistikprozesse wiederum schaffen gleichzeitig die technologischen Voraussetzungen für die praktische Umsetzung derartiger Steuerungssysteme [GRUNDSTEIN 2017, S. 26].

Diese Arbeit zielt auf die gezielte Synchronisation dieser komplementären Entwicklungen ab, um vorhandene Synergiepotentiale durch die gezielte Organisation von Flexibilität zu erschließen. (siehe hierzu Abbildung 1-2).



Abbildung 1-2: Synergie zweier komplementärer Entwicklungen - Schematische Darstellung der Zusammenführung zunehmender Flexibilität von Produktionssystemen und steigendem Flexibilitätsbedarf der Steuerungsprozesse in der flexibilitätsorientierten Selbststeuerung (FOS) (Eigene Darstellung i.A.a. [BLUNCK und WINDT 2013, S. 109ff.; BAUERNHANSL 2014, S. 15; SCHOLZ-REITER et al. 2008b, S. 122f.; GRUNDSTEIN 2017, S. 26])

FOS zielt demnach auf die in frei verketteten Montagesystemen vorhandenen Flexibilitätspotentiale ab. Im Fokus steht dabei die bereits eingeführte Arbeitsplanflexibilität als produktinhärente und damit ökonomisch leicht zu erschließende Repräsentation der Materialflussflexibilität. Die Zielstellung ist es, die Freiheitsgrade der Montagesequenz durch unterschiedliche Prozessabfolgen für eine verbesserte Nivellierung von Umlaufbeständen in selbststeuernden, frei verketteten Montagesystemen zielgerichtet auszunutzen. Dieses Vorgehen stützt sich auf den von SPATH et al. postulierten zukünftigen Bedarf einer systematischen statt pauschalen Flexibilitätsverwertung und stützt sich auf die Grundannahme, dass die zielgerichtete Nutzung bisher pauschal genutzter systemeigener Flexibilitätspotentiale Vorteile hinsichtlich der Reaktionsfähigkeit und Produktivität mit sich führt [SPATH 2013, S. 6].

Während des Produktionsdurchlaufs wird infolge der Topologie von Montagevorranggraphen der zukünftige Entscheidungs- und damit Handlungsspielraum unterschiedlich reduziert, obwohl dieser maßgeblichen Einfluss auf die Effizienz von selbststeuernden Systemen hat [BLUNCK und WINDT 2013, S. 109]. FOS zielt darauf ab, die Anzahl der verfügbaren Entscheidungsmöglichkeiten über den gesamten Produktionsablauf möglichst zu erhalten, sodass das System so vielfältig und handlungsstark wie möglich in zukünftigen Produktionssituation reagieren kann. Auf diese Weise soll die Varianz der Durchlaufzeiten gesenkt und folglich geringere Planabweichungen sowie insgesamt ein stabilerer Systembetrieb erreicht werden.

Dazu bedarf es neben einer Ermittlung des Verhaltens von Entscheidungsfreiräumen innerhalb von Montageabläufen der situativen und quantitativen Bewertung von Arbeitsplanflexibilität. Aufbauend auf einer derartigen Quantifizierung der Flexibilität, gilt es, die vorliegende Arbeitsplanflexibilität in den Entscheidungsprozess einer Selbststeuerungsmethode zu integrieren, sodass diese explizite Berücksichtigung findet. Der Zielkonflikt zwischen dem Vorhalten von Arbeitsplanflexibilität für den weiteren Bearbeitungsverlauf und opportunistischen Entscheidungen zugunsten einer maximalen lokalen logistischen Zielerreichung muss zudem geeignet abgebildet werden, um dem unterschiedlichen Zielgrößencharakter zu begegnen.

Auf Basis der bisherigen Darstellungen lassen sich die folgenden Forschungsfragen ableiten:

- Wie entwickelt sich die Menge an Entscheidungsalternativen bei der schrittweisen Sequenzbildung in selbststeuernden, frei verketteten Montagesystemen im Kontext der Arbeitsplanflexibilität? **(FF1)**
- Wie kann produktinhärente Arbeitsplanflexibilität situativ bewertet und in Form eines quantifizierten Kriteriums in den Entscheidungsprozess einer Selbststeuerungsmethode integriert werden? **(FF2)**
- Welches Potential bietet die Berücksichtigung der Arbeitsplanflexibilität bei einer Selbststeuerungsmethode für die logistische Zielerreichung von frei verketteten Montagesystemen? **(FF3)**

Die Beantwortung der gestellten Forschungsfragen zielt vorwiegend auf die Weiterentwicklung selbststeuernder, frei verketteter Montagesysteme als zentrale Vision eines innovativen Produktionssystems innerhalb der Industrie 4.0 für den verbesserten Umgang mit zunehmender Dynamik und Komplexität ab. Durch den Fokus auf die mit derartigen Systemen assoziierten Unsicherheiten auf der Ebene operativer Planungs- und Steuerungsprozesse leistet diese Arbeit grundsätzlich einen Beitrag zur Dezentralisierung und Autonomisierung von PLS. Die entwickelte Steuerungsmethode ist dabei auch auf andere Produktionsstrukturen als frei verkettete Montagesysteme übertragbar.

