

# 1 Einleitung, Motivation und Konzeption der Arbeit

## 1.1 Ausgangssituation

Die Veränderung des marktlichen und gesellschaftlichen Umfelds produzierender Unternehmen hat in nahezu allen Branchen eine starke Veränderung technischer und organisatorischer Rahmenbedingungen der Produktion bewirkt. Maßgeblicher Treiber der externen Komplexität ist eine steigende Marktkomplexität und -dynamik, die sich in einer zunehmend dynamischeren Produktnachfrage und allgemein einer Verschärfung des Wettbewerbs äußert. (Hawer et al. 2017, S. 117) Die resultierenden Anforderungen für Produktionssysteme liegen in einer deutlichen Komplexitätszunahme von Produktprogrammen<sup>2</sup>, die sich vor allem durch gestiegene Variantenzahlen bemerkbar macht. Daneben nimmt die Dynamik von Produktprogrammen, bedingt durch eine erhöhte Variabilität sachlicher, mengenbezogener und monetärer Programmmerkmale, stetig zu. (Quack 2010, S. 44; Gießmann 2010, S. 38; Scholz 2014, S. 53; Hernández Morales 2003, S. 4)

Die Dynamik der Produktprogramme führt zu einer regelmäßigen Anpassung der fertigungsseitigen Anforderungen und der betrachteten Produktionsprozesse. Gleichzeitig verursacht der zunehmende Wettbewerb einen permanent ansteigenden Kosten- und Produktivitätsdruck, der ebenfalls dazu führt, dass vorhandene Produktionskonzepte und -strukturen kontinuierlich zu überdenken und anzupassen sind. (Hees et al. 2016, 11 f.; Denkena et al. 2012, S. 55; Renna und Ambrico 2015, S. 170) Durch die Zunahme der Komplexität von Produktprogrammen und Produktionssystemen nimmt auch die Komplexität der notwendigen Planungs- und Rekonfigurationsprozesse und somit auch die benötigte Rekonfigurationszeit allgemein zu. Gleichzeitig nimmt die verfügbare Rekonfigurationszeit aufgrund der zunehmenden Dynamik wie beschrieben ab. Die diskrepante Entwicklung benötigter und verfügbarer Rekonfigurationszeiten muss durch ein systematisches Management von Rekonfigurationsprozessen und geeignete Planungsmethoden ausgeglichen werden. (Bleicher 2004, S. 45; Hoffmann et al. 2013, S. 1)

Die fertigungsseitigen Anforderungen im variantenreichen und dynamischen Produktionsumfeld bedingen Fabrikstrukturen, die über ein ausreichendes Maß an Flexibilität

---

<sup>2</sup> Nach NEUHAUSEN beschreibt das **Produktprogramm** das auftragsunabhängige Angebot an Produkten und Produktvarianten und wann diese auf dem Markt angeboten werden. In Abgrenzung dazu beinhaltet das **Produktionsprogramm**, welche Produkte und Produktvarianten in welchen Mengen innerhalb einer Zeitperiode hergestellt werden. (Neuhausen 2001, S. 10)

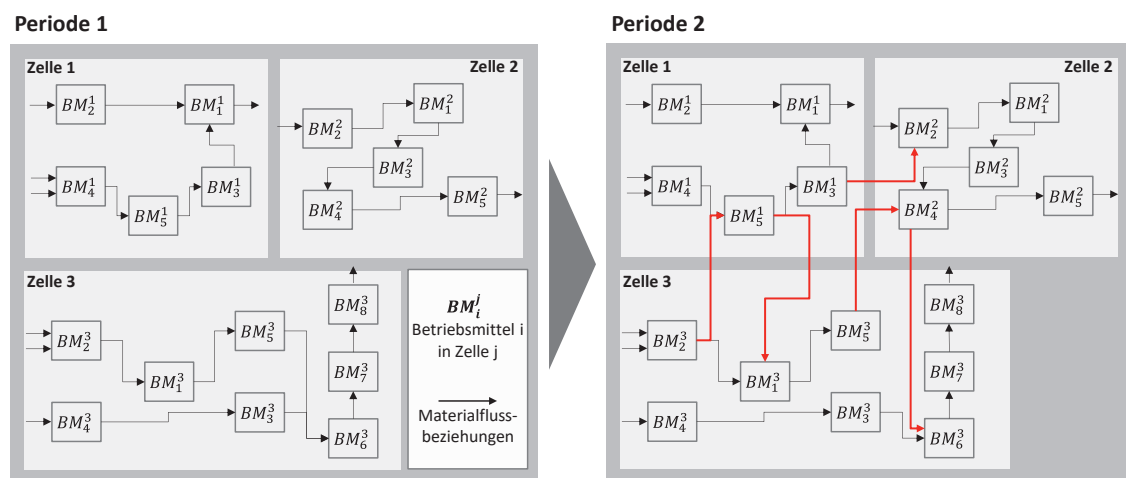
und Wandlungsfähigkeit verfügen. Als lange Zeit dominierende Fertigungsstruktur im komplexen und dynamischen Produktionsumfeld sind insbesondere bei Kleinserien Werkstattstrukturen zu nennen, die den produktunabhängigen und verrichtungsorientierten Fertigungsstrukturen zuzuordnen sind. (Niehues 2016, S. 3) Diese zeichnen sich durch eine verfahrens- beziehungsweise funktionsorientierte Strukturierung aus, die sich meist durch die Zusammenfassung gleicher oder ähnlicher Betriebsmitteltypen ergibt. Produktunabhängige Strukturen charakterisieren sich durch eine große Flexibilität bei Produktmixänderungen und veränderlichen Produktionsprozessen. (Arnold 2003, S. 44) Durch die ausbleibende produktorientierte Strukturbildung beziehungsweise Segmentierung ergeben sich jedoch deutliche Nachteile aufgrund eines erhöhten Steuerungs- und Koordinationsbedarfs, ineffizienter Materialflüsse und hoher Transportzeiten und -kosten. (Arnold et al. 2008, S. 125; Schraff et al. 1999, S. 10–45; Adenso-Diaz und Lozano 2008, S. 302).

