

# 1 Einleitung

Die Anforderungen an die industrielle Produktion haben sich in den letzten Jahrzehnten maßgeblich gewandelt [EHRE15, S. 447]. Dies manifestiert sich durch Veränderungstreiber wie zunehmende Globalisierung der Wirtschaft, Sättigung des Marktes, verkürzte Produktlebenszyklen, Individualisierung der Kundenwünsche sowie Schnelllebigkeit von Technologien und Innovationen [WIEN14, S. 7]. Da die Machtposition der Kunden durch die Sättigung der Märkte stark gestiegen ist, können heute individuelle und komplexe Produkthanforderungen ebenso durchgesetzt werden wie kurzfristige Änderungswünsche am Produkt [BACH14, S. 109]. Aus diesen Veränderungstreibern ergeben sich unmittelbare Konsequenzen für produzierende Unternehmen, die heute mit folgenden Herausforderungen konfrontiert werden:

- Hoher Kostendruck, hohe Produktqualität und Lieferbereitschaft
- Hoher Innovationsdruck, hohe Produktkomplexität und Variantenvielfalt
- Kurze Einführungs- und Anlaufphasen der Produkte
- Möglichst späte Festlegung der Produktkonfiguration

Konjunkturelle Schwankungen verschärfen den Kostendruck auf die Unternehmen zusätzlich. Weiterhin sind veränderte gesetzliche Rahmenbedingungen sowie neue tarifliche Vereinbarungen und Richtlinien zu berücksichtigen. Im Ergebnis sehen sich die Unternehmen einem vielfältigen und sich fortwährend verändernden Anforderungsprofil gegenüber. Um sich im globalen Wettbewerb weiter behaupten zu können, müssen die Unternehmen flexibel auf diese Herausforderungen reagieren und ihr Handeln stetig den Rahmenbedingungen anpassen [PAWE14, S. 1]. Daraus ergibt sich letztlich ein permanenter Anpassungs- und Veränderungsdruck für diese Unternehmen.

## 1.1 Motivation und Problemstellung

Um den gewandelten Anforderungen entgegenzutreten, konzentrieren sich die Unternehmen heute zunehmend auf ihre originären Kernkompetenzen und lagern komplementäre Entwicklungs- und Produktionsaktivitäten an besonders befähigte Zulieferer aus [PERN10, S. 1]. So nimmt die Wertschöpfungstiefe branchenübergreifend stetig ab, woraus sich in der Konsequenz ein Wandel hin zu unternehmensübergreifenden global verteilten Wertschöpfungsnetzwerken ergibt [BRAU15, S. 6].

### **Wandel hin zu unternehmensübergreifenden Wertschöpfungsnetzwerken**

In der Luftfahrtindustrie ist diese Entwicklung besonders ausgeprägt, da deren Wertschöpfung nicht nur ein mehrstufiges globales Lieferantennetzwerk umfasst, sondern auch Sektionsmontagewerke und sogar Endmontagelinien an welt- bzw. europaweit

verteilten Standorten aufweist [DELT11, S. 178]. Noch in den 2000er Jahren wurden die einzelnen Flugzeugsektionen zwar bereits an europaweit verteilten Standorten gefertigt, jedoch erfolgte dies noch weitgehend in nationaler Verantwortung unter Zugriff auf ein begrenztes lokales Lieferantennetzwerk. Demgegenüber greifen bei neueren Flugzeugbaureihen auch die nationalen Sektionsmontagewerke auf ein weltweit verzweigtes Netzwerk von über 1.000 Zulieferern zurück [HINS14, S. 113]. Zudem ergibt sich aufgrund von Umweltinteressen und der strategischen Bedeutung der Luftfahrtindustrie eine hohe politische Einflussnahme auf die Entscheidungsprozesse im Wertschöpfungsnetzwerk [KALL15, S. 164]. Dies führt zu einer erhöhten Komplexität bei Steuerung des Netzwerks. Dabei vereint die Luftfahrt die Bauteildimensionen des Schiffbaus mit den Geschwindigkeitsanforderungen des Automobilbaus. So überschreiten die Maße der größten Automobilteile 2,5 Meter und ein Gewicht von etwa 300 kg in der Regel nicht, während Flugzeugteile bis zu 20 Meter und über 8.000 kg erreichen. Im Flugzeugbau werden zudem etwa fünfmal so viele unterschiedliche Bauteile benötigt wie im Automobilbau, bei kundenindividueller Ausstattung kommen noch weitere Hunderte von Teilevarianten hinzu [REIC09, S. 270].

