

Aufgabenstellung

Titel der Masterarbeit

Modellbasierte Multi-Kriterien-Analyse von Fabrikssystemen als Grundlage für die Ableitung von Änderungsmaßnahmen

Inv.- Nr.: 2014/050-MT
Verfasser: Severin Kreuels **Betreuer:** Christian Plehn
Ausgabe: 11.01.2014 **Abgabe:** 11.07.2014

Ausgangssituation

Bedingt durch kürzere Produktlebenszyklen, steigende Variantenvielfalt und ständige technologische Innovation in den vergangenen Jahren stellt die Veränderungsfähigkeit von Fabriken eine zunehmend wichtige Herausforderung in der Fabrikplanung dar. Verschiedene Faktoren zur Verbesserung der Veränderungsfähigkeit, wie beispielsweise die Modularisierung von Maschinen und Produktionsstrukturen oder Konzepte zur Mobilisierung von Betriebsmitteln innerhalb von Fabriken, sind bereits identifiziert worden.

Fabrikssysteme werden von der räumlichen Anordnung, den Wechselwirkungen innerhalb des Systems und den Eigenschaften der Betriebsmittel charakterisiert. Ihnen wird ein starker Einfluss auf die Veränderungsfähigkeit zugesprochen. Demzufolge ist deren Modellierung eine grundlegende Herausforderung bei der Planung veränderungsfähiger Fabriken.

Zielsetzung

Diese Arbeit hat die Klassifizierung und die Evaluation existierender Arten von Modellierungs- und Strukturierungstechniken für Fabrikssysteme zum Ziel. Dabei sind neben einer intensiven Literaturrecherche im Bereich der Ingenieurwissenschaften auch aussichtsreiche Ansätze aus den Wirtschaftswissenschaften und Operations Research zu untersuchen. Basierend auf diesen Ergebnissen soll ein Modell von Fabrikssystemen entwickelt werden, welches deren Analyse hinsichtlich der Wirkung von Änderungstreibern sowie die Ableitung von Änderungsmaßnahmen unterstützt.

Vorgehensweise und Arbeitsmethodik

Zur Erreichung der Zielsetzung ist eine strukturierte Vorgehensweise erforderlich. Folgende Arbeitsinhalte sollen behandelt werden:

- Literaturrecherche zum Thema Fabrikssysteme und Veränderungsfähigkeit
- Recherche von Techniken für die Modellierung von Systemen in den Bereichen der Ingenieurwissenschaften, Wirtschaftswissenschaften und Operations Research
- Definition von Klassifizierungskriterien und Evaluation der vielversprechendsten Modellierungs- und Strukturierungstechniken
- Ermittlung von Anforderungen an das zu entwickelnde Modell
- Identifikation von zu berücksichtigenden Fabrikssystemelementen und -eigenschaften bei der Modellierung
- Entwicklung eines Modells für die Multi-Kriterien-Analyse von Fabrikssystemen hinsichtlich der Wirkung von Änderungstreibern
- Gestaltung des Modells unter Berücksichtigung von Perspektiven zur Ableitung von Änderungsmaßnahmen
- Wissenschaftliche Dokumentation der Ergebnisse

Vereinbarung

Mit der Betreuung von Herrn B.Sc. Severin Kreuels durch Herrn Dipl.-Wirt.-Ing. Christian Plehn fließt geistiges Eigentum des *iwb* in diese Arbeit ein. Eine Veröffentlichung der Arbeit oder eine Weitergabe an Dritte bedarf der Genehmigung durch den Lehrstuhlinhaber. Der Archivierung der Arbeit in der *iwb*-eigenen und nur für *iwb*-Mitarbeiter zugänglichen Bibliothek als Bestand und in der digitalen Studienarbeitsdatenbank des *iwb* als PDF-Dokument stimme ich zu.

Garching, den 11.01.2014

Dipl.-Wirt.-Ing. C. Plehn

B.Sc. S. Kreuels

Prof. Dr.-Ing. G. Reinhart

Abstract

Manufacturing companies are increasingly facing an uncertain and continuously changing environment. This environment is characterized by a great divergence between the effort for changes that is actually required by the companies themselves and the tolerated effort level imposed by market conditions.

Transformability has widely been identified as a feasible approach to managing the above mentioned challenging conditions. Therefore, transformability constitutes the core of this Master Thesis.

A thorough analysis of various interpretations of changeability in the literature and the development of a factory system definition form the basis for the model development.

The overall model consists of two separate models, while the first one analyzes the impact of change drivers on the factory system and the second one offers a framework for compiling change measures in a systematic manner.

Accordingly, this Master Thesis provides a model approach for factory planning under utilization of changeability.

Inhaltsverzeichnis

I	Abkürzungsverzeichnis	i
II	Symbolverzeichnis	ii
III	Abbildungsverzeichnis	iii
IV	Tabellenverzeichnis	vi
1	Einleitung	1
1.1	Historische Entwicklung der Fabrik.....	1
1.2	Problemstellung.....	3
1.3	Zielsetzung.....	5
1.4	Vorgehensweise und Aufbau der Arbeit.....	6
2	Theoretische Grundlagen und Stand der Wissenschaft	10
2.1	Theoretische Grundlagen - Begriffsbestimmung.....	10
2.1.1	Veränderungsfähigkeit.....	10
2.1.2	Modellierung.....	19
2.1.3	Systemtheorie.....	21
2.1.4	Fabrikssystem.....	24
2.1.5	Fabrikplanung.....	34
2.2	Stand der Wissenschaft - Modellierungstechniken für Systeme.....	37
2.2.1	Definition von Klassifizierungskriterien.....	37
2.2.2	Übersicht der Modellierungstechniken.....	39
2.2.3	HERNANDEZ MORALES 2002.....	42
2.2.4	NOFEN 2006.....	44
2.2.5	POHL 2013.....	47
2.2.6	KLEMKE 2014.....	50
2.3	Zwischenfazit – Konkretisierung des Forschungsbedarfes.....	53
3	Anforderungen an das Modell	56
3.1	Aufgabenspezifische Anforderungen.....	56
3.2	Grundlegende Anforderungen.....	60
3.3	Übersicht Modellaufbau.....	61

4	Analyse – Wirkung von Änderungstreibern	62
4.1	Lösungsbaustein 1.1: Welche Änderungstreiber?	62
4.2	Lösungsbaustein 1.2: Auf welche Elemente und Relationen?	75
4.3	Lösungsbaustein 1.3: Erforderliche Veränderungen?	87
5	Anwendungspotenzial – Ableitung von Änderungsmaßnahmen.....	103
5.1	Lösungsbaustein 2.1: Zusammenstellung der Veränderungen?	106
5.2	Lösungsbaustein 2.2: Welche Wandlungsfähigkeit?	108
5.3	Lösungsbaustein 2.3: Aufwand von Änderungsmaßnahmen?	117
6	Evaluation des entwickelten Modells.....	125
7	Zusammenfassung und Ausblick.....	130
8	Literaturverzeichnis	132
9	Anhang.....	146
9.1	Suchbegriffe der systematischen Literaturrecherche	146
9.2	Informationsquellen der systematischen Literaturrecherche	147
9.3	Änderungstreiber	148
9.4	Fertigungsmittelmerkmale für Wandlungsbefähiger	156
10	Glossar	157
V	Inhalt des digitalen Projektordners	vii
VI	Eingebrachte Eigenleistung des Betreuers.....	viii
VII	Eidesstattliche Erklärung	ix

I Abkürzungsverzeichnis

A	Aufgabenspezifische Anforderung
BM	Betriebsmittel
CPPS	Cyber-Physical Production System
DIN	Deutsches Institut für Normung
DMM	Domain Mapping Matrix
FLEX	Flexibilität
FMS	Flexible Manufacturing System
G	Grundlegende Anforderung
GoM	Grundsätze ordnungsmäßiger Modellierung
i.A.a.	In Anlehnung an
iwb	Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften
ksVF	Keine spezielle Veränderungsfähigkeit
OG	Obergrenze des Flexibilitätskorridors
RMS	Reconfigurable Manufacturing System
UG	Untergrenze des Flexibilitätskorridors
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
WLF	Wandlungsfähigkeit

II Symbolverzeichnis

- I_x Ist-Fabriksystem zum Zeitpunkt t_x
- S_{xy} Soll-Fabriksystem-Variante y zum Zeitpunkt t_x
- t_x Zeitpunkt mit $0 \leq x \leq n$ (n = Anzahl der betrachteten Zeitpunkte)
- \tilde{V} Vektor
- y Anzahl der Soll-Systeme pro Zeitpunkt t_x

III Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Zunehmende Divergenz zwischen benötigtem und zulässigem Aufwand für Veränderungen in der Fabrik	2
Abbildung 1-2: Historische Entwicklung der Fabrik	4
Abbildung 1-3: Aufbau der Arbeit	6
Abbildung 1-4: Systematische Literaturrecherche und Literaturrezension.....	8
Abbildung 2-1: Veränderungsfähigkeitsklassen nach WESTKÄMPER ET AL.	12
Abbildung 2-2: Morphologische Matrix der Veränderungsfähigkeit.....	12
Abbildung 2-3: Veränderungsfähigkeitsklassen nach WIENDAHL.....	13
Abbildung 2-4: Flexibilität und Wandlungsfähigkeit aus Markt- und Produktionsleistungssicht in morphologischer Matrix	15
Abbildung 2-5: Veränderungsfähigkeitsklassen nach WIENDAHL ET AL.....	16
Abbildung 2-6: Flexibilität nach REINHART.....	17
Abbildung 2-7: Veränderungsfähigkeitsklassen nach REINHART.....	18
Abbildung 2-8: Klassifizierung von Modellen.....	20
Abbildung 2-9: Konzepte der Systemtheorie	23
Abbildung 2-10: Geschäftsprozesse von Unternehmen	25
Abbildung 2-11: Fabriksystem – Funktionales Konzept	26
Abbildung 2-12: Gestaltungsfelder der Fabrik.....	26
Abbildung 2-13: Erfolgsfaktoren von Veränderungsprozessen	27
Abbildung 2-14: Gegenüberstellung der Erfolgsfaktoren von Veränderungsprozessen und der Gestaltungsfelder der Fabrik	27
Abbildung 2-15: Lebenszyklen von Produkt, Betriebsmittel, Gebäude, Standort	29
Abbildung 2-16: Fabriksystem – Strukturales Konzept.....	31
Abbildung 2-17: Fabrikebenen des Fabriksystems	32
Abbildung 2-18: Fabriksystem – Hierarchisches Konzept.....	33
Abbildung 2-19: Definition des Fabriksystems	34
Abbildung 2-20: Regelkreis der kontinuierlichen Fabrikplanung	35

Abbildung 2-21: Einordnung der Teilforschungsfragen in den Regelkreis der kontinuierlichen Fabrikplanung.....	38
Abbildung 2-22: Abgleich von Ist- und Soll-Wandlungsfähigkeit	42
Abbildung 2-23: Fabrikmodul.....	44
Abbildung 2-24: Regelkreis der Wandlungsfähigkeit.....	45
Abbildung 2-25: Modelle der Methode zur Produktionsstrukturadaption.....	48
Abbildung 2-26: Methode zur Adaption von Produktionsstrukturen	49
Abbildung 2-27: Methodenablauf.....	51
Abbildung 3-1: Wirkung von Änderungstreibern analysieren	58
Abbildung 3-2: Für Ableitung von Änderungsmaßnahmen nutzbar machen...	59
Abbildung 3-3: Aufbau des zu entwickelnden Modells	61
Abbildung 4-1: Herkunftsbereiche von Änderungstreibern.....	63
Abbildung 4-2: Rezeptormodell	65
Abbildung 4-3: Zusammenhang Änderungstreiber - Anforderungen.....	67
Abbildung 4-4: Rezeptoren und Veränderungsdimensionen der Fabrikfunktionen	67
Abbildung 4-5: Szenarien zwischen Prognose und Spekulation	69
Abbildung 4-6: Phasenmodell des Szenario-Managements	71
Abbildung 4-7: Mehrstufige Szenarien	73
Abbildung 4-8: Lösungsbaustein 1.1	74
Abbildung 4-9: Fabrikstruktur determiniert Fabrikfunktion.....	77
Abbildung 4-10: Produktionsprinzipien	78
Abbildung 4-11: Zusammenhang Anforderung - Fertigungsmittel.....	80
Abbildung 4-12: Zuordnung Produkt zu Fertigungsmittel über Fertigungsverfahren	81
Abbildung 4-13: DMM´s zur Identifikation der Fertigungsmittel anhand des Fertigungsverfahrens	83
Abbildung 4-14: Zuordnung Produkt zu Fertigungsmittel über Fertigungsabfolge.....	84
Abbildung 4-15: DMM´s zur Identifikation der Fertigungsmittel anhand der Fertigungsabfolge.....	85

Abbildung 4-16: Lösungsbaustein 1.2	86
Abbildung 4-17: Zusammenhang der Eignungsprüfung	89
Abbildung 4-18: Korridor in der Veränderungsdimension Stückzahl	90
Abbildung 4-19: Unterscheidung Flexibilität und Wandlungsfähigkeit.....	91
Abbildung 4-20: Veränderungsfähigkeitsklassen und Veränderungskorridore	93
Abbildung 4-21: Flexibilitätskorridore in den sechs Veränderungsdimensionen	95
Abbildung 4-22: Komprimierte Darstellung der Flexibilitätskorridore in fünf Veränderungsdimensionen	96
Abbildung 4-23: Mögliche Stückzahl-Substitutionen zweier Produkte	100
Abbildung 4-24: Lösungsbaustein 1.3	102
Abbildung 5-1: Übersicht der verwendeten Terminologie.....	104
Abbildung 5-2: Zusammenstellung erforderlicher Veränderungen	107
Abbildung 5-3: Erweiterte Unterscheidung Flexibilität und Wandlungsfähigkeit	110
Abbildung 5-4: Wandlungsbefähiger	112
Abbildung 5-5: Bewertung des Wandlungsbefähigers Mobilität	113
Abbildung 5-6: Zuordnung der Wandlungsbefähiger zu den Veränderungsdimensionen der Fabrikfunktionen	115
Abbildung 5-7: Veränderungsvektor	118
Abbildung 5-8: Steigung der Vektoren unterschiedlicher Veränderungsfähigkeit	119
Abbildung 5-9: Steigung und absolute Länge des Veränderungsvektors	120
Abbildung 5-10: Wandlungsprozess.....	121
Abbildung 5-11: Veränderungspfad unter Nutzung der Flexibilität.....	122
Abbildung 5-12: Veränderungspfad unter Nutzung der Wandlungsfähigkeit	122
Abbildung 5-13: Wandlungsprozestypen mit Flexibilitätskorridorverschiebung	123
Abbildung 6-1: Übersicht des ersten Teilmodells	126
Abbildung 6-2: Übersicht des zweiten Teilmodells	128

IV Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1: Literaturklassifizierung	41
Tabelle 3-1: Aufgabenspezifische Anforderungen an das Modell	57
Tabelle 3-2: Grundlegende Anforderungen an das Modell	60
Tabelle 4-1: Relationen zur Identifikation der Fertigungsmittel	79
Tabelle 4-2: Vorgehen zur Bestimmung der Flexibilitätskorridorgrenzen.....	99
Tabelle 5-1: Merkmale für Wandlungsbefähiger bei Fertigungsmitteln	114
Tabelle 9-1: Suchbegriffe der Literaturrecherche	146
Tabelle 9-2: Informationsquellen der Literaturrecherche.....	147
Tabelle 9-3: Lenkbare Änderungstreiber aus dem Fabrikumfeld	148
Tabelle 9-4: Nicht lenkbare Änderungstreiber aus dem Unternehmensumfeld	152
Tabelle 9-5: Nicht lenkbare Änderungstreiber aus dem globalen Umfeld	154
Tabelle 9-6: Fertigungsmittelmerkmale für Wandlungsbefähiger.....	156

1 Einleitung

Mit einer Schilderung der historischen Entwicklung der Fabrik in Kapitel 1.1 soll zunächst in die Thematik eingeführt werden. Auf die Erläuterung der Problemstellung in Kapitel 1.2 folgt daraus abgeleitet die Zielsetzung (Kapitel 1.3) dieser Masterarbeit. Als Überblick über das Vorgehen und den Aufbau der Arbeit dient Kapitel 1.4.

1.1 Historische Entwicklung der Fabrik

Mit dem Zusammenschluss von Handwerkern in Manufakturen begann im späten Mittelalter die Entwicklung der Fabrik (lateinisch: *fabrica* = Werkstätte). Neben den land- und forstwirtschaftlichen sowie den handwerklichen Betrieben begründete die Werkstätte in ihrer ersten Ausprägung eine neue Form der Produktionswirtschaft – die Industrie. (KETTNER ET AL. 1984, S. 1; MELLEROWICZ 1958, S. 7–14; MOMMERTZ 1981, S. 47–50).

Bis heute haben drei industrielle Revolutionen die Fabrikentwicklung nachhaltig geprägt. Ende des 18. Jahrhunderts löste die Verwendung der Dampfmaschine zu Produktionszwecken und damit einhergehend der Übergang von Handarbeit zu Maschinenproduktion die Evolution von der Manufaktur zur Fabrik, wie sie heute verstanden wird, aus. Die zweite Revolution fällt in das 19. und die erste Hälfte des 20. Jahrhunderts. Eng verknüpft mit den Namen Taylor und Ford charakterisierte eine hochgradig arbeitsteilige Massenproduktion das Fabrikbild. Die Entwicklungsströme in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts lassen sich als dritte Revolution beschreiben. Die umfangreiche Einführung elektronischer beziehungsweise digitaler Datenverarbeitung und Rechenanlagen ermöglichte eine enorme Zunahme des Automatisierungsgrades. Allen drei Revolutionen ist gemein, dass die Produktivität sprunghaft gesteigert werden konnte. Mit dieser Steigerung der Produktivität ging aber stets auch eine sinkende Veränderungsfähigkeit durch die Nutzung spezialisierter Betriebsmittel einher. (REINHART 2012, S. 7–11; SPUR 1994, S. 4–12; WARNECKE 1992, S. 12–22)

Das Spannungsfeld, in dem Fabriken heutzutage operieren, hat sich durch den Wechsel vom lokalen Verkäufermarkt zum globalen Käufermarkt gravierend verändert (ADAM & JOHANNWILLE 1998, S. 5; PAWELLEK 2008, S. 4). Es ist wesentlich gekennzeichnet durch eine zunehmende Dynamik und Komplexität (REINHART 2000, S. 22; WARNECKE 1992, S. Vorwort). Als einer der ersten

sprach WARNECKE in diesem Zusammenhang von einer turbulenten Welt (WARNECKE 1992, S. Vorwort).

Die Treiber der Turbulenz sind vielfältig und entspringen sowohl dem Unternehmen und der Fabrik selbst als auch externen Bereichen. Sie treiben die Zunahme an Dynamik und Komplexität im Spannungsfeld. Beispielsweise tragen kürzere Produktlebenszyklen und die stetige Einbindung technologischer Innovationen infolge differenzierter Nachfrage zur intern begründeten Dynamik bei. Die Entwicklung der Auftragseingänge hat ebenfalls einen dynamischen Charakter, der bei kurzen Lieferzeiten kaum ausgeglichen werden kann. Die wachsenden Variantenzahlen der Produkte stellen interne Komplexitätstreiber dar. Extern erhöhen weltweit unterschiedliche Märkte und Gesetze die Komplexität. (WESTKÄMPER 2009A, S. 9–11)

Abbildung 1-1 verdeutlicht die durch zunehmende Dynamik und Komplexität verursachte Problematik. Aufgrund der Dynamik sinkt der zulässige zeitliche und monetäre Aufwand für Veränderungen der Fabrik. Änderungen müssen unter der Prämisse der Wirtschaftlichkeit schnell durchgeführt werden, um mit der Nachfrage Schritt halten zu können (MILBERG 1997, S. 23). Gleichzeitig wird infolge der Komplexität ein hoher zeitlicher und monetärer Aufwand für Veränderungen benötigt (SPATH ET AL. 2002, S. 28).

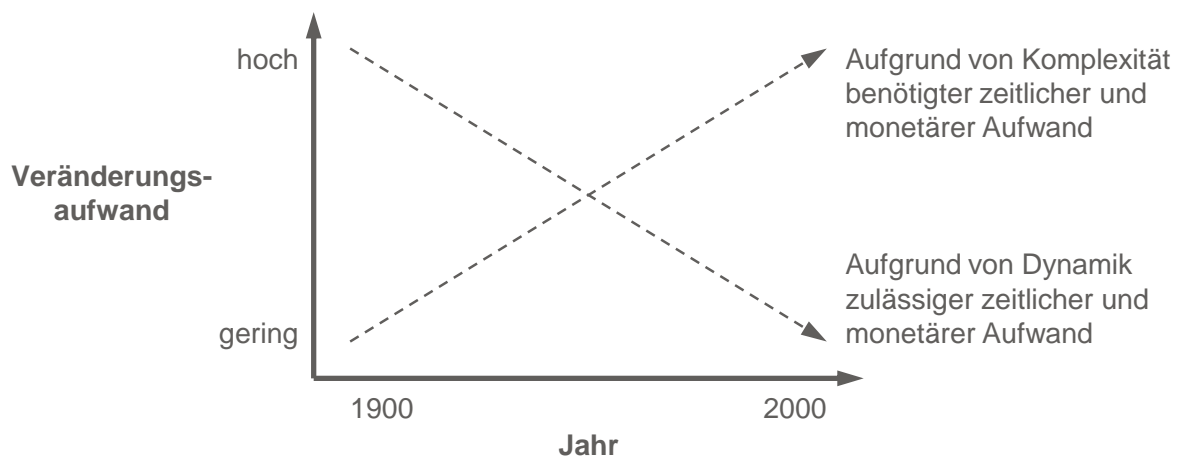


Abbildung 1-1: Zunehmende Divergenz zwischen benötigtem und zulässigem Aufwand für Veränderungen in der Fabrik (i.A.a. BLEICHER 2009, S. 154)

1.2 Problemstellung

Die Fabrikplanung befasst sich mit der Lösung der geschilderten Problematik. Wenn der zulässige Veränderungsaufwand als marktseitig gegeben angenommen wird, muss zwangsläufig der benötigte Aufwand für Veränderungen gesenkt werden, um die Divergenz zu mindern. Dabei gilt die Veränderungsfähigkeit als wichtige Einflussgröße (HERNANDEZ MORALES 2002, S. 49–51). Sie stellt als übergeordneter Begriff eine Oberklasse von Flexibilität und Wandlungsfähigkeit dar (HEGER 2007, S. 2; WIENDAHL ET AL. 2009, S. 115, 127). Es gilt eine Ausprägungsform der Fabrik zwischen den Extremen der veränderungsfähigen Manufaktur und der produktivitätsorientierten Massenfertigung zu finden.

Versuche, der Turbulenz mit Flexibilität zu begegnen, haben sich ob der beständigen Zunahme der Turbulenz und deren unvorhersehbaren Charakters als nicht ausreichend erwiesen. Durch Flexibilität vorgehaltene Fabrikstrukturvarianten, die schnell und kostengünstig eingenommen werden können, bieten nicht die Möglichkeit, unerwartete Funktionen auszuführen. (REINHART 2000, S. 23; WESTKÄMPER 2009A, S. 13)

Mit Konzepten einer wandlungsfähigen Fabrik soll die Diskrepanz zwischen dem benötigten und zulässigen Veränderungsaufwand überwunden werden. Wandlungsfähigkeit wird, ergänzend zu Flexibilität, als Erfolgsfaktor im nicht prognostizierbaren turbulenten Spannungsfeld angesehen. (BAUERNHANS� ET AL. 2012, S. 364; BLEICHER 2009, S. 153; NYHUIS ET AL. 2009, S. 205; REINHART 2008, S. 51; SCHUH 2012, S. 175; WESTKÄMPER 2009A, S. 13; WIENDAHL 2001, S. 723)

Wandlungsfähigkeit soll bei geringer Dauer und geringem Investitionsaufwand unvorhergesehene Funktionen ermöglichen (REINHART 2008, S. 51). Auf diese Weise wird der benötigte Veränderungsaufwand gesenkt und somit die Veränderungsfähigkeit der Fabrik entscheidend gesteigert. Die Thematik ist so bedeutsam, dass Wandlungsfähigkeit neben Kosten, Zeit und Qualität als eine wesentliche Zielgröße der Fabrikplanung ausgerufen wird (ABELE & REINHART 2011, S. 34; HERNANDEZ MORALES 2002, S. 31; WIENDAHL ET AL. 2009, S. 13).

Im Zuge der in Abbildung 1-2 skizzierten Entwicklung ist eine Anpassung der klassischen Fabrikplanung unumgänglich geworden. Die Planung entwickelt sich zu einer kontinuierlichen Fabrikplanung mit der schon zuvor bestehenden Planungsklasse zur Flexibilität sowie neuen Planungsansätzen zur Wandlungsfähigkeit. (HERNANDEZ MORALES 2002, S. 156; SPATH ET AL. 2002, S. 29)

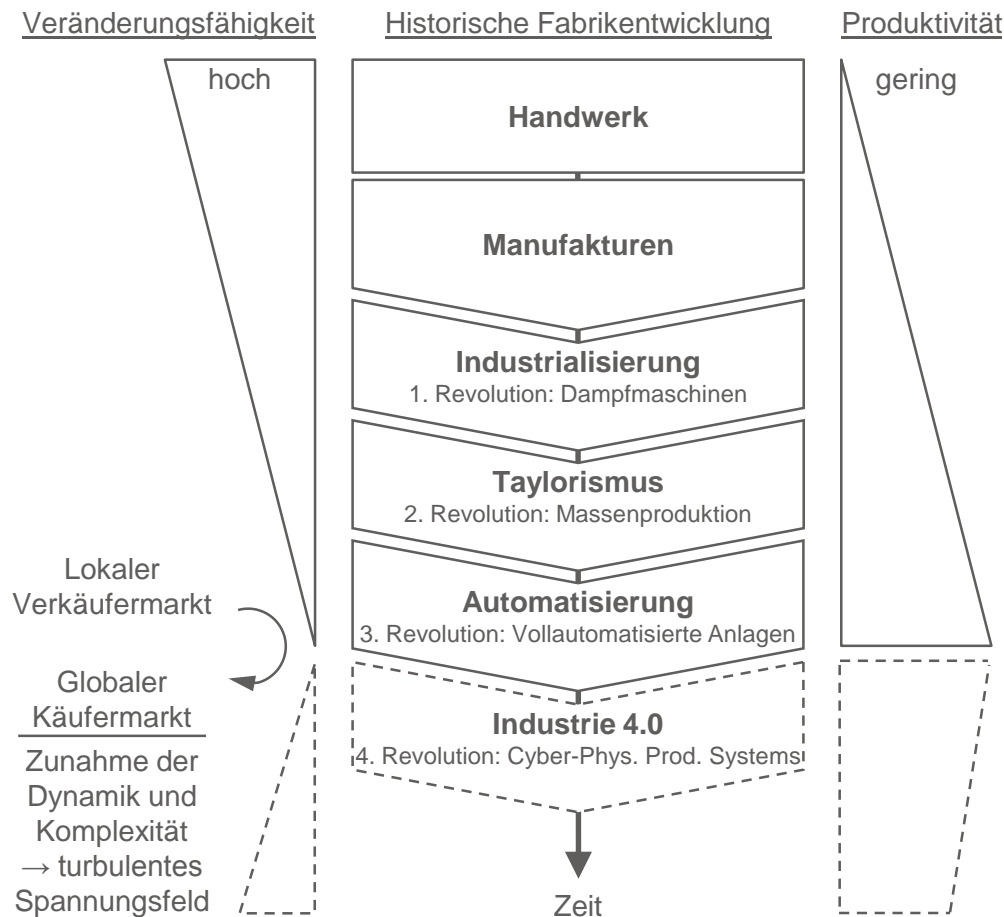


Abbildung 1-2: Historische Entwicklung der Fabrik

Die kontinuierliche Fabrikplanung ist Bestandteil der sich anbahnenden vierten industriellen Revolution. Unter Industrie 4.0 werden Ansätze von Cyber-Physical Production Systems (CPPS) gehandelt, die sich mit der Verknüpfung der virtuellen und realen Welt befassen. Sie erfordern veränderungsfähige und intelligente Fabriken, sodass die Wandlungsfähigkeit als ein zentraler Aspekt der Industrie 4.0 gilt. (KAGERMANN ET AL. 2013, S. 9)

NYHUIS ET AL. haben in einer Studie eruiert, dass bereits implementierte Techniken zur Planung der Wandlungsfähigkeit bei Weitem nicht ausreichend sind. Es fehlen Methoden zur Identifikation und Planung von Veränderungen. (NYHUIS ET AL. 2009, S. 209)

Dies verdeutlicht, dass die Fabrikplanung im turbulenten Spannungsfeld kein triviales Unterfangen ist.

1.3 Zielsetzung

Mit Hinblick auf den bestehenden Handlungsbedarf strebt die vorliegende Arbeit diesbezüglich einen Forschungsbeitrag an. Eingebettet in die kontinuierliche Fabrikplanung sollen das Ausmaß von Änderungstreibern wahrgenommen und daraufhin entsprechende Änderungsmaßnahmen abgeleitet werden können. Hieraus wurde folgende zentrale Forschungsfrage entwickelt, deren Beantwortung die Zielsetzung ist:

Wie müssen Fabriksysteme modelliert werden, sodass die Wirkung von Änderungstreibern analysiert und für die Ableitung geeigneter Änderungsmaßnahmen nutzbar gemacht werden kann?

Diese monolithisch formulierte Frage wird zum besseren Verständnis in Teilforschungsfragen untergliedert. Die ersten drei Fragen beziehen sich auf die Analyse der Wirkung von Änderungstreibern, während die folgenden drei die Nutzbarmachung der Analyse zur Ableitung von Änderungsmaßnahmen betreffen.

- 1.1) Welche Änderungstreiber wirken auf das System?
- 1.2) Auf welche Elemente und Relationen wirken die Änderungstreiber?
- 1.3) Welche Veränderungen des Systems sind erforderlich?
- 2.1) Wie können erforderliche Veränderungen zusammengestellt werden?
- 2.2) Welche Wandlungsfähigkeit besitzt das System?
- 2.3) Wie kann der Aufwand von Änderungsmaßnahmen bewertet werden?

Mit Hilfe des zu entwickelnden Modells sollen diese Fragen beantwortet werden können. Das Modell unterstützt im Kontext der Veränderungsplanung insbesondere Planungsansätze zur Nutzung der Wandlungsfähigkeit.

Der Untersuchungsbereich dieser Arbeit erstreckt sich über die variantenreiche Serienproduktion. Im Gegensatz zur Einzel- und Massenproduktion ist sie dem turbulenten Spannungsfeld stärker ausgesetzt und unterliegt daher einem hohen Veränderungsbedarf (DOHMS 2001, S. 39; DÜRRSCHMIDT 2001, S. 5).

Die Einzelproduktion arbeitet indes im Stile eines Handwerkes auftragsbezogen mit hoher Veränderungsfähigkeit. Sie finanziert ihre geringere Produktivität über die individuelle Erfüllung der Kundenwünsche. Der Massenproduktion liegt ein gleichmäßiger und vorhersehbarer Markt zugrunde, sodass keine hohe Veränderungsfähigkeit erforderlich ist. Die geringere Kundenorientierung wird angesichts des produktivitätsgeprägten Preises vom Käufer akzeptiert. (AGGTELEKY 1990, S. 478–479; REINHART 2012, S. 86)

1.4 Vorgehensweise und Aufbau der Arbeit

Den Aufbau dieser aus sieben Kapiteln bestehenden Forschungsarbeit illustriert Abbildung 1-3. In der Einleitung (Kapitel 1) wird die zugrundeliegende Ausgangssituation und Problemstellung aufgezeigt sowie die daraus abgeleitete Zielsetzung beziehungsweise Forschungsfrage vorgestellt.

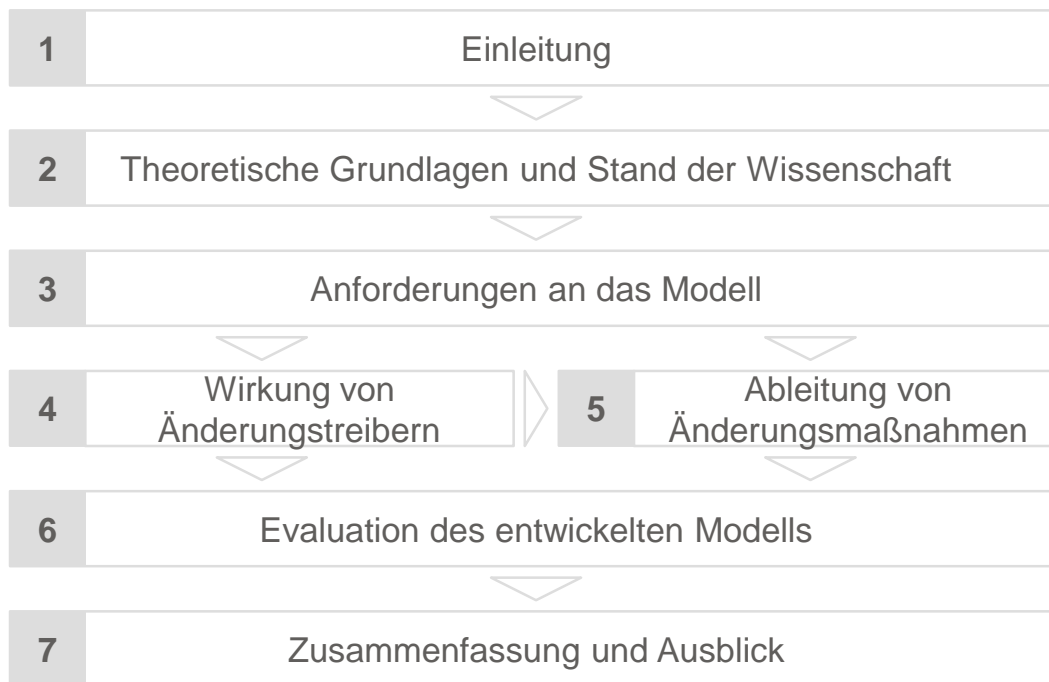


Abbildung 1-3: Aufbau der Arbeit

Kapitel 2 stellt wissenschaftliche Grundlagen zusammen, die für die Bearbeitung der Aufgabenstellung erforderlich sind. Im ersten Schritt (Kapitel 2.1) wird dem Leser dafür das Verständnis fundamentaler Begriffe, wie es in dieser Arbeit zugrunde gelegt wird, erläutert.

Darauf folgt in Kapitel 2.2 eine Aufstellung der recherchierten Literatur zur Modellierung von Fabrikssystemen. Um bei der Vielzahl an Veröffentlichungskä-
 len und Literaturangeboten nicht von der Masse an Informationen überwältigt zu werden, aber gleichzeitig einen hinreichend umfassenden Einblick zu gewinnen, ist eine systematische Vorgehensweise bei der Recherche unabk-
 kömlich. Die Anwendung eines solchen Vorgehens ist in der Medizin am meisten verbreitet, kann aber auf andere Themenfelder sinnvoll übertragen werden. Neben dem ordnenden Rahmen, welchen es dem Anwender bietet, ergeben sich weitere Vorteile. Zunächst wird eine unbeabsichtigte Befangenheit oder einseitig gelagerte beziehungsweise ungleichmäßige Suche verhin-

dert. Darüber hinaus ist die Suchmethodik reproduzierbar und transparent für aufbauende wissenschaftliche Arbeiten. Drittens lassen sich Filter definieren, die den subjektiven Einfluss bei der Literaturliste mindern. (ADOLPHUS 2014; HIGGINS & GREEN 2011; TUM UB 2014)

Das für diese Arbeit verwendete Vorgehen setzt sich aus drei Schritten zusammen. Zuerst wird das Thema der Recherche, dann die zu berücksichtigenden Informationsquellen und schließlich der Filterungsprozess definiert. Ziel des Dreischrittes ist die Generierung einer Literaturliste, deren intensive Lektüre mit Hinblick auf die Beantwortung der Forschungsfrage lohnenswert erscheint.

Für die Definition des Recherchethemas wurden aus der Forschungsfrage die vier Suchaspekte Modellierung, Fabrikssystem, Änderungstreiber und Änderungsmaßnahmen abgeleitet. Zu jedem der vier Aspekte ist eine Liste mit Synonymen zusammengestellt worden (siehe Tabelle 9-1 in Kapitel 9.1). Diese Suchbegriffe spannen ein engmaschiges Netz auf, mit dem sichergestellt werden soll, dass alle relevanten Veröffentlichungen eingefangen werden.

Als zweites folgt die Definition der Informationsquellen. In diesem Fall wurden eine bereits zum Themenkomplex vorhandene umfangreiche Literatursammlung sowie der Katalog der Universitätsbibliothek der Technischen Universität München überprüft. Außerdem berücksichtigt wurden ausgewählte Datenbanken und Zeitschriften (siehe Tabelle 9-2 in Kapitel 9.2). Enthielt die gefundene Literatur interessante Quellenangaben und Querverweise, war deren Relevanz ebenfalls im folgenden Filterungsprozess zu überprüfen.

Der dritte Schritt definiert den Filterungsprozess zur Auswahl der lesenswerten Literatur. Die Suchanfragen für Synonyme zum gleichen Suchaspekt werden mit Oder-Verknüpfungen, die Anfragen zu unterschiedlichen Suchaspekten mit Und-Verknüpfungen gekoppelt. Aufgrund des definierten Themas haben die weiteren Filterungsstufen qualitativen Charakter:

- Die Literatur muss eine Monographie oder ein Sammelwerk, eine Dissertation, ein Journal-Artikel oder ein Konferenz-Beitrag sein
- Die Literatur muss qualitativ hochwertig sein (ausreichende Quellenangaben, seriöser Verlag/Herausgeber, qualifizierte Autoren)
- Suchbegriffe müssen im Abstrakt, in der Zusammenfassung oder gegebenenfalls in den Schlagworten enthalten sein
- Suchbegriffe müssen im Haupttext in einem (Sinn-)Zusammenhang stehen

Bei der auf diese Weise gesammelten Literatur erscheint eine tiefgehende Inspektion sinnvoll, die schlussendlich über die Aufnahme in die Literaturliste entscheidet. Beispielsweise kann der Forschungszweck der Literatur derart anders gerichtet sein, sodass ein Erkenntnisgewinn aus der angewendeten Vorgehensweise und/oder der resultierenden Ergebnisse nicht möglich erscheint. Des Weiteren kann es sich bei der Literatur auch um Auszüge von in anderen Formaten veröffentlichten und bereits aufgenommenen Schriften handeln und somit würde eine Aufnahme in die Literaturliste keinen Mehrwert stiften.

Im Anschluss an den Filterungsprozess als letztem Schritt der systematischen Literaturrecherche folgt die Rezension der Literatur aus der recherchierten Liste. Das engmaschige Netz der Suchbegriffe hat zu einer Erweiterung des Suchfeldes über die eigentliche Forschungsfrage hinaus geführt. Nach der intensiven Lektüre der Literatur wird eine Auswahl in einer klassifizierenden Übersicht präsentiert. Veröffentlichungen, die der Forschungsfrage am ehesten entsprechen, werden im Anschluss detailliert diskutiert.

Das Vorgehen des Dreischrittes der systematischen Literaturrecherche und der darauf folgenden Rezension wird in Abbildung 1-4 übersichtlich dargestellt.

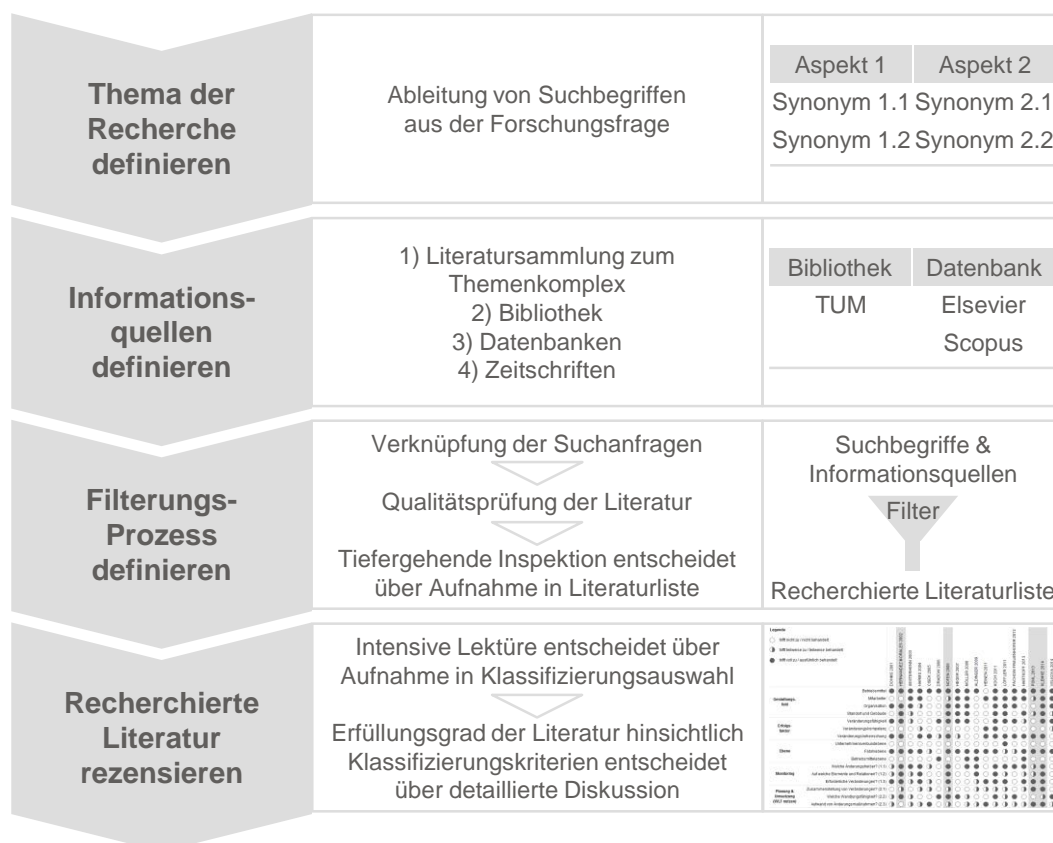


Abbildung 1-4: Systematische Literaturrecherche und Literaturrezension

Zum Verständnis der Zugehörigkeit der Literaturnachweise im Text sind in dieser Forschungsarbeit zwei Fälle zu unterscheiden. Wenn der Quellnachweis innerhalb des Satzes, also vor dem abschließenden Punkt, genannt ist, gilt er ausschließlich für den entsprechenden Satz. Befindet sich die Quellangabe hinter dem Punkt, gilt sie hingegen für den gesamten Absatz. Diese Unterscheidung ermöglicht eine differenzierte Zitation.

Das zweite Kapitel schließt mit einem Fazit über die Literaturrecherche, welches den Forschungsbedarf hinsichtlich der zuvor formulierten Forschungsfrage bestätigt und konkretisiert (Kapitel 2.3).

Der aufgedeckte Forschungsbedarf wird in Kapitel 3 aufgegriffen. Dort werden Anforderungen an das zu entwickelnde Modell gestellt, welches Antwort auf die Forschungsfrage geben soll.

Kapitel 4 und 5 orientieren sich an den ermittelten Anforderungen. Dabei analysiert Kapitel 4 zunächst die Wirkung von Änderungstreibern auf das Fabrikssystem. Es werden Lösungsbausteine des Modells entwickelt, die ermitteln, welche Treiber auftreten, auf welche Elemente diese einwirken und welche Veränderungen dadurch ausgelöst werden. Kapitel 5 befasst sich mit der Nutzbarmachung der Analyse für die Ableitung notwendiger Änderungsmaßnahmen. Die vorgestellten Lösungsbausteine fassen erforderliche Veränderungen infolge von Änderungstreibern zusammen und berücksichtigen bei der Maßnahmenableitung vorhandene Bestandteile und deren Eigenschaften.

Kapitel 6 evaluiert das entwickelte Modell und dessen Lösungsbausteine hinsichtlich der gestellten Anforderungen.

Abschließend fasst Kapitel 7 die wichtigsten Ergebnisse dieser Masterarbeit zusammen.

Die Begriffe Veränderung und Änderung werden in dieser Arbeit synonym verwendet.

2 Theoretische Grundlagen und Stand der Wissenschaft

Für das zu entwickelnde Modell werden in diesem Kapitel wissenschaftliche Grundlagen aufbereitet. Zunächst stellt Kapitel 2.1 das Verständnis wichtiger Begriffe vor. Kapitel 2.2 klassifiziert recherchierte bestehende Modellierungstechniken, worauf eine Diskussion ausgewählter Techniken folgt. Auf der Vorstellung der Literaturrecherche aufbauend kann in Kapitel 2.3 ein Fazit gezogen werden, welches den bestehenden Forschungsbedarf konkretisiert.

2.1 Theoretische Grundlagen - Begriffsbestimmung

Das Verständnis der fünf Begriffe Veränderungsfähigkeit, Modellierung, Systemtheorie, Fabrikssystem und Fabrikplanung ist für die Thematik dieser Arbeit von besonderer Bedeutung. Im Folgenden soll deshalb erläutert werden, welches Verständnis der Begrifflichkeiten dieser Arbeit zugrunde gelegt wird.

2.1.1 Veränderungsfähigkeit

Veränderungsfähigkeit wird als Oberbegriff für verschiedene Unterklassen wie die beispielsweise in der Problemstellung (Kapitel 1.2) erwähnte Flexibilität oder Wandlungsfähigkeit verwendet. Im englischsprachigen häufig Changeability genannt, bezeichnet die Veränderungsfähigkeit allgemein die Fähigkeit der Fabrik zur Veränderung (WIENDAHL ET AL. 2009, S. 115, 127). Einer der Namensgeber des Oberbegriffs ist WIENDAHL. Er hat diagnostiziert, dass aufgrund der Vielfalt an möglichen Veränderungen passgenaue Klassifizierungen der zugehörigen Fähigkeiten unter Veränderungsfähigkeit zu subsumieren sind. (WIENDAHL 2002, S. 126; WIENDAHL ET AL. 2009, S. 131)

Das Ausmaß vorgeschlagener Definitionen und Deutungen der Unterklassen in der Literatur ist umfangreich (WIENDAHL 2002, S. 123; ZÄH ET AL. 2005, S. 4). Die Bandbreite unterschiedlicher Sichtweisen auf die Veränderungen der Fabrik erklärt dies und zudem die inhaltlichen Überschneidungen der Definitionsvarianten (MÖLLER 2008, S. 19–20). Deren ausführliche Analyse ist zur Beantwortung der Forschungsfrage nicht hilfreich. Im Folgenden wird deshalb die Auswahl von drei weit verbreiteten Definitionen diskutiert. Der Schwerpunkt liegt auf Flexibilität und insbesondere Wandlungsfähigkeit, da diese für die

Fabrikplanung im turbulenten Spannungsfeld von besonderer Bedeutung sind (siehe Kapitel 1.2).

Da die Veränderungsfähigkeitsklassen aus unterschiedlichen Perspektiven differenziert worden sind, ist es übersichtlicher, diese nach Autoren anstatt nach Klassen sortiert vorzustellen. Bei einer Sortierung nach Klassen wäre die je nach Autor unterschiedliche und präzise Abgrenzung der Klassen schwieriger nachzuvollziehen. Dies widerspräche dem ursprünglichen Sinn der Klassifizierung. Zudem beugt die in dieser Arbeit verwendete Erläuterungsweise der Gefahr vor, Definitionen und darauf aufbauende Aussagen zu vermengen, denen unterschiedliche Prämissen zugrunde gelegt worden sind.

Klassifizierung nach WESTKÄMPER ET AL.

Die von WESTKÄMPER ET AL. (2000) vorgestellte Klassifizierung der Veränderungsfähigkeit basiert auf dem Modell einer organisatorisch kapselbaren Leistungseinheit. Diese Einheit beschreibt ein soziotechnisches System bestehend aus ihren Aufgaben, ihrer Struktur, integrierten Führungsaspekten und den Ressourcen Technik und Mitarbeiter. Einzelne Systeme können zu einer Leistungseinheit höherer Ordnung, beispielsweise einem Unternehmenssystem, vernetzt werden. (WESTKÄMPER ET AL. 2000, S. 23)

Ein System heißt flexibel, „(...) wenn es im Rahmen eines prinzipiell vorgedachten Umfangs von Merkmalen sowie deren Ausprägungen an veränderte Gegebenheiten reversibel anpassbar ist“. Der Umfang muss bei Gestaltung des Systems implementiert werden. (WESTKÄMPER ET AL. 2000, S. 24).

Das System wird als wandlungsfähig bezeichnet, „(...) wenn es aus sich selbst heraus über gezielt einsetzbare Prozess- und Strukturvariabilität sowie Verhaltensvariabilität verfügt. Wandlungsfähige Systeme sind in der Lage, neben reaktiven Anpassungen auch antizipative Eingriffe vorzunehmen. Diese Aktivitäten können auf Systemveränderungen wie auch auf Umfeldveränderungen hin wirken.“ (WESTKÄMPER ET AL. 2000, S. 25).

Gegenüber dem flexiblen System sind die Veränderungen nicht reversibel und können räumlicher Art sein. Den wesentlichen Unterschied stellen jedoch die Kreativität und Intelligenz des Menschen dar, die den Wandel erst ermöglichen. (WESTKÄMPER ET AL. 2000, S. 24–25)

Die Veränderungsfähigkeit des technischen Teilsystems definieren WESTKÄMPER ET AL. als Wandelbarkeit. Sie bezeichnet die passive Eigenschaft, die nicht reversible Anpassungen der räumlichen Struktur und des Verhaltensspektrums ermöglicht. Wie Abbildung 2-1 verdeutlicht, wird sie als Bestandteil der Wandlungsfähigkeit verstanden. (WESTKÄMPER ET AL. 2000, S. 24)

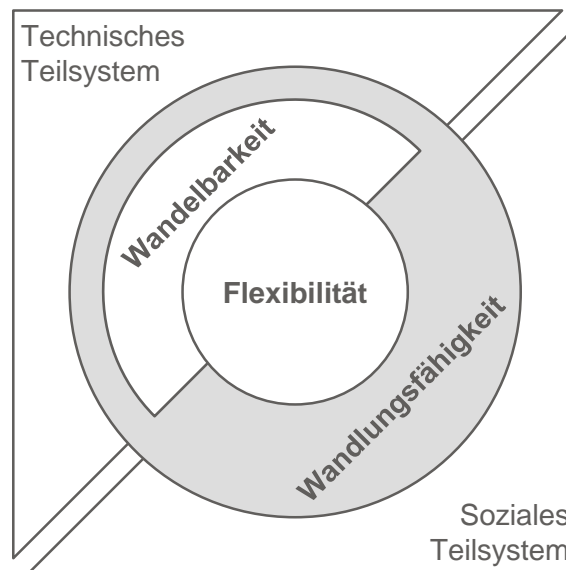


Abbildung 2-1: Veränderungsfähigkeitsklassen nach WESTKÄMPER ET AL. (2000, S. 25)

Klassifizierung nach WIENDAHL

WIENDAHL (2002) legt seiner Klassifizierung eine morphologische Matrix der Veränderungsfähigkeit (siehe Abbildung 2-2) zugrunde. Aus dieser Matrix leitet er charakteristische Typen respektive Klassen der Veränderungsfähigkeit ab, die sich in der Kombination der Einflussgrößenausprägungen unterscheiden. (WIENDAHL 2002, S. 124)

Einflussgröße	Ausprägung		
Veränderungstreiber	Unsicherheit extern/intern	Varietät Produkte/Prozesse	Veränderung Produktportfolio
Veränderungsfokus	Marktleistung	Produktionsleistung	Geschäftsprozesse
Veränderungspotenzial	operativ/notwendig	taktisch/ausreichend	strategisch/kompetitiv
Einschränkungen/ Freiheitsgrade	technisch/logistisch	organisatorisch/kulturell	wirtschaftlich/finanziell
Veränderungsausmaß	Ebene und Spannweite	Häufigkeit und Dauer	Aufwand und Kosten

Abbildung 2-2: Morphologische Matrix der Veränderungsfähigkeit (WIENDAHL 2002, S. 124)

Als besonders wichtig wird von WIENDAHL die Einflussgröße Veränderungsfo-
kus erachtet. Ihre Ausprägungen Marktleistung und Produktionsleistung eröff-
nen zwei Sichtweisen für eine Klassifizierung der Veränderungsfähigkeit. Aus
der externen Sicht des Marktes lässt sich die Veränderungsfähigkeit bezogen
auf die Marktleistung klassifizieren. Ebenso kann aus interner Sicht die mit der
Produktionsleistung verbundene Veränderungsfähigkeit differenziert werden.
(WIENDAHL 2002, S. 125)

Dabei erscheint WIENDAHL die Klassifizierung je Sichtweise nach den Hier-
archieebenen der Marktleistung beziehungsweise der Produktionsleistung
sinnvoll. Die Hierarchieebenen sind in der morphologischen Matrix als Unter-
punkte bei der Ausprägung „Ebene und Spannweite“ der Einflussgröße Ver-
änderungsausmaß eingeordnet. (WIENDAHL 2002, S. 126–127)

Da sich die vom Kunden wahrgenommene Marktleistung und die vom Unter-
nehmen angebotene Produktionsleistung wechselseitig stark beeinflussen,
werden sie in Abbildung 2-3 gegenübergestellt (WIENDAHL 2002, S. 125).

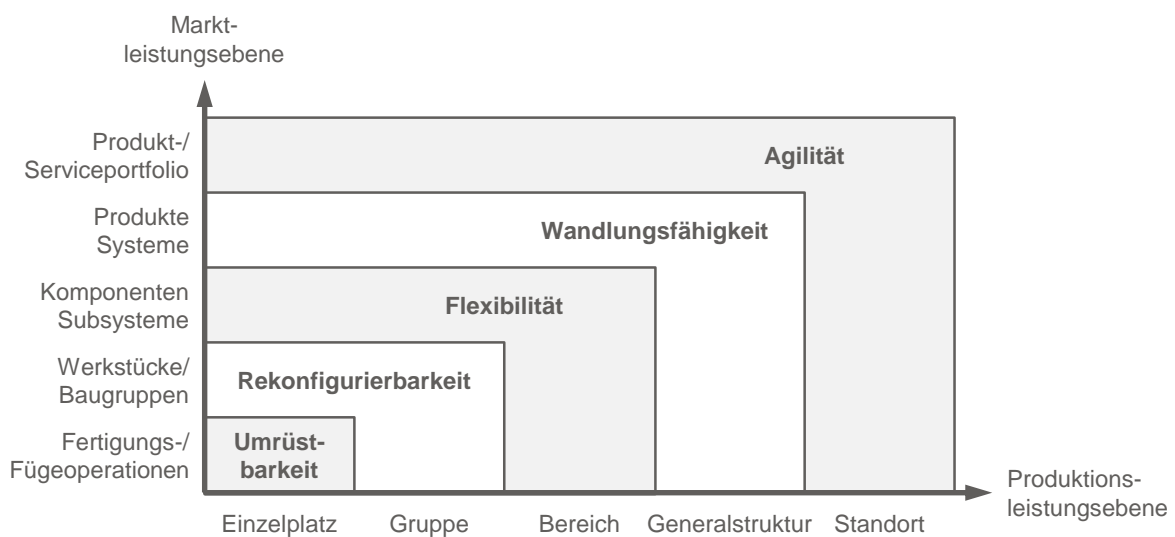


Abbildung 2-3: Veränderungsfähigkeitsklassen nach WIENDAHL
(2002, S. 126)

Die Ebenen der Marktleistung können denen der Produktionsleistung zuge-
ordnet werden. Daraufhin werden die Veränderungsfähigkeiten der Marktleis-
tung und die Veränderungsfähigkeiten der Produktionsleistung in Verände-
rungstypen der Fabrik vereint. Typen höherer Ebene schließen dabei diejeni-
gen auf den Ebenen unterhalb ein. Unter Berücksichtigung der weiteren Aus-

prägungsmöglichkeiten der morphologischen Matrix definiert WIENDAHL dann die Veränderungsfähigkeitsklassen der Fabrik. (WIENDAHL 2002, S. 126–127)

Im Folgenden sind die Definitionen von Flexibilität und Wandlungsfähigkeit zitiert:

„Flexibilität bezeichnet die taktische Fähigkeit eines ganzen Produktions- oder Logistikbereichs, sich auf eine neue – aber ähnliche – Familie von Komponenten einschließlich der zugehörigen Eigenfertigungs- und Zukaufteile überwiegend reaktiv durch Veränderung der Fertigungsverfahren, Materialflüsse und Logistikfunktionen in mittlerer Zeit mit mittlerem Aufwand hinsichtlich Hard- und Software umstellen zu können. Die Umstellung erfolgt überwiegend manuell und bedarf in der Regel eines Planungsvorlaufs mit einer anschließenden Hochlauf- und Optimierungsphase.“ (WIENDAHL 2002, S. 127)

„Wandlungsfähigkeit bezeichnet die taktische Fähigkeit einer ganzen Fabrikstruktur, sich auf eine andere – meist aber ähnliche – Produktfamilie reaktiv oder proaktiv umzustellen und / oder die Produktionskapazität zu verändern. Dabei werden strukturelle Eingriffe in die Produktions- und Logistiksysteme, in die Gebäudestruktur und deren Einrichtungen, in die Aufbau und Ablauforganisation sowie in den Personalbereich erforderlich. Die Umstellung erfordert einen längeren Planungsvorlauf, ist aber in verhältnismäßig kurzer Zeit durchführbar. Sie erfolgt in abgegrenzten Teilprojekten mit straffem Projektmanagement und einer Hochlauf- und Optimierungsphase. Die Wandlungsfähigkeit setzt flexible, rekonfigurierbare und umrüstbare Systeme auf den darunter liegenden Ebenen voraus.“ (WIENDAHL 2002, S. 127)

Unglücklicherweise wird die erste Einflussgröße Veränderungstreiber aus der morphologischen Matrix bei den Definitionen nicht erwähnt. Zudem sind charakteristische Unterschiede der Veränderungsfähigkeitsklassen als Unterpunkte der Ausprägungen aufgeführt und nicht als eigenständige Einflussgrößen. Beispielsweise besitzt die Ausprägung Ebene und Spannweite fünf Unterpunkte. Die Nennung von Ebene und Spannweite als eigenständige Einflussgröße mit fünf möglichen Ausprägungen wäre leichter verständlich. Darüber hinaus werden gleichzeitig mehrere Ausprägungen pro Einflussgröße angenommen, wie es in einem morphologischen Kasten in der Regel nicht üblich ist (LINDEMANN 2009, S. 138, 281-282). Zur Verwirrung führt bei diesem diffizilen Thema ebenfalls die Tatsache, dass die Abbildung der morphologischen Matrix mit „Morphologie der Wandlungsfähigkeit“ betitelt ist. Währenddessen ist im Text von der morphologischen Matrix der Veränderungsfähigkeit die Rede (WIENDAHL 2002, S. 124). Zusammengenommen führt dies dazu, dass die Herleitung der Definitionen nicht intuitiv zugänglich ist und die Nachvollziehbarkeit

ungemein erschwert wird. Abbildung 2-4 soll diesen Mangel mindern. Sie skizziert den Pfad der Definitionen in der morphologischen Matrix. Bei der Zuordnung der Ausprägungen beziehungsweise der Unterpunkte zur Definition wurde die Beschreibung der Einflussgrößen, der Ausprägungsmöglichkeiten und gegebenenfalls der Unterpunkte zugrunde gelegt (siehe WIENDAHL 2002, S. 124–126).

