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.

Gunther Reinhart *Michael Zäh*

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 betreuter 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 (BMWI 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 auftragsspezifische 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 Untersicherheiten 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 (EHRLENSPIEL 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 (HEßLING 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). Gleichermaßen 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.

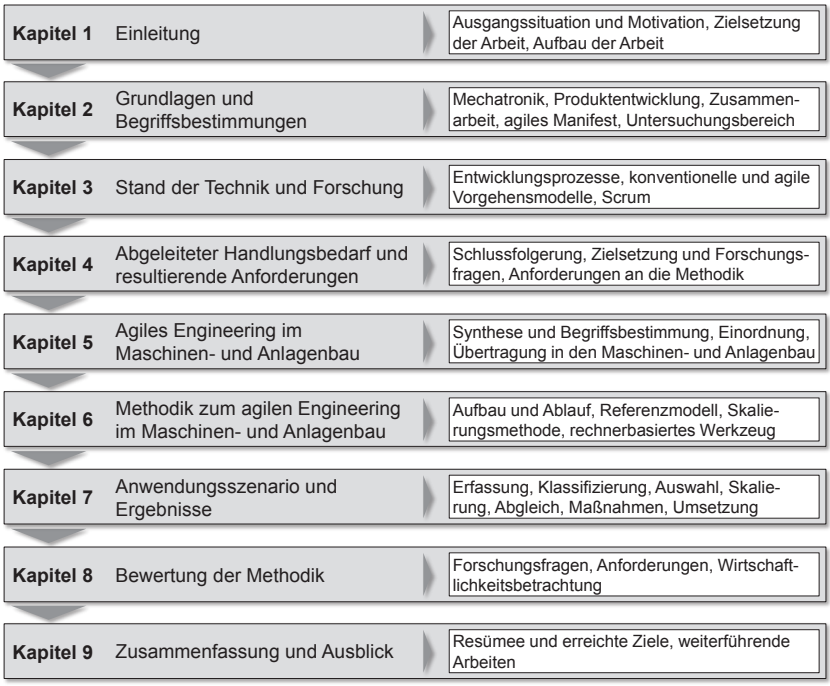


Abbildung 1-1: Aufbau der vorliegenden Arbeit

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.

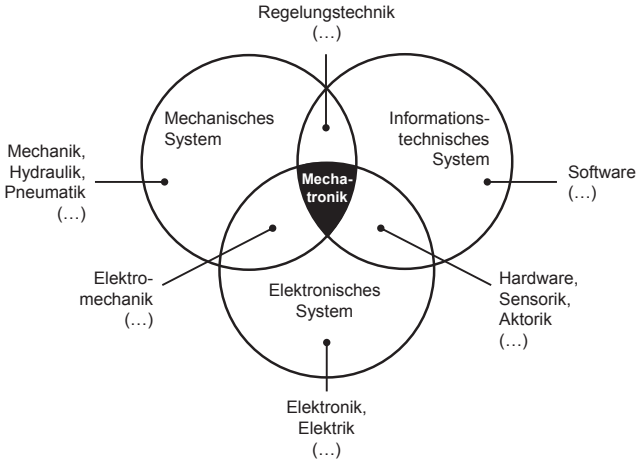


Abbildung 2-1: Mechatronik nach CZICHOS (2008, S. 1), ISERMANN (2008, S. 5) und FRIEDRICH (2011, S. 76)

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.

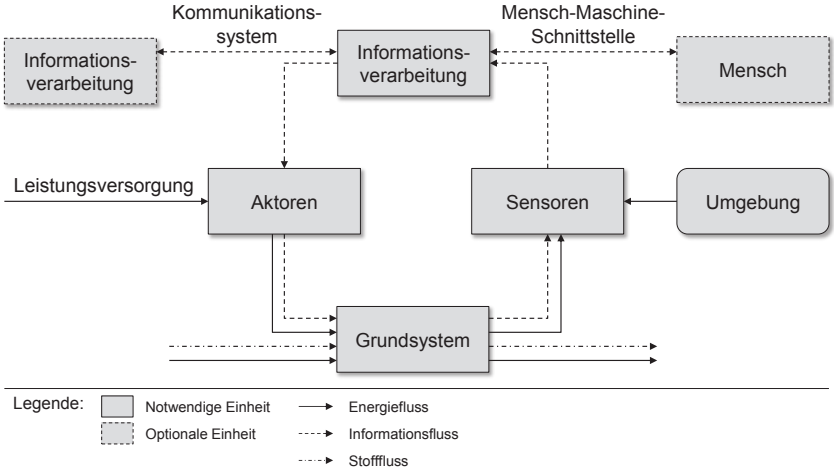


Abbildung 2-2: Bestandteile und Schnittstellen eines mechatronischen Systems (VDI 2206, S. 14)

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 […].“ (EHRLENSPIEL 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 (EHRLENSPIEL 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. EHRLENSPIEL 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.

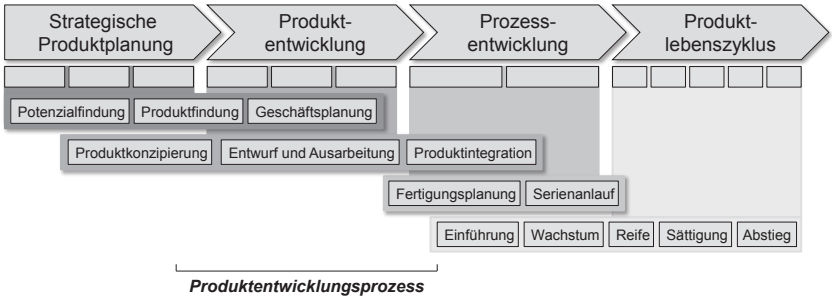


Abbildung 2-3: Einordnung des Produktentwicklungsprozesses im Produktentstehungsprozess und -lebenszyklus nach GAUSEMEIER & BERGER (2004, S. 2) und PAHL ET AL. (2007, S. 98)

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 (EHRLENSPIEL 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 (EHRLENSPIEL 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 ist[1].

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.

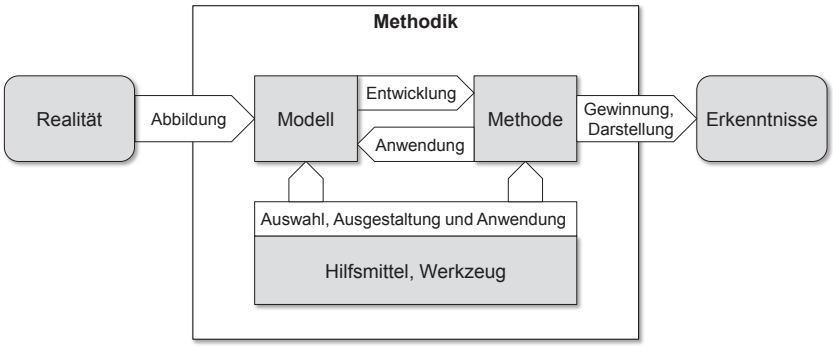


Abbildung 2-4: Zusammenhänge der Vorgehensweisen der Planung nach LAUFENBERG (1996, S. 7) und HEYN (1999, S. 5 f.)

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.

[1] GAUL (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 Ingenieurswissenschaft (*engl.*: Engineering) wird an dieser Stelle auf weiterführende Arbeiten verwiesen[1].

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

[1] LAUFENBERG (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).

2.3.2 Kooperation

Die Zusammenarbeit von Ingenieursdisziplinen bedarf der grundlegenden Konzepte der Kommunikation, Koordination und Kooperation (GRIEB 2007, S. 29 f.). Als *Kommunikation* (*lat.* communicatio, „Mitteilung“, DUDEN 2015) ist die „Verständigung zwischen […] mehrerer Personen untereinander“ zu verstehen (GRIEB 2007, S. 244), wobei diese unterschiedliche Aufgabenbereiche einnehmen (HEYN 1999, S. 10). Die Kommunikation kann als eine Voraussetzung verstanden werden, die eine Koordination und Kooperation ermöglicht. Die *Koordination* beschreibt dabei die inhaltliche und organisatorische Abstimmung von Abhängigkeiten bei verteilter Arbeit bzw. getrennter Bearbeitung von Aufgaben (GRIEB 2007, S. 33). Die Koordination ermöglicht wiederum die Kooperation. Das Ziel der *Kooperation* liegt in der Zusammenarbeit eines bzw. mehrerer Individuen, wobei bewusst und „planvoll aufeinander abgestimmt die Zielerreichung eines jeden beteiligten Individuums in gleichem Maße gewährleistet“ wird (GRIEB 2007, S. 244).

Entsprechend den vorangegangen Erläuterungen wird eine effiziente Koordination und Kooperation durch die Wahl einer geeigneten Form der Kommunikation (z. B. Einsatz digitaler Medien) gewährleistet. Diese wird durch die Informationsreichhaltigkeit sowie die Beziehungsebene bestimmt (GAUL 2001, S. 29). Hierzu existieren diverse Arbeiten, auf die an dieser Stelle für weiterführende Informationen verwiesen wird[1].

2.3.3 Integration

Bildungssprachlich bedeutet der Begriff *Integration* (*lat.* integratio, integrare) die „(Wieder-) Herstellung einer Einheit“ durch Einbeziehung bzw. -gliederung (DUDEN 2015). Der Begriff der Integration kann in persönliche, informatorische und organisatorische Aspekte unterschieden werden (EHRLENSPIEL 2009, S. 199 f.). Diese adressieren die Einbindung des Menschen, den Umgang mit Informationen sowie die Gestaltung der Zusammenarbeit. Sie können somit als die Handlungsfelder der Produkt-, Prozess- und Organisationsebene interpretiert werden (GIERHARDT 2001, S. 66). Der Begriff der Integration wird in weiteren Arbeiten der Produktionstechnik und der mechatronischen Produktentwicklung vertieft, auf welche an dieser Stelle für ausführliche Informationen verwiesen ist[2].

[1] GAUL (2001, S. 24-35); GIERHARDT (2001, S. 83-93); KUTTIG (2005, S. 11 f.); SAUER (2010, S. 85-117); [2] HAMMERSCHALL (2008); SCHEDL (2008); BACS (2010); WELGE & FRIEDRICH (2012)

2.4 Manifest für agile Softwareentwicklung

Gegen Ende des 20. Jahrhunderts war die Ansicht weit verbreitet, dass eine effiziente Entwicklung von Software eines strikten Prozesses bedarf, weshalb für langlebige Softwaresysteme (z. B. Raumfahrt, Regierungsanwendungen) plangeleitete Vorgehensmodelle zum Einsatz kamen (SOMMERVILLE 2012, S. 88). Ein bekannter und noch etablierter Vertreter der sogenannten konventionellen Vorgehensmodelle der Softwareentwicklung ist das Wasserfallmodell (GNATZ 2005, S. 18 f.; KIRCHHOF & AGHAJANI 2010, S. 4). Durch den Wandel zu kleiner werdenden Anwendungen und kürzeren Lebenszyklen der Software machte sich allerdings ein zunehmendes Streben nach flexibleren Ansätzen breit (vgl. BISKUP 2010, S. 66; SOMMERVILLE 2012, S. 88).

Eine Reihe von Pionieren der Softwareentwicklung (u. a. Kent Beck, Alistair Cockburn, Jim Highsmith, Ken Schwaber, Jeff Sutherland uvm., vgl. BECK ET AL. 2001) sprachen sich deshalb für neue, leichtgewichtige Vorgehensmodelle aus. Diese sollten insbesondere die flexible Anpassung infolge von sich ändernden Anforderungen gewährleisten. In diesem Zuge wurde das Adjektiv „agil“ geprägt (SAUER 2010, S. 43) und die zugrundeliegende Philosophie im *Manifest für agile Softwareentwicklung* verankert. Dieses enthält die grundsätzlichen Einschätzungen zur Entwicklung effizienter Software, die als vier Werte der Priorisierung formuliert sind. Der entsprechende Wortlaut des agilen Manifests lautet nach BECK ET AL. (2001) wie folgt:

„Wir erschließen bessere Wege, Software zu entwickeln, indem wir es selbst tun und anderen dabei helfen. Durch diese Tätigkeit haben wir diese Werte zu schätzen gelernt:

1. Individuen und Interaktionen *mehr als* Prozesse und Werkzeuge
2. Funktionierende Software *mehr als* umfassende Dokumentation
3. Zusammenarbeit mit dem Kunden *mehr als* Vertragsverhandlungen
4. Reagieren auf Veränderung *mehr als* das Befolgen eines Plans.

Das heißt, obwohl wir die Werte auf der rechten Seite wichtig finden, schätzen wir die Werte auf der linken Seite höher ein.“ (BECK ET AL. 2001)

Entgegen kritischer Interpretationen dieser Werte verneinen die Autoren nicht die in der zweiten Satzhälfte genannten Aspekte. Sie sehen diese vielmehr als Voraussetzung an und respektieren sie für eine erfolgreiche Entwicklung. Stattdessen werden jedoch die Aspekte in der ersten Satzhälfte hervorgehoben, welche trotz ihrer Bedeutung in der Praxis häufig vernachlässigt werden. Dies ist ausführlich in der Literatur herausgestellt, auf welche an dieser Stelle verwiesen wird[1].

[1] BARON & HÜTTERMANN (2010, S. 11-13); OPELT ET AL. (2012, S. 6); SOMMERVILLE (2012, S. 88 f.)

Hinter den vier Werten des agilen Mainfests stehen *zwölf Prinzipien*, die der praktischen Anwendung dienen und in diversen agilen Vorgehensmodellen verankert sind (vgl. OPELT ET AL. 2012, S. 23-29). Der Wortlaut der agilen Prinzipien ist nach BECK ET AL. (2001) nachfolgend aufgeführt:

„Wir folgen diesen Prinzipien:

1. Unsere höchste Priorität ist es, den Kunden durch frühe und kontinuierliche Auslieferung wertvoller Software zufrieden zu stellen.
2. Heiße Anforderungsänderungen selbst spät in der Entwicklung willkommen. Agile Prozesse nutzen Veränderungen zum Wettbewerbsvorteil des Kunden.
3. Liefere funktionierende Software regelmäßig innerhalb weniger Wochen oder Monate und bevorzuge dabei die kürzere Zeitspanne.
4. Fachexperten und Entwickler müssen während des Projekts täglich zusammenarbeiten.
5. Errichte Projekte rund um motivierte Individuen. Gib ihnen das Umfeld und die Unterstützung, die sie benötigen und vertraue darauf, dass sie die Aufgabe erledigen.
6. Die effizienteste und effektivste Methode, Informationen an und innerhalb eines Entwicklungsteams zu übermitteln, ist im Gespräch von Angesicht zu Angesicht.
7. Funktionierende Software ist das wichtigste Fortschrittsmaß.
8. Agile Prozesse fördern nachhaltige Entwicklung. Die Auftraggeber, Entwickler und Benutzer sollten ein gleichmäßiges Tempo auf unbegrenzte Zeit halten können.
9. Ständiges Augenmerk auf technische Exzellenz und gutes Design fördert Agilität.
10. Einfachheit – die Kunst, die Menge nicht getaner Arbeit zu maximieren – ist essenziell.
11. Die besten Architekturen, Anforderungen und Entwürfe entstehen durch selbstorganisierte Teams.
12. In regelmäßigen Abständen reflektiert das Team, wie es effektiver werden kann und passt sein Verhalten entsprechend an.“ (BECK ET AL. 2001)

2.5 Darlegung des Untersuchungsbereichs

In Anknüpfung an die Grundlagen und Begriffsbestimmungen wird in diesem Abschnitt abschließend der Untersuchungsbereich der vorliegenden Arbeit dargelegt, aus dem sich die zu betrachtenden Gebiete des Standes der Technik und der Forschung ableiten. Hierzu wird zunächst auf die konkrete Charakterisierung des Untersuchungsbereichs eingegangen (siehe Kapitel 2.5.1), bevor eine Abgrenzung zu anderweitigen Forschungsansätzen erfolgt, die derzeit im näheren Umfeld der vorliegenden Arbeit entwickelt werden (siehe Kapitel 2.5.2).