### **Auswirkungen der gewandelten Wettbewerbsbedingungen auf LAZ in Wertschöpfungsnetzwerken der Luftfahrtindustrie**

Aufgrund dieser Komplexität und Variantenvielfalt gelten die sich aus den gewandelten Wettbewerbsbedingungen ergebenden Herausforderungen an die Anpassungsfähigkeit der einzelnen Netzwerkpartner im besonderen Maße für Wertschöpfungsnetzwerke der Luftfahrtindustrie. Kurzfristige Änderungswünsche der Fluggesellschaften verstärken diesen Effekt noch. Durch die beschriebene Verlagerung von Produktionsaufgaben an vorgelagerte Netzwerkpartner, kommt auch der Anpassungsfähigkeit dieser Zulieferer eine erhöhte Bedeutung zu, da sie unmittelbar von kurzfristigen Änderungsbedarfen betroffen sind. Als solche strategischen Zulieferer im Netzwerk der Luftfahrtindustrie fungieren heute etwa Logistik- und Anarbeitungszentren (LAZ), welche eine Ausprägung einer Fabrik darstellen (vgl. Kapitel 2.1). Da eine Untersuchung ergeben hat, dass bei den heute verfügbaren Methoden, Modellen und Werkzeugen zur Gestaltung und Anpassung von LAZ erheblicher Handlungsbedarf besteht (Kapitel 3.2), fungieren LAZ in Netzwerken der Luftfahrtindustrie als Betrachtungsgegenstand dieser Arbeit.

### **Handlungsbedarf bei der Planung und Anpassung von LAZ**

Das LAZ befindet sich heute permanent in einem Spannungsfeld zwischen Kosten und Leistung und wird durch schwankende Systemlasten ständig mit neuen Herausforderungen konfrontiert [SCHE14a, S. 39]. In der Konsequenz ergibt sich daraus auch für den Planungsprozess des LAZ ein verändertes Anforderungsprofil. Heute basiert die Gestaltung und Anpassung von LAZ häufig auf Annahmen und Prognosen, die von

einem Zustand ausgehen, der in Zukunft teilweise oder gar nicht mehr gegeben ist [HAUE10, S. 40]. Die Unternehmen sind bestrebt das LAZ permanent an die sich verändernden Bedarfe des Marktes und die daraus resultierenden Anforderungen an die Produktion anzupassen [BRAC11, S. 26]. Da die Planung von Anpassungsmaßnahmen stets viel Zeit in Anspruch nimmt, haben sich die Rahmenbedingungen nach der vollständigen Implementierung der Maßnahmen oftmals aber schon wieder verändert. So kann das LAZ lediglich reaktiv agieren, da die Planung kaum in der Lage ist mit der ständigen Veränderung des Anforderungsprofils Schritt zu halten [KUHN11b, S. 181f.].

## 1.2 Zielsetzung und Forschungsfragen

Die in der Problemstellung beschriebenen Aktivitäten zur Gestaltung und Anpassung von LAZ basieren häufig nicht auf einer zukunftsorientierten vorausschauenden Planung von Veränderungen im LAZ, sondern werden durch singuläre Ereignisse und Entscheidungen angestoßen [MUEL13, S. 63]. Beispielhaft sei etwa der Anstieg von Personalkosten, die Ausweitung des Produktionsvolumens oder die Einführung neuer Produkte als Auslöser von Planungsprozessen genannt. Aufgrund dieser Beobachtungen schlussfolgert Pohl, dass „in der Praxis eine mangelhafte Kopplung von Planung und Betrieb“ [POHL14, S. 42] in LAZ besteht. Beller stützt diese These, indem er feststellt, dass die heute verfügbare Literatur immer noch die Disziplinen Fabrikplanung und Produktionsplanung und -steuerung voneinander trennt, obwohl sie die eindeutige Abhängigkeit dieser Disziplinen herausstellt [BELL10, S. 2].

