

1 Einleitung

Im Folgenden werden die Problemstellung und Zielsetzung der vorliegenden Arbeit vorgestellt. Im Anschluss wird der Betrachtungsgegenstand abgegrenzt und der Aufbau der Arbeit dargestellt.

1.1 Problemstellung und Zielsetzung

Produktionsbetriebe werden heutzutage zumeist im Kontext international verketteter Wertschöpfungsnetze betrieben. Aufgrund global ausgerichteter Beschaffungsstrategien und Absatzmärkte sind sie demnach auch sogenannten globalen Megatrends unterworfen.

So sind auf politischer Ebene bspw. ein zunehmender Protektionismus (Schutz der eigenen nationalen Wirtschaft z. B. durch Handelszölle), eine sinkende politische Stabilität (durch soziale Unruhen und Terrorismus) sowie ein Trend hin zum Supranationalismus (bspw. Abschluss von Freihandelsabkommen) zu verzeichnen (Fornasiero et al. 2019, S. 21). Auf wirtschaftlicher Ebene wird ein Wandel in der Verteilung der Handelsanteile zwischen etablierten und aufkommenden Wirtschaftssystemen erkennbar. Bspw. wird prognostiziert, dass China die USA im Wirtschaftswachstum bis 2028 überholen wird. Dies führt zu einem bis dato unbekanntem Maß an internationalem Wettbewerb zwischen Unternehmen (ManuFUTURE High-Level Group 2018, S. 19). Das sich ebenso verändernde Konsumentenverhalten wird darauf zurückgeführt, dass die Mittelklasse zahlenmäßig zunimmt und der Einzelne immer mehr nach Individualität strebt (Fornasiero et al. 2019, S. 43f; ManuFUTURE High-Level Group 2018, S. 24). In der Folge wird von einem steigenden nachfrageorientierten Konsum individuell konfigurierter Produkte ausgegangen, wobei der Kunde kurze Lieferzeiten erwartet (Fornasiero et al. 2019, S. 60). Erkennbar ist, dass insbesondere Unternehmen mit internationalen Beschaffungs- und Absatzmärkten sowie entsprechend orientierten Wertschöpfungsnetzwerken von globalen Megatrends und deren Auswirkungen beeinflusst werden. Aufgrund der mitunter erheblichen Folgen für das globale Produktionsprogramm sind Unternehmen hier zur Reaktion gezwungen.

Nicht nur die steigende Rechenkapazität moderner Rechnersysteme, sondern vor allem eine weiterhin stark zunehmende Ausnutzung dieser Ressourcen, insbesondere im Umfeld der industriellen Produktion, führt gemeinhin zu erheblichen Potenzialen digitaler Unterstützungssysteme bis hin zu echtzeitfähigen Systemen. Die technologischen Voraussetzungen verändern sich durch die digitale Transformation, die sich in einer zunehmenden Verbreitung von Konzepten wie Big data analytics, Cloud based computer systems, Blockchain, Künstlicher Intelligenz uvm. widerspiegeln. (Fornasiero et al. 2019, S. 67; ManuFUTURE High-Level Group 2018, S. 25).

Die Planung des Produktionsbetriebs muss sich folglich kontinuierlich mit qualitativ sowie quantitativ verändernden Produktionsprogrammen und -bedarfen sowie Produktionseinrichtungen befassen, kann dabei zukünftig aber auf umfassende digitale Technologien zurückgreifen. Ihre generelle Ausrichtung bleibt jedoch unverändert: Ausgehend von einem Absatzplan werden in der Produktionsprogramm- (PPP) und Produktionsbedarfsplanung (PBP) Art, Anzahl und Zeitpunkte der Bereitstellung von Erzeugnissen festgelegt, die von dem zugehörigen Produktionssystem gefertigt werden sollen. Die Ergebnisse dieser Planungsschritte

werden zur Umsetzung an den operativen Betrieb übergeben. Wichtige Grundlagen der genannten Planungsaufgaben sind Prognosen, Erfahrungswerte, Annahmen und Prämissen, die zum Planungszeitpunkt erstellt bzw. getroffen werden. (Schuh 2006, S. 37f)

