

HERBERT UTZ VERLAG WISSENSCHAFT

FORSCHUNGSBERICHTE

323

Thorsten Klein
Agiles Engineering im Maschinen- und Anlagenbau

Thorsten Klein

Agiles Engineering im Maschinen- und Anlagenbau

Herbert Utz Verlag · München 2016

Forschungsberichte IWB
Band 323

Ebook (PDF)-Ausgabe:
ISBN 978-3-8316-7258-5 Version: 1 vom 19.10.2016
Copyright© Herbert Utz Verlag 2016

Alternative Ausgabe: Softcover
ISBN 978-3-8316-4598-5
Copyright© Herbert Utz Verlag 2016

TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN

Lehrstuhl für Betriebswissenschaften und Montagetechnik
am Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (*iwb*)

Agiles Engineering im Maschinen- und Anlagenbau

Thorsten Philipp Klein

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Maschinenwesen der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Michael Zäh

Prüfer der Dissertation:

1. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart
2. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Udo Lindemann

Die Dissertation wurde am 01.12.2015 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät für Maschinenwesen am 06.06.2016 angenommen.

Thorsten Klein

**Agiles Engineering im
Maschinen- und Anlagenbau**



Herbert Utz Verlag · München

Forschungsberichte IWB

Band 323

Zugl.: Diss., München, Techn. Univ., 2016

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek: Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, der Entnahme von Abbildungen, der Wiedergabe auf fotomechanischem oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen bleiben – auch bei nur auszugsweiser Verwendung – vorbehalten.

Copyright © Herbert Utz Verlag GmbH · 2016

ISBN 978-3-8316-4598-5

Printed in Germany
Herbert Utz Verlag GmbH, München
089-277791-00 · www.utzverlag.de

Geleitwort der Herausgeber

Die Produktionstechnik ist für die Weiterentwicklung unserer Industriegesellschaft von zentraler Bedeutung, denn die Leistungsfähigkeit eines Industriebetriebes hängt entscheidend von den eingesetzten Produktionsmitteln, den angewandten Produktionsverfahren und der eingeführten Produktionsorganisation ab. Erst das optimale Zusammenspiel von Mensch, Organisation und Technik erlaubt es, alle Potentiale für den Unternehmenserfolg auszuschöpfen.

Um in dem Spannungsfeld Komplexität, Kosten, Zeit und Qualität bestehen zu können, müssen Produktionsstrukturen ständig neu überdacht und weiterentwickelt werden. Dabei ist es notwendig, die Komplexität von Produkten, Produktionsabläufen und -systemen einerseits zu verringern und andererseits besser zu beherrschen.

Ziel der Forschungsarbeiten des *iwb* ist die ständige Verbesserung von Produktentwicklungs- und Planungssystemen, von Herstellverfahren sowie von Produktionsanlagen. Betriebsorganisation, Produktions- und Arbeitsstrukturen sowie Systeme zur Auftragsabwicklung werden unter besonderer Berücksichtigung mitarbeiterorientierter Anforderungen entwickelt. Die dabei notwendige Steigerung des Automatisierungsgrades darf jedoch nicht zu einer Verfestigung arbeitsteiliger Strukturen führen. Fragen der optimalen Einbindung des Menschen in den Produktentstehungsprozess spielen deshalb eine sehr wichtige Rolle.

Die im Rahmen dieser Buchreihe erscheinenden Bände stammen thematisch aus den Forschungsbereichen des *iwb*. Diese reichen von der Entwicklung von Produktionssystemen über deren Planung bis hin zu den eingesetzten Technologien in den Bereichen Fertigung und Montage. Steuerung und Betrieb von Produktionssystemen, Qualitätssicherung, Verfügbarkeit und Autonomie sind Querschnittsthemen hierfür. In den *iwb* Forschungsberichten werden neue Ergebnisse und Erkenntnisse aus der praxisnahen Forschung des *iwb* veröffentlicht. Diese Buchreihe soll dazu beitragen, den Wissenstransfer zwischen dem Hochschulbereich und dem Anwender in der Praxis zu verbessern.

Vorwort

Die vorliegende Dissertation entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (*iwb*) der Technischen Universität München (TUM) und an der Projektgruppe für Ressourceneffiziente mechatronische Verarbeitungsmaschinen (RMV) des Fraunhofer-Instituts für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik (IWU) bzw. an der Fraunhofer-Einrichtung für Gießerei-, Composite- und Verarbeitungstechnik (IGCV).

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart sowie Herrn Prof. Dr.-Ing. Michael Zäh, den Leitern des *iwb*, für die wohlwollende Förderung und großzügige Unterstützung meiner Arbeit. Herrn Prof. Reinhart danke ich herzlich für die Betreuung meiner Arbeit und Herrn Prof. Zäh für die Übernahme des Vorsitzes der Prüfungskommission. Bei Herrn Prof. Dr.-Ing. Udo Lindemann, dem Leiter des Lehrstuhls für Produktentwicklung an der Technischen Universität München, bedanke ich mich ebenso herzlich für die Übernahme des Korreferates und die Durchsicht der Arbeit.

Darüber hinaus bedanke ich mich bei allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der genannten Institute sowie allen Studierenden, die mich bei der Erstellung meiner Arbeit unterstützt haben. Besonders danke ich Herrn Dr.-Ing. Julian Christoph Sebastian Backhaus, Herrn M.Sc. Benny Drescher und Herrn Dipl.-Ing. Andreas Fabian Hees für die fachlichen Diskussionen sowie die kritische Durchsicht meiner Dissertation.

Schließlich möchte ich mich besonders bei meiner Familie, meinen Freunden sowie allen Kolleginnen und Kollegen herzlich bedanken, die mir meine Ausbildung ermöglicht, mich auf meinem Weg begleitet und mit ihrer Unterstützung zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

München, 15. Juni 2016

Thorsten Klein

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	V
1 Einleitung.....	1
1.1 Ausgangssituation und Motivation	1
1.2 Zielsetzung der Arbeit	5
1.3 Aufbau der Arbeit	6
2 Grundlagen und Begriffsbestimmungen	9
2.1 Mechatronik	9
2.2 Begriffe aus der Produktentwicklung	11
2.2.1 Prozesse und Projekte	11
2.2.2 Produktentstehungsprozess und -lebenszyklus	11
2.2.3 Produktentwicklungsprozess	12
2.2.4 Vorgehensweisen der Planung	14
2.3 Zusammenarbeit in Ingenieursdisziplinen	15
2.3.1 Kollaboration	16
2.3.2 Kooperation	17
2.3.3 Integration	17
2.4 Manifest für agile Softwareentwicklung	18
2.5 Darlegung des Untersuchungsbereichs	20
2.5.1 Charakterisierung	20
2.5.2 Abgrenzung	23
3 Stand der Technik und Forschung.....	25
3.1 Mechatronische Entwicklungsprozesse für Maschinen und Anlagen	25
3.1.1 Zeitlicher Ablauf	25
3.1.2 Inhaltlicher Aufbau	26
3.1.3 Referenzmodelle als Service- und Dienstleistung	28
3.1.4 Anwendergerechte Gestaltung	30
3.2 Konventionelle Vorgehensmodelle in der Produktentwicklung	31
3.2.1 Adressierte Nutzenpotenziale	31
3.2.2 Übersicht und Kurzbeschreibung	33
3.2.3 Strukturierung	36
3.2.4 Modularisierung	38
3.2.5 Weiterentwicklung	39
3.2.6 Anwendungsspezifische Anpassung	40
3.2.7 Lebenszyklus	41