### **Vision Industrie 4.0: Zusammenwachsen von Planungs- und Steuerungsaktivitäten**

Um dieser Entwicklung entgegenzuwirken fordert die Vision des Zukunftsprojekts Industrie 4.0 das Zusammenwachsen sämtlicher Planungs- und Steuerungsaktivitäten über den gesamten Lebenszyklus von Produktions- und Logistiksystemen [BAUE14, S. 19], [SCHE14b, S. 4]. Dabei steht die Verknüpfung dispositiver (Steuerung und Betrieb) und gestaltender (Planung und Anpassung) Planungsaufgaben im LAZ und letztlich die Realisierung eines kontinuierlichen und lebenszyklusübergreifenden Planungsprozesses im Fokus aktueller Forschungsaktivitäten [BELL10, S. 125f.].

Aufgrund der Komplexität der Planungsaufgabe durch die sich ständig wandelnden Anforderungen an das LAZ ist die Unterstützung der Planung mit Hilfe eines durchgängigen digitalen Modells unerlässlich, welches geeignete Methoden, Modelle und Werkzeuge integriert [KUHN09a, S. 175ff.]. Der Ansatz des Zukunftsprojekts Industrie 4.0 fordert, dass aus einem echtzeitnahen Tracking der Betriebsabläufe heraus, Feedback in das Planungsmodell zurückgespielt wird, um darauf basierend kontinuierliche Verbesserungsprozesse anzustoßen [BAUE14, S. 20]. Voraussetzung dafür ist, dass eine aktualisierte Planungsbasis zur Verfügung steht und kontinuierlich

Erkenntnisse der Realität an das digitale Modell zurückgeführt werden, um dieses permanent an die Realität anzupassen [SCHE14b, S. 4]. Dabei sollen alle aus dem Betrieb abgeleiteten Verbesserungsmaßnahmen vor der Implementierung simulationsbasiert im digitalen Modell untersucht werden [BAUE14, S. 19].

### **Konkretisierung der Zielsetzung dieser Arbeit und Forschungsfragen**

Basierend auf der in Kapitel 1.1 beschriebenen Ausgangssituation und der Vision von Industrie 4.0, Planungs- und Steuerungsaktivitäten im LAZ zu verknüpfen, wird folgende zentrale Zielsetzung dieser Arbeit abgeleitet:

#### ***Entwicklung eines Vorgehensmodells zur Gestaltung und Anpassung wandlungsfähiger LAZ aufgrund der Ableitung von Planungsanstößen aus dem Betrieb unter Einbeziehung von Zukunftsszenarien und strategischen Unternehmensvorgaben***

Die Verknüpfung der Planungs- und Steuerungsaktivitäten soll dabei über die Ableitung von Planungsanstößen aus dem Betrieb des LAZ erfolgen. Großer Handlungsbedarf besteht wie in Kapitel 1.1 beschrieben bei LAZ in Wertschöpfungsnetzwerken der Luftfahrtindustrie, woraus sich die Fokussierung dieser Arbeit ergibt (vgl. Kapitel 2.1).