Produktabhängige beziehungsweise objektorientierte Fabrikstrukturen haben demgegenüber zum Ziel, Produkte im Hinblick auf fertigungsspezifische Merkmale zu möglichst homogenen Gruppen zusammenzufassen. Den gebildeten Fertigungsfamilien werden Strukturbereiche und abgegrenzte Gruppen von Produktionsmitteln zugeordnet, durch die die Produkte möglichst vollständig bearbeitet werden. (Wildemann 2007, 12 ff.; Reuter et al. 2016, 489 ff.) Zu den nach diesem Gruppenprinzip organisierten Fabrik- beziehungsweise Fertigungssystemen zählen zellulare beziehungsweise gruppentechnologische Strukturen, die der Klein- und Mittelserienfertigung zuzuordnen sind. Aufgrund der offensichtlichen Vorteile im Hinblick auf vereinfachte Materialflüsse und Transportbeziehungen, erzielbare Prozesskosten und reduzierte Steuerungsaufwände, wird vermehrt versucht, zellulare Fabrikstrukturen für den Einsatz im variantenreichen und dynamischen Produktionsumfeld mit kurzzyklischeren Produktmixveränderungen vorzubereiten. (Pawellek 2014, S. 190; Wiendahl et al. 2009, S. 87; Wu et al. 2016, S. 716) Dies ist insbesondere auch auf die Erkenntnis zurückzuführen, dass bis zu 50 % der Prozesskosten durch Materialfluss- und Handhabungskosten entstehen. Allein die Einsparpotenziale durch Struktur- und Layoutoptimierungen werden in diesen Kostenkategorien auf 10 bis 30 % geschätzt (Tompkins et al. 2010, S. 10).

## **1.2 Problemstellung**

Während die Formierung von Fertigungszellen als initiales Planungsproblem methodisch sehr gut untersucht ist, liegt ein Hauptproblem der zellularen Fertigung in der notwendigen Anpassung der Strukturen und der Produkt-Betriebsmittel-Zuordnungen bei sich

mit der Zeit verändernden Produktprogrammen. (Balakrishnan und Cheng 2005, 516 f.; Renna und Ambrico 2015, S. 170) Da zellulare Fabrikstrukturen auf Produkt- und Fertigungsfamilienbildung und die Abstimmung von Produkt- und Betriebsmittelgruppen beruhen, sind häufige Veränderungen der Produktionsprogramme und die regelmäßige Integration von neuen Produktvarianten Hauptursache für Strukturverschlechterungen. Diese äußern sich beispielsweise in der Reduzierung von Komplettbearbeitungsgraden und einer Verschlechterung der Autonomie von Fertigungszellen. Dies führt wiederum zu einem Anstieg interzellulärer Transporte<sup>3</sup> und Effizienzverlusten, die für die Verfehlung von Kosten- und Leistungszielen verantwortlich sind. (Safaei et al. 2007, 383 f.)



**Abbildung 1-1:** Verschlechterung zellulärer Fertigungsstrukturen im Zeitverlauf

Die in der Literatur primär betrachteten strukturellen Anpassungsmaßnahmen beziehen sich auf die Veränderung von Produkt-Betriebsmittel-Zuordnungen<sup>4</sup> durch Fertigungsfamilienbildung, die Veränderung der Betriebsmittelpotenziale beispielsweise durch Betriebsmittelinvestition sowie die Verlagerung von Betriebsmitteln in andere Fertigungszellen (Unglert et al. 2016, S. 375). Während die Veränderung von Teile-Maschinen-Zuordnungen durch Fertigungsfamilienneubildung nicht unmittelbar Investitionen in Betriebsmittel hervorrufen muss und insbesondere die Produktionssteuerung betrifft, handelt es sich bei der Neubeschaffung und Verlagerung um Gestaltungsmaßnahmen mit zum Teil hohen Investitionskosten. (Saidi-Mehrabad und Safaei 2007; Safaei et al. 2007)

<sup>3</sup> **Interzelluläre Transporte** bezeichnen Transporte, die zwischen Zellen stattfinden und die aus Arbeitsvorgängen an Betriebsmitteln resultieren, die außerhalb der zugehörigen Betriebsmittelzelle durchgeführt werden. Demgegenüber zeichnen sich **intrazelluläre Transporte** dadurch aus, dass sie innerhalb von Betriebsmittelzellen stattfinden

<sup>4</sup> Synonym: Teile-Maschinen-Zuordnung

Um den gestiegenen Anforderungen zellulärer Fabrikstrukturen im dynamischen Umfeld zu begegnen, sind die folgenden, potenziellen Vorgehensweisen zu nennen:

- Eine auf Flexibilität ausgerichtete Neugestaltung von Fertigungszellen zu Beginn der Planung,
- die Nutzung effektiver, flexibler Belastungsstrategien und Steuerungsverfahren (z.B. autonome Steuerungsverfahren) und
- eine systematische und proaktive Rekonfiguration zellulärer Fabrikstrukturen.