3.3	Agile Vorgehensmodelle in der Softwareentwicklung.....	43
3.3.1	Übersicht und Kurzbeschreibung	44
3.3.2	Abgrenzung zu konventionellen Vorgehensmodellen	46
3.3.3	Zugrundeliegende Werte und Bestandteile	55
3.3.4	Beinhaltete Elemente und Techniken.....	57
3.4	Scrum.....	60
3.4.1	Historie und begriffliche Einordnung.....	61
3.4.2	Mikrologischer Problemlösungszyklus	62
3.4.3	Operative Arbeitsschritte.....	62
3.4.4	Strategische und taktische Arbeitsabschnitte	63
3.4.5	Einsatz in der Praxis	67
3.4.6	Fazit	69
4	Abgeleiteter Handlungsbedarf und resultierende Anforderungen	71
4.1	Schlussfolgerung für den Untersuchungsbereich	71
4.2	Zielsetzung und Forschungsfragen	75
4.3	Anforderungen an die Methodik.....	77
4.3.1	Inhalte	77
4.3.2	Modellierung	78
4.3.3	Methode	78
4.3.4	Umsetzung.....	79
4.4	Fazit	79
5	Agiles Engineering im Maschinen- und Anlagenbau	81
5.1	Synthese und Begriffsbestimmung.....	81
5.1.1	Schlanke Entwicklung und Agilität.....	82
5.1.2	Agiles Engineering	84
5.2	Einordnung in den Untersuchungsbereich.....	87
5.2.1	Übergeordnete Prinzipien.....	88
5.2.2	Strategien.....	91
5.3	Übertragung von agilen Techniken	94
5.3.1	Analyse struktureller Abhängigkeiten.....	95
5.3.2	Aufstellen inhaltlicher Kombinationen	99
5.3.3	Untersuchung erforderlicher Anpassungen	103
5.3.4	Dokumentation der Erkenntnisse	107
5.4	Fazit	108

6	Methodik zum agilen Engineering im Maschinen- und Anlagenbau	111
6.1	Aufbau und Ablauf	111
6.2	Referenzmodell	113
6.2.1	Struktur	113
6.2.2	Abgebildete Inhalte	115
6.2.3	Aktivitäten des mechatronischen Entwicklungsprozesses	116
6.2.4	Integration der agilen Techniken	119
6.3	Skalierungsmethode	123
6.3.1	Einflussgrößen	123
6.3.2	Kriterien der Gruppe Unternehmen	125
6.3.3	Kriterien der Gruppe Auftrag	126
6.3.4	Kriterien der Gruppe Team	130
6.3.5	Auswertung und Empfehlung	132
6.4	Rechnerbasiertes Werkzeug	134
6.5	Fazit	136
7	Anwendungsszenario und Ergebnisse.....	139
7.1	Erfassung des Anwendungsfalls	139
7.2	Klassifizierung des Anwendungsfalls	140
7.3	Auswahl agiler Techniken	141
7.4	Skalierung des Soll-Prozesses	143
7.5	Abgleich des Ist-Prozesses	146
7.6	Ableitung von Maßnahmen	147
7.7	Prototypische Umsetzung	149
7.8	Fazit	152
8	Bewertung der Methodik	155
8.1	Beantwortung der Forschungsfragen	155
8.2	Erfüllung der Anforderungen	157
8.3	Betrachtung der Wirtschaftlichkeit	159
8.3.1	Initiale Anwendung	159
8.3.2	Weiterentwicklung	161
8.3.3	Umsetzung	161
8.4	Fazit	164
9	Zusammenfassung und Ausblick.....	165
9.1	Resümee und erreichte Ziele	165
9.2	Weiterführende Arbeiten	169

Literaturverzeichnis	171
Anhang	195
A1 Einordnung des Maschinen- und Anlagenbaus	196
A2 Übersicht agiler Vorgehensmodelle	197
A3 Analyse agiler Vorgehensmodelle	198
A4 Verknüpfungsmatrix	201
A5 Agilitätsklassen	204
A6 Steckbriefe agiler Techniken	206
A7 Datengrundlage des Referenzmodells	216
A8 Bewertungsgrundlage der Skalierungsmethode	250
A9 Ausführungen zum Anwendungsszenario	251
A10 Verzeichnis verwendeter Software	254
A11 Verzeichnis betreuer Studienarbeiten	255

Abkürzungsverzeichnis

AK	Agilitätsklasse
AM	Agile Modeling
ASD	Adaptive Software Development
AUP	Agile Unified Process
CAD	Computer Aided Design
CMMI	Capability Maturity Model Integration
CMMI-DEV	Capability Maturity Model Integration for Development
CSM	Certified Scrum Master
DIN	Deutsches Institut für Normung
DSDM	Dynamic Systems Development Method
DSM	Design Structure Matrix
FDD	Feature Driven Development
FMEA	Failure Mode and Effects Analysis
GUI	Graphical User Interface
HIL	Hardware-in-the-Loop
KVP	Kontinuierlicher Verbesserungsprozess
LSD	Lean Software Development
PDM	Produktdatenmanagement
QFD	Quality Function Deployment
RUP	Rational Unified Process
SIL	Software-in-the-Loop
TOTE	Test-Operate-Test-Exit Modell
TRIZ	Theorie des erfinderischen Problemlösens
UDD	User Driven Development
UML	Unified Modeling Language
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
VDMA	Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau
XP	Extreme Programming

1 Einleitung

In diesem Kapitel wird die Einleitung in die vorliegende Arbeit dargelegt. Es werden die Ausgangssituation und Motivation (siehe Kapitel 1.1), die Zielsetzung (siehe Kapitel 1.2) sowie der Aufbau der Arbeit (siehe Kapitel 1.3) vorgestellt.

1.1 Ausgangssituation und Motivation

Der Maschinen- und Anlagenbau gehört zu den innovativsten, beschäftigungsreichsten und umsatzstärksten Branchen in Deutschland (STATISTISCHES BUNDESAMT 2012, S. 424, 504; RAMMER ET AL. 2013, S. 15; VDMA 2014, S. 15). Obwohl dieser stark mittelständisch geprägt ist, nimmt er im Export weltweit eine bedeutende Rolle ein (BMW I 2014; VDMA 2015A, S. 30). Hinsichtlich des Wirtschaftszweigs ist der Maschinen- und Anlagenbau dem verarbeitenden Gewerbe zugeordnet (STATISTISCHES BUNDESAMT 2008, S. 291). Der Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau unterscheidet diverse Fachzweige (VDMA 2015A, S. 27), wobei im Rahmen dieser Arbeit insbesondere die Werkzeugmaschinen (auch Fertigungssysteme) sowie die Nahrungsmittel- und Verpackungsmaschinen herausgestellt sind (siehe Anhang A1). Diese zählen mit ca. 14,6 bzw. 12,4 Mrd. Euro zu den produktivsten und mit ca. 9,2 bzw. 7,7 Mrd. Euro zu den exportstärksten Fachzweigen des deutschen Maschinen- und Anlagenbaus (VDMA 2014, S. 46 f.) und nehmen hinsichtlich der Ausfuhr weltweit den ersten Rang ein (VDMA 2015A, S. 30). Die Produktpalette des Maschinen- und Anlagenbaus ist von einem hohen Diversifizierungsgrad geprägt und reicht von grundlegenden Betriebsmitteln und Serienprodukten bis zu spezialisierten Sonderprodukten, hergestellt in Einzelfertigung bzw. in geringen Stückzahlen (SCHRÖDER 2003, S. 26, 32). Die von den Maschinen und Anlagen zu realisierenden Vorgänge sind im Wesentlichen beschreibbar durch die Fertigungsverfahren nach DIN 8580, die der Veredelung von Edukten bzw. der direkten Wertschöpfung eines zu bearbeitenden Guts bzw. Produkts sowie deren Handhabung entsprechend den sekundären physikalischen Grundoperationen (z. B. Führen, Sammeln etc.) dienen (vgl. KOLLER 1985, S. 37; GROTE & FELDHUSEN 2011, S. 2, 98). Die wesentlichen Funktionen solcher Maschinen und Anlagen werden durch das Zusammenwirken von mechanischen, elektrotechnischen und informationstechnischen Teilsystemen erbracht (vgl. VDI 2206, S. 14). Letztere nehmen einen zunehmenden Anteil an der Erbringung der Gesamtfunktion ein (EIGNER ET AL. 2012, S. 33) und sind mittlerweile zu 90 % an den echten Innovationen beteiligt (BENDER 2005, S. 7). Zudem haben sich die Anteile an der Wertschöpfung auf über 40 % stark in Richtung der Informationstechnik verschoben und werden sich nach Prognosen auch weiter in diese Richtung verändern (HENSEL 2011, S. 2).