2.5.1 Charakterisierung

Den Rahmen der vorliegenden Arbeit bildet der Auftragsabwicklungsprozess, welcher die Aktivitäten „zur Transformation von Aufträgen in verkaufsfähige Produkte“ beschreibt (SCHACK 2007, S. 35). Anstelle der betriebswirtschaftlichen Auftragsabwicklung (z. B. Beschaffung, Mengen- und Terminplanung, Kalkulation und Finanzbuchhaltung) wird insbesondere die technische Auftragsabwicklung fokussiert, welcher, neben der Produktionsplanung, der Produktion sowie dem Vertrieb, auch die Produktentwicklung und -konstruktion zuzuordnen ist (SCHACK 2007, S. 36). Gegenüber der Produktion unterliegt die Entwicklung jedoch gesonderten Rahmenbedingungen, wie in Tabelle 2-1 zusammengefasst ist. Denn während in der Produktion die Produkte *effizient hergestellt* werden sollen, dient die Entwicklung der Konzipierung *effizienter Produkte*, die noch gar nicht existieren, sich stetig verändern und erst mit dem Prozess entstehen (vgl. GLOGER 2013A, S. 32).

Tabelle 2-1: Gegenüberstellung von Randbedingungen der Produktion und Entwicklung nach GLOGER (2013A, S. 33)

Randbedingung	Produktion	Entwicklung
Aufgaben	Vorhersag- und wiederholbar, feste Bearbeitungszeiten	Beschränkt wiederholbar, unbestimmte Bearbeitungszeiten
Anforderungen	Fixierte Bedingung	Veränderlicher Freiheitsgrad
Bestände	Objekte (sichtbar)	Informationen (verdeckt)
Kosten (z. B. Verzögerungen)	Gleichförmig	Ständig verändernd
Variabilität (z. B. Anpassungen)	Möglicherweise hinderlich	Notwendig oder gegeben

Die Aufgaben in der Entwicklung (z. B. Anforderungsanalyse) sind, gegenüber der Produktion (z. B. Oberflächenbehandlung), über die verschiedenen Produkte hinweg nur beschränkt wiederholbar und mit unbestimmten Bearbeitungszeiten verbunden. Dies begründet sich beispielsweise aus den Anforderungen, die, im Vergleich zu einer Produktion (z. B. Montageschritt), in der stark auftragsbezogenen und kundenindividuellen Entwicklung (z. B. Realisierung von Handhabungsvorgängen) ein veränderlicher Freiheitsgrad sind. Ebenso unterscheidet sich das Verständnis von Beständen, die in der Produktion sichtbar (z. B. Halbzeuge), aber in der Entwicklung eher verdeckt sind (z. B. doppelte Datenhaltung). Dies begründet, weshalb Kosten in der Entwicklung (z. B. Verzögerungen) nur schwierig vorhersehbar und zudem veränderlich sind. Zuletzt kann die Variabilität (z. B. erforderliche Anpassungen) für eingeschwungene Betriebsabläufe der Produktion möglicherweise hinderlich sein, während sie für die Entwicklung genau jene notwendige Größe ist, durch welche die Innovationen erst entstehen (vgl. GLOGER 2013A, S. 33, 36 f.).

Zusammengefasst fokussiert der Untersuchungsbereich die mechatronischen Entwicklungsprozesse im Maschinen- und Anlagenbau. Die vorliegende Arbeit grenzt sich damit vollständig von Fragestellungen zur Modularisierung von mechatronischen Systemen ab. Wenngleich diese also nicht Gegenstand der Untersuchungen sind, folgt an dieser Stelle stattdessen ein Exkurs, um die Forschungsaktivitäten im näheren Umfeld zu skizzieren und abzugrenzen. Die Modularisierung dient nach PONN & LINDEMANN (2011, S. 260 f.) der Unterteilung eines Gesamtsystems in möglichst unabhängige Module. Damit kann die lösungsneutrale Struktur bzw. die physikalische Baustruktur der Maschine abgebildet werden, wie in Abbildung 2-5 dargestellt ist.

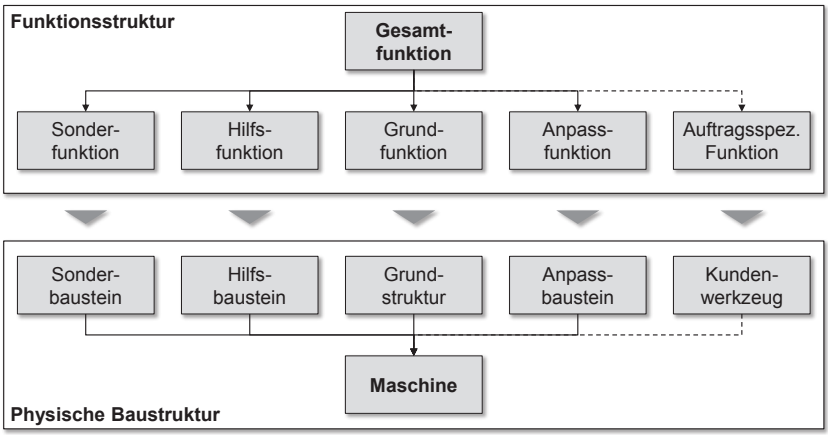


Abbildung 2-5: Baukastenstruktur zur Modularisierung einer Maschine nach PAHL ET AL. (2007, S. 664) und EHRLENSPIEL (2009, S. 682 f.)

In der Baukastenstruktur wird eine hohe funktionale und physische Unabhängigkeit der Module angestrebt (GÖPFERT & STEINBRECHER 2000, S. 3 f.). Die Modellierung der Funktionen sollte jener der physikalischen Baustruktur vorangehen, um das Verständnis für die zu entwickelnde Maschine zu verbessern (vgl. PONN & LINDEMANN 2011, S. 69). Daraus leiten sich wiederum unterschiedliche gestalterische und stoffliche sowie fertigungs- und montagetechnische Lösungen ab (EHRLENSPIEL 2009, S. 37 f.), um beispielsweise ein Spektrum an Leistungsdaten anbieten zu können. Mit der Kombination einer begrenzten Anzahl an angebotenen Modulen (innere Varianz) soll eine möglichst hohe Abdeckung der Kundenanforderungen (externe Varianz) erzielt werden (BLEES 2011, S. 65 f.). Hierzu können externe Lösungen (z. B. Kundenwerkzeuge) in die Maschine eingebunden und in der Baukastenstruktur berücksichtigt werden. Die Grundstruktur muss dabei in jeder Lösungsmöglichkeit enthalten sein, da sie der Integration aller Module (z. B. Sonderbausteine) dient (BLEES 2011, S. 28 f.).

Neben dem technischen Aspekt dient die Modularisierung der internen Vernetzung, indem Konstruktionsinformationen (z. B. CAD-Dateien) der Fachabteilungen und übergeordnete IT-Systeme (z. B. PDM) verknüpft sowie Dokumentationen, Mengengerüste usw. automatisch generiert werden (REINHART ET AL. 2009, S. 7). Der Nutzen einer Modularisierung liegt somit in der Reduzierung des projektspezifischen Konstruktionsaufwands, der Pflege von Standardlösungen, den Dokumentationszwecken sowie der Visualisierung und Demonstration der Kompetenz des Herstellers gegenüber dem Kunden (REICHWALD ET AL. 2006, S. 28 f.; REINHART ET AL. 2009, S. 8). Für eine Modellierung und Konfiguration von Systemen existiert nach REICHWALD ET AL. (2006, S. 30-33) eine Vielzahl an Methoden und Werkzeugen (vgl. NEUHAUSEN 2001; REINHART ET AL. 2009; DANIILIDIS ET AL. 2011). Diese finden in der Praxis des Maschinen- und Anlagenbaus eine zunehmende Verbreitung, wie Darstellungen mit Industriebezug (vgl. FÖRSTER 2003; HEßLING 2006; FRAGER & NEHR 2010; VON DER HEIDE 2014) sowie aus der Forschung (siehe Kapitel 2.5.2) belegen.

Zum Ende dieses Exkurses ist anzuführen, dass die Modularisierung einer Produktionsmaschine bedarfsgerecht zu erfolgen hat (vgl. EHRLENSPIEL 2009, S. 682). Ein zu hoher Modularisierungsgrad kann zu einer fehlenden Produktintegrität führen, die sich negativ auf die Erfüllung der Gesamtfunktion auswirkt (GÖPFERT & STEINBRECHER 2000, S. 6). Aus technischer Sicht begründet sich dies aus den Fügestellen, die zwischen den mechanischen Einzelteilen bereitzustellen sind und einen zusätzlichen Bedarf an Gewicht und Bauraum erfordern (BLEES 2011, S. 18). Gegenüber integral strukturierten Produkten (vgl. Integralbauweise) sollte sich die fertigungstechnische Untergliederung (vgl. Differenzialbauweise) also an den Einsatzbedingungen des Gesamtsystems orientieren, z. B. hinsichtlich der Steifigkeit, des Schwingungsverhaltens, der Dichtheit sowie der Korrosionsbeständigkeit (vgl. PAHL ET AL. 2007, S. 447).

Für die effiziente Entwicklung einer mechatronischen Maschine ist daher eine Zusammenarbeit der Disziplinen Mechanik, Elektrotechnik und Informatik sowie der produkt-, produktions- und vertriebsdefinierenden Bereiche (z. B. Produktmanagement) zielführend (vgl. EHRLENSPIEL 2009, S. 219). Hierbei ist die Aufbau- und Ablauforganisation relevant, welche die Gliederung der Organisation sowie die Definition von Arbeitsprozessen in Bezug auf die auszuführenden Tätigkeiten umfasst (BROY & KUHRMANN 2013, S. 31). Die betrachtete Größe der Projektteams und der Dezentralisierungsgrad ist im Maschinen- und Anlagenbau im Vergleich zu anderen Branchen (z. B. Automobilbau) gering und umfasst in der Regel weniger als zehn Personen (SCHRÖDER 2003, S. 32; BUSCHERMÖHLE ET AL. 2010, S. 278). Zur Unterstützung der methodischen Zusammenarbeit kommen in den Disziplinen unterschiedliche Entwicklungswerkzeuge zum Einsatz, wie beispielsweise für die mechanische und elektrische Konstruktion (z. B. CAD-Programme), Steuerungs- und Robotertechnik sowie ERP- und Office-Anwendungen (DRESCHER ET AL. 2013, S. 276-278). Dabei werden unterschiedliche Entwicklungsergebnisse in den Disziplinen Mechanik (z. B. Technische Zeichnung, Pleumatikplan, FMEA, Beschaffungsliste), Elektrotechnik (z. B. Stromlauf-, Hardware-, Signalfluss-, Klemmenplan, Schaltschranktechnik) und Informationstechnik (z. B. Symbollisten, Ein- und Ausgabelisten, SPS-Programm, GUI-Strukturplan) erzeugt (DRESCHER ET AL. 2013, S. 276-278). Während die Entwicklungstiefe im Maschinen- und Anlagenbau aufgrund des starken Kundenbezugs hoch ist, wird im Vergleich zur Softwareentwicklung auf eine schrittweise Verbesserung der Produkte gesetzt (SCHRÖDER 2003, S. 30 f.). Die Zykluszeiten für Produkte, Organisationen und Prozesse liegen dabei bei mehreren Jahren (HAMMERS 2012, S. 15).

2.5.2 Abgrenzung

Der Untersuchungsbereich der vorliegenden Arbeit grenzt sich entsprechend der dargelegten Charakterisierung von anderweitigen Forschungsansätzen ab, die derzeit im näheren Umfeld entwickelt werden. An dieser Stelle wird daher ein Überblick über ausgewählte Forschungsaktivitäten gegeben.

Im Gebiet der Entwicklung mechatronischer Systeme zählt dazu der Ansatz von DRESCHER & REINHART (2014), der sich mit den Anforderungen an den Einsatz von digitalen Werkzeugen (z. B. CAD-Programme) im Entwicklungsprozess befasst. Diese sind in einem Unternehmens-, einem Werkzeug- und einem Bewertungsmodell abgebildet, um die Integration, die Migration sowie die Auswahl und Einführung von digitalen Werkzeugen zu ermöglichen (vgl. DRESCHER & REINHART 2014). Der Ansatz ist weitgehend losgelöst von der physischen bzw. der funktionalen Struktur der zu entwickelnden Maschine und befasst sich stattdessen mit der Modularisierung von digitalen Werkzeuglandschaften.

Für die effiziente Planung und Durchführung von Montageprozessen ist der Ansatz von MICHNIEWICZ & REINHART (2015) zu erwähnen, der durch den Einsatz von modularen, cyber-physischen Robotersystemen eine automatisierte Montage von Produkten in Losgröße 1 gewährleisten soll. Unter Verwendung von virtuellen Repräsentanzen sollen hierzu die Anforderungen an die durchzuführenden Montageschritte automatisch aus den CAD-Modellen generiert und mit den verfügbaren Fähigkeiten des Produktionssystems abgeglichen werden, um daraus eine aufgabenorientierte Programmierung der Betriebsmittel vornehmen zu können (vgl. MICHNIEWICZ & REINHART 2015). Für diesen Ansatz ist die Modularisierung des gesamten Produktionssystems von Bedeutung, da anhand der virtuellen Repräsentanzen ein digitales Modell zu generieren ist, um die verfügbaren Fähigkeiten sowie die erforderlichen Restriktionen abzubilden (MICHNIEWICZ & REINHART 2015, S. 231).

Im Bereich der Rekonfiguration von Produktionssystemen ist der Plug&Produce-Ansatz von HAMMERSTINGL & REINHART (2015) aufzuführen, der die Veränderungsfähigkeit von mechatronischen Systemen durch intelligente und selbstkonfigurierende Feldgeräte verbessern soll, welche die Schnittstelle des Automatisierungssystems zum Prozess bilden. Hierzu wird ein Informationsmodell erarbeitet, das der Definition von lösungsneutralen Funktionen dient, sowie eine geeignete Systemarchitektur aufgesetzt. Die Modularisierung nimmt in diesem Ansatz einen hohen Stellenwert ein, damit auf der Feldebene eine automatische Integration, Parametrierung und Vernetzung der Module realisiert werden kann (vgl. HAMMERSTINGL & REINHART 2015).

Zur Modularisierung von mechatronischen Systemen sind zuletzt die Forschungsaktivitäten von VOGEL-HEUSER ET AL. (2015) im Gebiet der Automatisierung und der Informationssysteme anzuführen. Zu den Anforderungen an komplexe Automatisierungssysteme konstatieren beispielsweise FUCHS ET AL. (2012), dass die Systematiken der Modularisierungsansätze für Mechanik, Elektrotechnik und Software grundverschieden sind. Weitere Herausforderungen für die Entwicklung von modularen Maschinen und Anlagen sehen FELDMANN ET AL. (2015) in der interdisziplinären Modellierung, der Synchronsierung von Modifikationen sowie der Kompatibilität von Modulen. Die entsprechenden Forschungsansätze befassen sich daher unter anderem mit der Testautomatisierung, dem Variantenmanagament, der modellbasierten Entwicklung, dem Modulmanagement von IT-Zyklen usw. (vgl. VOGEL-HEUSER ET AL. 2015).