Eine Möglichkeit mit programmatischen Änderungen im Zeitverlauf umzugehen, liegt zum einen in einer flexibleren Auslegung der Fertigungszellen. Dies impliziert vor allem eine erhöhte Betriebsmittelflexibilität und -rekonfigurierbarkeit. Ein zentrales Problem einer erhöhten Flexibilität liegt in erhöhten Betriebsmittelkosten. Daneben sind im Forschungsfeld vermehrt Ansätze vorzufinden, die durch weiterentwickelte Steuerungslösungen und insbesondere autonome Steuerungsverfahren versuchen, die Steuerungsaufwände und Komplexitätskosten auch bei dynamischen Materialflüssen und interzellularen Transporten merklich zu reduzieren. Durch die Entwicklung autonomer Steuerungsverfahren nimmt die handhabbare Prozessdynamik in zellularen Fertigungssystemen also zu.

Da ein Anstieg interzellulärer Transporte und die damit einhergehende Strukturverschlechterung nur zu einem gewissen Grad zuträglich sind und im Falle von Veränderungen des Produktprogramms häufig Kapazitätsgrenzen von Betriebsmitteln überschritten werden, kommt einem permanenten und vorausschauenden Rekonfigurationsmanagement für dynamische zelluläre Fabrikstrukturen eine immer wichtigere Bedeutung zu. Die Rekonfiguration zellulärer Fabrikstrukturen umfasst, wie beschrieben, auch die physische Veränderung der zellularen Struktur und somit der Teile-Maschinen-Zuordnung durch beispielsweise Verlagerung von Betriebsmitteln in andere Maschinenzellen oder die Neuintegration von Betriebsmitteln.

Physische Rekonfigurationsmaßnahmen zur Anpassung der zellularen Fabrikstruktur sind grundsätzlich sehr zeit- und kostenintensiv, weswegen die Optimierung und Anpassung der Teile-Maschinen-Zuordnung und die damit verbundenen Auswirkungen auf Prozesskosten stets den Rekonfigurationskosten, also Kosten zur Verlagerung, Neubeschaffung oder auch Rückbau von Betriebsmitteln gegenübergestellt werden müssen. Die in der Literatur aktuell vorzufindenden Ansätze sind primär auf diese monetäre Gegenüberstellung ausgerichtet. Ein großes Problem besteht unter anderem darin, dass

die betrachteten Produktprogramme als fix angesehen und durch die strategische Planung vorgegeben werden. Eine Komplexitätsbewertung des Produktprogramms und der Auswirkungen auf die zellulare Strukturgüte findet nicht systematisch statt. Gleichzeitig findet keine Rückkopplung in die strategische Produktplanung statt mit dem Ziel, Prozesskosten verursachungsgerecht und komplexitätsberücksichtigend den Produktvarianten zuzuordnen und für eine wirtschaftliche Produktprogrammplanung für zellulare Fertigungssysteme zu nutzen.

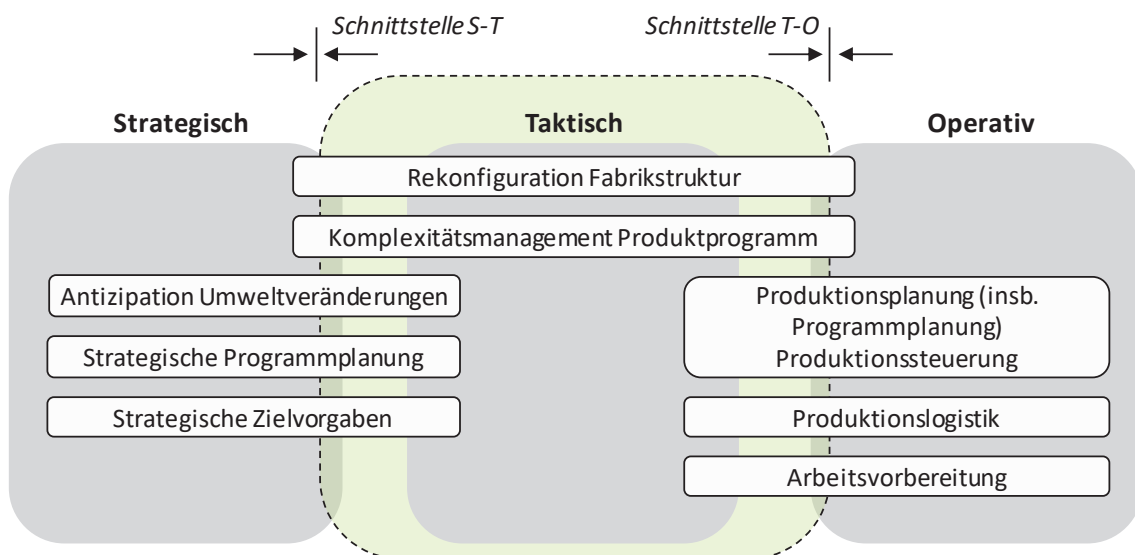
Im Rahmen dieser Arbeit soll die Problemstellung der Rekonfiguration zellulärer Fabrikstrukturen bei variantenreichem und veränderlichen Produktprogramm als taktische Anpassungsaufgabe betrachtet werden. Die unter anderem zu beantwortenden Fragestellungen können in drei Betrachtungsbereiche zusammengefasst werden:

- **Komplexitätsmanagement des Produktprogramms:** Welche Dimensionen sind zur Beschreibung und Quantifizierung der Komplexität des Produktprogramms im Kontext zellulärer Fertigungssysteme zu berücksichtigen? Wie können die Veränderungen des Produktprogramms (dynamische Komplexität) und der Strukturkomplexität quantifiziert werden? Wie können komplexitätstreibende Produktvarianten identifiziert werden und Prozesskosten verursachungsgerecht und entsprechend der logistischen und fertigungsbezogenen Komplexität den Varianten zugeordnet werden? In welche betriebswirtschaftliche Zielgrößen können diese Kostenkenngrößen überführt werden, um die wirtschaftliche Programmplanung, aber auch die Entscheidung über Rekonfigurationsmaßnahmen zu unterstützen?
- **Überwachung der zellularen Strukturgüte:** Auf Basis welcher Kennwerte und mit welchen Methoden kann die zellulare Fabrikstruktur zielführend überwacht werden? Wie können die zunehmenden Anforderungen bezüglich Durchlaufflexibilität in zellularen Fertigungssystemen bei der Bewertung und Überwachung berücksichtigt und die primär in der Literatur betrachteten starren Teile-Maschinen-Zuordnungen (starre Inzidenzmatrizen) vermieden werden? Wie können die Überwachung und die betrachteten Kenngrößen einen Beitrag zur Rekonfigurationssteuerung leisten, beziehungsweise die Ableitung optimaler Rekonfigurationszeitpunkte unterstützen?
- **Planung und Entscheidung über Rekonfigurationsmaßnahmen:** Was sind die zu berücksichtigenden Maßnahmen zur Rekonfiguration zellulärer Fabrikstrukturen

und welche Abhängigkeiten existieren? Wie können Anpassungen des Produktprogramms, beispielsweise durch Eliminierung bestimmter Teilegruppen und -varianten, als explizite Rekonfigurationsmaßnahme berücksichtigt werden? Welche monetären Bewertungsmethoden und -kriterien können zur Entscheidungsfindung beitragen? Wie hoch ist die Sensitivität von Rekonfigurationsentscheidungen gegenüber betriebswirtschaftlichen Einflussgrößen, wie zum Beispiel Absatzpreisen?

### 1.3 Zielsetzung

Wie in der Beschreibung der Problemstellung ersichtlich, kann der Betrachtungsbereich der Arbeit inmitten strategischer und operativer Aufgaben der Produktionsplanung im Kontext zellularer Fabrikstrukturen verortet werden. Die Aufgabenbereiche einer taktischen Rekonfiguration umfassen demnach neben der Steuerung, Planung und Entscheidung über Rekonfigurationsprozesse insbesondere ein taktisches Komplexitätsmanagement der Produktprogramme. Dieses stellt eine zentrale Schnittstelle zur strategischen Produktprogrammplanung dar und ist Grundvoraussetzung für wirtschaftliche Programm- und Produktionsplanung für zellulare Fertigungssysteme. Eine wichtige Zielsetzung dieser Arbeit liegt in dem Verständnis und der Berücksichtigung der Schnittstellen sowohl zur strategischen als auch operativen Produktionsplanung (vgl. Abbildung 1-2).



**Abbildung 1-2:** Taktische Rekonfiguration zellularer Fabrikstrukturen

Die Beantwortung der in Kapitel 1.2 benannten Teilfragen und der damit einhergehenden Problemstellungen sollen somit durch ein Vorgehen zur taktischen Rekonfiguration

zellulärer Fabrikstrukturen gewährleistet werden. Die Zielsetzung der Arbeit unterteilt sich in vier primäre Forschungsziele, die nachfolgend benannt und erläutert werden.

***Forschungsziel 1: Systematische Ableitung von Anforderungen an ein Vorgehen zur taktischen Rekonfiguration zellulärer Fabrikstrukturen bei variantenreichen und veränderlichen Produktprogrammen.***