Für die anzutreffenden Sonderlösungen des Maschinen- und Anlagenbaus ist es charakteristisch, dass sich die Anforderungen erst im Laufe des Prozesses konkretisieren und häufig Änderungen bzw. Nacharbeiten erforderlich werden (vgl. JUNG 2006, S. 5, 16-19; GRAUPNER 2010, S. 21 f.; HAMMERS 2012, S. 22, 121 f.; HELLENBRAND 2013, S. 1 f.). Dies begründet sich aus der stark auftragsbezogenen und kundenindividuellen Entwicklung (SCHRÖDER 2003, S. 32). Die Qualität bzw. Quantität der Planungsdaten, wie auftragspezifische Stammdaten (z. B. Stücklisten, Arbeitspläne, Werkzeugdaten, Prüfmittel) und Bewegungsdaten (z. B. Fertigungsaufträge, Bestände, Maschinenbelegungs- und Instandhaltungspläne), nimmt erst mit fortschreitendem Prozess zu, sodass vor allem zu Beginn des Prozesses hohe Unsicherheiten in Bezug auf die Planungsinformationen bestehen (SCHACK 2007, S. 87). Die Änderungsmöglichkeiten nehmen dabei mit fortschreitendem Prozess ab, zugleich steigen aber die Kosten mit jeder Phase an (LINDEMANN 2009, S. 157-159; RUMPE 2012, S. 18). Dabei wird ein hoher Anteil von ca. 70 % an den festgelegten Kosten von der Entwicklung bestimmt, welche selbst nur einen geringen Anteil von ca. 7 % an den entstandenen Kosten verantwortet (EHRENSPIEL 2009, S. 609). Aufgrund der Position in der Wertschöpfungskette wird der Erfolg eines Produkts deshalb insbesondere in der frühen Phase der Produktentstehung bestimmt (HAMMERS 2012, S. 17), da hier die besten Voraussetzungen für die Etablierung eines gesunden Prozesses vorherrschen (HEBLING 2006, S. 4).

Als wesentliche Herausforderungen der Entwicklung lassen sich die wachsende Interdisziplinarität, die steigende Anforderungskomplexität sowie die kürzeren Produktlebenszyklen zusammenfassen (GAUSEMEIER ET AL. 2013, S. 16). Die spezifischen Erfolgsfaktoren im Maschinen- und Anlagenbau liegen unter anderem in der Befriedigung von Kundenbedürfnissen, der Professionalisierung der Projektabwicklung sowie der Projektsystematik (KLIGERT ET AL. 2005, S. 3 f.). Weiterhin sind für die fortlaufende Integration der verschiedenen Entwicklungsergebnisse klar definierte, flexible und kontinuierlich verbesserte Prozesse, funktionsübergreifende, interdisziplinäre, selbstorganisierte und -verantwortliche Teams sowie die Kommunikation und Einbindung aller Beteiligten (insb. Kunden) erforderlich (GRABOWSKI & GEIGER 1997, S. 28 f., 33-37; WIENDAHL ET AL. 2009, S. 30; EIGNER ET AL. 2012, S. 33; BOROWSKI & HENNING 2013, S. 35-38; KIRNER 2014, S. 262-273). Die entsprechenden Handlungsfelder liegen vor allem in der Steigerung der Methodenkompetenz sowie der Akzeptanz für neue Herangehensweisen (GAUSEMEIER ET AL. 2013, S. 19).

In Bezug auf die methodische, interdisziplinäre Zusammenarbeit stehen viele Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus jedoch erst am Anfang (SCHRÖDER 2003, S. 33). Die Entwickler sehen sich in den interdisziplinären Entwicklungsprozessen zunehmend von einer Vielzahl an technischen und organisatorischen Abhängigkeiten konfrontiert, für die bislang keine ausreichende methodische Unterstützung gegeben

ist (HELLENBRAND 2013, S. 1). Gleichmaßen weisen bestehende Methoden diverse Schwachstellen auf (vgl. PULM 2004, S. 80). Da es häufig an Wissen über die Anwendung und Einführung der Methoden mangelt (vgl. VIERTLBÖCK 2000, S. 22-28), werden diese nur gelegentlich oder gar nicht eingesetzt (GRABOWSKI & GEIGER 1997, S. 40). Überdies existieren in den Fachbereichen häufig nur spezifische Methoden und Werkzeuge (HENSEL 2011, S. 3). Die unterschiedlichen Vorgehensweisen, Sichten und Begriffswelten in den Disziplinen führen oft zu Schwierigkeiten bei der Integration sowie Kommunikation und resultieren in langwierigen und kostenintensiven Anpassungen (HELLENBRAND 2013, S. 1 f.). Zudem bieten bestehende Vorgehensmodelle (z. B. V-Modell) nicht genügend Unterstützung (DIEHL 2009, S. 48), insbesondere bei der Umsetzung informationstechnischer Bestandteile (KLEIN & REINHART 2014, S. 59). Ebenso sind die Vorgehensmodelle oft oberflächlich und beinhalten keine konkreten Aktivitäten (DRESCHER & KLEIN ET AL. 2014, S. 1593), weshalb sich der Begriff „konventionelle Vorgehensmodelle“ (vgl. PONN 2007, S. 172; GRAUPNER 2010, S. 54-57) verbreitet hat. Um die disziplinspezifischen Entwicklungsergebnisse fristgerecht und in der notwendigen Reife zu integrieren (DIEHL 2009, S. 3), ist eine gemeinsame, systematische Vorgehensweise aller Disziplinen erforderlich (HELLENBRAND 2013, S. 2), wobei insbesondere der Informationstechnik Rechnung getragen werden muss (EIGNER ET AL. 2012, S. 34). Dazu ist vor allem die Mikrologik (d. h. elementare Handlungsabläufe) von Vorgehensmodellen zu fokussieren (vgl. DIEHL 2009, S. 48). Die Synchronisierung und Parallelisierung der Entwicklungsaktivitäten kann hierbei als ein Erfolgsfaktor bezeichnet werden (HENSEL 2011, S. 3). Während dazu früher bevorzugt konventionelle Vorgehensmodelle zur Anwendung kamen, wird heute zunehmend auf flexible Vorgehensmodelle gesetzt (vgl. RUBIN 2014, S. 74).