Die Bedeutung aussagekräftiger und verlässlicher Bewertungen über vorliegende Flexibilität in Planungs- und Entscheidungsprozessen nimmt immer weiter zu [ROGALSKI 2009, S. 3]. Vor diesem Hintergrund liefert diese Arbeit einen Beitrag zur situativen Quantifizierung und Bewertung der Nutzenpotentiale von Arbeitsplanflexibilität in selbststeuernden PLS. Die Nutzenbewertung zählt im erweiterten Sinne auch auf den Umgang mit dem Zielkonflikt beziehungsweise die Positionierung zwischen den konkurrierenden Dimensionen Flexibilität und Komplexität im Zuge aktueller Diskussionen der Produktionssystemgestaltung ein: Grundsätzlich gilt als vorherrschendes Paradigma innerhalb einer Industrie 4.0, dass die Flexibilisierung der PLS einen alternativlosen Schritt innerhalb eines dynamischen und komplexen Umfelds

und verschärfter Wettbewerbsbedingungen darstellt. Die Fragestellung, ob die daraus resultierende Komplexitätszunahme nicht zu einem *Versinken in Komplexität* in Form unverhältnismäßiger Zusatzaufwendungen oder gar Produktivitätsverlusten führt, steht bei diesen Betrachtungen meist nicht im Fokus. Es mangelt an dieser Stelle, insbesondere vor dem Hintergrund des vorliegenden Anwendungsszenarios, an empirischer Evidenz der Flexibilitätsvorteile. Schlussendlich adressiert die behandelte Thematik daher eben auch das kritische Hinterfragen aktueller, vermeintlich vorschnell anerkannter Lösungsansätze im Kontext der Industrie 4.0.

1.3 Forschungskonzeption und Aufbau der Arbeit

Die Struktur der Arbeit ist angelehnt an die Phasendarstellung der angewandten Forschung nach ULRICH (siehe hierzu Abbildung 1-3) [ULRICH 1984, S. 193]. Nachfolgend sollen die einzelnen Kapitel näher erörtert werden.