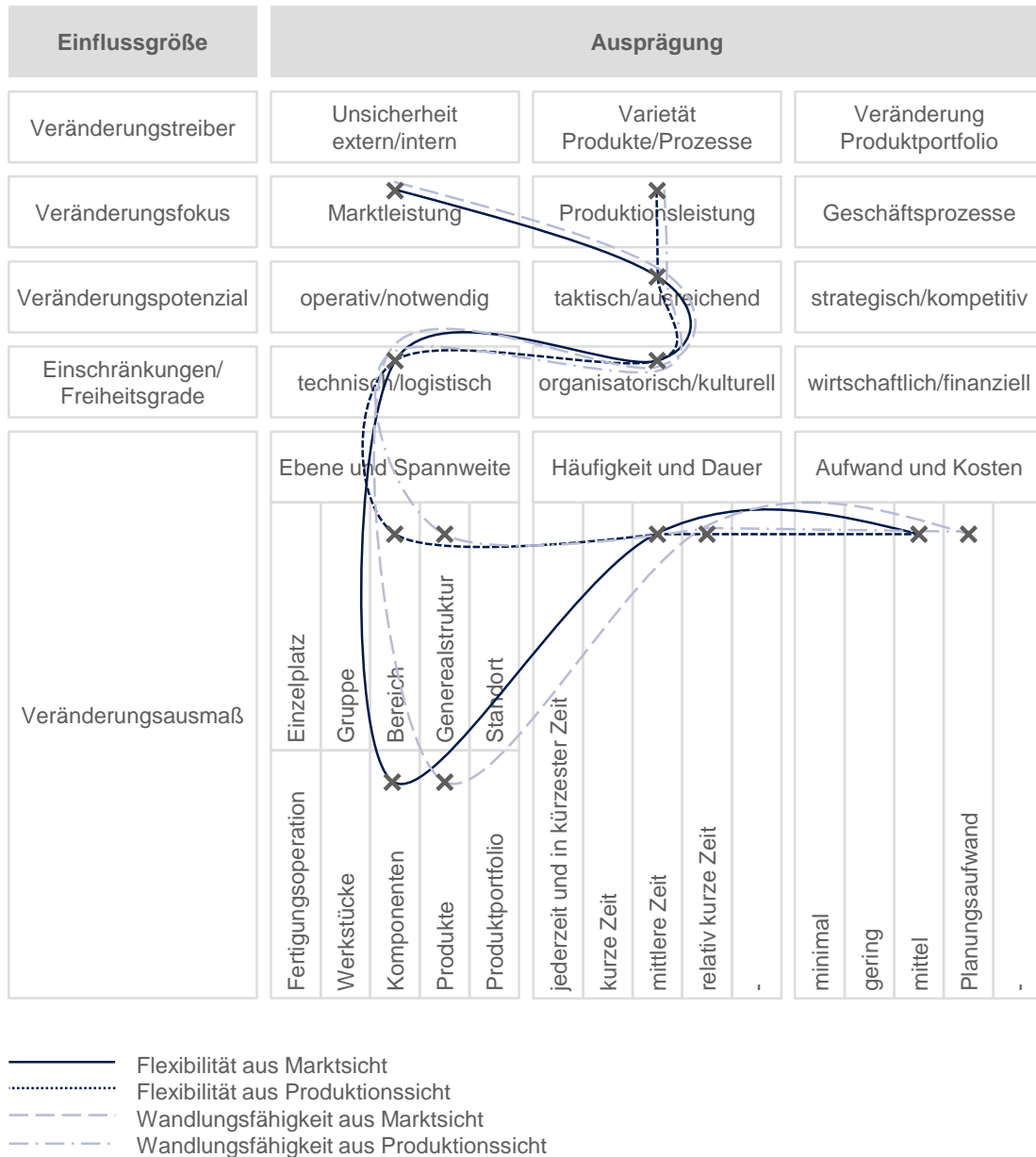


Abbildung 2-4: Flexibilität und Wandlungsfähigkeit aus Markt- und Produktionsleistungssicht in morphologischer Matrix (i.A.a. WIENDAHL 2002, S. 124)

Im Jahr 2009 veröffentlichten WIENDAHL ET AL. eine aktualisierte Fassung zur Klassifizierung der Veränderungsfähigkeit. Dabei wird die isomorphe, also die umkehrbar eindeutige, Zuordnung der Klassen zu den Ebenen aufgelöst. Zugleich werden die Ebenen leicht umbenannt (vgl. Abbildung 2-3) und auf sechs Ebenen erweitert, wie Abbildung 2-5 zeigt.

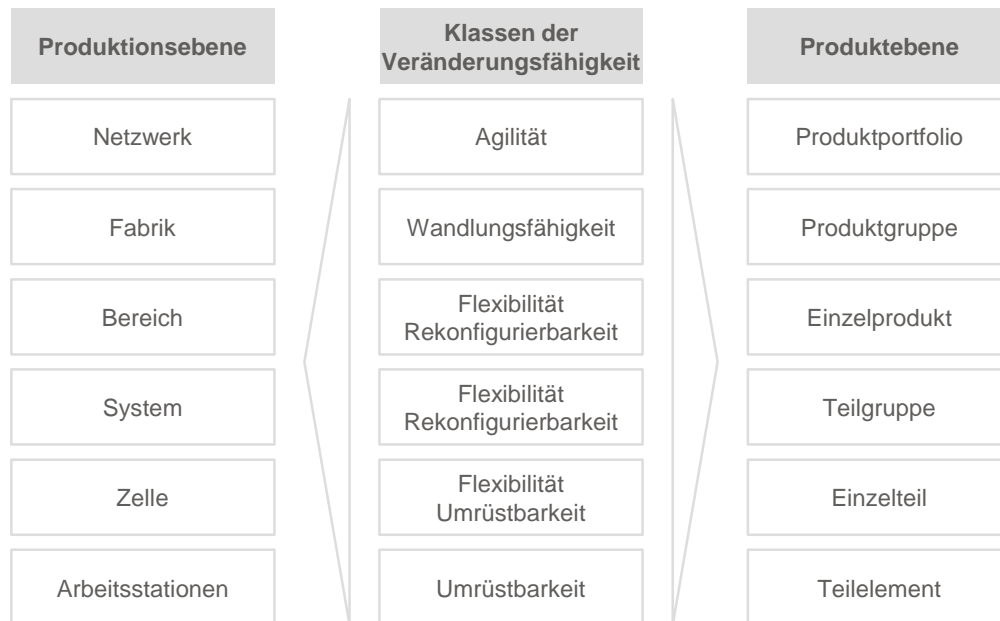


Abbildung 2-5: Veränderungsfähigkeitsklassen nach WIENDAHL ET AL. (2009, S. 131)

Des Weiteren werden die Definitionen von Flexibilität und Rekonfigurierbarkeit im Vergleich zu der Veröffentlichung von WIENDAHL 2002 nahezu wortwörtlich getauscht. Flexibilität ist nun folgendermaßen definiert:

„Flexibilität bezeichnet die operative Fähigkeit eines Fertigungs- oder Montagesystems, sich reaktiv auf eine vorab definierte Anzahl von Werkstücktypen bzw. Baugruppen durch Hinzufügen oder Wegnahme einzelner Funktionselemente in kurzer Zeit mit geringem Aufwand hinsichtlich Hard- und Software umstellen zu können. Die Umstellung erfolgt teilweise manuell, teilweise automatisch.“ (WIENDAHL ET AL. 2009, S. 133)

Die Definition der Wandlungsfähigkeit von WIENDAHL aus dem Jahre 2002 bleibt weiterhin bestehen. (WIENDAHL ET AL. 2009, S. 133)

Klassifizierung nach REINHART

REINHART (2000) unterscheidet Flexibilität und Wandlungsfähigkeit durch vorgedachte und unerwartete Veränderungen. Mit Flexibilität werden antizipierte

Veränderungen innerhalb vorgedachter Korridore in bekannten Dimensionen ermöglicht (siehe Abbildung 2-6). Als Dimensionen können beispielsweise die Bedarfsmenge oder der Rohstoffpreis auftreten. Da im turbulenten Spannungsfeld Veränderungen außerhalb des Korridors oder gar neue Dimensionen auftreten können, ist Wandlungsfähigkeit notwendig. Wandlungsfähigkeit setzt sich aus Flexibilität und Reaktionsfähigkeit zusammen. Unter Reaktionsfähigkeit wird das Potenzial verstanden, jenseits vorgedachter Korridore und bekannter Dimensionen agieren zu können. Wandlungsfähigkeit ist somit ein Maß für die Adaptionfähigkeit an das turbulente Spannungsfeld innerhalb und jenseits vorgedachter Korridore. (REINHART 2000, S. 22, 38)

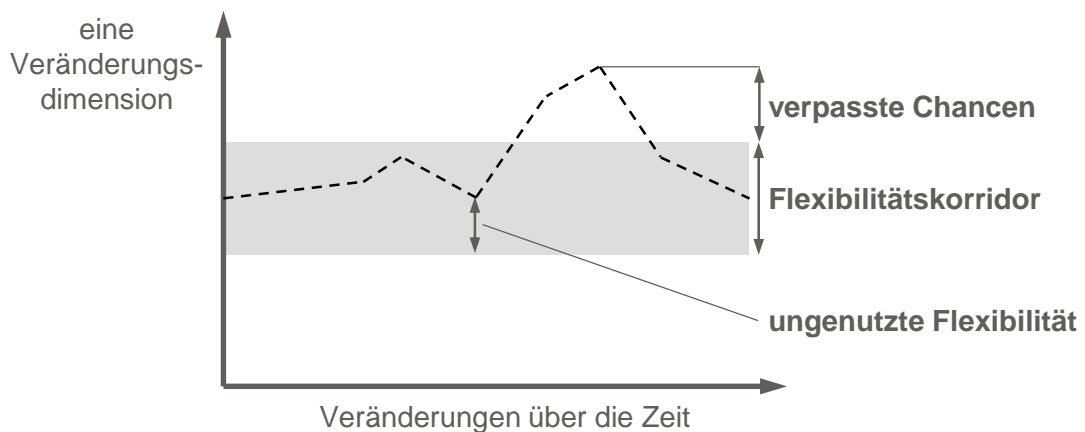


Abbildung 2-6: Flexibilität nach REINHART
(2000, S. 37)

REINHART präzisiert 2008 die Klassifizierung durch die zusätzliche Betrachtung des zeitlichen und monetären Veränderungsaufwandes. Flexibilität ist wie folgt definiert: „Unter Flexibilität wird die Möglichkeit verstanden, ein System schnell und ohne zusätzliche Investitionen innerhalb eines vorgegebenen Korridors anzupassen.“ (REINHART 2008, S. 47)

Die Maßnahmenbündel zur Anpassung beziehungsweise Veränderung des Systems werden ab dessen Inbetriebnahme vorgehalten. Sie determinieren die Breite des Flexibilitätskorridors durch technische und wirtschaftliche Grenzen. (REINHART 2008, S. 47)

Die Definition der Wandlungsfähigkeit kommt fortan ohne den Begriff Reaktionsfähigkeit aus: „Wandlungsfähigkeit wird als Potenzial verstanden, welches eine schnelle Anpassung auch jenseits vorgehaltener Korridore in Bezug auf

Organisation und Technik bei einem geringen Investitionsaufwand ermöglicht.“ (REINHART 2008, S. 51)

Wandlungsfähige Systeme bieten lösungsneutrale Freiräume für Veränderungen, sodass sich Flexibilitätskorridore aufwandsarm hinsichtlich Position und Breite modifizieren lassen. (REINHART 2008, S. 51)

Abbildung 2-7 veranschaulicht die Definitionen der beiden Veränderungsfähigkeitsklassen Flexibilität und Wandlungsfähigkeit.

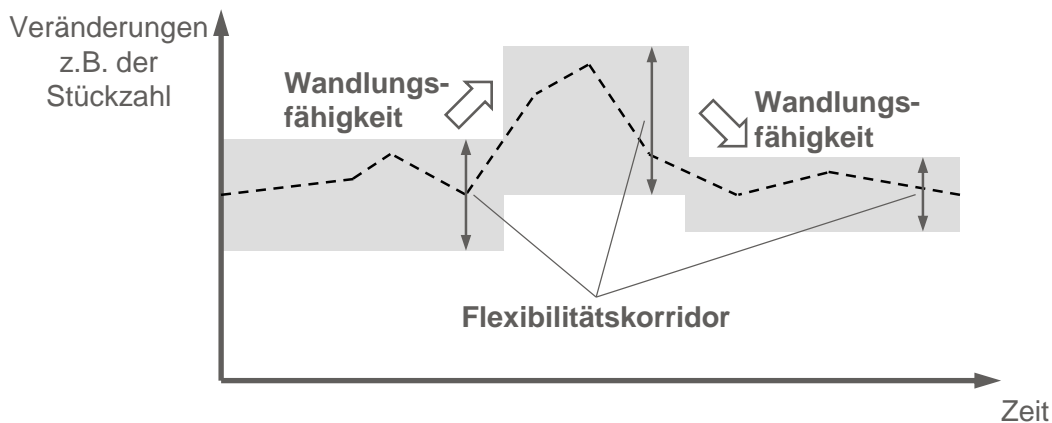


Abbildung 2-7: Veränderungsfähigkeitsklassen nach REINHART (2008, S. 51)

Flexibilität ist ohne eine Bezugsgröße der Fabrik definiert worden. Dies liegt darin begründet, dass der abstrakte Begriff auf verschiedene Objekte bezogen werden kann. Je nach Ebene der Fabrik lassen sich verschiedene Formen dieser Veränderungsfähigkeitsklasse unterscheiden. Auf Anlagenebene kann beispielsweise die Maschinenflexibilität, auf Fabrikebene die Stückzahlflexibilität interessant sein. (REINHART 2008, S. 48)

Ebenso sind auch unterschiedliche Formen der Wandlungsfähigkeit auf verschiedenen Ebenen möglich. Es können beispielsweise wandlungsfähige Maschinen oder eine fabrikübergreifende Wandlungsfähigkeit betrachtet werden. (REINHART 2008, S. 52–53)

Fazit

Für diese Arbeit wird auf die Klassifizierung der Veränderungsfähigkeit nach REINHART (2008) zurückgegriffen. Dies hat mehrere Gründe.

Zunächst ist mit REINHARTS Definition eine feinere Unterscheidung möglich. Durch die ebenenunabhängige Sichtweise ergeben sich zwei Veränderungs-

fähigkeitsklassen pro Systemebene. Demgegenüber schlägt WIENDAHL mit einer hierarchischen Sichtweise pro Ebene nur eine Veränderungsfähigkeit vor. Darüber hinaus berücksichtigt REINHART in seiner Definition im Gegensatz zu WESTKÄMPER ET AL. den benötigten zeitlichen und monetären Aufwand für Veränderungen. Damit stellt er einen direkten Bezug zur in Kapitel 1.1 geschilderten Divergenz-Problematik aus benötigtem und zulässigem Veränderungsaufwand her. Darauf aufbauend wird eine Klassifikation von Änderungsmaßnahmen (siehe Kapitel 5) anhand von Zeit und Kosten synchron zur Klassifikation der Veränderungsfähigkeit möglich.

Was bedeutet dies für die Gültigkeit der Klassifizierungen von WESTKÄMPER ET AL. und WIENDAHL im Rahmen dieser Arbeit? Die leistungseinheitenbezogene Klassifizierung von WESTKÄMPER ET AL. wird zu derjenigen von REINHART als kompatibel erachtet. Ergo lassen sich Aussagen zur Veränderungsfähigkeit, die auf WESTKÄMPER ET AL. basieren, für diese Arbeit übernehmen. Aus der hierarchischen Klassifizierung nach WIENDAHL folgt, dass wandlungsfähige Fabriken über flexible und rekonfigurierbare Bereiche verfügen müssen. Des Weiteren ist festzuhalten, dass die Flexibilitätsdefinition nach WIENDAHL nur für die Ebenen der Bereiche, Systeme und Zellen gilt. Diese Prämissen sind bei der Interpretation von Schriften, die auf WIENDAHL'S Definitionen beruhen, zu berücksichtigen. Die Übertragbarkeit von Aussagen ist mit besonderer Sorgfalt zu prüfen.

2.1.2 Modellierung

Ein Modell bezeichnet die Abbildung eines bestimmten Ausschnittes der Realität (PATZAK 1982, S. 306). Dabei handelt es sich um eine vereinfachte Nachbildung, die „(...) innerhalb eines vom Untersuchungsziel abhängigen Toleranzrahmens vom Vorbild (...)“ differiert (VDI 3633, S. 9). Die Vereinfachung ermöglicht die leichtere Offenlegung interessanter Aspekte (ADAM 1996, S. 61).

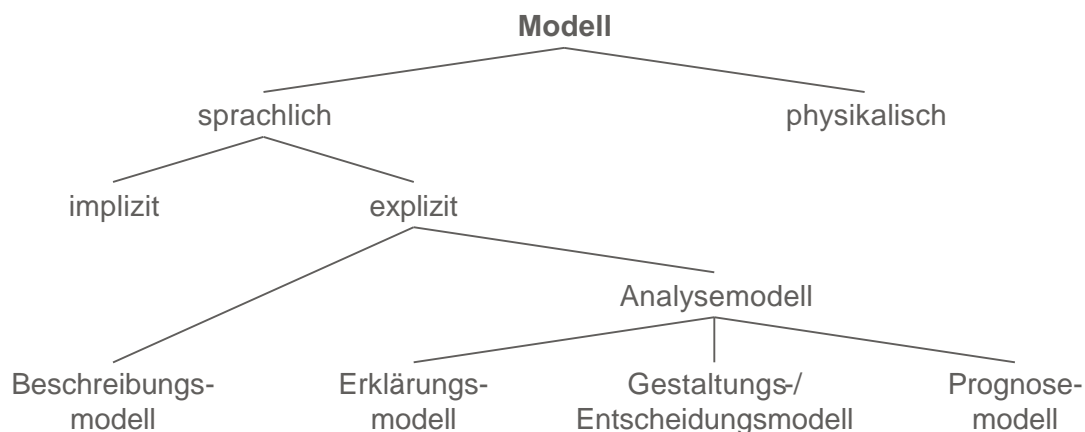
Modelle können somit als Hilfsmittel zur Erklärung und Gestaltung realer Systeme dienen (ADAM 1996, S. 60; VDI 5200-2, S. 3). Sie werden eingesetzt, wenn ein Versuch am originalen System nicht möglich oder zu aufwändig ist (VDI 3633, S. 9).

Ihr Zweck kann die Spezifikation der Systemstruktur, die Dokumentation von Systemmerkmalen oder die Generierung eines besseren Problemverständnisses und vieles mehr sein (LINDEMANN 2009, S. 11). Denn aufgrund der Ähnlichkeit zwischen realem System und Modell lassen sich modellseitig gewon-

nene Erkenntnisse auf das reale System überführen (ADAM 1996, S. 60; STACHOWIAK 1973, S. 139–140).

Zusammenfassend spricht STACHOWIAK bei der Definition des Modellbegriffs von drei Hauptmerkmalen, die alle Modelle auszeichnen. Das Abbildungsmerkmal beschreibt Modelle als Abbildungen von Originalen. Das Verkürzungsmerkmal steht für die Konzentration auf relevant erscheinende Attribute des Originals. Unter dem pragmatischen Merkmal wird verstanden, dass das Modell für den Nutzer zu einer bestimmten Zeit für einen spezifischen Zweck konzipiert ist. (STACHOWIAK 1973, S. 131–133)

Abbildung 2-8 stellt eine Klassifizierung von Modellen vor. Sprachliche Modelle lassen sich als implizit oder explizit unterscheiden. Implizite Modelle werden explizit, sobald sie die Sphäre reiner Gedanken verlassen. (ZELEWSKI 2008, S. 43–45)



*Abbildung 2-8: Klassifizierung von Modellen
(SCHMIDT 2002, S. 37; ZELEWSKI 2008, S. 45)*

Beschreibungsmodelle erfassen das Originalsystem je nach gewünschtem Detaillierungsgrad und bilden vorhandene Zustände ab. Sie verfolgen keine weiteren Erkenntnisziele im Gegensatz zu Analysemodellen, die in drei Arten unterschieden werden können. Erklärungsmodelle bauen über die Ermittlung logisch-induktiver Schritte ein Verständnis der Wirkzusammenhänge auf. Damit liefern sie eine Erklärung für das Auftreten bestimmter Zustände des Originalsystems. Gestaltungs- beziehungsweise Entscheidungsmodelle stellen die Grundlage zur Bewertung von Alternativen dar. Sie befähigen zur Auswahl einer Alternative unter Berücksichtigung eines gegebenen Zielsystems. Prognosemodelle ermitteln basierend auf modellierten Annahmen der zukünft-

tigen Entwicklung die zu erwartenden Konsequenzen. (PATZAK 1982, S. 313–315; ZELEWSKI 2008, S. 43–46)

Modellierung bezeichnet den abstrahierenden Vorgang zur Erstellung des Modells (ADAM 1996, S. 60; SCHENK & WIRTH 2004, S. 177). Dabei sind zur Sicherstellung der Modellqualität die folgenden sechs Grundsätze ordnungsmäßiger Modellierung zu beachten (RIST 2008, S. 48–50; ROSEMANN ET AL. 2005, S. 47–49; SCHEER ET AL. 2002, S. 743–744):

- Der Grundsatz der Richtigkeit fordert syntaktische Korrektheit des Modells und semantische Stimmigkeit zwischen Modell und Originalsystem.
- Der Grundsatz der Relevanz regt zur kritischen Prüfung der erfassten Elemente und Relationen des Originalsystems an.
- Drittens ist die Modellerstellung und –nutzung dem Grundsatz der Wirtschaftlichkeit zu unterwerfen.
- Damit das Modell gewinnbringend angewendet werden kann, soll es dem Grundsatz der Klarheit zufolge strukturiert, übersichtlich und intuitiv lesbar sein.
- Dass gewonnene Ergebnisse übertragbar und reproduzierbar sein müssen, ist im Grundsatz der Vergleichbarkeit festgehalten.
- Der sechste Grundsatz verlangt einen systematischen Aufbau der Teilmodelle, der die Integrierbarkeit in ein Gesamtmodell ermöglicht.

Fazit

Für die Beantwortung der Forschungsfragen ist die Entwicklung eines Modells der Fabrik zweckmäßig (siehe Kapitel 1.3). Erstens wird ein Erklärungsmodell benötigt, das die Analyse der Wirkung von Änderungstreibern ermöglicht. Zum Zweiten ist darauf aufbauend ein Gestaltungs-/Entscheidungsmodell erforderlich, welches die Grundlage zur Ableitung von Änderungsmaßnahmen darstellt. Folglich besteht das zu entwickelnde Modell aus zwei Teilmodellen.

Bei der Modellentwicklung in den Kapiteln 4 und 5 sind die Grundsätze ordnungsgemäßer Modellierung zu berücksichtigen und werden deshalb als Anforderung an das Modell in Kapitel 3 aufgestellt.

2.1.3 Systemtheorie

Die Systemtheorie verkörpert ein Beschreibungsinstrument für Modelle. Mit ihr lassen sich Wirklichkeitsbereiche sprachlich abbilden. (ROPOHL 1999, S. 83)

Die Ursprünge der Systemtheorie gehen auf Studien VON BERTALANFFY aus den 1930er Jahren zurück (LASZLO 1972, S. 11). Er hat erkannt, dass die Eigenschaften höherer Ebenen nicht nur durch die Summe der Eigenschaften ihrer Elemente entstehen. Die Emergenz entsteht durch das Relationsgeflecht zwischen den Elementen. Damit präzisiert er die aristotelische Erkenntnis, dass das Ganze mehr ist als die Summe seiner Teile. Infolge seiner Veröffentlichungen zur Systemtheorie sind weitere Forschungsfelder wie die Kybernetik oder das Komplexitätsmanagement entstanden (BERTALANFFY 1969, S. 10–11). Operations Research und Systems Engineering seien beispielhaft als prägende Entwicklungsstufen des Komplexitätsmanagements genannt. (ROPOHL 1999, S. 71–74)

In seiner allgemeinsten Fassung beschreibt VON BERTALANFFY ein System als „Set of elements standing in interrelation“ (BERTALANFFY 1969, S. 38).

Diese Definition ist allgemein hin akzeptiert und in verschiedensten Varianten verfeinert worden (siehe hierzu beispielsweise: DAENZER ET AL. 1997, S. 5; PATZAK 1982, S. 19; VDI 3633, S. 17).

Auch ROPOHL (1999), dessen Definition des Systembegriffs im Folgenden vorgestellt wird, basiert auf VON BERTALANFFY. ROPOHL liefert eine besonders umfassende und für diese Arbeit passende Beschreibung, die auf drei Konzepten beruht. Abbildung 2-9 führt die drei einander ergänzenden Konzepte auf, die zusammen eine vollständige Systembeschreibung ergeben.

Das funktionale Konzept versteht das System als Black-Box. Es ist durch die Zusammenhänge zwischen den von außen zu beobachtenden Systemeigenschaften gekennzeichnet. Diese Systemeigenschaften, auch Attribute genannt, sind insbesondere Eingangsgrößen, Zustände und Ausgangsgrößen. Die Beziehungen unter den Attributen sind durch Funktionen definiert. Mit diesem Konzept werden die Verfassung und die Verhaltensweise des Systems beschrieben. (ROPOHL 1999, S. 75-79, 312)

Das strukturelle Konzept betrachtet den inneren Aufbau des Systems als Ganzheit miteinander verknüpfter Elemente. Im Fokus stehen die Beschaffenheit der Elemente und die Vielfalt möglicher Relationsgeflechte. Das Relationsgeflecht wird auch als Struktur bezeichnet. Sie determiniert in einer gegebenen Elementmenge die Systemfunktionen und somit in Abhängigkeit von den Eingangsgrößen die erzielbaren Zustände und Ausgangsgrößen. Dieses Konzept ist am geläufigsten und wird häufig absolutiert, das heißt, als einziges Konzept zur Beschreibung eines Systems verwendet. (ROPOHL 1999, S. 75-80, 312, 316)

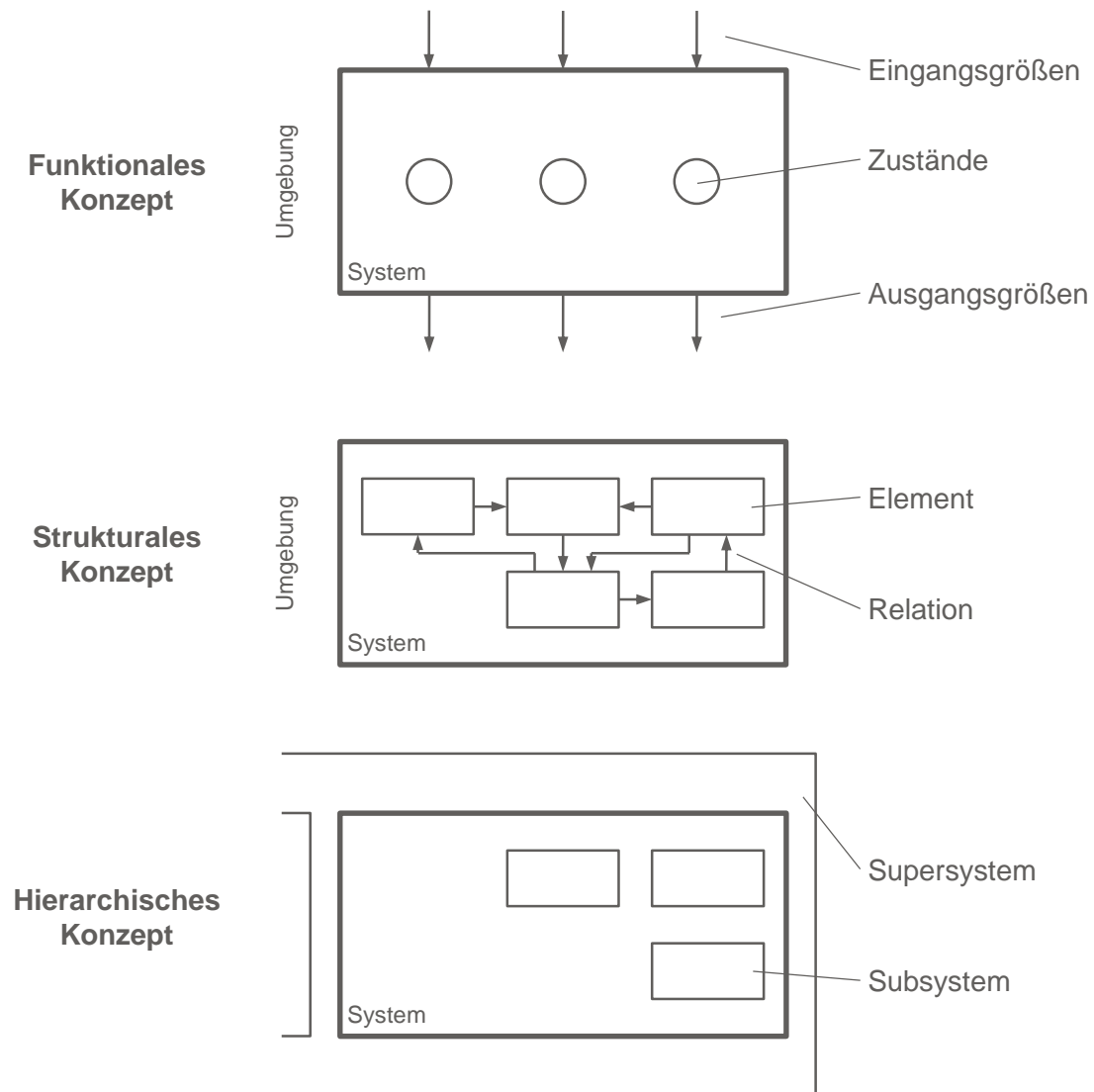


Abbildung 2-9: Konzepte der Systemtheorie
(ROPOHL 1999, S. 76)

Das hierarchische Konzept berücksichtigt, dass Teile des Systems wiederum als Systeme (Subsysteme) aufgefasst werden können und dass das System selbst Teil eines umfassenderen Systems (Supersystem) ist. Die Systemelemente sind durch eine Systemgrenze von der Umgebung und dem Supersystem eingegrenzt. Für eine umfangreiche Systembeschreibung können mehrere Hierarchieebenen betrachtet werden. Die Systembeziehungsweise Strukturebenen werden durch die Wahl der Subsysteme determiniert. Das Konzept unterstützt die Analyse durch eine Abwärtsbewegung in der Hierarchie respektive die Synthese durch eine Aufwärtsbewegung. (ROPOHL 1999, S. 77, 80-81, 313)

Darauf aufbauend definiert ROPOHL ein System wie folgt: „Ein System ist das Modell einer Ganzheit, die a) Beziehungen zwischen Attributen (Inputs, Outputs, Zustände, etc.) aufweist, die b) aus miteinander verknüpften Teilen beziehungsweise Subsystemen besteht, und die c) von ihrer Umgebung beziehungsweise von einem Supersystem abgegrenzt wird.“ (ROPOHL 1999, S. 77)

Genau genommen bezeichnet dabei der Begriff System nur das Modell, da das System die reale Ganzheit sprachlich abbildet und nicht identisch mit ihr ist. Es hat sich allerdings im Sprachgebrauch eingebürgert, real existierende Gegenstände auch als System zu titulieren, wenn sie von einem als System bezeichneten Modell abgebildet werden können. (ROPOHL 1999, S. 87)

Fazit

Die Systemtheorie nach ROPOHL stellt ein geeignetes Hilfsmittel zur Beantwortung der Forschungsfrage dar. Sie kann in erheblichem Maße dazu beitragen, indem sie bei der Modellierung mittels der drei Konzepte strukturierend wirkt. Strukturierung wird in dem Fall als das problemlösungsorientierte Zerlegen und Ordnen der Fabrik verstanden (vgl. HENN & KÜHNLE 1999, S. 9.57).

Die sprachliche Doppeldeutung des Begriffs Fabriksystem tritt auch in der vorliegenden Arbeit auf. Das Fabriksystem bezeichnet sowohl das Modell der realen Fabrik als auch die entsprechenden real existierenden Elemente und Relationen der Fabrik selbst. Dies kann wegen der inhaltlichen Übereinstimmung des betrachteten realen Fabrikausschnittes mit dessen Abbildung als Systemmodell toleriert werden. Eine Unterscheidung würde die Nachvollziehbarkeit der Dokumentation erschweren, ohne einen nennenswerten Mehrwert zu generieren.

2.1.4 Fabriksystem

In diesem Kapitel wird die Modellierung und Anwendung der Systemtheorie auf die Fabrik unter Berücksichtigung der Aufgabenstellung erläutert. Dabei wird zugleich der Betrachtungsraum eingegrenzt. Das Fabriksystem bezeichnet gleichzeitig die modellierte als auch die real existierende Teilmenge der Fabrik, die in dieser Arbeit betrachtet wird. Grundsätzlich wird die Systemtheorie im Rahmen der Modellierung von Fabriken als hervorragend geeignet angesehen (AGGTELEKY 1990, S. 226; DOHMS 2001, S. 10; DYCKHOFF 2006, S. 10; HERNANDEZ MORALES 2002, S. 35; LASZLO 1972, S. 11; REINHART 2012, S. 18; WESTKÄMPER 2009B, S. 31).

Die folgende Beschreibung des Fabriksystems ist anhand der drei Konzepte der Systemtheorie (siehe Kapitel 2.1.3) gruppiert.

Fabriksystem - Funktionales Konzept

Beim funktionalen Konzept wird das Fabriksystem als Black-Box beschrieben. Die Zweckbestimmung dieser Black-Box respektive der Fabrik als industrieller Produktionsbetrieb ist „(...) die Gewinnung, Veredelung und Verarbeitung von Stoffen zur Erzeugung von Konsumgütern oder von Produktionsmitteln“ (KETTNER ET AL. 1984, S. 1; MELLEROWICZ 1958, S. 7). Aus Unternehmenssicht beschrieben, soll die Fabrik den Prozess der Auftragserfüllung durchführen (NOFEN ET AL. 2005, S. 8; WIENDAHL ET AL. 2009, S. 31). Abbildung 2-10 ordnet diesen in die Kette der fünf Geschäftsprozesse eines Unternehmens ein. Der Auftragserfüllungsprozess lässt sich untergliedern in Teilprozesse wie beispielsweise Beschaffung, Fertigung, Montage und Versand (WIENDAHL ET AL. 2009, S. 31–32).

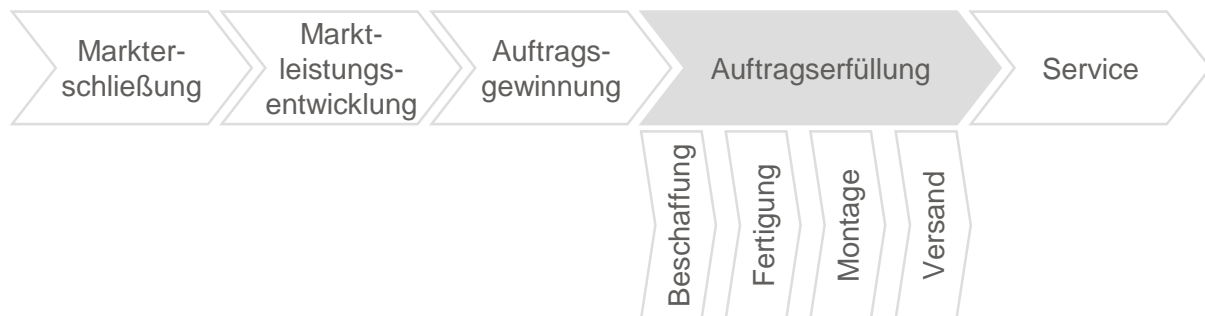


Abbildung 2-10: Geschäftsprozesse von Unternehmen
(WIENDAHL ET AL. 2009, S. 31)

Das Fabriksystem ist zwangsläufig ein offenes System, deren wesentliche Eingangsgrößen Material, Energie und Information sind. Die Fabrikfunktionen erzeugen aus den Eingangsgrößen eine durch die Marktleistung verkörperte Ausgangsgröße. (GÜNTNER ET AL. 2006, S. 73; HERNANDEZ MORALES 2002, S. 41; REINHART 2012, S. 18)

Abbildung 2-11 stellt das funktionale Konzept des Fabriksystems dar. Während der Auftragserfüllung durch die Fabrikfunktionen nimmt das Fabriksystem verschiedene Zustände ein. Die Zustände beschreiben die Verfassung des Systems. Sie stehen über Funktionen mit den Eingangsgrößen in Beziehung und können als eine Folgeerscheinung aufgefasst werden. Beispielsweise spiegelt der Auslastungsgrad der Maschinen einen Fabrikzustand wider. (vgl. Seite 22 oder ROPOHL 1999, S. 75-80; HERNANDEZ MORALES 2002, S. 36)

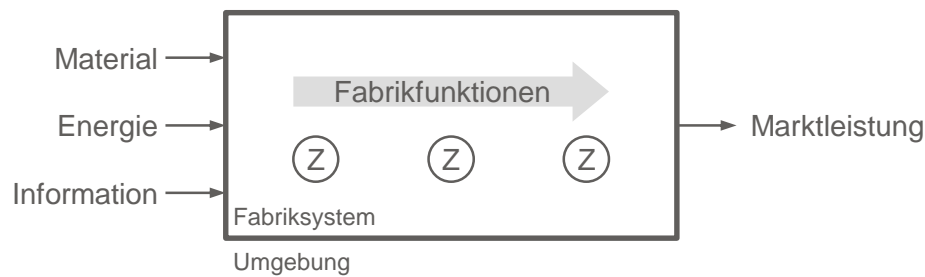


Abbildung 2-11: Fabrikssystem – Funktionales Konzept
(i.A.a. ROPOHL 1999, S. 76)

Fabrikssystem – Struktureles Konzept

Das strukturele Konzept betrachtet den inneren Aufbau des Systems als Ganzheit miteinander verknüpfter Elemente. Um den Auftragserfüllungsprozess und seine Teilprozesse zu ermöglichen beziehungsweise der Zweckbestimmung gerecht zu werden, bedient sich die Fabrik ihrer Ressourcen, die sich in vier Gestaltungsfeldern clustern lassen (HERNANDEZ MORALES 2002, S. 41; REINHART 2012, S. 18; WIENDAHL 1999, S. 9.4; WIENDAHL ET AL. 2009, S. 32). Abbildung 2-12 stellt die vier Gestaltungsfelder der Fabrik zusammen.

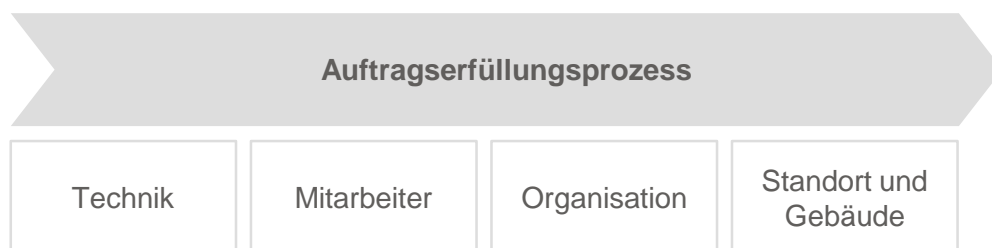


Abbildung 2-12: Gestaltungsfelder der Fabrik
(HERNANDEZ MORALES 2002, S. 16; WIENDAHL ET AL. 2009, S. 32)

Das Gestaltungsfeld Technik behandelt die Produktions-, Logistik- und Informationstechnik. Wesentliche Gestaltungsoptionen im Feld Mitarbeiter bieten die Arbeitsplatzumgebung, das Entgeltsystem und das Arbeitszeitmodell. Aufbau- und Ablauforganisation sind im dritten Gestaltungsfeld aufgehoben. Die drei bisher genannten Felder werden vom Gestaltungsfeld Standort und Gebäude eingegrenzt. (HERNANDEZ MORALES 2002, S. 15–16)

Bedingt durch das turbulente Spannungsfeld, dem die Fabrik ausgesetzt ist, muss die Fabrik auch in der Lage sein, sich hinsichtlich neuer Anforderungen

zu verändern (siehe Kapitel 1.1 und 1.2). Die Erfolgsfaktoren für diese Veränderungsprozesse sind neben der bereits hervorgehobenen Veränderungsfähigkeit (Kapitel 2.1.1) die Veränderungskompetenz und die Veränderungsbeherrschung (siehe Abbildung 2-13).

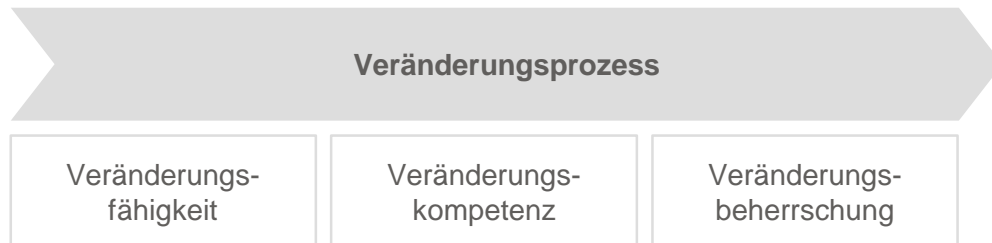


Abbildung 2-13: Erfolgsfaktoren von Veränderungsprozessen
(i.A.a. HERNANDEZ MORALES 2002, S. 50)

Die Kompetenz umfasst die von den Mitarbeitern gezeigte Bereitschaft zur Veränderung. Die Beherrschung zielt auf die Nutzung der Veränderungsfähigkeit ab. (HERNANDEZ MORALES 2002, S. 49–51)

Die Ermittlung der in dieser Arbeit zu berücksichtigenden Fabrikssystemelemente wird mit Hilfe von Abbildung 2-14 diskutiert. Anhand der Gegenüberstellung von Erfolgsfaktoren und Gestaltungsfeldern in einer Matrix kann erkannt werden, von welchen Gestaltungsfeldern der Veränderungsprozess unterstützt wird. Die Abbildung gibt gleichzeitig einen hilfreichen Überblick, in welchem Themenfeld diese Arbeit angesiedelt ist.

	Technik	Mitarbeiter	Organisation	Standort und Gebäude
Veränderungsfähigkeit	●		●	●
Veränderungskompetenz		●		
Veränderungsbeherrschung		●	●	

Abbildung 2-14: Gegenüberstellung der Erfolgsfaktoren von Veränderungsprozessen und der Gestaltungsfelder der Fabrik

Die Veränderungsfähigkeit wird von Elementen und Relationen aus den Gestaltungsfeldern Technik, Organisation sowie Standort und Gebäude beeinflusst (HERNANDEZ MORALES 2002, S. 50-51, 65). Der Mitarbeiter soll dabei ausgeschlossen werden, da dessen Tätigkeitsspektrum, mitunter wegen guter Schulungsmöglichkeiten, generell als sehr vielfältig und veränderungsfähig gilt (NYHUIS ET AL. 2008, S. 88). Deshalb wird sein Beitrag zum Veränderungsprozess primär über die Veränderungskompetenz berücksichtigt. Die zeitliche Komponente der Arbeitskraft stellt sicherlich einen limitierenden Faktor bezüglich der Veränderungsfähigkeit der Produktionsaufgabe dar. Sie kann aber der Arbeitsstationskapazität als Bestandteil des Gestaltungsfeldes Technik untergeordnet werden, die dann entweder technisch oder human begrenzt ist.

Die Veränderungskompetenz wird wie bereits erwähnt dem Menschen zugesprochen und ist deshalb ausschließlich beim Gestaltungsfeld Mitarbeiter eingeordnet. Sie beinhaltet das für Veränderungen notwendige Verständnis der Zusammenhänge. Konzepte des Change Managements forcieren die Kompetenzsteigerung und befassen sich mit humanorientierten Ansätzen, um Mitarbeiter bei Veränderungsprozessen in puncto Können und Bereitschaft zu unterstützen (BOOZ & CO. 2007, S. 1; KOTTER 1995, S. 64; LAUER 2010, S. 6). (HERNANDEZ MORALES 2002, S. 30, 50)

Die Veränderungsbeherrschung fasst Methoden organisatorischer oder führungstechnischer Art zusammen, um die Veränderungsfähigkeit nutzen zu können. Dafür ist eine Reproduzierbarkeit schneller und kostengünstiger Planungsergebnisse zwingend erforderlich. Die Mitarbeiter tragen mit ihrer Erfahrung wesentlich zur Qualität der Planung bei. (HERNANDEZ MORALES 2002, S. 50–51)

Die Beherrschung wird deshalb sowohl den Mitarbeitern als auch dem Gestaltungsfeld Organisation zugeschrieben, wobei im Letzteren das institutionelle Vorgehen bei der Veränderungsplanung aufgehoben ist. Es sei darauf hingewiesen, dass durch das in dieser Arbeit zu entwickelnde Modell ein fabrikplanerischer Beitrag zur Veränderungsprozessbeherrschung gelingen soll (siehe Kapitel 1.3). Der inhaltliche Fokus des Modells in Form des Fabriksystems liegt allerdings, wie bereits erwähnt, auf der Veränderungsfähigkeit in Form von Flexibilität und insbesondere Wandlungsfähigkeit und nicht auf der Veränderungsbeherrschung.

Es wird festgehalten, dass das Gestaltungsfeld Mitarbeiter bei der in dieser Arbeit vorgenommenen Modellierung des Fabriksystems nicht inkludiert werden muss, da der Mitarbeiter über ein sehr veränderungsfähiges Tätigkeitsspektrum verfügt. Des Weiteren ist zu diskutieren, welche Gestaltungsfelder

bei der Betrachtung der Veränderungsfähigkeit einbezogen werden sollen, um die zu berücksichtigenden Fabrikssystemelemente zu bestimmen.

Veränderungsfähigkeit - Gestaltungsfeld Standort und Gebäude

Standort und Gebäude weisen typischerweise Lebenszyklen von über 30 Jahren auf (WESTKÄMPER 2009A, S. 15). Damit ist der Immobilienlebenszyklus ein Vielfaches der Lebenszyklen von Betriebsmitteln beziehungsweise Produktionsprozessen oder gar Produkten, wie Abbildung 2-15 veranschaulicht (KRAEMER 2005, S. 94; SCHENK & WIRTH 2004, S. 106–107). Der Begriff Immobilie deutet zudem schon an, dass es sich um ein nicht bewegliches Objekt handelt. Existierende Baukastensysteme für Fabrikgebäude konnten sich aufgrund der hohen Investitionskosten im Verhältnis zu den erforderlichen Veränderungen bisher nicht durchsetzen (KRAEMER 2005, S. 103). Darüber hinaus werden die Standorte in Abhängigkeit eines übergeordneten Unternehmensverbundes geplant (HENN & KÜHNLE 1999, S. 9.67; VDI 5200-1, S. 7). Das Gestaltungsfeld Standort und Gebäude wird im Folgenden als vorgegebene Rahmenbedingungen des Fabriksystems angesehen und bei der Veränderungsfähigkeit nicht weiter berücksichtigt. Solche Rahmenbedingungen können beispielsweise Zufahrten zum Werksgelände, Säulen oder Fundamente sein.

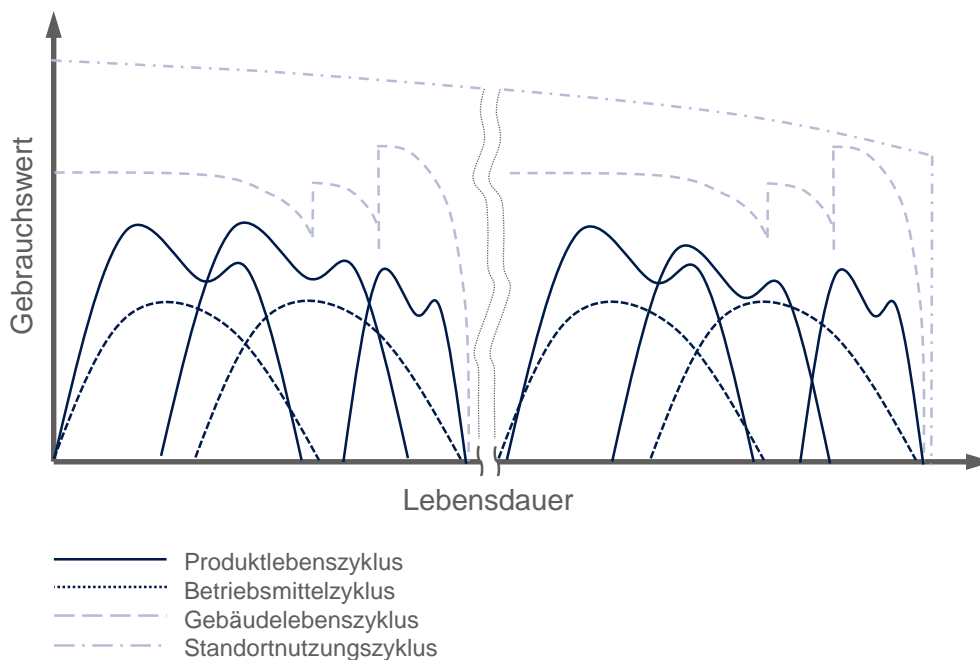


Abbildung 2-15: Lebenszyklen von Produkt, Betriebsmittel, Gebäude, Standort
(SCHENK & WIRTH 2004, S. 106)

Veränderungsfähigkeit – Gestaltungsfeld Organisation

Mit der Veränderungsfähigkeit der Organisation befassen sich zum Beispiel die Konzepte ganzheitlicher Produktionssysteme beziehungsweise schlanker Produktion (DOMBROWSKI ET AL. 2006, S. 114; SPATH ET AL. 2002, S. 29; VDI 2870-1, S. 5), oder der Management-Kybernetik (BEER 1959, S. 128–141).

Ganzheitliche Produktionssysteme stellen ein Managementkonzept dar, um Mitarbeiter und Technik mittels ausgewählter Methoden zu einer lernenden Organisation zu integrieren (LIKER & MEIER 2008, S. 29; ÖNO 2009, S. 41). Sie bilden ein Netzwerk aus technisch-organisatorischen und personell-organisatorischen Maßnahmen (WESTKÄMPER ET AL. 2009, S. 30, 35).

WIENER hat im Jahre 1948 mit seiner Veröffentlichung unter dem Titel *Cybernetics* einen fundamentalen Beitrag zur Entwicklung der Kybernetik aus der Systemtheorie (siehe auch Seiten 21-22) geleistet. Unter Kybernetik versteht er das gesamte Themenfeld aus Kontroll- und Kommunikationstheorie bezogen auf Maschinen oder Lebewesen. (WIENER 1961, S. 11)

Die Management-Kybernetik greift diesen Ansatz auf und überträgt dessen Prinzipien auf Systeme höherer Komplexität. Dabei spielt die Reaktionsfähigkeit gegenüber Änderungen eine entscheidende Rolle. (BEER 1959, S. 128–141)

Beide Konzepte zielen auf eine veränderungsfähige Ablauf- und Aufbauorganisation ab. In der Literatur sind die weiten Felder der schlanken Produktion (siehe bspw. LIKER & MEIER 2008; ÖNO 2009; WOMACK ET AL. 1994) und Management-Kybernetik (siehe bspw. BEER 1959) ausführlich thematisiert und sollen deshalb in dieser Arbeit nicht tiefergehend studiert werden.

Das Gestaltungsfeld Organisation wird demzufolge im weiteren Verlauf nicht betrachtet.

Veränderungsfähigkeit – Gestaltungsfeld Technik

Nach dem Ausschlussverfahren konnte also die Technik als zu fokussierendes Gestaltungsfeld der Veränderungsfähigkeit ermittelt werden. Dies lässt sich aber auch anderweitig begründen. Die Auswahl von Maschinen und Betriebs-einrichtungen legt nämlich gewichtige Restriktionen des Fabrikbetriebs hinsichtlich der Anpassungsmöglichkeiten an Marktanforderungen fest (AGGTELEKY 1990, S. 51). Damit hat sie einen wesentlichen Einfluss auf die Reduktion der Diskrepanz zwischen dem benötigten und zulässigen Veränderungsaufwand. Darüber hinaus konnte in der Literaturrecherche festgestellt

werden, dass nahezu alle Ansätze die Betriebsmittel berücksichtigen, was für ihre besondere Bedeutung spricht (siehe Seite 40).

Als zu berücksichtigende Fabriksystemelemente gelten deshalb im Folgenden die Betriebsmittel. Sie repräsentieren das Gestaltungsfeld Technik. Die miteinander in Relation stehenden Betriebsmittel determinieren als Struktur des Fabriksystems (Fabrikstruktur) die möglichen Fabrikfunktionen (vgl. Strukturales Konzept auf Seite 22 oder HENN & KÜHNLE 1999, S. 9.81; ROPOHL 1999, S. 77, 316).

Als eine besonders strukturbestimmende Relation bei der Anordnungsplanung der Betriebsmittel wird die Materialflussverknüpfung angesehen (HENN & KÜHNLE 1999, S. 9.72-9.74; SCHENK & WIRTH 2004, S. 90–92). Abbildung 2-16 zeigt anhand dieses Beispiels das strukturele Konzept des Fabriksystems.

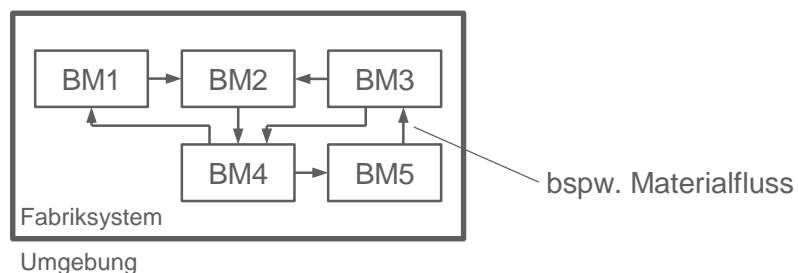


Abbildung 2-16: Fabriksystem – Strukturales Konzept
(i.A.a. ROPOHL 1999, S. 76)

Fabrik – Hierarchisches Konzept

Das hierarchische Konzept berücksichtigt, dass Teile des Systems wiederum als Systeme (Subsysteme) aufgefasst werden können und dass das System selbst Teil eines umfassenderen Systems (Supersystem) ist.

Für die Planung der Veränderungsfähigkeit des Fabriksystems ist es ausreichend, zu wissen, über welche Systemeigenschaften die Betriebsmittel verfügen und welche Funktionen sie erfüllen können. Demzufolge werden die Betriebsmittel ausschließlich über das funktionale Konzept beschrieben und stellen Subsysteme des Fabriksystems dar.

Bekannte Ansätze, die sich mit der Veränderungsfähigkeit als Systemeigenschaft von Betriebsmittelsystemen befassen, werden unter den Begriffen Flexible Manufacturing Systems (FMS) oder Reconfigurable Manufacturing Systems (RMS) diskutiert. Sie betrachten vor allem den inneren Aufbau der Betriebsmittel anhand des strukturalen Konzeptes, um über eine veränderungsfähige Struktur einen breiten und veränderlichen Funktionsumfang zu erzielen.