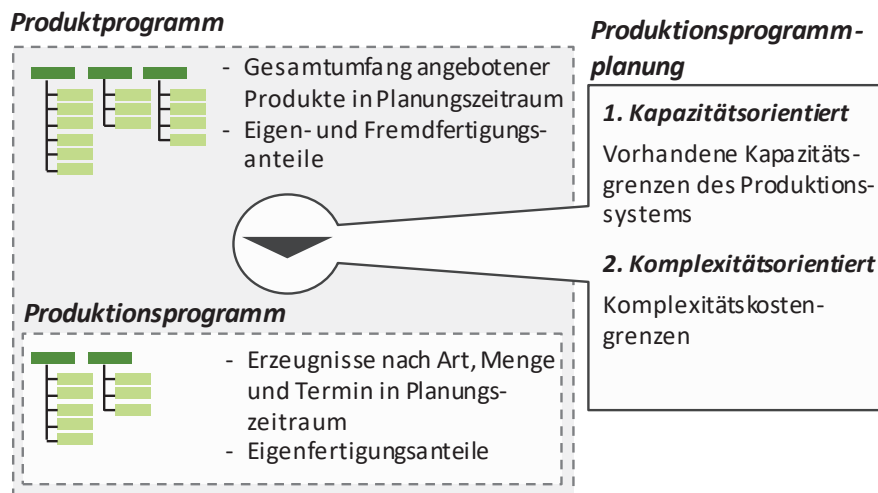
Um eine anforderungsgerechte Entwicklung des Vorgehens zu gewährleisten, sind zunächst die zentralen Anforderungen an die Lösungsentwicklung zu erarbeiten. Die grundsätzlichen Anforderungen ergeben sich zum einen aus den Herausforderungen einer zunehmenden Marktdynamik. Die daraus erwachsende Dynamik des Produktprogramms hat einen Anstieg der Variantenvielfalt und eine Variabilität hinsichtlich mengenmäßiger, sachlicher oder beispielsweise auch absatzpreislicher Kriterien zur Folge. Dies erschwert die strukturelle Verknüpfung von Produktvarianten und Fertigungszellen beziehungsweise Betriebsmitteln deutlich und ist als zentrale Herausforderung zu sehen. Zum anderen liegen Anforderungen im Bereich der Flexibilität und Wandlungsfähigkeit von Produktionssystemen begründet. Die Erfüllung des ersten Forschungsziels erfolgt zweistufig, indem zunächst die sich aus dem adressierten Produktionsumfeld ergebenden Anforderungen zusammengefasst werden. Weitere Anforderungen ergeben sich deduktiv aus der Betrachtung bestehender Rekonfigurationsansätze in der Literatur.

***Forschungsziel 2: Entwicklung eines Beschreibungsmodells zur komplexitätsorientierten Bewertung von Produktprogrammen sowie komplexitätskostenorientierten Überwachung zellulärer Fabrikstrukturen.***

Das zweite Forschungsziel liegt in der Entwicklung eines komplexitätsorientierten Beschreibungsmodells für Produktprogramme und zellulärer Fertigungssysteme. Hierfür müssen zunächst geeignete Komplexitätskriterien und Bewertungsgrößen definiert werden um die Strukturkomplexität von Produktprogrammen, aber auch deren Veränderungsintensität zu beschreiben. Das Ziel liegt in einer marktlichen, programmatischen Komplexitätsbewertung sowie einer fertigungsspezifischen, auf die Anforderungen in zellulären Fertigungssystemen ausgerichtete Komplexitätsbewertung.

Daneben sind die zellulären Fertigungsstrukturen und die zugrundeliegende Zuordnung von Produktvarianten zu Fertigungszellen und Betriebsmitteln monetär zu überwachen.

Das Hauptaugenmerk liegt auf der Betrachtung von Prozesskosten und deren komplexitätsorientierte Kostenbestandteile, beispielsweise resultierend aus zusätzlichen Transport- oder Handlingskosten. Diese sind den Produktvarianten verursachungsgerecht zuzuordnen und überführt in betriebswirtschaftliche Erfolgskenngrößen wie Deckungsbeiträge für die Überwachung der zellularen Fabrikstruktur zu nutzen.



**Abbildung 1-3:** Bewertung der Komplexitätskosten von Produktprogrammen zur Ableitung von Produktionsprogrammen

Auf diese Weise soll die Ableitung von Produktionsprogrammen für zellulare Fertigungssysteme nicht nur primär kapazitätsorientiert und unter Berücksichtigung vorhandener Kapazitätsgrenzen des Produktionssystems erfolgen, sondern auch vor dem Hintergrund tatsächlicher Prozesskosten und Erfolgsbeiträge der einzelnen Produkte des Programms. Die verursachungsgerechte Kostenzuordnung und Erfolgsbewertung von Produktprogrammen in zellularen Fertigungssystemen ist zudem eine wichtige Voraussetzung zur Bewertung potenzieller Rekonfigurationsmaßnahmen.

**Forschungsziel 3:** Entwicklung eines Planungs- und Entscheidungsmodells für die Rekonfiguration zellulärer Fabrikstrukturen unter Berücksichtigung der Anforderungen eines dynamischen Produktionsumfelds.

Das dritte Forschungsziel liegt zum einen in der Erarbeitung eines Planungsmodells zur Ableitung zellulärer Strukturkonfigurationen. Dieses muss auf den Einsatz in einem permanenten und interaktiven Rekonfigurationsprozess ausgelegt sein und die relevanten Struktur determinanten zellulärer Fertigungssysteme berücksichtigen. Gleichzeitig muss es auf die Anforderungen im dynamischen Produktionsumfeld ausgerichtet sein. Dies umfasst insbesondere die Berücksichtigung einer steigenden Durchlaufflexibilität und



die erhöhte Anzahl redundanter Betriebsmittel innerhalb zellularer Fertigungssysteme. Die häufige Ausrichtung von Methoden und Beschreibungsmodellen, wie beispielsweise Inzidenzmatrizen, auf eine lediglich starre Zuordnung von Teilevarianten zu einem spezifischen Betriebsmittel ist im dynamischen Produktionsumfeld nicht zielführend und bedarf einer Weiterentwicklung.