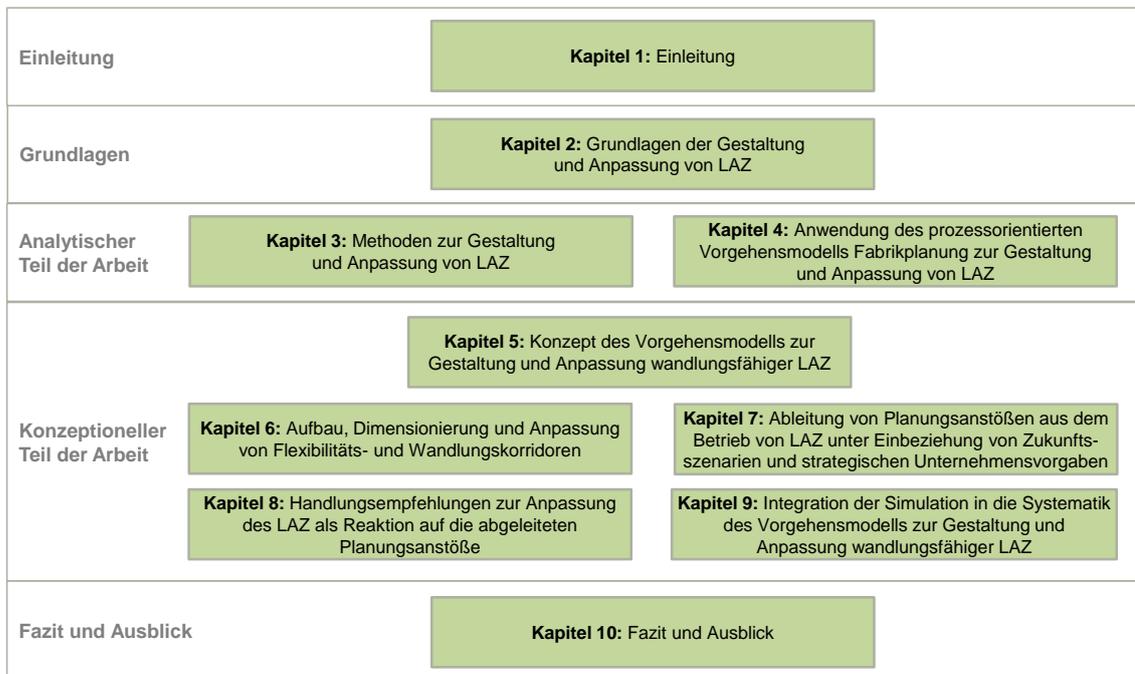
Zur Konkretisierung der Zielsetzung werden folgende zentrale Fragestellungen formuliert, die im Rahmen dieser Arbeit behandelt werden:

- **Forschungsfrage 1:** Wie können der stabile Betriebsbereich und der erweiterte stabile Betriebsbereich des LAZ ermittelt und beschrieben werden?
- **Forschungsfrage 2:** Wie erfolgen die Ermittlung von Systemzuständen aus dem Betrieb des LAZ und die Prognose zukünftiger Betriebszustände des LAZ unter Einbeziehung von Zukunftsszenarien und strategischen Unternehmensvorgaben?
- **Forschungsfrage 3:** Wie können aus den Abweichungen der vergangenheitsbezogenen und prognostizierten Betriebszustände vom stabilen und erweiterten stabilen Betriebsbereich zielgerichtet Planungsanstöße für konkrete Gestaltungsfelder des LAZ abgeleitet werden?
- **Forschungsfrage 4:** Wie erfolgt die Erarbeitung problemspezifischer Handlungsempfehlungen zur Anpassung des LAZ als Reaktion auf die abgeleiteten Planungsanstöße?

Letztlich sind auf Basis dieser Forschungsfragen jeweils konkrete Arbeitsschritte zu entwickeln, die in das übergeordnete Vorgehensmodell zu integrieren sind und Modelle, Methoden und Werkzeuge zur Planungsunterstützung umfassen. Die Zielsetzung dieser Arbeit wird in Kapitel 3.1 durch die Formulierung der Anforderungen an die Gestaltung und Anpassung wandlungsfähiger LAZ weiter spezifiziert. Um die Grundlage für eine über diese Arbeit hinausgehende Überführung des Vorgehensmodells in ein Assistenzsystem zu legen, wird zudem die Systematik logistischer Assistenzsysteme erläutert (siehe dazu Kapitel 2.5 und 10.3).

### 1.3 Aufbau der Arbeit

Basierend auf der in Kapitel 1.2 beschriebenen Zielsetzung wird in diesem Abschnitt die Vorgehensweise im Rahmen dieser Arbeit erläutert. Diese ist wie in Abbildung 1 veranschaulicht in die wesentlichen Teile Grundlagen, analytischer Teil, konzeptioneller Teil sowie Schlussbetrachtung und Ausblick untergliedert, die im Folgenden kurz beschrieben werden.