(KOREN 2006, S. 27–28; KOREN & SHPITALNI 2010, S. 131–132; WIENDAHL ET AL. 2007, S. 789)

Das Supersystem der Fabrik stellt der Unternehmensverbund dar.

Durch die Wahl der Sub- und Supersysteme werden die Systemebenen determiniert. Die Unternehmensverbundebene beinhaltet mehrere Fabrikssysteme. Auf der Fabrikssystemebene befinden sich die Betriebsmittel, deren Bestandteile wiederum auf der Betriebsmittelebene angesiedelt sind.

Wenn das Fabrikssystem umfangreich ist, lassen sich nach Abbildung 2-17 räumlich oder prozessual determinierte Zwischenebenen bilden.

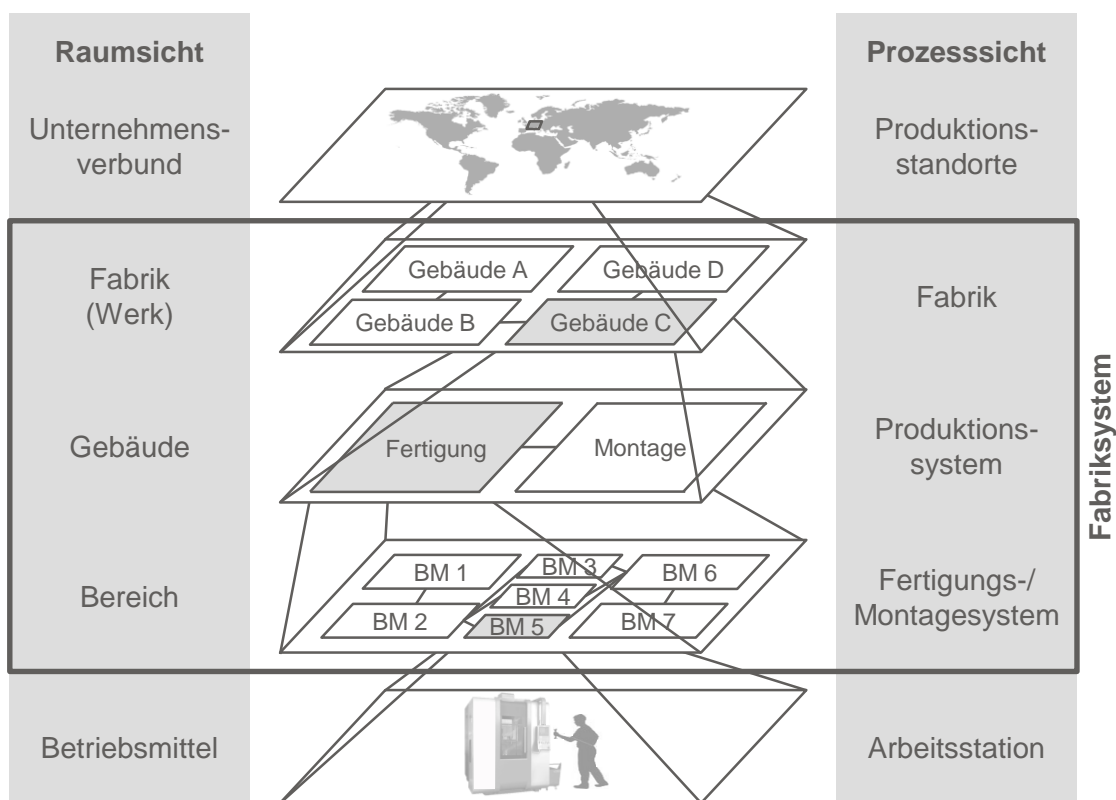


Abbildung 2-17: Fabrikebenen des Fabriksystems

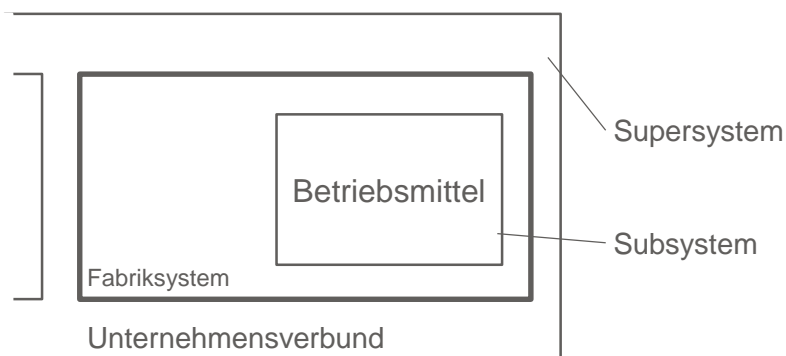
(i.A.a. HENN & KÜHNLE 1999, S. 9.67; NYHUIS ET AL. 2004, S. 96; VDI 5200-1, S. 7)

Das Fabrikssystem kann aus räumlicher Sicht als Subsysteme mehrere Gebäude und diese wiederum mehrere Bereiche umfassen, die schließlich die Betriebsmittel als Subsysteme beinhalten (i.A.a. HENN & KÜHNLE 1999, S. 9.67; VDI 5200-1, S. 7). Die Abbildung deutet an, dass die Betriebsmittel repräsentativ für Arbeitsstationen stehen, wenn man annimmt, dass jede Arbeitsstation Betriebsmittel einsetzt.

Eine weitere Möglichkeit, Zwischenebenen einzuziehen, ist die Bildung von Subsystemen aus prozessualer Sicht. Unter anderem inkludiert das Fabrikssystem ein Produktionssystem, welches sich wiederum in Fertigungs- und Montagesystem aufteilen lässt. Diese Subsysteme clustern Arbeitsstationen beziehungsweise Betriebsmittel, die Teilprozesse wie Fertigung oder Montage des Auftragserfüllungsprozesses vollziehen. (SCHENK & WIRTH 2004, S. 98)

Dabei bestehen sicherlich Parallelen zwischen den räumlichen und prozessualen Ebenen. In einer größeren Fabrik werden beispielsweise Fertigungs- und Montagesystem in getrennten Bereichen untergebracht.

Abbildung 2-18 skizziert das Fabrikssystem im Supersystem Unternehmensverbund und mit seinen Betriebsmitteln als Subsysteme.



*Abbildung 2-18: Fabrikssystem – Hierarchisches Konzept
(i.A.a. ROPOHL 1999, S. 76)*

Fazit

In diesem Kapitel wurde der Begriff Fabrikssystem definiert, da vorhandene Begriffe wie beispielsweise Produktionssystem aus systemtheoretischer Sicht nicht ausreichend waren. Zudem konnte mit der Definition die Fokussierung auf die Betriebsmittel hergeleitet werden. Gleichzeitig wurden tangierende Themenfelder abgegrenzt.

Die Definition des Fabriksystems über alle drei Konzepte lautet in Anlehnung an ROPOHL (siehe Seite 24 oder ROPOHL 1999, S. 77):

Das Fabrikssystem wird als Modell der Fabrik definiert, die a) die Funktion der Auftragserfüllung über die Eingangs-, Ausgangs- und Zustandsgrößen erfüllt, die b) dafür über Betriebsmittel und deren Relationsgeflecht verfügt, und die c) vom Unternehmensverbund abgegrenzt werden kann.

Die Verknüpfung der drei Konzepte kann wie folgt beschrieben werden:

Die a) Fabrikfunktionen werden von der b) Fabrikstruktur determiniert, die c) hierarchisch zwischen der Unternehmensverbundebene und der Betriebsmittelebene angesiedelt ist.

Noch einmal sei an dieser Stelle an die sprachliche Doppeldeutung des Begriffs Fabrikssystem erinnert, der gleichzeitig die modellierte als auch die real existierende Teilmenge der Fabrik bezeichnet (siehe Seite 24).

Die dargelegte Definition des Fabriksystems ist fundamental für die weiterführende Modellierung hinsichtlich der Forschungsfrage in den Kapiteln 4 und 5. Abbildung 2-19 illustriert die Definition des Fabriksystems anhand der Konzepte und stellt alle drei zusammen dar.

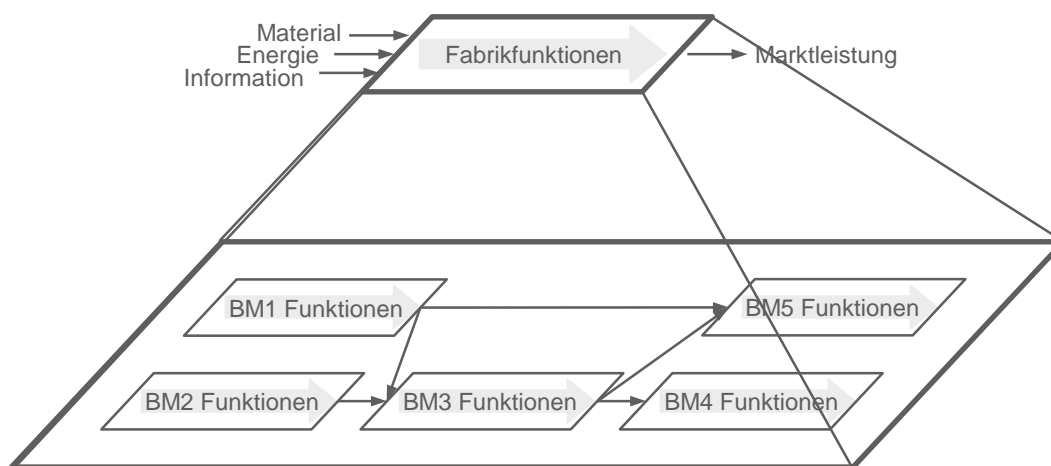


Abbildung 2-19: Definition des Fabriksystems

2.1.5 Fabrikplanung

Wie bereits erwähnt, soll das zu entwickelnde Modell einen Beitrag zur Fabrikplanung leisten (siehe Kapitel 1.3 und Seite 28). Im Folgenden wird der Begriff Fabrikplanung mit dem Zweck vorgestellt, den umspannenden Rahmen des Modells zu erläutern.

Die Bedeutung des Begriffs Fabrik ist im vorherigen Kapitel 2.1.4 aufgeführt worden. Unter Planung wird die „gedankliche Vorwegnahme eines angestrebten Ergebnisses einschließlich der zur Erreichung als erforderlich erachteten Handlungsabfolge“ verstanden (VDI 5200-1, S. 4). Die Planung kann sowohl durch Impulse innerhalb als auch außerhalb der Fabrik ausgelöst werden (VDI 5200-1, S. 4). Impulse, die Veränderungen in der Fabrik zur Folge haben, können auch als Änderungstreiber bezeichnet werden (i.A.a. NOFEN ET AL. 2005, S. 9; WESTKÄMPER 2009A, S. 10; WIENDAHL ET AL. 2009, S. 14).

Die klassische Fabrikplanung zeichnet sich durch eine sequenzielle Vorgehensweise aus. Dabei können sich die Schritte überlappen und iterativ durchlaufen werden. Es erfolgt jedoch keine Rückkopplung mehr nach dem letzten und ausführenden Schritt in Form der Inbetriebnahme. (AGGTELEKY 1987, S. 37; KETTNER ET AL. 1984, S. 5)

Die heutzutage vorherrschende Vielzahl und Interdependenz der Änderungstreiber erzeugen jedoch ein turbulentes Spannungsfeld (siehe auch Kapitel 1.1). In diesem versagt die klassische Fabrikplanung, da sie für statische und wenig komplexe Situationen ausgelegt ist (PAWELLEK 2008, S. 8; SPATH ET AL. 2002, S. 29). Aus der turbulenzbedingt steigenden Planungshäufigkeit ergibt sich die Notwendigkeit einer kontinuierlichen Fabrikplanung anstelle von einmaligen Projekten (NYHUIS ET AL. 2004, S. 95; WESTKÄMPER 2002, S. 81).

Dabei haben die klassischen Vorgehensweisen keineswegs ihre Gültigkeit verloren. Allerdings bedarf es einer Erweiterung, die die Veränderungsfähigkeit stärker fokussiert. (HERNANDEZ MORALES 2002, S. 31–32; LÖFFLER 2011, S. 40)

Durch die Erweiterung um das Monitoring wird die klassische Folge aus Planung, Umsetzung und Betrieb zum Regelkreis. Mit dieser Rückkopplung anhand eines kontinuierlichen Soll-Ist-Vergleiches kann der Veränderungsbedarf aufgedeckt werden. (REINHART 2012, S. 21; REINHART ET AL. 2009, S. 752–753)

Abbildung 2-20 veranschaulicht den Regelkreis der kontinuierlichen Fabrikplanung, der in die drei Bereiche Monitoring, Planung und Umsetzung sowie Betrieb eingeteilt werden kann.

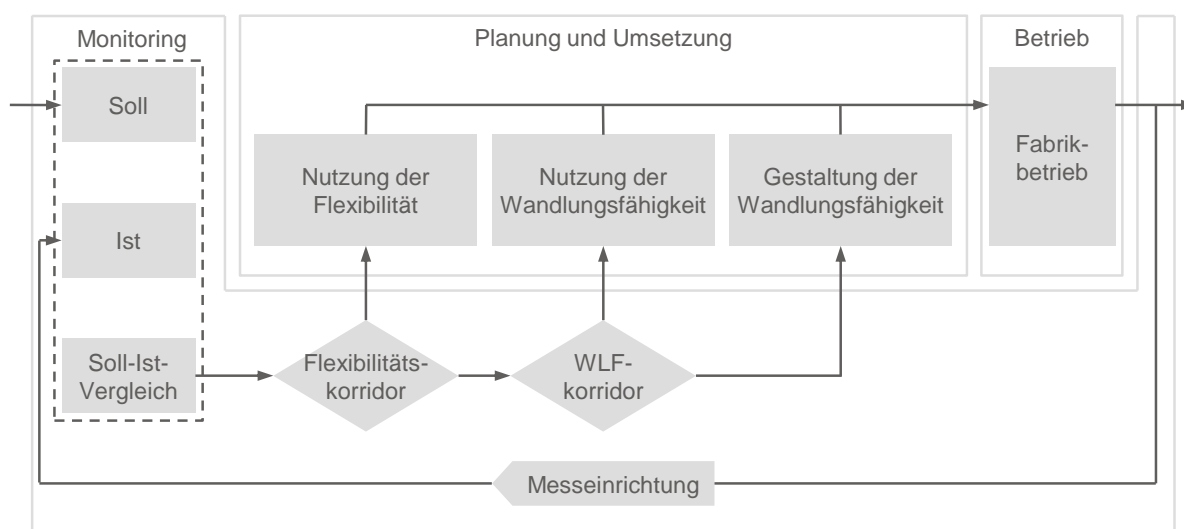


Abbildung 2-20: Regelkreis der kontinuierlichen Fabrikplanung
(i.A.a. NYHUIS ET AL. 2010, S. 6; REINHART 2012, S. 21)

Im turbulenten Spannungsfeld stellen die Änderungstreiber ständig neue Anforderungen an die Fabrik. Nach einem Vergleich mit dem Ist-System kann der Veränderungsbedarf abgeleitet werden. Je nach Umfang des Veränderungsbedarfs wird eine der drei Planungsklassen „Nutzung der Flexibilität“, „Nutzung der Wandlungsfähigkeit“ oder „Gestaltung der Wandlungsfähigkeit“ erforderlich. Falls die Anforderungen innerhalb des bestehenden Flexibilitätskorridors liegen, können die Veränderungen durch die Nutzung der Flexibilität schnell und ohne Investitionskosten durchgeführt werden. Liegt die Anforderung außerhalb des Flexibilitätskorridors, ist zu prüfen, ob sie sich innerhalb des Wandlungskorridors befindet. Gesetzt den Fall kann der Veränderungsbedarf durch die Nutzung der inhärenten Wandlungsfähigkeit realisiert werden. Durch die Nutzung der Wandlungsfähigkeit wird der Flexibilitätskorridor neu gestaltet (siehe Seite 18). Wenn weder Flexibilitätskorridor noch Wandlungskorridor ausreichend dimensioniert sind, wächst der Aufwand für die Veränderungen in erheblichem Maße. Dabei wird die Wandlungsfähigkeit neu gestaltet und gegebenenfalls gesteigert. (NYHUIS ET AL. 2010, S. 6–8)

Je nach Lebenszyklus der Fabrik wird zwischen Neuplanung, Umplanung, Rückbau und Revitalisierung differenziert. Die Planung der beschriebenen Veränderungen fällt unter die Umplanung, da im Gegensatz zur Neuplanung vorhandene Produktionsressourcen und Restriktionen berücksichtigt werden müssen. Rückbau und Revitalisierung befassen sich mit der Stilllegung beziehungsweise der Wiedernutzbarmachung und bleiben daher ebenso wie die Neuplanung vom zu entwickelnden Modell unberührt. (VDI 5200-1, S. 4)

Fazit

Abgeleitet aus der Divergenz zwischen dem zulässigen und dem benötigten Veränderungsaufwand muss ein Ziel der Fabrikplanung die Minderung des benötigten zeitlichen und monetären Veränderungsaufwandes im Rahmen von Umplanungen sein (siehe Kapitel 1.1 und 1.2). Die kontinuierliche Fabrikplanung befasst sich demnach zwangsläufig mit der Planung von Veränderungsprozessen, die von einer oder mehreren Änderungsmaßnahmen determiniert werden. Das zu entwickelnde Modell soll den Fabrikplaner bei der Beherrschung der Veränderungsprozesse unterstützen.

2.2 Stand der Wissenschaft - Modellierungstechniken für Systeme

Nachdem im vorangegangenen Kapitel grundlegende Begriffe für das Verständnis der Arbeit definiert worden sind, präsentiert dieses Kapitel recherchierte Modellierungstechniken. Im ersten Schritt werden Klassifizierungskriterien definiert (Kapitel 2.2.1). Anhand derer lassen sich im zweiten Schritt (Kapitel 2.2.2) die mittels der systematischen Literaturrecherche (siehe Kapitel 1.4) ermittelten Veröffentlichungen in einer Übersicht bewerten. In den darauf folgenden Kapiteln 2.2.3 bis 2.2.6 werden ausgewählte Veröffentlichungen diskutiert, die den Forschungsambitionen dieser Arbeit am nächsten kommen.

2.2.1 Definition von Klassifizierungskriterien

Um die untersuchten Forschungsbeiträge in den Gesamtzusammenhang dieser Arbeit einordnen zu können, sind Klassifizierungskriterien erforderlich. Zudem dienen die Kriterien der Beurteilung, inwiefern die Literatur die Beantwortung der formulierten Forschungsfrage betrifft. Dementsprechend stammen die Klassifizierungskriterien aus zwei Feldern. Über die erste Kriteriengruppe soll ersichtlich werden, welchen Betrachtungsraum die Modellierungstechniken abdecken. Zweitens sind Kriterien aus der Forschungsfrage zu gewinnen.

Die Kriterien zum Abgleich des Betrachtungsraumes ergeben sich aus der Definition des Fabriksystems (Kapitel 2.1.4) und lauten wie folgt:

- **Gestaltungsfeld:** Die Fabrikplanung unterscheidet die vier Gestaltungsfelder Betriebsmittel (Technik), Mitarbeiter, Organisation sowie Standort und Gebäude (siehe Seite 26). In dieser Arbeit liegt der Fokus auf den Betriebsmitteln.
- **Erfolgsfaktor:** Als Erfolgsfaktoren für einen erfolgreichen Veränderungsprozess werden Veränderungsfähigkeit, Veränderungskompetenz und Veränderungsbeherrschung angesehen (siehe Seite 27). Diese Arbeit betrachtet die Veränderungsfähigkeit.
- **Ebene:** Die Definition des Fabriksystems bezieht sich auf die Fabrikenebene (siehe Seite 32). Ober- und unterhalb befinden sich die Unternehmensverbundebene beziehungsweise die Betriebsmittelebene. Da diese Arbeit die Betriebsmittel als Subsysteme des Fabrikystems auffasst, wird die Betriebsmittelebene nicht betrachtet. Die Betriebsmittelebene umfasst die Bestandteile der Betriebsmittel, deren Betrachtung in dieser Arbeit aber nicht im Fokus steht.

Da die Forschungsfrage (siehe Kapitel 1.3) lösungsneutral gestellt ist, sollte die Literatur nicht nach Lösungsformen sondern nach den Modellierungsaspekten sortiert werden. Die Kriterien aus Sicht der Forschungsfrage entsprechen demzufolge den sechs Teilforschungsfragen (eine detaillierte Erläuterung und Herleitung der Teilforschungsfragen folgt in Kapitel 3.1). Sie lassen sich, wie Abbildung 2-21 aufzeigt, in den Regelkreis der kontinuierlichen Fabrikplanung einordnen. Die Literatur ist dahingehend zu bewerten, inwiefern sie die Fragestellungen behandelt.

- 1.1) Welche Änderungstreiber wirken auf das System?
- 1.2) Auf welche Elemente und Relationen wirken die Änderungstreiber?
- 1.3) Welche Veränderungen des Systems sind erforderlich?
- 2.1) Wie können erforderliche Veränderungen zusammengestellt werden?
- 2.2) Welche Wandlungsfähigkeit besitzt das System?
- 2.3) Wie kann der Aufwand von Änderungsmaßnahmen bewertet werden?

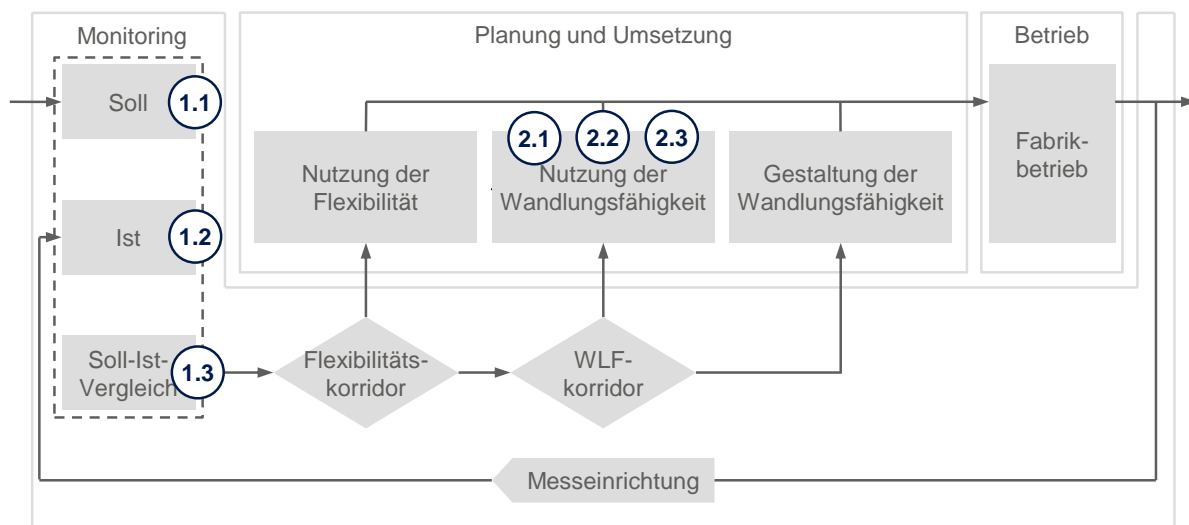


Abbildung 2-21: Einordnung der Teilforschungsfragen in den Regelkreis der kontinuierlichen Fabrikplanung

Die Einordnung der Teilforschungsfragen 2.1 bis 2.3 basiert auf der Hypothese, dass Planungen zur Nutzung der Wandlungsfähigkeit erfolgen werden. Diese Forcierung der Nutzung der Wandlungsfähigkeit erlangt durch den im abschließenden Fazit (Kapitel 2.3) identifizierten Forschungsbedarf Rechtfertigung.

2.2.2 Übersicht der Modellierungstechniken

Die Literatur entstammt, konform zur Aufgabenstellung, den Bereichen der Ingenieurwissenschaften, der Wirtschaftswissenschaften sowie der angewandten Informatik. Aus dem Bereich des Operations Research sind keine Techniken aufgeführt. Dabei handelt es sich um eine auf der Systemtheorie aufbauende Entwicklungsstufe des Komplexitätsmanagements (siehe Seite 22). Die Techniken des Operations Research zielen auf eine Optimierung bestehender Lösungen mittels mathematischer Methoden ab (DAENZER ET AL. 1997, S. 512; DOMSCHKE & DREXL 1991, S. 1; FLEISCHMANN 1996, 1357; PATZAK 1982, S. 316). Gleichwohl stoßen die quantitativen Verfahren aber bei vielschichtigen Untersuchungsgegenständen, wie sie in dieser Arbeit vorliegen, an prinzipielle Grenzen (DAENZER ET AL. 1997, S. 477; ROPOHL 1999, S. 73). Somit verwundert es nicht, dass keine passende Technik aus dem Bereich des Operations Research gefunden werden konnte.

Aufgrund der Interdisziplinarität der untersuchten Literatur wird keine Zuordnung der Veröffentlichungen zu den Bereichen vorgenommen.

Mit einer vergleichenden Punktbewertung wird der Erfüllungsgrad der Literatur hinsichtlich der Klassifizierungskriterien ermittelt (LINDEMANN 2009, S. 296). Der VDI schlägt dafür die klassische fünfstufige Bewertungsskala vor (VDI 2225-3, S. 4). Nach REINHART und LINDEMANN ist eine Bewertung in drei Stufen ebenfalls möglich (LINDEMANN 2009, S. 326; REINHART 2012, S. 159), die für den Zweck der Klassifizierung als ausreichend erachtet und deshalb verwendet wird. Der Erfüllungsgrad (nicht erfüllt, teilweise erfüllt, voll erfüllt) wird mit Kreissegmenten visualisiert, die nach ihrem Erfinder auch Harvey-Balls genannt werden.

Tabelle 2-1 führt die nach intensiver Lektüre ausgewählte Literatur sortiert nach dem Veröffentlichungsjahr auf. Dazu seien zwei Punkte angemerkt. Zum einen tragen alle Techniken mit ihren Modellen und Methoden zur Beherrschung des Veränderungsprozesses bei. Dies bedeutet aber nicht zwangsläufig, dass sie auch die Beherrschung an sich thematisieren (vgl. Seite 28). Zweitens kann bei den Techniken eine andere als in dieser Arbeit betrachtete Kombination von Gestaltungsfeldern und Erfolgsfaktoren vorliegen. Dies rührt daher, dass die Techniken teilweise mehrere Modelle und Methoden umfassen.

Auffällig ist bei der in Tabelle 2-1 aufgeführten Literatur sicherlich, dass keine englischsprachigen Veröffentlichungen gelistet sind. Dies lässt sich einerseits auf die Informationsquellen der Recherche (siehe Tabelle 9-2) zurückführen.

Da nur Zugang zu einer deutschen Bibliothek bestand, wurden wenige englischsprachige Bücher zum Forschungsthema gefunden. Die in Datenbanken oder Zeitschriften recherchierten Aufsätze waren aufgrund ihres begrenzten Umfangs häufig zu unpräzise im Hinblick auf die zu untersuchenden Teilforschungsfragen. Zum Zweiten behandeln die recherchierten englischsprachigen Aufsätze primär die Veränderungsfähigkeit auf Betriebsmittelebene. Dank der angewendeten systematischen Literaturrecherche (siehe Kapitel 1.4) besteht eine Transparenz hinsichtlich des erzielten Rechercheergebnisses, so dass weiterführende wissenschaftliche Arbeiten das Suchfeld durch eine andere Wahl der Informationsquellen und Suchbegriffe verschieben können.

In den auf die Tabelle folgenden Kapiteln werden die Ansätze von HERNANDEZ MORALES (2002), NOFEN (2006), POHL (2013) und KLEMKE (2014) detailliert diskutiert, da sie von besonderer Relevanz für die Ambitionen dieser Arbeit erscheinen. Die Diskussion teilt sich in Beschreibung und Beurteilung. Bei der Beschreibung der Technik wird ein Überblick über das allgemeine Vorgehen gegeben. Die Beurteilung erfolgt qualitativ, indem Defizite hinsichtlich der Teilforschungsfragen aufgezeigt werden. Die Dissertation von KOCH (2011) präsentiert eine ganzheitliche Methodik zur Steigerung der Wandlungsfähigkeit und erfüllt die meisten Kriterien (KOCH 2011, S. 4–5). Sie wird jedoch im Folgenden nicht explizit vorgestellt, da es sich in den für diese Arbeit relevanten Punkten um eine Zusammenstellung der Ansätze von HERNANDEZ MORALES (2002), HEGER (2007) und HEINEN (2011) handelt.

Tabelle 2-1: Literaturklassifizierung

Legende

- trifft nicht zu / nicht behandelt
- trifft teilweise zu / teilweise behandelt
- trifft voll zu / ausführlich behandelt

		DOHMS 2001	HERNANDEZ MORALES 2002	SESTERHENN 2003	HARMS 2004	CISEK 2005	DRABOW 2006	NOFEN 2006	HEGER 2007	MÖLLER 2008	ALDINGER 2009	HEINEN 2011	KOCH 2011	LÖFFLER 2011	PACHOW-FRAUENHOFER 2012	HARTKOPF 2013	POHL 2013	KLEMK 2014	VELKOVA 2014
Gestaltungsfeld	Betriebsmittel	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	○	●	●	●	●	●	●	●
	Mitarbeiter	○	○	●	●	○	○	◐	●	●	○	●	●	●	●	●	◐	●	●
	Organisation	●	●	●	◐	○	○	●	●	●	○	○	●	●	●	○	○	●	●
	Standort und Gebäude	○	●	◐	○	○	○	●	●	●	○	○	○	●	●	○	●	◐	◐
Erfolgsfaktor	Veränderungsfähigkeit	●	●	◐	○	○	●	●	●	●	○	○	●	●	●	◐	○	●	●
	Veränderungskompetenz	○	○	○	◐	○	○	○	○	○	○	●	●	○	○	○	○	○	◐
	Veränderungsbeherrschung	●	●	○	●	●	◐	●	◐	○	○	●	●	●	●	●	●	●	○
Ebene	Unternehmensverbundebene	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	●	○	○	○	○	○
	Fabrikebene	●	●	●	●	◐	○	●	●	●	●	●	●	◐	◐	●	●	●	●
	Betriebsmittelebene	○	○	○	○	○	●	○	○	●	●	○	○	○	○	●	○	○	○
Monitoring	Welche Änderungstreiber? (1.1)	◐	●	●	●	◐	○	●	○	●	●	○	●	●	●	●	◐	●	○
	Auf welche Elemente und Relationen? (1.2)	◐	●	◐	●	○	○	●	○	○	●	○	●	◐	○	◐	◐	●	○
	Erforderliche Veränderungen? (1.3)	●	●	◐	●	◐	○	●	○	○	◐	●	●	●	○	●	●	●	○
Planung & Umsetzung (WLF nutzen)	Zusammenstellung von Veränderungen? (2.1)	○	◐	○	◐	◐	○	◐	○	○	◐	◐	◐	◐	○	◐	●	●	○
	Welche Wandlungsfähigkeit? (2.2)	◐	●	◐	○	○	●	●	●	◐	○	○	●	◐	●	○	○	◐	●
	Aufwand von Änderungsmaßnahmen? (2.3)	◐	○	◐	◐	●	○	◐	○	◐	◐	●	◐	◐	◐	◐	●	●	◐

2.2.3 HERNANDEZ MORALES 2002

HERNANDEZ MORALES ist mit seiner Dissertation „Systematik der Wandlungsfähigkeit“ ein grundlegendes und häufig zitiertes Werk gelungen. Als einer der Ersten konkretisiert er die Wandlungsfähigkeit als Zielgröße der Fabrikplanung und integriert sie in den Planungsablauf (HERNANDEZ MORALES 2002, S. 10).

Beschreibung

Die Planung der Wandlungsfähigkeit basiert auf einem Ist-Soll-Vergleich (siehe Abbildung 2-22), der verfügbare Freiheitsgrade einem notwendigen Wandlungsbedarf gegenüberstellt (HERNANDEZ MORALES 2002, S. 64–65).

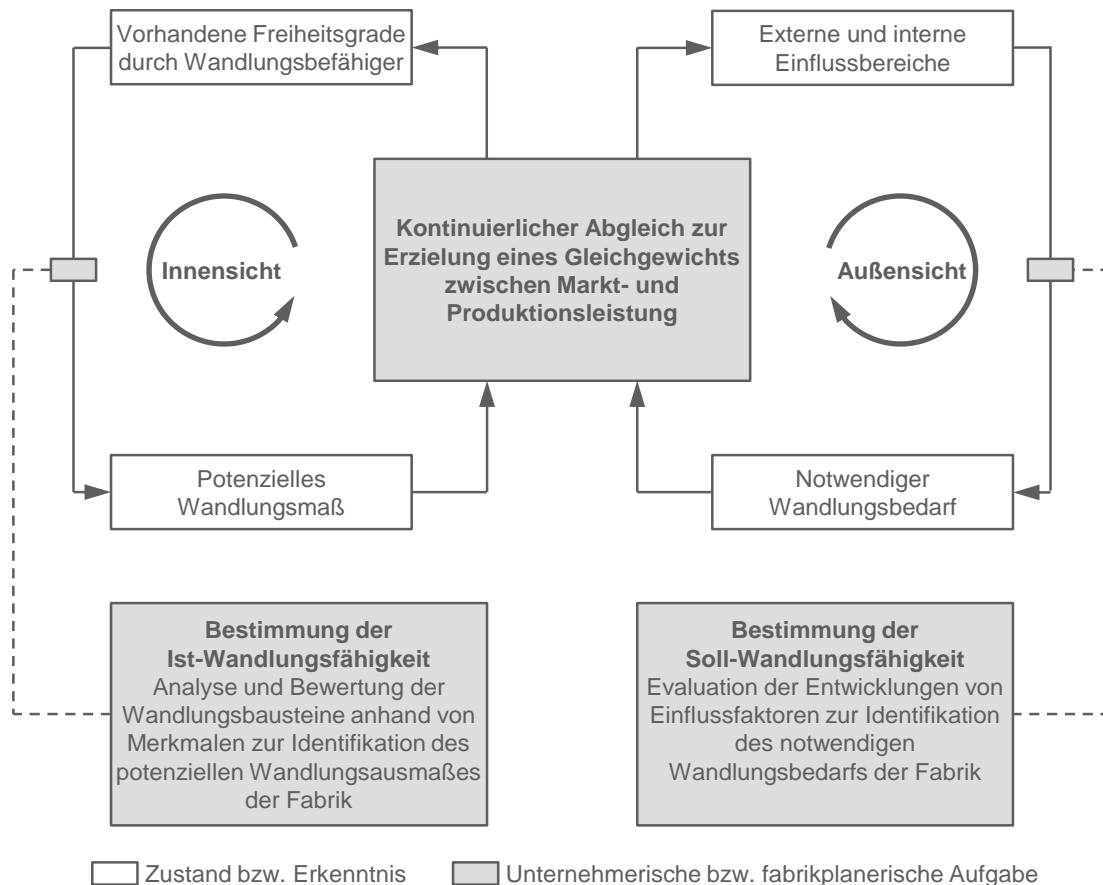


Abbildung 2-22: Abgleich von Ist- und Soll-Wandlungsfähigkeit
(HERNANDEZ MORALES 2002, S. 64)

Zur Untersuchung der Ist-Wandlungsfähigkeit werden zunächst Wandlungsbausteine aufgenommen. Ein Wandlungsbaustein stellt die Kombination eines Fabrikobjektes und dessen Wandlungsbefähigern dar (HERNANDEZ MORALES 2002, S. 71). Für diese Bausteine lassen sich je nach Art der Wandlungsfähig-

keit, organisatorisch, räumlich oder technisch, Gestaltungsanforderungen definieren, durch deren Umsetzung die Wandlungsfähigkeit des Bausteins gesteigert werden kann (HERNANDEZ MORALES 2002, S. 75–83).

Die Ermittlung der Soll-Wandlungsfähigkeit basiert auf dem Szenario-Management (HERNANDEZ MORALES 2002, S. 92), das die Phasen der Vorbereitung, der Erstellung und des Transfers von Szenarien beinhaltet. Nach der Erstellung findet der Szenario-Transfer statt, dessen Ziel die Identifikation und Evaluation potenzieller Wandlungsanforderungen ist. Dabei werden die Wandlungsanforderungen durch die zwei Größen Wandlungsbreite und Wandlungstiefe beschrieben. Die Wandlungsbreite kennzeichnet die Anzahl betroffener Wandlungsobjekte. Sie wird über eine Auswirkungsmatrix bestimmt, welche die Szenarien und die Wandlungsobjekte gegenüberstellt. Dadurch wird ersichtlich, welche Objekte von den Szenarien hinsichtlich Veränderungen beeinflusst werden. Die Wandlungstiefe umfasst die Differenz zwischen Ist-Zustand und Soll-Zustand. Für jedes Wandlungsobjekt ist zu prüfen, welche Wandlungsbefähiger in Anbetracht der Szenarien erforderlich sind. Hieraus lassen sich anschließend Wandlungsanforderungen ableiten. Sie dienen der Definition von Maßnahmen, mit denen der Soll-Zustand unter Berücksichtigung der Gestaltungsanforderungen für Wandlungsbausteine erreicht werden kann. (HERNANDEZ MORALES 2002, S. 121–123)

Beurteilung

Mittels des Szenario-Managements leitet Hernandez Morales die Wandlungsbreite und Wandlungstiefe ab, welche die Wandlungsanforderungen beschreiben. Diese Ableitung wird kontinuierlich durchgeführt, der Schwerpunkt liegt im Anschluss an die Anforderungsidentifikation allerdings auf der Gestaltung der Wandlungsfähigkeit. Dafür werden ausführlich die vorhandene Wandlungsfähigkeit ermittelt (HERNANDEZ MORALES 2002, S. 83–91), und wandlungsfördernde Gestaltungsempfehlungen zu deren Modifikation unterbreitet (HERNANDEZ MORALES 2002, S. 75–83). Die szenariobasierte Gestaltung der Wandlungsfähigkeit ist in die klassische Ablaufplanung der Fabrik integriert (HERNANDEZ MORALES 2002, S. 17, 120-121).

Die Teilforschungsfrage 2.1 wird nur tangiert, indem ein Überblick zu wandelnder Objekte in einer Matrix gegeben wird (HERNANDEZ MORALES 2002, S. 124). Ebenso bleibt der Aufwand zur Nutzung der Wandlungsfähigkeit (Teilforschungsfrage 2.3) unerwähnt. Dies ist nicht überraschend, da der Schwerpunkt auf die Gestaltung der Wandlungsfähigkeit gelegt wurde.

2.2.4 NOFEN 2006

NOFEN präsentiert in seiner Dissertation unter dem Titel „Regelkreisbasierte Wandlungsprozesse der modularen Fabrik“ einen Ansatz, mit dem die Wandlungsbedarfsüberwachung sowie die anschließende Wandlungsprozessauslösung, Wandlungsprozessdurchführung und Ergebniskontrolle gelingen soll.

Beschreibung

Die modulare Fabrik setzt sich aus Fabrikmodulen zusammen. Ein Fabrikmodul (siehe Abbildung 2-23) ist ein sozio-technisches Subsystem, das nach technischen (B), organisatorischen (O) sowie räumlichen und gebäudetechnischen (R) Aspekten ausgestaltet ist. Ein Modul beinhaltet Fabrikelemente, die den Aspekten zugeordnet werden können, und Submodule beziehungsweise Subsysteme (S_n). Das Modul lässt sich einer der Ebenen Einzelplatz, Gruppe, Bereich, Generalstruktur oder Standort zuweisen. (NOFEN 2006, S. 29, 33)

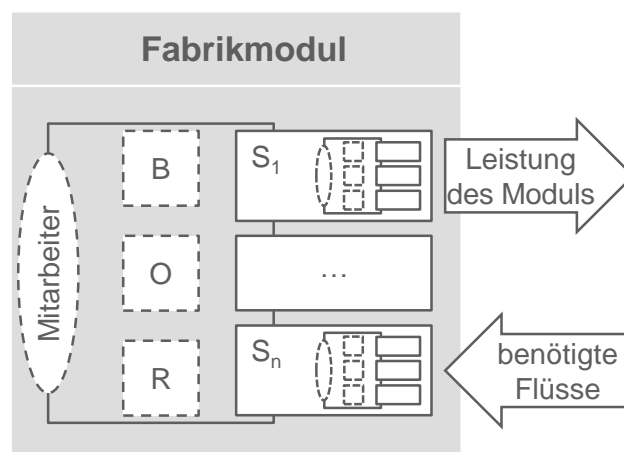


Abbildung 2-23: Fabrikmodul
(NOFEN 2006, S. 33)

Die Fabrikmodule dienen der Konkretisierung des Betrachtungsobjektes und somit als Grundlage der thematisierten regelkreisbasierten Wandlungsprozesse (NOFEN 2006, S. 50). Der Regelkreis ist in Abbildung 2-24 dargestellt und stellt das zentrale Konzept dar (NOFEN 2006, S. 51). Er besteht aus den sieben Regelkreisbausteinen Fabrikbetrieb, Strukturcontrolling, Strategische Unternehmensplanung, Wandlungsmonitor, Szenarioplanung, Fabrikplanung sowie Umsetzung, von denen der Wandlungsmonitor und die Fabrikplanung wegen ihrer hohen Bedeutung für die Aufgabenstellung kurz vorgestellt werden (NOFEN 2006, S. 57, 92).

Der Wandlungsmonitor detektiert anhand der Eingangsinformationen aus dem Strukturcontrolling und der strategischen Unternehmensplanung den Wandlungsbedarf. Daraufhin werden vorläufige Wandlungsprozesse abgeleitet. Wenn das bestehende Wandlungspotenzial der Fabrik ausreicht, kann der vorläufige Wandlungsprozess als endgültig bezeichnet werden (Potenzialnutzung). Liegt ein Wandlungspotenzialdefizit vor, muss die strategische Unternehmensplanung über dessen Behebung mittels einer Anpassung der Wandlungsfähigkeit entscheiden (Potenzialveränderung). (NOFEN 2006, S. 100–112)

Der Fabrikplanung obliegt die Aufgabe, vom Wandlungsmonitor ermittelte Wandlungsprozesse, gegebenenfalls unter Berücksichtigung der Szenarioplanung, auszuplanen. Diese Planung basiert auf den drei Phasen der klassischen Fabrikplanung, bestehend aus Strukturierung, Gestaltung und Realisierung. (NOFEN 2006, S. 114–116)

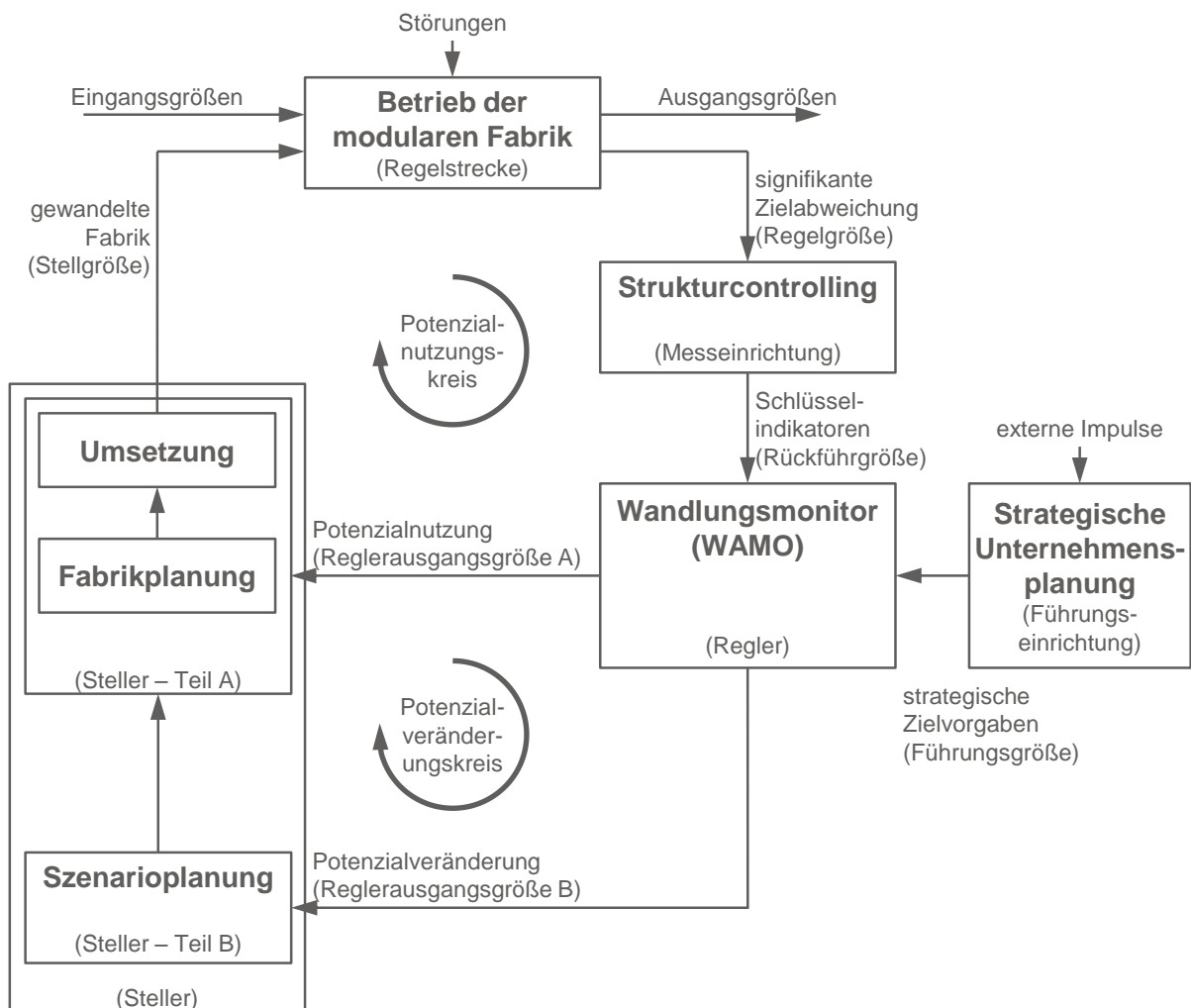


Abbildung 2-24: Regelkreis der Wandlungsfähigkeit
(NOFEN 2006, S. 53)

Beurteilung

Nachdem vom Wandlungsmonitor ein Wandlungsbedarf erkannt wurde, folgt die Ermittlung eines vorläufigen Wandlungsprozesses. Dafür werden die vom Wandel betroffenen Fabrikmodulbestandteile identifiziert. Dies geschieht anhand von Wirkketten, die Wandlungstreiber mit primär und in dessen Folge betroffenen Fabrikmodulbestandteilen verknüpfen (NOFEN 2006, S. 79). Leider schlägt NOFEN kein methodisches Vorgehen zur Zusammenfassung von erforderlichen Veränderungen vor, sondern verweist auf einzelfallspezifische Entscheidungen der Planer. Er präsentiert zwar eine Entscheidungsmatrix, welche Wandlungsmaßnahme durchzuführen ist, wenn zwei Wandlungsmaßnahmen gleichzeitig an einem Objekt erfolgen sollen. Es wird aber nicht der Fall von mehr als zwei Wandlungsmaßnahmen betrachtet. Zudem werden einige Schritte für die Zusammenstellung erforderlicher Veränderungen übersprungen. Die Teilforschungsfrage 2.1 wird also nur unzureichend beantwortet. (NOFEN 2006, S. 101–106)

Auf die Ermittlung des vorläufigen Wandlungsprozesses folgt die Ableitung des endgültigen Wandlungsprozesses. Ein Bestandteil dieser Ableitung bildet die Wandlungspotenzialanalyse (NOFEN 2006, S. 40–46). Sie dient dem Abgleich, ob das vorliegende Wandlungspotenzial ausreichend ist. Der letzte Schritt zur Ableitung des endgültigen Wandlungsprozesses schätzt den Zeitbedarf des Wandlungsprozesses ab. (NOFEN 2006, S. 107–112)

Die Abschätzung des Aufwandes von Prozessen wird indirekt über die Einordnung von Veränderungen in vier Prozessgruppen vorgenommen. Bei der Wandlungspotenzialnutzung können die drei Prozessgruppen Elementveränderung, Modulveränderung und Strukturveränderung unterschieden werden. Die vierte Prozessgruppe stellt die Wandlungspotenzialveränderung an sich dar. Der zeitliche Aufwand wird dann über die abhängig von der Prozessgruppe ausstehenden Phasen der klassischen Fabrikplanung abgeschätzt. (NOFEN 2006, S. 111, 115, 159)

Ein monetärer Aufwand des Wandlungsprozesses bleibt aber unerwähnt, so dass die Teilforschungsfrage 2.3 nicht zur vollsten Zufriedenheit behandelt wird. Darüber hinaus wird zwar allgemein die Nutzung des vorhandenen Wandlungspotenzials angesprochen, die Ermittlung der Wandlungsfähigkeit dient aber vornehmlich dem Abgleich von Ist- und Soll-Zustand und nicht als Grundlage für die Nutzung der Wandlungsfähigkeit.

2.2.5 POHL 2013

POHL publizierte in seiner Dissertation mit dem Titel „Adaption von Produktionsstrukturen unter Berücksichtigung von Lebenszyklen“ eine Methode zur Identifikation, Erstellung und Bewertung anfallender Produktionsstrukturadaptionen. Dabei werden Produkt-, Technologie- und Betriebsmittellebenszyklen berücksichtigt (siehe auch POHL 2013, S. 27–36). (POHL 2013, S. 5)

Unter der Produktionsstruktur versteht POHL das Gefüge des Produktionssystems, welches „(...) die Beschaffenheit der einzelnen Elemente sowie deren Anordnung (Relationen) und Vernetzungen innerhalb des Produktionssystems (...)“ beinhaltet (POHL 2013, S. 6).

Beschreibung

Die Methode basiert auf den drei in Abbildung 2-25 dargestellten Modellen. Das Produktionsstrukturmodell umfasst die betrachteten Elemente aus den drei Schichten Betriebsmittel, Personal sowie Infrastruktur und zeigt ihre funktionalen und räumlichen Beziehungen untereinander auf (POHL 2013, S. 52). Im Unsicherheitenmodell werden quantitative und qualitative Risiken der Identifikation des Adaptionbedarfes sowie der Erstellung und Bewertung von Adaptionsszenarien beurteilt (POHL 2013, S. 57). Das Kostenmodell bildet anhand der Produktionsstrukturelemente Kostenbausteine, die eine Aussage über Adaptionskosten bei Beachtung von Unsicherheiten ermöglichen (POHL 2013, S. 54–56).

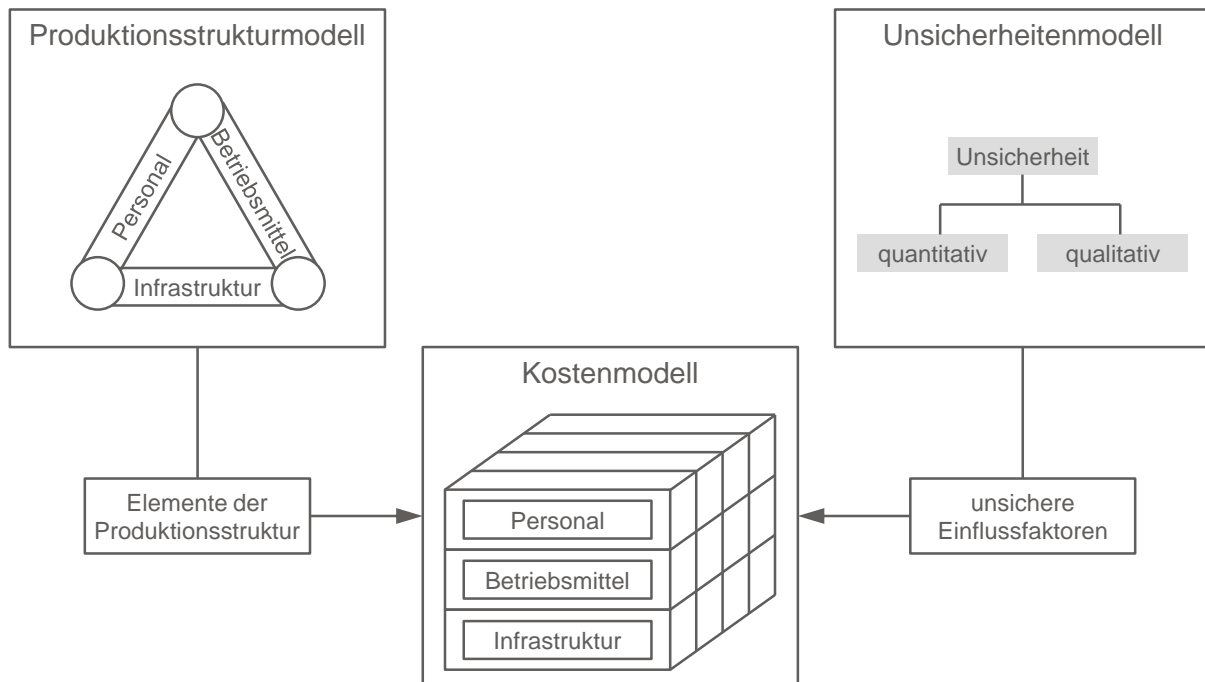


Abbildung 2-25: Modelle der Methode zur Produktionsstrukturadaption
(POHL 2013, S. 49)

Aufbauend auf den drei Modellen wird die Methode durchgeführt. Deren Ablauf lässt sich, wie Abbildung 2-26 aufzeigt, in drei Phasen gliedern. Die erste Phase „Identifikation des Adaptionbedarfs“ ermittelt die Effizienz der aktuellen Produktion und das Auftreten zeitdiskreter Änderungsauslöser. Dabei stellen die Lebenszyklusverläufe der Produkte, Technologien und Betriebsmittel eine zentrale Größe dar, anhand derer Adaptionen antizipiert und analysiert werden können. Als zweites folgt die Erstellung von Adaptionsszenarien. Dafür werden zunächst mögliche Strukturmaßnahmen aus der Analyse des ermittelten Adaptionbedarfs abgeleitet. Die Kombination der Maßnahmen wird in Adaptionsszenarien festgehalten, denen Adaptionskosten zuzuordnen sind. Schließlich gilt es, die Lebenszyklusverläufe der Produktionsstrukturelemente und Produkte zu harmonisieren. Die dritte Phase „Bewertung der Adaptionsszenarien“ zielt auf die Auswahl des Adaptionsszenarios mit dem größten monetären Nutzen. (POHL 2013, S. 61–62)

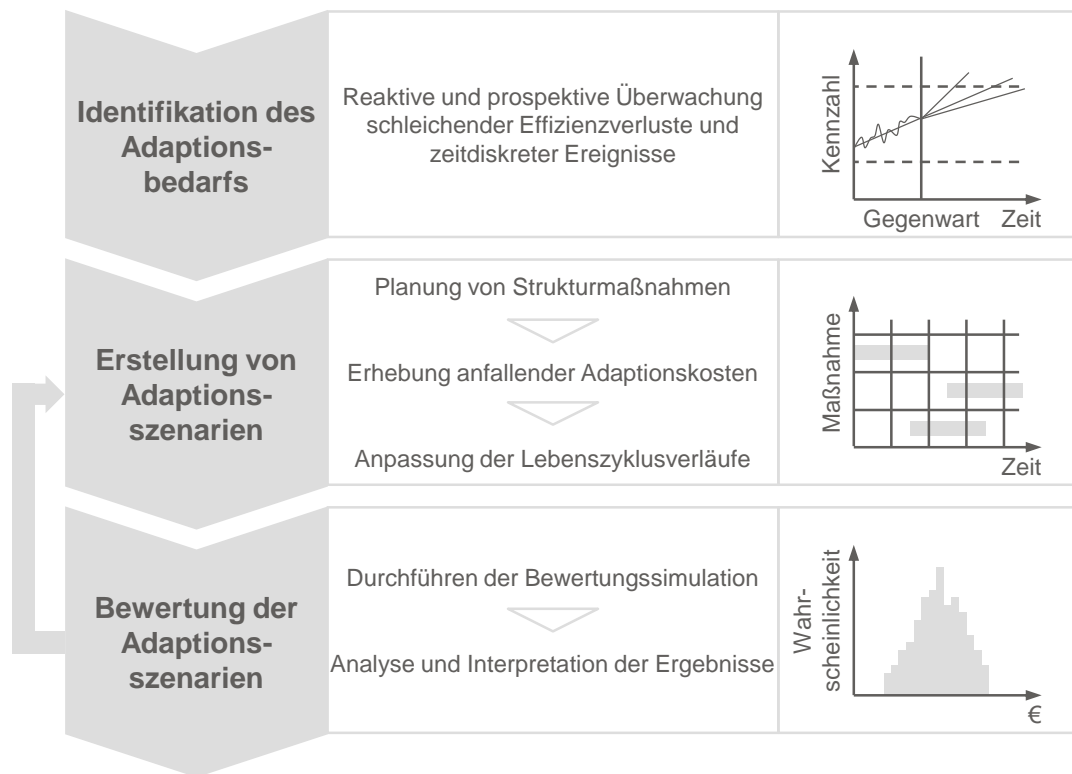


Abbildung 2-26: Methode zur Adaption von Produktionsstrukturen (POHL 2013, S. 62)

Beurteilung

Die Änderungstreiber aus dem Fabrikumfeld und der Fabrik selbst werden bei POHLs Methode mit einem Rezeptormodell wahrgenommen. Das Modell bündelt Änderungstreiber in den sechs Rezeptoren Produkt bzw. Produktvarianten, Stückzahl, Zeit, Kosten, Qualität und Technologie (POHL 2013, S. 12–13). Der Adaptionbedarf wird durch die stetige Überwachung der sechs strukturelevanten Kennzahlen Liefertreue, Durchlaufzeit, Betriebsmittelauslastung, Stückkosten, Betriebsmittelverfügbarkeit und Instandhaltungskosten ermittelt (POHL 2013, S. 64–65). Dabei erläutert POHL, dass sich Adaptionen auf Veränderungen der Rezeptoren zurückführen lassen. Er spezifiziert allerdings nicht, auf welche Art die Rezeptoren die Kennzahlen beeinflussen oder inwiefern sie den Kennzahlen zugeordnet werden können (POHL 2013, S. 64, 68–69). Demzufolge lässt sich von den Änderungstreibern kaum auf den Veränderungsbedarf schließen, sodass eine Analyse der Wirkung von Änderungstreibern (Teilforschungsfragen 1.1, 1.2 und 1.3) nicht gelingen kann.