Diese Auswahl an Forschungsaktivitäten liegt nicht im Untersuchungsbereich der vorliegenden Arbeit zum agilen Engineering im Maschinen- und Anlagenbau. Die Ausführungen zur Modularisierung beschränken sich daher auf den Exkurs zu den Grundlagen sowie die Abgrenzung zu den Forschungsaktivitäten dieses Abschnitts, auf die für weiterführende Informationen verwiesen wird.

3 Stand der Technik und Forschung

In diesem Kapitel soll der Stand der Technik und Forschung im betrachteten Untersuchungsbereich dargelegt werden. Hierzu werden zunächst die Entwicklungsprozesse für mechatronische Maschinen und Anlagen (siehe Kapitel 3.1) und konventionelle Vorgehensmodelle in der Produktentwicklung (siehe Kapitel 3.2) vorgestellt. Daraufhin erfolgt eine Abgrenzung zu sowie eine Beschreibung und Analyse von agilen Vorgehensmodellen in der Softwareentwicklung (siehe Kapitel 3.3), die mit der ausführlichen Darlegung von Scrum schließt (siehe Kapitel 3.4). Die genannten Kapitel geben jeweils einen Überblick und stellen bestehende Ansätze aus Praxis und Forschung im Untersuchungsbereich vor. Es wird dabei gezeigt, auf welche Vorarbeiten aufgebaut werden kann und welche inhaltlichen Lücken aktuell bestehen, die mit der Herangehensweise der vorliegenden Arbeit erschlossen werden können. Die Kapitel werden am Ende jeweils kurz zusammengefasst, wobei der resultierende Handlungsbedarf der vorliegenden Arbeit im nachfolgenden Kapitel resümiert wird (siehe Kapitel 4).

3.1 Mechatronische Entwicklungsprozesse für Maschinen und Anlagen

Die Entwicklungsprozesse für mechatronische Maschinen und Anlagen (kurz: mechatronischer Entwicklungsprozess) können nach zeitlichen und inhaltlichen Aspekten beschrieben werden. Der zeitliche Ablauf ergibt sich im Wesentlichen aus mehreren Abschnitten (siehe Kapitel 3.1.1), die inhaltlich nach Aktivitäten aufgebaut sind, anhand derer eine Bewertung von bestehenden Prozessen möglich ist (siehe Kapitel 3.1.2). Das Wissen über Prozesse kann zu diesem Zweck in Referenzmodellen festgehalten und im Rahmen von Service- und Dienstleistungen verwendet werden (siehe Kapitel 3.1.3). Dies kann als eine Ausgangsbasis dienen, um die Entwicklungsprozesse entsprechend den anwendungsspezifischen Gegebenheiten zu gestalten und sie auf die individuellen Bedürfnisse eines Unternehmens anzupassen (siehe Kapitel 3.1.4).

3.1.1 Zeitlicher Ablauf

Der mechatronische Entwicklungsprozess ist nach GAUSEMEIER & BERGER (2004, S. 2) als ein Abschnitt des Produktentstehungsprozesses und -lebenszyklus einzuordnen, wie zuvor veranschaulicht (vgl. Abbildung 2-3). Er kann nach GEISBERGER & SCHMIDT (2005, S. 37) zeitlich in sechs Abschnitte untergliedert werden, die gemäß der Auftragsabwicklung zur Transformation von Aufträgen in verkaufsfähige Produkte (SCHACK 2007, S. 35) dienen. Dies ist in nachfolgend in Abbildung 3-1 dargestellt.

Abbildung 3-1: Abschnitte eines mechatronischen Entwicklungsprozesses nach GEISBERGER & SCHMIDT (2005, S. 37)

Die *Initialphase* dient der Identifikation von Märkten und potenziellen Kunden für Produktideen unter Einbindung von Marketing, Vertrieb und Projektmanagement sowie der mechatronischen Disziplinen. Der anschließende Abschnitt der *Anforderungsspezifikation* dient der eindeutigen Spezifikation der Anforderungen durch die Entwicklung, wobei kundenspezifische Wünsche und zugehörige Abnahme- und Testkriterien (z. B. Lastenheft) eine Berücksichtigung finden. Der darauffolgende Abschnitt der *Lösungsspezifikation* dient der methodischen Erarbeitung von geeigneten Lösungen zur Umsetzung der gestellten Anforderungen sowie zur Bestimmung angepasster Integrations- und Systemtests. Es schließt der Abschnitt der *Realisierung* an, welcher der Beschaffung, Herstellung, Montage und Programmierung der gewählten Lösung in den einzelnen Disziplinen sowie der Durchführung erster Komponenten- und Modultests dient. Die realisierten Hardware- und Softwarebestandteile werden im Abschnitt der *Systemintegration* anschließend sukzessive integriert, wobei die definierten Funktionen am Gesamtsystem getestet werden. Schließlich erfolgt die *Abnahme*, welche der internen Prüfung des Systems unter Berücksichtigung der definierten Anforderungen dient und mit einer Abnahme durch den externen Kunden endet. (GEISBERGER & SCHMIDT 2005, S. 36-39; VDMA 2006, S. 15 f.; SCHMIDT 2007, S. 60-70)

Die gezeigten Abschnitte sind in vergleichbarer Form in gängigen Vorgehensmodellen abgebildet (z. B. Quality-Gate-Modell, V-Modell, siehe Kapitel 3.2). Für die vorliegende Arbeit repräsentieren diese Abschnitte einen phasengeleiteten Produktentwicklungsprozess als Referenz für bestehende Prozesse der industriellen Praxis. Sie werden somit im Rahmen der vorliegenden Arbeit als ein Ordnungsrahmen für die zeitliche Untergliederung eines mechatronischen Entwicklungsprozesses herangezogen.

3.1.2 Inhaltlicher Aufbau

Neben der Beschreibung des zeitlichen Ablaufs existieren auch allgemeine Ansätze, um den inhaltlichen Aufbau mechatronischer Entwicklungsprozesse zu strukturieren. Für die Beurteilung der Güte eines Prozesses finden in der Praxis sogenannte Reifegradmodelle eine Anwendung, um beispielsweise die Organisationsentwicklung oder das Qualitätsmanagement zu analysieren, bewerten und optimieren (RAUCHENBERGER 2011, S. 16-21). Diese geben in der Regel ein Bewertungsschema vor, wie ein Entwicklungsprozess inhaltlich aufgebaut sein sollte. Ein bekannter Vertreter ist das Capability Maturity Model Integration (CMMI), welches infolge einer undurchsichtigen

Heterogenität an Reifegradmodellen der unterschiedlichen Anwendungsbereiche (z. B. Software, Systems Engineering, Integrated Product Development) synthetisiert wurde (RAUCHENBERGER 2011, S. 18 f.). Das CMMI dient im Allgemeinen der „Prozessverbesserung für die Entwicklung besserer Produkte und Dienstleistungen“ und gilt als „eine Sammlung guter Praktiken, die Organisationen helfen, ihre Prozesse zu verbessern“ (CMMI 2011, S. 1, 4). Das CMMI für die Entwicklung (CMMI-DEV) bietet dabei im Speziellen „einen umfassenden, integrierten Satz von Richtlinien für die Entwicklung von Produkten und Dienstleistungen“ (CMMI 2011, S. 5) und ist branchenunabhängig gehalten. Daraus abgeleitet kann der inhaltliche Aufbau eines Entwicklungsprozesses mit den Begriffen des Prozessgebiets, der Aktivitätsgruppe und der Aktivität strukturiert werden, die entsprechend Abbildung 3-2 aufeinander aufbauen.

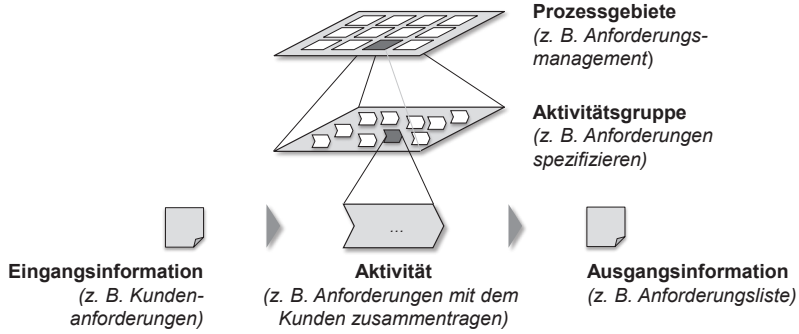


Abbildung 3-2: Inhaltliche Struktur eines mechatronischen Entwicklungsprozesses in Anlehnung an GAUL (2001, S. 17), SCHMIDT (2007, S. 28 f.), EHRLENSPIEL (2009, S. 21) und DRESCHER & KLEIN ET AL. (2014, S. 1594)

Ein *Prozessgebiet* ist eine Gruppierung von inhaltlich verwandten, zusammengehörigen Praktiken eines Gebietes, welches in weitere Aktivitätsgruppen unterteilt werden kann (CMMI 2011, S. 23, SPIEGELBERGER 2011, S. 71, BROY & KUHRMANN 2013, S. 348 f.). Die Unterteilung von Prozessgebieten in *Aktivitätsgruppen* kann wiederum als Zusammenfassung logisch ähnlicher Aktivitäten zu Sammelvorgängen bezeichnet werden (BROY & KUHRMANN 2013, S. 241). Die kleinste Einheit eines Prozesses entspricht einer Aktivität. Eine *Aktivität* ist ein elementarer Vorgang in einem Entwicklungsprozess, der Aufgaben bzw. durchzuführende Tätigkeiten beschreibt und Eingangs- in Ausgangsinformation umwandelt (GNATZ 2005, S. 40; BROY & KUHRMANN 2013, S. 32, 68, 84). Die Verknüpfung von unterschiedlichen Aktivitäten erfolgt über die Ergebnisse, d. h. den Ein- bzw. Ausgangsinformationen (GAUL 2001, S. 17). Ein Beispiel für eine Aktivität ist das *Zusammentragen von Anforderungen mit dem Kunden*. Hierzu dienen die *Kundenanforderungen* als Eingangsinformation, aus denen im Rahmen der Aktivität als Ausgangsinformation eine *Anforderungsliste* erarbeitet wird.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Begriffe des Prozessgebiets, der Aktivitätsgruppe und der Aktivität der Beschreibung des inhaltlichen Aufbaus eines mechatronischen Entwicklungsprozesses dienen. Für die vorliegende Arbeit wird auf diese Struktur zurückgegriffen, wobei der Fokus maßgeblich auf die inhaltliche Betrachtung der Aktivitäten gelegt wird. Für eine Verwendung von CMMI im Umfeld der Reifegradbewertung von mechatronischen Entwicklungsprozessen wird daher auf weiterführende Literatur verwiesen[1].

3.1.3 Referenzmodelle als Service- und Dienstleistung

Im Kontext von Unternehmensprozessen sind häufig Referenzmodelle anzutreffen, die im Rahmen von Service- und Dienstleistungen angeboten bzw. eingesetzt werden. Entsprechende Forschungsarbeiten befassen sich mit der Gestaltung der Serviceorganisation in Unternehmen der Raumfahrtbranche (FORSTER 2013), der Serienentwicklung mechatronischer Systeme in der Automobilindustrie (REIß 2014), der Modellierung wissensintensiver Prozesse bei Ingenieurdienstleistungen zur kooperativen Planung verfahrenstechnischer Anlagen (HAUSER 2008) und der Mengenflexibilitätsbewertung (SCHELLMANN 2012). Ein Referenzmodell „ist das Ergebnis einer Konstruktion eines Modellierers, der für Anwendungssystem- und Organisationsgestalter Informationen über allgemeingültig zu modellierende Elemente eines Systems zu einer Zeit als Empfehlung mit einer Sprache deklariert, so dass ein Bezugspunkt für ein Informationssystem geschaffen wird“ (SCHÜTTE 1998, S. 69).

Ein Referenzmodell dient somit als Bezugssystem zur Neugestaltung von Geschäftsprozessen oder als Ausgangsbasis zur Auswahl und Anpassung von Elementen bzw. Komponenten (ABTS & MÜLDER 2009, S. 401). Die Modellierung eines Referenzmodells lässt sich in die Konstruktion und in die Anwendung des Referenzmodells unterteilen (FETTKE & LOOS 2002A, S. 10). Die konstruktionsorientierte Modellierung eines Referenzmodells ist das Ergebnis von subjektiven Erkenntnissen des Modellierers (vgl. BRETZKE 1980, S. 33-35), wobei „als Original […] ein beliebiges Problem angesehen werden [kann], das modelliert werden soll“ (FORSTER 2013, S. 29). Als Modellierer treten dabei häufig die Wissenschaft oder Beratungsunternehmen ein (SCHÜTTE 1998, S. 75). Ein Referenzmodell kann durch die Abstraktion von unternehmensspezifischen Einzelfällen (induktive Erstellung mit empirisch-deskriptivem Ansatz) aufgebaut und um theoretische Untersuchungen (deduktive Erstellung mit analytisch-präskriptivem Ansatz) erweitert werden (vgl. ROSEMANN 1995, S. 34; HAMM 1997, S. 53 f.; SCHÜTTE 1998, S. 74-80; SCHEER 2002, S. 61; FORSTER 2013, S. 32 f.).

[1] SCHRÖDER (2003); BALÁŽOVÁ (2004); BENDER (2005); RAUCHENBERGER (2011); SPIEGELBERGER (2011); BROY & KUHRMANN (2013)

Die Modellierungsaufgabe bedingt keine einzigartige Lösung, sondern kann mehrere gültige Lösungen haben (vgl. BULLINGER ET AL. 2009, S. 548). Ein Referenzmodell ist damit im Gegensatz zu einem unternehmensspezifischen Modell als Abbildung von Wissen über die Abläufe und Zusammenhänge in Unternehmen einer adressierten Branche oder einer Klasse von Unternehmen zu verstehen (ROSEMANN 1995, S. 33 f.; ABTS & MÜLDER 2009, S. 401). Es wird zur Ermittlung eines gewollten bzw. geplanten Zustands eines Systems verwendet, anhand dessen der gegenwärtige Zustand beurteilt werden kann (vgl. DELP 2006, S. 41 f.). Um eine gewisse Allgemeinheit aufzuweisen, muss es von individuellen Besonderheiten und Ausprägungen freigehalten und auf die wesentlichen Eigenschaften reduziert sein (ROSEMANN 1995, S. 34). Obwohl eine Vollständigkeit oder Konsistenz im Vergleich zu einem Metamodell, welches die Strukturmerkmale eines betrachteten Systems beschreibt, nicht gefordert ist (vgl. DELP 2006, S. 41, 43), sollte zumindest eine ausreichende Aktualität der abgebildeten Inhalte zur Identifikation, Evaluation, Allokation und Anwendung des Wissens angestrebt werden (vgl. FETTKE & LOOS 2002B, S. 3 f.). Hierzu können Lebenszyklusmodelle eingesetzt werden, die den Austausch von Standards des Anbieters und spezifischen Modellen des Anwenders synchronisieren (siehe Kapitel 3.2.7).