Flexible Vorgehensmodelle haben seit 2008 insbesondere in der reinen Softwareentwicklung eine starke Verbreitung erfahren (KOMUS 2012, S. 2). Diese sogenannten agilen Vorgehensmodelle sind adaptiv und gewährleisten es, auf unerwartete Veränderungen (z. B. Anforderungen) proaktiv zu reagieren (RUMPE 2012, S. 26). Sie sind in entsprechenden Projektkonstellationen (z. B. Arbeit in Projektteams) den konventionellen Vorgehensmodellen in Bezug auf Aufwand, Schnelligkeit und Kundenzufriedenheit häufig überlegen (RUBIN 2014, S. 37). Charakteristische Werte von agilen Vorgehensmodellen sind der Mensch im Mittelpunkt, die Transparenz, die Einbeziehung des Kunden, die Berücksichtigung von Änderungen sowie die iterative Entwicklung und inkrementelle Auslieferung (u. a. ABRAHAMSSON 2002, S. 13-15; HRUSCHKA ET AL. 2009, S. 9 f.; SOMMERVILLE 2012, S. 88 f.). Der Einsatz von agilen Vorgehensmodellen hat in reinen Softwareprojekten zu bedeutenden Ergebnissen geführt. Entsprechende Erfolgsberichte benennen unter anderem verkürzte Zeiten für Fehlerbehebungen, Einsparungen von Kosten, Produktivitätssteigerungen und Zeitersparnisse des Time-to-Markets (MÜLLER & PADBERG 2002, S. 3-5; COHN 2010, S. 10-19;

RUMPE 2012, S.16-18; SJØBERG ET AL. 2012, S. 48-53). So konnten über einen Zeitraum von einem Jahr eine Verkürzung der Lieferzeit um 37 % und eine Reduzierung von Kundenreklamationen um 24 % verzeichnet werden (MIDDLETON & JOYCE 2012, S. 27-30). Zudem werden laut Studien die Erfolgsquoten von agilen Projekten mehrheitlich mit über 79 % als sehr hoch eingeschätzt (KOMUS 2014, S. 36 f.). Dies drückt sich zu 80 % als positiver Einfluss auf die Entwicklungsergebnisse aus, wobei der Nutzen in 93 % der Fälle sehr viel höher bzw. höher als der Aufwand eingeschätzt wird (KOMUS 2014, S. 36 f.). Zu den am weitesten verbreiteten und erfolgreichsten agilen Vorgehensmodellen zählt insbesondere Scrum (KOMUS 2012, S. 74), das aus mehreren operativen Arbeitsschritten besteht und im Kern einen mikrologischen Problemlösungszyklus repräsentiert. Da Scrum keinerlei softwarespezifischen Inhalte spezifiziert (GLOGER & HÄUSLING 2011 S. 5; GLOGER 2013A, S. 15), kann es theoretisch für jedwede Entwicklungstätigkeiten eingesetzt werden (vgl. ABRAHAMSSON 2002, S. 34). Für Hardwareentwicklungen sind dazu gezielt geeignete agile Techniken (z. B. *Daily Meetings*, tägliche Statustreffen) auszuwählen (MAXIMINI 2013, S. 19). GLOGER (2013A, S. 26, unter Verweis auf DENNING 2010) bezeichnet Scrum daher als „die folgerichtige Antwort auf die Herausforderungen der modernen Produktentwicklung“, um die Welten der konventionellen und agilen Vorgehensmodelle miteinander zu verbinden (POMBERGER & PREE 2004, S. 45).

Hinsichtlich des systematischen Einsatzes von Scrum bei der Entwicklung mechatronischer Maschinen und Anlagen existieren in der Praxis und Forschung lediglich vereinzelte Erfolgsberichte (z. B. WELGE & FRIEDRICH 2012; SOMMER ET AL. 2013). Da keines der heute verfügbaren Vorgehensmodelle auf jedwedes Projekt anwendbar ist (HRUSCHKA & RUPP 2002, S. 19), sind auch agile Vorgehensmodelle, wie Scrum, an die anwendungsspezifischen Gegebenheiten anzupassen (KALUS 2013, S. 56, 81-85). Bislang mangelt es jedoch an einer Systematik, nach welchen Kriterien dies vorzunehmen ist (KALUS 2013, S. 210). Zudem beinhaltet Scrum keine konkreten Aktivitäten, *wie* ein Produkt zu entwickeln ist (GLOGER 2013A, S. 15), sondern umfasst maßgeblich agile Techniken der ablauf- und aufbauorganisatorischen Zusammenarbeit. Ein mechatronischer Entwicklungsprozess unter Einsatz von agilen Techniken kommt daher erst durch die Verknüpfung von agilen Techniken mit konkreten inhaltlichen Aktivitäten des mechatronischen Entwicklungsprozesses zustande (WIRDEMANN 2011, S. 27 f.). Hierbei bedarf es einer Methode für die Kombination bzw. Integration von agilen Techniken in bestehende Prozesse (vgl. HRUSCHKA ET AL. 2009, S. 100). Aufgrund der unterschiedlichen Ziele, Budgetrahmen, Zeitvorgaben und Zykluszeiten von Softwareentwicklungsprojekten und Systementwicklungen (vgl. HRUSCHKA & RUPP 2002, S. 18; HAMMERS 2012, S. 19) kann die Integration von Scrum in bestehende mechatronische Entwicklungsprozesse somit als eine herausfordernde und anspruchsvolle Aufgabe angesehen werden (WELGE & FRIEDRICH 2012, S. 342).

1.2 Zielsetzung der Arbeit

Die Zielsetzung der vorliegenden Arbeit ist die Entwicklung einer Methodik zum agilen Engineering im Maschinen- und Anlagenbau.

Als Voraussetzung für die Methodik soll ausgehend vom Stand der Technik und Forschung ein gemeinsames Verständnis für das agile Engineering im Maschinen- und Anlagenbau aufgebaut werden. Hierzu soll eine Begriffsbestimmung des agilen Engineerings getätigt und untersucht werden, inwiefern die beinhalteten agilen Techniken für eine Anwendung im Maschinen- und Anlagenbau miteinander zu kombinieren und zu adaptieren sind. Die Erkenntnisse sollen in einem Beschreibungsmittel des Steckbriefs für agile Techniken verankert werden und dem Anwender eine Hilfestellung bei der Auswahl und Umsetzung einer agilen Technik bieten. Für die Entwicklung der Methodik sind die agilen Techniken in die Aktivitäten eines mechatronischen Entwicklungsprozesses zu integrieren. Die Betrachtung soll dabei über ein reines Phasenmodell hinausgehen und die interdisziplinäre Entwicklung unter Berücksichtigung von konkreten Aktivitäten sowie die Gesichtspunkte eines agilen Engineerings in den Vordergrund stellen.

Die zu entwickelnde Methodik soll damit der anwendungsspezifischen Beschreibung eines mechatronischen Entwicklungsprozesses unter Einsatz von agilen Techniken dienen. Anhand der Anwendung der Methodik sollen Erkenntnisse für die Entscheidungsfindung gewonnen werden, wie die Aufbau- und Ablauforganisation hinsichtlich der Erfolgsfaktoren des Maschinen- und Anlagenbaus umstrukturiert werden kann, um ein agiles Engineering langfristig in einem produzierenden Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus zu etablieren. Als mögliche Anwender der Methodik können externe Dienstleister oder interne Abteilungen auftreten, um die erforderlichen Ansatzpunkte zu identifizieren und den Veränderungsprozess zu begleiten. Durch die Umsetzung der abgeleiteten Maßnahmen soll die kooperative Zusammenarbeit der Disziplinen unter Berücksichtigung und Austausch von systemtechnischem Wissen, die Verkürzung und Parallelisierung von Arbeitsprozessen sowie die zielorientierte Zusammenarbeit von produkt-, produktions- und vertriebsdefinierenden Bereichen verbessert werden. Auf der Organisationsebene wird eine domänenübergreifende Kommunikation und Kooperation angestrebt, um den unterschiedlichen Begriffswelten sowie Denk- und Vorgehensweisen entgegenzuwirken. Dies soll die horizontale Vernetzung von Fachabteilungen miteinander als auch die vertikale Vernetzung mehrerer Hierarchieebenen begünstigen und sich positiv auf die Wettbewerbsfaktoren Kosten, Qualität und Zeit eines produzierenden Unternehmens auswirken.