Bei der Erstellung von Adaptionsszenarien werden Strukturmaßnahmen nach klassischen Methoden der Fabrikplanung erarbeitet. Dabei helfen neben im Rahmen des Adaptionbedarfs ermittelten Adaptionszeitfenstern auch Abhän-

gigkeitsmatrizen. Diese Matrizen stellen bestehende und neue Produkte, Betriebsmittel oder Technologien gegenüber, sodass Alternativen und Auswirkungen von Adaptionen ersichtlich werden. Leider wird eine Nutzung der Wandlungsfähigkeit von Betriebsmitteln bei der Maßnahmenplanung nicht erwähnt. Bezüglich der Teilforschungsfrage 2.2 liefert POHLs Arbeit daher keine Antworten. (POHL 2013, S. 87–88)

2.2.6 KLEMKE 2014

KLEMKE stellt in seiner Dissertation „Planung der systemischen Wandlungsfähigkeit von Fabriken“ eine Planungsmethodik vor, die Veränderungsbedarfe identifiziert und anschließend bewertet, ob die Wandlungsfähigkeit der Fabrik für die Umsetzung von Handlungsmaßnahmen ausreichend ist.

Beschreibung

Die Planungsmethodik beinhaltet die zwei Methoden Wandlungsmonitoring und Wandlungsfähigkeitsbewertung, wie Abbildung 2-27 aufzeigt. Das Wandlungsmonitoring prüft zyklisch, ob eine Anpassung der Fabrik nötig ist. Wenn ein Handlungsbedarf detektiert wurde, wird die Methode der Wandlungsfähigkeitsbewertung angewandt. Beide Methoden enthalten jeweils fünf Phasen. Der Planungsmethodik sind sechs Bausteine zu Grunde gelegt, auf die in den Phasen zurückgegriffen wird. (KLEMKE 2014, S. 83)

Das Wandlungsmonitoring zielt auf die Aufdeckung von notwendigen Veränderungen ab. Dazu werden in der ersten Phase das Produktspektrum und in der zweiten Phase die Prozesse und Elemente der Fabrik in einer Wandlungsgrafik aufgenommen. In den Phasen Drei und Vier werden Veränderungstreiber identifiziert und deren Entwicklung prognostiziert. Darauf aufbauend kann in der fünften Phase anhand einer Gegenüberstellung von Produktfamilien und Veränderungstreibern ermittelt werden, welche Produktfamilien einen Veränderungsbedarf hervorrufen. Diejenigen Prozesse und Elemente der Fabrik, die an der Herstellung von Produktfamilien mit Veränderungsbedarf beteiligt sind, bilden den Betrachtungsfokus als Grundlage für die Wandlungsfähigkeitsbewertung. (KLEMKE 2014, S. 84–93)

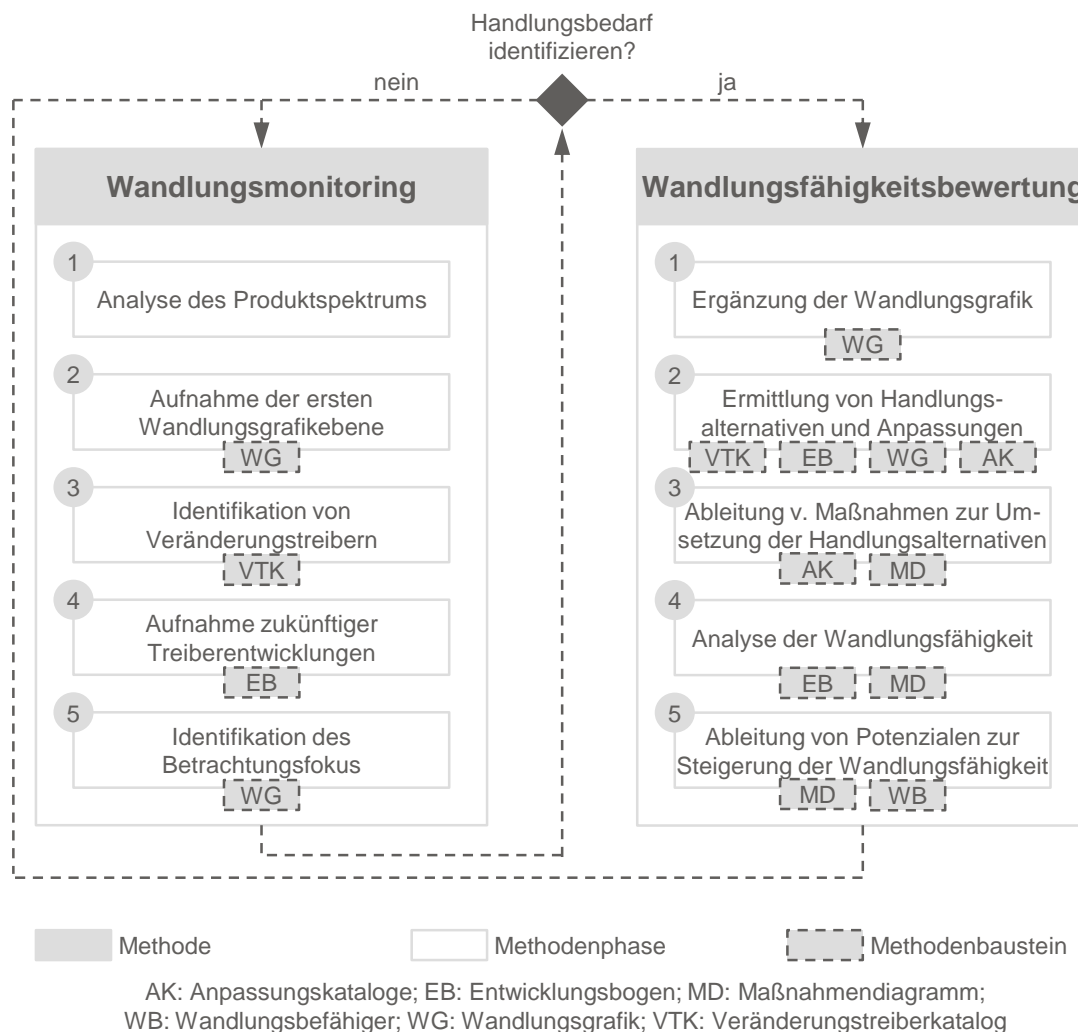


Abbildung 2-27: Methodenablauf
(KLEMKE 2014, S. 83)

Die Wandlungsfähigkeitsbewertung erstellt Handlungsmaßnahmen und überprüft deren Umsetzbarkeit. In der ersten Phase wird die Anpassung der im Monitoring erstellten Wandlungsgrafik an den Betrachtungsfokus vorgenommen. In Phase Nummer Zwei müssen Handlungsalternativen und Anpassungen erdacht werden, mit denen sich der Veränderungsbedarf bewältigen lässt. Daraus werden drittens konkrete Maßnahmen geformt. In der vierten Phase ist zu prüfen, ob diese Maßnahmen im verfügbaren Zeitraum umsetzbar sind. Wenn die Maßnahmen- beziehungsweise Wandlungsdauer geringer als der verfügbare Wandlungszeitraum ist, gilt die Fabrik als ausreichend wandlungsfähig. Ist dies nicht der Fall, werden in der fünften Phase Potenziale zur Steigerung der Wandlungsfähigkeit ermittelt und Steigerungsmaßnahmen vorgeschlagen. (KLEMKE 2014, S. 93–107)

Beurteilung

Die auf den ersten Blick zu den Forschungsfragen sehr passend anmutende Arbeit weist bei genauerem Blick einen wesentlichen Unterschied bei der Wandlungsfähigkeitsbewertung auf.

KLEMKE versteht unter Wandlungsfähigkeit das Potenzial, jegliche Veränderungen in den fünf Veränderungsdimensionen Stückzahl, Varianten, Kosten, Zeit und Qualität bei Anpassung der Elemente und Relationen hinsichtlich Art und Anzahl durchführen zu können. Je geringer der Aktivierungsaufwand, gemessen in Wandlungsdauer und Wandlungskosten, zur Befriedigung des Veränderungsbedarfs ausfällt, desto höher ist der Grad der Wandlungsfähigkeit. (KLEMKE 2014, S. 39)

Infolgedessen trifft er bei der Bewertung der Wandlungsfähigkeit die Aussage, ob der Grad der Wandlungsfähigkeit für die Umsetzung von geplanten Maßnahmen ausreichend ist oder nicht. Dies geschieht über den Abgleich von verfügbarem Wandlungszeitraum und notwendiger Wandlungsdauer. (KLEMKE 2014, S. 100–101)

Die Wandlungskosten werden auf die Stückkosten in der Veränderungsdimension Kosten umgelegt. Wenn die Stückkosten durch die von den Maßnahmen verursachten Kosten negativ beeinflusst werden, ist die Möglichkeit einer Preissteigerung zu prüfen. Ist die Preissteigerung nicht möglich, sind die Wandlungsmaßnahmen unzureichend. (KLEMKE 2014, S. 42, 100)

Die Bewertung der Wandlungsfähigkeit wird also rückblickend im Anschluss an die Definition von Maßnahmen vorgenommen. Dahingegen zielt die Teilforschungsfrage 2.2 darauf ab, die Wandlungsfähigkeit des Systems prospektiv zu bewerten, um mögliche Maßnahmen unter Nutzung der verfügbaren Wandlungsfähigkeit abzuleiten (siehe Abbildung 2-21 auf Seite 38).

2.3 Zwischenfazit – Konkretisierung des Forschungsbedarfes

In Kapitel 1.2 wurde bereits geschildert, dass existierende und implementierte Planungsansätze zur Wandlungsfähigkeit bei Weitem nicht ausreichend sind. Auf den ersten Blick erscheint die Anzahl der recherchierten und teilweise vorgestellten Literatur hoch. Zieht man jedoch den Veröffentlichungszeitraum von deutlich über einer Dekade in Betracht, wird die Anzahl der herausragenden Bedeutung der Wandlungsfähigkeit kaum gerecht. Die ausbaufähige Anzahl ist auf die Aktualität der Thematik zurückzuführen, zu der grundlegende Werke erst zu Beginn des Jahrtausends veröffentlicht wurden. Frühe Definitionen des Begriffs Wandlungsfähigkeit sind kaum älter als zehn Jahre. Eine weitere Auffälligkeit, bei dem sich die Aktualität der Thematik offenbart, ist die geringe Anzahl fachspezifischer Bücher, die abgesehen von Dissertationen in der Bibliothek aufzufinden sind. Nach der systematischen Literaturrecherche kann ein allgemeiner Forschungsbedarf ausgemacht werden, der die These des Mangels an Planungsansätzen zur Wandlungsfähigkeit untermauert.

Noch interessanter ist die Lektüre der Veröffentlichungen, die in Kapitel 2.2 klassifiziert und teilweise detailliert diskutiert worden sind. Der Überblick in Tabelle 2-1 zeigt die Defizite der einzelnen Techniken hinsichtlich der in dieser Arbeit untersuchten und durch die Klassifizierungskriterien repräsentierten Aspekte auf. Grundsätzlich kann zunächst festgehalten werden, dass mit der systematischen Literaturrecherche (siehe Kapitel 1.4) keine Technik gefunden werden konnte, die alle Kriterien vollständig erfüllt.

In Anbetracht des Erfüllungsgrades der Forschungsarbeiten bezüglich der Betrachtungsraumkriterien (Gestaltungsfeld, Erfolgsfaktor, Ebene) lässt sich das in dieser Arbeit definierte Fabriksystem zumeist als Teilmenge des Betrachtungsraumes der klassifizierten Veröffentlichungen auffassen. Dies erklärt sich mit dem erheblich größeren möglichen Umfang der Dissertationen gegenüber dieser Masterarbeit. Dass das Fabriksystem als Teilmenge gesehen werden kann, zeigt aber die Plausibilität des gewählten Betrachtungsraumes in Form der Veränderungsfähigkeit von den Betriebsmitteln der Fabrik auf.

Die geringe Anzahl von Schriften, die die Veränderungskompetenz oder die Ebene des Unternehmensverbundes beziehungsweise die Betriebsmittelebene zum Thema haben, liegt in der Wahl der Suchbegriffe (siehe Kapitel 9.1) begründet. Die leeren Harvey-Balls stellen in diesem Zusammenhang somit keinen Forschungsbedarf dar, sondern dienen der Einordnung der untersuchten Veröffentlichungen.

Die Klassifizierungskriterien aus den Teilforschungsfragen können zwei Bereichen zugeteilt werden. Die Kriterien 1.1, 1.2 und 1.3 betreffen das Monitoring, während sich 2.1, 2.2 als auch 2.3 auf die Planung und Umsetzung beziehen.

Die Teilforschungsfragen aus dem Bereich Monitoring werden verhältnismäßig häufig behandelt, da viele Arbeiten einen Ist-Soll-Vergleich zwischen der vorliegenden Wandlungsfähigkeit und der gewünschten Wandlungsfähigkeit anstreben. Daraufhin werden Maßnahmen zur Steigerung der Wandlungsfähigkeit abgeleitet oder der wirtschaftlichste Grad an Wandlungsfähigkeit kalkuliert.

Durch die Einordnung der Forschungsfragen in den Regelkreis der kontinuierlichen Fabrikplanung (siehe Abbildung 2-21, S. 38) wurde vorweggenommen, dass die Arbeit einen Schwerpunkt auf die Nutzung der Wandlungsfähigkeit legt. Dies hat sich ob der fehlenden Literatur zu dieser Planungsklasse als gerechtfertigt erwiesen. Abgesehen von den Arbeiten von HARMS (2004), CISEK (2005) und VELKOVA (2014) befassen sich alle Schriften mit der Planungsklasse zur Gestaltung der Wandlungsfähigkeit. Dabei werden die Teilforschungsfragen 2.1 bis 2.3 zwar streckenweise tangiert, aber entweder nicht zusammenhängend, nicht im notwendigen Umfang oder mit anderen Zielsetzungen behandelt. Selbst die Arbeiten von HARMS (2004), CISEK (2005) und VELKOVA (2014) beantworten die Teilforschungsfragen 2.1 bis 2.3 nicht in ausreichender Weise. Durch die Beurteilung der zunächst vielversprechend erscheinenden Ansätze von HERNANDEZ MORALES (2002), NOFEN (2006), POHL (2013) und KLEMKE (2014) (siehe Kapitel 2.2.3 bis 2.2.6) konnten deren Unzulänglichkeiten hinsichtlich der Forschungsambitionen dieser Arbeit ebenfalls aufgezeigt werden.

Abschließend wird festgehalten, dass die recherchierten Veröffentlichungen die Teilforschungsfragen zum Monitoring intensiver als die zur Planung und Umsetzung beleuchtet werden. In beiden Bereichen wird jedoch die Nutzung der Wandlungsfähigkeit von den Veröffentlichungen nicht im Sinne der Zielsetzung bearbeitet. Demzufolge darf man nicht dem Trugschluss erliegen, dass eine Kombination bestehender Ansätze ausreichend wäre. Für die Planungsklasse zur Nutzung der Wandlungsfähigkeit ist ergänzend zur Modifikation veröffentlichter Ideen die Entwicklung weiterführender Ansätze unumgänglich.

Weiterhin soll auf die Auflösung des scheinbaren Widerspruchs hingewiesen werden, dass die Planung zur Nutzung der Wandlungsfähigkeit ein Paradoxon sei, da die Wandlungsfähigkeit indes als Erfolgsfaktor im nicht planbaren Spannungsfeld gilt. Getreu dem Motto „Wenn schon, denn schon“ wird es je-

doch als sinnvoll erachtet, Planungen über die Nutzung der vorliegenden Wandlungsfähigkeit anzustreben, da Wandlungen des Fabriksystems zeitlichen und monetären Aufwand verursachen. Es stellen sich beispielsweise folgende anwendungsbezogene Fragen: Wenn Flexibilitätskorridore unter Nutzung der Wandlungsfähigkeit zu verschieben sind, wie sollten sie dann in Anbetracht zukünftiger Entwicklungsszenarien am besten verschoben werden? Wenn das Fabrikssystem wandlungsfähig ist, wie können Optionen in Form von Änderungsmaßnahmen zu dessen Nutzung aufgezeigt werden? Schlussfolgernd mündet dies in der bereits formulierten Forschungsfrage aus der Zielsetzung (vgl. Kapitel 1.3):

Wie müssen Fabrikssysteme modelliert werden, sodass die Wirkung von Änderungstreibern analysiert und für die Ableitung geeigneter Änderungsmaßnahmen nutzbar gemacht werden kann?

Aus den in Kapitel 1.1 und 1.2 beschriebenen Herausforderungen sowie den in diesem Kapitel dargelegten Defiziten bestehender Modellierungstechniken ergibt sich ein begründeter Forschungsbedarf hinsichtlich der Forschungsfrage. Im nächsten Kapitel werden die für einen erfolgreichen Forschungsbeitrag notwendigen Anforderungen an das Modell ermittelt.

3 Anforderungen an das Modell

Aufgrund des hohen Aufwandes für Versuche an der realen Fabrik, der beinahe zur Unmöglichkeit der Versuche führt, ist ein Modell unentbehrlich. Die modellseitig gewonnenen Erkenntnisse sollen bei der Erklärung und Gestaltung der Fabrik helfen. (vgl. Kapitel 2.1.2)

Aufbauend auf dem identifizierten Forschungsbedarf in den Kapiteln 2.2 und 2.3 folgt in diesem Kapitel die Formulierung der Anforderungen an das Modell unter Berücksichtigung der Aufgabenstellung. Die Anforderungen lassen sich in zwei Gruppen unterteilen. Kapitel 3.1 widmet sich den spezifischen, aus der Zielsetzung resultierenden, Anforderungen. Kapitel 3.2 stellt allgemeine und grundlegende Anforderungen an Modelle zusammen. Abgeleitet aus den aufgabenspezifischen Anforderungen präsentiert Kapitel 3.3 vorab eine Übersicht des zu entwickelnden Modells und den Aufbau der folgenden Kapitel.

3.1 Aufgabenspezifische Anforderungen

Die aufgabenspezifischen Anforderungen sind in Tabelle 3-1 gelistet. Mit der Ermittlung von aufgabenspezifischen Anforderungen wird sichergestellt, dass das Modell nicht zum Selbstzweck entwickelt wird. Vielmehr soll eine Modellierung zur Lösung des definierten Problems in Form des aufgedeckten Forschungsbedarfes gelingen. Konsequenterweise richten sich die aufgabenspezifischen Anforderungen an den Teilforschungsfragen (siehe Kapitel 1.3) aus. Die Beantwortung der Teilforschungsfragen ist somit gleichbedeutend mit der Erfüllung der aufgabenspezifischen Anforderungen.

Tabelle 3-1: Aufgabenspezifische Anforderungen an das Modell

#	Anforderung
A1.1	Das Modell soll die Frage beantworten, welche Änderungstreiber auf das System wirken.
A1.2	Das Modell soll die Frage beantworten, auf welche Elemente und Relationen die Änderungstreiber wirken.
A1.3	Das Modell soll die Frage beantworten, welche Veränderungen des Systems erforderlich sind.
A2.1	Das Modell soll die Frage beantworten, wie erforderliche Veränderungen zusammengestellt werden können.
A2.2	Das Modell soll die Frage beantworten, welche Wandlungsfähigkeit das System besitzt.
A2.3	Das Modell soll die Frage beantworten, wie der Aufwand von Änderungsmaßnahmen bewertet werden kann.

Da die Teilforschungsfragen aus der zentralen Forschungsfrage abgeleitet worden sind, wird letztere zur näheren Erläuterung der aufgabenspezifischen Anforderungen herangezogen. Die Forschungsfrage lautet (siehe Kapitel 1.3):

Wie müssen Fabriksysteme modelliert werden, sodass die Wirkung von Änderungstreibern analysiert und für die Ableitung geeigneter Änderungsmaßnahmen nutzbar gemacht werden kann?

Die Forschungsfrage fordert zur Untersuchung zweier Modellierungsaspekte auf. Dies sind erstens die Wirkung von Änderungstreibern und zweitens die Ableitung von Änderungsmaßnahmen. Jedem Aspekt ist ein Teilmodell zugeordnet.

Aus dem ersten Modellierungsaspekt resultieren die ersten drei Teilforschungsfragen (1.1 bis 1.3). Laut DUDEN wird unter dem Begriff Wirkung die „durch eine verursachende Kraft bewirkte Veränderung“ verstanden (DUDEN 2014). Um die Wirkung zu analysieren beziehungsweise zu zergliedern, sind drei Fragen zu klären. Was ist die verursachende Kraft? Worauf wirkt die

Kraft? Welche Veränderungen bewirkt die Kraft? Die Fragen sind in Abbildung 3-1 mit den zugeordneten Teilforschungsfragen skizziert.

- 1.1) Welche Änderungstreiber wirken auf das System?
- 1.2) Auf welche Elemente und Relationen wirken die Änderungstreiber?
- 1.3) Welche Veränderungen des Systems sind erforderlich?

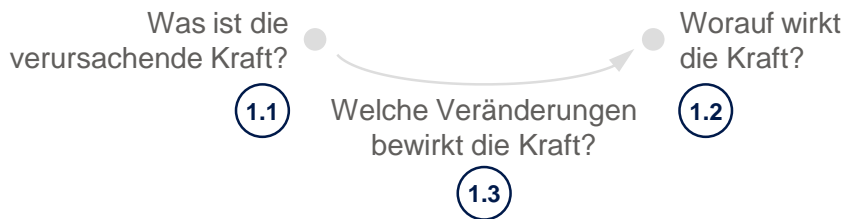


Abbildung 3-1: Wirkung von Änderungstreibern analysieren

Miteinander vereinigt stehen diese drei Teilforschungsfragen für die Multi-Kriterien-Analyse des Fabriksystems (vgl. Titel der Arbeit, Seite I). Bei dem nach den ersten drei Teilforschungsfragen respektive Anforderungen zu entwickelnden Teilmodell soll ein Erklärungsmodell entstehen, da diese Art von Modellen beim Verständnis von Wirkzusammenhängen hilft (siehe Kapitel 2.1.2).

Aus dem zweiten Modellierungsaspekt gehen die letzten drei Teilforschungsfragen (2.1 bis 2.3) hervor. Unter Ableitung wird die Synthese von Informationen zum Zweck der Maßnahmenkomposition verstanden. Damit das Modell für die Ableitung nutzbar ist, soll ein dreigliedriges Informationspaket bereitgestellt werden. Aufbauend auf der Multi-Kriterien-Analyse müssen zunächst einzelne, als erforderlich ermittelte, Veränderungen zusammengestellt werden. Daraufhin soll untersucht werden, welche inhärente Wandlungsfähigkeit das Fabrikssystem besitzt. Abschließend gilt es aufzuzeigen, wie sich der Aufwand von potenziellen Änderungsmaßnahmen bewerten lässt. Abbildung 3-2 illustriert den geschilderten Zusammenhang und die Einordnung der Teilforschungsfragen.

- 2.1) Wie können erforderliche Veränderungen zusammengestellt werden?
- 2.2) Welche Wandlungsfähigkeit besitzt das System?
- 2.3) Wie kann der Aufwand von Änderungsmaßnahmen bewertet werden?

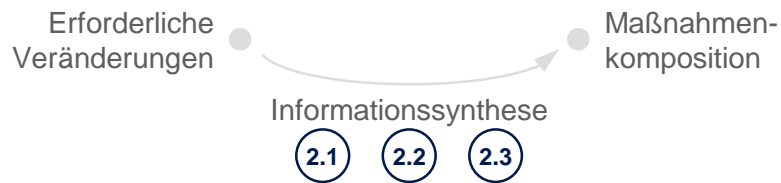


Abbildung 3-2: Für Ableitung von Änderungsmaßnahmen nutzbar machen

Zusammen stellen die drei Teilforschungsfragen die Grundlage für die Ableitung von Änderungsmaßnahmen (vgl. Titel der Arbeit, Seite I) dar. Das zweite Teilmodell wird anhand der letzten drei Teilforschungsfragen beziehungsweise Anforderungen entwickelt. Dabei wird die Modellklasse eines Gestaltungsmodells angestrebt, welches als Grundlage zur Bewertung von Alternativen dient (siehe Kapitel 2.1.2).

Damit unterstützt das Modell, welches zwei Teilmodelle inkludiert, im Kontext der Veränderungsplanung insbesondere die Planungsklasse zur Nutzung der Wandlungsfähigkeit, bezüglich der ein Forschungsbedarf mittels der systematischen Literaturrecherche erkannt wurde.

3.2 Grundlegende Anforderungen

Zur Sicherstellung der Modellqualität sind die sechs Grundsätze ordnungsmäßiger Modellierung zu berücksichtigen: Richtigkeit, Relevanz, Wirtschaftlichkeit, Klarheit, Vergleichbarkeit sowie systematischer Aufbau (RIST 2008, S. 48–50; ROSEMANN ET AL. 2005, S. 47–49; SCHEER ET AL. 2002, S. 743–744). Im Anschluss an die Modellierung ist zu überprüfen, ob die Entwicklung eines Erklärungs- und eines Gestaltungsmodells erreicht wurde. (vgl. Kapitel 2.1.2)

Tabelle 3-2 fasst die daraus abgeleiteten drei grundlegenden Anforderungen zusammen.

Tabelle 3-2: Grundlegende Anforderungen an das Modell

#	Anforderung
G1	Die sechs Grundsätze ordnungsmäßiger Modellierung (GoM) werden beachtet.
G2	Das Modell beinhaltet ein Teilmodell, das der Modellklasse des Erklärungsmodells zugeordnet werden kann.
G3	Das Modell beinhaltet ein Teilmodell, das der Modellklasse des Gestaltungsmodells zugeordnet werden kann.

3.3 Übersicht Modellaufbau

Zu jeder Anforderung wird ein Lösungsbaustein des Modells entwickelt, der diese erfüllt respektive die entsprechende Teilforschungsfrage beantwortet. Aufbauend auf der Basisdefinition des Fabrik-systems (siehe Kapitel 2.1.4) wird mit den Lösungsbausteinen die aufgabengerechte Modellierung des Fabrik-systems vervollständigt. Es wurde bereits erwähnt, dass es sich beim Fabrik-system genau genommen um ein Modell handelt, das mit der Systemtheorie als Beschreibungsinstrument modelliert wird. Das Fabrik-system kann demzufolge auch als ein Beschreibungsmodell aufgefasst werden, welches neben der Erfassung des Originalsystems zunächst keine weiteren Erkenntnisziele verfolgt (vgl. Kapitel 2.1.2). Durch die Erweiterung des Fabrik-systems um die Lösungsbausteine wird das Beschreibungsmodell zu einem Erklärungs- beziehungsweise Gestaltungsmodell.

Die Entwicklung des Modells orientiert sich an den aufgabenspezifischen Anforderungen (siehe Tabelle 3-1). Die grundlegenden Anforderungen aus Tabelle 3-2 werden implizit berücksichtigt. Abbildung 3-3 gibt einen Überblick über den Aufbau des zu entwickelnden Modells. Das erste Teilmodell wird in Kapitel 4, das zweite Teilmodell in Kapitel 5 entwickelt. Beide Teilmodelle umfassen jeweils drei Lösungsbausteine.

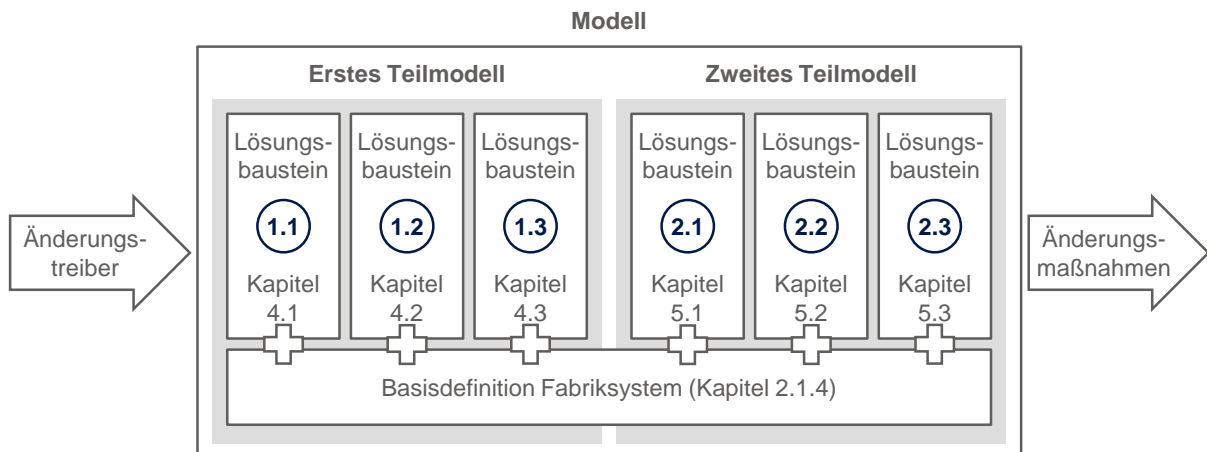


Abbildung 3-3: Aufbau des zu entwickelnden Modells

4 Analyse – Wirkung von Änderungstreibern

Die Entwicklung des ersten Teilmodells orientiert sich an den aufgabenspezifischen Anforderungen A1.1, A1.2 und A1.3, die im vorangegangenen Kapitel ermittelt wurden (siehe Tabelle 3-1). In den Kapiteln 4.1, 4.2 und 4.3 wird jeweils ein Lösungsbaustein für eine Anforderung entwickelt. Die grundlegenden Anforderungen G1 und G2 aus Tabelle 3-2 werden implizit berücksichtigt.

4.1 Lösungsbaustein 1.1: Welche Änderungstreiber?

Der im Folgenden zu entwickelnde Lösungsbaustein behandelt die Anforderung A1.1 beziehungsweise die Teilforschungsfrage 1.1: Welche Änderungstreiber wirken auf das System?

Zunächst wird in diesem Kapitel ein Überblick über Änderungstreiber gegeben. Daran schließt eine Erläuterung des Rezeptormodells und der Veränderungsdimensionen von Fabrikfunktionen an, mit denen die Änderungstreiber aufgegriffen werden können. Es folgt die Vorstellung des Szenario-Managements als Methode für die Projektion der Änderungstreiber. Das Kapitel schließt mit einem kurzen Fazit, in welchem der entwickelte Lösungsbaustein zusammenfassend präsentiert wird.

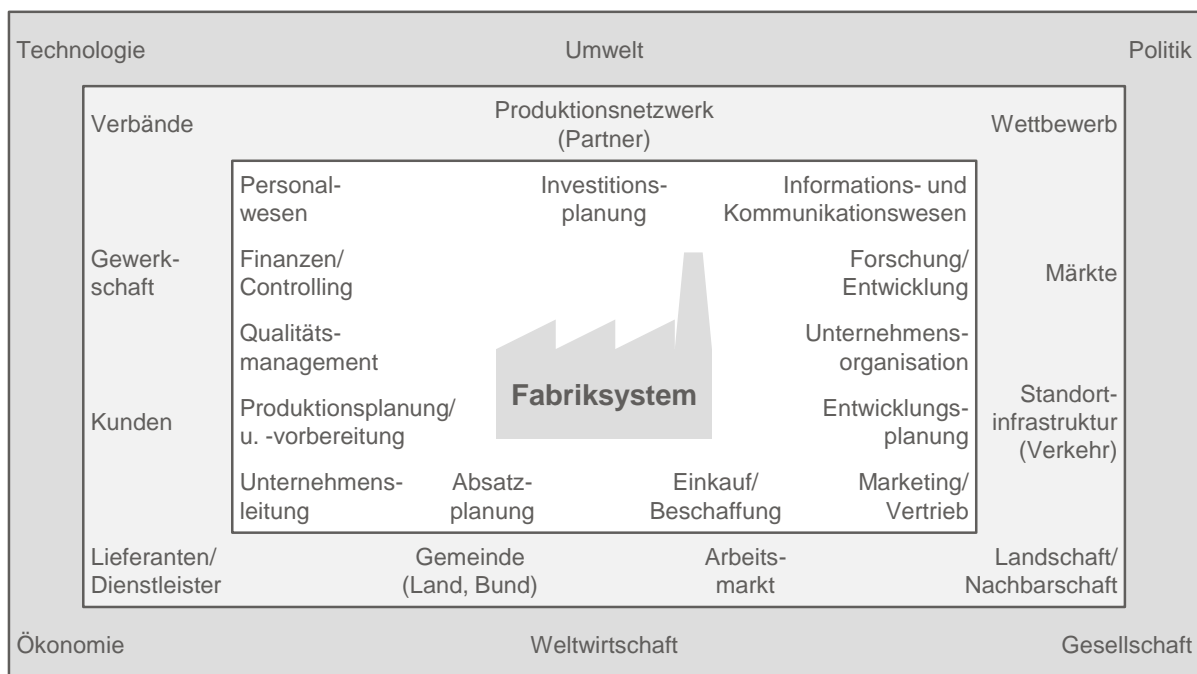
Änderungstreiber

Fabriken befinden sich heutzutage in einem von Komplexität und Dynamik dominierten turbulenten Spannungsfeld (siehe Kapitel 1.1). Die Treiber der Turbulenz stellen die verursachende beziehungsweise treibende Kraft dar, die Veränderungen im Fabrikssystem auslösen. Infolgedessen werden sie auch (Ver-)Änderungstreiber genannt. Häufig ist ebenfalls die Rede von Wandlungstreibern. Dies lässt sich aber genau genommen nur rückwirkend beurteilen, wenn der Treiber tatsächlich eine als Wandlungsprozess spezifizierte Veränderung ausgelöst hat. Deshalb soll zunächst allgemein von Änderungstreibern gesprochen werden, die eine nicht spezifizierte Veränderung des Fabriksystems nach sich ziehen.

Die Änderungstreiber sind so mannigfaltig wie ihre Herkunft. Abbildung 4-1 zeigt ein differenziertes Bild mit zahlreichen Herkunftsbereichen auf, die sich drei Ringen zuordnen lassen. Die Bereiche des inneren Rings entsprechen dem Fabrikumfeld. Der mittlere Ring umfasst Herkunftsbereiche aus dem Unternehmensumfeld, der äußere Ring Bereiche des globalen Umfeldes. Die Treiber des Fabrikumfeldes können als unternehmensintern, die des mittleren

und äußeren Rings als unternehmensextern aufgefasst werden (KLEMKE 2014, S. 15; WIENDAHL ET AL. 2009, S. 15). (HERNANDEZ MORALES 2002, S. 109–110)

Im Gegensatz zu den externen Treibern, gelten die internen als lenkbar (HERNANDEZ MORALES 2002, S. 109–110). Gleichwohl bedeutet dies nicht, dass lenkbaren Treibern immer intrinsische Motive zugrunde liegen. Beispielsweise können Veränderungen von unternehmensstrategischen Entscheidungen verursacht werden, die vom Wettbewerb um Kunden beeinflusst worden sind. Sowohl die unternehmensinternen als auch die externen Änderungstreiber wirken permanent auf die Fabrik ein (NOFEN ET AL. 2005, S. 12), in deren Folge die kontinuierliche Fabrikplanung im Regelkreis unumgänglich geworden ist (vgl. Seiten 34-35).



Einflussbereiche mit lenkbaren Änderungstreibern

Fabrikumfeld

Einflussbereiche mit nicht lenkbaren Änderungstreibern

Unternehmensumfeld

Globales Umfeld

*Abbildung 4-1: Herkunftsbereiche von Änderungstreibern
(HERNANDEZ MORALES 2002, S. 110)*

Ein unternehmensinterner Änderungstreiber aus dem Bereich der Forschung und Entwicklung ist beispielsweise die Verkürzung der Produktlebenszyklen, woraufhin die Frequenz der Veränderungen in der Fabrik steigen kann. Aus dem unternehmensexternen Bereich der Kunden (Unternehmensumfeld) lässt

sich der Verlauf von Auftragseingängen als Treiber identifizieren, da saisonale oder stochastische Schwankungen zu Veränderungen der Fabrikkapazität führen können. Gesetze aus dem Bereich Umwelt/Ökologie des globalen Umfeldes sind ebenfalls ein Beispiel für Änderungstreiber, die durch Auflagen oder Vorschriften Veränderungen der Fabrik hinsichtlich der Entsorgung von Abfällen erzwingen. (HERNANDEZ MORALES 2002, S. 157–163)

Rezeptormodell und Veränderungsdimensionen

Die systematische Identifikation der Änderungstreiber stellt eine wesentliche Herausforderung für die Fabrikplanung dar (MÖLLER 2008, S. 21). Bei der Vielzahl an interdependenten und sich gegenseitig überlagernden Änderungstreibern kann glücklicherweise die Wirkung identischer Kräfte auf die Fabrik festgestellt werden (CISEK ET AL. 2002, S. 441).

CISEK ET AL. schlagen für die Identifikation der Änderungstreiber das Rezeptormodell vor, das in der Literatur viel Anklang gefunden hat. Unter einem Rezeptor wird in Anlehnung an die Biologie die Empfangseinrichtung eines Systems verstanden. Die Rezeptoren reagieren nur auf spezifische Reize, die sie dann gebündelt an die Fabrik weiterleiten. Dadurch werden die zahlreichen Änderungstreiber des turbulenten Spannungsfeldes auf ausgewählte Kanäle zusammengeführt. Zwischen der Umwelt und den Rezeptoren der Fabrik sind Entscheidungsinstanzen angesiedelt, welche die Interpretation der Umwelteinflüsse auf die Rezeptoren übernehmen. Es werden die fünf kanalisierenden Rezeptoren Produkt(-variante), Stückzahl, Kosten, Zeit und Qualität aufgeführt. (CISEK ET AL. 2002, S. 441–442)

Das Rezeptormodell ist von MÖLLER weiterentwickelt worden. Dabei hat er die Rezeptoren um einen sechsten (Technologie) ergänzt, wie in Abbildung 4-2 zu sehen ist. (MÖLLER 2008, S. 23)

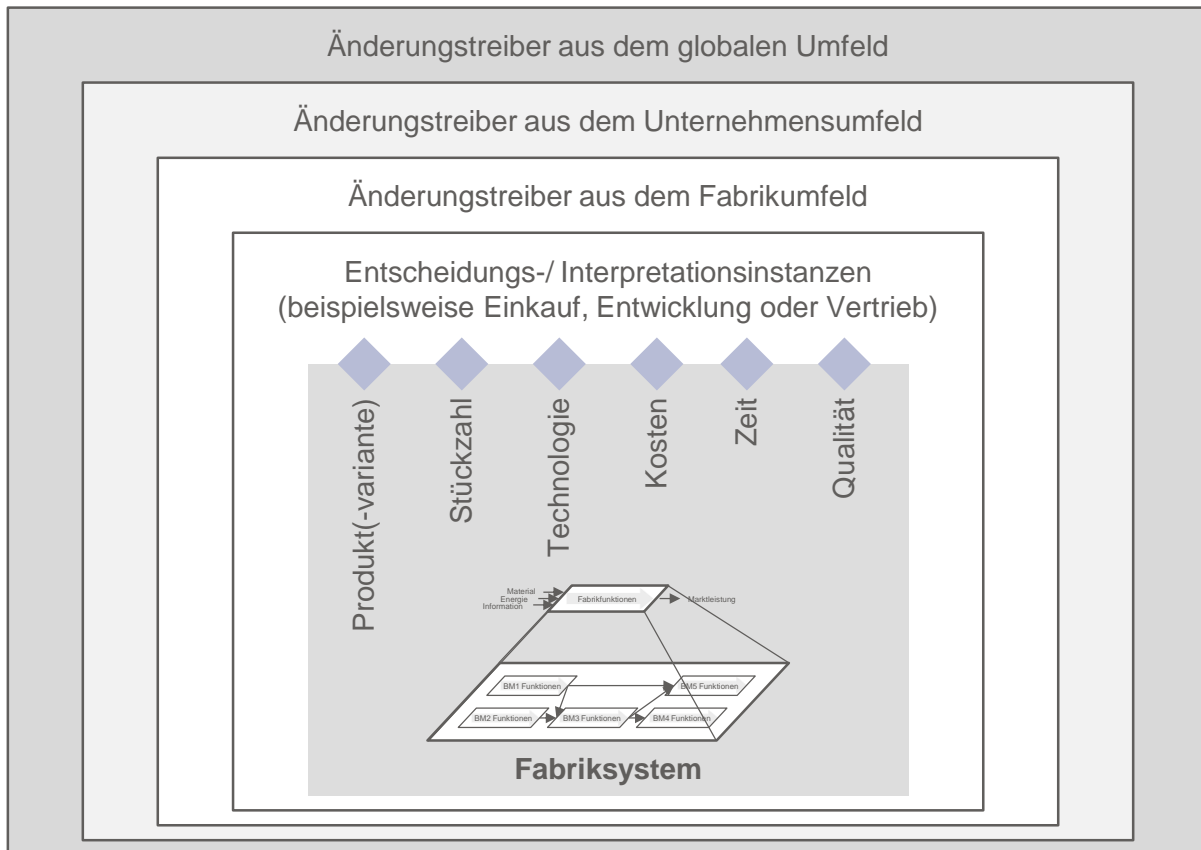


Abbildung 4-2: Rezeptormodell
(i.A.a. MÖLLER 2008, S. 25)

MÖLLER spezifiziert die Rezeptoren wie folgt (MÖLLER 2008, S. 23):

- **Produkt(-variante):** Der erste Rezeptor beschreibt die Produkte beziehungsweise Produktvarianten als Ausgangsgrößen des Fabrikumfelds hinsichtlich ihrer Funktion und Eigenschaften.
- **Stückzahl:** Dieser Rezeptor zeigt die herzustellende Menge an Produkten für ein Zeitintervall an.
- **Technologie:** Mit diesem Rezeptor werden die verfügbaren oder zulässigen, also die einzusetzenden, Ressourcen und Verfahren zusammengefasst.
- **Kosten:** Der vierte Rezeptor übermittelt die Preise der Produktionsfaktoren.
- **Zeit:** Anhand dieses Rezeptors kann die zur Auftragserfüllung zur Verfügung stehende Zeit ermittelt werden.
- **Qualität:** Der letzte Rezeptor gibt die erforderliche Güte der Produkte wieder.

Die gleichen Rezeptoren übernehmen auch POHL, HEINEN und NYHUIS ET AL., wobei HEINEN und NYHUIS ET AL. den Rezeptor Technologie als Systemelemente bezeichnen. Mit den sechs Rezeptoren werden alle aus internen und externen Änderungstreibern resultierenden Anforderungen an das Fabrikssystem erfasst. (HEINEN ET AL. 2008, S. 23; NYHUIS ET AL. 2008, S. 87; POHL 2013, S. 12–13)

Die Ausprägung der Rezeptoren wird von Unternehmensfunktionen als Interpretationsinstanzen ermittelt. Beispielsweise beobachtet der Einkauf die Beschaffungsmärkte im Hinblick auf die Produktionsfaktorkosten, während das Marketing den Absatzmarkt bezüglich der herzustellenden Produktmenge erforscht. Wenn sich die Ausprägung eines Rezeptors ändert, muss über eine Veränderung des Fabriksystems entschieden werden. (MÖLLER 2008, S. 24)

Das bedeutet, dass die Rezeptoren im Regelkreis der kontinuierlichen Fabrikplanung (siehe Kapitel 2.1.5) als Führungsgröße verstanden werden können (MÖLLER 2008, S. 24). Zum anderen spannen die Rezeptoren somit auch Veränderungsdimensionen der Funktionen des Fabriksystems auf. Die Fabrikfunktionen müssen sich im turbulenten Spannungsfeld in diesen Dimensionen verändern können. Einige Autoren bevorzugen daher die Bezeichnung Veränderungs- oder Wandlungsdimensionen anstelle der Bezeichnung Rezeptoren.

PACHOW-FRAUENHOFER berücksichtigt beispielsweise angelehnt an CISEK ET AL. (2002) fünf Veränderungsdimensionen, in welchen das System auf Treiber reagieren kann: Produkt(-variante), Stückzahl, Kosten, Zeit und Qualität. Den Dimensionen ordnet sie die Einheiten Anzahl, Anzahl pro Stunde, Euro, Sekunden und Prozent zu. (PACHOW-FRAUENHOFER 2012, S. 56)

KLEMKE verwendet ebenfalls diese fünf Veränderungsdimensionen. In Ergänzung zu PACHOW-FRAUENHOFER versteht er unter Qualität auch die Liefertreue. Zudem erkennt er an, dass Veränderungen auch direkt von Systemelementen, beispielsweise durch technologische Entwicklungen, hervorgerufen werden können, widmet ihnen jedoch keine eigene Dimension. (KLEMKE 2014, S. 15, 36, 64)

Schlussendlich zielen aber beide Konzepte, sowohl Rezeptoren als auch Veränderungsdimensionen, auf die Beschreibung desselben Phänomens ab und können somit gemeinsam verwendet werden. In dieser Arbeit sollen die Vorteile beider Beschreibungskonzepte zusammengeführt werden. Änderungstreiber werden von Rezeptoren gebündelt. Die Rezeptoren vermitteln Anforderungen an die Fabrikfunktionen in den Veränderungsdimensionen. Abbildung 4-3 verdeutlicht diesen wichtigen Zusammenhang.



Abbildung 4-3: Zusammenhang Änderungstreiber - Anforderungen

Ein Beispiel für die Bündelung von Änderungstreibern sei anhand des Rezeptors Stückzahl genannt. Der Rückzug eines Wettbewerbers, eine Werbekampagne und eine Preissenkung können als Treiber genannt werden, die alle zusammengenommen in einer vom Rezeptor aufgenommenen Steigerung der Stückzahl resultieren. An das Fabrikssystem wird nun die Anforderung einer Veränderung der Fabrikfunktionen in der Dimension Stückzahl gestellt.

Mit Abbildung 4-4 wird ein Überblick der für diese Arbeit ausgewählten Rezeptoren und Einheiten der Veränderungsdimensionen gegeben. Es werden die Rezeptoren im Verständnis MÖLLERS verwendet. Sie beinhalten im Gegensatz zu anderen Autoren den Rezeptor und somit auch die Veränderungsdimension Technologie. Dieser Rezeptor wird berücksichtigt, da die Wahl der einzusetzenden Ressourcen und Verfahren bedeutende Veränderungen auslösen kann. Die Ressourcenwahl wird zwar von der Fabrikplanung selbst beschlossen, resultiert aber aus einer Interpretation fabrikexterner Treiber und Umstände, die in diesem Rezeptor gebündelt werden (MÖLLER 2008, S. 24).

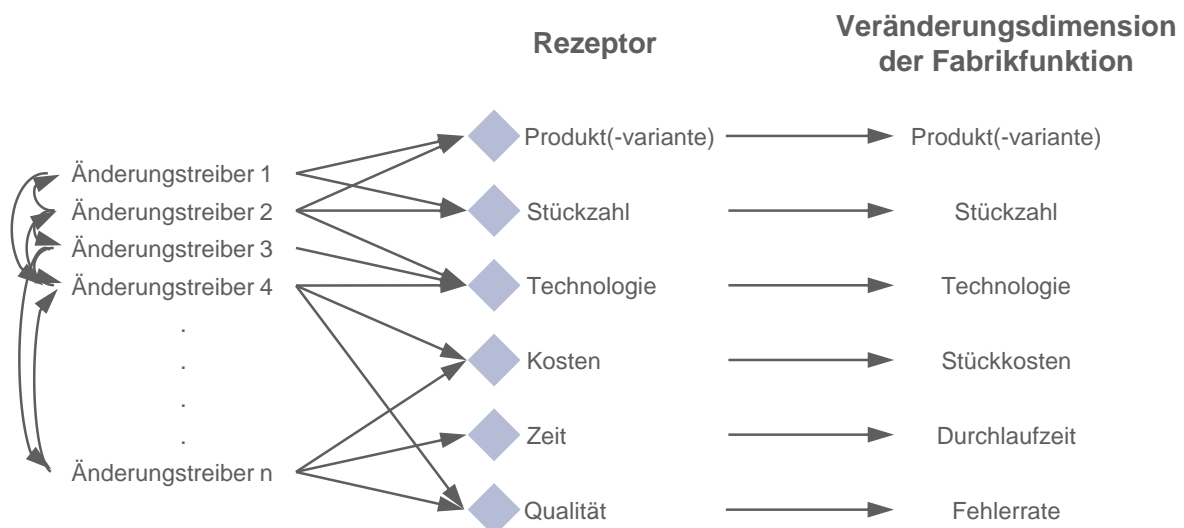


Abbildung 4-4: Rezeptoren und Veränderungsdimensionen der Fabrikfunktionen

Aus der Beschreibung der Rezeptoren von MÖLLER werden auch die Veränderungsdimensionen der Fabrikfunktionen unter Berücksichtigung der Ansätze von PACHOW-FRAUENHOFER und KLEMKE abgeleitet.

Der Rezeptor Produkt(-variante) stellt eine Liste der herzustellenden Produkte dar, die sich in Funktion und Eigenschaften unterscheiden. Damit geht die Anforderung einher, die Fabrikfunktionen hinsichtlich der Produkte beziehungsweise Produktvarianten verändern zu können. Gleichermäßen gilt dies auch für die Rezeptoren Stückzahl und Technologie. Sie stellen Anforderungen an die Fabrikfunktionen bezüglich Veränderungen in den Dimensionen Stückzahl und Technologie. Der Rezeptor Kosten bündelt Änderungstreiber, welche die Preise der Produktionsfaktoren beeinflussen. In der daraus abgeleiteten Veränderungsdimension kann abgebildet werden, welche Stückkosten die Fabrikfunktionen verursachen. Über den Rezeptor Zeit kann die für die Auftragserfüllung zur Verfügung stehende Dauer ermittelt werden, sodass die Fabrikfunktionen in der Veränderungsdimension Durchlaufzeit gemessen werden. Bei dem Rezeptor Qualität könnten diverse Qualitätsmerkmale des Produktes wie beispielsweise die Oberflächengüte oder die Maßhaltigkeit betrachtet werden. In dieser Arbeit soll als eines der wichtigsten Merkmale die von den Fabrikfunktionen produzierte Fehlerrate der ausgelieferten Produkte als Veränderungsdimension verwendet werden.

Durch die Projektion der Rezeptoren können die zukünftigen Anforderungen an die Fabrikfunktionen in den Veränderungsdimensionen ermittelt werden. Das Szenario-Management bietet sich als passgenaue Methodik an, wie die folgende Vorstellung aufzeigt.

Szenario-Management

Das Szenario-Management unterstützt Entscheidungen hinsichtlich der zukunftsorientierten Gestaltung des Unternehmens (GAUSEMEIER ET AL. 1996, S. 81, 99). Es basiert auf zwei Grundprinzipien. Das Prinzip des vernetzten Denkens berücksichtigt die zunehmende Dynamik und Komplexität, denen Unternehmen und Fabriken heutzutage ausgesetzt sind (vgl. Kapitel 1.1). Das Prinzip der multiplen Zukunft wird der daraus folgenden Erkenntnis gerecht, dass sich die Zukunft nicht mehr exakt prognostizieren lässt. (GAUSEMEIER ET AL. 1996, S. 83)

„Ein Szenario ist eine allgemeinverständliche Beschreibung einer möglichen Situation in der Zukunft, die auf einem komplexen Netz von Einflussfaktoren beruht sowie die Darstellung einer Entwicklung, die aus der Gegenwart zu dieser Situation führen könnte.“ (GAUSEMEIER & PFÄNDER 2009, S. 142)

Bei der möglichen Zukunftssituation handelt es sich nicht um eine Prognose. Als Prognose (vom Griechischen „prognosis“ - das Vorherwissen) wird eine Zukunftssituation verstanden, deren Eintrittswahrscheinlichkeit sicher bestimmt werden kann und folglich entweder bei 100% (tritt ein) oder 0% (tritt nicht ein) liegt. Vielmehr basieren die möglichen Zukunftssituationen auf einer Zukunftsannahme unter Ungewissheit in Form einer Vorhersage oder Projektion. Bei Vorhersagen werden Eintrittswahrscheinlichkeiten zwischen 100% und 0% angegeben. Projektionen hingegen werden keine Eintrittswahrscheinlichkeiten zugeordnet. Sie stellen die allgemeinste Form der Bestimmung von möglichen Zukunftssituationen dar und beinhalten die Vorhersage und die Prognose, da sie die Eintrittswahrscheinlichkeit der Zukunftssituation nicht spezifizieren. (GAUSEMEIER ET AL. 1996, S. 31–34)

DÖNITZ verwendet eine in der Wortwahl nicht ganz kompatible Einordnung, die aber dennoch eine besonders eingängige Klassifizierung von Szenarien aufweist. Sie ordnet, wie von Abbildung 4-5 verdeutlicht wird, die Szenarien beziehungsweise möglichen Zukunftssituationen zwischen Prognose und Spekulation ein. (DÖNITZ 2009, S. 6–7)

Die Abbildung hebt vor allem in Ergänzung zu GAUSEMEIER ET AL. einen für diese Arbeit wesentlichen Aspekt hervor. Szenarien finden in unsicheren sowie komplexen und demzufolge nicht prognostizierbaren Situationen Anwendung, wie es im turbulenten Spannungsfeld der Fall ist (vgl. Kapitel 1.1 und 1.2).