**Abbildung 1: Aufbau der Arbeit**

#### **Grundlagen:**

Im ersten Teil der Arbeit werden die wesentlichen Grundlagen der Gestaltung und Anpassung wandlungsfähiger LAZ vermittelt (Kapitel 2). Dabei erfolgt zunächst die Einordnung des LAZ in das Netzwerk der Luftfahrtindustrie sowie eine Erarbeitung der grundsätzlichen Aufgaben von Steuerung und Betrieb des LAZ im Netzwerk. Weiterhin werden Flexibilität und Wandlungsfähigkeit begrifflich voneinander abgegrenzt sowie die Grundlagen des Prozessketteninstrumentariums und die Systematik logistischer Assistenzsysteme erläutert.

#### **Analytischer Teil der Arbeit:**

Im Rahmen des analytischen Teils werden zunächst geeignete Methoden erarbeitet bzw. erweitert, welche in das zu entwickelnde Vorgehensmodell zu integrieren sind (Kapitel 3). In einem ersten Schritt werden die Anforderungen an Vorgehensmodelle zur Gestaltung und Anpassung wandlungsfähiger LAZ erarbeitet. Daraufhin erfolgt eine Untersuchung der derzeit in der Praxis verwendeten Konzepte zur Gestaltung und

Anpassung wandlungsfähiger LAZ sowie ein Abgleich mit dem erarbeiteten Anforderungsprofil. Weiterhin wird die Systematik zur Steuerung und Anpassung dezentraler Teilsysteme in segmentierten LAZ ausgearbeitet sowie geeignete Kennzahlen zur Beschreibung von Kosten, Leistung und Systemlast in LAZ entwickelt.

In Kapitel 4 wird zudem der Nachweis der Tauglichkeit des prozessorientierten Vorgehensmodells zur Fabrikplanung für den Anwendungsfall des LAZ erbracht. Dabei erfolgt nicht die Validierung anhand eines konkreten Praxisbeispiels, vielmehr wird das Vorgehensmodell von Beller für den Anwendungsfall des LAZ anforderungsgerecht modifiziert und die Systematik des Durchlaufs der Planungsschritte veranschaulicht.

### **Konzeptioneller Teil der Arbeit:**

Der dritte Teil der Arbeit umfasst zunächst den konzeptionellen Aufbau des Vorgehensmodells zur Gestaltung und Anpassung wandlungsfähiger LAZ (Kapitel 5). Dabei wird das von Hernandez erarbeitete Phasenmodell der Veränderungsplanung [HERN03, S. 49], vgl. [KUHN11a, S. 5] anforderungsgerecht erweitert und dessen Aufgaben in ein Vorgehensmodell überführt, welches Planung und Betrieb von LAZ über die Ableitung von Planungsanstößen aus dem Betrieb verknüpft.

In den folgenden Kapiteln werden die Arbeitsschritte des Vorgehensmodells detailliert ausgearbeitet. So beschreibt Kapitel 6 die Systematik von Aufbau, Dimensionierung und Anpassung der Flexibilitäts- und Wandlungskorridore für Kosten, Leistung und Systemlast in LAZ. In Kapitel 7 werden geeignete Methoden zur reaktiven und proaktiven Bewertung von Kosten, Leistung und Systemlast in LAZ erarbeitet und in ein mehrdimensionales Bewertungsmodell überführt. Weiterhin wird erläutert wie die Ableitung von Planungsanstößen aus dem Betrieb von LAZ unter Einbeziehung von Zukunftsszenarien und strategischen Unternehmensvorgaben erfolgt. In Kapitel 8 wird die Erarbeitung und Auswahl von Planungsvarianten als Handlungsempfehlungen zur Anpassung des LAZ als Reaktion auf die abgeleiteten Planungsanstöße beschrieben. Kapitel 9 erläutert die Integration der Simulation in die Systematik des Vorgehensmodells zur Planung und Anpassung wandlungsfähiger LAZ.

### **Schlussbetrachtung und Ausblick:**

Schließlich erfolgt eine Zusammenfassung der bedeutendsten Aspekte und Ergebnisse der vorliegenden Arbeit sowie ein Ausblick auf zukünftigen Forschungsbedarf. Da das hier entwickelte Vorgehensmodell in einem über diese Arbeit hinausgehenden Schritt in ein Assistenzsystem überführt werden soll, erfolgt in dieser Arbeit keine Validierung des Vorgehensmodells anhand eines detaillierten Praxisbeispiels (siehe dazu detaillierte Begründung in Kapitel 10.3).