Zum anderen müssen auf Basis der Planung von Zellstrukturkonfigurationen für die jeweiligen Betrachtungsperioden die damit einhergehenden Rekonfigurationsbedarfe periodenübergreifend und monetär bewertet und Entscheidungen über die potenziellen Rekonfigurationsmaßnahmen getroffen werden. Das Planungs- und Entscheidungsmodell muss neben den genannten und üblicherweise für zellulare Fertigungssysteme zu nutzenden Rekonfigurationsmaßnahmen explizit Produktprogrammanpassungen berücksichtigen und in die monetäre Bewertung einbeziehen. Die abgeleiteten Maßnahmen müssen zudem gerade in einem dynamischen Produktionsumfeld auf ihre Sensitivität gegenüber bestimmten Einflussgrößen untersucht werden. Das Ziel liegt in der Bereitstellung möglichst valider Entscheidungsvorlagen für den Planer, unter Berücksichtigung eines stark volatilen Produktionsumfelds. Zu den zentralen Einflussgrößen sind insbesondere Absatzpreise zu zählen.

***Forschungsziel 4:** Entwicklung eines übergeordneten Vorgehensmodells zur permanenten Analyse und Rekonfiguration zellularer Fabrikstrukturen.*

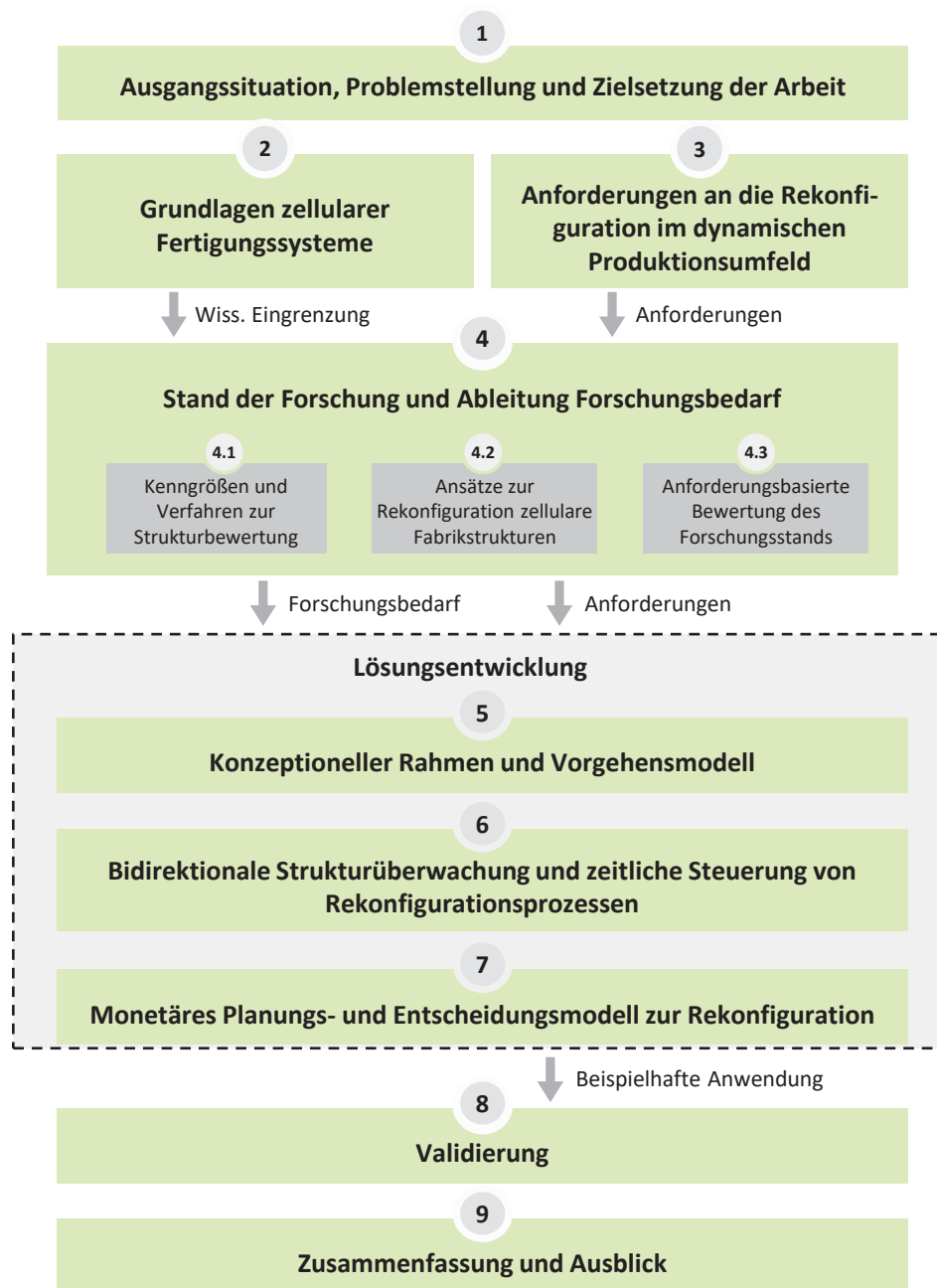
Das vierte und letzte Forschungsziel der Arbeit liegt in der Entwicklung eines übergeordneten Vorgehensmodells, das sich durch die Zusammenführung der dargestellten Teillösungen und die Erfüllung der ermittelten Anforderungen auszeichnet. Ausgangspunkt des Vorgehensmodells ist die mehrperiodige Strukturüberwachung von Produktprogrammen und Fertigungssystem. Das Ziel liegt in der rechtzeitigen Auslösung von Rekonfigurationsprozessen im Falle von Rekonfigurationsbedarfen. Mit Auslösung der Rekonfiguration erfolgt die Planung beziehungsweise Aktualisierung zukünftiger Zellenstrukturen, aber insbesondere auch die Ableitung einer mehrperiodigen Maßnahmenzeitplanung, die eine rechtzeitige Rekonfiguration des Fertigungssystems ermöglicht.