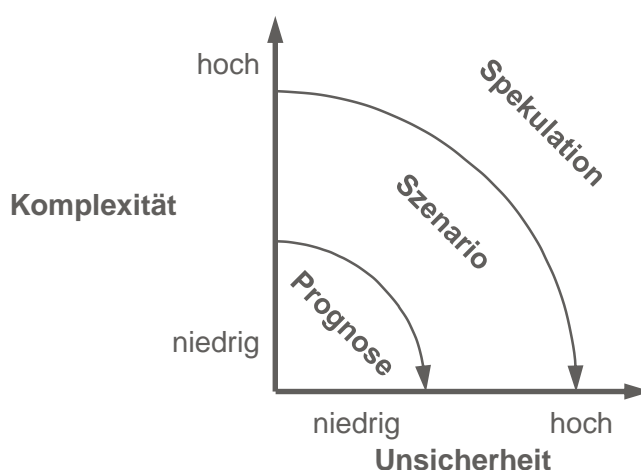
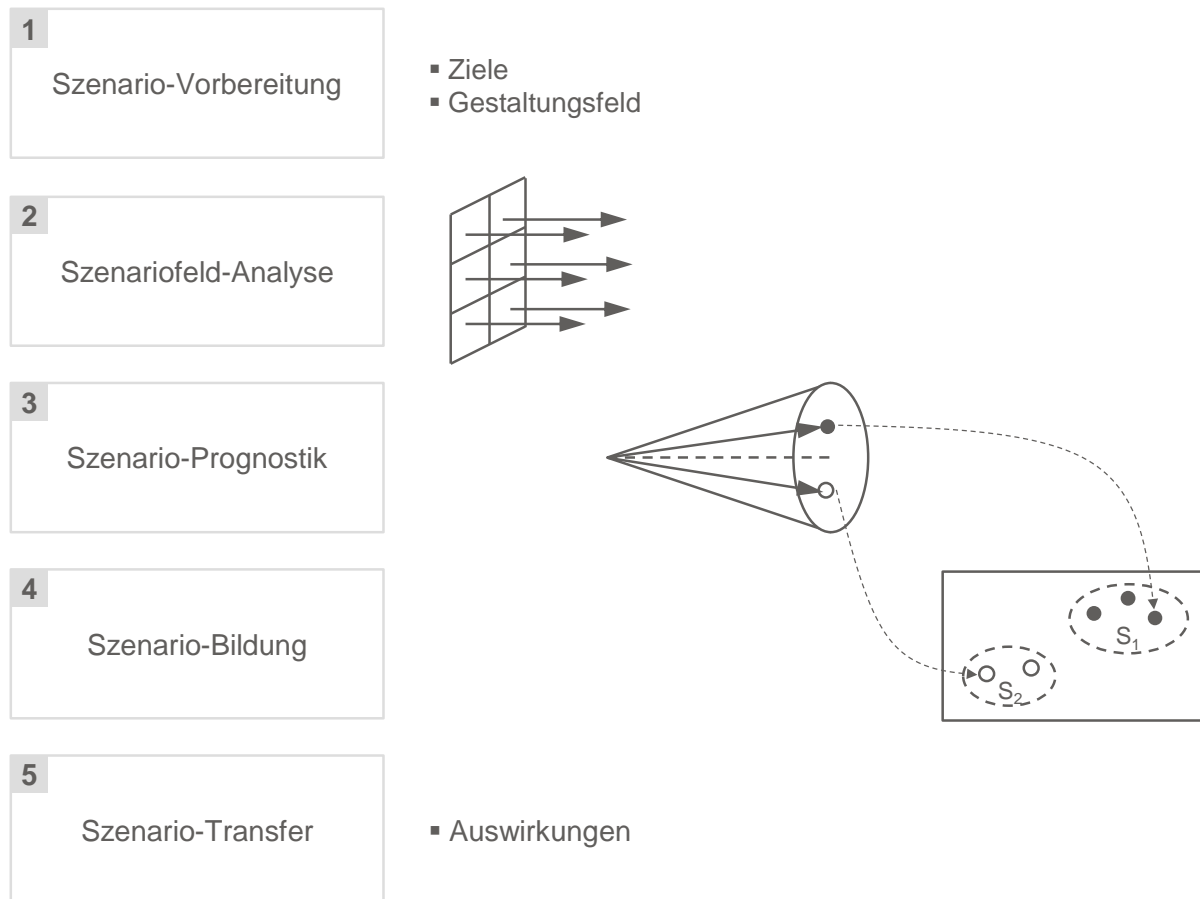


Abbildung 4-5: Szenarien zwischen Prognose und Spekulation
(i.a.A. DÖNITZ 2009, S. 7)

Das fünfgliedrige Phasenmodell des Szenario-Managements von GAUSEMEIER ET AL. wird in Abbildung 4-6 aufgezeigt. In der ersten Phase (Szenario-Vorbereitung) werden grundlegende Sachverhalte wie die Ziele und das Gestaltungsfeld beschrieben. Letzteres beschreibt das zu gestaltende Objekt. Die Phasen Zwei bis Vier dienen der Szenario-Erstellung. Zunächst werden in der Phase Szenariofeld-Analyse Schlüsselfaktoren identifiziert. Das Szenariofeld bezeichnet das Umfeld des Gestaltungsfeldes. Schlüsselfaktoren sind diejenigen Einflussgrößen des Umfeldes, die das Gestaltungsfeld auf relevante Weise und in besonderem Maße beeinflussen. Die zweite Phase berücksichtigt insbesondere das Prinzip des vernetzten Denkens bei der Auswahl der Schlüsselfaktoren. Die darauf folgende dritte Phase heißt Szenario-Prognostik. Dabei wird unter Prognostik die Zukunftsforschung ungewisser Situationen verstanden, welche semantisch nicht mit Prognose zu verwechseln ist (GAUSEMEIER ET AL. 1996, S. 40). In dieser Phase werden unter Berücksichtigung des Prinzips der multiplen Zukunft mehrere Projektionen für die Schlüsselfaktoren erstellt. Die Projektionen werden in Phase Nummer Vier (Szenario-Bildung) in Szenarien zusammengefasst. Entscheidend ist dabei die Prüfung der Projektionsbündelung auf Konsistenz. Als letzte Phase des Szenario-Managements dient der Szenario-Transfer, bei dem die Auswirkungen der Szenarien auf das Gestaltungsfeld untersucht werden. (GAUSEMEIER ET AL. 1996, S. 98–102)



*Abbildung 4-6: Phasenmodell des Szenario-Managements
(GAUSEMEIER ET AL. 1996, S. 19, 101)*

Ursprünglich für die strategische Unternehmensplanung entwickelt, lässt sich das Szenario-Management sehr gut auf die Fabrikplanung übertragen (HERNANDEZ MORALES 2002, S. 102). Das Szenario-Management unterstützt die Fabrikplanung in der beschriebenen Ausgangslage.

Die Szenario-Vorbereitung kann in dieser Arbeit bereits als abgeschlossen betrachtet werden. Das Fabrikssystem stellt das Gestaltungsfeld dar, welches in Kapitel 2.1.4 als das die Betriebsmittel umfassende System definiert wurde. Als übergeordnetes Ziel des Szenario-Managements ist die Unterstützung der kontinuierlichen Fabrikplanung anvisiert, indem Anforderungen an das Fabrikssystem beziehungsweise ein Soll-System ermittelt werden.

Die Szenariofeld-Analyse führt zur Bündelung der zahlreichen und vernetzten Änderungstreiber (im Anhang findet sich mit Kapitel 9.3 eine Sammlung potenzieller Änderungstreiber) in die Schlüsselfaktoren, die den Rezeptoren entsprechen. Die Rezeptoren stehen also mit ihrer kanalisierenden Funktion stellvertretend für die auf das Fabrikssystem wirkenden Änderungstreiber.

Mit der Szenario-Prognostik werden Projektionen der Rezeptoren entwickelt. Für jeden Rezeptor sind nach dem Prinzip der multiplen Zukunft mehrere denkbare Projektionen zu entwerfen. Die Projektionen können als Anforderungen an die Funktion des Fabriksystems in den Veränderungsdimensionen verstanden werden.

Durch die Zusammenfassung von Projektionen werden die Szenarien gebildet. Ein Szenario beschreibt eine in sich schlüssige Zukunftssituation, die aus sechs zueinander konsistenten Projektionen besteht, wobei je Rezeptor eine Projektion ausgewählt wird. Konsistent bedeutet, dass die sechs Projektionen bezogen auf ihre zukünftige Entwicklung zusammenpassen müssen. Beispielsweise harmonisieren die Projektionen einer geringeren Stückzahl pro Variante mit der Steigerung der Produktvarianten. Als inkonsistent könnte aufgrund von Skaleneffekten die Zusammenfassung der Extrempjektion einer Stückzahlverdoppelung mit der Projektion einer Stückkostensteigerung eingestuft werden. Da die Veränderungsdimensionen jedoch relativ unabhängig voneinander sind, wird die Konsistenz-Prüfung im Rahmen dieser Arbeit zu meist nicht sehr restriktiv ausfallen.

Selbstverständlich lassen sich nach dem beschriebenen Dreischritt aus Szenariofeld-Analyse, Szenario-Prognostik und Szenario-Bildung auch mehrstufige Szenarien erstellen. Beispielsweise könnten für einen Betrachtungszeitraum von fünf Jahren für jedes Jahr jeweils mehrere Szenarien gebildet werden. Die Fusion aus Rezeptormodell und Szenario-Management inkludiert auch die Aufnahme des Soll-Systems zum aktuellen Zeitpunkt (t_0). Für das Soll-System S_0 sind selbstverständlich keine Projektionen zu entwickeln. Hier reicht die Aufnahme der derzeit an die Fabrikfunktionen gestellten Anforderungen in den Veränderungsdimensionen. Die direkt auf den Soll-Ist-Vergleich zu t_0 folgenden Veränderungen sind reaktiv. Für die folgenden Zeitpunkte (t_1 bis t_n) werden dann über den Dreischritt die Szenarien mit den Soll-Systemen S_{xy} (S_{11} bis S_{1m} , ..., S_{n1} bis S_{nm}) erstellt, woraufhin gegebenenfalls prospektiv beziehungsweise antizipativ Veränderungen eingeleitet werden. Pro Zeitpunkt ($0 \leq x \leq n$) können y Szenarien ($1 \leq y \leq m$ mit m als Anzahl sinnvoller Szenarien beziehungsweise Soll-Systeme pro Zeitpunkt) erstellt werden. Abbildung 4-7 skizziert die Idee der mehrstufigen Szenarien.

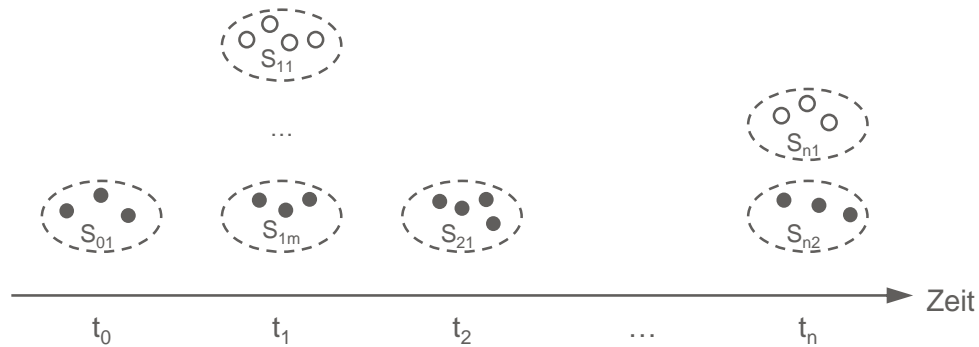


Abbildung 4-7: Mehrstufige Szenarien

Mit dem Szenario-Transfer werden schlussendlich die Auswirkungen der Szenarien auf das Fabrikssystem ermittelt. Die Szenarien repräsentieren aus Änderungstreibern resultierende Anforderungen an die Fabrikfunktionen. Damit geben sie einen Ausblick, in welchen Dimensionen Veränderungen des Fabriksystems erforderlich sind. Der Transfer wird mit den Lösungsbausteinen 1.2 und 1.3, also in den Kapiteln 4.2 und 4.3, aufgezeigt.

Zur Steigerung der Projektionsqualität können unternehmensinterne Studien der Marketing- und Produktentwicklungsabteilungen zu Rate gezogen werden. Das Zyklenmanagement verspricht ebenfalls eine Qualitätssteigerung (KARL ET AL. 2012, S. 229). Dabei wird das zyklische Verhalten von externen sowie internen Einflussgrößen untersucht, welches bei der Antizipation zukünftiger Entwicklungen hilft (ZÄH ET AL. 2009, S. 24).

Je nach Unternehmensgröße und Produktvarianz kann der Aufwand für die Projektion der Rezeptoren schnell ins Unermessliche steigen. Zur Reduzierung bieten sich die klassischen Ansätze der Zusammenfassung von Produktvarianten zu Produktfamilien und/oder die ABC-Analyse zur Konzentration auf die wesentlichen Produkte an.

Fazit – Zusammenfassung des Lösungsbausteins 1.1

Der Lösungsbaustein stellt eine Fusion aus Rezeptormodell und Szenario-Management dar. Der Fokus des Szenario-Managements liegt auf den Phasen Zwei bis Vier (Szenario-Erstellung). Die Änderungstreiber wurden in den sechs Rezeptoren gebündelt, deren Entwicklung mit Projektionen fortgeschrieben wird. Durch die Projektion und die anschließende Bündelung in Szenarien können die zukünftigen Anforderungen an die Fabrikfunktionen in den Veränderungsdimensionen ermittelt werden.

Mit dem rezeptorbasierten Szenario-Management gilt es also die in Zukunft auf das Fabrikssystem wirkenden Änderungstreiber zu ermitteln. Aus den

mehrstufigen Projektionen und Szenarien lassen sich Anforderungen an die Fabrikfunktionen in den Veränderungsdimensionen ableiten. Abbildung 4-8 präsentiert zusammenfassend den Lösungsbaustein 1.1.

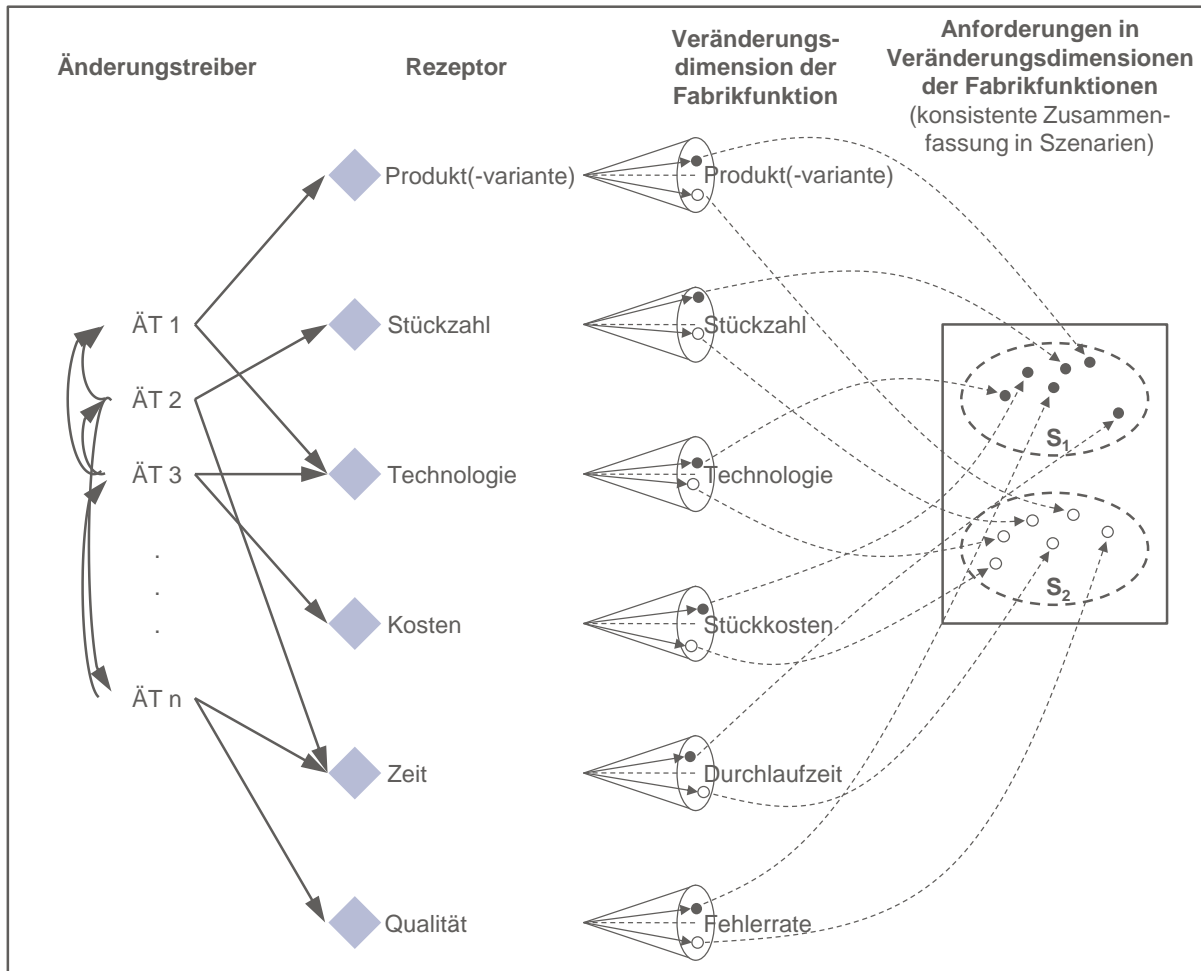


Abbildung 4-8: Lösungsbaustein 1.1

Nachdem mit dem ersten Lösungsbaustein aufgezeigt werden kann, welche Änderungstreiber auf das Fabrikssystem wirken, befasst sich der Lösungsbaustein 1.2 im nächsten Kapitel mit den von den Änderungstreibern betroffenen Elementen und Relationen.

4.2 Lösungsbaustein 1.2: Auf welche Elemente und Relationen?

Der zweite Lösungsbaustein betrifft die Anforderung A1.2, die gleichbedeutend mit der Teilforschungsfrage 1.2 ist: Auf welche Elemente und Relationen wirken die Änderungstreiber?

Zunächst wird in diesem Kapitel spezifiziert, welche Betriebsmittelgruppe berücksichtigt werden soll. Anschließend kann der Zusammenhang zwischen den Änderungstreibern und den zu betrachtenden Elementen und Relationen des Fabriksystems hergestellt werden. Hierfür ist im ersten Schritt grundlegend der Teilzusammenhang von Fabrikfunktionen und Fabrikstruktur zu erläutern. Dieser Schritt baut auf dem vorherigen Lösungsbaustein auf, in welchem die Änderungstreiber bereits in Anforderungen an die Fabrikfunktionen in den sechs Veränderungsdimensionen übersetzt worden sind. Im darauf aufbauenden zweiten Teil wird geschildert, nach welcher Vorgehensweise von Anforderungen betroffene Betriebsmittel und deren Relationen unter Berücksichtigung der Fabrikstruktur identifiziert werden. Das Kapitel schließt mit einem kurzen Fazit, in welchem der entwickelte Lösungsbaustein zusammenfassend präsentiert wird.

Betriebsmittelgruppen

Ein wesentlicher Beitrag zur Beantwortung der Teilforschungsfrage 1.2 ist bereits mit der Basisdefinition des Fabriksystems in Kapitel 2.1.4 geleistet und vorweggenommen worden. Durch die Gegenüberstellung der Erfolgsfaktoren von Veränderungsprozessen und der Gestaltungsfelder der Fabrik ist eine Fokussierung auf die Betriebsmittel als Betrachtungselemente gelungen.

Der VDI definiert Betriebsmittel als „Anlagen, Geräte und Einrichtungen, die zur betrieblichen Leistungserstellung dienen“ und differenziert dabei zwischen sieben Betriebsmittelgruppen (VDI 2815-5, S. 2):

- Fertigungsmittel
- Fördermittel
- Lagermittel
- Mess- und Prüfmittel
- Ver- und Entsorgungsanlagen
- Innenausstattung
- Organisationsmittel

In dieser Arbeit wird stellvertretend für alle Betriebsmittel die Gruppe der Fertigungsmittel betrachtet, da sie mit der Produktherstellung die von der Fabrik erzeugte Marktleistung augenscheinlich am meisten verkörpern. Da sich die Vorgehensweise auf die anderen Gruppen übertragen lässt, würde die Berücksichtigung aller Gruppen die Komplexität der Schilderung steigern, ohne einen forschungsbezogenen Mehrwert zu stiften. Unter Fertigungsmitteln werden „Mittel zur direkten oder indirekten Form-, Substanz- oder Fertigungsstandsänderung mechanischer beziehungsweise chemisch-physikalischer Art“ verstanden (VDI 2815-5, S. 2). Dies inkludiert Betriebsmittel zur Montage. Die Bezeichnung der Gruppe als Fertigungsmittel ist demzufolge sprachlich nicht konsistent, da doch die Produktion Fertigung und Montage vereint (vgl. Seite 33). Gleichwohl klingt eine Bezeichnung als Produktionsmittel zu umfassend, sodass dem Leser die inkonsistente, aber dennoch in der Literatur verbreitete, Bezeichnung als Fertigungsmittel zugemutet wird. Im folgenden Abschnitt werden der Zusammenhang zwischen Fabrikfunktion und Fabrikstruktur aufgeklärt und eine nähere Erläuterung der Fabrikstruktur gegeben.

Teilzusammenhang Fabrikfunktion - Fabrikstruktur

Aus den Änderungstreibern resultieren Anforderungen an die Fabrikfunktionen in den sechs Veränderungsdimensionen Produkt(-variante), Stückzahl, Technologien, Stückkosten, Durchlaufzeit und Fehlerrate (siehe Abbildung 4-4). In diesen Dimensionen müssen die Fabrikfunktionen sowohl die vom Markt herangetragenen Anforderungen erfüllen können als auch veränderungsfähig sein. Da die Funktionen von der Struktur determiniert werden (vgl. Seite 31 oder ROPOHL 1999, S. 77, 316), wird über das strukturelle Konzept des Fabriksystems auf die betroffenen Elemente und Relationen geschlossen. Die Vernetzung der Elemente bestimmt ihr Zusammenwirken und damit die möglichen Funktionen des Fabriksystems, kurz die Fabrikfunktionen. Diesem zentralen Zusammenhang ist Abbildung 4-9 gewidmet.

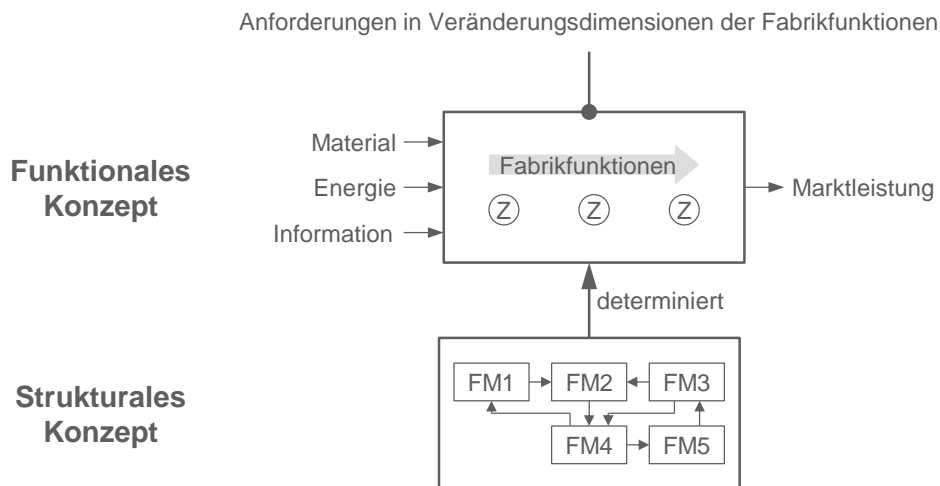


Abbildung 4-9: Fabrikstruktur determiniert Fabrikfunktion

Das strukturelle Konzept des Fabriksystems umfasst die Fertigungsmittel und ihre Eigenschaften sowie das Relationsgeflecht zwischen den Fertigungsmitteln (vgl. Seite 22 und 34). Als Struktur des Fabriksystems (vgl. Seite 31) wird die räumliche „Anordnung der Arbeitsstationen, die ein Produkt zu seiner Herstellung durchläuft, und deren Verknüpfung im Stoff- und Informationsfluss“ bezeichnet (TÖNSHOFF 1999, S. 10.44).

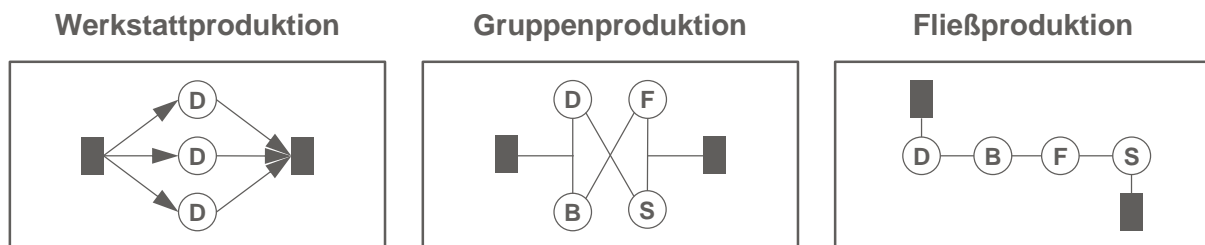
Die Herstellung der Produkte kann nach verschiedenen Produktionsprinzipien erfolgen. Für die Serienproduktion, die in dieser Arbeit betrachtet wird (vgl. Seite 5), werden drei gängige Produktionsprinzipien empfohlen (AGGTELEKY 1990, S. 486; REINHART 2012, S. 87; WIENDAHL ET AL. 2009, S. 266–268):

- **Werkstattproduktion:** Dem ersten Prinzip zufolge durchläuft das Produkt Arbeitsplätze, die nach ihrer Funktion segmentiert sind. Produktion und Transport zwischen den Arbeitsplätzen erfolgt zumeist in Losen.
- **Gruppenproduktion:** Bei diesem Prinzip werden verschiedenartige Fertigungsmittel räumlich gruppiert, die häufig wiederkehrende Produktionsschritte ausführen.
- **Fließproduktion:** Dieses Prinzip wird von auf das Produkt spezialisierten Arbeitsplätzen charakterisiert. Die Anordnung der Fertigungsmittel wird strikt nach der Abfolge des Fertigungsprozesses ausgerichtet.

Abbildung 4-10 zeigt die Strukturen zu den jeweiligen Produktionsprinzipien auf. Die Produktionsprinzipien werden, ähnlich inkonsistent wie bei den Fertigungsmitteln, auch Fertigungsprinzipien oder Fertigungsformen genannt. Die Auswahl des Prinzips legt die räumliche Fabrikstruktur fest (REINHART 2012, S. 87; WIENDAHL ET AL. 2009, S. 267). Es ist die Aufgabe der Fabrikstrukturpla-

nung, alternative Strukturkonzepte zu entwickeln und eine bevorzugte Variante auszuwählen (HENN & KÜHNLE 1999, S. 9.58-9.59).

Zumeist spielt dabei der Materialfluss eine besonders einflussreiche Rolle und gilt somit als strukturbestimmende Relation (vgl. Seite 31). Das geringe Transportaufkommen bei Kleinserien (zum Beispiel Flugzeugen) lässt eine Werkstattanordnung zu. Die Mittelserienproduktion (wie etwa Fahrräder) weist ausreichend häufig zu wiederholende Produktionsschritte auf, sodass eine Gruppenanordnung insbesondere mit Hinblick auf den Materialfluss lohnenswert erscheint. Bei Großserien (beispielsweise Automobile) wird aufgrund der hohen Transportvolumina eine Fließfertigung angestrebt. (REINHART 2012, S. 86–87)



*Abbildung 4-10: Produktionsprinzipien
(REINHART 2012, S. 87; WIENDAHL ET AL. 2009, S. 266)*

Im ersten Schritt wurde nun ein allgemeiner Überblick über die Fabrikstruktur präsentiert. Darauf aufbauend wird im Folgenden geschildert, welche Fertigungsmittel und Relationen der Fabrikstruktur von Änderungstreibern beziehungsweise den daraus resultierenden Anforderungen betroffen sind.

Teilzusammenhang Fabrikstruktur - Fertigungsmittel

Ausgehend von den Anforderungen in den sechs Veränderungsdimensionen kann das Produkt beziehungsweise die Produktvariante als Leitanforderung aufgefasst werden. Diese Leitanforderung stellt eine eigenständige Anforderung dar, mit der die von den Fabrikfunktionen zu erzeugenden Produkte gelistet werden. Die Anforderungen Stückzahl, Technologie, Stückkosten, Durchlaufzeit und Fehlerrate an die Fabrikfunktionen werden dann pro Produkt gestellt. Demzufolge können über die Produkte alle Anforderungen an die Fertigungsmittel übermittelt werden beziehungsweise alle betroffenen Fertigungsmittel identifiziert werden. Dies widerspricht nicht der Idee der Rezeptoren, dass sich die Anforderungen weitestgehend unabhängig voneinander entwickeln können.

Beispielsweise kann als Leitanforderung die Herstellung von drei Produkten durch die Fabrikfunktionen verlangt werden. Pro Produkt werden dann unterschiedliche Anforderungen bezüglich Stückzahl, Technologie, Stückkosten, Durchlaufzeit und Fehlerrate erhoben.

Das Produkt wird als Hilfsmittel bei der Zuordnung der Anforderungen verwendet. Die Zuordnung der Produkte zu den Fertigungsmitteln ist jedoch abhängig vom Produktionsprinzip respektive der Fabrikstruktur.

Bei der Fließproduktion durchlaufen die Produkte die in Folge angeordneten Fertigungsmittel, deren Ablauf sich nicht einfach verändern lässt (AGGTELEKY 1990, S. 486). Über die Fertigungsabfolge lassen sich daher die betroffenen Fertigungsmittel leicht identifizieren.

Im Gegensatz dazu ist diese eindeutige Zuordnung beim Werkstatt- oder Gruppenprinzip nicht gegeben. Die Produkte können verhältnismäßig leicht an anderen Fertigungsmitteln hergestellt werden, da der Produktfluss im Vergleich zu der Fließproduktion weniger eingeschränkt und vorgegeben ist (AGGTELEKY 1990, S. 486). Die Zuordnung der Produkte erfolgt über das Fertigungsverfahren, das von verschiedenen Fertigungsmitteln angeboten werden kann (ROPOHL 1971, S. 65–66).

Je nach Struktur muss folglich eine andere Relation zur Zuordnung von Produkt und Fertigungsmittel verwendet werden. Tabelle 4-1 zeigt die zu verwendenden Relationen je nach Produktionsprinzip auf.

Tabelle 4-1: Relationen zur Identifikation der Fertigungsmittel

Werkstatt- und Gruppenproduktion	Fließproduktion
<i>Identifikation über:</i>	<i>Identifikation über:</i>
Fertigungsverfahren	Fertigungsabfolge
 <i>Relationen:</i>	 <i>Relationen:</i>
Produkt - Fertigungsverfahren	Produkt - Fertigungsabfolge
Fertigungsverfahren - Fertigungsmittel	Fertigungsabfolge - Fertigungsmittel

Die zu betrachtenden Relationen sind zwar über die Fabrikstruktur indirekt von der Materialflussrelation abhängig, dürfen aber gleichwohl nicht mit ihr verwechselt oder gar gleichgesetzt werden.

Je nach Fabrikstruktur sollten also zwei Vorgehensweisen zur Identifikation von Fertigungsmitteln unterschieden werden. Abbildung 4-11 stellt den Zusammenhang von Anforderungen und zu betrachtenden Fertigungsmitteln dar. Die Anforderungen werden in den sechs Veränderungsdimensionen der Fabrikfunktionen gestellt. Die Fabrikfunktionen werden wiederum von der Fabrikstruktur determiniert. Abhängig von der Fabrikstruktur werden dann entweder über das Fertigungsverfahren oder über den Fertigungsablauf die von Anforderungen betroffenen Fertigungsmittel identifiziert. Die beiden Vorgehensweisen zur Identifikation werden im Anschluss an die Abbildung einzeln vorgestellt. Dabei wird insbesondere auf die zu berücksichtigenden Eigenschaften der Fertigungsmittel eingegangen. Zudem wird aufgezeigt, wie die Relationen mit Hilfe von Matrizen aufgenommen werden können.

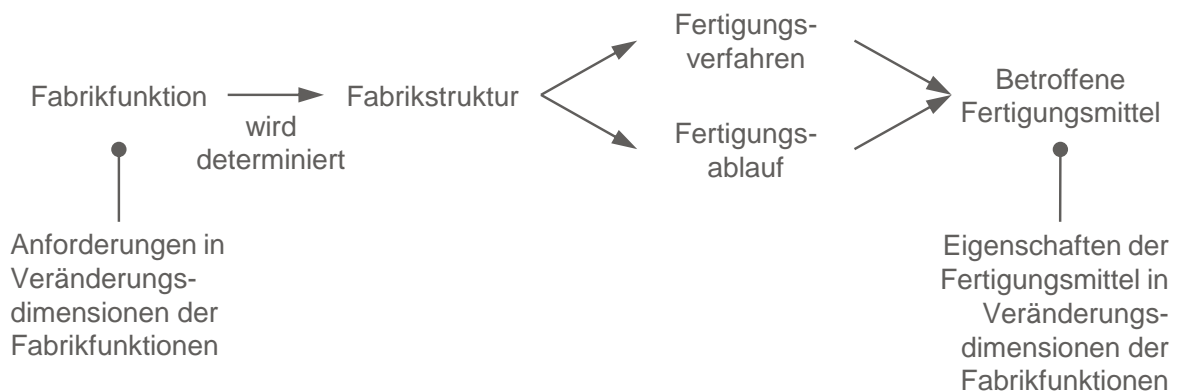


Abbildung 4-11: Zusammenhang Anforderung - Fertigungsmittel

Vorgehensweise: Identifikation über Fertigungsverfahren

Abbildung 4-12 zeigt beispielhaft die Zuordnung eines Produktes zu den Fertigungsmitteln auf. Die Zuordnung gelingt über zwei Relationen. Zum einen sind für die Herstellung des Produktes Fertigungsverfahren nötig (erste Relation). Diese Fertigungsverfahren wiederum können von verschiedenen Fertigungsmitteln ausgeführt werden (zweite Relation). Im Falle des Werkstattprinzips kann etwa das für ein Produkt durchzuführende Drehen von verschiedenen Drehmaschinen ausgeführt werden, die im entsprechenden Segment der Werkstatt beieinander stehen. Diese Zuordnung wird überdies der Praxis insofern gerecht, als dass Fertigungsmittel verschiedenartige Fertigungsverfahren anbieten können. Beispielsweise verfügen CNC-Vollautomaten heutzutage über ein Repertoire verschiedener Fertigungsverfahren wie Drehen, Bohren oder Sägen.

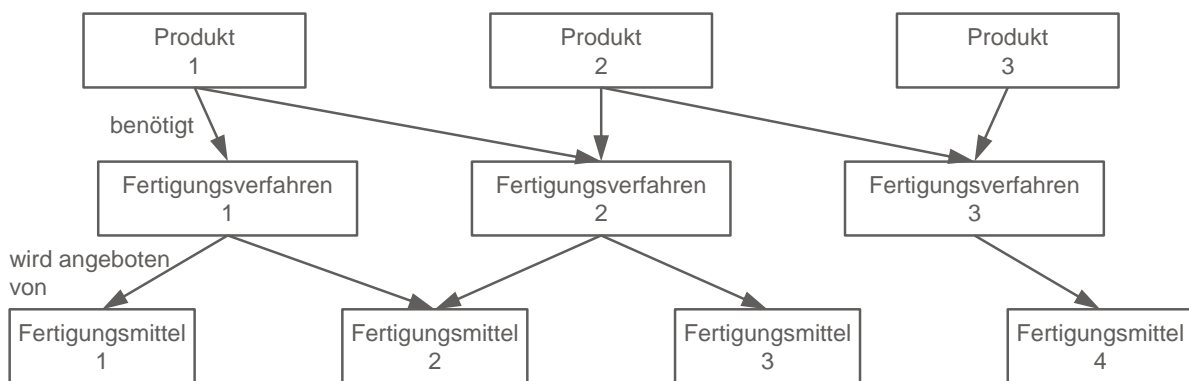


Abbildung 4-12: Zuordnung Produkt zu Fertigungsmittel über Fertigungsverfahren

Als Fertigungsverfahren werden nach DIN 8580 „alle Verfahren zur Herstellung von geometrisch bestimmten festen Körpern“ verstanden. Die Verfahren können über die sechs Hauptgruppen Urformen, Umformen, Trennen, Fügen, Beschichten und Stoffeigenschaften und deren Untergruppen kategorisiert werden. (DIN 8580, S. 4–5)

Diese Systematik der Fertigungsverfahren sowie die Arbeitspläne der Produkte stellen die Informationsquellen für die erste Relation Produkt – Fertigungsverfahren dar (REINHART 2010, S. 49). Über die Systematik und die zur Verfügung stehenden Fertigungsmittel, die sich einer Maschinenliste entnehmen lassen (AGGTELEKY 1990, S. 53), kann die zweite Relation Fertigungsverfahren – Fertigungsmittel aufgenommen werden.

Die herzustellenden Produkte selbst repräsentieren die erste Anforderung an die Fabrikfunktionen. Sie kann auch als Leitanforderung aufgefasst werden, da sie alle anderen fünf Anforderungen nach sich zieht. Wenn der Arbeitsplan für die Produktherstellung vollständig erfüllt werden kann, kann das Produkt prinzipiell durch die Fabrikfunktionen erzeugt werden. Die Herstellung eines Produktes beziehungsweise einer Produktvariante stellt also eine Gesamtsystemeigenschaft dar, zu der mehrere Fertigungsmittel beitragen.

Jedes Produkt überträgt zudem Anforderungen hinsichtlich der herzustellenden Stückzahl, der zu verwendenden Technologie, der zulässigen Stückkosten, der akzeptablen Durchlaufzeit sowie der tolerierten Fehlerrate unter den Produkten. Wenn beispielsweise für ein zu drehendes Produkt die Stückzahl von hundert Einheiten angestrebt wird, muss das Fertigungsverfahren des Drehens in der entsprechenden Kapazität zur Verfügung stehen. Ebenso verhält es sich mit den Anforderungen hinsichtlich Stückkosten, Durchlaufzeit und

Fehlerrate, die von den Fertigungsverfahren erfüllt werden sollen. Die Anforderung der zu verwendenden Technologie nimmt bei der Werkstatt- und Gruppenproduktion eine Sonderrolle ein, da die Verknüpfung zwischen Produkt und Fertigungsmittel über die Fertigungsverfahren erfolgt. Falls ein Produkt mit einer anderen Technologie als zuvor produziert werden soll, gilt es, ein entsprechendes Fertigungsverfahren mit dieser Technologie aufzunehmen.

Die an die Fabrikfunktionen gestellten Anforderungen sind von den Fertigungsmitteln zu erfüllen. Dementsprechend müssen die Eigenschaften der Fertigungsmittel hinsichtlich der Veränderungsdimensionen aufgenommen werden, um zu überprüfen, ob die Fabrikfunktionen in der Lage sind, den Anforderungen zu entsprechen.

Die Anforderungen in Form des Produktes sind bereits allgemein an die Fertigungsverfahren gerichtet. Die Fertigungsmittel tragen über das Angebot der Fertigungsverfahren zur Erfüllung der Produkthanforderungen bei. Die Anforderung hinsichtlich der Technologie hat wie bereits erwähnt eine Sonderrolle, da die von den Fertigungsmitteln angebotenen Fertigungsverfahren den Eigenschaften hinsichtlich der Technologie entsprechen. Bei der Aufnahme der technologischen Eigenschaften der Fertigungsmittel dürfen jedoch angebotene, aber ungenutzte, Technologien nicht vergessen werden. Die Aufnahme der Ist-Eigenschaften der Fertigungsmittel umfasst weiterhin Stückzahl, Stückkosten, Durchlaufzeit sowie Fehlerrate.

Die Relationen (Produkt – Fertigungsverfahren und Fertigungsverfahren – Fertigungsmittel) können mittels einer Domain Mapping Matrix (DMM) erfasst werden. Bei einer DMM werden zwei verschiedene Elementarten (Domänen) durch eine Relationsart verknüpft. (LINDEMANN ET AL. 2009, S. 54; MAURER 2012, S. 2.60)

Abbildung 4-13 zeigt die beiden erforderlichen DMM's für die Identifikation anhand des Fertigungsverfahrens. Ein Kreuz in einem Matrixfeld bedeutet, dass das Produkt das Fertigungsverfahren benötigt (linke Matrix: Relation Produkt - Fertigungsverfahren) beziehungsweise dass das Fertigungsverfahren vom Fertigungsmittel angeboten (rechte Matrix: Relation Fertigungsverfahren - Fertigungsmittel) wird.

Die Verknüpfung zwischen Produkt und Fertigungsverfahren kann anschließend über eine Matrixmultiplikation ermittelt werden. Es wird, wie ebenfalls in der Abbildung dargestellt, die Zeile mit der Spalte multipliziert, um die Anzahl der Kreuze pro Zelle der neuen DMM mit der Relation Produkt – Fertigungs-

mittel zu erhalten. Die Summe der Kreuze pro Zelle entspricht der Anzahl der indirekten Verknüpfungen zwischen Produkt und Fertigungsmittel.

Auf diesem Wege kann identifiziert werden, welche Fertigungsmittel von Änderungstreibern beziehungsweise Anforderungen betroffen sind. Infolgedessen sind die Eigenschaften dieser Fertigungsmittel aufzunehmen. Dementsprechend ist die Anzahl der Kreuze pro Zelle nicht relevant, sodass mehrere Kreuze pro Zelle durch ein Kreuz ersetzt werden können.

Relation Produkt - Fertigungsverfahren

benötigt ↗	Fertigungs- verfahren 1	Fertigungs- verfahren 2	Fertigungs- verfahren 3
Produkt 1	✘	✘	
Produkt 2		✘	✘
Produkt 3			✘

Relation Fertigungsverfahren - Fertigungsmittel

wird angeboten von ↗	Fertigungs- mittel 1	Fertigungs- mittel 2	Fertigungs- mittel 3	Fertigungs- mittel 4
Fertigungs- verfahren 1	✘	✘		
Fertigungs- verfahren 2		✘	✘	
Fertigungs- verfahren 3				✘

Relation Produkt - Fertigungsmittel

wird hergestellt von ↗	Fertigungs- mittel 1	Fertigungs- mittel 2	Fertigungs- mittel 3	Fertigungs- mittel 4
Produkt 1	✘	✘		
Produkt 2		✘	✘	✘
Produkt 3				✘

Abbildung 4-13: DMM's zur Identifikation der Fertigungsmittel anhand des Fertigungsverfahrens

Vorgehensweise: Identifikation über Fertigungsabfolge

Bei der Fließfertigung durchläuft das Produkt eine Abfolge verketteter Fertigungsstationen (siehe Seite 77-78). In Abbildung 4-14 ist eine beispielhafte Zuordnung von Produkten zu Fertigungsmitteln anhand der Fertigungsabfolge für das Fließprinzip skizziert. Da die Herstellung auf den Fluss des Produktes durch die Produktion ausgerichtet ist, steht für jeden Schritt der Fertigungsabfolge nur das in die Kette der Arbeitsstationen eingegliederte Fertigungsmittel

zur Verfügung. Die erste Relation ordnet den Produkten die Schritte der Fertigungsabfolge zu. Als zweite Relation wird die Eins-zu-Eins-Verbindung von dem Schritt der Fertigungsabfolge zu dem Fertigungsmittel aufgenommen. Auf eine direkte Zuordnung der Produkte zu den Fertigungsmitteln wird bewusst verzichtet, da in der Praxis teilweise Produktvarianten innerhalb einer Fertigungslinie erzeugt werden, indem einzelne Schritte der Fertigungsabfolge übersprungen werden.

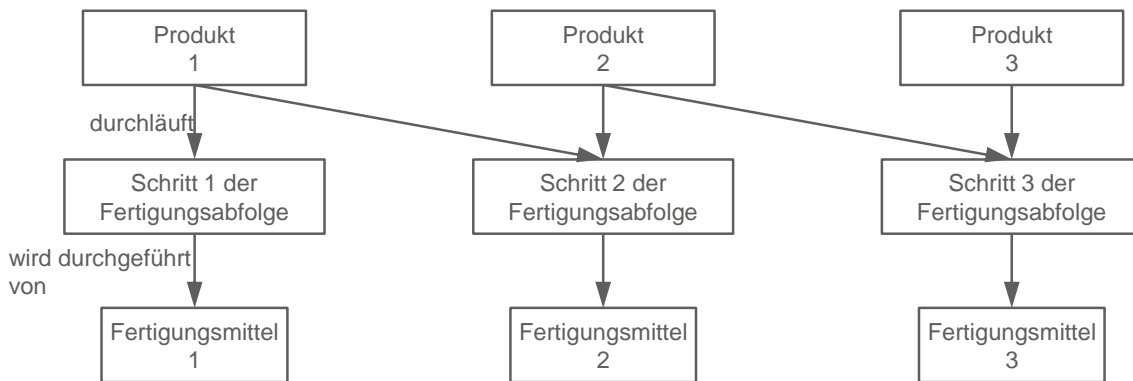


Abbildung 4-14: Zuordnung Produkt zu Fertigungsmittel über Fertigungsabfolge

Die Anforderung des Produktes ist an die Fertigungsabfolge gerichtet. Wie bei der Identifikation anhand des Fertigungsverfahrens umfasst die Aufnahme der Ist-Eigenschaften Stückzahl, Stückkosten, Durchlaufzeit sowie Fehlerrate der Fertigungsmittel. Die Anforderung der Technologie nimmt aber in diesem Fall keine Sonderrolle ein, da die Zuordnung der Fertigungsmittel zu den Schritten der Fertigungsfolge nicht wie bei der Identifikation anhand des Fertigungsverfahrens technologiebasiert, sondern aufgabenbasiert, geschieht. Die angebotene Technologie des Fertigungsmittels ist einfach als dessen Eigenschaft aufzunehmen.

Nach dem gleichen Muster wie bei der Identifikation über das Fertigungsverfahren werden die Relationen auch hier mit DMM's aufgenommen. Abbildung 4-15 zeigt dies für das Beispiel aus der vorherigen Abbildung. Da bei der Fließfertigung jedem Schritt der Fertigungsabfolge ein Fertigungsmittel zugeordnet ist, entspricht die zweite Matrix einer Diagonalmatrix, sodass die erste Matrix der letzten gleicht.

Relation Produkt - Fertigungsabfolge

durchläuft ↗	Schritt 1 F.-abfolge	Schritt 2 F.-abfolge	Schritt 3 F.-abfolge
Produkt 1	✘	✘	
Produkt 2		✘	✘
Produkt 3			✘

Relation Fertigungsabfolge - Fertigungsmittel

wird durchgeführt von ↗	Fertigungs- mittel 1	Fertigungs- mittel 2	Fertigungs- mittel 3
Schritt 1 F.-abfolge	✘		
Schritt 2 F.-abfolge		✘	
Schritt 3 F.-abfolge			✘

Relation Produkt - Fertigungsmittel

wird hergestellt von ↗	Fertigungs- mittel 1	Fertigungs- mittel 2	Fertigungs- mittel 3
Produkt 1	✘	✘	
Produkt 2		✘	✘
Produkt 3			✘

Abbildung 4-15: DMM's zur Identifikation der Fertigungsmittel anhand der Fertigungsabfolge

Fazit – Zusammenfassung des Lösungsbausteins 1.2

Der in diesem Kapitel entwickelte Lösungsbaustein zielt auf die Identifikation von Elementen und Relationen ab, die von Änderungstreibern betroffen sind. Im ersten Schritt konnte von den aus Änderungstreibern resultierenden Anforderungen an die Fabrikfunktionen auf die Fabrikstruktur geschlossen werden. Darauf aufbauend wurde abhängig von der Fabrikstruktur aufgezeigt, wie die Elemente des Fabriksystems (Fertigungsmittel) entweder anhand des Fertigungsverfahrens oder anhand des Fertigungsablaufes zu ermitteln sind. Für die Aufnahme der entsprechenden Relationen wurde das Konzept der Domain Mapping Matrix (DMM) eingeführt. Nach Identifikation der Fertigungsmittel sind ihre Eigenschaften hinsichtlich der Veränderungsdimensionen aufzunehmen. Dies bereitet den in Lösungsbaustein 1.3 folgenden Soll-Ist-Vergleich zwischen Anforderungen und Eigenschaften vor. Die strukturabhängige Kumulation der Fertigungsmitelegenschaften beeinflusst die funktionalen Möglichkeiten oder, anders ausgedrückt, die Ist-Funktionalität des Fabriksystems I_x

zum Zeitpunkt t_x mit $0 \leq x \leq n$. Abbildung 4-16 zeigt die Charakteristika des entwickelten Lösungsbausteins.

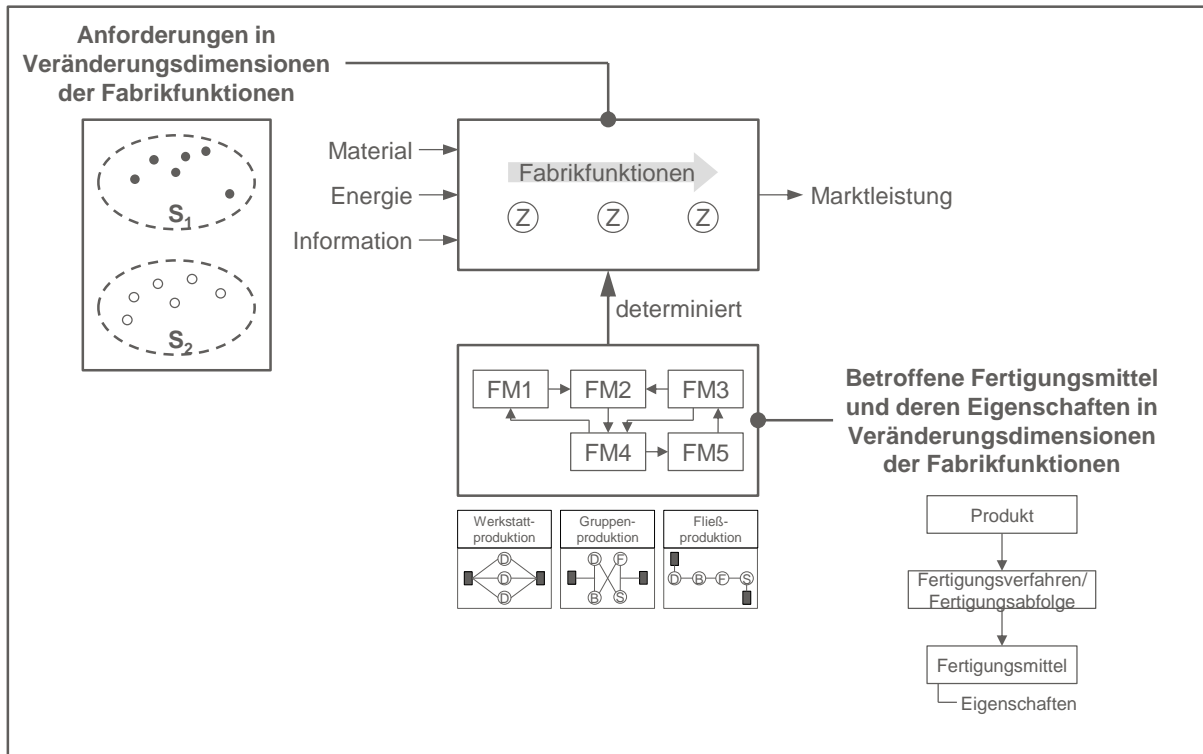


Abbildung 4-16: Lösungsbaustein 1.2

Mit Hilfe der Lösungsbausteine 1.1 und 1.2 wurden zuerst Änderungstreiber rezipiert und daraufhin betroffene Elemente und Relationen identifiziert. Das nächste Kapitel stellt den dritten Lösungsbaustein vor, mit dem erforderliche Veränderungen des Fabriksystems durch einen Soll-Ist-Vergleich aufgedeckt werden können.

4.3 Lösungsbaustein 1.3: Erforderliche Veränderungen?

Der dritte Lösungsbaustein betrifft die Anforderung A1.3, die der Teilforschungsfrage 1.3 entspricht: Welche Veränderungen bewirken die Änderungstreiber?

Deshalb wird in Lösungsbaustein 1.3 mit einem Soll-Ist-Vergleich resümiert, welche Veränderungen des Fabriksystems vorzunehmen sind. Das Soll-System wird von Lösungsbaustein 1.1 bereitgestellt, der Änderungstreiber in Anforderungen übersetzt hat. Die Eigenschaften des Ist-Systems liefert Lösungsbaustein 1.2.

Zuerst wird das Vergleichsverfahren vorgestellt, welches die Eignung der vorhandenen Fertigungsmittel überprüft und deshalb im Folgenden als Eignungsprüfung bezeichnet wird. Der anschließende Abschnitt erläutert die Deutung von Korridoren in den Veränderungsdimensionen der Fabrikfunktionen. Dabei werden auch die Verbindung zur Veränderungsfähigkeit gezogen und eine übersichtliche Einordnung der Terminologie gegeben. Daraufhin kann aufgezeigt werden, wie die Korridor Grenzen bestimmt werden. Der letzte Teil des Kapitels fasst in einem kurzen Fazit den entwickelten Lösungsbaustein zusammen.

Eignungsprüfung

Der Begriff Eignung beschreibt das „Verhältnis zwischen verlangter und vollziehbarer Leistung“ (ROPOHL 1971, S. 63). Bezogen auf die vorliegende Problemstellung erfolgt eine Überprüfung anhand der Eigenschaften der Fertigungsmittel, ob diese geeignet sind, die Fabrikfunktionen für die gestellten Anforderungen zu ermöglichen. Nach ROPOHL besteht die Eignung aus den drei Komponenten Eignungssubjekt, Eignungsobjekt und Eignungsart (ROPOHL 1971, S. 63–64), die in dieser Arbeit folgendermaßen verstanden werden sollen:

- **Subjekt der Eignung:** In erster Linie determiniert das Zusammenwirken der Fertigungsmittel in ihrem Relationsgeflecht (Fabrikstruktur) die Fabrikfunktionen beziehungsweise die vollziehbare Leistung des Fabriksystems. Zur eigentlichen Produktherstellung bedient sich das Fabrikssystem dann der Fertigungsmittel. In Abhängigkeit der Struktur sind deshalb zunächst die von Änderungstreibern beziehungsweise Anforderungen betroffenen Fertigungsmittel identifiziert worden. Diese stellen schließlich die Gegenstände dar, über die mit der Eignungsprüfung eine Aussage getroffen werden soll.

Die Eigenschaften der Fertigungsmittel beschreiben mögliche Funktionen der Fertigungsmittel. Sie stehen somit stellvertretend für die Struktur der Fertigungsmittel (ROPOHL 1999, S. 97), die bekanntlich die Funktionen determiniert. Die Fertigungsmittelstruktur soll in dieser Arbeit jedoch nicht tiefergehend untersucht werden, da die Fertigungsmittel als Subsysteme aufgefasst und von Ansätzen wie FMS und RMS thematisiert werden (vgl. Seite 31-32).

- **Objekt der Eignung:** Hierunter werden die verlangten Fertigungsaufgaben, ergo die Anforderungen an die Fabrikfunktionen in den sechs Veränderungsdimensionen, gefasst.
- **Art der Eignung:** Bei der Eignungsprüfung kann zwischen technischer und wirtschaftlicher Eignung unterschieden werden. Die technische Eignung trifft eine binäre Aussage, ob das Subjekt hinsichtlich des Objektes geeignet ist oder nicht. Die zweite Eignungsart differenziert dahingehend, in welchem Maße ökonomische Prinzipien erfüllt werden. Für die vorliegenden Forschungsambitionen ist zunächst die technische Eignungsart von Belang, da die Frage zu beantworten ist, ob die Anforderungen an das Fabriksystem erfüllt werden können oder nicht. Die wirtschaftliche Eignung des bestehenden Fabriksystems ist bereits vor dessen Implementierung überprüft worden, die des zukünftigen Fabriksystems gilt es, bei der Alternativplanung im Rahmen der Fabrikstrukturplanung zu bewerten.

Wenn die Grenzen des Möglichen überschritten werden, muss ein struktureller Eingriff erfolgen, beziehungsweise müssen die limitierenden Fertigungsmittel verändert werden. Die Erkenntnis der Eignungsprüfung gibt Aufschluss über die zu verändernden Fertigungsmittel, die die Erfüllung der angeforderten Fabrikfunktionen verhindern.

Die Anforderungen können hingegen erfüllt werden, wenn sie innerhalb der Möglichkeiten des Fabriksystems liegen. Die Grenzen dieser Möglichkeiten können anhand der Fertigungsmittelleigenschaften ergründet werden. Häufig ist die Rede von Korridoren. Sie werden im nächsten Abschnitt beschrieben. Je nach Fabrikstruktur erfolgt die Kumulation der Fertigungsmittelleigenschaften zur Bestimmung der Korridor Grenzen auf eine andere Weise, die im übernächsten Abschnitt spezifiziert wird. Zuvor gibt Abbildung 4-17 einen Überblick des geschilderten Zusammenhangs für diesen Lösungsbaustein.

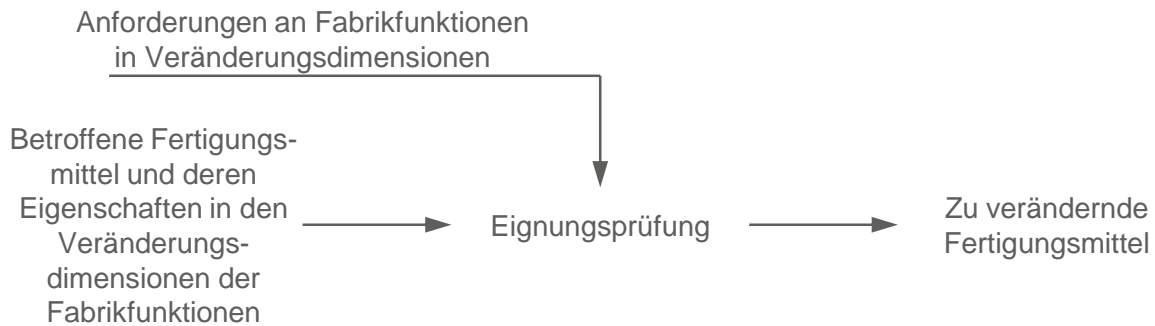


Abbildung 4-17: Zusammenhang der Eignungsprüfung

Korridore in Veränderungsdimensionen

Korridore beschreiben eine Bandbreite an möglichen Fabrikfunktionen, wie Abbildung 4-18 veranschaulicht. Das Fabriksystem kann selbstverständlich die Funktionen respektive ihre Ausgangsgrößen in den Dimensionen verändern, weshalb auch von Veränderungsdimensionen gesprochen wird. Die betrachteten Veränderungsdimensionen der Fabrikfunktionen wurden aus den Rezeptoren entwickelt und lauten (vgl. Seite 67-68 und Abbildung 4-4):

- Produkt(-variante)
- Stückzahl
- Technologie
- Stückkosten
- Durchlaufzeit
- Fehlerrate

In Abbildung 4-18 sollen am Beispiel der Veränderungsdimension Stückzahl die Komponenten der Eignung erklärt werden. Das betrachtete Fertigungsmittel (Eignungssubjekt) verfügt über die Eigenschaft, zwischen 100 und 120 Einheiten produzieren zu können. Die Anforderungen (Eignungsobjekte) sollen 110, 115, 110 und 130 betragen. Die zu untersuchende Art der Eignung verlangt die binäre Aussage, ob die Anforderung innerhalb des Korridors liegt, das heißt, ob den Anforderungen entsprochen werden kann oder nicht.