1.3 Aufbau der Arbeit

Der Aufbau der vorliegenden Arbeit gliedert sich in neun Kapitel, die entsprechend der Darstellung in Abbildung 1-1 aufeinander aufbauen. Im vorliegenden Kapitel 1 werden die Ausgangssituation und Motivation, die Zielsetzung sowie der Aufbau der vorliegenden Arbeit vorgestellt.



Abbildung 1-1: Aufbau der vorliegenden Arbeit

In Kapitel 2 werden die Grundlagen aufgeführt und die Begriffsbestimmungen getätigt, die für das Verständnis der vorliegenden Arbeit von Bedeutung sind. Es werden insbesondere die Mechatronik, die Begriffe der Produktentwicklung, die Zusammenarbeit in Ingenieursdisziplinen sowie das Manifest für agile Softwareentwicklung behandelt. Das Kapitel schließt mit einer Charakterisierung des Untersuchungsbereichs.

Das Kapitel 3 zeigt den Stand der Erkenntnisse in Technik und Forschung. Darin werden die Entwicklungsprozesse für mechatronische Maschinen und Anlagen, konventionelle Vorgehensmodelle der Produktentwicklung, agile Vorgehensmodelle der Softwareentwicklung sowie Scrum behandelt. Es werden dazu bestehende Ansätze vorgestellt sowie deren Nutzen und Grenzen in Bezug auf die vorliegende Arbeit diskutiert.

In Kapitel 4 werden aus den Erkenntnissen des Standes der Technik und der Forschung ein Handlungsbedarf abgeleitet und die daraus resultierenden Anforderungen aufgezeigt. Es wird eine Schlussfolgerung für den Untersuchungsbereich gezogen, aus der sich die Zielsetzung sowie die zugrundeliegenden Forschungsfragen für die vorliegende Arbeit ableiten. Anschließend werden die Anforderungen an die zu entwickelnde Methodik zum agilen Engineering im Maschinen- und Anlagenbau aufgestellt.

Das Kapitel 5 befasst sich im Allgemeinen mit einem agilen Engineering im Maschinen- und Anlagenbau. Dazu werden zunächst die begrifflichen und inhaltlichen Zusammenhänge zu bestehenden Ansätzen synthetisiert und als Grundlage für eine Begriffsbestimmung zum gemeinsamen Verständnis des agilen Engineerings genutzt. Davon ausgehend wird eine Einordnung des agilen Engineerings in den Untersuchungsbereich hinsichtlich übergeordneter Prinzipien und Strategien der Produktentwicklung vorgenommen sowie eine Übertragung der agilen Techniken im Maschinen- und Anlagenbau ausführlich behandelt.

In Kapitel 6 wird die Konstruktion, also die Erarbeitung der Methodik zum agilen Engineering im Maschinen- und Anlagenbau vorgestellt. Diese soll dem Anwender ein systematisches Vorgehen zur Verfügung stellen, um agile Techniken zielgerichtet und auf Basis der anwendungsspezifischen Gegebenheiten in den mechatronischen Entwicklungsprozess zu integrieren. Dazu wird zunächst der Aufbau sowie Ablauf der Methodik und im Anschluss das inbegriffene Referenzmodell, die Skalierungsmethode und das rechnerbasierte Werkzeug vorgestellt.

Das Kapitel 7 befasst sich mit der Anwendung und den Ergebnissen der Methodik anhand eines Szenarios basierend auf realen Unternehmensdaten. Der Aufbau des Kapitels entspricht den einzelnen Schritten zur Anwendung der Methodik. Diese beinhalten die Erfassung des Anwendungsfalls, die Klassifizierung des Anwendungsfalls, die Auswahl agiler Techniken, die Skalierung des Soll-Prozesses, den Abgleich des Ist-Prozesses, die Ableitung von Maßnahmen sowie die Umsetzung, die prototypisch aufgezeigt wird.

In Kapitel 8 wird die Bewertung der Methodik durchgeführt. Es wird untersucht, inwiefern die aufgestellten Forschungsfragen beantwortet und die gesetzten Anforderungen erfüllt sind. Das Kapitel schließt mit der Gegenüberstellung der Aufwände und des Nutzens der Anwendung und Umsetzung der Methodik im Sinne einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung.

Im letzten Kapitel 9 werden eine Zusammenfassung und ein Ausblick gegeben. Dazu werden ein Resümee der durchgeführten Untersuchungen getätigt, die erreichten Ziele reflektiert und ein Ausblick auf mögliche weiterführende Arbeiten gegeben.

2 Grundlagen und Begriffsbestimmungen

Als Basis für die wissenschaftliche Aufarbeitung der erklärten Zielstellung der vorliegenden Arbeit sollen in diesem Kapitel die wesentlichen Grundlagen und etablierte Begriffsbestimmungen herangezogen werden. Dazu werden die im Kontext der vorliegenden Arbeit verwendeten Begriffe der Mechatronik (siehe Kapitel 2.1) sowie Begriffe aus der Produktentwicklung vorgestellt (siehe Kapitel 2.2) und die Zusammenarbeit in Ingenieursdisziplinen betrachtet (siehe Kapitel 2.3). Im Weiteren wird das Manifest für agile Softwareentwicklung beschrieben (siehe Kapitel 2.4), bevor das Kapitel mit einer Charakterisierung und Abgrenzung des betrachteten Untersuchungsbereichs schließt (siehe Kapitel 2.5).

2.1 Mechatronik

Bei dem Begriff der Mechatronik handelt es sich aus etymologischer Sicht um ein Kofferwort aus Mechanik und Elektronik (VDI 2206, S. 9). Seit dem Ursprung dieses Begriffs ist eine Vielzahl an unterschiedlichen Definitionen entstanden, die mit einer großen Varianz belegt sind. Laut RAUCHENBERGER (2011, S. 32) ist im deutschen Raum insbesondere das Verständnis nach ISERMANN (2008, S. 5) anzutreffen, das neben der Mechanik und Elektronik auch die Informationstechnik als einen gleichwertigen Bestandteil eines mechatronischen Systems beinhaltet. Dieses Verständnis ist in Abbildung 2-1 veranschaulicht.

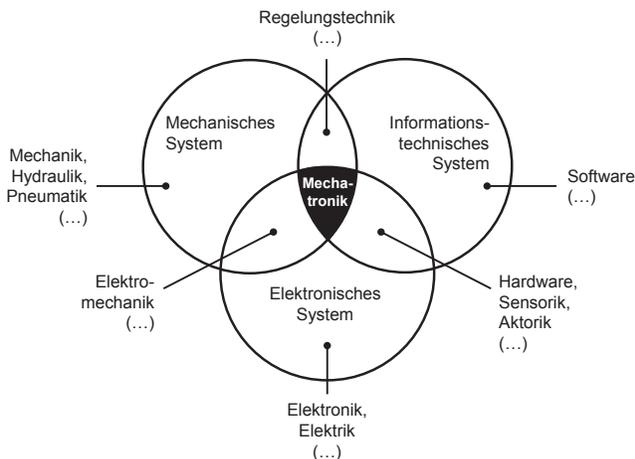


Abbildung 2-1: Mechatronik nach CZICHOS (2008, S. 1), ISERMANN (2008, S. 5) und FRIEDRICH (2011, S. 76)