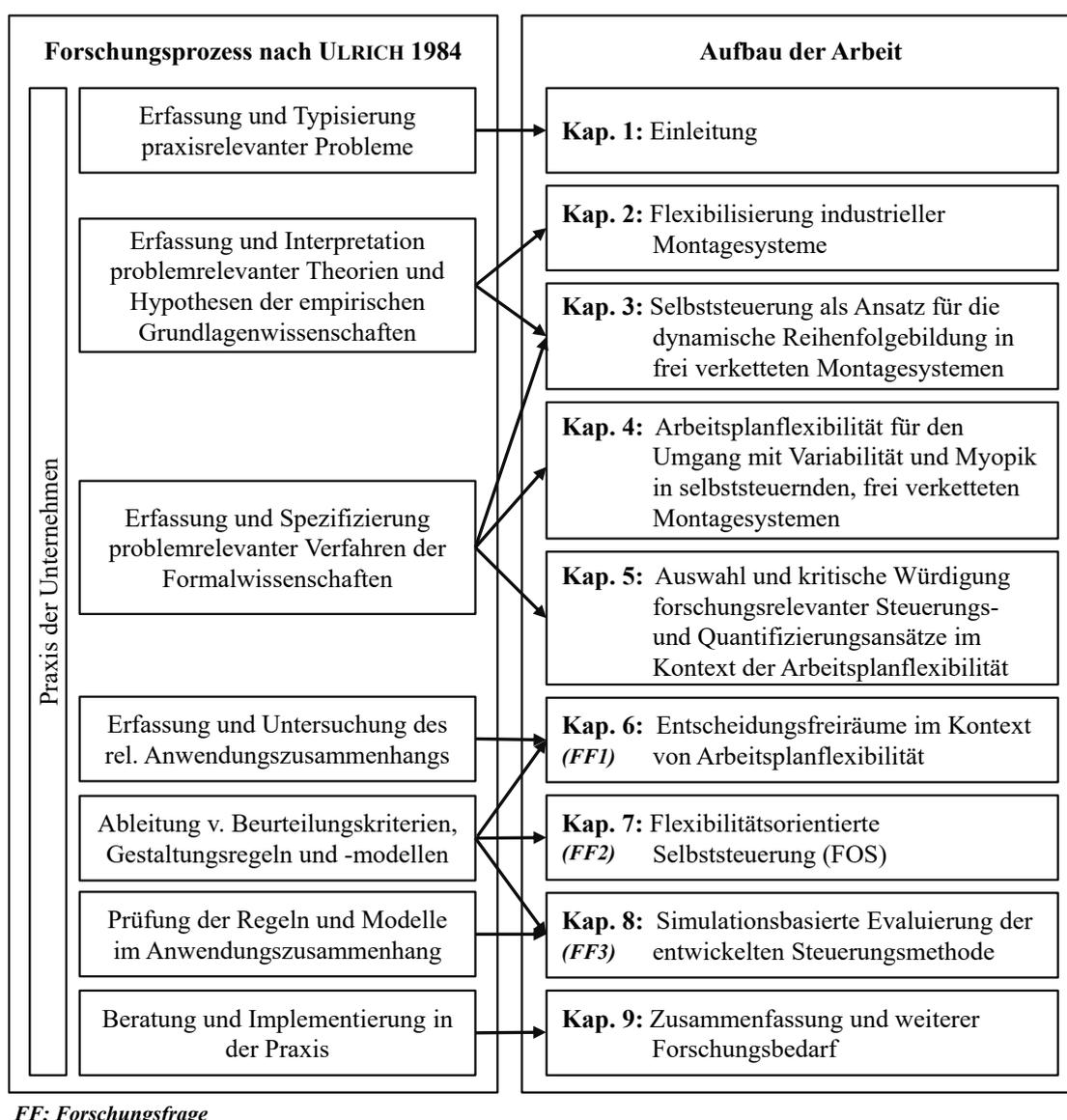


Abbildung 1-3: Aufbau der Arbeit und Forschungsprozess nach [ULRICH 1984, S. 193]

Kapitel 1 dient der Erfassung und Typisierung zukünftiger Herausforderungen bei der Steuerung wandlungsfähiger Montagesysteme. Dabei erfolgen zunächst die Charakterisierung des Untersuchungsgegenstands und die thematische Eingrenzung des Betrachtungsraumes. Basierend auf den identifizierten Herausforderungen wurde die Zielsetzung der Arbeit abgeleitet. In **Kapitel 2** werden Auswirkungen zunehmender Dynamik und Komplexität im Produktionsumfeld detailliert und frei verkettete Montagesysteme und damit verbundene flexible Bearbeitungsreihenfolgen als struktureller Lösungsansatz eingeführt und spezifiziert. Die Ausführungen in **Kapitel 3** dienen der Darstellung und kritischen Diskussion problemrelevanter Lösungsansätze zur Koordination der Produktions- und Logistikprozesse in frei verketteten Montagesystemen. Dabei liegt der Fokus neben dem Aufzeigen von relevanten Zusammenhängen und Zielgrößen in der Produktionslogistik auf der Diskussion der konventionellen zentral-hierarchischen Produktionsplanung und -steuerung (PPS). Auf Basis dieser Darstellungen wird das Selbststeuerungskonzept als geeigneter Lösungsansatz eingeführt und Potentiale und Grenzen einer Anwendung im vorliegenden Szenario aufgezeigt. **Kapitel 4** dient dem Ableiten der Anforderung an eine Selbststeuerungsmethode in frei verketteten Montagesystemen auf Basis der Darstellungen in Kapitel 2 und Kapitel 3. Es wird aufgezeigt, dass Arbeitsplanflexibilität bei der Entscheidungsfindung einer Steuerungsmethode explizit berücksichtigt werden sollte. **Kapitel 5** dient der Darstellung und kritischen Diskussion forschungsrelevanter Theorien und Verfahren im Themenfeld der Produktionssteuerung und der Quantifizierung von Arbeitsplanflexibilität. Das Kapitel schließt mit der Ableitung des Handlungsbedarfs auf Basis der vorherigen Ausführungen. In **Kapitel 6** wird der relevante Anwendungszusammenhang spezifiziert. Dazu werden Entscheidungsfreiräume auf Basis der Freiheitsgrade im Kontext von Arbeitsplanflexibilität und frei verketteter Montagesysteme aufgezeigt und deren Entwicklung bei lokalen Entscheidungen diskutiert. Die induktiv entwickelte Steuerungsmethode wird in **Kapitel 7** detailliert erörtert. Dabei wird aufgezeigt, wie Arbeitsplanflexibilität quantifiziert und in Verbindung mit konventionellen logistischen Zielgrößen synchronisiert wird. **Kapitel 8** dient der simulativen Evaluierung der vorgeschlagenen Methode. Dazu wird zunächst ein Modell zur Messung der Termintreue bei selbststeuernden Prozessen und weitere Kenngrößen für die Leistungsbewertung abgeleitet. Das erarbeitete Simulationsmodell wird detailliert. Im Anschluss an umfangreichen Vorversuchen auf Basis synthetischer Daten zur Charakterisierung der verwendeten Steuerungsmethode wird die Validierung der Methode auf Basis von Realdaten aus der Automobilindustrie vorgestellt. Abschließend werden in **Kapitel 9** die vorangegangenen Kapitel zusammengefasst und zusätzliche Handlungsempfehlungen sowie weiterführende Forschungsfelder erörtert.