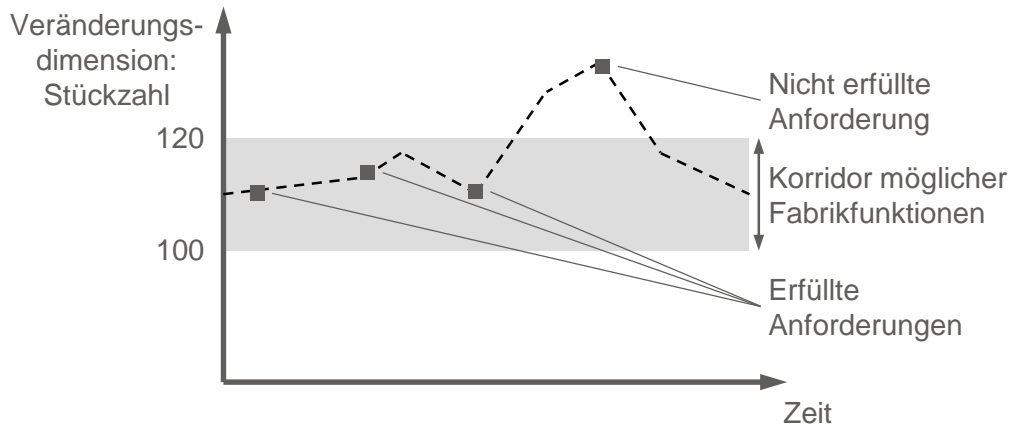


Abbildung 4-18: Korridor in der Veränderungsdimension Stückzahl
(i.A.a. REINHART 2000, S. 37)

Grundsätzlich findet zwischen allen Funktionsveränderungen oder Ausgangsgrößenveränderungen eine Veränderung des Systems statt. Die Veränderung der Funktion wird durch die Veränderung der Struktur ermöglicht. Die Veränderungsfähigkeitsklassen Flexibilität und Wandlungsfähigkeit stellen Fähigkeiten dar, die Struktur und demzufolge auch die Funktion zu verändern.

MÖLLER schreibt zur Abgrenzung von Flexibilität und Wandlungsfähigkeit im Sinne von REINHART (2008), dass sich ohne die Berücksichtigung von zeitlichen und monetären Aufwänden jede Veränderung als „Ausübung von Flexibilität“ bezeichnen ließe (MÖLLER 2008, S. 14). Demzufolge liegt eine zeitliche und monetäre Schwelle vor, die Flexibilität von Wandlungsfähigkeit trennt. Danach können Veränderungen unter der Nutzung von Flexibilität schneller und kostengünstiger umgesetzt werden als bei der Nutzung von Wandlungsfähigkeit. Aufbauend auf den Definitionen von REINHART (2008) stellt Abbildung 4-19 die Abgrenzung dar. Neben den drei Veränderungsaufwandsklassen, gering, mittel und hoch, sind zudem die von REINHART verwendeten Schlüsselwörter bei der Definition der Veränderungsfähigkeitsklassen (vgl. Seiten 17-18) ergänzend angegeben. Die Schlüsselbegriffe helfen bei der Zuordnung der Veränderungsfähigkeitsdefinitionen zu den Veränderungsaufwandsklassen.

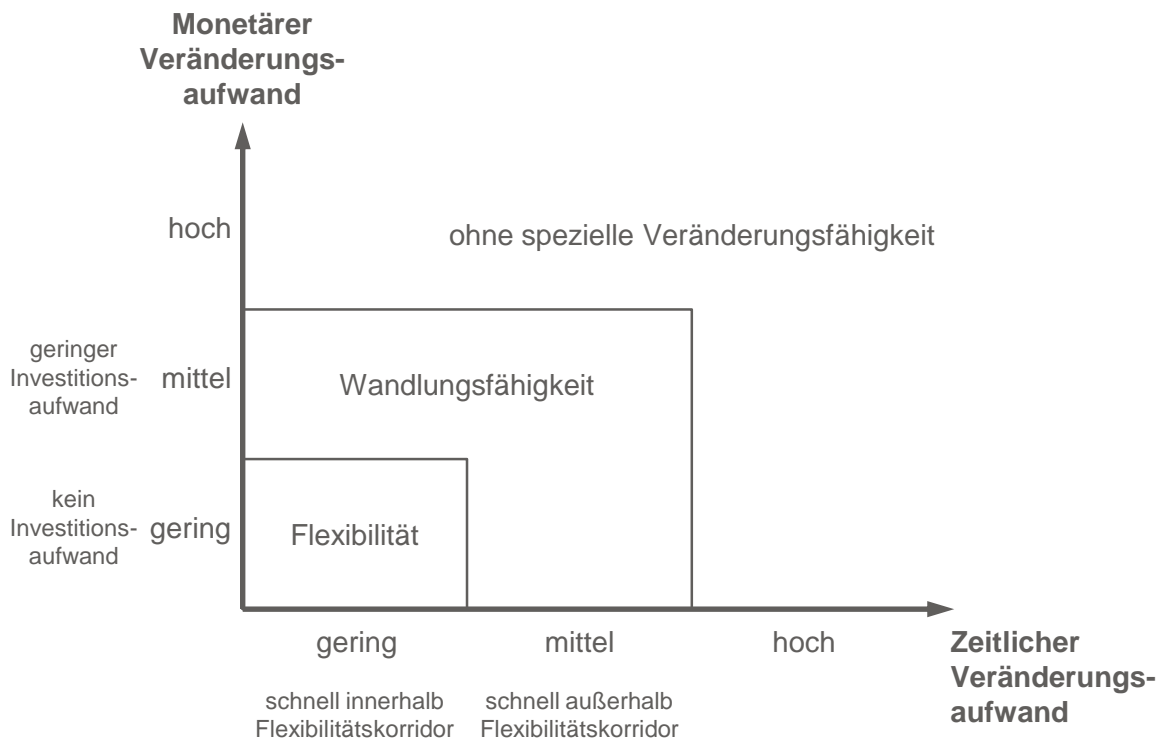


Abbildung 4-19: Unterscheidung Flexibilität und Wandlungsfähigkeit

Zur Abbildung 4-19 sei angemerkt: Im turbulenten Spannungsfeld ist der benötigte zeitliche und monetäre Veränderungsaufwand zu senken. Dies darf allerdings nicht zum voreiligen Schluss führen, dass Flexibilität eine ausreichende Lösung verkörpert. Zwar verursacht Flexibilität einen geringen Veränderungsaufwand, aber das Vorhalten einer hohen Flexibilität, die alle erdenklichen Veränderungen abdeckt, stellt kaum eine wirtschaftliche Lösung dar (NYHUIS ET AL. 2009, S. 206; REINHART 2008, S. 51). Zudem können unvorhergesehene Veränderungen nicht umgesetzt werden (REINHART 2000, S. 22). Als lösungsneutrales Potenzial wird deshalb die Wandlungsfähigkeit zur Minderung der Differenz aus benötigtem und zulässigem Veränderungsaufwand angesehen (vgl. Kapitel 1.1 und 1.2).

Dies bekräftigt noch einmal die Fokussierung auf die Nutzung der Wandlungsfähigkeit als Planungskategorie im Regelkreis der kontinuierlichen Fabrikplanung (siehe Seite 38). Zudem sind bei der Flexibilität genau definierte Maßnahmenbündel für die erreichbaren Fabrikfunktionen vorgehalten, sodass Veränderungsplanungen in dieser Klasse nahezu obsolet sind (REINHART 2008, S. 47). Für die Nutzung der Wandlungsfähigkeit sind allerdings Planungen von Nöten, da Wandlungsfähigkeit lösungsneutrale Freiräume für Veränderungen anbietet und keine expliziten Lösungen (REINHART 2008, S. 51).

Für die Planungen wird angestrebt, mit der vorhandenen Wandlungsfähigkeit auszukommen. Unter dieser Vorgabe sind die Teilforschungsfragen in Kapitel 2.2.1 bei dieser Planungsklasse eingeordnet worden. Wenn trotz aller Anstrengungen bei der Planung zur Nutzung der Wandlungsfähigkeit keine ausreichenden Maßnahmen ermittelt werden können, wird die dritte Planungsklasse zur Gestaltung der Wandlungsfähigkeit erforderlich (vgl. Seite 35-36). Für diese sind einige Methoden im Rahmen der Literaturrecherche ausfindig gemacht worden (siehe Kapitel 2.2.2 bis 2.2.6 und Kapitel 2.3).

Abbildung 4-19 verdeutlicht zudem auch die Existenz eines Grenzwertes für Flexibilität, der die Bandbreite eines Flexibilitätskorridors durch den zeitlichen und monetären Aufwand für Veränderungen beschränkt. Dieser Grenzwert kann entweder direkt vorgegeben werden oder rekursiv aus dem bereits implementierten System gewonnen werden. Bei letzterem gelten zumeist als Obergrenze das Limit der technischen Möglichkeiten und als Untergrenze ein Mindestwert für den wirtschaftlichen Betrieb (REINHART 2008, S. 47; WESTKÄMPER 2006, S. 374). Der höchste zeitliche und monetäre Aufwand für Veränderungen entspricht dann dem Grenzwert der Flexibilität.

Bei Veränderungen, die über den Flexibilitätskorridor hinausgehen, ist ein solch umfangreicher Eingriff in die bestehende Struktur erforderlich, der zwangsläufig zu einer Modifikation des Flexibilitätskorridors führt. Wandlungskorridore beschreiben die Möglichkeit, Flexibilitätskorridore durch einen zeitlichen und monetären Aufwand zu verschieben (SCHUH ET AL. 2013, S. 287). Auch die Wandlungskorridore müssen durch Zeit und Kosten begrenzt sein, da sonst jede Veränderung als Ausübung von Wandlungsfähigkeit verstanden werden könnte, was dem Überfluss dieser Veränderungsfähigkeitsklasse gleichkäme.

Abbildung 4-20 zeigt den Sachverhalt der Korridore auf und erklärt ihren Zusammenhang mit der Veränderungsfähigkeit. Die Abszisse gibt die Zeit wieder, in der sich das Fabrikssystem verändert. Auf der Ordinate ist die Fabrikfunktion in einer Veränderungsdimension abgetragen. Der Flexibilitätskorridor umfasst die Fabrikfunktionen, die durch Nutzung der Flexibilität schnell und ohne zusätzliche Investitionen erfüllt werden können. Der Wandlungskorridor gibt den Rahmen vor, in welchem die Flexibilitätskorridore verschiebbar sind. Der Wandlungskorridor wird genutzt, wenn Anforderungen nicht vom Flexibilitätskorridor abgedeckt werden (NYHUIS ET AL. 2010, S. 5).

Während Korridore als funktionale Möglichkeiten angesehen werden können, sollen Flexibilität und Wandlungsfähigkeit als strukturelle Fähigkeiten verstanden werden. Die Pfeile zwischen den einzelnen Funktionspunkten stehen für

die Veränderung des Fabriksystems und repräsentieren die Veränderungsfähigkeiten. Die Veränderungsfähigkeit ist ein Erfolgsfaktor von Veränderungsprozessen (siehe Abbildung 2-13). Resümierend kann gefolgert werden:

Die Veränderungsfähigkeitsklassen spannen ein Struktur-Delta auf, welches ein durch Korridore beschriebenes Funktions-Delta ermöglicht.

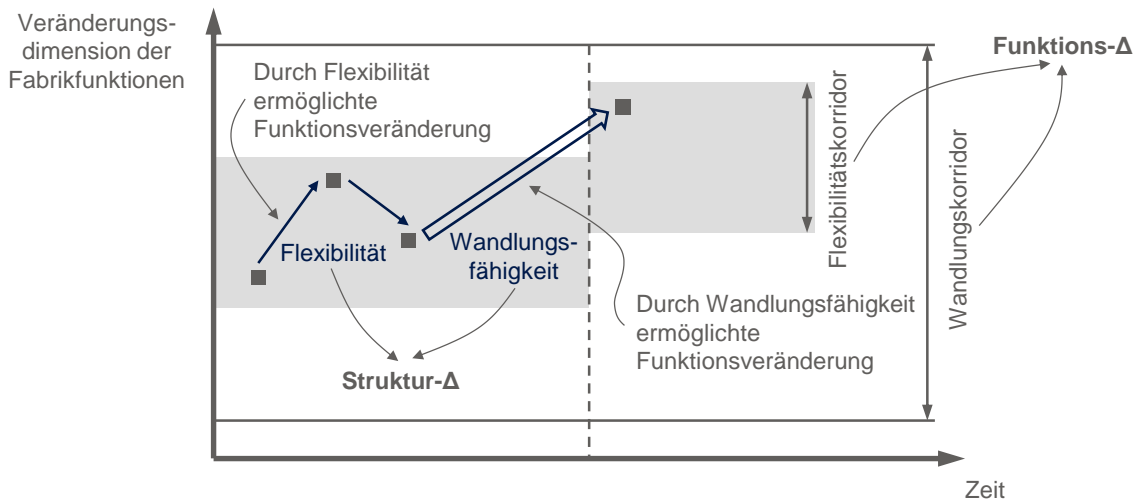


Abbildung 4-20: Veränderungsfähigkeitsklassen und Veränderungskorridore

Nachdem in diesem Abschnitt allgemein geschildert wurde, was unter Korridoren in den Veränderungsdimensionen der Fabrikfunktionen verstanden wird, folgt im nächsten Abschnitt der Transfer auf den vorliegenden Untersuchungsfall. Es wird erläutert, wie die Korridorgrenzen zu bestimmen sind, um die Eignung prüfen zu können.

Bestimmung der Korridorgrenzen

Die Bestimmung von Flexibilitätskorridorgrenzen ist die Voraussetzung für die Eignungsprüfung. Nur mit ihnen gewinnt man Erkenntnis darüber, ob die Anforderungen innerhalb der Möglichkeiten des Fabriksystems liegen und sofort erfüllt werden können. Dieser Soll-Ist-Vergleich zeigt dann erforderliche Veränderungen auf, die unter Nutzung der Wandlungsfähigkeit vollzogen werden sollen. Für das Fabrikssystem gilt es also, die Korridore in den sechs Veränderungsdimensionen zu bestimmen. Die Kumulation der Fertigungsmiteigenschaften zur Ermittlung der Korridorgrenzen ist abhängig von der Fabrikstruktur beziehungsweise dem Produktionsprinzip. In den folgenden zwei Abschnitten wird in deren Abhängigkeit die Bestimmung der Korridorgrenzen erklärt.

Bestimmung der Flexibilitätskorridorgrenzen bei Werkstatt-/Gruppenproduktion

Für das gesamte Fabriksystem wird ein Flexibilitätskorridor in der Veränderungsdimension Produkt(-variante) aufgenommen, da die Produktherstellung eine Gesamtsystemeigenschaft darstellt (vgl. Seite 81). Auf der y-Achse werden auf einer diskreten Skala die unter Nutzung der Flexibilität herstellbaren Produkte aufgeführt. Die Flexibilitätskorridore in den anderen fünf Veränderungsdimensionen werden pro Produkt bestimmt. Eine allgemeine Aussage über die Korridorgrenzen für das Fabriksystem über alle Produkte hinweg scheint kaum möglich oder wenig sinnvoll, da sie vom spezifischen Produktmix abhängig sind. Abbildung 4-21 zeigt die zu bestimmenden Flexibilitätskorridore für das fiktive Beispiel zweier herstellbarer Produkte eines Unternehmens auf.

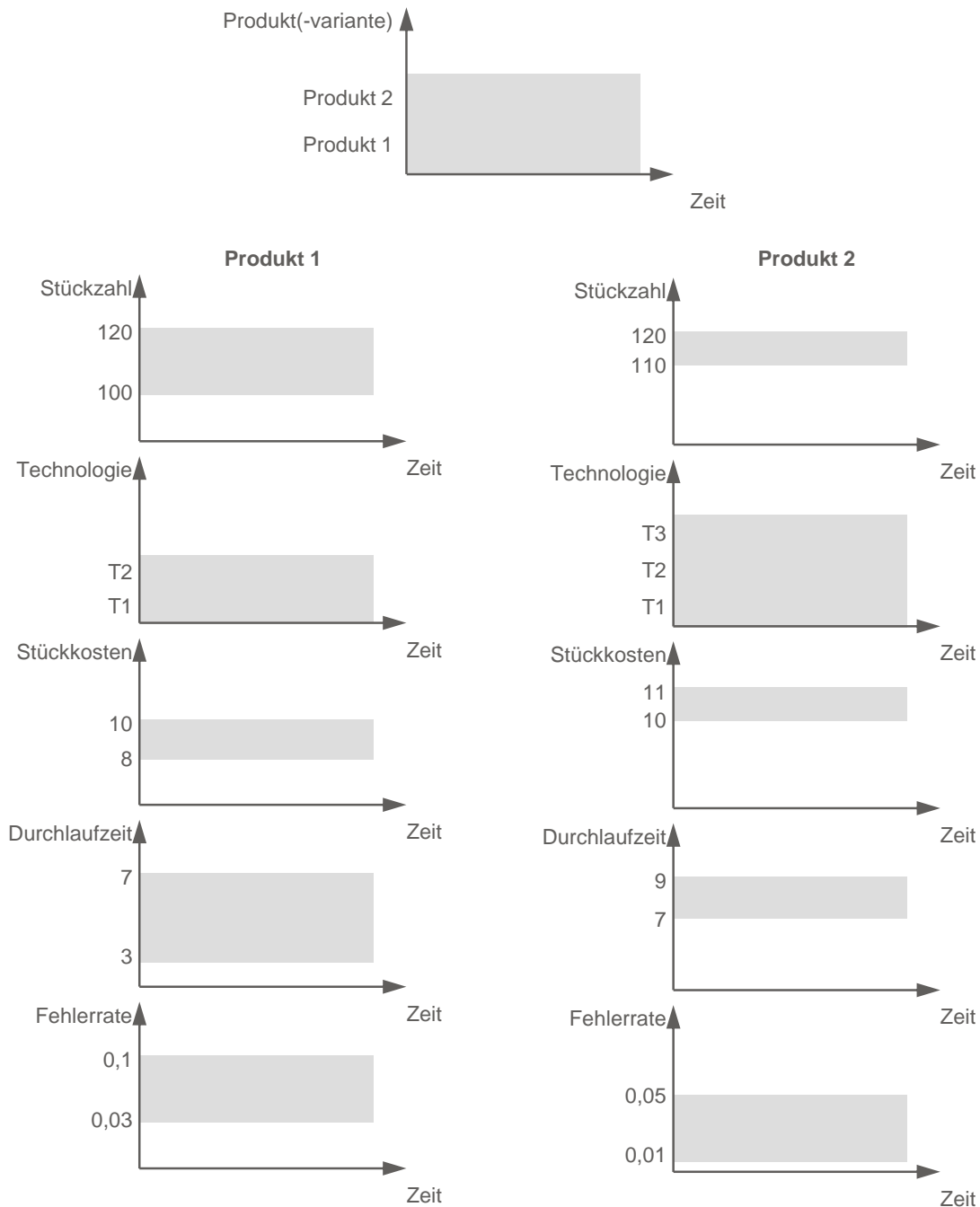


Abbildung 4-21: Flexibilitätsskizzen in den sechs Veränderungsdimensionen

Die Veränderungsdimensionen können auch gefächert dargestellt werden. In diesem Diagramm (siehe Abbildung 4-22) geht zwar die Zeit als Dimension verloren, gleichwohl wird aber ein komprimierter Überblick der Möglichkeiten gegeben.

Flexibilitätskorridore
für ein Produkt

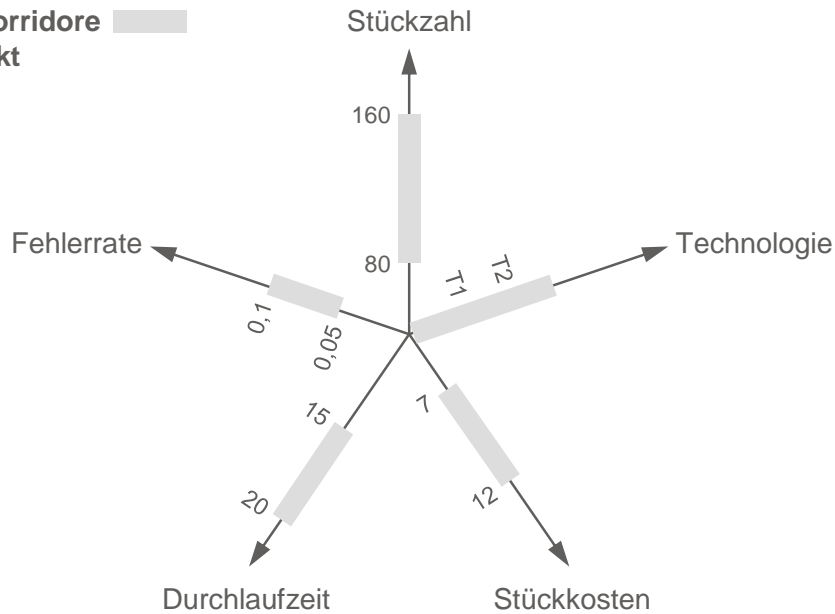


Abbildung 4-22: Komprimierte Darstellung der Flexibilitätskorridore in fünf Veränderungsdimensionen
(DÜRRSCHMIDT 2001, S. 17; PACHOW-FRAUENHOFER 2012, S. 56)

Da die Zuordnung von Produkt zu Fertigungsmittel bei der Werkstatt- oder Gruppenproduktion über Fertigungsverfahren veränderlich ist, sollten für den Flexibilitätskorridor der Stückzahl zunächst die Eigenschaften der Fertigungsmittel je Fertigungsverfahren addiert werden. Die untere Grenze ergibt sich aus der höchsten Summe der aus wirtschaftlichen Gründen mindestens herzustellenden Stückzahl mit einem Fertigungsverfahren. Die Obergrenze liegt bei der kleinsten Summe der Kapazitäten für die Fertigungsverfahren.

Stückkosten, Durchlaufzeit und Fehlerrate stellen zu minimierende Zielgrößen der Fabrikplanung dar. Aufgrund ihrer Gegenläufigkeit können nicht alle drei zur gleichen Zeit ein Optimum einnehmen. (KLEMKE 2014, S. 36–37)

Es muss also einen vom Unternehmen akzeptierten Korridor geben, in denen sich diese Zielgrößen bewegen dürfen. Zur Steigerung des Produktmixes können beispielsweise für eine Senkung der Durchlaufzeit etwas höhere Stückkosten in Kauf genommen werden.

Als Untergrenzen der Flexibilitätskorridore der Fabrikfunktionen in den Veränderungsdimensionen Stückkosten, Durchlaufzeit und Fehlerrate werden die technologischen Machbarkeiten gewählt. Das schwächste Fertigungsmittel bestimmt mit seinen Eigenschaften die Untergrenze. Bei den Stückkosten entspricht diese den Selbstkosten, die beim Verkauf mindestens erzielt werden müssen, um kostendeckend zu produzieren (REINHART 2010, S. 116). Die

mögliche Durchlaufzeit wird durch das Fertigungsmittel mit der längsten Prozesszeit bestimmt, welches die Taktzeit bestimmt. Die Untergrenze für die Fehlerrate wird über die Multiplikation der Wahrscheinlichkeiten der Fertigungsmittel, dass kein fehlerhaftes Produkt hergestellt wird, ermittelt, da an jeder Station unabhängig von vorherigen oder kommenden Arbeitsplätzen Fehler erzeugt werden können. Besitzen beispielsweise drei für die Produktherstellung verwendete Fertigungsmittel eine Fehlerrate von 1%, ergibt sich die Wahrscheinlichkeit für ein fehlerfreies Produkt durch die Multiplikation der Wahrscheinlichkeiten je Fertigungsmittel, die jeweils 99% entsprechen: $0,99^3 = 0,9703$. Damit lautet die Fehlerrate 2,97%.

Die Obergrenzen der Flexibilitätskorridore werden von wirtschaftlichen Aspekten bestimmt. Die Anforderungen des Marktes diktieren, welche Stückkosten, Durchlaufzeiten und Fehlerraten von den Fabrikfunktionen maximal erzeugt werden dürfen.

Die Fabrikfunktionen haben in den drei zuletzt genannten Veränderungsdimensionen einen Spielraum zwischen dem technologisch Machbaren und auf dem Markt Veräußerbaren. Wenn die Untergrenze über der Obergrenze liegt, entsteht ein mathematisch negativer Flexibilitätskorridor, der bedeutet, dass die Anforderungen an die Fabrikfunktionen nicht erfüllt werden können.

Die Technologie nimmt bekanntlich bei den zwei Produktionsprinzipien Werkstatt- und Gruppenproduktion eine Sonderrolle ein. Die Untergrenze beginnt über dem x-Achsenabschnitt, da von den Fertigungsmitteln mehr als null Technologien angeboten werden. Die Korridorbreite entspricht der Liste an Technologien, die von den Fertigungsmitteln angeboten werden und als ihre inhärenten Eigenschaften gelten. Der Flexibilitätskorridor kann beispielsweise geschmälert werden, wenn ein Fertigungsmittel nicht mehr verwendet werden kann oder soll. Dies kann dann zum ersatzlosen Ausfall eines Fertigungsverfahrens führen.

Bestimmung der Flexibilitätskorridor Grenzen bei Fließproduktion

Die Schilderungen aus dem vorhergehenden Abschnitt zur Werkstatt- und Gruppenproduktion können bis auf wenige Ausnahmen leicht übertragen werden. Die in Abbildung 4-21 und Abbildung 4-22 gezeigten Diagramme gelten ebenso für die Fließproduktion. Bei der Kumulation der Fertigungsmittelleigenschaften zur Ermittlung der Flexibilitätskorridor Grenzen sind allerdings zwei wichtige Unterscheidungen zu machen. Sie betreffen die Veränderungsdimensionen Stückzahl und Technologie.

Bei der Fließproduktion stellt ein Fertigungsmittel den Engpass in der Abfolge der Fertigungsschritte dar. Seine Stückzahlkapazität bestimmt die Flexibilitätskorridor Grenzen für die gesamte Linie.

Der Flexibilitätskorridor in der Veränderungsdimension Technologie beginnt ebenfalls über dem x-Achsenabschnitt und listet die angebotenen Technologien auf der y-Achse auf. Es sei aber noch einmal darauf hingewiesen, dass die Technologie bei der Fließproduktion keine Sonderrolle einnimmt (vgl. Seite 84). Besonders zu beachten ist bei diesem Korridor auch, dass er Technologien beinhalten kann, die aufgrund einer fixierten Produktionsabfolge aber nicht nutzbar sind. Beispielsweise kann das Fertigungsmittel des ersten Schrittes eine Technologie anbieten, die erst im dritten Schritt einzusetzen ist.

Abschließend stellt Tabelle 4-2 die unterschiedlichen Vorgehensweisen zur Bestimmung der Flexibilitätskorridor Grenzen (UG: Untergrenze, OG: Obergrenze) in Abhängigkeit des Produktionsprinzips gegenüber.

Tabelle 4-2: Vorgehen zur Bestimmung der Flexibilitätskorridor Grenzen

Veränderungsdimension	Werkstatt- und Gruppenproduktion	Fließproduktion
Produkt	UG: x-Achse OG: Herstellbare Produkte	
Stückzahl	1. Summe der Fertigungsmittelstückzahlen je Fertigungsverfahren 2. UG: höchste Stückzahlsumme von Fertigungsverfahren OG: kleinste Stückzahlsumme von Fertigungsverfahren	UG: Fertigungsmittel mit höchster Mindeststückzahl OG: Fertigungsmittel mit geringster Maximalstückzahl
Technologie	UG: x-Achse OG: Angebotene Technologien von Fertigungsmittel	UG: x-Achse OG: Angebotene Technologien von Fertigungsmittel (Fertigungsabfolge kann Angebot reduzieren)
Stückkosten	UG: Selbstkosten des Produktes OG: Anforderungen des Marktes	
Durchlaufzeit	UG: Längster Fertigungsmittelprozess bestimmt kürzeste Taktzeit OG: Anforderungen des Marktes	
Fehlerrate	UG: $100\% - \prod(1 - \text{Fehlerrate})$ OG: Anforderungen des Marktes	

Abhängigkeit der Flexibilitätskorridore

Nachdem nun in den letzten beiden Abschnitten aufgezeigt wurde, wie die Flexibilitätskorridor Grenzen unter Berücksichtigung der Fabrikstruktur bestimmt werden können, muss abschließend auf einen bei Verwendung der Korridore zu beachtenden Aspekt hingewiesen werden. Die Anforderungen an das Fabrikssystem sind zwar unabhängig voneinander, dies gilt allerdings nicht für die

Eigenschaften der Fertigungsmittel und die Flexibilitätskorridore. Zum einen beeinflussen sich die Eigenschaften der Fertigungsmittel pro Produkt gegenseitig, sodass die volle Korridorbreite meist nicht ausgeschöpft werden kann (DÜRRSCHMIDT 2001, S. 18). Bekannterweise besteht etwa eine starke gegenläufige Korrelation zwischen einer hohen Stückzahl und einer niedrigen Durchlaufzeit. Gleichzeitig können auch erreichbare Fabrikfunktionen aus den Flexibilitätskorridoren einzelner Produkte nicht beliebig miteinander kombiniert werden. Beispielsweise ist es denkbar, dass die Erhöhung der Stückzahl eines Produktes die maximal mögliche Stückzahl eines anderen bedingt.

In Anlehnung an das Konzept der Isoquanten, mithilfe derer in der Volkswirtschaftslehre technologische Beschränkungen eines Unternehmens in Hinblick auf mögliche Outputmengen abhängig von zwei verschiedenen Inputs beschrieben werden, soll die zuvor aufgeworfene Interdependenz zwischen einzelnen Produkten untersucht werden (VARIAN 2010, S. 332–334). Für diesen Anwendungsfall soll dieses ökonomische Standardkonzept insofern abgewandelt werden, als dass der Zusammenhang zwischen den Stückzahlen zweier Produkte und einer Gesamtstückzahl dargestellt wird. Wenn nun die beiden Stückzahlen auf der x- und y-Achse abgetragen werden, kann die maximal mögliche Marktleistung unter der Annahme einer Gesamtstückzahlkapazität als obere und die mindestens erforderliche als untere „Isoquante“ verstanden werden. Zwischen diesen Graphen befindet sich der Flexibilitätskorridor. Abbildung 4-23 zeigt beispielhaft eine Substitutionsbeziehung zwischen den Produkten 1 und 2 auf.

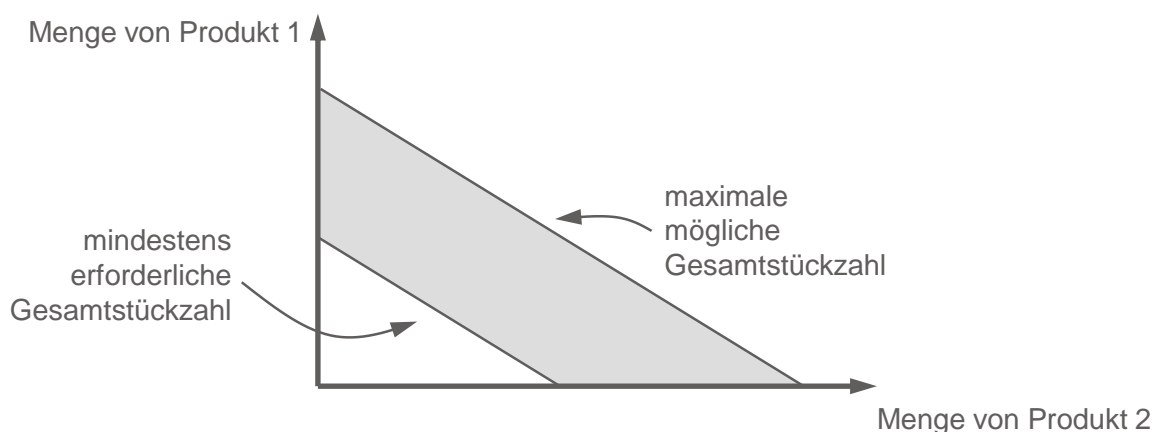


Abbildung 4-23: Mögliche Stückzahl-Substitutionen zweier Produkte

Die Analyse geeigneter „Isoquanten“ würde den Rahmen dieser Forschungsarbeit übersteigen. Je nach Produktionsfunktion und resultierender Form der Isoquanten können sich verschiedenste Substitutionsbeziehungen ergeben. Wenn der Abbildung 4-23 die Zeit als dritte Dimension hinzugefügt würde, entstünden dreidimensionale Flexibilitätskorridorräume, bei mehr als zwei Produkten entsprechend mehrdimensionale Gebilde. Bei dem in dieser Forschungsarbeit beschriebenen Lösungsansatz handelt es sich folglich um eine Approximation. Gleichwohl stellt diese aber eine bessere Näherung dar als die Angabe fabriksystemweiter Flexibilitätskorridore, die versuchen, die Gesamtstückzahlkapazität anzugeben. Wenn also die fallspezifische Abhängigkeit der Korridore zwischen den Produkten berücksichtigt wird, gelingt mit den Korridoren der alle Produkte umfassende Soll-Ist-Vergleich. Wenn die Anforderungen außerhalb des Flexibilitätskorridors liegen, sind Veränderungen unter Nutzung der Wandlungsfähigkeit erforderlich. Für die Veränderungsprozesse, die diese erforderlichen Veränderungen realisieren, werden in Kapitel 5 Informationspakete erarbeitet.

Fazit – Zusammenfassung des Lösungsbausteins 1.3

Abbildung 4-24 skizziert den dritten Lösungsbaustein. Zu Anfang des Kapitels wurde die Eignungsprüfung definiert. Die Eignung besteht aus den drei Komponenten Subjekt, Objekt sowie Art der Eignung, die in genannter Reihenfolge den Fertigungsmitteln und ihren Eigenschaften, den Anforderungen sowie der technischen Eignung entsprechen. Anschließend wurde das Konzept der Korridore in den Veränderungsdimensionen vorgestellt und der Unterschied zwischen Flexibilitäts- und Wandlungskorridor diskutiert. Nach diesem allgemeinen Abschnitt wurde aufgezeigt, wie die Flexibilitätskorridorgrenzen für die sechs Veränderungsdimensionen anhand der Fertigungsmittelleigenschaften zu bestimmen sind. Nachdem die Korridorgrenzen bekannt sind, lässt sich die Eignungsprüfung durchführen. Dabei wird verglichen, ob die Anforderungen innerhalb der Flexibilitätskorridore liegen. Mit dieser Prüfung erlangt man Erkenntnis darüber, welche Fertigungsmittel unter Nutzung der Wandlungsfähigkeit zu verändern sind.

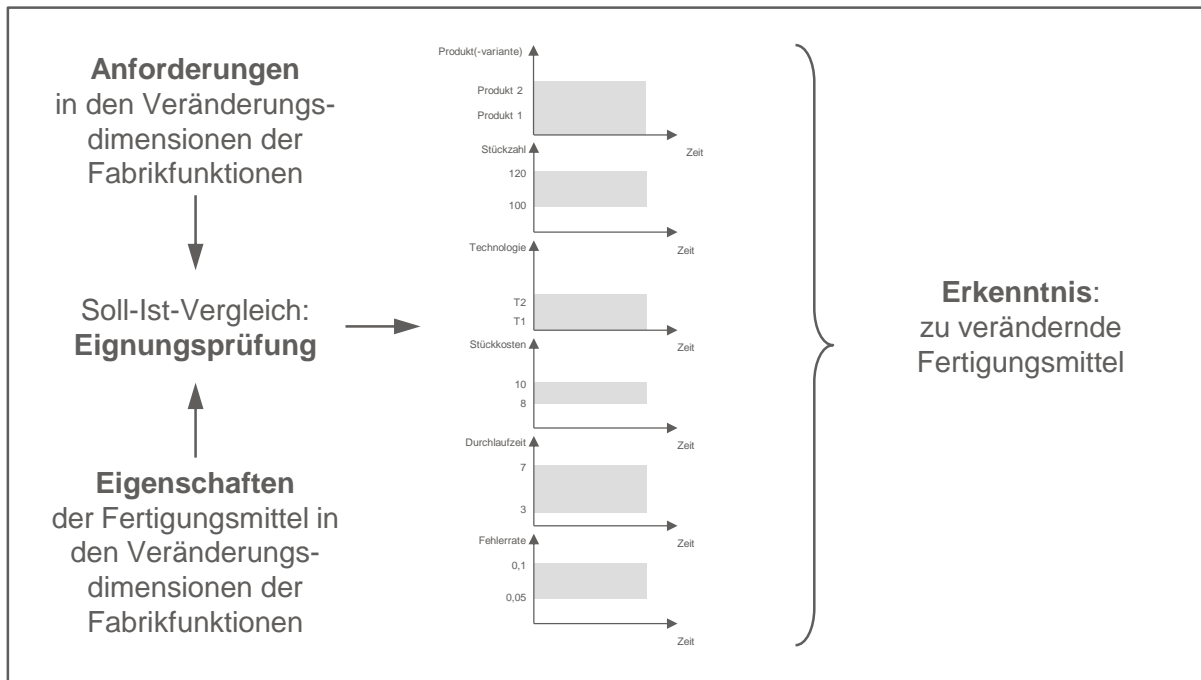


Abbildung 4-24: Lösungsbaustein 1.3

Mit den drei Lösungsbausteinen 1.1, 1.2 und 1.3 wurde in Kapitel 4 ein Teilmodell zur Analyse der Wirkung von Änderungstreibern entwickelt. Im anschließenden Kapitel 5 folgt die Informationsbereitstellung zur Maßnahmenableitung für Veränderungsprozesse als Grundlage für die Ableitung von Änderungsmaßnahmen.

Während es je nach Szenarien unterschiedliche Soll-Systeme gibt (vgl. Seite 72-73), gilt es, im Rahmen der Nutzung der Wandlungsfähigkeit die Ist-Systeme I_1 bis I_n zu entwickeln. Dabei können selbstverständlich verschiedene Varianten der zukünftigen Ist-Systeme entworfen werden, um die Auswirkung von Änderungstreibern verschiedener Szenarien zu antizipieren. Analog zur Kennzeichnung der Soll-Systeme könnten die Systeme I_{11} bis I_{1m} , ..., I_{n1} bis I_{nm} entwickelt werden. Sie werden durch einen Veränderungspfad verbunden. Dieser setzt sich aus Änderungsmaßnahmen zusammen, für deren Ableitung im nächsten Kapitel ein Informationspaket bereitgestellt werden soll.

5 Anwendungspotenzial – Ableitung von Änderungsmaßnahmen

Der Aufbau dieses Kapitels gleicht dem des vorhergehenden Kapitels 4, bei dem das erste Teilmodell entwickelt wurde. Das in diesem Kapitel auszuarbeitende zweite Teilmodell wird anhand der aufgabenspezifischen Anforderungen A2.1, A2.2 und A2.3 entwickelt, deren Ermittlung in Kapitel 3 nachgelesen werden kann (siehe Tabelle 3-1). In den Kapiteln 5.1, 5.2 und 5.3 wird jeweils ein Lösungsbaustein für je eine Anforderung entwickelt. Die grundlegenden Anforderungen G1 und G3 aus Tabelle 3-2 werden implizit berücksichtigt.

Anschließend an das erste Teilmodell werden hier Perspektiven präsentiert, wie die Analyse der Wirkung von Änderungstreibern für die Ableitung von Änderungsmaßnahmen nutzbar gemacht werden kann. Aufbauend auf der Identifikation des Änderungsbedarfs beziehungsweise der zu verändernden Fertigungsmittel wird ein dreigliedriges Informationspaket zum Zweck der Maßnahmenableitung bereitgestellt. Damit bietet sich das Anwendungspotenzial des Modells. Das Informationspaket entsteht aus der Synthese der drei zu entwickelnden Lösungsbausteine.

Vor der Entwicklung der Lösungsbausteine soll jedoch mit Abbildung 5-1 eine Übersicht der verwendeten Begrifflichkeiten und insbesondere eine Einordnung des Begriffs Änderungsmaßnahmen gegeben werden.

Unter Änderungsmaßnahmen werden Handlungen oder Regelungen verstanden, die zu einer Änderung des Fabriksystems führen sollen (i.A.a. DUDEN 2014; KLEMKE 2014, S. 39). Diese Änderung des Fabriksystems vollzieht sich innerhalb eines Veränderungsprozesses, der sich anhand der inhaltlich abgeschlossenen, zeitlichen und sachlogischen Folge der zugehörigen Änderungsmaßnahmen von anderen Veränderungsprozessen abgrenzen lässt (i.A.a. BECKER & KAHN 2005, S. 6). Ein Veränderungsprozess wird also durch mindestens eine, zumeist aber mehrere Änderungsmaßnahmen, umgesetzt.

Anwendungspotenzial – Ableitung von Änderungsmaßnahmen

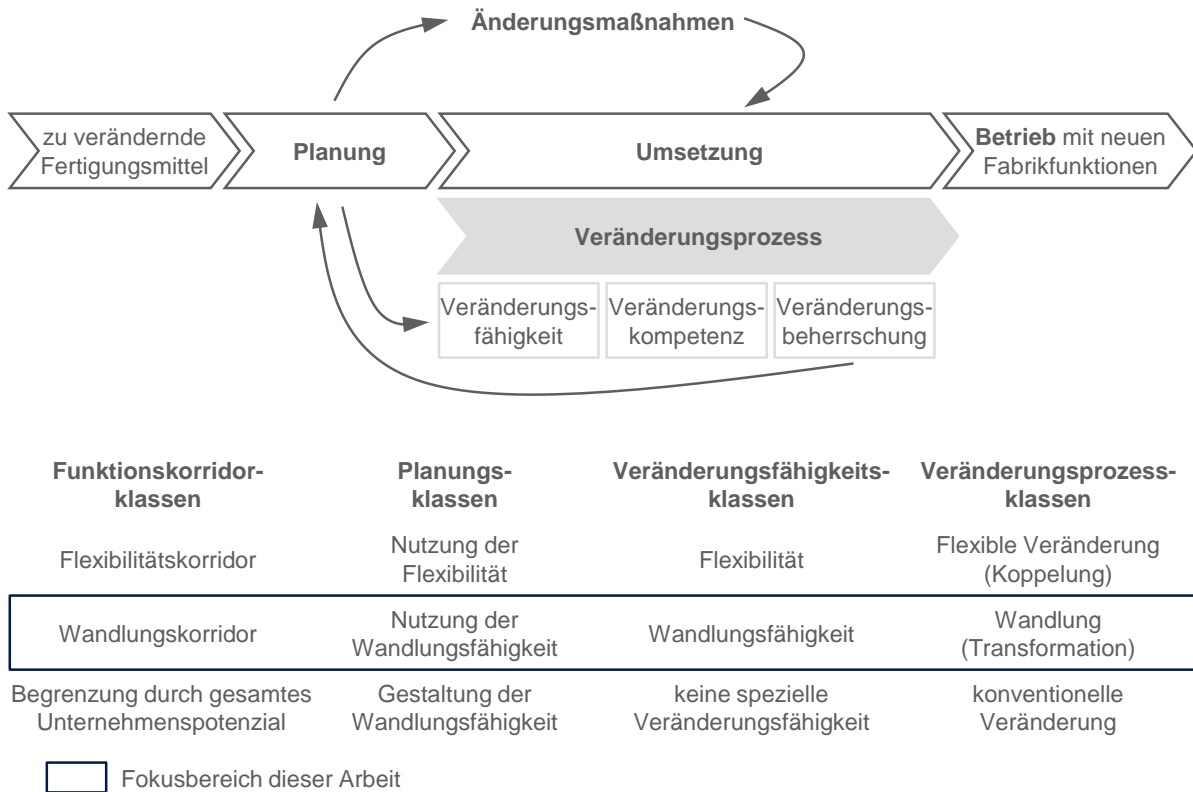


Abbildung 5-1: Übersicht der verwendeten Terminologie

Auf die Identifikation der betroffenen Fertigungsmittel und der erforderlichen Veränderungen im ersten Teilmodell folgt die Planung und Umsetzung der Änderungsmaßnahmen für die Veränderungsprozesse. Daran schließt die Phase des Betriebs mit den neu erlangten Fabrikfunktionen an, die vom Monitoring (nicht abgebildet) in Form eines kontinuierlichen Soll-Ist-Vergleichs überwacht wird. Je nachdem, von welchem Funktionskorridor der Umfang der angeforderten Fabrikfunktionen erfüllt werden kann, werden drei Planungsklassen unterschieden. (vgl. Regelkreis der kontinuierlichen Fabrikplanung aus Abbildung 2-20 beziehungsweise Seiten 35-36)

Die Planungsklassen stehen in direkter Zuordnung zur Veränderungsfähigkeit, die, wie bereits in Abbildung 2-13 postuliert, neben Veränderungskompetenz und Veränderungsbeherrschung als ein Erfolgsfaktor von Veränderungsprozessen gilt. Während die Veränderungskompetenz die Bereitschaft der Mitarbeiter zu Veränderung umfasst, beschreibt die Veränderungsbeherrschung, wie die Veränderungsfähigkeiten genutzt werden können und hat damit einen großen Einfluss auf die Planung der Änderungsmaßnahmen. (vgl. Seite 28)

Es liegt auf der Hand, analog zu den Veränderungsfähigkeitsklassen, die nach dem Aufwand für Veränderungen klassifiziert werden können (siehe Abbildung 4-19), auch Veränderungsprozessklassen zu unterscheiden.

Veränderungsprozesse unter Nutzung der Flexibilität können als flexible Reaktion oder auch Strukturkoppelung bezeichnet werden. Unter Koppelung wird die Bildung eines neuen Relationsgeflechtes innerhalb bestehender Elemente verstanden (HERNANDEZ MORALES 2002, S. 44–45). Durch vorgehaltene Maßnahmenbündel (vgl. Seite 91) wird der Planungsaufwand für diese Veränderungsprozessklasse auf ein Minimum reduziert (REINHART 2008, S. 47). Der Aufwand kann planungstechnisch als vernachlässigbar angesehen werden und hat den Namen einer Planungsklasse kaum verdient, ist allerdings der Vollständigkeit halber aufgeführt.

Veränderungsprozesse, welche unter Nutzung der Wandlungsfähigkeit durchgeführt werden, nennen sich Wandlungen oder auch Transformationen (HERNANDEZ MORALES 2002, S. 44–45).

Wenn keine spezielle Veränderungsfähigkeit vorliegt, können trotzdem Veränderungen der Fabrikstruktur vorgenommen werden. Da sie aber mit einem erheblich größeren zeitlichen und monetären Aufwand verbunden sind, wird ihnen keine spezielle Veränderungsprozessklasse zugewiesen.

Wie bereits diskutiert (siehe Abbildung 2-21, Kapitel 2.3 und Seite 91), soll dieses Teilmodell mit den drei Lösungsbausteinen 2.1, 2.2 und 2.3 für Wandlungsprozesse entwickelt werden. Das dreigliedrige Informationspaket soll als Gestaltungs- und Entscheidungshilfe bei der Planung und Umsetzung von Wandlungsprozessen dienen, indem es die Ableitung von möglichen Änderungsmaßnahmen erlaubt. Die vorausschauende Ableitung von Änderungsmaßnahmen, die mit der szenariobasierten Aufnahme der Änderungstreiber und in dessen Folge der Antizipation zu verändernden Fertigungsmittel gelingt, bereitet den Weg für eine langfristig ausgerichtete Fabrikstrukturplanung über mehrere Perioden. Auf diese Weise wird es möglich, Aussagen über Folgen von Wandlungsprozessen (Wandlungspfade) zu treffen, die das Verhältnis zwischen zeitlichen und monetären Aufwänden für die Wandlung der Fabrikstruktur und der Erfüllung der Anforderungen an die Fabrikfunktionen evaluieren.

Die Planung der Änderungsmaßnahmen befasst sich mit der Planung der Fabrikstruktur und kann deshalb auch als Fabrikstrukturplanung bezeichnet werden. An dieser Stelle fließen die klassischen Fabrikplanungsansätze ein, deren Aufgabe die Entwicklung alternativer Strukturkonzepte ist (HENN & KÜHNLE 1999, S. 9.58-9.59). Diese Ansätze sind jedoch um die Planung der Änderungsmaßnahmen für die Veränderungsprozesse zwischen verschiedenen Stadien der Fabrikstruktur zu erweitern. Die zu entwickelnden Lösungsbausteine der nächsten drei Kapitel liefern hierzu einen wichtigen Beitrag.

5.1 Lösungsbaustein 2.1: Zusammenstellung der Veränderungen?

Der Lösungsbaustein 2.1 befasst sich mit der Beantwortung folgender Teilforschungsfrage: Wie können erforderliche Veränderungen zusammengestellt werden?

Aufbauend auf der Multi-Kriterien-Analyse müssen zunächst einzelne, als erforderlich ermittelte, Veränderungen zusammengestellt werden. Für eine ganzheitliche Fabrikplanung ist dies ein Schritt von entscheidender Bedeutung. Nur so können Änderungsmaßnahmen entwickelt werden, die ein fabrik-systemweites Optimum ermöglichen und nicht nur punktuell helfen.

Da die zu verändernden Fertigungsmittel anhand der Eignungsprüfung über die Flexibilitätskorridore ermittelt wurden (siehe Kapitel 4.3), liegen die erforderlichen Veränderungen verteilt auf den sechs Veränderungsdimensionen der Fabrikfunktionen vor. Für jede Veränderungsdimension wird eine Schicht der Fabrikstruktur angelegt, auf welcher die zu verändernden Fertigungsmittel markiert werden. Abbildung 5-2 zeigt dieses Prinzip auf. Da pro Produkt Flexibilitätskorridore für die fünf Veränderungsdimensionen Stückzahl, Technologie, Stückkosten, Durchlaufzeit und Fehlerrate unterschieden worden sind (siehe Abbildung 4-21), müssen in diesen fünf Schichten entsprechend der Produktanzahl mehrere Skizzen angefertigt werden.

Bei den Schichten Produkt(-variante) und Technologie kann der Fall eintreten, dass der Arbeitsplan Schritte enthält oder Fertigungsverfahren erforderlich sind, die von keinem Fertigungsmittel der aktuellen Fabrikstruktur angeboten werden. Folglich lassen sich auch keine zu verändernden Fertigungsmittel markieren. Die zusätzlich erforderlichen Fertigungsmittel werden deshalb am Rand der Skizze angeordnet, um zu symbolisieren, dass diese in die Fabrikstruktur zu integrieren sind.

Die Zusammenstellung der erforderlichen Veränderungen erfolgt also über sechs Ebenen. Die einzelnen Skizzen werden durch eine additive Überlagerung zu einer Fabrikstrukturansicht zusammengeführt.

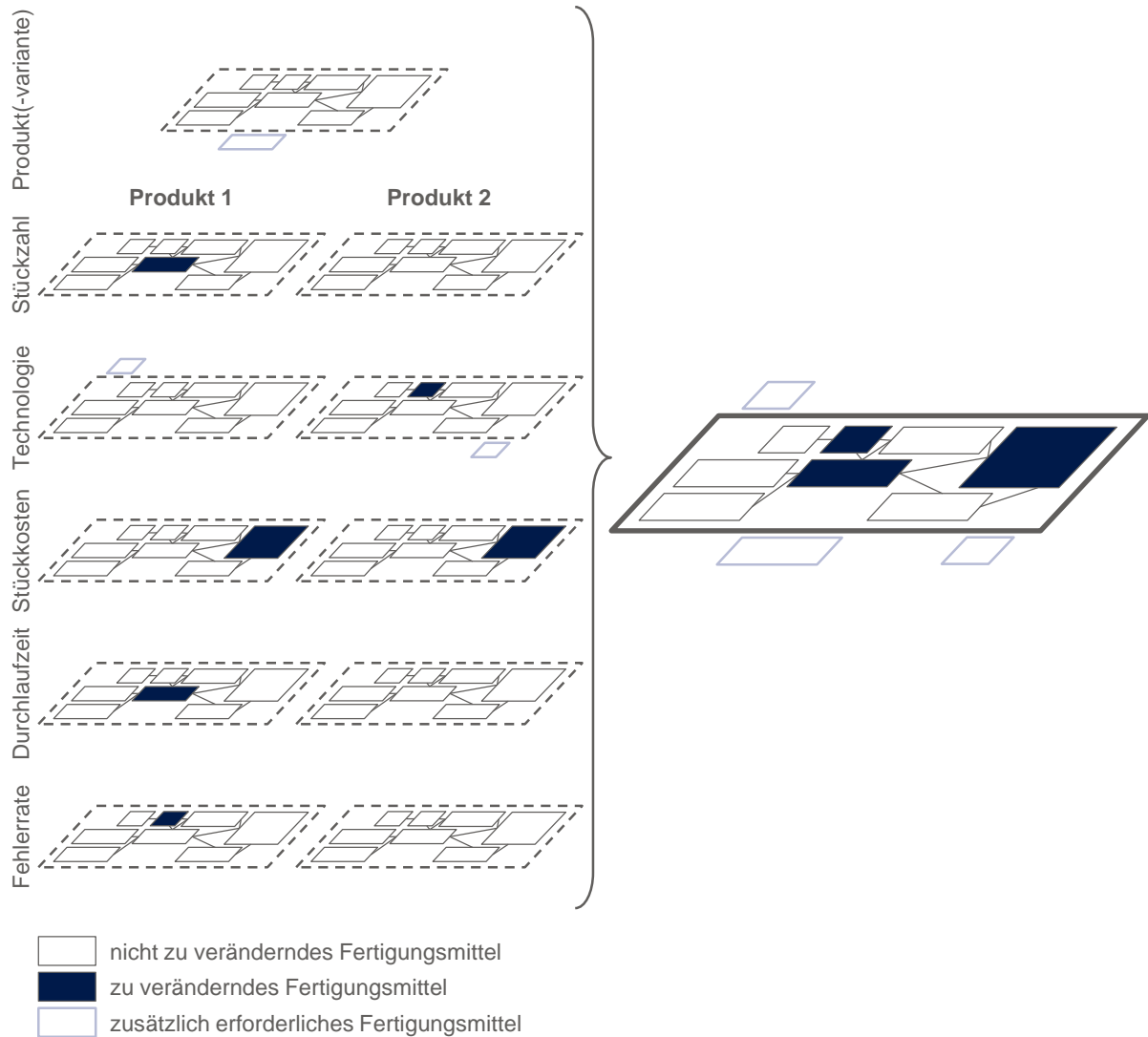


Abbildung 5-2: Zusammenstellung erforderlicher Veränderungen

Für die Ableitung von Änderungsmaßnahmen besteht zusätzlicher Gestaltungsspielraum durch die Gewichtung des identifizierten Veränderungsbedarfes. Die Erfüllung der Anforderungen aus den Schichten Stückkosten, Durchlaufzeit und Fehlerrate wurden bereits als gegenläufige Zielgrößen der Fabrikplanung beschrieben (vgl. Seite 95). So ist es denkbar, dass ein Unternehmen Veränderungen für eine Stückkostensenkung gegenüber den Veränderungen zur Reduktion der Durchlaufzeit priorisiert. Darüber hinaus können auch die Produkte gewichtet werden, beispielsweise nach ihrem Umsatzanteil, was zu einer unterschiedlichen Gewichtung der einzelnen Skizzen führen würde. Wenn die Skizzen nach einem hierarchischen Zielsystem gewichtet wurden, erfolgt eine additive Überlagerung der Gewichtung einzelner Schichten und Skizzen. Das Ergebnis ist eine Rangfolge der zu verändernden oder zusätzlich erforderlichen Fertigungsmittel.

5.2 Lösungsbaustein 2.2: Welche Wandlungsfähigkeit?

Nachdem im vorhergehenden Kapitel einzelne erforderliche Veränderungen in einer Übersicht zusammengestellt worden sind, folgt für die Ableitung von Änderungsmaßnahmen in diesem Kapitel die Entwicklung des Lösungsbausteins 2.2. Dieser beruht auf der Anforderung 2.2 beziehungsweise der zugehörigen Teilforschungsfrage: Welche Wandlungsfähigkeit besitzt das System?

Zunächst soll eine genauere Untersuchung des Begriffs Wandlungsfähigkeit erfolgen. Nachdem in Kapitel 2.1.1 die Definition und in Kapitel 4.3 der Unterschied zwischen Flexibilität und Wandlungsfähigkeiten diskutiert worden sind, ist für diese Teilforschungsfrage eine präzisere Begriffsbestimmung für die Ableitung von Maßnahmen unter der Nutzung von Wandlungsfähigkeit empfehlenswert. Daraufhin soll untersucht werden, welche Befähiger die Wandlungsfähigkeit der Fabrikstruktur erzeugen. Daran schließt sich eine Diskussion über das Verhältnis von Wandlungsbefähigern und Wandlungsfähigkeit an.

Die Kenntnisse über die Wandlungsfähigkeit der Fabrikstruktur dienen als wichtige Eingangsinformation für die Planung von Änderungsmaßnahmen unter Nutzung der Wandlungsfähigkeit.

Wandlungsfähigkeit - Abgrenzung zu Flexibilität und Begriffsbestimmung

Die dieser Forschungsarbeit zugrunde gelegte Definition von REINHART beschreibt Wandlungsfähigkeit als Potenzial für schnelle und investitionsarme Anpassungen jenseits vorgehaltener (Flexibilitäts-)Korridore (siehe Seiten 17-18). Auf den Seiten 90-91 wurde mit Hilfe von Abbildung 4-19 erläutert, dass sich Flexibilität und Wandlungsfähigkeit anhand eines zeitlichen und monetären Grenzwertes für den Aufwand von Veränderungen unterscheiden lassen.