## **1.4 Aufbau der Arbeit und Forschungskonzeption**

Nachfolgend werden der Aufbau und die inhaltliche Struktur der Arbeit und das damit verbundene konzeptionelle Vorgehen dargestellt. Im Anschluss wird in Kapitel 1.4.2 der Betrachtungsbereich der Arbeit eingegrenzt.

### 1.4.1 Aufbau der Arbeit

Die vorliegende Arbeit ist in insgesamt zehn Teilkapitel strukturiert. Der Aufbau der Arbeit ist in der nachfolgenden Abbildung 1-4 ersichtlich.



**Abbildung 1-4:** Aufbau der Arbeit

Ausgangspunkt für die Lösungsentwicklung ist zunächst die wissenschaftliche Eingrenzung der Arbeit. Diese erfolgt im Rahmen der Grundlagenermittlung zellulärer Fertigungssysteme in Kapitel 1. Neben der Definition grundlegender Begrifflichkeiten wird die Fabrikstrukturplanung und deren Einordnung in das übergeordnete Forschungsfeld

der Fabrikplanung erläutert. Danach werden die unterschiedlichen Strukturierungsprinzipien und im besonderen produktorientierte Strukturlösungen untersucht. Von besonderer Relevanz für den Fortlauf der Arbeit ist die Darlegung der Grundlagen zellularer Fertigungssysteme (Kapitel 2.3.3) sowie der aktuellen Verfahren und Methoden zur Formierung (Kapitel 2.3.4).

Das dritte Kapitel widmet sich den Anforderungen an die Rekonfiguration zellularer Fertigungssysteme, die aus den allgemeinen Entwicklungen der Markt- und Produktdynamik (Kapitel 3.1) sowie den steigenden Anforderungen an das Management und die Zielgrößen von Anpassungs- beziehungsweise Rekonfigurationsprozessen (Kapitel 3.2) resultieren. Die sich aus diesen beiden Betrachtungsfeldern ergebenden Anforderungen werden in Kapitel 3.3 zusammengefasst und bewertet.

Auf Grundlage der erfolgten wissenschaftlichen Eingrenzung sowie der ermittelten Anforderungen wird der Forschungsstand zur Rekonfiguration zellularer Fertigungssysteme im dynamischen Produktionsumfeld aufgebaut. Neben der Betrachtung von Ansätzen zum Rekonfigurationsmanagement, also von Ansätzen im unmittelbaren wissenschaftlichen Fokus der Arbeit, erfolgt die Analyse von Kenngrößen und Verfahren zur Bewertung von Fabrik- und Produktstrukturen (Kapitel 4.1). Aus dem skizzierten Forschungsstand werden deduktiv weitere Anforderungen an die Lösungsentwicklung abgeleitet und gemeinsam mit den in Kapitel 3 ermittelten Anforderungen in eine vollständig Anforderungssystematik im Forschungsfeld der Arbeit überführt (Kapitel 4.3.1). Die Anforderungssystematik, die der Erfüllung des ersten Forschungsziels (**FZ 1**) dient, ist Ausgangspunkt einer detaillierten und anforderungsbasierten Bewertung von Ansätzen im Forschungsfeld in Kapitel 4.3.2. Das Ergebnis ist der abgeleitete Forschungsbedarf, der zur nachfolgenden Lösungsentwicklung dient.

Die Lösungsentwicklung ist entsprechend der dargestellten Forschungsziele und chronologisch entlang des Rekonfigurationsprozesses aufgebaut. Kapitel 1 dient der Konzeptionierung der Arbeit, die insbesondere die theoretische Verortung und Eingrenzung (Kapitel 5.1) sowie die Ableitung der für diese Arbeit fünf zentralen wissenschaftlichen Konzeptbausteine (Kapitel 5.2) umfasst. Kapitel 5.3 dient der Entwicklung des übergeordneten Rahmenwerks und Vorgehensmodells und somit der Teilerfüllung des vierten Forschungsziels (**FZ 4**). Im Anschluss erfolgt die Entwicklung des Konzepts zur komplexitätsorientierten Überwachung von Produktprogrammen (Kapitel 6.1) und Fertigungssystem (Kapitel 6.2). In Kapitel 6.3 erfolgt die Betrachtung der zeitlichen Steuerung von Re-

konfigurationsprozessen und der Dynamik des Produktprogramms als Auslöser von Planungsanstößen. Insgesamt dient das Kapitel 1 somit der Erfüllung des zweiten Forschungsziels **(FZ 2)**.