Parallel zu den Megatrends ist die Planung der Produktionsprogramme und –bedarfe an der Konjunktur auszurichten, die sich zuletzt als unbeständig erwies. Zu Beginn des Jahres 2019 beliefen sich die Prognosen für das Wirtschaftswachstum in Deutschland auf 1 Prozent und wurden quartalsweise reduziert, zuletzt auf 0,5 Prozent. Von einer Rezession war die Rede. Für das Folgejahr 2020 wurde eine Erholung prognostiziert, die insbesondere die industrielle Produktion betraf. (Ademmer et al. 2019a, S. 2; Ademmer et al. 2019b, S. 3; Boysen-Hogrefe et al. 2019, S. 2)

Wie schnell und wie dramatisch sich Bedingungen über das „normale Maß hinaus“ ändern können, zeigt die wirtschaftliche und gesellschaftliche Entwicklung im Jahr 2020 seit der weltweiten Verbreitung des Covid-19-Virus. Auch wenn es sich hierbei um ein Extrembeispiel für volatile Markt- und Wirtschaftsbedingungen handelt, liefert die Corona-Pandemie ein anschauliches Beispiel für dramatische nicht zu prognostizierende Veränderungen im Sinne eines disruptiven Ereignisses.¹

Als Reaktion auf rapide steigende Infektionszahlen und Todesfälle haben viele Staaten Maßnahmen zur Eindämmung der Pandemie beschlossen, die das freie Leben und die Wirtschaft zeitweise zum Stillstand brachten und in ihrem Handeln erheblich einschränkten. Die seuchenpolitischen Maßnahmen und der gestiegene Arbeitsausfall führten und führen noch immer zu realwirtschaftlichen Einbußen. Lieferketten sind gestört, Unternehmen produzieren weniger oder sind z. B. durch vorgeschriebene Sicherheitsabstände gezwungen, die Produktionsabläufe anzupassen. Gleichzeitig sinkt die Nachfrage. (Dany-Knedlik 2020) Während der Zeit des harten Lockdowns im März/April 2020 lagen die Umsätze in Deutschlands Innenstädten um 85 Prozent unter Normalniveau (Felbermayr et al. 2020, S. 2).

Vor allem Unternehmen mit internationalen Absatzmärkten verzeichnen erhebliche Umsatzeinbußen, in Deutschland insbesondere die Automobilhersteller. So meldete die BMW Group im ersten Quartal 2020 einen Rückgang der Auslieferungsmenge von rund 20 Prozent im Vergleich zum Vorjahr, und der Volkswagenkonzern verkündete für denselben Zeitraum einen Umsatzrückgang von 5 Milliarden Euro (BMW AG 2020, S. 4; CSI/dpa 2020). Bei der Daimler AG reduzierte sich das Ergebnis vor Steuern im Vergleich zum Vorjahr um 78 Prozent. Nicht prognostizierbar seien die Auswirkungen auf Lieferkette, Nachfrage und Produktion. (ts/rtr 2020) Ähnliche Einflüsse zeigen sich in der gesamten deutschen Industrie. In der Folge ist der Anteil an Kurzarbeit gestiegen. Allein im April 2020 ist für rund 10,1 Millionen Menschen Kurzarbeit angemeldet worden (Bundesagentur für Arbeit 2020). Allein bei der BMW Group waren rund 20.000 Mitarbeiter betroffen (FAZ 2020). Zudem zeichnen sich steigende Arbeitslosenzahlen ab und drohenden Insolvenzen wird mit staatlichen Notkrediten begegnet (Kreder 2020).

¹ Zum Zeitpunkt der Fertigstellung der Arbeit Anfang August 2020 war die weltweite Corona-Pandemie weder beendet noch waren ihre mittel- und langfristigen Auswirkungen auf die Weltwirtschaft und die wirtschaftliche Entwicklung in Deutschland final abzusehen.