Darüber hinaus unterscheidet sich Wandlungsfähigkeit von Flexibilität in zwei weiteren für die Fabrikplanung interessanten Aspekten, die bereits angesprochen, aber nicht weiter spezifiziert wurden. Dies ist erstens der Unterschied hinsichtlich Planung und Umsetzung der Änderungsmaßnahmen (vgl. Seiten 17, 91):

- **Planung von Änderungsmaßnahmen:** Da zum Zeitpunkt der Implementierung des Flexibilitätskorridors die Änderungsmaßnahmenbündel für flexible Veränderungen bereits definiert sind (REINHART 2008, S. 47), ist die Planung der Flexibilität als antizipativ einzustufen. Wenn ein spezifischer Veränderungsbedarf erkannt wird, sind keine fallbezogenen Veränderungsplanungen mehr notwendig. Bei der Wandlungsfähigkeit

hingegen können Planungen sowohl reaktiv als auch antizipativ angestoßen werden. Wenn plötzlich festgestellt wird, dass der Flexibilitätskorridor nicht mehr ausreicht, bietet die Wandlungsfähigkeit lösungsneutrale Freiräume für Veränderungen. Idealerweise wäre logischerweise eine antizipative Verschiebung der Flexibilitätskorridore, um die Erfüllung der Anforderungen an die Fabrikfunktionen kontinuierlich zu gewährleisten.

- **Umsetzung von Änderungsmaßnahmen:** Bei der Nutzung von Flexibilität wird das System je nach Anforderung angepasst (REINHART 2008, S. 47). Es erfolgt also eine reaktive Umsetzung schneller und investitionsloser Änderungsmaßnahmen. Im Gegensatz dazu zielt die Wandlungsfähigkeit, neben der Möglichkeit, in reaktiver Weise bei Anforderungen außerhalb des Flexibilitätskorridors zu handeln, auch darauf ab, Flexibilitätskorridorveränderungen antizipativ umzusetzen.

Zum zweiten können Wandlungsfähigkeit und Flexibilität aus Sicht des strukturellen Systemkonzeptes in Bezug auf Fabrikstrukturveränderungen unterschieden werden (vgl. Seiten 90-92).

- **Veränderung der Fabrikstruktur:** Auf Seite 92 wurde hergeleitet, dass die Veränderungsfähigkeitsklassen ein Struktur-Delta aufspannen. Das bedeutet, dass mit ihnen Veränderungen der Fabrikstruktur innerhalb dieses „Deltas“, beziehungsweise innerhalb eines bestimmten Umfangs bei geringem beziehungsweise mittlerem Änderungsaufwand, gelingen. Als Struktur eines Systems ist auf Seite 22 das Relationsgeflecht zwischen den Systemelementen definiert worden. Bezogen auf die Fabrik wird die Fabrikstruktur als Anordnung der Arbeitsstationen und ihre stoff- und informationsflusstechnische Vernetzung verstanden (vgl. Seite 77).

Bei Nutzung der Flexibilität ist es beispielsweise möglich, dass der Materialfluss eines Produktes durch die Fabrik umgeleitet wird (HERNANDEZ MORALES 2002, S. 44). Durch diese Änderungsmaßnahme liegt ein anderes Relationsgeflecht und demzufolge eine Strukturveränderung vor (ROPOHL 1999, S. 222). Je nach Art der von den Fabrikfunktionen zu erfüllenden Anforderungen kann aber auch die Überdimensionierung eines Fertigungsmittels ausreichen (SPATH 2009, S. 15), sodass für die Funktionsveränderung keine Strukturveränderung erfolgt.

Unter Einsatz der Wandlungsfähigkeit ist der Eingriff in die Struktur so umfangreich, dass die Flexibilitätskorridore verschoben werden. Die

Nutzung der Wandlungsfähigkeit verändert folglich die Fabriksystemstruktur.

- **Einfügen von Fabrikssystemelementen:** Das Verständnis der Flexibilität, dass Anpassungen ohne Investitionen erfolgen, schließt die Ergänzung von neuen Fabrikssystemelementen beziehungsweise Fertigungsmitteln aus. Dagegen erlaubt Wandlungsfähigkeit Investitionen, welche das Einbringen neuer Elemente zu mittleren Kosten nicht ausschließen.

Abbildung 5-3 zeigt aufbauend auf Abbildung 4-19 die hergeleitete erweiterte Unterscheidung der Veränderungsfähigkeitsklassen Flexibilität und Wandlungsfähigkeit. Ergänzend wird dabei als Orientierung die Einordnung der Veränderungsfähigkeitsklassen zu den von ihnen ermöglichten Funktionskorridoren angegeben.

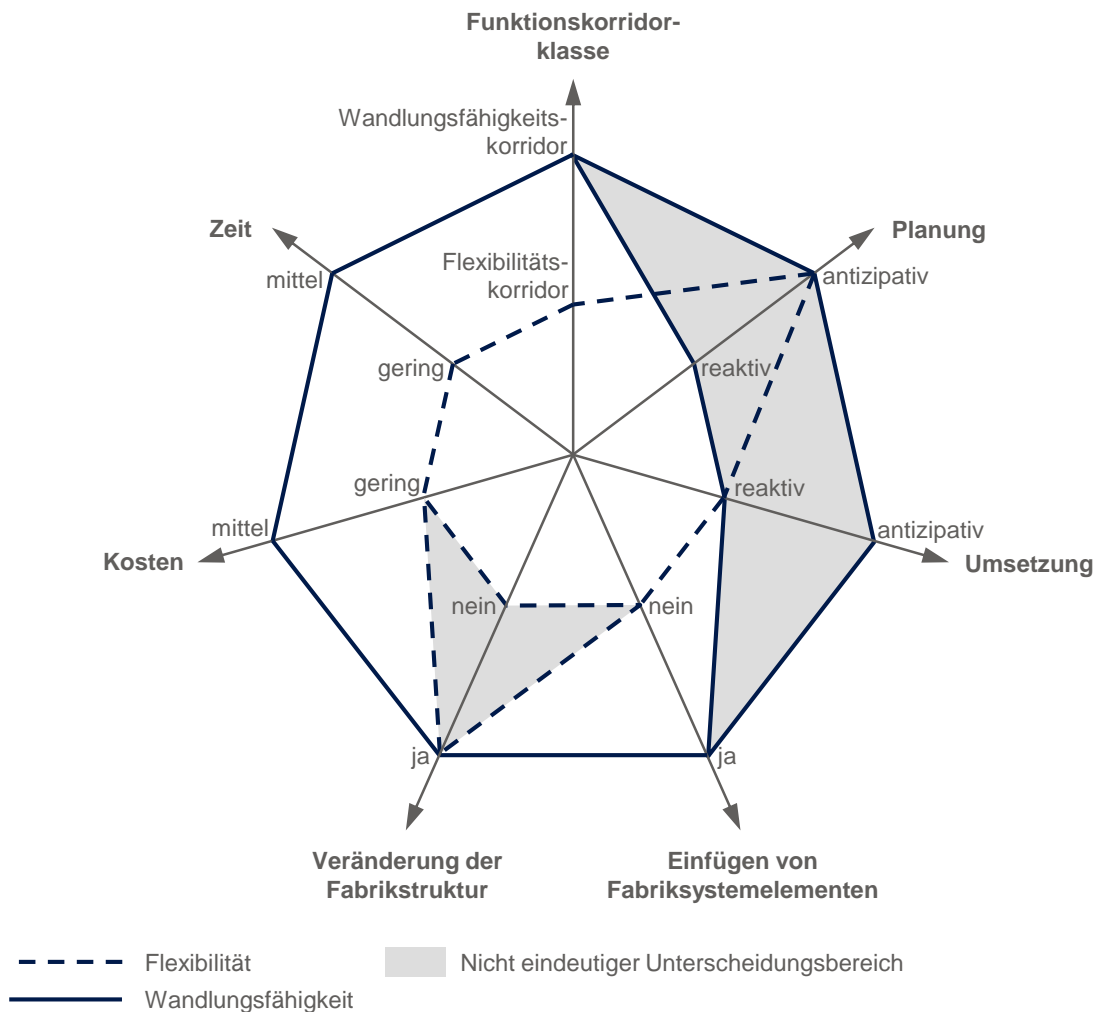


Abbildung 5-3: Erweiterte Unterscheidung Flexibilität und Wandlungsfähigkeit

Hinsichtlich der Bewertung der Wandlungsfähigkeit weist der Begriff in Anlehnung an ROPOHL einen prägnanten und einen wertneutralen Sinn auf. Wandlungsfähigkeit im prägnanten Sinne bedeutet so viel wie „gute Wandlungsfähigkeit“. Es wird unterschieden, ob das System ausreichend wandlungsfähig ist oder nicht. Diese Verständnisart ist bei der Eignungsprüfung der Flexibilität zugrundegelegt worden, welche ebenfalls auf beide Weisen verstanden werden kann. Im wertneutralen Sinne wird zwischen guter, schlechter und beliebig vielen Zwischenstufen der Wandlungsfähigkeit differenziert. Die hier betrachtete Teilforschungsfrage 2.2 impliziert, dass die Wandlungsfähigkeit im zweitgenannten Sinne untersucht werden soll. Man könnte sie auch als Wandlungsfähigkeitsgrad bezeichnen. (i.A.a. ROPOHL 1971, S. 62–63)

Im folgenden Abschnitt wird aufgezeigt, wie die Wandlungsfähigkeit im wertneutralen Sinne differenziert bestimmt werden kann. Dies geschieht anhand der Befähiger, welche die Wandlungsfähigkeit ermöglichen und sinnvollerweise auch als Wandlungsbefähiger bezeichnet werden (HERNANDEZ MORALES 2002, S. 52).

Wandlungsbefähiger

In seiner häufig zitierten Dissertation hat HERNANDEZ MORALES den Begriff Wandlungsbefähiger grundlegend geprägt und ihn als „individuelle, ungerichtete und abrufbare Eigenschaft eines Wandlungsobjektes“ definiert, der im Zusammenwirken mit anderen Wandlungsbefähigern das Potenzial der Wandlungsfähigkeit charakterisiert. Er nennt die sechs Befähiger Mobilität, Erweiter- und Reduzierbarkeit, Modularität, Funktions- und Nutzungsneutralität, Vernetzungsfähigkeit, Desintegrations- und Integrationsfähigkeit. (HERNANDEZ MORALES 2002, S. 54–56)

Darauf aufbauend sind weitere und häufig ähnliche Definitionen entwickelt worden (siehe bspw.: HEGER 2007, S. 79). In der Literatur hat sich jedoch die in Abbildung 5-4 beschriebene Teilmenge von fünf Wandlungsbefähigern durchgesetzt. Sie stellt eine Komprimierung der originären sechs Befähiger von HERNANDEZ MORALES dar, die er allerdings selbst auch in späteren Publikationen aufführt (WIENDAHL & HERNANDEZ MORALES 2006, S. 388). Obgleich WIENDAHL'S Definition der Wandlungsfähigkeit (vgl. Seiten 12-16) in dieser Arbeit nicht ausgewählt wurde, kann seine Definition der Wandlungsbefähiger hier verwendet werden, da sie sich auf die zu betrachtenden Fabrikebenen bezieht.

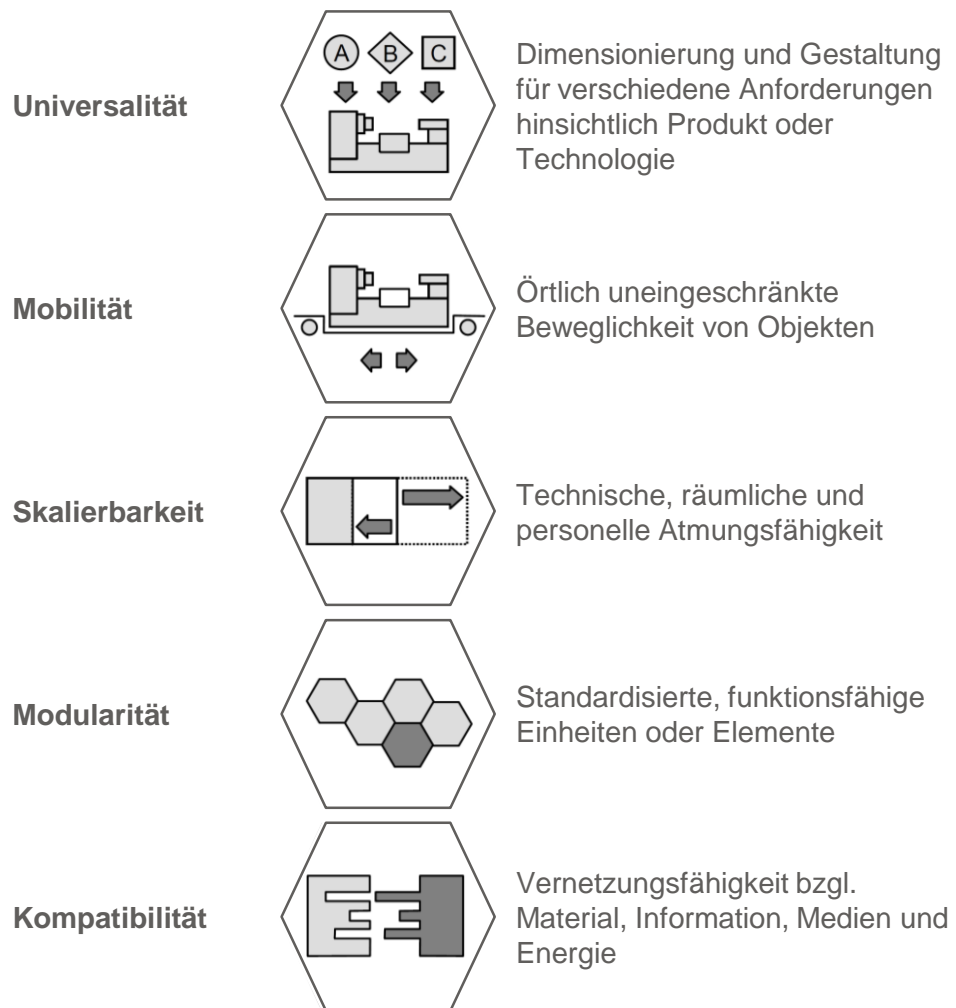


Abbildung 5-4: Wandlungsbefähiger
(WIENDAHL ET AL. 2009, S. 126)

Die Bewertung der Fertigungsmittel hinsichtlich eines Befähigers kann anhand von Fertigungsmittelmerkmalen erfolgen, wie Abbildung 5-5 beispielhaft aufzeigt. Für den Befähiger Mobilität sind beeinflussende Merkmale eines Fertigungsmittels gelistet, für die nach dem Prinzip des morphologischen Kastens verschiedene Ausprägungen vorliegen können. (i.A.a. HERNANDEZ MORALES 2002, S. 88; NOFEN 2006, S. 46). Legt man eine gleiche Gewichtung der Merkmale zugrunde und normiert die Intensität der Merkmalsausprägung auf 0%, 50% und 100% bei drei beziehungsweise 0% und 100% bei zwei Ausprägungen, liegt ein Wandlungsgrad für das Beispiel der Abbildung von 50% vor.

Anwendungspotenzial – Ableitung von Änderungsmaßnahmen

Merkmal	Merkmalsausprägung		
Energie-/Medienschnittstellen	geringe Anzahl <input checked="" type="checkbox"/>	mittlere Anzahl	hohe Anzahl
Teilbarkeit in transportable Einheiten	möglich	<input checked="" type="checkbox"/>	nicht möglich
Art der Fundamentierung	kein Fundament	lösbares Fundament <input checked="" type="checkbox"/>	unlösbares Fundament
Passive Transportaufnahmen	vorhanden	<input checked="" type="checkbox"/>	nicht vorhanden
Aktive Transportaufnahmen	vorhanden	<input checked="" type="checkbox"/>	nicht vorhanden
Gewicht	gering	mittel <input checked="" type="checkbox"/>	hoch
Abmessungen	gering	mittel	hoch <input checked="" type="checkbox"/>
Art des Grundgestells	vorhanden	<input checked="" type="checkbox"/>	nicht vorhanden
Dokumentation transportrelevanter Daten	umfassend vorhanden	teilweise vorhanden <input checked="" type="checkbox"/>	nicht vorhanden

— Wandlungsprofil

Abbildung 5-5: Bewertung des Wandlungsbefähigers Mobilität (NOFEN 2006, S. 46)

HERNANDEZ MORALES führt beispielsweise die in Tabelle 5-1 genannten Merkmale für die entsprechenden Wandlungsbefähiger bei Fertigungsmitteln auf (HERNANDEZ MORALES 2002, S. 80). Weitere Merkmale für Wandlungsbefähiger sind im Anhang (Kapitel 9.4) zusammengestellt.

Dabei ist jedoch kein sinnvoller Zusammenhang zwischen dem Wandlungsbefähiger Skalierbarkeit und den Fertigungsmitteln gegeben. Die Atmungsfähigkeit hinsichtlich Erweiterungen eines Fertigungsmittels wird passender von den Befähigern Universalität oder Modularität abgedeckt. Die Skalierbarkeit wird eher in Bezug auf die hier nicht betrachteten Fabrikgestaltungsfelder Organisation sowie Standort und Gebäude verwendet. (HERNANDEZ MORALES 2002, S. 72; NOFEN 2006, S. 42)

*Tabelle 5-1: Merkmale für Wandlungsbefähiger bei Fertigungsmitteln
(i.A.a. HERNANDEZ MORALES 2002, S. 80)*

Wandlungsbefähiger	Fertigungsmittelmerkmal
Universalität	Werkzeugneutrale Variantenbildung Ausreichend dimensionierte Einheiten bezüglich Größe, Gewicht, Leistung
Mobilität	Verzicht auf Fundamentierung Lösbare Fundamente Vorsehen technischer Schnittstellen, die eine Ortsveränderung fördern
Modularität	Standardisierte, vorgeprüfte, autonome Einheiten (plug and produce)
Kompatibilität	Kapazität bzw. Schnittstellen für Bauteile, technische Produktionseinrichtungen Vielfältiger Zugang zu Informationen und Medien aus Werkersicht Elastische Verkettung

Welche Wandlungsbefähiger bei der Erfüllung der Anforderungen an die Fabrikfunktionen in den sechs Veränderungsdimensionen helfen können, ist in Abbildung 5-6 gezeigt.

Veränderungen der Fabrikfunktion in der Dimension Produkt(-variante) werden von allen vier Wandlungsbefähigern unterstützt. Universalität, Mobilität, Modularität und Kompatibilität tragen dazu bei, dass die Fertigungsmittel für neue Produkte modifiziert oder angeordnet werden können. Die herstellbare Stückzahl lässt sich durch die Mobilität und Kompatibilität der Fertigungsmittel wandeln, da mit diesen Befähigern die bereitstehende Stückzahlkapazität für ein Produkt aufgestockt respektive reduziert werden kann. Welche Technologien für die Produktherstellung verwendet werden können, wird von allen vier Befähigern beeinflusst, weil sie die mögliche Zusammenarbeit der Fertigungsverfahren bestimmen. Gleiches gilt für die Veränderungsdimension der Stückkos-

ten. Die Durchlaufzeit hingegen wird maßgeblich von der Universalität und Kompatibilität der Fertigungsmittel bedingt, da sie auf den Fluss der Produkte bei ihrer Herstellung einwirken. Bei gewünschten Veränderungen in Bezug auf die Fehlerrate erhöhen Modularität und Kompatibilität die Zusammenarbeit von Fertigungsmitteln, um der gewünschten Fehlerrate zu entsprechen.

Aus der Abbildung lässt sich die Erkenntnis gewinnen, dass Kompatibilität jede Veränderung unterstützt. Dies ist nicht verwunderlich, da bei einer Wandlung der Fabrikstruktur die Vernetzung der Fertigungsmittel untereinander betroffen ist.

	Produkt (-variante)	Stück- zahl	Techno- logie	Stück- kosten	Durchlauf- zeit	Fehler- rate
Universalität	●		●	●	●	
Mobilität	●	●	●	●		
Modularität	●		●	●		●
Kompatibilität	●	●	●	●	●	●

*Abbildung 5-6: Zuordnung der Wandlungsbefähiger zu den Veränderungsdimensionen der Fabrikfunktionen
(i.A.a. PACHOW-FRAUENHOFER 2012, S. 86)*

Die Ableitung von Änderungsmaßnahmen aufbauend auf die ermittelte Wandlungsfähigkeit stellt einen kreativen Prozess dar (HERNANDEZ MORALES 2002, S. 118, 127, 128), für den die Bewertung der Wandlungsbefähiger eine wichtige Eingangsinformation darstellt, mit der abgeschätzt werden kann, welche Veränderungen im Rahmen der Zeit- und Kostengrenzen der Wandlungsfähigkeit möglich sind.

Wandlungsfähigkeit als emergente Systemfähigkeit

Die Universalität, mehrere Produkte herstellen zu können, erhöht die Veränderungsmöglichkeiten des Stoff- und Informationsflusses in der Fabrikstruktur. Mobilität ermöglicht die neue Positionierung von Fertigungsmitteln und somit

eine Veränderung der Relation Fertigungsmittel zu Boden beziehungsweise die daraus resultierende Anordnung der Fertigungsmittel im Raum. Auch die Modularität sorgt mit standardisierten Funktionseinheiten für eine steigende Austauschbarkeit der Fertigungsmittel. Wie bereits erwähnt, stellt die Kompatibilität für die Vernetzung von Fertigungsmitteln, die sich in der Struktur widerspiegelt, einen Erfolgsfaktor dar.

Wandlungsbefähiger können demzufolge als relationsorientierte Eigenschaften der Fertigungsmittel aufgefasst werden. Wandlungsbefähigte Fertigungsmittel tragen jedoch einzeln betrachtet nicht zur Wandlungsfähigkeit des Fabriksystems bei. Beispielsweise stiftet ein modulares Fertigungsmittel mit standardisierten Schnittstellen keinen Mehrwert, wenn keine weiteren Fertigungsmittel mit passenden Schnittstellen vorhanden sind. Erst in ihrem Zusammenwirken erzeugen die Fertigungsmittel ein wandlungsfähiges Relationsgeflecht respektive eine wandlungsfähige Struktur.

Die Wandlungsfähigkeit stellt also eine emergente Fähigkeit oder Eigenschaft des Systems zur Strukturveränderung (Struktur-Delta) dar. Dies bestätigt die Einordnung der Veränderungsfähigkeitsklassen als strukturelle Fähigkeiten in Kapitel 4.3 (vgl. Seite 92).

Die nutzbare Wandlungsfähigkeit des Fabriksystems ergibt sich aus der Kombination der Wandlungsbefähiger der Fertigungsmittel (DRABOW & WOELK 2004, S. 91). Mit steigendem Wandlungsgrad der Befähiger potenziert sich die Wandlungsfähigkeit des Systems, da es mehr Interaktions- beziehungsweise Vernetzungsoptionen für die Fertigungsmittel gibt.

Nachdem in diesem Kapitel Wandlungsfähigkeit als Veränderungsfähigkeitsklasse spezifiziert werden konnte und aufgezeigt wurde, wie sie sich anhand von Wandlungsbefähigern beurteilen lässt, befasst sich das nächste Kapitel mit der Aufwandsbewertung von Änderungsmaßnahmen.

5.3 Lösungsbaustein 2.3: Aufwand von Änderungsmaßnahmen?

Der letzte zu entwickelnde Lösungsbaustein rührt von der letzten Teilforschungsfrage her: Wie kann der Aufwand von Änderungsmaßnahmen bewertet werden?

Das Kapitel beginnt mit einem Abschnitt zur Ermittlung der Bewertungsgrößen von Änderungsmaßnahmen. Anschließend wird aufgezeigt, wie der Aufwand mittels eines Veränderungsvektors in Relation zur Funktionsveränderung gesetzt werden kann. Die Vektoren dienen als Grundlage bei der Entwicklung von Veränderungspfaden, mit denen sich Folgen von Änderungsmaßnahmen hinsichtlich ihres Aufwandes überschauen lassen.

Bewertungsgrößen des Aufwandes von Änderungsmaßnahmen

Im vorherigen Kapitel wurde mit Abbildung 5-3 verdeutlicht, dass sich Flexibilität und Wandlungsfähigkeit eindeutig anhand des zeitlichen und monetären Aufwands für Veränderungen unterscheiden lassen. Sie ließen sich zwar auch durch das Einfügen von Fabriksystemelementen differenzieren, allerdings wäre damit keine Aussage über die Unterscheidung zwischen Nutzung und Gestaltung der Wandlungsfähigkeit möglich. Zumeist wird in der Literatur ebenfalls ein in Zeit und Kosten bemessener Aktivierungsaufwand für das Verändern von Flexibilitätskorridoren, also das Wandeln, aufgeführt (KLEMKE ET AL. 2011, S. 923; MÖLLER 2008, S. 18; NYHUIS ET AL. 2010, S. 5–6; SCHUH ET AL. 2013, S. 287).

Es lässt sich induktiv folgern, dass Änderungsmaßnahmen allgemein hinsichtlich des verursachten zeitlichen und monetären Aufwandes für Veränderungen bewertet werden können.

Der Aufwand lässt sich aus zeitlicher Sicht nach dem Regelkreis der kontinuierlichen Fabrikplanung in die zwei Phasen Planung und Umsetzung für Änderungsmaßnahmen unterteilen (vgl. Seiten 35 und 104). HERNANDEZ MORALES nennt Planung, Umsetzung und Wirkung als drei Phasen der Verzögerung, ehe ein Wandlungsprozess vollendet ist (HERNANDEZ MORALES 2002, S. 49). Die Wirkung soll hier aber bei der Umsetzung integriert sein, da eine Änderungsmaßnahme als nicht umgesetzt gilt, solange das Ziel nicht erreicht wurde. Zeit und Kosten für die Änderungsmaßnahmen ließen sich auch anhand der Phasen der klassischen Fabrikplanung (siehe bspw.: AGGTELEKY 1987, S. 37; KETTNER ET AL. 1984, S. 5) nahezu beliebig weiter detaillieren. Da eine Detaillierung der Erläuterung des Bewertungsprinzips der Änderungsmaß-

nahmen nicht dienlich ist, wird im Folgenden auf eine feinere Gliederung von Zeit und Kosten verzichtet.

Veränderungsvektor

Abbildung 5-7 stellt einen Veränderungsvektor auf, der den zeitlichen und monetären Aufwand einer Änderungsmaßnahme mit den aus der Strukturveränderung resultierenden Funktionsveränderungen verbindet.

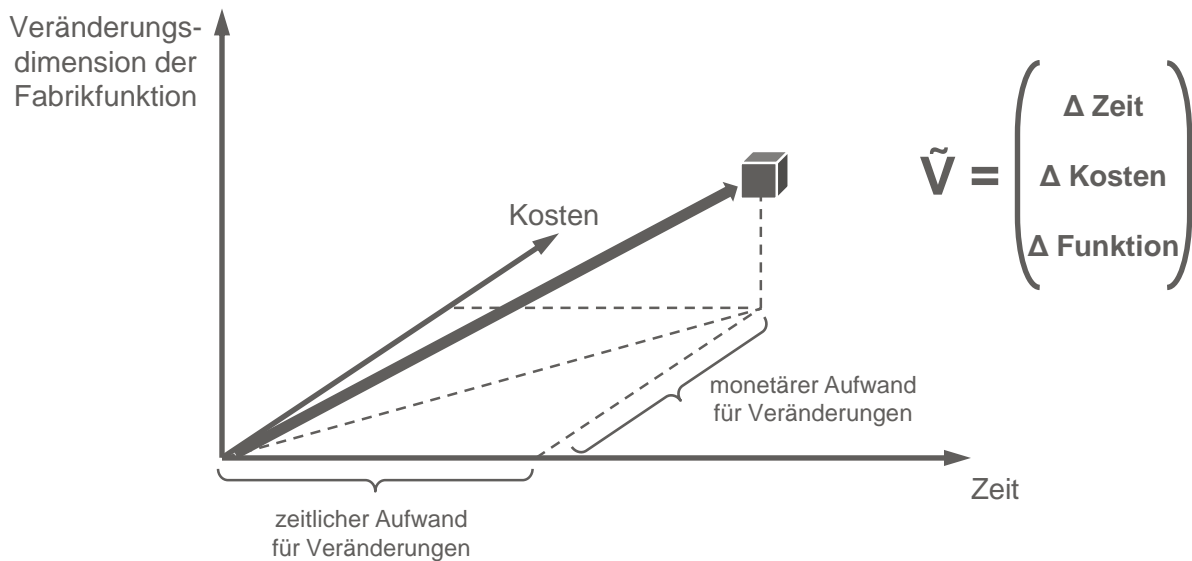


Abbildung 5-7: Veränderungsvektor

Aus dem Unterschied zweier Vektoren in Zeit und Kosten für eine bestimmte Funktionsänderung folgt zwangsläufig eine unterschiedliche Steigung der Veränderungsvektoren. Je höher der zeitliche und monetäre Aufwand einer Änderungsmaßnahme für einen gleichen Funktionsunterschied (Funktions-Delta) ist, desto geringer ist die Steigung des Veränderungsvektors. Abbildung 5-8 verdeutlicht diese Feststellung. Dabei wird auf eine dreidimensionale Darstellung verzichtet, um die unterschiedlichen Steigungen der Veränderungsvektoren besser erkennen zu können. Erwartungsgemäß liegt die Steigung des Veränderungsvektors unter Nutzung der Wandlungsfähigkeit unter der des Veränderungsvektors unter Nutzung der Flexibilität. Wenn keine spezielle Veränderungsfähigkeit vorliegt, also die dritte Planungsklasse vorliegt, in der die Wandlungsfähigkeit gestaltet wird, ist die Veränderungsvektorsteigung nochmals geringer: $\tilde{V}'_{\text{Flex}} < \tilde{V}'_{\text{WLF}} < \tilde{V}'_{\text{ksVF}}$

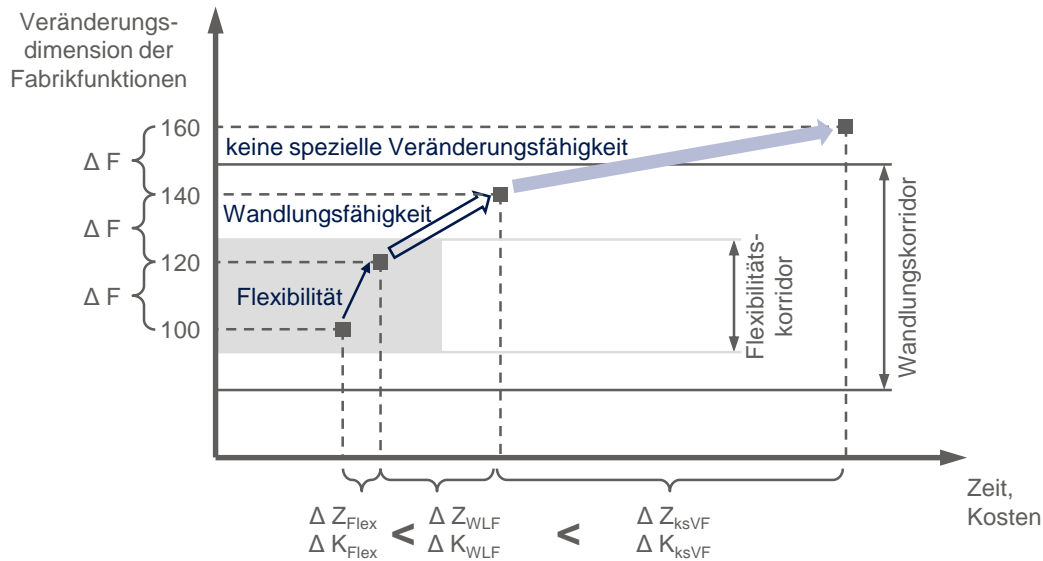


Abbildung 5-8: Steigung der Vektoren unterschiedlicher Veränderungsfähigkeit

Aus der Tatsache „Struktur determiniert Funktion“ wurde bereits gefolgert, dass eine Strukturveränderung (Struktur-Delta) mögliche Funktionsveränderungen (Funktion-Delta) determiniert. Weiterhin kann abgeleitet werden, dass die Strukturveränderlichkeit die Funktionsveränderlichkeit determiniert.

Als Grad der Veränderungsfähigkeit kann danach das Verhältnis zwischen Strukturveränderlichkeit respektive Funktionsveränderlichkeit und dem zeitlichen und monetären Änderungswand bezeichnet werden (i.A.a.: NYHUIS ET AL. 2010, S. 5–6; SCHUH ET AL. 2012, S. 414; SCHUH ET AL. 2013, S. 287). Je weniger Zeit und Kosten für die Veränderung der Funktion um ein Funktionsinkrement notwendig sind, desto besser ist die Veränderungsfähigkeitsklasse der Änderungsmaßnahme. Der Grad der Veränderungsfähigkeit wird also über die Steigung des Veränderungsvektors bezogen auf die Funktionsveränderung ermittelt. Dazu ist der Veränderungsvektor auf eine Funktionsveränderung von einer Dimensionseinheit zu normieren.

Über die Kenntnis des zeitlichen und monetären Aufwandes einer Änderungsmaßnahme pro Funktionsveränderungsincrement kann eine Veränderungsfähigkeitsklasse zugeordnet werden, wie Abbildung 5-8 bereits verdeutlicht, hat. Zudem lassen sich Änderungsmaßnahmen in ihrer Effizienz vergleichend bewerten.

Die bei einem vorgegebenen Grenzwert von Zeit und Kosten maximal zu erzielende Strukturveränderung determiniert die Breite des Funktionskorridors. Aus einem zeitlichen und monetären Grenzwert für Veränderungen lässt sich folglich auch ein Grenzgrad für die Steigung des Veränderungsvektors ablei-

ten, anhand dessen unterschieden wird, unter welcher Klasse der Veränderungsfähigkeit der Veränderungsvektor eingeordnet werden kann. Wenn die Grenzen durch ein technisches Limit des Systems vorliegen, kann daraus rekursiv auf die Steigung geschlossen werden, indem der Aufwand von einer Veränderung von der Korridoruntergrenze bis zur Korridorobergrenze aufgenommen wird.

Die Normierung des Veränderungsvektors, anstelle einer Betrachtung der absoluten Länge, ist insbesondere deshalb unerlässlich, da zwei Veränderungsvektoren die gleiche absolute Länge aufweisen können, ohne dabei aber eine gleiche Steigung und somit einen gleichen Grad der Veränderungsfähigkeit aufzuzeigen. In Abbildung 5-9, bei der zur einfacheren Erläuterung nur die Zeit abgetragen ist, sind die Vektoren \tilde{V}_1 und \tilde{V}_2 sowie \tilde{V}_3 und \tilde{V}_4 jeweils gleicher Länge. Da aber der zeitliche und monetäre Aufwand der Änderungsmaßnahmen 2 und 4 eine relativ betrachtet kleinere Funktionsveränderung erzeugt als die Maßnahmen 1 und 3, besitzen sie einen anderen Grad der Veränderungsfähigkeit. In der Abbildung sind die Änderungsmaßnahmen 2 und 4 beispielhaft als Veränderungsvektoren unter Nutzung der Wandlungsfähigkeit eingetragen. Die Änderungsmaßnahmen 1 und 3 seien unterhalb der zeitlichen und monetären Schwelle gelegen und als Nutzung von Flexibilität zu interpretieren. Andersherum könnten auch zwei Vektoren eine unterschiedliche Länge aufweisen (Vektoren \tilde{V}_1 und \tilde{V}_3 sowie \tilde{V}_2 und \tilde{V}_4), aber die gleiche Steigung und damit den gleichen Grad der Veränderungsfähigkeit besitzen.

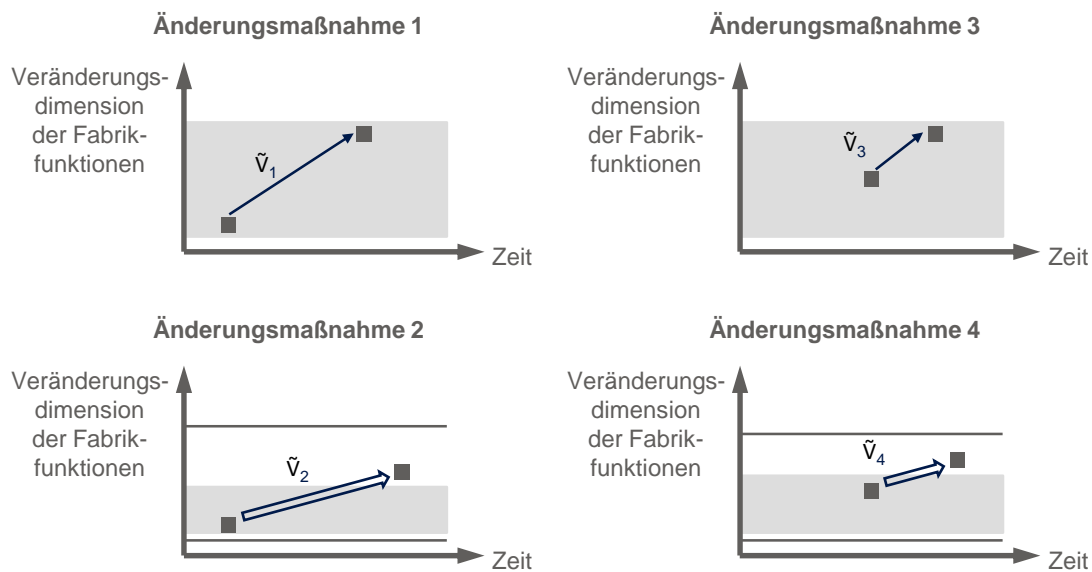


Abbildung 5-9: Steigung und absolute Länge des Veränderungsvektors

Veränderungspfad

Die Folge mehrerer Änderungsmaßnahmen führt zu einem Veränderungspfad. Abbildung 5-10 zeigt vereinfacht die Phasen der Planung und Umsetzung eines Wandlungsprozesses als möglichen Schritt des Pfades auf. Der Übersicht halber werden die Zeit- und die Kosten-Achse wieder auf der Abszisse zusammengelegt.

Der eigentliche Wandlungsprozess, also die Veränderung der Struktur und infolgedessen der Fabrikfunktion, findet in der Umsetzungsphase statt. Mit der Strukturveränderung verschiebt sich auch der Flexibilitätskorridor. Die Planungen für die Änderungsmaßnahmen zur Umsetzung des Wandlungsprozesses beziehungsweise der Korridorverschiebung beginnt logischerweise noch bei Bestehen des alten Flexibilitätskorridors.

Der Wandlungsfähigkeitsvektor zeigt gleichzeitig die Korridorverschiebung als auch die Veränderung von der alten Fabrikfunktion zur neuen Fabrikfunktion auf. Dabei müssen die Fabrikfunktionen, zwischen denen die Veränderung umgesetzt wird, nicht zwangsläufig in der Mitte des Flexibilitätskorridors liegen.

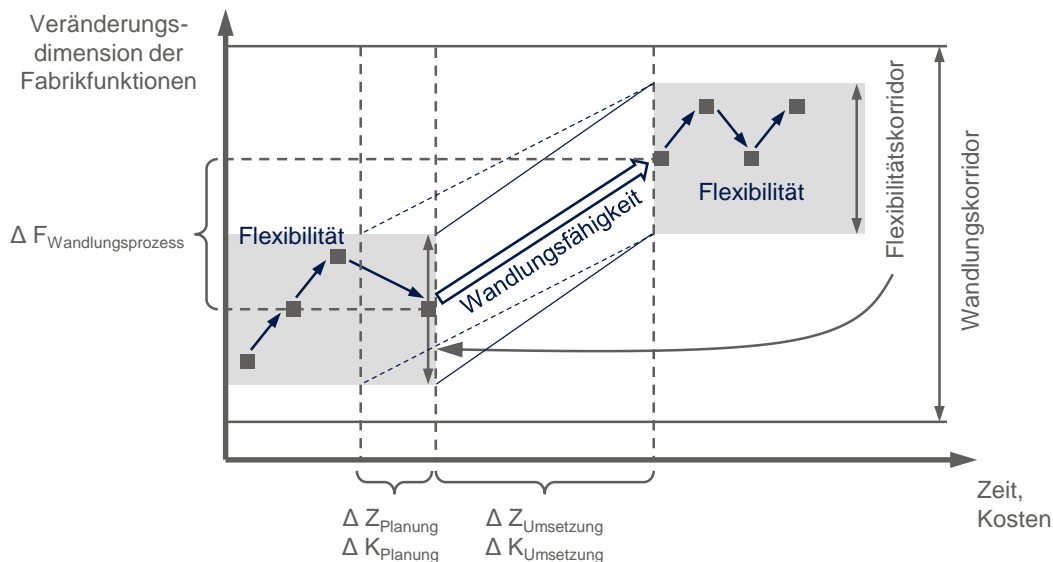


Abbildung 5-10: Wandlungsprozess
(i.A.a. LÖFFLER 2011, S. 9)

Die nächsten Abbildungen stellen zwei dreidimensionale Veränderungspfade gegenüber. Abbildung 5-11 zeigt einen Pfad von durch Änderungsmaßnahmen initiierten Veränderungen, die ausschließlich unter Nutzung der vorhan-

denen Flexibilität umgesetzt werden. Demgegenüber ist in Abbildung 5-12 ein Wandlungspfad aufgezeichnet, der seinen Namen durch die alleinige Nutzung der verfügbaren Wandlungsfähigkeit für jede Struktur- respektive Funktionsveränderung erlangt. Im Vergleich der Abbildungen wird deutlich, dass der Wandlungspfad einen höheren zeitlichen und monetären Aufwand benötigt.

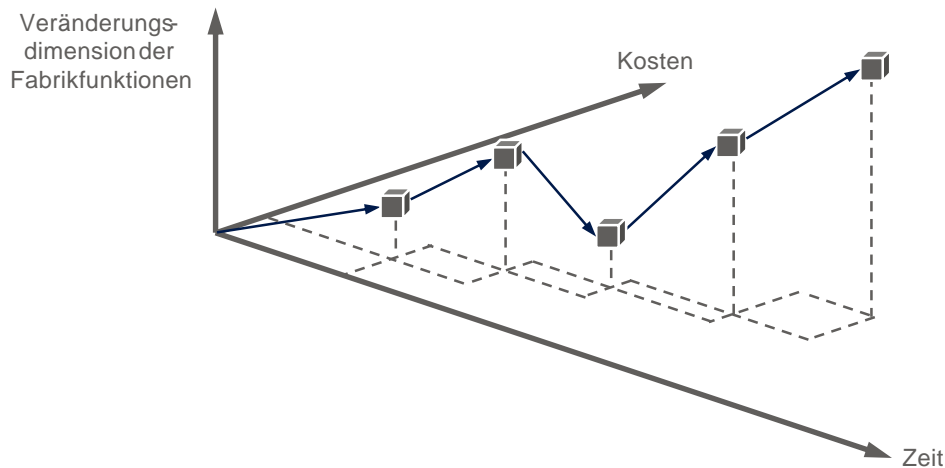


Abbildung 5-11: Veränderungspfad unter Nutzung der Flexibilität

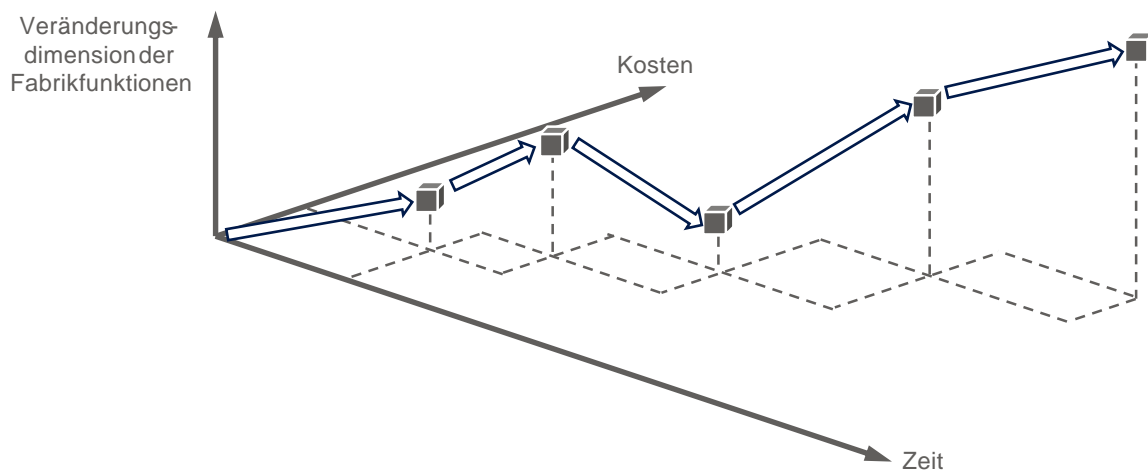


Abbildung 5-12: Veränderungspfad unter Nutzung der Wandlungsfähigkeit

Die Abbildung 5-11 darf nicht darüber hinwegtäuschen, dass der Unterhalt eines so breiten Flexibilitätskorridors, der viele Änderungsmaßnahmen abdeckt, sehr kostspielig ist und eine Abdeckung aller Fabrikfunktionen auf diese Weise wirtschaftlich nicht möglich ist (vgl. Seite 92). Unter der Prämisse der Nutzung der Wandlungsfähigkeit, gilt es, Änderungsmaßnahmen zu planen, die vor-

handene Wandlungsbefähiger und den identifizierten Wandlungsgrad ausnutzen. Dabei sollten die Wandlungsprozesse möglichst aufeinander abgestimmt werden, um einen harmonischen Wandlungspfad zu erzeugen.

Abbildung 5-13 zeigt die neun möglichen Typen, wie ein Wandlungsprozess den Flexibilitätskorridor verändern kann.

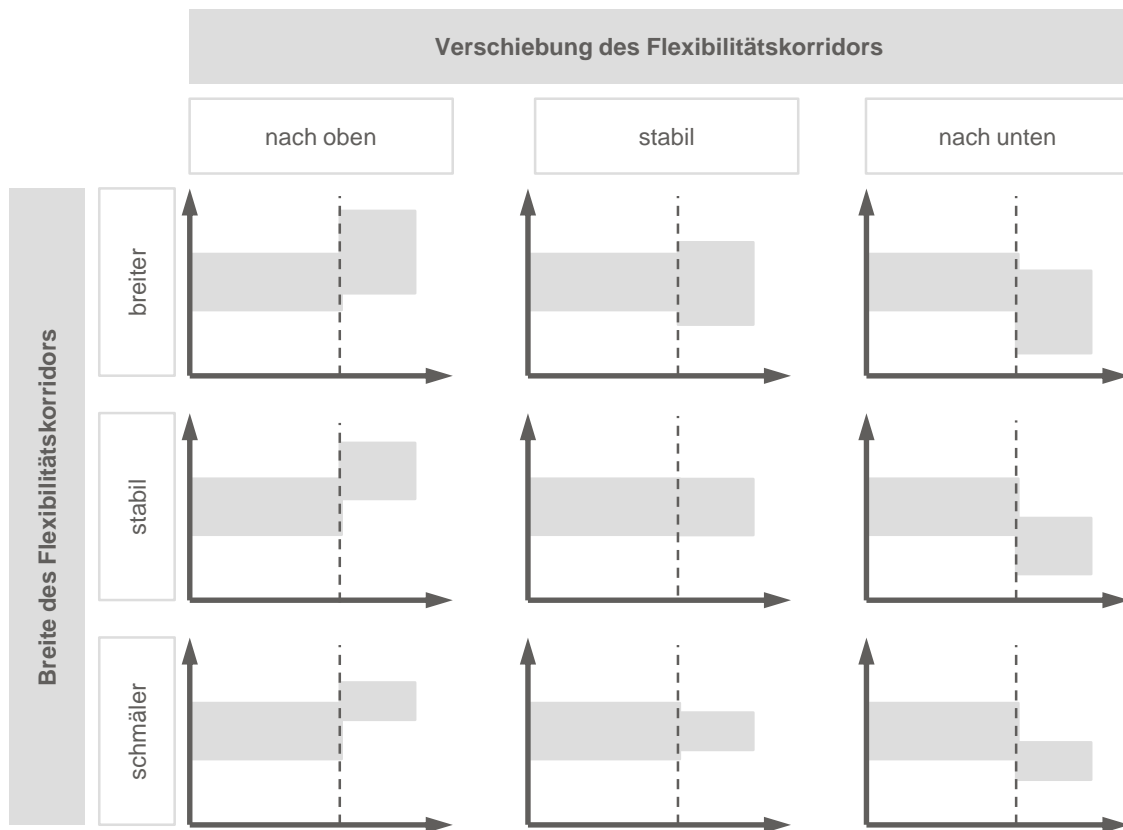


Abbildung 5-13: Wandlungsprozessstypen mit Flexibilitätskorridorverschiebung
(BAUERNHANSL ET AL. 2012, S. 366)

Bei einer gesamthaften Betrachtung der Kosten müssen auch der Unterhalt der Wandlungsfähigkeit und die Ermöglichung der Wandlungsfähigkeit berücksichtigt werden (BAUERNHANSL ET AL. 2012, S. 365). Diese sind aber bei der Gestaltung der Wandlungsfähigkeit durch die dritte Planungskategorie des Regelkreises der kontinuierlichen Fabrikplanung bereits festgeschrieben worden und können bei der Nutzung der Wandlungsfähigkeit nicht mehr gestaltet werden.

Mit dem vorgestellten vektoriellen Bewertungsansatz für den Aufwand von Änderungsmaßnahmen anhand der drei Kenngrößen Zeit, Kosten und Funktionsveränderung, ist dem Anwender der dritte Lösungsbaustein des zweiten Teilmodells und damit der sechste und letzte Lösungsbaustein des Gesamtmodells präsentiert worden. Das folgende Kapitel fasst die entwickelten Lösungsbausteine zusammen und beurteilt sie hinsichtlich der an das Modell gestellten Anforderungen.

6 Evaluation des entwickelten Modells

Für die Evaluation des Modells wird die Erfüllung der im Vorfeld ermittelten Anforderungen (vgl. Kapitel 3) durch das in Kapitel 4 und 5 vorgestellte Modell geprüft. Aufgrund der schweren Messbarkeit der Erfüllungsgrade wird anstelle einer quantitativen Bewertung eine qualitative Beurteilung durchgeführt. Es gilt, festzustellen, ob die aufgabenspezifischen Anforderungen erfüllt werden. Im Folgenden wird dies für jede Anforderung diskutiert. Anschließend wird eine Übersicht der sechs entwickelten Lösungsbausteine präsentiert, welche diese in den Gesamtzusammenhang einordnet. Zum Schluss wird die Erfüllung der grundlegenden Anforderungen überprüft.

Aufgabenspezifische Anforderungen

Diese Anforderungen resultieren aus den Forschungsambitionen der Aufgabenstellung und der Forschungsfrage beziehungsweise den daraus abgeleiteten Teilforschungsfragen (siehe Tabelle 3-1):

- **Anforderung A1.1:** Welche Änderungstreiber auf das System wirken, ist mit Lösungsbaustein 1.1 in Kapitel 4.1 beantwortet worden. Mittels des Rezeptormodells können Änderungstreiber in sechs Rezeptoren gebündelt werden, die eine identische Wirkung auf das Fabrikssystem besitzen. Darauf aufbauend lassen sich mit dem Szenario-Management Anforderungen an die Fabrikfunktionen in den aus den Rezeptoren resultierenden sechs Veränderungsdimensionen Produkt(-variante), Stückzahl, Technologie, Stückkosten, Durchlaufzeit und Fehlerrate ermitteln.
- **Anforderung A1.2:** In Kapitel 4.2 wurde der zweite Lösungsbaustein entwickelt, mit dem Elemente und Relationen identifiziert werden können, die von Änderungstreibern betroffen sind. Die Identifikation ist über zwei Schritte erfolgt. Zuerst wurde von den Fabrikfunktionen auf die determinierende Fabrikstruktur geschlossen. Im zweiten Schritt sind abhängig von der Fabrikstruktur die Fertigungsmittel über das Fertigungsverfahren oder den Fertigungsablauf ermittelt worden. Dies ist über die Aufnahme der Relationen in Multiple Domain Matrizen gelungen.
- **Anforderung A1.3:** Mit den Informationen aus den vorherigen beiden Lösungsbausteinen ermöglicht der Lösungsbaustein 1.3 aus Kapitel 4.3 die Prüfung erforderlicher Veränderungen. Anhand eines Soll-Ist-Vergleichs der Anforderungen an die Fabrikfunktionen und der Eigenschaften der von Änderungstreibern betroffenen Fertigungsmittel kann

die Eignung der Fertigungsmittel festgestellt werden. Bei der Eignungsprüfung wird für jede der sechs Veränderungsdimensionen verglichen, ob die Anforderungen innerhalb des Flexibilitätskorridors liegen. Das Ergebnis ist die Erkenntnis, bei welchen Fertigungsmitteln Veränderungen unter Nutzung der Wandlungsfähigkeit erforderlich sind.

In Abbildung 6-1 ist eine Übersicht der zu analysierenden Wirkung von Änderungstreibern mittels des ersten Teilmodells, das die drei Lösungsbausteine 1.1, 1.2 und 1.3 umfasst, gegeben. In der Abbildung wird die Wirkkette, beginnend bei den Änderungstreibern über die identifizierten Fertigungsmittel bis zu den erforderlichen Veränderungen, aufgezeigt. Dabei handelt es sich um die Zusammenführung von Abbildung 4-3, Abbildung 4-11 und Abbildung 4-17.

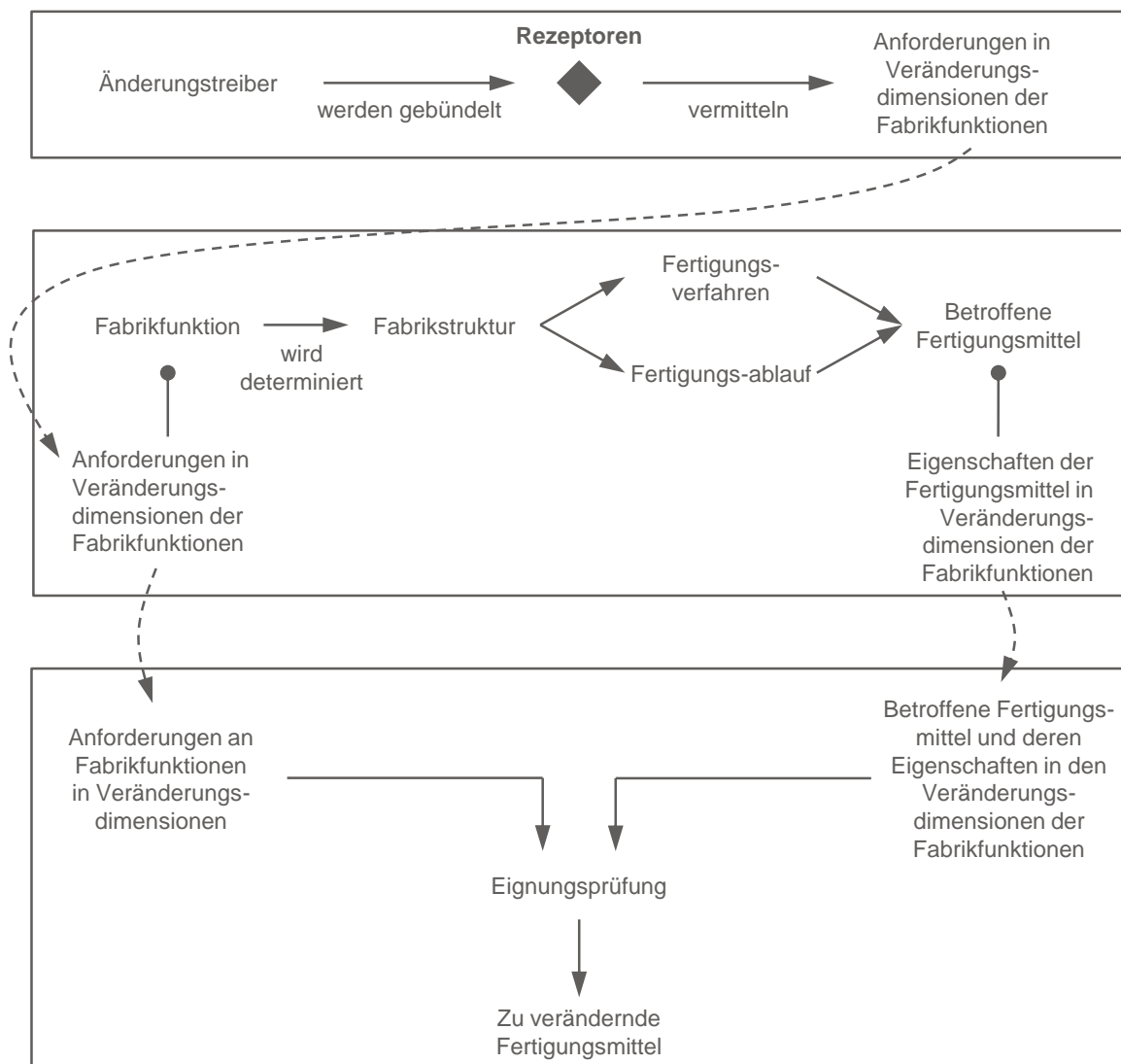


Abbildung 6-1: Übersicht des ersten Teilmodells

- **Anforderung A2.1:** Der Lösungsbaustein 2.1, welcher in Kapitel 5.1 vorgestellt wurde, beantwortet die Teilforschungsfrage, wie erforderliche Veränderungen zusammengestellt werden. Nachdem der Lösungsbaustein 1.3 nur einzelne Veränderungen identifiziert hat, sind diese nun zusammenzuführen. Bei der Überlagerung hilft eine Gliederung in Schichten und Skizzen der einzelnen erforderlichen Veränderungen, die in einer Fabrikstrukturansicht mündet, welche alle erforderlichen Veränderungen zusammenstellt.
- **Anforderung A2.2:** Wie die Wandlungsfähigkeit des Fabriksystems ermittelt werden kann, ist in Kapitel 5.2 durch Lösungsbaustein 2.2 aufgezeigt worden. Dazu ist zunächst eine präzise Abgrenzung der Veränderungsfähigkeitsklassen Flexibilität und Wandlungsfähigkeit nötig gewesen. Anschließend lässt sich anhand der vier Wandlungsbefähiger Universalität, Mobilität, Modularität und Kompatibilität feststellen, welche Veränderungen der Fabrikstruktur möglich sind. Dafür wurde eine Übersicht gegeben, in welchem Verhältnis die Wandlungsbefähiger der Fabrikstruktur zu den sechs Veränderungsdimensionen der Fabrikfunktionen stehen.
- **Anforderung A2.3:** Lösungsbaustein 3.2 wurde in Kapitel 5.3 entwickelt und zeigt auf, wie der Aufwand von Änderungsmaßnahmen bewertet werden kann. Die zwei Bewertungsgrößen Zeit und Kosten wurden in einem Veränderungsvektor der Funktionsveränderung gegenübergestellt, um Änderungsmaßnahmen vergleichend bewerten zu können. Zudem ist eine Einordnung der durch die Änderungsmaßnahmen umgesetzten Veränderungen in die Veränderungsfähigkeitsklassen anhand der Steigung des Vektors möglich.