2 Grundlagen und Begriffsbestimmungen

Das Paradigma der Mechatronik ist demnach ein „interdisziplinäres Gebiet“, in dem mechanische, elektronische Systeme sowie informationstechnische Systeme synergetisch zusammenwirken (ISERMANN 2008, S. 3). In Bezug auf technische Produkte kann die Mechatronik als ein System verstanden werden, das Signale aufnimmt, verarbeitet, ausgibt und umsetzt, beispielsweise in Kräfte und Bewegungen (VDI 2206, S. 14 f.; CZICHOS 2008, S. 9-20). Hierfür sind ein hierarchisch aufgebautes, physikalisches Grundsystem mit einer mechanischen, elektromechanischen, hydraulischen oder pneumatischen Struktur sowie Sensoren zur Aufnahme von Zustandsgrößen, eine Informationsverarbeitung zur Bestimmung von Einwirkungen und Aktoren zur Umsetzung von Aktionen notwendig (BALÁŽOVÁ 2004, S. 7-12.; CZICHOS 2008, S. 9-20). Die Bestandteile eines mechatronischen Systems sind durch Stoff-, Energie- und Informationsflüsse miteinander verbunden und stehen mit der Umwelt bzw. dem Menschen in Beziehung (VDI 2206, S. 15), wie in Abbildung 2-2 veranschaulicht ist.

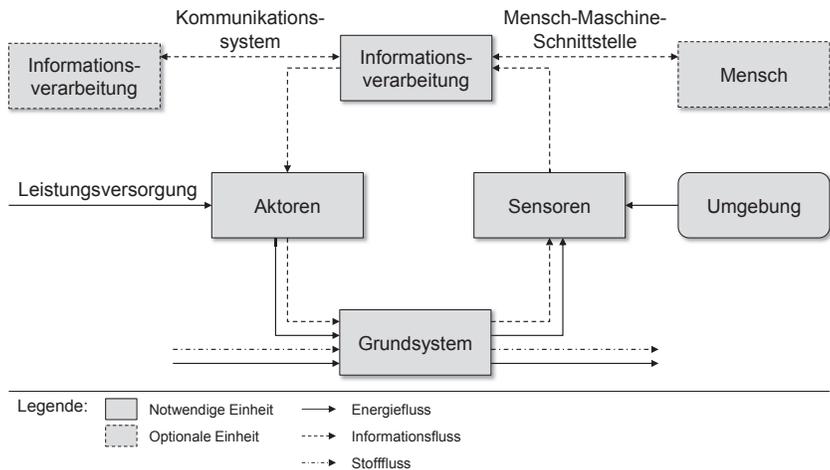


Abbildung 2-2: Bestandteile und Schnittstellen eines mechatronischen Systems (VDI 2206, S. 14)

Die von einem mechatronischen System zu erzielende Lösung einer Aufgabe kann sowohl mechanisch als auch digital-elektronisch herbeigeführt werden (ISERMANN 2008, S. 4 f.). Die Integration der Bestandteile eines mechatronischen Systems erfordert dazu aus organisatorischer Sicht einen gemeinsamen Prozess und eine disziplinübergreifende Zusammenarbeit, um ein einheitliches Verständnis des Produkts zu erhalten und die spezifischen Entwicklungsergebnisse fristgerecht und in der notwendigen Reife zu integrieren (VDI 2206, S. 4; DIEHL 2009, S. 3).

2.2 Begriffe aus der Produktentwicklung

In der Produktentwicklung existieren diverse Begriffe, welche auch in der vorliegenden Arbeit eine Verwendung finden. Um ein gemeinsames Verständnis der Bedeutung dieser Begriffe zu schaffen, wird in den folgenden Abschnitten auf die für die vorliegende Arbeit zutreffenden Definitionen der Prozesse und Projekte (siehe Kapitel 2.2.1), des Produktentstehungsprozesses bzw. -lebenszyklus (siehe Kapitel 2.2.2), des Produktentwicklungsprozesses (siehe Kapitel 2.2.3) sowie der Vorgehensweisen der Planung (siehe Kapitel 2.2.4) eingegangen.

2.2.1 Prozesse und Projekte

In der Produktentwicklung sind häufig die Begriffe des Prozesses und des Projekts zu finden, die im Rahmen der vorliegenden Arbeit wie folgt zu verstehen sind.

Ein *Prozess* ist „jede Tätigkeit oder jeder Satz von Tätigkeiten, die bzw. der Ressourcen verwendet, um Eingaben in Ergebnisse umzuwandeln“ (DIN EN ISO 9000, S. 8). Durch einen Prozess wird ein bestimmter Wert für einen Kunden geschaffen. Er ist charakterisiert durch das Zusammenwirken von Menschen, Informationen sowie Sachmitteln und kann außerbetrieblich als ein Netzwerk von Kunden-Lieferanten-Beziehungen verstanden werden. (vgl. HAMMERS 2012, S. 7)

Abzugrenzen ist der Prozess von einem *Projekt*, das als „zeitlich abgegrenztes Vorhaben zur Erstellung eines spezifischen Produkts, Services oder Ergebnisses“ gilt, das „durch die Einmaligkeit der Bedingungen in ihrer Gesamtheit, wie z. B. Zielvorgaben, zeitliche, finanzielle, personelle oder andere Begrenzungen, gekennzeichnet“ ist (HAMMERS 2012, S. 9). Das Projekt ist damit als eine Instanziierung eines generischen Prozesses zu verstehen. Ein konkretes Beispiel für einen Prozess ist der Produktentstehungs- bzw. -entwicklungsprozess. (vgl. DIN 69901-2, S. 6 f.; VOIGTSBERGER 2005, S. 11, 15; HAMMERS 2012, S. 9)

2.2.2 Produktentstehungsprozess und -lebenszyklus

Der *Produktentstehungsprozess* (auch Produkterstellungsprozess) bezeichnet die Summe aller Vorgänge (KUTTIG 2005, S. V) zur „Erzeugung eines [verkaufsfertigen] Produkts von der ersten Idee bzw. der Auftragserteilung bis zur Auslieferung an den Nutzer. Während dieses Prozesses werden die Eigenschaften des Produkts erst modellhaft, dann in der Produktion materiell festgelegt, woran praktisch alle Abteilungen des Unternehmens beteiligt sind. Grundlegend dabei ist, dass alle Produkteigenschaften am stärksten durch die Entscheidungen beeinflusst werden, die am Anfang seines Lebenslaufs liegen [...]“. (EHRENSPIEL 2009, S. 158)

Der Produktentstehungsprozess wird gemäß der *Ablauforganisation* als „die Ermittlung und Definition von Arbeitsprozessen unter Berücksichtigung von Raum, Zeit, Sachmitteln und Personen“ bezeichnet (BROY & KUHRMANN 2013, S. 31). Dies entspricht einer „Gliederung der Tätigkeiten und Abläufe der Organisationseinheit in Prozesse zur Erfüllung ihrer Aufgaben“ (BROY & KUHRMANN 2013, S. 31).

Nach GAUSEMEIER & BERGER (2004) kann der Produktentwicklungsprozess in die Phasen der strategischen Produktplanung, der Produkt- und der Prozessentwicklung unterteilt werden. Diese bilden nicht immer einen streng sequenziellen Ablauf sondern können in Zyklen als „Wechselspiel von Aufgaben“ verstanden werden (GAUSEMEIER & BERGER 2004, S. 2). Der erste Zyklus der strategischen Produktplanung charakterisiert „das Vorgehen vom Finden der Erfolgspotenziale der Zukunft bis zur Erfolg versprechenden Produktkonzeption – der sog. prinzipiellen Lösung“ (GAUSEMEIER & BERGER 2004, S. 2). Daran anknüpfend umfasst der zweite Zyklus „die Produktkonzipierung, den [disziplinspezifischen] Entwurf und die entsprechende Ausarbeitung sowie die Integration der Ergebnisse der einzelnen [Disziplinen] zu einer Gesamtlösung“ (GAUSEMEIER & BERGER 2004, S. 3). Beim dritten Zyklus „steht die Planung des Herstellprozesses im Vordergrund. Diese Phase erstreckt sich ausgehend vom Aufgabenbereich Entwurf und Ausarbeitung über die Fertigungsplanung und den Serienanlauf“ (GAUSEMEIER & BERGER 2004, S. 3).