Wirtschaftsexperten schätzen, dass die Wirtschaftsleistung während des harten Lockdowns in der Corona-Krise um ca. 20 Prozent eingebrochen ist. Die Weltproduktion würde im Jahr 2020 um 4 Prozent sinken, im kommenden Jahr jedoch wieder um 6,5 Prozent steigen. Die deutsche Wirtschaftsleistung verzeichne im Jahr 2020 einen Rückgang von 7,1 Prozent. (Felbermayr et al. 2020, S. 2; Boysen-Hogrefe et al. 2020, S. 2)

Bezogen auf die Produktionsplanung und -steuerung zeigt sich ein grundsätzliches Problem. Die Gültigkeitsdauer der Planungsergebnisse nimmt ab, weil die notwendigen Planungszyklen als Folge sich häufig ändernder Prämissen kürzer werden. Gleichzeitig nimmt die Anzahl der relevanten Einflussfaktoren (bspw. durch Megatrends, Konjunktur oder disruptive Ereignisse) rapide und vor allem unvorhersehbar zu. Hieraus ergibt sich eine Ungewissheit für die Zukunft. Diese Ungewissheit ist ernstzunehmen und in Form von Handlungsspielräumen in die Ergebnisse der PPP und PBP zu übertragen: Die Planung von Flexibilität wird zu einem notwendigen Bestandteil der PPP und PBP. Somit stellt sich die Frage, in welcher Form und in welchem Ausmaß Flexibilität bereitzustellen ist. Vorzuhaltende Kapazitäts- und/oder Zeitpuffer sowie alternative Fertigungsverfahren bzw. Anlagenzuordnungen sind Beispiele für verfügbare Handlungsspielräume. Grundsätzlich stellt Flexibilität ein Potenzial dar, das vorausschauend aufgebaut wird, um es im Bedarfsfall nutzen zu können, dabei jedoch auch erhöhte Kosten verursacht. Dies impliziert die Notwendigkeit, das Maß an Flexibilität messen und ihre wirtschaftlichen Auswirkungen bewerten zu können, die sich aus den Ergebnissen der PPP und PBP für das Produktionssystem einstellt.

Die Herausforderung bei der Flexibilitätsplanung ist die ganzheitliche Sicht auf das Produktionssystem und die Notwendigkeit zur kurzfristigen Bewertung. Das heißt, dass der komplette Materialfluss betrachtet werden muss, der Gegenstand der PPP und PBP ist. Abhängig von Detailgrad und Artikelvielfalt sind zahlreiche Daten zu verarbeiten und die komplexe Dynamik von Produktionssystemen abzubilden. Außerdem wird das Bewertungsergebnis kurzfristig benötigt, wobei mehrere alternative Planungen zu bewerten sind. Angesichts dieser Anforderungen, aber auch unter Berücksichtigung des steigenden Wettbewerbsdrucks und den damit verbundenen Ressourcenlimitationen, wie bspw. Personalkapazität und -verfügbarkeit, stoßen die analytischen Fähigkeiten des Menschen an ihre Grenzen. Deshalb ist es notwendig, die Durchführung der PPP und PBP instrumentell zu unterstützen. Benötigt wird ein Instrument, mit dem die Flexibilität von Produktionssystemen inkl. ihrer Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit der Produktion ad hoc bewertet werden kann. Dabei bietet es sich an, ein solches Instrument datentechnisch an PPS-Systeme zu koppeln, da die darin enthaltenen Datenquellen und Datensätze eine effektive Basis für die Bewertung darstellen. Die komplexen Wechselbeziehungen und die Dynamik der Produktionsabläufe lassen eine manuelle Analyse und Bewertung der PPS-Planungsergebnisse nicht zu. Daher bedarf es einer simulativen Komponente. Dies ist mit der Forderung verbunden, dass der Produktionsbetrieb adäquat, d. h. hinreichend präzise und aktuell in einer Simulationsumgebung abgebildet ist. Auch die PPS ist an diese Simulationsumgebung zu koppeln. Hier kann auf einer bestehenden Adaptation des Aachener PPS-Modells aufgebaut werden (Helmig et al. 2012, S. 197).