Das Referenzmodell stellt ein konditionales System auf, wobei der empirische Wahrheitsgehalt der gewonnenen Aussagen nicht beweisbar ist und die Gültigkeit nicht anhand eines einzelnen Anwendungsfalls vollständig geprüft werden kann (BECKER & SCHÜTTE 2004, S. 77). Der Nutzen von Referenzmodellen liegt darin, Lösungen für eine bestimmte Menge an Problemstellungen anzubieten (vgl. BECKER & SCHÜTTE 2004, S. 77). Ein übliches Anwendungsszenario eines Referenzmodells ist die Anpassung der Aufbau- oder Ablauforganisation eines Unternehmens (vgl. ABTS & MÜLDER 2009, S. 401; FORSTER 2013, S. 30 f.). Durch die Anwendung eines Referenzmodells soll der Aufwand reduziert werden, den ein Unternehmen für die Umstrukturierung investieren muss. Gleichzeitig lässt sich das hierbei bestehende Risiko reduzieren, im Gegensatz zu einer unvollständigen oder gar fehlerhaften Modellierung eines gewünschten Soll-Prozesses durch das Unternehmen selber (RUPPRECHT 2002, S. 2; BECKER & SCHÜTTE 2004, S. 80). Mit dem Einsatz eines Referenzmodells werden somit Verbesserungen von Kosten, Qualität und Zeit sowie eine Risikominimierung, d. h. der Wettbewerbsfaktoren der Produktentwicklung (vgl. WIENDAHL ET AL. 2009, S. 13), angestrebt (vgl. SCHÜTTE 1998, S. 76; BECKER & KNACKSTEDT 2003, S. 415-417; BECKER & SCHÜTTE 2004, S. 80-83; FORSTER 2013, S. 28-41). Die Konstruktion und Anwendung von Referenzmodellen wird in weiterführender Literatur vertieft, auf die an dieser Stelle verwiesen wird[1].

[1] BECKER & KNACKSTEDT (2002A); BECKER & KNACKSTEDT (2002B); BECKER & DELFMANN (2004); THOMAS (2006)

Als eine Zusammenfassung ist festhalten, dass mit der Konstruktion eines Referenzmodells das Wissen über die Abläufe einer bestimmten Branche verankert werden kann. Die Anwendung eines Referenzmodells kann beispielsweise für die Umstrukturierung des Prozesses eines betrachteten Unternehmens genutzt werden. Für die vorliegende Arbeit wird insbesondere das konstruktionsorientierte Verständnis eines Referenzmodells herangezogen, um den Stand der Technik und Forschung von Entwicklungsprozessen abzubilden. Entsprechend den anwendungsspezifischen Gegebenheiten (z. B. verteilte Entwicklung) kann daraus ein Soll-Prozess abgeleitet werden, woraus sich die Ansatzpunkte für eine geeignete Anpassung der Aufbau- und Ablauforganisation ergeben. Diese sogenannte anwendergerechte Gestaltung wird im nachfolgenden Abschnitt weiter ausgeführt.

3.1.4 Anwendergerechte Gestaltung

Neben reinen Reifegradbewertungen von bestehenden Ist-Prozessen sowie Referenzmodellen existieren Arbeiten zur Bestimmung von Soll-Prozessen. In diesem Zuge kann stellvertretend der Ansatz von SPIEGELBERGER (2011) aufgeführt werden, der sich mit der anwendergerechten Gestaltung von Entwicklungsprozessen beschäftigt, um „den mechatronischen Entwicklungsprozess bei kleinen und mittleren Unternehmen des deutschen Maschinenbaus an die individuelle Situation anzupassen und kontinuierlich zu optimieren“ (SPIEGELBERGER 2011, S. 153). Dieser Ansatz begründet sich aus dem Verbesserungspotenzial, welches in „zahlreichen Bereichen der mechatronischen Produktentwicklung“ vorzufinden ist (SPIEGELBERGER 2011, S. 154). Die Reife der einzelnen Prozessgebiete variiert dabei stark, was auf unterschiedliche Einflussfaktoren zurückzuführen ist. Die Unternehmen müssen „in die Lage versetzt werden, einzelne Prozesse in Abhängigkeit der jeweiligen Entwicklungsaufgabe und -situation an ihr Unternehmen anzupassen“ (SPIEGELBERGER 2011, S. 89). Als gezielte Analyse des Ist-Prozesses wird dazu auf Reifegradmodelle zurückgegriffen, um die individuelle Reife für ein betrachtetes Unternehmen hinsichtlich der Prozessgebiete eines mechatronischen Entwicklungsprozesses werkzeuggestützt zu ermitteln. Als Einflussfaktoren auf den Referenzprozess hat SPIEGELBERGER (2011, S. 121-123) beispielsweise produkt-, projekt- und unternehmensspezifische Kriterien (z. B. Organisationsform) herangezogen. Es sind jedoch darüber hinaus „weitere Einflussfaktoren in die Prozessgestaltung mit aufzunehmen“ und fortführende Untersuchungen notwendig, „um ein möglich vollständiges Bild aller relevanten Einflussfaktoren zu erhalten“ (SPIEGELBERGER 2011, S. 155). Dies wird in der vorliegenden Arbeit aufgegriffen. Dazu wird im Besonderen darauf eingegangen werden, anhand welcher Kombination an Einflussfaktoren die anwendungsspezifischen Gegebenheiten eines betrachteten Unternehmens abgebildet werden können.

3.2 Konventionelle Vorgehensmodelle in der Produktentwicklung

In der Produktentwicklung werden Vorgehensmodelle zu Zwecken der Systematisierung von Prozessen eingesetzt. Als zentraler Bestandteil dienen sie dem standardisierten, organisatorischen Rahmen für den optimierten Ablauf von Entwicklungsprojekten durch die Spezifikation von Produkten, Aktivitäten und Rollen (GNATZ 2005, S. 2; KUHRMANN 2008, S. 42; vgl. KALUS 2013, S. 18). Sie sind sowohl als Abstraktion eines wiederkehrenden Musters, d. h. einer deskriptiven Vorgehensweise, als auch als präskriptive Handlungsvorschrift zu verstehen (LINDEMANN 2009, S. 36, 42, 57, 337).

Im vorliegenden Abschnitt sollen die adressierten Nutzenpotenziale benannt (siehe Kapitel 3.2.1) sowie eine Übersicht und Kurzbeschreibung der etablierten Vorgehensmodelle in der Produktentwicklung gegeben werden (siehe Kapitel 3.2.2). In Abgrenzung zu agilen Vorgehensmodellen (siehe Kapitel 3.3) werden jene Vorgehensmodelle der mechatronischen Disziplinen behandelt, die unter dem Begriff der konventionellen Vorgehensmodelle geführt werden (vgl. PONN 2007, S. 172; GRAUPNER 2010, S. 54-57). Im Anschluss werden Ansätze zur Strukturierung (siehe Kapitel 3.2.3), Modularisierung (siehe Kapitel 3.2.4), Weiterentwicklung (siehe Kapitel 3.2.5) und anwendungsspezifischen Anpassung (siehe Kapitel 3.2.6) vorgestellt, bevor der Abschnitt mit dem Lebenszyklus von Vorgehensmodellen (siehe Kapitel 3.2.7) schließt.

3.2.1 Adressierte Nutzenpotenziale

Vorgehensmodelle können für unterschiedliche Anwendungsfälle eingesetzt werden, die in die Bereiche der Schulung, der Dokumentation, des Zeit- und Taskmanagements sowie der Umsetzung in Entwicklungswerkzeugen unterteilt werden (GNATZ 2005, S. 18 f., 36, 38). Die erklärten Nutzenpotenziale sind nachfolgend beschrieben:

- Einheitliche Projektplanung und -organisation sowie Transparenz des Prozesses (HAMMERSCHALL 2008, S. 33 f.; MAUDERER 2013, S. 38)
- Standardisiertes Vorgehen zur vollständigen Prozessbeschreibung und Gewährleistung der Qualitätsansprüche (GNATZ 2005, S. 1 f.)
- Definition einheitlicher Begriffe und Ergebnisse zur Verbesserung der Kommunikation der beteiligten Personen sowie der fachübergreifenden Zusammenarbeit (GNATZ 2005, S. 1 f.; MAUDERER 2013, S. 38)
- Förderung des Prozessdenkens (HAMMERSCHALL 2008, S. 34 f.)
- Konstruktive Qualitätssicherung und Fehlervermeidung (HAMMERSCHALL 2008, S. 35; MAUDERER 2013, S. 38)
- Kontinuierliche Prozessverbesserung (HAMMERSCHALL 2008, S. 35 f.)

Vor dem Hintergrund dieser Ziele haben Vorgehensmodelle laut LINDEMANN (2009, S. 37) ihre Berechtigung bereits in vielen Projekten nachgewiesen. In den Produktentwicklungsprozessen der produzierenden Unternehmen kommen dabei häufig ein oder mehrere Vorgehensmodelle zum Einsatz (GNATZ 2005, S. 17). Es sind dazu nach BENDER (2005. S. 21-25) unterschiedliche Anforderungen an die Vorgehensmodelle zu stellen, wie beispielsweise die Flexibilität, Robustheit, Kundenintegration und Standardisierung.

In der Literatur existieren diverse Beschreibungen, Vergleiche und Bewertungen zu den konventionellen Vorgehensmodellen, die nachfolgend zusammengefasst sind und auf die an dieser Stelle für detaillierte Untersuchungen und weiterführende Informationen verwiesen wird:

- Methodische Planung und Entwicklung, Vorgehensmodelle auf Ebene elementarer Denk- und Handlungsabläufe, Beschreibung operativer Arbeitsschritte und auf Ebene von Abschnitten bzw. Phasen sowie papierbasierte und digitale Methodenkataloge: BRAUN (2005); SEIDEL (2005); PONN & LINDEMANN (2011)
- Anforderungsklärung und -management für mechanischen Konstruktionen: JUNG (2006); SCHEDL (2008)
- Modellbasierte Partitionierung mechatronischer Systeme, Methoden der Plattformentwicklung und zur Entwicklung modularer Produktfamilien: JANSEN (2006); BLEES (2011)
- Modellbasierte Entwicklungsprozesse für Automatisierungslösungen: HENSEL (2011)
- Global verteilte, kooperative und integrierte Produktentwicklung: GIERHARDT (2001); DOHMEN (2003)
- Systems Engineering, Service Engineering und Software Engineering: GRAUPNER (2010)
- Entwicklungsmethodik für SPS-gesteuerte mechatronische Systeme: BATHELT (2006)
- Ablauforientierte Simulation, werkzeugunterstützte Planung und Entwicklung von Fertigungssystemen: BACS (2010); MAUDERER (2013)
- Leistungsbewertung und -steigerung der Mechatronikentwicklung, mechatronische Entwicklungs- und Zuverlässigkeitsprozesse: BALÁŽOVÁ (2004); HOFMANN (2013)
- Einsatz und Verfahren zur Eignungsfeststellung von Vorgehensmodellen: ZIEGLER (2009)

3.2.2 Übersicht und Kurzbeschreibung

Laut LINDEMANN (2009, S. 37-39) können Entwicklungsprozesse aus den verschiedenen Sichtweisen der Logik betrachtet werden. Je nach Auflösungsgrad wird zwischen einer Mikro- und einer Makrologik unterschieden, wie in Abbildung 3-3 dargestellt ist.

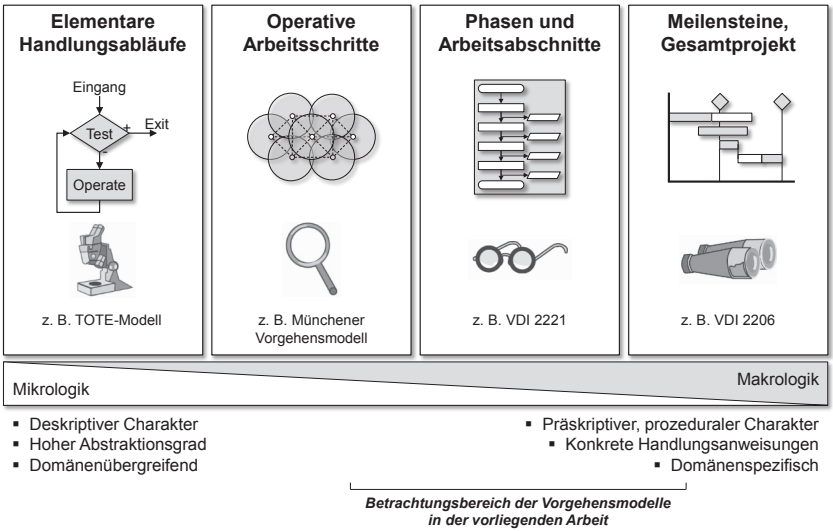


Abbildung 3-3: Auflösungsgrad von Produktentwicklungsprozessen (BRAUN 2005, S. 29; LINDEMANN 2009, S. 38)

Die Vorgehensmodelle der Mikrologik (z. B. TOTE-Modell) haben einen deskriptiven Charakter, d. h. sie beschreiben grundsätzliche Handlungsmuster in einem hohen Abstraktionsgrad, sodass diese domänenübergreifend zur Lösung von verschiedenen Aufgabenstellungen angewendet werden können. Eine Auswahl von etablierten Methoden ist in Tabelle 3-1 gezeigt, in der auch die als *Lean Enabler* (vgl. KIRNER 2014, S. 57) bezeichneten Methoden aus dem *Lean Development* (vgl. GRAEBSCH ET AL. 2007) enthalten sind, die der Vermeidung von Verschwendung in der Produktentwicklung dienen.

Die Vorgehensmodelle der Makrologik (z. B. V-Modell) weisen hingegen einen präskriptiven, prozeduralen Charakter auf, indem sie Handlungsanweisungen für eine bestimmte Situation oder ein domänenspezifisches Problem beinhalten. Je konkreter ein Vorgehensmodell ausgehend von der Mikrologik wird, desto mehr operative Arbeitsschritte (z. B. Münchener Vorgehensmodell) werden für die Problemlösung sowie Phasen und Arbeitsabschnitte (z. B. VDI 2221) für den Ablauf definiert. (BRAUN 2005, S. 27-32; LINDEMANN 2009, S. 37-39)

Tabelle 3-1: Kurzbeschreibung etablierter Methoden der Produktentwicklung[1]

Methode	Kurzbeschreibung	Methode	Kurzbeschreibung
ABC-Analyse	Identifikation wesentlicher Elemente innerhalb einer Gruppe an Objekten	Morphologischer Kasten	Zuordnung von Lösungsmöglichkeiten zur Problemstellung
Black Box	Modellierung der Zusammenhänge zwischen System und Umgebung	Nutzwertanalyse	Differenzierter Vergleich und Reihenfolgebildung von Lösungen
DSM	Visualisierung und Analyse der Struktur eines Systems	QFD	Zielorientierte Ableitung von Schwerpunkten aus den Anforderungen
Einflussmatrix	Ermittlung gegenseitiger Beeinflussung von Elementen	PDCA-Zyklus	Mikrologischer Problemlösungszyklus (auch: Deming-Cycle)
FMEA	Präventive Vermeidung von Produktmängeln	Reverse Engineering	Beschaffung von Informationen über bestehende Lösungen
Funktionsmodellierung	Abbildung der Struktur und des Verhaltens eines technischen Systems	SIL	Simulationstechnische Analyse der Eigenschaften eines Produkts
HIL	Steuerungstechnische Analyse der Eigenschaften eines Produkts	SWOT-Analyse	Analyse der gegenwärtigen Situation und von zukünftigen Entwicklungen
Kano-Modell	Analyse der Zusammenhänge zwischen Qualität und Kundenzufriedenheit	TRIZ	Systematisierung der Lösung von technischen Problemstellungen
Konsistenzmatrix	Ermittlung von Zielkonflikten bei der Kombination von Elementen	Value Stream Mapping	Wertstromanalyse für Produktentwicklungsprozesse
Lean Monitoring Card	Instrument zum Aufzeigen und Nachverfolgen der Lean Development Effekte	Verknüpfungsmatrix	Ermittlung von Zusammenhängen und Abhängigkeiten
Methode 635	Generierung und Weiterentwicklung von Lösungsideen	Verschwendungsanalyse	Identifikation und Bewertung von Verschwendungen

Die vorliegende Arbeit fokussiert die Vorgehensmodelle außerhalb der reinen Mikrologik (vgl. Markierung in Abbildung 3-3). In Bezug zum Untersuchungsbereich sind daher nachfolgend in Tabelle 3-2 jene Vorgehensmodelle vorgestellt, die in den Entwicklungsabteilungen von produzierenden Unternehmen etabliert sind.