Abbildung 6-2 gibt abschließend eine Übersicht zum zweiten Teilmodell, mit dem ein für die Ableitung von Änderungsmaßnahmen nutzbares Informationspaket bereitgestellt wird. Die Zusammenstellung von Veränderungen und die Bewertungen der nutzbaren Wandlungsfähigkeit sind zwei wichtige Teile, an die der dritte Teil zur Aufwandsbewertung von Änderungsmaßnahmen anschließt. Die Maßnahmen werden anhand ihres benötigten zeitlichen und monetären Aufwands bewertet und stehen somit in direktem Zusammenhang mit der in der Aufgabenstellung aufgeworfenen Problemstellung: der zunehmenden Divergenz aus benötigtem und zulässigem Aufwand für Veränderungen in der Fabrik (siehe Abbildung 1-1).



Abbildung 6-2: Übersicht des zweiten Teilmodells

Grundlegende Anforderungen

Allgemeine Anforderungen, die während der Entwicklung der Lösungsbausteine implizit zu berücksichtigen waren (siehe Tabelle 3-2) folgende drei:

- **Anforderung G1:** Als erste grundlegende Anforderung wurde formuliert, dass die Grundsätze ordnungsmäßiger Modellierung zu beachten sind. Die sechs Grundsätze sind auf Seite 22 erklärt und werden als vollständig erfüllt angesehen, wie im Folgenden begründet wird. Das Modell wird dem Grundsatz der Richtigkeit gerecht, da eine syntaktisch korrekte Systemtheorie angewandt wurde und über die drei Systemkonzepte (Funktionales Konzept, Strukturales Konzept, Hierarchisches Konzept) eine semantische Stimmigkeit durch die Trennung von Fabrikfunktionen und Fabrikstruktur erzielt werden konnte. Gleichzeitig wird durch die Modellierung entlang der Wirkkette der Änderungstreiber und die Ermittlung erforderlicher Veränderungen eine fokussierte Modellierung ermöglicht, die dem Grundsatz der Relevanz genügt. Das fokussierte Vorgehen trägt ebenfalls zu Erfüllung des Grundsatzes der Wirtschaftlichkeit bei. Durch die Trennung in zwei Teilmodelle mit jeweils drei Lösungsbausteilen sind insgesamt sechs klar getrennte Module entwickelt worden, die eine strukturierte Anwendung ermöglichen, sodass der Grundsatz der Klarheit umgesetzt ist. Der Grundsatz der Vergleichbarkeit wird ebenfalls als erfüllt angesehen, da die strukturierte Vorgehensweise eine Reproduzierbarkeit gewährleistet. Der modulare Charakter der Lösungsbausteine trägt zur Erfüllung des sechsten und letzten Grundsatzes bei, der eine Integrierbarkeit in ein Gesamtmodell verlangt. Die entwickelten Lösungsbausteine lassen sich beispielsweise sehr einfach in ein Gesamtmodell des Regelkreises der kontinuierlichen Fabrikplanung einbinden.

- **Anforderung G2:** Das erste Teilmodell kann der Modellklasse eines Erklärungsmodells zugeordnet werden. Über die Lösungsbausteine 1.1, 1.2 und 1.3 wird über logisch-induktive Schritte ein Verständnis für die Wirkkette von Änderungstreibern entwickelt, mit dem sich das Verhalten eines Originalsystems erklären lässt.
- **Anforderung G3:** Das zweite Teilmodell baut auf dem ersten auf und ist als Gestaltungsmodell einzuordnen. Mit den Lösungsbausteinen 2.1, 2.2 und 2.3 wird ein Informationspaket für die Änderungsmaßnahmenableitung bereitgestellt, das für die Ableitung von Maßnahmen nutzbar ist beziehungsweise eine Grundlage dessen darstellt.

Das entwickelte Gesamtmodell lässt sich auch in den klassischen Problemlösungszyklus aus Analyse, Synthese und Bewertung einordnen (DAENZER ET AL. 1997, S. 48; SCHULZE ET AL. 2012, S. 213). Das erste Teilmodell analysiert die Wirkung von Änderungstreibern. Im zweiten Teilmodell erfolgt die Synthese von Informationen zum Zweck der Maßnahmenkomposition respektive für die abschließende Bewertung und Auswahl der Änderungsmaßnahmen.

Zusammenfassend lässt sich konstatieren, dass das entwickelte Modell alle in Kapitel 3 ermittelten aufgabenspezifischen und grundlegenden Anforderungen erfüllt. Die Evaluation des Modells hinsichtlich der gestellten Anforderungen schließt den Hauptteil dieser Masterarbeit. Das nächste Kapitel stellt die wichtigsten Ergebnisse zusammen und schlägt weiterführende Forschungsfelder vor.

7 Zusammenfassung und Ausblick

Dieses Kapitel fasst die wichtigsten Aspekte dieser Arbeit zusammen und schließt mit einem Ausblick auf weitere mögliche Forschungsfelder.

Zusammenfassung

Ausgehend von einer vom turbulenten Spannungsfeld getriebenen zunehmenden Divergenz zwischen dem zulässigen und dem benötigten Veränderungsaufwand in Fabriken wird Wandlungsfähigkeit als Erfolgsfaktor zu deren Minderung angesehen. In Kapitel 2.1 wurde dieser Arbeit deshalb zunächst eine ausführliche Untersuchung der Veränderungsfähigkeit zu Grunde gelegt. Zudem wurde basierend auf der Systemtheorie ein Fabrikssystem definiert, welches als Basis für das zu entwickelnde Modell dient. Das Kapitel 2.2 hat aufgezeigt, dass mittels einer systematischen Literaturrecherche keine Forschungsarbeiten identifiziert werden konnten, welche die zu Beginn gestellte Forschungsfrage hinreichend beantwortet. Demzufolge wurden in Kapitel 3 Anforderungen an das zu entwickelnde Modell aus der Forschungsfrage abgeleitet, um hinsichtlich des aufgedeckten Forschungsbedarfes einen Beitrag zu leisten. Es galt zu untersuchen, wie Fabrikssysteme zu modellieren sind, so dass die Wirkung von Änderungstreibern analysiert und für die Ableitung geeigneter Änderungsmaßnahmen nutzbar gemacht werden kann.

In den Kapiteln 4 und 5 sind ein Erklärungsmodell und ein Gestaltungsmodell entwickelt worden. Das erste Teilmodell dient als Erklärungsmodell für die Analyse der Wirkung von Änderungstreibern. Mit dem Lösungsbaustein 1.1 wurden zuerst Änderungstreiber rezeptorbasiert aufgenommen und mit dem Szenario-Management in Anforderungen an die Fabrikfunktionen in den sechs Veränderungsdimensionen übersetzt. Sie repräsentieren ein Soll-System. Daraufhin konnten mit dem Lösungsbaustein 1.2 von Änderungstreibern betroffene Elemente und Relationen in Abhängigkeit der Fabrikstruktur identifiziert werden. Die Eigenschaften der Fertigungsmittel determinieren das Ist-System. In Lösungsbaustein 1.3 sind die Ergebnisse der beiden vorhergehenden Lösungsbausteine mit einem Soll-Ist-Vergleich zusammengeführt worden. Mit dieser Eignungsprüfung der Fertigungsmittel werden erforderliche Veränderungen ermittelt. Im zweiten Teilmodell wird ein dreigliedriges Informationspaket bereitgestellt. Damit dient es als Gestaltungsmodell für die Ableitung von Änderungsmaßnahmen. Der Lösungsbaustein 2.1 stellt aufbauend auf dem Lösungsbaustein 1.3 einzelne erforderliche Veränderungen in einer gesamten Fabrikstrukturansicht zusammen. Mit dem Lösungsbaustein 2.2 wird die Wandlungsfähigkeit des Fabriksystems bewertet, um mögliche Änderungs-

maßnahmen unter Nutzung der Wandlungsfähigkeit vorzubereiten. Wie die Änderungsmaßnahmen bewertet werden können, zeigt Lösungsbaustein 2.3 anhand eines Veränderungsvektors auf.

Während der Entwicklung der Lösungsbausteine wurde ein Fokus auf die Abgrenzung von Flexibilität und Wandlungsfähigkeit gelegt, sodass ein umfangreiches Verständnis für die beiden Begrifflichkeiten entwickelt werden konnte. Beispielsweise konnte mit Hilfe des funktionalen und strukturalen Systemkonzeptes eine klare Trennung von Funktionskorridoren und Veränderungsfähigkeiten erreicht werden.

Auf die Modellentwicklung folgte mit Kapitel 6 dessen Evaluation, bei der die vollständige Erfüllung der in Kapitel 3 definierten Anforderungen festgestellt werden konnte.

Das entwickelte Modell bietet die Möglichkeit, von Änderungstreibern verursachte Veränderungen zu identifizieren und Maßnahmen unter Nutzung der vorhandenen Wandlungsfähigkeit abzuleiten. Damit trägt es zur Lösung der eingangs formulierten Problemstellung bei, mit geeigneten Wandlungsmaßnahmen die Diskrepanz zwischen benötigtem und zulässigem Veränderungsaufwand zu mindern. Zudem bietet diese Forschungsarbeit durch die Einordnung in den Regelkreis der kontinuierlichen Fabrikplanung einen Rahmen an, mit dem Ergebnisse aus den Teilmodellen mit Hilfe einer systematischen Zusammenstellung für Anwendungsfälle nutzbar gemacht werden können.

Ausblick

Als weiterführende Forschungsfelder konnten im Laufe der Arbeit folgende interessante Fragestellungen erkannt werden. Zum Einen könnte tiefergehend betrachtet werden, wie Projektionen für Änderungstreiber erstellt und darauf aufbauend konsistente Szenarien gebildet werden. Des Weiteren kann eine detaillierte Bewertung der Wandlungsfähigkeit die Planungsqualität der Änderungsmaßnahmen steigern. Dabei kann der Zusammenhang von den Veränderungsdimensionen der Fabrikfunktionen und den Wandlungsbefähigern ausführlich erörtert werden. Zudem wäre sicherlich interessant zu untersuchen, wie Änderungsmaßnahmen sich gegenseitig beeinflussen, beziehungsweise welche Auswirkung sie auf andere Flexibilitätskorridore haben oder welche Folgeveränderungen sie auslösen.

8 Literaturverzeichnis

ABELE & REINHART 2011

Abele, Eberhard; Reinhart, Gunther (Hrsg.): Zukunft der Produktion. München: Hanser 2011. ISBN: 978-3-446-42595-8.

ADAM 1996

Adam, D.: Planung und Entscheidung. Modelle - Ziele - Methoden; mit Fallstudien und Lösungen. 4. Aufl. Wiesbaden: Gabler 1996. ISBN: 3-409-44613-3.

ADAM & JOHANNWILLE 1998

Adam, D.; Johannwille, U.: Die Komplexitätsfalle. In: Adam, D. (Hrsg.): Komplexitätsmanagement. Wiesbaden: Gabler 1998, S. 5-28. ISBN: 3-409-17938-0.

ADOLPHUS 2014

Adolphus, M.: How to conduct a systematic or evidence-based literature review.

<http://www.emeraldgroupublishing.com/authors/guides/write/evidence_based.htm> - 17.05.2014.

AGGTELEKY 1987

Aggteleky, B.: Grundlagen, Zielplanung, Vorarbeiten, Unternehmerische und systemtechnische Aspekte, Marketing und Fabrikplanung. 2. Aufl. München: Hanser 1987. ISBN: 3-446-14860-4. (Fabrikplanung - Werksentwicklung und Betriebsrationalisierung 1).

AGGTELEKY 1990

Aggteleky, B.: Betriebsanalyse und Feasibility-Studie, Technisch-wirtschaftliche Optimierung von Anlagen und Bauten. 2. Aufl. München: Hanser 1990. ISBN: 3-446-15800-6. (Fabrikplanung - Werksentwicklung und Betriebsrationalisierung 2).

ALDINGER 2009

Aldinger, L. A.: Methode zur strategischen Leistungsplanung in wandlungsfähigen Produktionsstrukturen des Mittelstandes (Dissertation). Heimsheim: Jost-Jetter 2009. ISBN: 3-939890-52-9. (IPA-IAO Forschung und Praxis 491).

BAUERNHANSL ET AL. 2012

Bauernhansl, T.; Mandel, J.; Diermann, S.: Evaluating Changeability Corridors for Sustainable Business Resilience. *Procedia CIRP* 3 (2012), S. 364-369.

BECKER & KAHN 2005

Becker, J.; Kahn, D.: Der Prozess im Fokus. In: Becker, J. et al. (Hrsg.): *Prozessmanagement*. Berlin: Springer 2005, S. 3-16. ISBN: 3-540-23493-4.

BEER 1959

Beer, S.: *Cybernetics and Management*. 1. Aufl. London: English Universities Press 1959.

BERTALANFFY 1969

Bertalanffy, L. von: *General system theory. Foundations, development, applications*. New York: Braziller 1969. ISBN: 978-0-8076-0453-3.

BLEICHER 2009

Bleicher, K.: Integrationsmanagement. In: Bullinger, H.-J. et al. (Hrsg.): *Handbuch Unternehmensorganisation*. Berlin: Springer 2009, S. 153-164. ISBN: 978-3-540-72136-9.

BOOZ & Co. 2007

Booz & Co.: *Ready, Willing, and Engaged*. Booz & Co. (2007) 9.

CISEK 2005

Cisek, R.: *Planung und Bewertung von Rekonfigurationsprozessen in Produktionssystemen (Dissertation)*. München: Utz 2005. ISBN: 3-8316-0475-4. (Forschungsberichte IWB 191).

CISEK ET AL. 2002

Cisek, R.; Habicht, C.; Neise, P.: Gestaltung wandlungsfähiger Produktionssysteme. *ZWF: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* 97 (2002) 9, S. 441-445.

DAENZER ET AL. 1997

Daenzer, W. F.; Huber, F.; Haberfellner, R.; Nagel, P.; Becker, M.; Büchel, A.; Massow, H. von: *Systems engineering. Methodik und Praxis*. 9. Aufl. Zürich: Industrielle Organisation 1997. ISBN: 3-85743-986-6.

DIN 8580, Deutsches Institut für Normung: *Fertigungsverfahren - Begriffe, Einteilung*: September 2003.

DOHMS 2001

Dohms, R.: Methodik zur Bewertung und Gestaltung wandlungsfähiger, dezentraler Produktionsstrukturen (Dissertation). Aachen: Shaker 2001. ISBN: 3-8265-8597-6. (Berichte aus der Produktionstechnik 2001/11).

DOMBROWSKI ET AL. 2006

Dombrowski, U.; Palluck, M.; Schmidt, S.: Strukturelle Analyse Ganzheitlicher Produktionssysteme. ZWF: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 101 (2006) 3, S. 114-118.

DOMSCHKE & DREXL 1991

Domschke, W.; Drexl, A.: Einführung in Operations-Research. 2 Aufl. Berlin: Springer 1991. ISBN: 3-540-54386-4.

DÖNITZ 2009

Dönitz, E. J.: Effizientere Szenariotechnik durch teilautomatische Generierung von Konsistenzmatrizen. Empirie, Konzeption, Fuzzy- und Neuro-Fuzzy-Ansätze. 1. Aufl. Wiesbaden: Gabler 2009. ISBN: 978-3-8349-1668-6.

DRABOW 2006

Drabow, G.: Modulare Gestaltung und ganzheitliche Bewertung wandlungsfähiger Fertigungssysteme (Dissertation): Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover (2006).

DRABOW & WOELK 2004

Drabow, G.; Woelk, P.-O.: Wandlungsfähige Fabrik der Zukunft. ZWF: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 99 (2004) 3, S. 90-94.

DUDEN 2014

Duden: Wörterbuch. <<http://www.duden.de>> - 26.06.2014.

DÜRRSCHMIDT 2001

Dürschmidt, S.: Planung und Betrieb wandlungsfähiger Logistiksysteme in der variantenreichen Serienproduktion (Dissertation), Technische Universität München. München: Utz 2001. ISBN: 3-8316-0023-6. (Forschungsberichte IWB 152).

DYCKHOFF 2006

Dyckhoff, H.: Produktionstheorie. Grundzüge industrieller Produktionswirtschaft. 5. Aufl. Berlin: Springer 2006. ISBN: 3-540-32600-6.

FLEISCHMANN 1996

Fleischmann, B.: Operations Research für die Produktion. In: Kern, W. (Hrsg.): Handwörterbuch der Produktionswirtschaft. Stuttgart: Poeschel 1996, S. 1357–1370. ISBN: 3-7910-8044-X.

GAUSEMEIER & PFÄNDER 2009

Gausemeier, J.; Pfänder, T.: Strategische Unternehmensführung mit Szenario-Management. In: Bullinger, H.-J. et al. (Hrsg.): Handbuch Unternehmensorganisation. Berlin: Springer 2009, S. 140-149. ISBN: 978-3-540-72136-9.

GAUSEMEIER ET AL. 1996

Gausemeier, J.; Fink, A.; Schlake, O.: Szenario-Management. Planen und Führen mit Szenarien. 2. Aufl. München: Hanser 1996. ISBN: 3-446-18721-9.

GÜNTHNER ET AL. 2006

Günthner, W. A.; Wilke, M.; Heinecker, M.: Modulare Materialflusssysteme für wandelbare Fabrikstrukturen (Forschungsbericht): Lehrstuhl Förderertechnik Materialfluss Logistik, Technische Universität München. München (2006).

HARMS 2004

Harms, T.: Agentenbasierte Fabrikstrukturplanung (Dissertation). Garbsen: PZH Produktionstechnisches Zentrum 2004. ISBN: 3-936888-47-7. (Berichte aus dem IFA 2004/2).

HARTKOPF 2013

Hartkopf, M.: Systematik für eine kontinuierliche und langfristig ausgerichtete Planung technologischer und kapazitiver Werksentwicklungen (Dissertation). Stuttgart: Universitätsbibliothek der Universität Stuttgart 2013. ISBN: 978-3-8396-0589-9. (Stuttgarter Beiträge zur Produktionsforschung 18).

HEGER 2007

Heger, C. L.: Bewertung der Wandlungsfähigkeit von Fabrikobjekten (Dissertation). Garbsen: PZH Produktionstechnisches Zentrum 2007. ISBN: 978-3-939026-43-3. (Berichte aus dem IFA 2007/1).

HEINEN ET AL. 2008

Heinen, T.; Rimpau, C.; Wörn, A.: Wandlungsfähigkeit als Ziel der Produktionssystemgestaltung. In: Nyhuis, P. et al. (Hrsg.): Wandlungsfähige Produktionssysteme 2008, S. 19-32.

HEINEN 2011

Heinen, T.: Planung der soziotechnischen Wandlungsfähigkeit in Fabriken (Dissertation): Institut für Fabrikanlagen und Logistik, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität. Hannover (2011).

HENN & KÜHNLE 1999

Henn, G.; Kühnle, H.: Strukturplanung. In: Eversheim, W. et al. (Hrsg.): Produktion und Management "Betriebshütte". Berlin: Springer 1999, S. 9.57-9.93. ISBN: 3540593608.

HERNANDEZ MORALES 2002

Hernandez Morales, R.: Systematik der Wandlungsfähigkeit in der Fabrikplanung (Dissertation), Gottfried Wilhelm Leibniz Universität. Hannover (2002).

HIGGINS & GREEN 2011

Higgins, J.; Green, S.: Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions. <<http://handbook.cochrane.org/>> - 17.05.2014.

KAGERMANN ET AL. 2013

Kagermann, H.; Wahlster, W.; Helbig, J.: Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0. 2013.

KARL ET AL. 2012

Karl, F.; Reinhart, G.; Zäh, M. F.: Rekonfigurationsfähigkeit von Betriebsmitteln. wt Werkstattstechnik online 102 (2012) 4, S. 228-233.

KETTNER ET AL. 1984

Kettner, H.; Schmidt, J.; Greim, H.-R.: Leitfaden der systematischen Fabrikplanung. München: Hanser 1984. ISBN: 978-3-446-13825-4.

KLEMKE 2014

Klemke, T.: Planung der systematischen Wandlungsfähigkeit von Fabriken (Dissertation). Garbsen: TEWISS 2014. ISBN: 978-3-944586-50-2.

KLEMKE ET AL. 2011

Klemke, T.; Mersmann, T.; Wagner, C.; Großmann, D.; Nyhuis, P.: Bewertung und Gestaltung der Wandlungsfähigkeit von Produktionssystemen. ZWF: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 106 (2011) 12, S. 922-927.

KOCH 2011

Koch, S.: Methodik zur Steigerung der Wandlungsfähigkeit von Fabriken im Maschinen- und Anlagenbau (Dissertation). 1. Aufl. Aachen: Apprimus 2011. ISBN: 978-3-86359-046-8. (Edition Wissenschaft Apprimus 17).

KOREN 2006

Koren, Y.: General RMS Characteristics. Comparison with Dedicated and Flexible Systems. In: Dashchenko, A. (Hrsg.): Reconfigurable manufacturing systems and transformable factories. Berlin: Springer 2006, S. 27-45. ISBN: 3-540-29391-4.

KOREN & SHPITALNI 2010

Koren, Y.; Shpitalni, M.: Design of reconfigurable manufacturing systems. Journal of Manufacturing Systems 29 (2010), S. 130-141.

KOTTER 1995

Kotter, J. P.: Leading Change. Harvard Business Review (1995) 2, S. 59-67.

KRAEMER 2005

Kraemer, M.: Bedeutung von Raum und Gebäudetechnik für die Wandlungsfähigkeit. In: Wiendahl, H.-P. (Hrsg.): Planung modularer Fabriken. München: Hanser 2005, S. 93-111. ISBN: 3-446-40045-1.

LASZLO 1972

Laszlo, E.: Introduction: The Origins of General Systems Theory in the Work of Von Bertalanffy. In: Bertalanffy, L. von et al. (Hrsg.): The Relevance of general systems theory;. New York: Braziller 1972, S. 1-11. ISBN: 0-8076-0659-6.

LAUER 2010

Lauer, T.: Change Management. Der Weg zum Ziel. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg 2010. ISBN: 978-3-642-04339-0.

LIKER & MEIER 2008

Liker, J. K.; Meier, D.: Praxisbuch, der Toyota-Weg. Für jedes Unternehmen. 2. Aufl. München: FinanzBuch 2008. ISBN: 978-3-89879-258-5.

LINDEMANN 2009

Lindemann, U.: Methodische Entwicklung technischer Produkte. Methoden flexibel und situationsgerecht anwenden. 3. Aufl. Berlin: Springer 2009. ISBN: 978-3-642-01422-2.

LINDEMANN ET AL. 2009

Lindemann, U.; Maurer, M.; Braun, T.: Structural complexity management. An approach for the field of product design. Berlin: Springer 2009. ISBN: 978-3-540-87888-9.

LÖFFLER 2011

Löffler, C.: Systematik der strategischen Strukturplanung für eine wandlungsfähige und vernetzte Produktion der variantenreichen Serienfertigung (Dissertation). Heimsheim: Jost-Jetter 2011. ISBN: 978-3-939890-90-4. (IPA-IAO Forschung und Praxis 519).

MAURER 2012

Maurer, M.: Komplexitätsmanagement für die industrielle Praxis (Vorlesungsskriptum): Lehrstuhl für Produktentwicklung, Technische Universität München. München (2012).

MELLEROWICZ 1958

Mellerowicz, K.: Betriebswirtschaftslehre der Industrie. 5. Aufl. Freiburg: Haufe 1958.

MILBERG 1997

Milberg, J.: Produktion. In: Reinhart, G. et al. (Hrsg.): Mit Schwung zum Aufschwung. Landsberg/Lech: Moderne Industrie 1997, S. 17-39. ISBN: 3-478-91620-8.

MÖLLER 2008

Möller, N.: Bestimmung der Wirtschaftlichkeit wandlungsfähiger Produktionssysteme (Dissertation). München: Utz 2008. ISBN: 978-3-8316-0778-5. (Forschungsberichte IWB 212).

MOMMERTZ 1981

Mommertz, K. H.: Bohren, drehen und fräsen. Geschichte der Werkzeugmaschinen. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt 1981. ISBN: 3-499-17704-8.

NOFEN ET AL. 2005

Nofen, D.; Klußmann, J. H.; Löllmann, F.: Bedeutung der Wandlungsfähigkeit für die Zukunftsrobustheit von Fabriken. In: Wiendahl, H.-P. (Hrsg.): Planung modularer Fabriken. München: Hanser 2005, S. 8-15. ISBN: 3-446-40045-1.

NOFEN 2006

Nofen, D.: Regelkreisbasierte Wandlungsprozesse der modularen Fabrik (Dissertation). 1. Aufl. Garbsen: PZH Produktionstechnisches Zentrum 2006. ISBN: 3-939026-20-4. (Berichte aus dem IFA 2006/1).

NYHUIS ET AL. 2010

Nyhuis, P.; Klemke, T.; Wagner, C.: Wandlungsfähigkeit - ein systematischer Ansatz. In: Nyhuis, P. (Hrsg.): Wandlungsfähige Produktionssysteme. Berlin: Gito 2010, S. 3-21. ISBN: 978-3-942183154.

NYHUIS ET AL. 2004

Nyhuis, P.; Elscher, A.; Kolakowski, M.: Prozessmodell der Synergetischen Fabrikplanung. wt Werkstattstechnik online 94 (2004) 4, S. 95-99.

NYHUIS ET AL. 2009

Nyhuis, P.; Fronia, P.; Pachow-Frauenhofer, J.; Wulf, S.: Wandlungsfähige Produktionssysteme. wt Werkstattstechnik online 99 (2009) 4, S. 205-210.

NYHUIS ET AL. 2008

Nyhuis, P.; Heinen, T.; Reinhart, G.; Rimpau, C.; Abele, E.; Wörn, A.: Wandlungsfähige Produktionssysteme. wt Werkstattstechnik online 98 (2008) 1/2, S. 85-91.

ŌNO 2009

Ōno, T.: Das Toyota-Produktionssystem. 1. Aufl. Frankfurt am Main: Campus 2009. ISBN: 978-3-593-38836-6.

PACHOW-FRAUENHOFER 2012

Pachow-Frauenhofer, J.: Planung veränderungsfähiger Montagesysteme (Dissertation). 1. Aufl. Garbsen: PZH Produktionstechnisches Zentrum 2012. ISBN: 978-3-943104-57-8. (Berichte aus dem IFA 2012/1).

PATZAK 1982

Patzak, G.: Systemtechnik, Planung komplexer innovativer Systeme. Grundlagen, Methoden, Techniken. 1. Aufl. Berlin: Springer 1982. ISBN: 3-540-11783-0.

PAWELLEK 2008

Pawellek, G.: Ganzheitliche Fabrikplanung. Grundlagen, Vorgehensweise, EDV-Unterstützung. Berlin: Springer 2008. ISBN: 978-3-540-78402-9.

PLEHN 2014

Plehn, C.: Während der inhaltlichen Bearbeitung dieser Masterthesis erfolgten zahlreiche Expertengespräche sowie inhaltliche Abstimmungen mit dem Betreuer (Herrn Plehn) des iwB - Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften, Technische Universität München.

POHL 2013

Pohl, J.: Adaption von Produktionsstrukturen unter Berücksichtigung von Lebenszyklen (Dissertation): Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften, Technische Universität München. München (2013).

REINHART 2000

Reinhart, G.: Im Denken und Handeln wandeln. In: Reinhart, G. et al. (Hrsg.): Nur der Wandel bleibt. Garching, 16.-17.03.2000. München: Utz 2000, S. 17-40. ISBN: 3-89675-923-X.

REINHART 2008

Reinhart, G.: Flexibilität und Wandlungsfähigkeit - das richtige Maß finden. In: Hoffmann, H. et al. (Hrsg.): Produktionskongress 2008. München, 9.10.2008. München: Utz 2008, S. 45-55. ISBN: 978-3-8316-0844-7.

REINHART 2010

Reinhart, G.: Methoden der Unternehmensführung (Vorlesungsskriptum): Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften, Technische Universität München. München (2010).

REINHART 2012

Reinhart, G.: Fabrikplanung (Vorlesungsskriptum): Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften, Technische Universität München. München (2012).

REINHART ET AL. 2009

Reinhart, G.; Pohl, J.; Schindler, S.; Karl, F.; Rimpau, C.:
Zyklusorientiertes Produktionsstruktur-Monitoring. ZWF: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 104 (2009) 9, S. 750-754.

RIST 2008

Rist, T.: Ein Verfahren zur Modellierung von Produktionsbetrieben zum Zwecke der Anordnungsplanung (Dissertation). Heimsheim: Jetter 2008. ISBN: 3-939890-34-0. (IPA-IAO Forschung und Praxis 476).

ROPOHL 1971

Ropohl, G.: Flexible Fertigungssysteme. Zur Automatisierung der Serienfertigung. Mainz: Krausskopf 1971. (Produktionstechnik heute 1).

ROPOHL 1999

Ropohl, G.: Allgemeine Technologie. Eine Systemtheorie der Technik. 2. Aufl. München: Hanser 1999. ISBN: 3-446-19606-4.

ROSEMANN ET AL. 2005

Rosemann, M.; Schwegmann, A.; Delfmann, P.: Vorbereitung der Prozessmodellierung. In: Becker, J. et al. (Hrsg.): Prozessmanagement. Berlin: Springer 2005, S. 45-103. ISBN: 3-540-23493-4.

SCHEER ET AL. 2002

Scheer, A.-W.; Thomas, O.; Wagner, D.: Verfahren und Werkzeuge zur Unternehmensmodellierung. In: Bullinger, H.-J. (Hrsg.): Neue Organisationsformen im Unternehmen. Berlin: Springer 2002, S. 740-760. ISBN: 3-540-67610-4.

SCHENK & WIRTH 2004

Schenk, M.; Wirth, S.: Fabrikplanung und Fabrikbetrieb. Methoden für die wandlungsfähige und vernetzte Fabrik. Berlin: Springer 2004. ISBN: 3-540-20423-7.

SCHMIDT 2002

Schmidt, K.: Methodik zur integrierten Grobplanung von Abläufen und Strukturen mit digitalen Fabrikmodellen (Dissertation): Werkzeugmaschinenlabor, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule. Aachen (2002).

SCHUH 2012

Schuh, G.: Erfolgsfaktor Wandlungsfähigkeit. wt Werkstattstechnik online 102 (2012) 4, S. 175.

SCHUH ET AL. 2012

Schuh, G.; Potente, T.; Fuchs, S.; Hausberg, C.: Methodology for the Assessment of Changeability of Production Systems Based on ERP Data. Procedia CIRP 3 (2012), S. 412-417.

SCHUH ET AL. 2013

Schuh, G.; Potente, T.; Thomas, C.; Hausberg, C.; Hohlweger, N.: Strukturbedingte Wandlungsfähigkeit. wt Werkstattstechnik online 103 (2013) 4, S. 285-290.

SCHULZE ET AL. 2012

Schulze, C. P.; Reinema, C.; Nyhuis, P.: Planung der Struktur einer Fabrik als soziotechnisches System. wt Werkstattstechnik online 102 (2012) 4, S. 211-216.

SESTERHENN 2003

Sesterhenn, M.: Bewertungssystematik zur Gestaltung struktur- und betriebsvariabler Produktionssysteme (Dissertation). Aachen: Shaker 2003. ISBN: 3-8322-1066-0. (Berichte aus der Produktionstechnik 2003/1).

SPATH 2009

Spath, D.: Grundlagen der Organisationgestaltung. In: Bullinger, H.-J. et al. (Hrsg.): Handbuch Unternehmensorganisation. Berlin: Springer 2009, S. 3-24. ISBN: 978-3-540-72136-9.

SPATH ET AL. 2002

Spath, D.; Baumeister, M.; Rasch, D.: Wandlungsfähigkeit und Planung von Fabriken. ZWF: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 97 (2002) 1/2, S. 28-32.

SPUR 1994

Spur, G.: Fabrikbetrieb im Wandel. In: Spur, G. (Hrsg.): Fabrikbetrieb. München: Hanser 1994, S. 1-12. ISBN: 3-446-17714-0.

STACHOWIAK 1973

Stachowiak, H.: Allgemeine Modelltheorie. Wien: Springer 1973. ISBN: 3-211-81106-0.

TÖNSHOFF 1999

Tönshoff, H. K.: Strukturplanung. In: Eversheim, W. et al. (Hrsg.): Produktion und Management "Betriebshütte". Berlin: Springer 1999, S. 10.44-10.55. ISBN: 3540593608.

TUM UB 2014

Universitätsbibliothek Technische Universität München: Fit für die Abschlussarbeit. <<https://mediatum.ub.tum.de/doc/1096720/1096720.pdf>> - 17.05.2014.

VARIAN 2010

Varian, H. R.: Intermediate microeconomics. A modern approach. 8. Aufl. New York: W.W. Norton & Co. 2010. ISBN: 978-0-393-93424-3.

VELKOVA 2014

Velkova, J.: Methode zur Selbstbewertung der Wandlungsfähigkeit von Produktionssystemen (Dissertation). 1. Aufl. Aachen: Shaker 2014. ISBN: 978-3-8440-2461-6.

VDI 2815-5, Verein Deutscher Ingenieure 2815: Richtlinie 2815 Blatt 5 - Begriffe für die Produktionsplanung und -steuerung - Betriebsmittel: Mai 1978.

VDI 3633, Verein Deutscher Ingenieure 3633: Richtlinie 3633 Entwurf - Simulation von Logistik-, Materialfluss- und Produktionssystemen - Begriffsdefinitionen: November 1996.

VDI 2225-3, Verein Deutscher Ingenieure 2225: Richtlinie 2225 Blatt 3 - Konstruktionsmethodik - Technisch-wirtschaftliches Konstruieren - Technisch-wirtschaftliche Bewertung: November 1998.

VDI 5200-1, Verein Deutscher Ingenieure 5200: Richtlinie 5200 Blatt 1 - Fabrikplanung - Planungsvorgehen: Februar 2011.

VDI 5200-2, Verein Deutscher Ingenieure 5200: Richtlinie 5200 Blatt 2 - Fabrikplanung - Morphologisches Modell der Fabrik zur Zielfestlegung in der Fabrikplanung: November 2011.

VDI 2870-1, Verein Deutscher Ingenieure 2870: Richtlinie 2870 Blatt 1 - Ganzheitliche Produktionssysteme - Grundlagen, Einführung und Bewertung: Juli 2012.

WARNECKE 1992

Warnecke, H.-J.: Die fraktale Fabrik. Revolution der Unternehmenskultur. Berlin: Springer 1992. ISBN: 3-540-55200-6.

WESTKÄMPER 2002

Westkämper, E.: Wandlungsfähigkeit und Fabrikstrukturen. In: Westkämper, E. (Hrsg.): Wandlungsfähige Unternehmensstrukturen für die variantenreiche Serienproduktion. Stuttgart: Fraunhofer-IRB-Verlag 2002, S. 75-97. ISBN: 3-8167-6128-3.

WESTKÄMPER 2006

Westkämper, E.: Factory Transformability: Adapting the structures of manufacturing. In: Dashchenko, A. (Hrsg.): Reconfigurable manufacturing systems and transformable factories. Berlin: Springer 2006, S. 371-381. ISBN: 3-540-29391-4.

WESTKÄMPER ET AL. 2009

Westkämper, E.; Rönnecke, T.; Hummel, V.: Ganzheitliche Produktionssysteme. In: Westkämper, E. et al. (Hrsg.): Wandlungsfähige Produktionsunternehmen. Berlin: Springer 2009, S. 25-46. ISBN: 978-3-540-21889-0.

WESTKÄMPER 2009A

Westkämper, E.: Turbulentes Umfeld von Unternehmen. In: Westkämper, E. et al. (Hrsg.): Wandlungsfähige Produktionsunternehmen. Berlin: Springer 2009, S. 7-24. ISBN: 978-3-540-21889-0.

WESTKÄMPER 2009B

Westkämper, E.: Wandlungsfähige Organisation und Fertigung in dynamischen Umfeldern. In: Bullinger, H.-J. et al. (Hrsg.): Handbuch Unternehmensorganisation. Berlin: Springer 2009, S. 26-37. ISBN: 978-3-540-72136-9.

WESTKÄMPER ET AL. 2000

Westkämper, E.; Zahn, E.; Balve, P.; Tilebein, M.: Ansätze zur Wandlungsfähigkeit von Produktionsunternehmen. wt Werkstattstechnik online 90 (2000) 1/2, S. 22-26.

WIENDAHL 1999

Wiendahl, H.-P.: Grundlagen der Fabrikplanung. In: Eversheim, W. et al. (Hrsg.): Produktion und Management "Betriebshütte". Berlin: Springer 1999, S. 9.1-9.31. ISBN: 3540593608.

WIENDAHL 2001

Wiendahl, H.-P.: Wandlungsfähige Fabriken - Eckpfeiler für den Standort Deutschland. wt Werkstattstechnik online 91 (2001) 11, S. 723-724.

WIENDAHL 2002

Wiendahl, H.-P.: Wandlungsfähigkeit. wt Werkstattstechnik online 92 (2002) 4, S. 122-127.

WIENDAHL & HERNANDEZ MORALES 2006

Wiendahl, H.-P.; Hernandez Morales, R.: The Transformable Factory - strategies, methods and examples. In: Dashchenko, A. (Hrsg.): Reconfigurable manufacturing systems and transformable factories. Berlin: Springer 2006, S. 383-393. ISBN: 3-540-29391-4.

WIENDAHL ET AL. 2007

Wiendahl, H.-P.; ElMaraghy, H. A.; Nyhuis, P.; Zäh, M. F.; Wiendahl, H.-H.; Duffie, N.; Brieke, M.: Changeable manufacturing - classification, design and operation. CIRP Annals - Manufacturing Technology 56 (2007) 2, S. 783-809.

WIENDAHL ET AL. 2009

Wiendahl, H.-P.; Reichardt, J.; Nyhuis, P.: Handbuch Fabrikplanung. Konzept, Gestaltung und Umsetzung wandlungsfähiger Produktionsstätten. München: Hanser 2009. ISBN: 978-3-446-22477-3.

WIENER 1961

Wiener, N.: Cybernetics. control and communication in the animal and the machine. 2. Aufl. New York: M.I.T. Press 1961. ISBN: 978-0-262-23007-0.

WOMACK ET AL. 1994

Womack, J. P.; Jones, D. T.; Roos, D.: Die zweite Revolution in der Auto-industrie. Konsequenzen aus der weltweiten Studie des Massachusetts Institute of Technology. 8. Aufl. Frankfurt am Main: Campus 1994. ISBN: 3-593-35120-X.

ZÄH ET AL. 2005

Zäh, M. F.; Möller, N.; Vogl, W.: Symbiosis of changeable and virtual production. In: Zäh, M. F. et al. (Hrsg.): 1st International Conference on Changeable, Agile, Reconfigurable and Virtual Production (CARV 2005). Garching, 22.-23.09.2005. München: Utz 2005, S. 3-10. ISBN: 3-8316-0540-8.

ZÄH ET AL. 2009

Zäh, M. F.; Reinhart, G.; Pohl, J.; Schindler, S.; Karl, F.; Rimpau, C.: Modelling, anticipating and managing cyclic behaviour in industry. In: Zäh, M. F. et al. (Hrsg.): 5th International Conference on Changeable, Agile, Reconfigurable and Virtual Production (CARV 2009). Garching 2009.

ZELEWSKI 2008

Zelewski, S.: Erkenntnisinstrumente der Betriebswirtschaftslehre. In: Corsten, H. (Hrsg.): Betriebswirtschaftslehre. München: Oldenbourg 2008, S. 31-50. ISBN: 978-3-486-58652-7.

9 Anhang

9.1 Suchbegriffe der systematischen Literaturrecherche

Bei der systematischen Literaturrecherche wurden die in Tabelle 9-1 aufgeführten Suchbegriffe verwendet. Als Suchbegriffe gelten die Suchaspekte der grau hinterlegten Kopfzeile und die den Aspekten zugeordneten Synonyme. Um auch englischsprachige Veröffentlichungen zu erfassen, wurde auf die im zweiten Tabellenteil gelisteten Suchbegriffe zurückgegriffen.

Tabelle 9-1: Suchbegriffe der Literaturrecherche

Modellierung	Fabriksystem	Änderungstreiber	Änderungsmaßnahmen
Modell	Fabrik	Wandlungstreiber	Flexibilität
Gestaltung	Produktion	Wandel	Wandlungsfähigkeit
Gestalten	Produktionssystem	Änderung	Wandlungsbefähiger
Abbildung	Fertigung	Veränderung	Veränderungsfähigkeit
Untersuchung	Fertigungssystem		Rekonfiguration
Analyse			
Controlling			
Planung			
Modeling	Factory System	Changedriver	Changemeasures
Model	Factory	Change	Flexibility
Configuration	Manufacturing		Transformability
Configure	Manufacturing System		Transformation
Abbildung	Productions System		Changeability
Research			Change Enabler
Analysis			Reconfigureability
Controlling			Reconfiguration
Planning			Agility

9.2 Informationsquellen der systematischen Literaturrecherche

Bei der systematischen Literaturrecherche wurden im zweiten Schritt die Informationsquellen festgelegt. Tabelle 9-2 listet die für diese Arbeit ausgewählten Quellen auf.

Tabelle 9-2: Informationsquellen der Literaturrecherche

Literatursammlung	Bibliothek	Datenbanken	Zeitschriften
von C. Plehn (<i>iwb</i>)	TUM Bibliothek	Elsevier	CIRP Annals
		Emerald Insight	CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology
		Google Scholar	Production Engineering
		Scopus	wt Werkstatttechnik online
			ZWF: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb

9.3 Änderungstreiber

Die Tabellen 9-3, 9-4 und 9-5 stellen eine Sammlung möglicher Änderungstreibern dar, die auf den Arbeiten von (HERNANDEZ MORALES 2002, S. 157–163) und (KLEMKE 2014, S. 167–169) basiert. Die von KLEMKE genannten Änderungstreiber wurden in die Kategorien von HERNANDEZ MORALES eingeordnet, welcher die Änderungstreiber passend zu Abbildung 4-1 nach den Herkunftsbereichen sortiert hat. Auf eine Zuordnung der Änderungstreiber zu den Rezeptoren wird bewusst verzichtet, da manche Änderungstreiber mehrere Rezeptoren beeinflussen können.

*Tabelle 9-3: Lenkbare Änderungstreiber aus dem Fabrikumfeld
(HERNANDEZ MORALES 2002, S. 157–163; KLEMKE 2014, S. 167–169)*

Herkunftsbereich	Änderungstreiber
Unternehmensleitung	Vision und Mission
	Unternehmens- und Metaziele
	Produktionsziele
	Kernkompetenzen des Unternehmens
	Führungsorganisation
	Grad der Spezialisierung
	Fertigungstiefe
	Umweltstrategie
	Geschäftsfelder
	Rechtsform
	Sitz der Unternehmung
	Ort der Produktion
	Unternehmensgröße
	Unternehmenskultur
	Kooperationsstrategie
	Rolle des Unternehmens in der Wertkette
	Investitionsbereitschaft und Risikoneigung
	Übernahme/Abtretung von Unternehmensstellen
	Veränderung der unternehmensinternen Leistungsvergaben

Herkunftsbereich	Änderungstreiber
Finanzen und Controlling	Umlauf- und Anlagenvermögen
	Dividenden/ Ausschüttung
	Umsatz und Gewinn
	Finanzsituation
	Personalkosten
	Materialkosten
	Produktionsgemeinkosten
	Verwaltungskosten
	Entwicklungs- und Konstruktionskosten
	Vertriebskosten
	Maschinenstundensätze
	Deckungsbeiträge, Profitabilität der Produkte
	Abschreibungen
Produktpreise	
Marketing und Vertrieb	Vertriebsstruktur und –strategie
	Vertriebsformen
	Informationspolitik
	Distributionsstrategie
	Serviceleistung
Personalwesen	Personalstärke
	Qualifizierungsmaßnahmen
	Mitarbeiterstruktur
	Veränderungsbereitschaft
	Mitarbeitermotivation
	Räumliche Arbeitsformen
	Betriebsrat und –vereinbarungen
	Veränderung der Personalstärke

Herkunftsbereich	Änderungstreiber
Forschung und Entwicklung	Produkttechnologie
	Produktionstechnologie
	Time-to-market/ Time-to-product
	Produktlebenszyklen
	Werkstoffentwicklung
	Produktstandardisierung
	Ingenieurskapazität
	Arbeitsorganisation, Ort der Produktion
	Methodenkompetenz
	Interne Produktinnovationen
Informations- und Kommunikationswesen	EDV-Systeme und -aufbau
	Informationsqualität, -geschwindigkeit, -verfügbarkeit
Einkauf und Beschaffung	Einkaufspreise
	Bestellmengen und -form
	Lieferantenauswahl
	Lieferantenanzahl und Belieferungsform
	Beschaffungsdienstleister
	I.-u.K. Systeme
Produktionsplanung und -vorbereitung	Produktionsprogrammplanung
	Produktionsbedarfsplanung
	Fremdbezugsplanung und –steuerung
	Eigenfertigungsplanung und –steuerung
	Auftragskoordination, PPS-Controlling
	Lagerwesen
	Arbeitsplanung
	Fertigungsmittelplanung Neue/veränderte Verfahrensrichtlinien

Herkunftsbereich	Änderungstreiber
Qualitätsmanagement	Organisation der Qualitätssicherung (QS)
	Werkzeuge der QS
	Qualitätskosten
	Rechnersysteme der QS
	Qualitätsstrategie
	Neue/veränderte Test- und Prüfrichtlinien
Absatzplanung	Produktarten und –typen
	Produktvarianten
	Produktmengen
	Produktgröße und –gewicht
	Produkteigenschaften
Investitionsplanung	Investitionsbudget
	Finanzinvestitionen
	Realinvestitionen
Unternehmensorganisation	Aufbauorganisation
	Ablauforganisation
	Arbeitszeitmodelle und Entlohnungsmodelle
Entwicklungsplanung	Gebäudelebenszyklus
	Standortentwicklung
	Produktionstechnologie und -automatisierung
	Produktionsstrukturstrategien
	Logistikstrategien
	Humanstrategien
	Planungskompetenz

*Tabelle 9-4: Nicht lenkbare Änderungstreiber aus dem Unternehmensumfeld
(HERNANDEZ MORALES 2002, S. 157–163; KLEMKE 2014, S. 167–169)*

Herkunftsbereich	Änderungstreiber
Lieferanten und Dienstleister	Machtstellung
	Lieferantenverfügbarkeit
	Geographische Struktur
	Lieferleistung
	Logistikkosten
	Veränderte Teilequalität
	Veränderte Materialkosten
	Veränderte Bestellmengen
	Langfristige Lieferengpässe/-ausfälle
	Veränderte Energiekosten
Kunden	Veränderte Wasserkosten
	Nachfrageverlauf
	Funktionsanforderungen an das Produkt
	Qualitätsanforderungen an das Produkt
	Lieferanforderungen
	Preisanforderungen
	Recyclinganforderungen an das Produkt
	Kundenherkunft und –struktur
	Akzeptanz der Angebote
	Informationsstand der Kunden
Märkte	Neue Produkttechnologien
	Einführung eines neuen Produktes
	Neue Absatzmärkte
	Marktdynamik, -gesetze, -entwicklung
	Marktattraktivität
Marktstruktur und –segmentierung	
Auftragsabwicklungsformen	
Branchenstandards und –normen	

Herkunftsbereich	Änderungstreiber
Produktionsnetzwerk (-partner)	Kompetenzen der Partner
	Herkunft, Struktur und geographische Verteilung
	Netzwerkkultur
	Auslastung und Kapazitäten
	Netzwerkorganisation
Wettbewerber	Kompetenzen
	Kooperationsstrategie
	Wettbewerbsstruktur
	Branchenstruktur
	Logistik-, Qualitäts-, und Preisleistungen
	Marktstrategie
	Neue Produkte von Konkurrenten
Gewerkschaft	Tarifabschlüsse
	Arbeitszeitgesetze
	Mitgliederzahlen
Arbeitsmarkt	Arbeitskräftepotenzial
	Arbeitskräfteverfügbarkeit
	Mitarbeiterfluktuation
	Arbeitslosigkeit, Beschäftigung
Standortinfrastruktur	Verkehrsanbindung
	Soziale Einrichtungen
	Lokale Wohnqualität
Landschaft, Nachbarschaft	Klima
	Topographie
Gemeinde	Lokale Förderung
	Ansiedlungsinteressen
	Kommunal- und Gemeindepolitik
Verbände	Verbände

*Tabelle 9-5: Nicht lenkbare Änderungstreiber aus dem globalen Umfeld
(HERNANDEZ MORALES 2002, S. 157–163; KLEMKE 2014, S. 167–169)*

Herkunftsbereich	Änderungstreiber
Ökonomie	Finanzpolitik
	Aktienmärkte
	Lohnniveau
	Globalisierung der Produktion
	Import und Export
	Währungsentwicklung
	Sektorale und wirtschaftliche Entwicklung
	Zinsen
Politik	Veränderte Steuergesetzgebung
	Wirtschafts- und Steuerpolitik
	Gesetzliche Marktregelungen
	Sozialpolitik
	Einwanderungspolitik
	Patentrecht
	Grenzpolitik
	Neue/veränderte Subventionen
Kapitalgeber, Eigentümer	Neue/veränderte Baurichtlinien
	Aktionäre, Gesellschafter
Umwelt/ Ökologie	Risikoneigung und -strategie
	Entsorgung
	Energiepreise
	Umweltpolitik
	Umweltbewusstsein
	Rohstoffe
	Neue/veränderte Umweltgesetze und -richtlinien

Herkunftsbereich	Änderungstreiber
Technologie, Technik, Wissenschaft	Technologieentwicklungen
	Innovationsgeschwindigkeit
	Technische Normen
	Forschungs- und Entwicklungsintensität sowie Aufwendungen
Gesellschaft, Öffentlichkeit	Technologieverständnis
	Lebensqualität
	Kaufkraft
	Einstellung zur Arbeit
	Bevölkerungsstruktur

9.4 Fertigungsmittelmerkmale für Wandlungsbefähiger

In Tabelle 9-6 sind Merkmale von Fertigungsmitteln aufgeführt, anhand derer der Beitrag des Fertigungsmittels zum Wandlungspotenzial hinsichtlich eines Wandlungsbefähigers bewertet werden kann.

*Tabelle 9-6: Fertigungsmittelmerkmale für Wandlungsbefähiger
(HEGER 2007, S. 174–176)*

Wandlungsbefähiger	Merkmal
Universalität	Produkt- und Variantenflexibilität
	Standardisierung
	Automatisierbarkeit
	Sonderanforderungen
	Unempfindlichkeit
Mobilität	Breite
	Länge
	Höhe
	Gewicht
	Verbindungsgrad
	Transportierbarkeit
	Tragfähigkeit
	Transportmittel
Modularität	Systemarchitektur
Kompatibilität	Belastung (Emission)
	Bedienbarkeit
	Dokumentation
	Elektroversorgung
	Pneumatik- und Hydraulikversorgung
	Versorgung weiterer Medien
	Art der Anschlüsse
	Anzahl der Anschlüsse
	Softwareschnittstellen
Anschlussflexibilität	

10 Glossar

Fabrikstruktur	<p>„Anordnung der Arbeitsstationen, die ein Produkt zu seiner Herstellung durchläuft, und deren Verknüpfung im Stoff- und Informationsfluss.“</p> <p>(TÖNSHOFF 1999, S. 10.44)</p>
Fabriksystem	<p>Hergeleitete Basisdefinition für das zu entwickelnde Modell:</p> <p>Das Fabriksystem wird als Modell der Fabrik definiert, die a) die Funktion der Auftragserfüllung über die Eingangs-, Ausgangs- und Zustandsgrößen erfüllt, die b) dafür über Betriebsmittel und deren Relationsgeflecht verfügt, und die c) vom Unternehmensverbund abgegrenzt werden kann.</p> <p>Die a) Fabrikfunktionen werden von der b) Fabrikstruktur determiniert, die c) hierarchisch zwischen der Unternehmensverbundebene und der Betriebsmittelebene angesiedelt ist.</p> <p>(siehe Seite 33-34)</p>
Flexibilität	<p>„Unter Flexibilität wird die Möglichkeit verstanden, ein System schnell und ohne zusätzliche Investitionen innerhalb eines vorgegebenen Korridors anzupassen.“</p> <p>(REINHART 2008, S. 47)</p>
Struktur	<p>Relationsgeflecht zwischen den Systemelementen</p> <p>(ROPOHL 1999, S. 75-80)</p>

- System „Ein System ist das Modell einer Ganzheit, die a) Beziehungen zwischen Attributen (Inputs, Outputs, Zustände, etc.) aufweist, die b) aus miteinander verknüpften Teilen beziehungsweise Subsystemen besteht, und die c) von ihrer Umgebung beziehungsweise von einem Supersystem abgegrenzt wird.“
(ROPOHL 1999, S. 77)
- Wandlungsfähigkeit „Wandlungsfähigkeit wird als Potenzial verstanden, welches eine schnelle Anpassung auch jenseits vorgehaltener Korridore in Bezug auf Organisation und Technik bei einem geringen Investitionsaufwand ermöglicht.“
(REINHART 2008, S. 51)

V Inhalt des digitalen Projektordners

- Eine digitale Version dieser Arbeit
- Verwendete Abbildungen (PowerPoint-Datei) und Tabellen (Excel-Datei)
- Das zur Erstellung dieser Arbeit verwendete Citavi-Projekt mit einer digitalen Bibliothek der zitierten Literatur

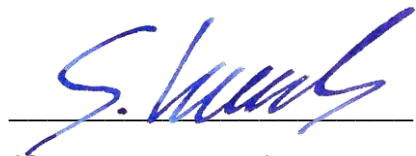
VI Eingebachte Eigenleistung des Betreuers

Die vorliegende Arbeit betreute Herr Christian Plehn vom *iwb – Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften*. Die Bearbeitung praktischer und theoretischer Tätigkeiten (u. a. in der Aufgabenstellung definierte Inhalte) erfolgte in ständiger Abstimmung mit Herrn Plehn. Dabei stellten regelmäßige Expertengespräche zur Arbeit und praktische Unterstützungen die Eigenleistung von Herrn Plehn dar.

Aufgrund der Vielzahl an gemeinsam abgestimmten Inhalten zwischen Betreuer und Student erfolgt kein expliziter Quellenverweis zur Betreuungsleistung direkt an den Abbildungen, Tabellen und Formeln. Ein Verweis im Literaturverzeichnis (PLEHN 2014) ist allerdings ergänzt.

Unabhängig davon erfolgte die schriftliche Ausarbeitung der vorliegenden Arbeit selbständig durch Herrn Kreuels entsprechend der angefügten eidesstattlichen Erklärung.

Garching, den 11.07.2014



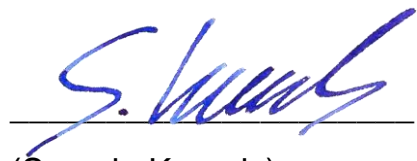
(Severin Kreuels)

VII Eidesstattliche Erklärung

Ich, Severin Kreuels, erkläre hiermit eidesstattlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig angefertigt habe. Die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht.

Die Arbeit wurde bisher keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Garching, den 11.07.2014



(Severin Kreuels)