Die logische Fortführung des dritten Zyklus ist der *Produktlebenszyklus*, der unter betriebswirtschaftlichen Gesichtspunkten die Präsenz eines bestimmten Produkts am Markt nach dessen Auslieferung betrachtet (PAHL ET AL. 2007, S. 97 f.). Der Produktlebenszyklus betrachtet die Phase der Einführung, in welcher das Produkt an den Markt kommt, dort in der frühen Zeit ein Wachstum erfährt, über die Reife den Markt sättigt und schließlich einen Abstieg erfährt. Eine Kombination des Produktentstehungsprozesses und -lebenszyklus ist im nachfolgenden Abschnitt gezeigt (siehe Abbildung 2-3).

2.2.3 Produktentwicklungsprozess

Der Produktentwicklungsprozess, auch Produktinnovationsprozess (GAUSEMEIER ET AL. 2001, S. 43 f.), erstreckt sich von der ersten Ideenfindung bis zur Auslieferung eines Produkts (EHRENSPIEL 2009, S. 1). Er ist die „Summe aller operativen und steuernden Aktivitäten, die – beginnend mit der ersten Produktidee bis zum Auslauf – die Eigenschaften, Kosten und Erträge, Marketing, Vertrieb und Kundendienst des Produkts festlegen und sicherstellen“ (LINCKE 1995, S. 14). Dies beinhaltet die Phasen der Projektdefinition, wie Fertigungs- und Montageunterlagen sowie notwendige Hilfsmittel (EIGNER ET AL. 2012, S. 2). Im Produktentstehungsprozess und -lebenszyklus kann

der Produktentwicklungsprozess eingeordnet werden (vgl. EHRENSPIEL 2009, S. 50; SCHRÖDER 2003, S. 20 f.; BOSSMANN 2007, S. 13 f.; LAUER 2010, S. 21), wie in der nachfolgenden Abbildung 2-3 gezeigt ist.

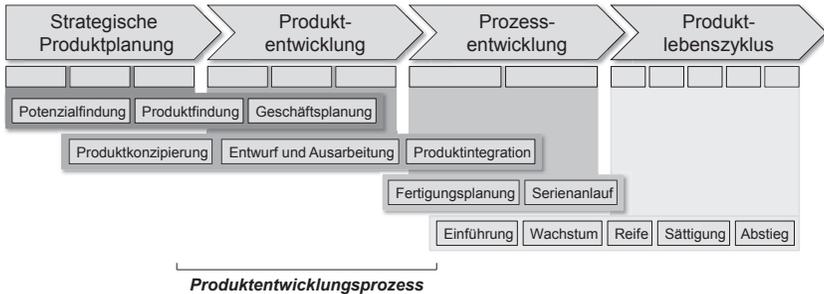


Abbildung 2-3: Einordnung des Produktentwicklungsprozesses im Produktentstehungsprozess und -lebenszyklus nach GAUSEMEIER & BERGER (2004, S. 2) und PAHL ET AL. (2007, S. 98)

Entwicklungsprozesse können als Geschäftsprozesse (z. B. Auftragsabwicklung) eingeordnet werden, gegenüber denen sie aber besondere Merkmale einnehmen (vgl. VOIGTSBERGER 2005, S. 11 f., 15-18). So weisen die entwickelten Produkte zumeist einen gewissen Neuheitsgrad oder eine hohe Komplexität auf, wobei für die Problemlösung nicht immer auf explizites Wissen zurückgegriffen werden kann (HAMMERS 2012, S. 36). Aufgrund der Wechselwirkungen zieht eine steigende Produktkomplexität (z. B. durch Kundenanforderungen) auch eine höhere Komplexität des Prozesses nach sich (EHRENSPIEL 2009, S. 47, 274). Gleichzeitig ist eine hohe Flexibilität des Prozesses sowie eine Anpassung an die immer kürzer werdenden Produktlebenszyklen erforderlich, um der vorherrschenden Dynamik der Märkte bzw. den volatilen Kundenanforderungen Rechnung zu tragen (vgl. EVERSHEIM 2003, S. 5). Einhergehend mit einer geringen Wiederholbarkeit ergibt sich daraus eine hohe Unsicherheit hinsichtlich der Durchführung des Prozesses (HAMMERS 2012, S. 36). Aus den Unterschieden begründet sich, weshalb Entwicklungsprozesse von den klassischen Methoden üblicher Geschäftsprozesse nicht vollumfänglich unterstützt werden können (ROELOFSEN 2011, S. 17). Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Produktentwicklung eng mit der Problemlösung verknüpft ist, Entwicklungsprozesse nur sehr schlecht strukturiert werden können und sich dynamisch während ihres Verlaufs entfalten (LINDEMANN 2009, S. 17, 46-50). Überdies ist ein sich wiederholendes Zusammenspiel aus Synthese und Analyse eine erforderliche Voraussetzung (EHRENSPIEL 2009, S. 81). Es werden aus diesem Grund Methoden, Werkzeuge und Modelle benötigt, „welche diesen Randbedingungen der Prozessdynamik gerecht werden und die notwendige Flexibilität mit sich bringen“ (LINDEMANN 2009, S. 17). Zur formalisierten

Beschreibung von Produktentwicklungsprozessen kann eine Untergliederung in Teilprozesse mit inbegriffenen Aktivitäten vorgenommen werden, die über Ergebnisse miteinander verknüpft sind (VOIGTSBERGER 2005, S. 12). Dies wird unter anderem in weiterführenden Arbeiten vertieft, auf die an dieser Stelle verwiesen ist¹.

2.2.4 Vorgehensweisen der Planung

Unter der Bezeichnung der Vorgehensweisen der Planung sollen in der vorliegenden Arbeit die Begriffe der Methodik, der Methode, des Modells sowie des Hilfsmittels und des Werkzeugs zusammengefasst werden, die gemäß Abbildung 2-4 in Zusammenhang stehen.

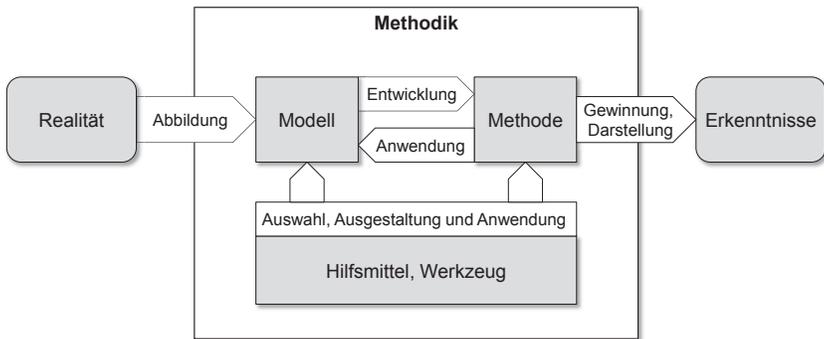


Abbildung 2-4: Zusammenhänge der Vorgehensweisen der Planung nach LAUFENBERG (1996, S. 7) und HEYN (1999, S. 5 f.)