[1]Auswahl nach GRAEBSCH ET AL. (2007); LINDEMANN (2009); LINDEMANN ET AL. (2009); PONN & LINDEMANN (2011); REIK ET AL. (2012); WOMACK & JONES (2013); KIRNER (2014)

Tabelle 3-2: Kurzbeschreibung etablierter konventioneller Vorgehensmodelle

Jahr	Name	Kurzbeschreibung
1970	**Wasserfallmodell**[1,2,3] (ROYCE 1970)	Phasenmodell für die Softwareentwicklung
1979	**Stage-Gate-Prozess**[4,5,6] (COOPER 1979)	Normatives Modell zur Standardisierung der Vorgehensweise bei Entwicklungsprojekten
1985	**Y-Modell**[7,8] (WALKER & THOMAS 1985)	Entwicklungsmodell für Digitalelektronik
1988	**Spiralmodell**[1,2,9] (BOEHM 1988)	Iteratives Vorgehen zur Entwicklung von Software
1993	**VDI 2221**[10,11,12] (VDI 2221)	Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte
1994	**VDI/VDE 2422**[7,8,13] (VDI/VDE 2422)	Entwicklungsmethodik für Geräte mit Steuerung durch Mikroelektronik
1997	**Pahl/Beitz**[4,14,15] (PAHL ET AL. 2007)	Vorgehen bei der Produktplanung
1999	**(Rational) Unified Process**[7,9,16] (JACOBSON ET AL. 1999)	Use-Case-getriebe Softwareentwicklung
2003	**W-Modell**[4,15,17] (EVERSHEIM 2003)	Idealtypischer Vorgehensleitfaden zur Planung des Innovationsprozesses
2004	**3-Ebenen-Vorgehensmodell**[17,18,19] (BENDER 2005)	Optimiertes Vorgehensschema für die Entwicklung mechatronischer Produkte
2004	**Münchener Vorgehensmodell**[17,20,21] (LINDEMANN 2004)	Flexible Planung und Gestaltung von Entwicklungsprozessen
2004	**Quality-Gate-Modell**[6,19] (GEISBERGER & SCHMIDT 2005)	Schematischer, interdisziplinärer Entwicklungsprozess
2004	**VDI 2206 / V-Modell**[10,12] (VDI 2206)	Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme
2005	**V-Modell XT**[1,16] (V-Modell XT 2005)	Standardvorgehen für die Durchführung von IT-Projekten der öffentlichen Hand
2006	**Ehrlenspiel**[21,22] (EHRLENSPIEL 2006)	Vorgehenszyklus zur Systemsynthese
2008	**Isermann**[13,23] (ISERMANN 2008)	Entwurfsschritte für mechatronische Systeme

[1]GNATZ (2005, S. 19 f., 24-32); [2]HAMMERSCHALL (2008, S. 32, 90, 126); [3]BISKUP (2010, S. 121-127); [4]SEIDEL (2005, S. 26-29, 35-38); [5]JAHN (2010, S. 64, 99 f.); [6]HAMMERS (2012, S. 44-63); [7]BENDER (2005, S. 26-28, 35-41); [8]DIEHL (2009, S. 40-46); [9]GRAUPNER (2010, 65 f.); [10]BATHELT (2006, S. 10, 20-23); [11]DOHMEN (2003, S. 29-32); [12]BACS (2010, S. 25-30); [13]JANSEN (2006, S. 36 f., 39-41); [14]PAHL ET AL. (2007, S. 103-120); [15]BRAUN (2005, S. 57, 59 f.); [16]KUHRMANN (2008, S. 13-17, 20 f.); [17]PONN (2007, S. 74, 78 f.); [18]FRIEDRICH (2011, S. 10-13); [19]RAUCHENBERGER (2011, S. 36-46); [20]HUTTERER (2005), [21]JUNG (2006, S. 29-43); [22]GIERHARDT (2001, S. 199 f.); [23]ISERMANN (1999 & 2008, S. 33-39)

Die hier vorgestellten Vorgehensmodelle werden den verschärften Anforderungen der mechatronischen Entwicklungsprozesse jedoch seltener gerecht (DIEHL 2009, S. 47 f.; vgl. SPIEGELBERGER 2011, S. 28-35; HELLENBRAND 2013, S. 1 f.), wobei insbesondere die Auswahl eines geeigneten Vorgehensmodells eine besondere Herausforderung darstellt (DRESCHER ET AL. 2013, S. 2-8). Dies begründet sich aus der teilweise unzureichenden Unterstützung, die Vorgehensmodelle für die interdisziplinäre Zusammenarbeit und die Zusammenführung von Entwicklungsergebnissen bieten (DIEHL 2009, S. 47 f.). Es werden dabei insbesondere die Bedürfnisse der Informationstechnik vernachlässigt (KLEIN & REINHART 2014, S. 59), überdies sind die Vorgehensmodelle zumeist oberflächlich und beinhalten keine detaillierten Aktivitäten (DRESCHER & KLEIN ET AL. 2014, S. 1593). Eine Abhilfe versprechen flexible Vorgehensmodelle, die verstärkt auch die Mikrologik fokussieren (DIEHL 2009, S. 48).

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass der Auflösungsgrad von Produktentwicklungsprozessen von der betrachteten Logik abhängig ist. Aufgrund der gewandelten Anforderungen der Produktentwicklung stoßen die hier vorgestellten konventionellen Vorgehensmodelle zunehmend in ihre Grenzen. Die vorliegende Arbeit fokussiert daher maßgeblich agile Vorgehensmodelle, die insbesondere die Mikrologik des Prozesses in den Vordergrund stellen.

3.2.3 Strukturierung

Zur Strukturierung eines Vorgehensmodells können dessen Bestandteile nach GNATZ (2005, S. 39) in Aktivitäten, Rollen und Produkte unterschieden werden. Die übergreifenden und immanenten Beziehungen dieser Bestandteile sind nachfolgend mithilfe einer Modellierungstechnik in Abbildung 3-4 veranschaulicht.

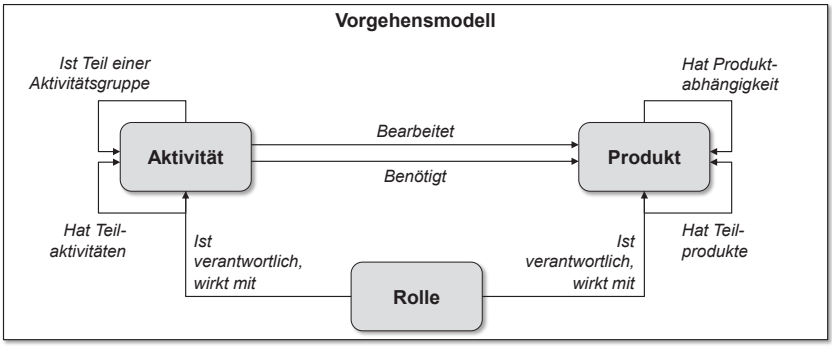


Abbildung 3-4: Beziehungen zwischen den Bestandteilen eines Vorgehensmodells nach GNATZ (2005, S. 39)

Entsprechend den gezeigten Beziehungen liegen die Aktivitäten und Produkte im Verantwortungsbereich einer Rolle. Eine Aktivität kann dabei in Teilaufgaben unterteilt und einer Aktivitätsgruppe zugeordnet werden. Sie dient der Bearbeitung eines Produkts, welches wiederum in voneinander abhängige Teilprodukte untergliedert ist. An diese Darstellung knüpft HAMMERSCHALL (2008, S. 26) an, die als zusätzliche Bestandteile eines Vorgehensmodells die Abläufe sowie Methoden und Hilfskonzepte vorsieht. Darüber hinaus verwendet KUHRMANN (2008, S. 42) auch den Bestandteil des Artefakts, welcher von KALUS (2013, S. 18 f., 30 f.) den Bestandteil des Produkts ablöst, um der funktionsorientierten Denkweise Rechnung zu tragen. Das heutige Verständnis der Struktur eines Vorgehensmodells ergibt sich somit aus den Abläufen, Aktivitäten, Artefakten, Hilfsmitteln und Rollen, wie in Abbildung 3-5 dargestellt ist.

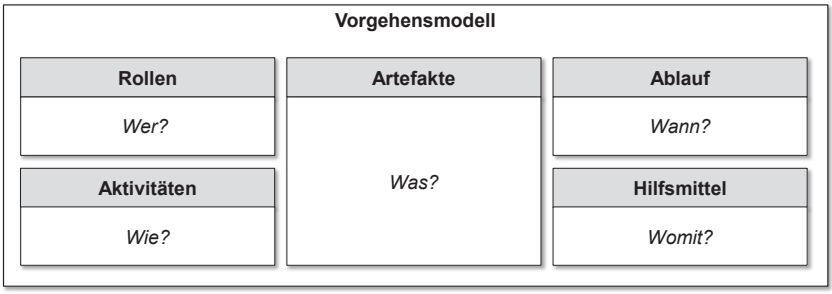


Abbildung 3-5: Struktur eines Vorgehensmodells (HAMMERSCHALL 2008, S. 26; KUHRMANN 2008, S. 42; BROY & KUHRMANN 2013, S. 87; KALUS 2013, S. 19)

Die Bestandteile eines Vorgehensmodells können demnach wie folgt beschrieben werden. Die *Artefakte* beinhalten in einer dokumentenähnlichen Form (z. B. Tabelle), *was* in einem Projekt im Sinne eines Produkts zu entwickeln ist und welche (Zwischen-) Ergebnisse dabei zu erzeugen sind. *Wie* mit den Artefakten umzugehen ist, z. B. deren Erstellung, Bearbeitung und Verwendung, bestimmen die damit verknüpften *Aktivitäten*. *Wer* dabei welche Tätigkeiten und Verantwortlichkeiten ausübt, ist wiederum in der Beschreibung der *Rollen* vermerkt. *Wann* die Aktivitäten und zugehörigen Artefakte zeitlich aufeinanderfolgen, ist im *Ablauf* hinterlegt, der beispielsweise unterschiedliche Phasen oder Meetings beinhalten kann. Darüber hinaus stehen *Hilfsmittel* zur Verfügung die beschreiben, *womit* die Aktivitäten durchgeführt werden können (HAMMERSCHALL 2008, S. 26-28; BROY & KUHRMANN 2013, S. 87).

Die Strukturierung von Vorgehensmodellen soll im Rahmen der vorliegenden Arbeit herangezogen und auf die agilen Vorgehensmodelle angewendet werden. Die Darstellung eines Vorgehensmodells in der gezeigten Struktur wird dazu, in Anlehnung an das Beschreibungsblatt von HOFMANN (2013, S. 58), als Kennkarte bezeichnet.

3.2.4 Modularisierung

Aus den inhaltlichen Beziehungen zwischen den Bestandteilen eines Vorgehensmodells ergibt sich häufig ein „dichtes Abhängigkeitsgeflecht“, das für eine flexible Zusammenstellung der Bestandteile im Sinne eines modularen Baukasten-Prinzips eine Definition von „Sollbruchstellen“ erforderlich macht (KUHRMANN 2008, S. 70, 77 f.). Zur Bestimmung solcher Schnittstellen ist die Kenntnis der strukturellen und inhaltlichen Abhängigkeiten innerhalb eines Vorgehensmodells notwendig. KUHRMANN (2008, S. 69-71) zeigt in diesem Kontext die Möglichkeit der Externalisierung von Abhängigkeiten auf, um direkte Assoziationen oder Brückenelemente zu identifizieren. Zur Visualisierung der Abhängigkeiten kann ein einfacher Graph mit ungerichteten Kanten eingesetzt werden, in denen die Bestandteile der Abläufe, Aktivitäten, Artefakte, Hilfsmittel und Rollen als Knoten eingetragen sind, die über nicht weiter spezifizierte Verknüpfungen miteinander in Beziehung stehen. Dabei werden die internen Strukturen vernachlässigt und, mit Ausnahme der Artefakte, nur klassenübergreifende Abhängigkeiten vermerkt. Ein Beispiel für einen Graph zur Modularisierung eines Vorgehensmodells ist in Abbildung 3-6 beispielhaft anhand der Rolle des Projektleiters gezeigt, der drei Artefakte verantwortet und die zugehörigen Aktivitäten ausführt. (KUHRMANN 2008, S. 69-71)

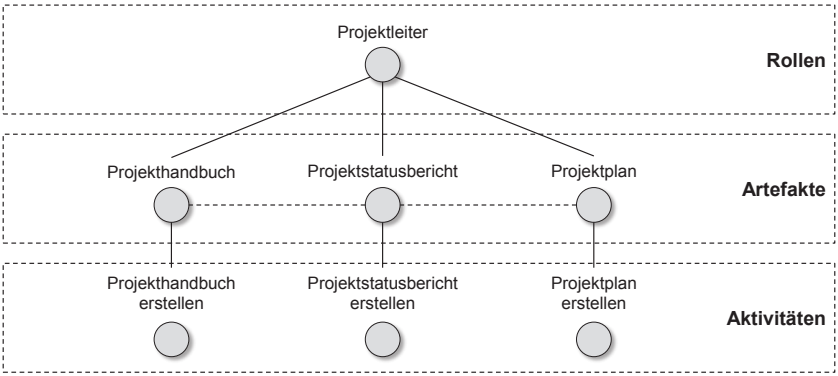


Abbildung 3-6: Graph zur Modularisierung eines Vorgehensmodells nach KUHRMANN (2008, S. 70)

Mithilfe des Graphs zur Modularisierung eines Vorgehensmodells können die Bestandteile und deren Abhängigkeiten untereinander visualisiert werden. Dies steigert nach KUHRMANN (2008, S. 69-71) sowohl die Flexibilität als auch die Stabilität und dient dem Anwender als ein grafisches Hilfsmittel zur Konfiguration bzw. Definition der Schnittstellen eines Vorgehensmodells. Die Modularisierung ist für konventionelle Vorgehensmodelle durch inbegriffene Ansätze häufig immanent (z. B. V-Modell XT),

findet bei adaptiven bzw. flexiblen Vorgehensmodellen aber erst während des Prozesses statt (KALUS 2013, S. 56). Im Kontext von konventionellen Vorgehensmodellen sind dazu Begriffe rund um formale Metamodelle anzutreffen, die die Strukturmerkmale eines zu modellierenden Systems beschreiben (vgl. DELP 2006, S. 41). Diese werden in der vorliegenden Arbeit nicht weiter ausgeführt, weshalb anstelle dessen an dieser Stelle auf weiterführende Literatur verwiesen wird[1].