In der Folge wäre die geforderte Planungsgeschwindigkeit gegeben, und Managemententscheidungen könnten schnell getroffen und umgesetzt werden. Bei Bedarf könnten Plananpassungen aufgrund veränderter Planungsprämissen ebenso schnell vorgenommen werden.

Entsprechend kann das zum Zeitpunkt der Planung ideale Flexibilitätsmaß unter Berücksichtigung des logistischen Zielsystems und der damit verbundenen Kosten festgelegt werden.

Die voranschreitende Verbreitung von Informations- und Kommunikationstechnik in Produktionsbetrieben reduziert die Hürden für automatisierte und standardisierte Datenerhebungen. Forschungsarbeiten zum Thema digitaler Zwilling und digitaler Schatten forcieren die Abbildung von Produktionssystemen in einer Simulationsumgebung. Der digitale Schatten bildet die Produktionsprozesse ab und ermöglicht so eine echtzeitfähige Auswertung. Der digitale Zwilling dagegen ist als Simulationsinstanz anzusehen, die durch ein möglichst identisches Abbild der Prozesse charakterisiert ist. (Bracht et al. 2018, S. 13) Die technologische Realisierbarkeit eines digitalen Zwillings sowie einer daran anknüpfenden simulationsunterstützten PPS eröffnen die Möglichkeit einer umfassenden datenintensiven und komplexen Flexibilitätsbewertung. Durch das dabei entstehende Zusammenspiel von PPS, Flexibilitätsbewertung und Simulation des Produktionsbetriebs entsteht ein geeignetes Medium, um die Auswirkungen veränderter Umweltsituationen auf den Produktionsbetrieb ex ante zu untersuchen.

Die vorliegende Arbeit zielt daher darauf, die Grundlage für die Implementierung der Flexibilitätsbewertung in die PPP und PBP sowie in einen digitalen Zwilling zu erarbeiten. Um das zu erreichen, wird ein technischer Entwurf für Simulationsstudien von flexibilitätsorientierten Maßnahmen im Kontext der PPS entwickelt. Dies impliziert eine Untersuchung des Stands der Forschung zur Unterstützung der PPS im Hinblick auf die Planung von Flexibilität im Produktionssystem sowie eine Erarbeitung von Flexibilitätsmetriken als Bewertungsgrundlage. Ziel ist es, Planern und Betreibern von Produktionssystemen eine Methodik anzubieten, die sie darin unterstützt, das notwendige Flexibilitätsmaß (Soll-Größen) zu definieren und Planungsergebnisse mit Hilfe dieser Soll-Größen zu bewerten, um ggf. Plananpassungen vorzunehmen. Darüber hinaus wird der Zusammenhang zwischen einzelnen Flexibilitätstypen untersucht und in praxisorientierte Experimentpläne überführt. Das ermöglicht Planern und Betreibern von Produktionssystemen, die qualitativen Wirkungszusammenhänge der Flexibilitätstypen in ihrem Produktionssystem simulativ zu untersuchen.

1.2 Definition des Betrachtungsbereiches

Die Arbeit widmet sich der Dimensionierung von Flexibilität bei der Produktionsprogrammplanung (PPP) und Produktionsbedarfsplanung (PBP) international tätiger Produktionssysteme.

Im Fokus steht der Produktionsbetrieb zur Eigenfertigung von Stückgütern, d. h. die wertschöpfenden Materialflüsse zwischen Wareneingang und Warenausgang. Bei den Fertigungsstrategien wird keine Einschränkung vorgenommen. Aktivitäten der Lagerhaltung und des Fremdbezugs sind nicht Bestandteil der Untersuchung.

Dadurch, dass auf die Aufgaben der PPP und PBP fokussiert wird, bleiben die operativen Abläufe der Fertigung unberücksichtigt, sie üben auch keinen Einfluss auf den Betrachtungsrahmen aus. Vielmehr werden die Wertschöpfungsaktivitäten betrachtet, die im Planungsstatus sind. Bereits durchgeführte Wertschöpfungsaktivitäten sind nur insofern von Bedeutung, als sie Erfahrungswerte liefern, die bei den Planungsaktivitäten Beachtung finden. Dabei werden die Fertigungsprozesse einschließlich ihrer Wartezeiten an den jeweiligen Anlagen berücksichtigt. Folglich werden neben den Erzeugnissen und Arbeitsgängen die zugehörigen

Ressourcen miteinbezogen. Da auch personelle Ressourcen den Materialdurchlauf beeinflussen, werden sie in die Überlegungen zur Flexibilitätsbewertung miteinbezogen.