Eine *Methodik* ist ein „System von zusammengehörigen Modellen, Methoden und Hilfsmitteln [bzw. Werkzeugen] zur Lösung einer theoretischen und/ oder praktischen Aufgabenstellung“ (NEUHAUSEN 2001, S. 6). Ein *Modell* dient dabei der hinreichend genauen Abbildung eines realen Systems oder Prozesses (DIN 19226, S. 3; vgl. BRETZKE 1980, S. 28-33), wobei nach NEUHAUSEN (2001, S. 6 f.) die Ausschnitte der Realität „die maßgeblichen Wirkrelationen einer Problemlösung aufdecken, [indem] die für die jeweilige Aufgabenstellung relevanten Sachverhalte abgebildet und sonstige Systemelemente und Systemrelationen vernachlässigt werden“ (HEYN 1999, S. 5 f.). Ein Modell kann somit auch als vereinfachte Abbildung eines geplanten Zustands oder Ablaufs (SCHACK 2007, S. 11) im Sinne einer präskriptiven Handlungsvorschrift verstanden werden (vgl. LINDEMANN 2009, S. 42, 57, 337). Die *Methode* ist ein auf ein Regelsystem aufbauendes, „zielgerichtetes, planmäßiges Vorgehen bzw.

¹GAUL (2001); DOHMEN (2003); SCHEDL (2008); HENSEL (2011); ROELOFSEN (2011); HAMMERS (2012); HELLENBRAND (2013)

Verfahren [zur Gewinnung und Darstellung] von (wissenschaftlichen) Erkenntnissen oder praktischen Ergebnissen“ (vgl. NEUHAUSEN 2001, S. 7). Zur Unterstützung einer Methodik können konventionelle *Hilfsmittel* oder EDV-technische *Werkzeuge* zum Einsatz kommen, die der Auswahl, Ausgestaltung und Anwendung der beinhalteten Modelle und Methoden dienen (LAUFENBERG 1996, S. 6; NEUHAUSEN 2001, S. 7; HAMMERSCHALL 2008, S. 28).

Die aufgeführten Vorgehensweisen kommen bei der Entwicklung komplexer technischer Systeme durch die Integration in den Strategien der Produktentwicklung zur Anwendung (vgl. DIEHL 2009, S. 17). Als besondere Ausprägungen der Vorgehensweisen dienen *Vorgehensmodelle*. Diese sind ein zentraler Bestandteil der Produktentwicklung und gelten als „standardisierter, organisatorischer Rahmen für den [optimierten] Ablauf eines Entwicklungsprojekts“ in Form einer Beschreibung der „zu erstellenden Produkte, der durchzuführenden Aktivitäten und der zu besetzenden Rollen“ (GNATZ 2005, S. 2; KUHRMANN 2008, S. 42; vgl. KALUS 2013, S. 18). Sie dienen dazu, „die Erfolgswahrscheinlichkeit von [...] Projekten zu steigern, indem sie bewährte Praktiken, Abläufe und Organisationsformen der [...] Entwicklung zusammenfassen und wiederholbar machen (KALUS 2013, S. 17). Zur Herleitung bzw. Übertragung der Begriffe auf die Ingenieurwissenschaft (*engl.*: Engineering) wird an dieser Stelle auf weiterführende Arbeiten verwiesen¹.

2.3 Zusammenarbeit in Ingenieursdisziplinen

In den Ingenieursdisziplinen arbeiten Personen unterschiedlichen Fachhintergrunds zusammen. Unter dem Begriff der *Disziplin* ist dabei ein Wissenszweig bzw. eine „Unterabteilung einer Wissenschaft“ zu verstehen, die sich bestimmten Regeln fügt und in eine Gruppe einordnen lässt (DUDEN 2015). Daneben ist auch der Begriff der *Domäne* gebräuchlich, der in weiten Teilen synonym verwendet wird (GEHRKE 2005, S. 17). Die „Strukturierung eines Unternehmens oder eines Projekts in organisatorische Einheiten wie Personalstellen, Teams und Abteilungen“ (BROY & KUHRMANN 2013, S. 31) wird unter dem Begriff der *Aufbauorganisation* geführt. Dieser beschreibt die „Gliederung der Organisationseinheit, insbesondere der Mitarbeiter in Teams und Abteilungen und die Regelung der Verantwortlichkeiten („Rollen“) für die Aufgaben“ (BROY & KUHRMANN 2013, S. 31).

Bei der Entwicklung von mechatronischen Produkten wird häufig von der Integration der unterschiedlichen Disziplinen in einem gemeinsamen Entwicklungsprozess gesprochen (HELLENBRAND 2013, S. 13), die einer Kollaboration und Kooperation

¹LAUFENBERG (1996, S. 6-9); HEYN (1999, S. 5 f.); NEUHAUSEN (2001, S. 6 f.)

bedarf. Eine entsprechende Strategie der Produktentwicklung ist beispielsweise das Simultaneous Engineering, die an späterer Stelle behandelt wird (siehe Kapitel 5.2.2). Es werden daher im Folgenden die Begriffe der Kollaboration (siehe Kapitel 2.3.1), Kooperation (siehe Kapitel 2.3.2) und Integration (siehe Kapitel 2.3.3) weiter ausgeführt.

2.3.1 Kollaboration

Unter dem Begriff der *Kollaboration* werden unterschiedliche Formen der Zusammenarbeit verstanden. In der Praxis liegen häufig Mischformen vor, wobei die Mechatronik als eine eigene Disziplin angesehen werden kann, die sich aus der „transdisziplinäre[n] Bearbeitung bestimmter Aufgabenstellungen“ entwickelt hat (HELLENBRAND 2013, S. 14). Neben der Transdisziplinarität wird die Kollaboration nach der Multi- sowie die Interdisziplinarität differenziert (HELLENBRAND 2013, S. 13).

Die *Multidisziplinarität* ist die „schwächste Form der Zusammenarbeit“ von Experten unterschiedlicher Disziplinen, die „sich nur einem Teilaspekt der bearbeiteten Aufgabe“ widmen (HELLENBRAND 2013, S. 13) und eine hohe Spezialisierung aufweisen. Eine *Interdisziplinarität* ist hingegen die fach- bzw. disziplinspezifische Bearbeitung von Teilaspekten durch unterschiedliche Disziplinen mit „Blick auf gemeinsame Ziele und Ergebnisse“ (BOROWSKI & HENNING 2013, S. 34). Die Grenzen der Disziplinen werden tendenziell beibehalten, wobei meist „ein ansatzweiser Blick darüber hinaus erfolgt“. (HELLENBRAND 2013, S. 13). Die am weitesten „fortgeschrittene und entwickelte Form der Zusammenarbeit“ ist die *Transdisziplinarität*, in der die „fachlichen Grenzen [...] bei der gemeinsamen Bearbeitung der Aufgabe [...] aufgelöst [und] nicht mehr klar gezogen werden können“ (HELLENBRAND 2013, S. 13 f.). Die unterschiedlichen Disziplinen „treten miteinander in Beziehung und bewegen sich über ihre Grenzen [...] hinaus auf die anderen Disziplinen zu, [wodurch] Transferprozesse in Bezug auf Methoden, Informationsaustausch usw.“ stattfinden und neue Strukturen den Erkenntnisgewinn ermöglichen (HELLENBRAND 2013, S. 13).

In der vorliegenden Arbeit werden sowohl transdisziplinäre als auch interdisziplinäre Aspekte in der Mechatronik behandelt. Entlang des Entwicklungsprozesses ist vor allem im Bereich der Anforderungs- und Lösungsspezifikation sowie Systemintegration bzw. Testphase eine transdisziplinäre bzw. in der disziplinspezifischen Realisierungsphase eine interdisziplinäre Bearbeitung der beteiligten Disziplinen erforderlich (HELLENBRAND 2013, S. 14).