Als eine Zusammenfassung dieses Abschnitts ist festhalten, dass die Beziehungen und Sollbruchstellen zwischen den Bestandteilen eines Vorgehensmodells im Sinne eines modularen Baukastens mit Hilfe eines Graphs visualisiert werden können. Die Abhängigkeiten innerhalb der Bestandteile werden dabei zunächst ausgeblendet. Die aufgeführten Ansätze beziehen sich hauptsächlich auf konventionelle Vorgehensmodelle, denen eine Modularisierung zum Teil inbegriffen ist. Dies ist für agile Vorgehensmodelle in der Regel nicht der Fall, zudem existieren bislang keine vergleichbaren Betrachtungen. Der aufgeführte Ansatz soll daher in der vorliegenden Arbeit aufgegriffen und auf agile Vorgehensmodelle übertragen werden.

3.2.5 Weiterentwicklung

Zur konfigurationsbasierten und modularen Weiterentwicklung von Vorgehensmodellen können Strukturkonzepte im Rahmen eines integrierten Modellierungsansatzes verwendet werden. Ein Vorgehensmodell kann demnach hinsichtlich verschiedener Hierarchieebenen unterschieden werden. Dies ist anhand eines Beispiels nachfolgend in Abbildung 3-7 veranschaulicht.

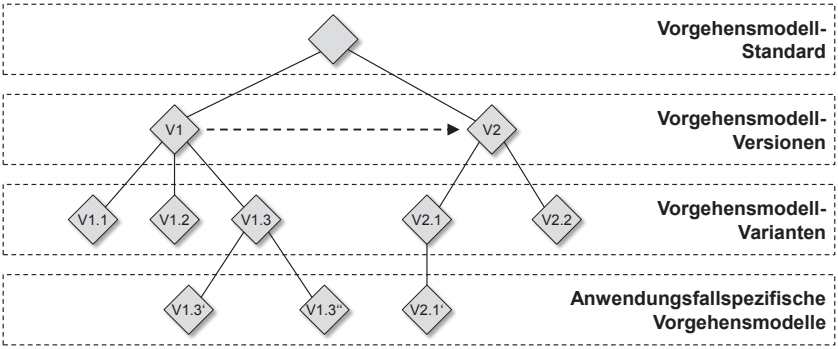


Abbildung 3-7: Hierarchieebenen von Vorgehensmodellen (KUHRMANN 2008, S. 84 f.)

[1]GNATZ (2005); DELP (2006); HAMMERSCHALL (2008); KUHRMANN (2008); BROY & KUHRMANN (2013); KALUS (2013)

In diesem Zuge spricht KUHRMANN (2008, S. 84) von einem Vorgehensmodellstandard, einer Vorgehensmodellversion, einer Vorgehensmodellvariante sowie einem projekt-, d. h. anwendungsspezifischen, Vorgehensmodell. Ein Vorgehensmodellstandard enthält „die wesentlichen strukturellen Basiseigenschaften […], die für die Erstellung von Vorgehensmodellen notwendig sind“ (KUHRMANN 2008, S. 85). Dies entspricht den zuvor dargestellten Bestandteilen eines Vorgehensmodells. Ein Vorgehensmodellstandard ist generisch gehalten und wird möglichen Endanwendern von einer unabhängigen Organisation zur Verfügung gestellt. Die Organisation wendet den Standard in der Regel nicht selber an, sondern macht es sich zur Aufgabe, diesen zu entwickeln, zu pflegen und zu veröffentlichen. Aus dem Standard leiten sich Versionen (auch: Releases) ab, die „eine konsistente, abgestimmte Zusammenstellung aller Komponenten eines Vorgehensmodells ohne die Berücksichtigung ausgewählter Teilaspekte“ repräsentieren (KUHRMANN 2008, S. 85). Diese können wiederum einer spezifischen oder punktuellen Anpassung unterzogen werden, womit „eine Teilmenge der zur Verfügung stehenden Komponenten des Gesamtmodells adressiert“ wird (KUHRMANN 2008, S. 85). Dieser Prozess erfolgt in der Regel unter Berücksichtigung der spezifischen Gegebenheiten eines konkreten Anwendungsfalls (vgl. HAMMERSCHALL 2008, S. 3-6). (KUHRMANN 2008, S. 84 f.)

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Hierarchieebenen eines Vorgehensmodells in einen Standard, eine Version, eine Variante und ein anwendungsspezifisches Vorgehensmodell unterschieden werden können. In der vorliegenden Arbeit werden insbesondere die Ebene des Vorgehensmodellstandards in der aktuellen Version sowie die Ebene des anwendungsspezifischen Vorgehensmodells herangezogen, um der Aktualität sowie dem Anwendungsbezug Rechnung zu tragen.

3.2.6 Anwendungsspezifische Anpassung

In der industriellen Praxis genügt ein Vorgehensmodellstandard in seiner ursprünglichen Gestaltung den spezifischen Gegebenheiten eines konkreten Anwendungsfalls nicht vollumfänglich (HRUSCHKA & RUPP 2002, S. 19; KALUS 2013, S. 23). Vorgehensmodelle werden auf unterschiedlichen Ebenen angepasst, wobei anwendungsspezifische Vorgehensmodelle erarbeitet bzw. eingesetzt werden (BUSCHERMÖHLE 2010, S. 221). Dieser Vorgang wird häufig unter dem Begriff *Tailoring* geführt. Er beschreibt die anwendungsspezifische „Anpassung eines vorgegebenen Vorgehensmodells zu Projektbeginn auf Basis der Projektcharakteristika durch einen Anwender des Vorgehensmodells, [wodurch eine] für das Projekt spezialisierte Ausprägung des allgemeinen Vorgehensmodells erstellt“ wird (KALUS 2013, S. 25). Für die anwendungsspezifische Anpassung ist an dieser Stelle insbesondere der Ansatz von KALUS (2013) hervorzuheben, der Mechanismen zur Beschreibung von Kriterien und deren Wirkung

auf die Bestandteile eines Vorgehensmodells umfasst. Dies soll es ermöglichen, das Tailoring transparent und nachvollziehbar zu gestalten, wobei sogenannte *Operatoren* auf die unterschiedlichen Elemente (zumeist die Bestandteile) eines Vorgehensmodells angewendet werden. Diese Tailoring-Operatoren dienen dem Hinzufügen eines Elements in ein Ziel-Vorgehensmodell, dem Reduzieren, Entfernen oder Detaillieren eines Elements aufgrund eines unpassenden Umfanges, dem Umdefinieren eines Elements auf spezifische Projektgegebenheiten sowie dem Ersetzen eines Elements durch ein anderes Element (KALUS 2013, S. 41).

Der Betrachtungsfokus von KALUS (2013) beschränkt sich dabei ausschließlich auf konventionelle Vorgehensmodelle, insbesondere auf das V-Modell XT. Agile Vorgehensmodelle finden keine gesonderte Berücksichtigung, da diese aufgrund der zugrundeliegenden Philosophie sowie des schlanken Charakters schwer formalisierbar seien (KALUS 2013, S. 81-85). Dies ist für viele agile Vorgehensmodelle zutreffend. Im speziellen Fall des agilen Vorgehensmodells Scrum bedeutet dies hingegen, dass die Bestandteile „unmittelbar mit dem Vorgehen selbst in Bezug stehen“ und keine konkreten Aktivitäten und „Vorgaben für Artefakte zur Angebotserstellung, Anforderungserhebung, Spezifikation, Tests usw.“ bestehen (KALUS 2013, S. 82). Die Formalisierung eines Prozesses kommt somit durch die Integration der agilen Techniken in konkrete Aktivitäten zustande (vgl. WIRDEMANN 2011, S. 27 f.). Eine anwendungsspezifische Adaption ist deshalb auch bei agilen Vorgehensmodellen erforderlich (KALUS 2013, S. 84). Jedoch fehlt es nach KALUS (2013, S. 210) derzeit aber an einer Systematik, nach welchen Kriterien eine anwendungsspezifische Anpassung von agilen Vorgehensmodellen in der Praxis vorgenommen werden kann. In der vorliegenden Arbeit soll daher auf den bestehenden Ansatz zurückgegriffen werden. Da sich die Vorarbeiten auf die Anpassung von konventionellen Vorgehensmodellen beschränkten, sind diese hinsichtlich einer Systematik weiterzuentwickeln, um auch agile Vorgehensmodelle an die anwendungsspezifischen Gegebenheiten anpassen zu können.

3.2.7 Lebenszyklus

Um einen Vorgehensmodellstandard oder ein anwendungsspezifisches Vorgehensmodell kontinuierlich zu verbessern, können Lebenszyklusmodelle eingesetzt werden, die somit ähnliche Ziele wie Innovations- und Lifecycle-Managementprozesse der Produktentwicklung verfolgen (vgl. LINK 2014, S. 69-71). Häufig werden die Lebenszyklen jedoch weitgehend unabhängig voneinander betrachtet. Da anwendungsspezifische Vorgehensmodelle auf einem Standard beruhen, sind Synchronisierungspunkte zwischen dem Vorgehensmodellstandard und den anwendungsspezifischen Vorgehensmodellen unabdingbar, um die fortwährende Weiterentwicklung zu unterstützen. Dies ist nachfolgend in Abbildung 3-8 dargestellt. (HAMMERSCHALL, S. 117 f.)

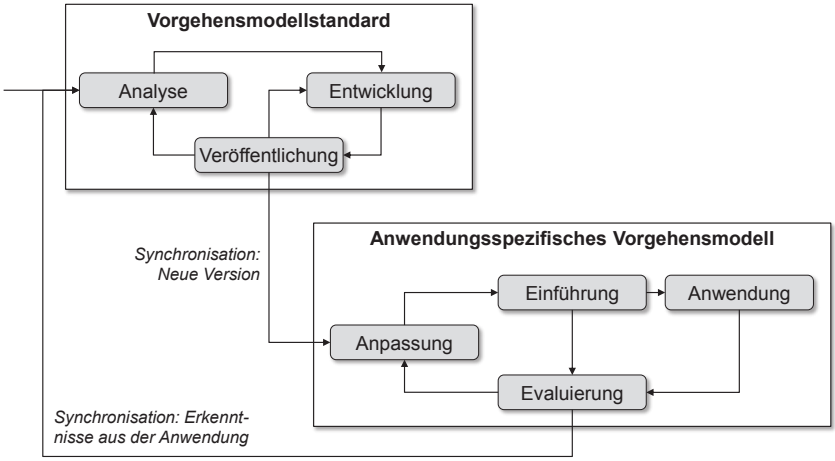


Abbildung 3-8: Synchronisation von Lebenszyklusmodellen in Anlehnung an HAMMERSCHALL (2008, S. 118 f.)

Das Ziel eines Lebenszyklusmodells für einen Vorgehensmodellstandard ist die kontinuierliche Pflege und Weiterentwicklung. Die Analyse dient der Bestimmung der Anforderungen an den Standard, wozu die Erkenntnisse und Bedürfnisse aus der Anwendung heranzuziehen sind. Die Anforderungen werden daraufhin in der Entwicklungsphase ausgearbeitet, wodurch eine neue Version entsteht (vgl. Abbildung 3-7), die über eine geeignete Plattform veröffentlicht und somit den Anwendern zur Verfügung gestellt wird. Zu den möglichen Anwendern des Standards zählen „beliebige Unternehmen, Behörden und Organisationen, die ihre Projekte nach den Vorgaben eines Vorgehensmodellstandards durchführen möchten“ (HAMMERSCHALL 2008, S. 119). Hierzu wird in der Regel der bereitgestellte Vorgehensmodellstandard in der aktuellen Version herangezogen. In der ersten Phase erfolgt die Anpassung des Standards an die anwendungsspezifischen Gegebenheiten. Diese können organisations- und projektspezifischer Art sein. Je nach Vorgehensmodell (z. B. V-Modell XT) ist ein individuelles Verfahren bzw. eine Werkzeugunterstützung gegeben (HAMMERSCHALL 2008, S. 123). Im Anschluss folgt die Einführung des anwendungsspezifischen Vorgehensmodells in die Organisation, wozu entsprechende Einführungsstrategien (inkl. Schulungen, Informationsveranstaltungen etc.) zum Einsatz kommen können. Das anwendungsspezifische Vorgehensmodell gilt dann als „verbindlicher Leitfaden“ für die Durchführung des Projekts (HAMMERSCHALL 2008, S. 120). Parallel erfolgen erste Evaluierungen, die den Nutzen des neuen Vorgehensmodells herausstellen. Erkenntnisse daraus sollten den Organisationen zurückgespiegelt werden, um diese als Anforderungen für die nachfolgende, neue Version des Vorgehensmodellstandards berücksichtigen zu können. (HAMMERSCHALL 2008, S. 117-124)

Bekannte Modelle rund um die Einführung und Anpassung von Vorgehensmodellen sowie die Bewertung von Prozessen sind unter anderem das Software Process Improvement (SPI), das IDEAL-Modell, Qualitätsmanagementmodelle (z. B. ISO 9000), Reifegradmodelle (z. B. CMMI) und Assessmentmodelle (z. B. SCAMPI), zu denen an dieser Stelle auf weiterführende Literatur verwiesen wird[1].

Zusammenfassend lässt sich ein Abhängigkeitsverhältnis zwischen einem angebotenen Vorgehensmodellstandard und einem anwendungsspezifischen Vorgehensmodell feststellen. Es ist dabei erforderlich, sowohl den Standard einer Organisation als auch das anwendungsspezifische Vorgehensmodell eines Unternehmens laufend zu synchronisieren und zu verbessern. In der vorliegenden Arbeit kann auf den erläuterten Ansatz zurückgegriffen werden, der sich insbesondere für resultat- bzw. produktorientierte Vorgehensmodelle eignet (wie z. B. agile Vorgehensmodelle), die nicht den Ablauf bzw. die Reihenfolge von Aktivitäten in den Vordergrund stellen.

3.3 Agile Vorgehensmodelle in der Softwareentwicklung

Im Gegensatz zu den präskriptiven Ansätzen der konventionellen, plangeleiteten Vorgehensmodelle (vgl. HRUSCHKA ET AL. 2009, S. 97-100; BISKUP 2010, S. 127 f.), kommen in der reinen Softwareentwicklung zunehmend leichtgewichtige und adaptive Ansätze zum Einsatz (KOMUS 2012, S. 19; RUBIN 2014, S. 74). Seit der Formulierung des agilen Manifests hat die agile Softwareentwicklung in Praxis und Forschung ein breites Interesse eingenommen und sich sowohl zeitlich als auch thematisch stark entwickelt (vgl. DINGSØYR ET AL. 2012). In diesem Zusammenhang finden häufig die Begriffe der agilen Methoden, (Vorgehens-) Modelle, Vorgehensweisen oder agilen Methodiken (vgl. BARON & HÜTTERMANN 2010, S. 161; HANSER 2011, S. V-X; BOROWSKI & HENNING 2013, S. 27) eine zumeist synonyme Anwendung, die in der vorliegenden Arbeit unter dem Begriff der agilen Vorgehensmodelle geführt werden. Agile Vorgehensmodelle dienen der iterativen Entwicklung von Produkten, wobei Inkremente (z. B. Teilprodukte) in wiederkehrenden Zyklen realisiert und dem Kunden in regelmäßigen Zeitabständen ausgeliefert werden. Die Entwicklung ist von einem hohen Maß an informeller Kommunikation geprägt, während der Kunde aktiv in den Prozess einbezogen wird. Dies gewährleistet ein hohes Maß an Kooperation und eine proaktive Reaktion auf sich ergebende Änderungen. (SOMMERVILLE 2012, S. 86 f.)