1.4 Charakterisierung des Untersuchungsgegenstandes

Bevor auf die Zielstellung dieser Arbeit eingegangen wird, soll zunächst ein verbessertes Verständnis für den zugrundeliegenden Untersuchungsgegenstand geschaffen werden. Dazu wird dieser anhand der Ausprägungen der wesentlichen bestimmenden Merkmale innerhalb eines morphologischen Schemas beschrieben (siehe hierzu Tabelle 1-1). Ausgehend von der Herstellung mehrteiliger, komplexer Erzeugnisse in frei verketteten Montagesystemen ist diese Typologisierung an einen Variantenfertiger der Einzel- und Kleinserienfertigung angelehnt. Anhand der Einordnung wird deutlich, dass der Untersuchungsbereich durch eine hohe Varietät und Veränderlichkeit der Produktionsprogramme sowie eine hohe Komplexität der operativen Abläufe gekennzeichnet ist.

Tabelle 1-1: Idealtypische Charakterisierung des Untersuchungsgegenstands

(Eigene Darstellung, erstellt aus [SCHULTE et al. 2002, S. 11; KURBEL und ENDRES 2005, S. 25; SCHUH 2007, S. 86; BORNHÄUSER 2009, S. 27])

Merkmal		Ausprägungen			
Initialmerkmal	Auftragsauslösungsart	Produktion auf Lager (MtS)	kundenanonyme Vorproduktion, kundenauftragsbezogene Endproduktion (Mischform)	Produktion auf Bestellung mit Rahmenaufträgen (MtO)	Produktion auf Bestellung mit Einzelaufträgen (MtO)
	Bedarfschwankungen	sporadisch	linear	progressiv	schwankend/saisonal
Erzeugnismerkmale	Anzahl der Produktvarianten	gering		mittel	hoch
	Erzeugnisspektrum	Standarderzeugnisse ohne Varianten	Standarderzeugnisse mit Varianten	Typisierte Erzeugnisse mit kundenspezifischen Varianten	Erzeugnisse nach Kundenspezifikation
	Erzeugnisstruktur	geringteilige Erzeugnisse		mehrteilige Erzeugnisse mit einfacher Struktur	mehrteilige Erzeugnisse mit komplexer Struktur
Fertigungsmerkmale	Dominierender Fertigungsprozess	Stückfertigung		Prozessfertigung	
	Fabrikkonfiguration	Fertigungsfabrik		Montagefabrik	Komplettfabrik
	Fertigungsart	Einmalfertigung	Einzel- und Kleinserienfertigung	Serienfertigung	Massenfertigung
	Anordnung der Arbeitssysteme	Werkstattproduktion		Zentrenproduktion	Fließproduktion
	Fertigungsstruktur	Fertigung mit geringem Strukturierungsgrad		Fertigung mit mittlerem Strukturierungsgrad	Fertigung mit hohem Strukturierungsgrad
	Materialflusskomplexität	gering	überschaubar	komplex	sehr komplex
	Grad der Automatisierung	gering		mittel	hoch

Der Betrachtungsrahmen dieser Arbeit ist auf produktionslogistische Abläufe beschränkt, sodass die Beschaffungs- und Distributionslogistik nicht Bestandteil der Arbeit sind. Weitere Teilaspekte der Auftragsabwicklung, die explizit ausgeklammert sind, stellen die Materialbereitstellung, die Personalplanung und die intralogistische Transportsteuerung dar. Auch wenn die Entwicklung der FOS nicht ohne Berücksichtigung dieser weiteren Prozesse stattgefunden hat, umschließen die Systemgrenzen der Funktionsweise folgegemäß die reine Montagesequenz eines Produkts innerhalb eines frei verketteten Montagesystems. Gestalterische Aspekte des Montagesystems (Bsp.: Layout) sind bei den folgenden Betrachtungen bewusst ausgenommen. Die Ergebnisse dieser Arbeit sind vor dem Hintergrund der automobilen Endmontage entstanden, können jedoch grundsätzlich auf andere Industriebranchen mit äquivalenter Charakterisierung gemäß den aufgezeigten Merkmalausprägungen übertragen werden.