Die Konzentration auf die PPP und PBP macht die vorliegende Arbeit vor allem für Planer und Betreiber interessant. Dabei gelten als Planer diejenigen, die mit den Aufgabenumfängen der PPP und PBP betraut sind und über deren Freigabe entscheiden. Betreiber übernehmen dagegen die Planungsergebnisse der PPP und PBP und überführen sie in die operative Umsetzung, d. h. in die Eigenfertigung. Sie stehen letztlich in der Verantwortung, notwendige Realdaten bereitzustellen, die bei der PPP und PBP für die Flexibilitätsbewertung genutzt werden.

Die konkrete Zuordnung zu einzelnen Personen bzw. Organisationseinheiten ist unternehmensindividuell zu betrachten, kann jedoch mit Hilfe des Aachener PPS-Modells unter Verwendung der Prozessarchitektursicht vorgenommen werden. Neben Planern und Betreibern als primären Adressaten richtet sich die Arbeit auch an Wissenschaftler, die im Kontext der digitalen Fabrik forschen.

Für die Validierung der Arbeitsergebnisse zum Datenbedarf werden Datenauszüge aus der Produktionsplanung eines mittelständischen Produktionsunternehmens der Metallindustrie in Nordrhein-Westfalen genutzt. Die Fertigung dieses Unternehmens, die vor allem die Auftragsfertigung umfasst, wird in die Fertigungsbereiche Kunststoffspritzguss, mechanische Zerspanung und Montage mit Fertigungsinseln unterteilt. Im Unternehmen werden diese Bereiche als Spritzguss, Dreherei und Montage bezeichnet. Dank seiner historisch gewachsenen Strukturen und einer idealtypischen Datenverfügbarkeit stellt das Unternehmen einen repräsentativen und geeigneten Anwendungsfall dar.

1.3 Aufbau der Arbeit

Die vorliegende Arbeit ist durch eine deduktive Vorgehensweise charakterisiert. Deduktiver Erkenntnisgewinn bedeutet, dass ausgehend von einer grundsätzlichen Regel, ein Fall im Sinne eines erwarteten Ergebnis vorherbestimmt und anhand eines Ergebnisses überprüft wird. Auf diese Weise können Theorien bestätigt oder entkräftet werden. Beim induktiven Vorgehen dagegen wird diese Reihenfolge verändert. Auf Basis eines bestimmten Falls wird ein Ergebnis bestimmt und in eine allgemeingültige Regel überführt. (Peirce 1878, S. 470ff) Diese Grundmethoden der wissenschaftlichen Arbeit gelten bis heute:

„Deduktives Vorgehen beschreibt allgemein die Genese neuer Erkenntnisse auf Basis grundlegender (theoretischer) Annahmen durch Kombination und Ableitung. Die Wirkung der Deduktion ist vom Allgemeinen zum Besonderen. Mit induktivem Vorgehen wird indes die Erzeugung von Grundannahmen auf Basis von (empirischen) Beobachtungen angestrebt. Einzelne Erscheinungen werden zu allgemeingültigen Aussagen verdichtet wodurch die Wirkrichtung vom Besonderen zum Allgemeinen ist.“ (Fischbach und Wollenberg 2007, S. 50f)

Die vorliegende Arbeit ist in sieben Kapitel untergliedert, die dem deduktiven Vorgehen entsprechend wie folgt zusammenhängen (vgl. Abbildung 1-1).