Im vorliegenden Abschnitt wird zunächst eine Übersicht und Kurzbeschreibung der etablierten agilen Vorgehensmodelle gegeben (siehe Kapitel 3.3.1), bevor eine

[1] HAMMERSCHALL (2008, S. 41-46, 120); JAHN (2010, S. 100-112); BROY & KUHRMANN (2013, S. 345-354); RUBIN (2014, S. 70)

ausführliche Abgrenzung zu konventionellen Vorgehensmodellen vorgenommen wird (siehe Kapitel 3.3.2). Den Kern des Abschnitts bildet die allgemeine Untersuchung der zugrundeliegenden Werte und Bestandteile (siehe Kapitel 3.3.3) sowie die spezifische Analyse der beinhalteten Elemente und Techniken der etablierten agilen Vorgehensmodelle (siehe Kapitel 3.3.4).

3.3.1 Übersicht und Kurzbeschreibung

Als Grundlage der agilen Vorgehensmodelle gilt das agile Manifest (vgl. Kapitel 2.4), seit dessen Ursprung sich bis heute eine Vielzahl an unterschiedlichen Vorgehensmodellen in verschiedenen Branchen der industriellen Praxis verbreitet hat (KOMUS 2012, S. 74). In der Literatur werden nach dem aktuellen Stand der Erkenntnisse über 30 agile Vorgehensmodelle unterschieden, die als Übersicht dem Anhang entnommen werden können (siehe Anhang A2). Die wichtigsten agilen Vorgehensmodelle sind in Anlehnung an weiterführende Arbeiten[1] unter Angabe des Begründers und des Erscheinungsjahrs in Abbildung 3-9 zusammengefasst.

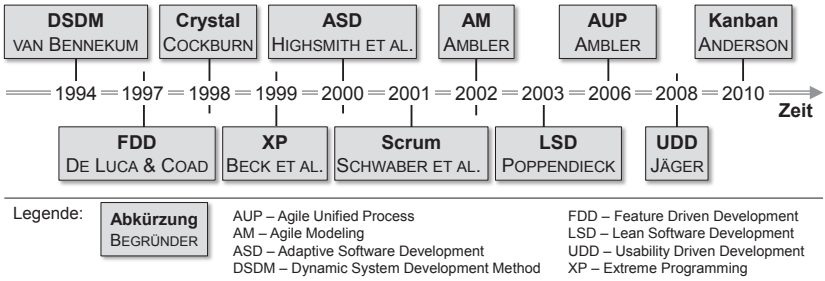


Abbildung 3-9: Historie etablierter agiler Vorgehensmodelle

Der Begriff des Vorgehensmodells ist dabei nicht immer vollständig zutreffend (z. B. beim Agile Modeling, BISKUP 2010, S. 118), soll aber wie eingangs erwähnt in der vorliegenden Arbeit durchgängig verwendet werden. Ähnlich verhält es sich bei Ansätzen des Agile Unified Process bzw. des Feature Driven Developments, die an dieser Stelle alle Ausprägungen (z. B. „rational“ und „open“ sowie „requirements“, „model“ und „test“) repräsentieren. In der Praxis sind darüber hinaus viele weitere, proprietäre Abwandlungen dieser Vorgehensmodelle vorzufinden, die hier nicht weiter ausgeführt werden (GNATZ 2005, S. 17; BUSCHERMÖHLE ET AL. 2010, S. 221). Stattdessen folgt eine Kurzbeschreibung der etablierten agilen Vorgehensmodelle, die in Tabelle 3-3 unter Angabe von Verweisen zusammengefasst sind.

[1] HIGHSMITH (2002, S. XV-XVII); KOMUS (2012, S. 74); KROPP & MEIER (2012, S. 12); SWISS Q (2013, S. 7); VERSIONONE (2013, S. 4); KOMUS (2014, S. 41)

Tabelle 3-3: Kurzbeschreibung etablierter agiler Vorgehensmodelle

Jahr	Name	Kurzbeschreibung
1994	**Dynamic Systems Development Method (DSDM)**[1,2,3] (DSDM Consortium 2015)	Framework für die Anwendung eines prototypischen Vorgehensmodells zur schnellen Entwicklung von Anwendungen unter Berücksichtigung definierter Prinzipien
1997	**Feature Driven Development (FDD)**[1,2] (COAD ET AL. 1999)	Fünfphasige Prozessabfolge mit Best Practices für die iterative Entwicklung von Software mit Fokus auf die Phasen Design und Building
1998	**Crystal**[1,4,5,6,7] (COCKBURN 1998)	Anwendungsspezifische Auswahl und Anpassung eines Prozessmodells anhand der Kriterien Teamgröße und Projektkritikalität
1999	**Extreme Programming (XP)**[3,4,5,8] (BECK 1999)	Synthese an Ideen und Ansätzen aus bestehenden Methoden für Planungs- und Entwicklungsaktivitäten für Software
2000	**Adaptive Software Development (ASD)**[1,2,4] (HIGHSMITH 2000)	Adaptiver Lebenszyklus für Softwareentwicklung inklusive Entwicklungsphilosophie für Änderungsmanagement
2001	**Scrum**[3,4,5,8,9,10] (SCHWABER & BEEDLE 2001)	In der Softwareentwicklung verbreitet eingesetztes Framework für Systementwicklungen und Projektmanagement
2002	**Agile Modeling (AM)**[1,2,11] (AMBLER 2002)	Werte, Prinzipien und Methoden zur effizienten Modellierung in Kombination mit agilen Vorgehensmodellen
2003	**Lean Software Development (LSD)**[2,12] (POPPENDIECK & POPPENDIECK 2003)	Überführung des Lean-Gedankens aus der Produktion (Toyota Produktionssystem) und der IT in sieben Prinzipien zur Softwareentwicklung
2006	**Agile Unified Process (AUP)**[1*,3,4*,9*] (AMBLER 2006)	Hybrider Modellierungsansatz des Rational Unified Process mit agiler Softwareentwicklung
2008	**Usability Driven Development (UDD)**[13] (JAEGER 2008)	Iterativer Entwicklungsprozess mit Fokus auf die Benutzbarkeit eines Systems
2010	**Kanban**[14,15] (ANDERSON 2010)	Softwareentwicklung unter Berücksichtigung von Durchlaufzeiten, Engpässen etc., vergleichbar mit der gleichnamigen Methode zur Produktionsprozesssteuerung

[1]ABRAHAMSSON (2002, S. 36-73, 82); [2]HIGHSMITH (2002, S. 86, 138-143, 149-165, 173-179); [3]SAUER (2010, S. 127-138, 225-233); [4]HRUSCHKA ET AL. (2009, S. 51-91); [5]HANSER (2011, S. 13-77); [6]COCKBURN (2004); [7]TREPPER (2012, S. 88-95); [8]SOMMERVILLE (2012, S. 94-105); [9]BROY & KUHRMANN (2013, S. 99-105); [10]GLOGER (2013A); GLOGER (2013B); [11]BISKUP (2010, S. 118-121); [12]POPPENDIECK (2002, S. 2 f.); [13]JAEGER (2008); [14]EPPING (2011); [15]LEOPOLD & KALTENECKER (2012); *vgl. RUP

In der industriellen Praxis stellt sich häufig die Frage, welches agile Vorgehensmodell für einen bestimmten Anwendungsfall geeignet ist. Sie befasst sich also mit der Untersuchung der inbegriffenen Bestandteile, die bislang jedoch nur unzureichend analysiert wurden. Stattdessen existieren diverse Arbeiten, die die Stärken bzw. Schwächen von agilen Vorgehensmodellen übergreifend herausgearbeitet bzw. den Einsatz studientechnisch erfasst haben, auf die an dieser Stelle verwiesen wird[1].

Als Zusammenfassung lässt sich festhalten, dass in der Literatur und der industriellen Praxis eine Vielzahl an agilen Vorgehensmodellen vorzufinden ist, die größtenteils um die Zeit des agilen Manifests entstanden sind. Um diese vergleichbar zu machen, existieren diverse Ansätze, welche die Vorgehensmodelle als Ganzes hinsichtlich Kriterien einordnen bzw. deren Einsatzbedingungen behandeln. Eine fundierte Untersuchung auf ähnliche Bestandteile ist jedoch nicht vorzufinden und soll daher in der vorliegenden Arbeit durchgeführt werden.

3.3.2 Abgrenzung zu konventionellen Vorgehensmodellen

Agile Vorgehensmodelle sollen Projekte vor allem gegen Veränderungen während der Entwicklungszeit (z. B. neue Anforderungen seitens des Kunden) robust machen (KALUS 2013, S. 81). Sie unterscheiden sich damit von den plangeleiteten, konventionellen Vorgehensmodellen, die keine gesonderte Rückkopplungen mit dem Kunden vorsehen. Im vorliegenden Abschnitt wird eine Abgrenzung von konventionellen und agilen Vorgehensmodellen vorgenommen. Dies erfolgt über einen Vergleich des Prozessverständnisses (siehe Kapitel 3.3.2.1), einer Einordnung der Vorgehensmodelle anhand von Kriterien (siehe Kapitel 3.3.2.2) und einer Betrachtung der Einsatzbedingungen (siehe Kapitel 3.3.2.3). Es werden daraufhin der Eignungsgrad (siehe Kapitel 3.3.2.4) sowie Ansätze für die Auswahl von konventionellen bzw. agilen Vorgehensmodellen vorgestellt (siehe Kapitel 3.3.2.5).

3.3.2.1 Prozessverständnis

In Bezug auf das Prozessverständnis von konventionellen und agilen Vorgehensmodellen bestehen Gemeinsamkeiten. Der Prozess kann nach dem Wasserfallmodel vereinfacht in die Phasen der Anforderungen, des Entwurfs, der Realisierung und der Abnahme unterteilt werden (vgl. ROYCE 1970). Denn während ein konventioneller

[1] ABRAHAMSSON (2002, S. 86-97); KETTER ET AL. (2009); TAROMIRAD & RAMSIN (2009); FERNANDES & ALMEIDA (2010); CHOWDHURY & HUDA (2011); GOLL (2012); KOMUS (2012, S. 72-95); KROPP & MEIER (2012); SJØBERG ET AL. (2012); HAMED & ABUSHAMA (2013); VERSIONONE (2011 & 2013); KOMUS (2014, S. 38-82)

Entwicklungsprozess diese Phasen sequenziell durchschreitet oder einzelne Rücksprünge erlaubt, kann ein agiler Entwicklungsprozess als eine wiederkehrende Sequenz dieser Phasen beschrieben werden. Dies ist anhand einer schematischen Gegenüberstellung in Abbildung 3-10 veranschaulicht.

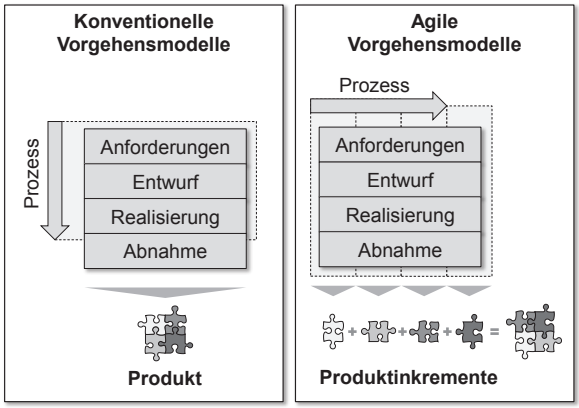


Abbildung 3-10: Schematische Gegenüberstellung des Prozesses bei Verwendung von konventionellen und agilen Vorgehensmodellen in Anlehnung an JOHNSON (2011)

Auf der linken Seite ist der Entwicklungsprozess unter Verwendung von konventionellen Vorgehensmodellen dargestellt. Die sequenziellen Phasen sind darauf ausgerichtet, am Ende das Produkt vollständig auszuliefern. Ein Prozess unter Verwendung eines agilen Vorgehensmodells, dargestellt auf der rechten Seite, reiht hingegen diese Phasen wiederkehrend aneinander. Die Phasen werden also wiederkehrend durchlaufen, wobei nach jeder Iteration ein auslieferungsfähiges Produktinkrement, d. h. ein Teil eines endgültigen Systems, erzeugt wird. Dieses kann losgelöst und in Verbindung mit bereits bestehenden Inkrementen getestet und sukzessive bis zum fertigen Produkt integriert werden. In welcher Reihenfolge die Phasen dabei durchlaufen werden, ist nicht zwingend festgelegt sondern steht im Ermessen des Entwicklungsteams. Da sich zeitgleich mehrere Inkremente in Bearbeitung befinden können, kann insbesondere bei diskontinuierlichen Auslieferungen von der üblichen Reihenfolge abgewichen werden. Dies wird an späterer Stelle (siehe Kapitel 5.3.3.2) weiter ausgeführt.

Diese Betrachtung kann anhand der Auslieferung der realisierten Produktinkremente bzw. des realisierten Produkts fortgeführt werden. Dazu ist der zu erzielende Entwicklungsfortschritt eines Projekts unter Verwendung von konventionellen bzw. agilen Vorgehensmodellen heranzuziehen, wie in Abbildung 3-11 schematisch anhand eines fiktiven Softwareentwicklungsprojekts veranschaulicht ist.

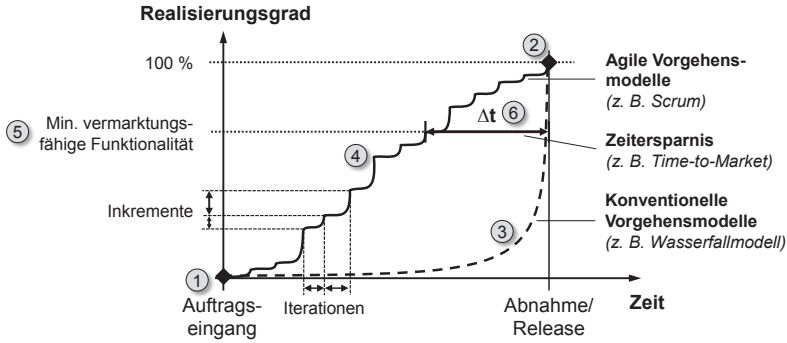


Abbildung 3-11: Schematische Gegenüberstellung des Entwicklungsfortschritts bei Verwendung von konventionellen und agilen Vorgehensmodellen nach EBBERT-KARROUM & NOVAKOVIC (2010, S. 4)

Auf der horizontalen Achse ist die Zeit im Entwicklungsprojekt aufgetragen, die vertikale Achse gibt den Grad an realisierten Funktionen des Produkts wieder. Die Betrachtung geht davon aus, dass zu einem Anfangszeitpunkt ein Auftrag ausgelöst (1) und ein Projekt zugleich unter Anwendung eines konventionellen und eines agilen Vorgehensmodells durchgeführt wird. Die Betrachtung erfolgt unter der Annahme, dass das Produkt im gleichen Zeitabschnitt vollständig entwickelt werden kann (2). Als Beispiele für typische Entwicklungsfortschritte wird dabei auf das Wasserfallmodell (3) als etabliertes konventionelles Vorgehensmodell (NERUR ET AL. 2005, S. 74; KIRCHHOF & AGHAJANI 2010, S. 4), sowie das am weitesten verbreitete agile Vorgehensmodell (4) Scrum (KOMUS 2012, S. 2) zurückgegriffen.