Die nächste Phase des Rekonfigurationsprozesses ist die Planungs-, Bewertungs- und Entscheidungsphase, die in Kapitel 1 detailliert betrachtet wird. Das entwickelte Planungsmodell zeichnet sich hierbei durch eine aufgabenorientierte Planung durch Fertigungsfamilienbildung sowie eine mehrstufige Betriebsmittelzuordnung aus (Kapitel 7.1). Die monetäre Bewertung und Entscheidung über Umsetzungsmaßnahmen erfolgt im Rahmen einer mehrperiodigen Betrachtung und auf Basis einer im Vorfeld durchgeführten Analyse von Maßnahmenabhängigkeiten. Das siebte Kapitel ist auf die Erfüllung des dritten Forschungsziels **(FZ 3)** ausgerichtet.

Die Arbeit schließt ab mit der umfassenden Validierung des Vorgehens anhand eines konkreten Anwendungsfalls. Die Demonstration der Funktionsweise bezieht sich zunächst auf die Funktionsweise des Planungs- und Entscheidungsmodells und der zugehörigen Methoden für einen initialen Betrachtungszeitpunkt (Kapitel 8.2). Anschließend wird für einen fortgeschrittenen Betrachtungszeitpunkt und auf Basis der rollierenden Aktualisierung des Produktprogramms für die Betrachtungsperioden die zeitliche Rekonfigurationssteuerung demonstriert und bewertet (Kapitel 8.3). Die Arbeit schließt mit der Zusammenfassung und dem Ausblick in Kapitel 9. Des Weiteren umfasst die Arbeit das Literaturverzeichnis (Kapitel 10) und einen Anhang.

#### **1.4.2 Charakterisierung des Betrachtungsbereichs**

Wie bereits in der Einleitung dargelegt, ist der Betrachtungsbereich der Arbeit charakterisiert durch ein durch Markt- und Programmdynamik geprägtes Produktionsumfeld. Die nachfolgende Abbildung 1-5 gibt einen Überblick über den Betrachtungsbereich und liefert somit Anhaltspunkte zur Eingrenzung und wissenschaftlichen Fokussierung. Die Eingrenzung erfolgt dabei entlang der Kategorien Marktanforderungen, Produktkomplexität und Charakterisierung des Produktionssystems.

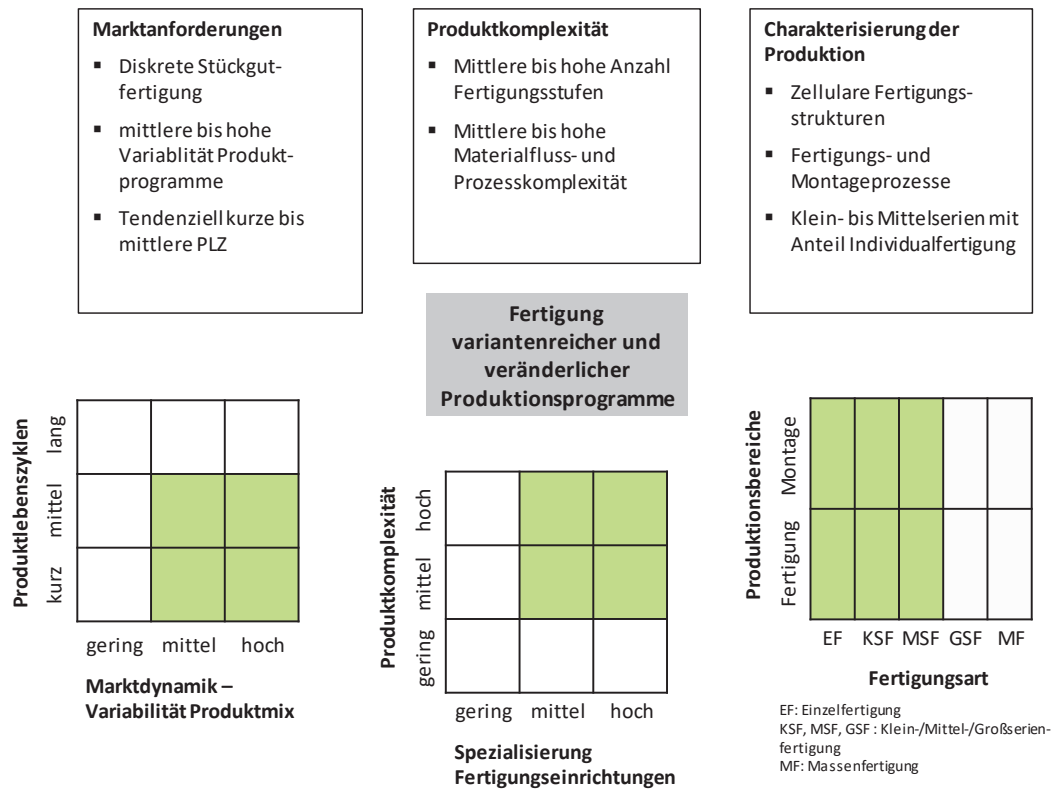


Abbildung 1-5: Eingrenzung des Betrachtungsbereichs der Arbeit