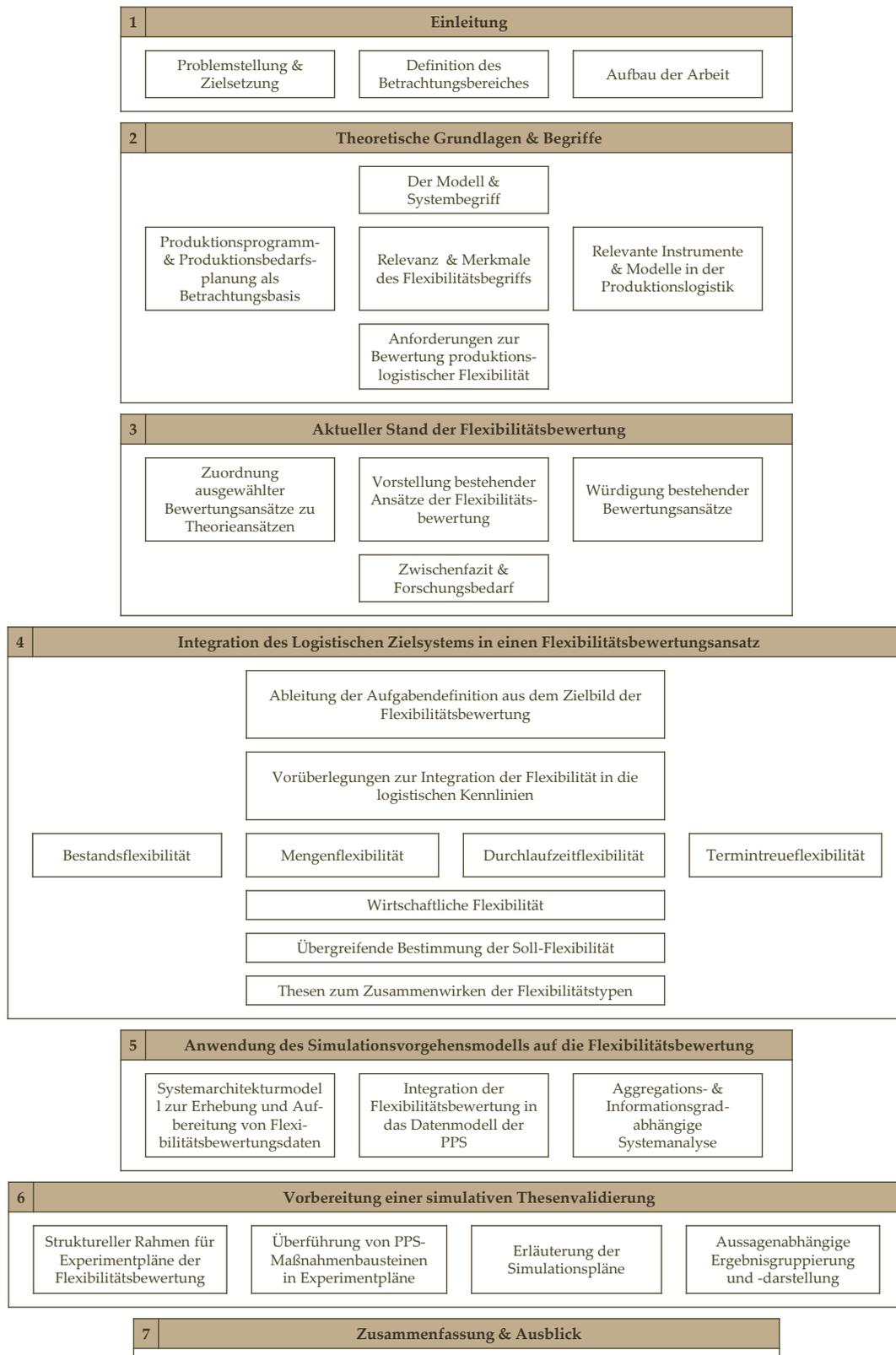


Abbildung 1-1: Struktur und Aufbau der Arbeit

Im 1. Kapitel werden Problemstellung und Zielsetzung, der Betrachtungsbereich sowie der grundlegende Aufbau der Arbeit beschrieben. Im 2. Kapitel werden die theoretischen Grundlagen erörtert. Beginnend mit der Einführung des Modell- und des Systembegriffs werden

anschließend zunächst das Aachener PPS-Modell sowie der Begriff der „Flexibilität“ definiert. Daneben werden wesentliche theoretische Modelle vorgestellt, darunter die „logistischen Kennlinien“ sowie das „Dortmunder Prozessketteninstrumentarium“. Kapitel 2 schließt mit der Ableitung von Anforderungen ab, die an Verfahren zur Flexibilitätsbewertung gestellt werden.

Kapitel 3 präsentiert bestehende Bewertungsverfahren in ihrer Systematik. Mit dem Anspruch einer strukturierten und geordneten Vorgehensweise werden die Ansätze mit Hilfe von fünf Wissenstheorien in fünf Gruppen unterteilt. Nachdem die Ergebnisse mit den in Kapitel 2 gestellten Anforderungen abgeglichen werden, wird der Forschungsbedarf abgeleitet. Im Mittelpunkt stehen dabei neben der Flexibilitätscharakteristik die Anwendbarkeit im Kontext der PPS sowie die generelle Bewertungsmethodik.

Mit Kapitel 4 werden zunächst die Aufgabendefinition der Simulationsstudie verdeutlicht und die Theorie der logistischen Kennlinien um Aspekte der Flexibilität erweitert, wobei auf das logistische Zielsystem zurückgegriffen wird. Anschließend werden Bewertungsvorschriften für die einzelnen Ziele des logistischen Zielsystems abgeleitet. Dabei umfassen die Bewertungsvorschriften die Berechnung einzelner Flexibilitätsgrade sowie die Bestimmung von Soll-Vorgaben für die einzelnen Flexibilitätstypen auf Basis historischer Produktionsdaten. Als Abschluss des Kapitels werden die flexibilitätsübergreifende Bestimmung von Soll-Größen diskutiert sowie Thesen zum Zusammenwirken der einzelnen Typen abgeleitet.

Kapitel 5 verknüpft die Flexibilitätsbewertung mit den fokussierten PPS-Aufgaben und leitet den Aufbau des technischen Entwurfs der Simulationsstudie ein. Zunächst wird die Systemarchitektur beschrieben, mit der die Flexibilitätsbewertung an die PPP und PBP gekoppelt wird. Zentrales Element der Arbeit sind die Eingangsgrößen und Planungsergebnisse der Planungsaufgaben, welche die Eingangsgrößen der Flexibilitätsbewertung determinieren. Die Eingangsgrößen der Flexibilitätsbewertung wiederum werden unter Anwendung eines auf dem Aachener PPS-Modell basierenden Datenmodells mit denjenigen Daten verknüpft, die bei der PPP und PBP verwendet werden. Abschließend wird beschrieben, wie ein Simulationsmodell auf Basis der sogenannten Basisaufgabenlogik sowie möglicher Aggregationslevel und unter Berücksichtigung von Prozess- und Ressourcenperspektive zu strukturieren ist.

In Kapitel 6 werden Experimentpläne erstellt, die auf die Validierung der Flexibilitätsthese aus Kapitel 4 abzielen. Die Experimentpläne stellen einen Leitfaden dar, der auf die Untersuchung der Wirkungszusammenhänge zwischen den einzelnen Flexibilitätsgrößen sowie der Auswirkungen gängiger PPS-Maßnahmen auf die Flexibilitätstypen zielt. Die einzelnen konkreten Untersuchungsziele werden mit Hilfe gängiger PPS-Maßnahmen inkl. notwendiger Variation von Eingangsgrößen und Parametern beschrieben. Ziel ist es, Experimentpläne zu erarbeiten, die ermöglichen, Simulationsmodelle von Produktionssystemen in Richtung einer Flexibilitätsbewertung zu entwickeln. Die gesamte Herleitung des technischen Entwurfs wird in Kapitel 4 bis 6 dargestellt, wobei die Entwicklung mit Hilfe des Vorgehensmodells zur Simulation aus Kapitel 2 strukturiert wird.

Im abschließenden Kapitel 7 erfolgen eine Zusammenfassung und eine kritische Einordnung der Arbeitsergebnisse.