Unter Verwendung des konventionellen Wasserfallmodells ist vorgesehen, zunächst die Anforderungen vollständig zu klären, bevor diese umgesetzt und vom Kunden abgenommen werden. Es finden keine planmäßigen Aktivitäten statt, erste Funktionalitäten des Produkts schon frühzeitig an den Kunden zu liefern. Scrum sieht hingegen vor, schon in der frühen Phase erste Funktionalitäten des Produkts zu realisieren und auszuliefern. Der Prozess läuft dabei iterativ ab und ist in Zyklen gleicher Länge unterteilt, wobei die sukzessive Auslieferung von ersten Ergebnissen in wiederkehrenden Zeitabschnitten angestrebt wird. Dazu werden nach Möglichkeit jene Funktionalitäten priorisiert, welche dem Kunden den größten Mehrwert liefern. In dem Diagramm ist eine minimale Funktionalität eingetragen (5), ab der eine Vermarktung des Produkts möglich ist. Anhand des Entwicklungsfortschritts wird deutlich, dass ein agiles Vorgehensmodell auf ein kürzeres Time-to-Market (6) ausgerichtet ist. Gleichermaßen ergibt sich daraus die Möglichkeit, bereits für einen Teil des geplanten Produkts bereits erste Erlöse zu erzielen.

Zusammenfassend können agile Vorgehensmodelle als eine iterative Durchführung eines konventionellen Vorgehens beschrieben werden. Die wesentlichen Unterschiede liegen im wiederkehrenden Prozess und in der kontinuierlichen Auslieferung von Produktinkrementen, die unter anderem ein früheres Time-to-Market gewährleisten. Durch eine regelmäßige Rückkopplung mit dem Kunden können zudem erforderliche Änderungen sowie die Vermarktungsfähigkeit von Teilprodukten frühzeitig angestrebt werden. Neben dem Prozessverständnis können konventionelle und agile Vorgehensmodelle hinsichtlich weiterer Kriterien gegenübergestellt und eingeordnet werden, die im nachfolgenden Abschnitt dargestellt sind.

3.3.2.2 Einordnung

Um die Vielzahl an Vorgehensmodellen vergleichbar zu machen, können Kriterien herangezogen werden. Diese dienen der Einordnung von Vorgehensmodellen nach unterschiedlichen Gesichtspunkten und sollen im Weiteren für eine Gegenüberstellung von konventionellen und agilen Vorgehensmodellen genutzt werden. Eine Übersicht wichtiger Kriterien ist in Tabelle 3-4 unter Angabe der entsprechenden Ausprägungen dargestellt.

Tabelle 3-4: Kriterien zur Einordnung von Vorgehensmodellen

Kriterium	Ausprägung			
Fokus[1,2]	Mechanik	Elektrik-/Elektronik	Software	
Logik[1,3,4]	Elementare Handlungsabläufe	Operative Arbeitsschritte	Phasen, Arbeitsabschnitte	Meilenstein, Gesamtprojekt
Abstraktionsgrad[1,5,6]	Konkret	…	Allgemeingültig / abstrakt / generisch	
Anpassbarkeit[2,5,6]	Modular	Skalierbar	Nicht anpassbar	
Typ[6]	Sequenziell	Evolutionär	Iterativ	Inkrementell
Phasen[2]	Ja	Nein		
Rollen[2]	Ja	Nein		
Werkzeugunterstützung[5,6]	Hoch	Mittel	Gering	
Benutzerpartizipation[6]	Hoch	Mittel	Gering	

[1]BRAUN (2005, S. 29); [2]STETTER ET AL. (2009, S. 16 f.); [3]PONN & LINDEMANN (2011, S. 70-79); [4]LINDEMANN (2009, S. 38); [5]GNATZ (2005, S. 18, 24, 33-38); [6]GRAUPNER (2010, S. 69 f.)

Hinsichtlich ihres Fokus sind konventionelle Vorgehensmodelle zumeist auf die Mechanik (z. B. Pahl/Beiz) aber auch auf die Software (z. B. Wasserfallmodell) ausgerichtet. Manche Vorgehensmodelle erheben zudem den Anspruch, alle Disziplinen der Mechatronik zu bedienen (z. B. V-Modell). Die meisten der agilen Vorgehensmodelle fokussieren ausschließlich die Softwareentwicklung (z. B. Crystal). Andere werden zwar aufgrund ihrer Eignung in der Softwareentwicklung verstärkt eingesetzt, sind aber von softwaretechnischen Charakteristiken prinzipiell freigehalten (z. B. Scrum, vgl. GLOGER & HÄUSLING 2011 S. 5; GLOGER 2013A, S. 15). Eingeordnet in die Logik nach LINDEMANN (2009, S. 38) sind konventionelle Vorgehensmodelle eher im Bereich der Makrologik angesiedelt, während agile Vorgehensmodelle über weite Bereiche der Logik und verstärkt in der Mikrologik einzuordnen sind. Der Abstraktionsgrad von konventionellen Vorgehensmodellen ist dabei meist höher als bei agilen Vorgehensmodellen, damit ein möglichst breites Spektrum an Anwendungsfällen abgedeckt werden kann. Agile Vorgehensmodelle beinhalten hingegen teilweise konkrete Anweisungen für die Entwicklung von Software (z. B. Feature Driven Development). Eine Anpassbarkeit kann sowohl bei konventionellen (z. B. V-Modell XT) als auch bei agilen Vorgehensmodellen (z. B. Scrum) gegeben sein. Eine deutliche Unterscheidung ergibt sich beim Typ des Vorgehensmodells. Konventionelle Vorgehensmodelle sind zumeist sequenziell (z. B. VDI 2221) bzw. evolutionär (z. B. Münchener-Vorgehens-Modell) gestaltet. Sie beschreiben damit eine konsequente Abfolge von Phasen oder Tätigkeiten bzw. eine allmähliche Weiterentwicklung bis zur vollständig erreichten Produktreife (GRAUPNER 2010, S. 67).

Einen Übergang stellt das Spiralmodell dar, das erste iterative (d. h. sich wiederholende) Eigenschaften enthält (POMBERGER & PREE 2004, S. 45). Gemäß den Grundsätzen sind agile Vorgehensmodelle häufig vom Typ her als iterativ oder inkrementell einzustufen, womit wiederkehrende Muster mit regelmäßiger Ergebnisauslieferung beschrieben sind. Phasen sind in konventionellen Vorgehensmodellen häufig vorzufinden (z. B. Quality-Gate-Modell), aber kein Charakteristikum von agilen Vorgehensmodellen. Umgekehrt verhält es sich mit der Definition von Rollen, welche insbesondere bei agilen Vorgehensmodellen vorzufinden ist (z. B. Crystal). Hinsichtlich der Werkzeugunterstützung können im Allgemeinen keine eindeutigen Unterschiede zwischen konventionellen und agilen Vorgehensmodellen festgestellt werden. Dagegen ist die Benutzerpartizipation bei agilen Vorgehensmodellen sowohl im Innen- (z. B. Teamverständnis) als auch Außenverhältnis (z. B. Zusammenarbeit mit dem Kunden) als hoch einzustufen. Die Bewertung der Eignung von konventionellen und agilen Vorgehensmodellen wird in weiterführenden Arbeiten vertieft, auf die an dieser Stelle Vorgehensmodellen verwiesen ist[1].

[1] STETTER ET AL. (2009); ZIEGLER (2009); GRAUPNER (2010, S. 68-70)

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass Vorgehensmodelle entsprechend den hier dargestellten Kriterien eingeordnet werden können. Während konventionelle Vorgehensmodelle eher als plangeleitet, allgemeingültig und sequenziell eingeordnet werden, sind agile Vorgehensmodelle eher flexibel, konkret und iterativ bzw. inkrementell. Die Eignung eines Vorgehensmodells ist hauptsächlich auch von den Einsatzbedingungen abhängig, die im nachfolgenden Abschnitt betrachtet werden.

3.3.2.3 Einsatzbedingungen

Die zuvor dargestellte Einordnung hat gezeigt, dass es sowohl Unterschiede als auch Überschneidungen von konventionellen bzw. agilen Vorgehensmodellen gibt. Für die Auswahl eines geeigneten Vorgehensmodells zum Einsatz in der Praxis ist es darüber hinaus zielführend, die Einsatzbedingungen zu betrachten, unter diesen es in der Regel verendet wird. Eine entsprechende Gegenüberstellung ist anhand unterschiedlicher Kriterien in Tabelle 3-5 gezeigt.

Tabelle 3-5: Gegenüberstellung der Einsatzbedingungen von konventionellen und agilen Vorgehensmodellen[1]

Kriterium	Konventionelle Vorgehensmodelle	Agile Vorgehensmodelle
Ablauf und Vorgehen	Prozessgetrieben, sequenziell	Ergebnisgetrieben, evolutionär-iterativ
Anforderungen des Kunden	Bestimmt, stabil	Volatil, variabel
Aufbau des Modells	Formalisiert, phasenorientiert	Flexibilisiert, aufgabenorientiert
Größe der Projekte und der Teams	Großprojekte, große Teams	Kleinere Projekte, kleine Teams
Kundenintegration und Kommunikation	Formell	Kooperativ, informell
Managementstil	Technikorientiert (Methoden, Werkzeuge)	Menschorientiert (Kommunikation, Kooperation)
Rollenverteilung des Modells	Spezialisiert	Interdisziplinär
Zeitrahmen der Projekte	Jahre	Monate

[1]nach ABRAHAMSSON (2002, S. 16); BOEHM (2002, S. 6); HRUSCHKA & RUPP (2002, S. 18); NERUR ET AL. (2005, S. 75); GLOGER & HÄUSLING (2011, S. 9); LINK (2014, S. 75)

Die aufgeführten Kriterien beziehen sich auf üblicherweise vorzufindende Einsatzbedingungen von mit konventionellen bzw. agilen Vorgehensmodellen durchgeführten Projekten, müssen aber nicht zwingend auf jedes konventionelle bzw. agile Vorgehensmodell zutreffend sein. Sie beschreiben einerseits die Gestaltung des Vorgehensmodells an sich und andererseits die seitens der Anwendungsfälle herrührenden Bedingungen. Hinsichtlich der Gestaltung der Vorgehensmodelle liegen die Unterschiede im Ablauf und Aufbau, der Kundenintegration und Kommunikation, dem Managementstil sowie der Rollenverteilung. Konventionelle Vorgehensmodelle werden dabei als eine Sequenz von einzelnen Phasen angesehen, die technikorientiert unter Einsatz von Methoden und Werkzeugen durchlaufen und von spezialisierten Rollen verantwortet werden. Die Kunden werden dabei eher formell und somit nicht aktiv in den Entwicklungsprozess eingebunden. Agile Vorgehensmodelle stellen hingegen das Ergebnis in den Vordergrund und orientieren sich an den umzusetzenden Aufgaben sowie den beteiligten Individuen, die interdisziplinär zusammenarbeiten sollen. Dazu ist eine kooperative und informelle Kommunikation zu betreiben und der Kunde eng in den Prozess zu involvieren. Die Randbedingungen der Anwendungsfälle spiegeln sich unter anderem in den Anforderungen des Kunden, der Größe des Teams sowie dem Zeitrahmen der Projekte wider. Konventionelle Vorgehensmodelle sind diesbezüglich auf vorherbestimmte und stabile Anforderungen ausgerichtet, die in Großprojekten über mehrere Jahre bearbeitet werden. Die Anwendung von agilen Vorgehensmodellen empfiehlt sich hingegen bei volatilen und variablen Anforderungen, die in kleinen Entwicklungsteams über einen Zeitraum von Monaten realisiert werden können. Die Gemeinsamkeiten und Unterschiede werden in weiterführenden Arbeiten vertieft, auf die an dieser Stelle für detaillierte Beschreibungen verwiesen wird[1].

3.3.2.4 Eignungsgrad

Um eine allgemeine Aussage bezüglich der Eignung eines konventionellen bzw. agilen Projektmanagements zu generieren, hat KOMUS (2014) die Kriterien der Effizienz, Ergebnisqualität, Kundenorientierung, Mitarbeitermotivation, des Teamworks sowie der Termintreue und Transparenz untersucht. Hierzu wurde eine Online-Studie über unterschiedliche Portale (z. B. Deutsche Gesellschaft für Projektmanagement) angeboten, an der insgesamt 612 internationale Teilnehmer aus unterschiedlichen Branchen teilgenommen haben (KOMUS 2014, 143-176). Ein wesentliches Ergebnis der Befragungen zur Bewertung des konventionellen und agilen Projektmanagements ist in Abbildung 3-12 dargestellt.

[1] SAUER (2010, S. 42-48); SCHILLER (2010, S. 5-13); GLOGER & HÄUSLING (2011, S. 5-9); SOMMERVILLE (2012, S. 92-94); LINK (2014, S. 65-89)

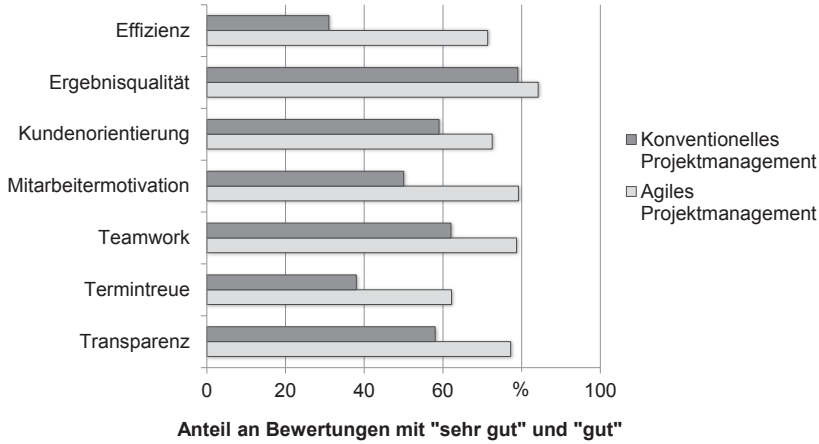


Abbildung 3-12: Bewertung von konventionellem und agilem Projektmanagement nach KOMUS (2014, S. 82)

Laut der Studie erzielen Projekte unabhängig vom Projektmanagement eine vergleichbare Ergebnisqualität. Dies beschreibt es den Umstand, dass agile Vorgehensmodelle keine inhaltlichen Vorgaben hinsichtlich der Entwicklung qualitativ hochwertiger Produkte geben, sondern vielmehr Maßgaben zur effizienten Durchführung eines Projekts beinhalten (z. B. Scrum, vgl. GLOGER 2013A, S. 15). Unterschiede zwischen den durchgeführten Projekten mit einem konventionellen bzw. agilen Projektmanagement sind hingegen in der Vorgehensweise und der Kooperation zwischen den Beteiligten zu suchen. So können laut der Studie agile Vorgehensmodelle insbesondere Vorzüge hinsichtlich der Termintreue der Projekte aufweisen. Gleiches gilt für die Effizienz des Vorgehens, also das Verhältnis von Aufwand und Nutzen, sowie die Transparenz. Darüber hinaus können Verbesserungen hinsichtlich der Mitarbeitermotivation, des Teamworks und der Kundenorientierung erzielt werden. (KOMUS 2014, S. 57-82)

Neben Projekten mit reinem konventionellen bzw. agilen Projektmanagement kommen in der industriellen Praxis aber auch häufig Kombinationen oder proprietäre Lösungen zum Einsatz (BUSCHERMÖHLE ET AL. 2010, S. 221), beispielsweise durch die synergetische Integration der Bestandteile. Eine Kombination von konventionellen und agilen Vorgehensmodellen ist daher nicht ausgeschlossen, sondern aufgrund möglicher Synergien in manchen Anwendungsfällen durchaus sinnvoll. Je nach Grad der Kombination der Bestandteile bzw. Interaktion von konventionellen und agilen Vorgehensmodellen spricht KOMUS (2014, S. 13) von Projekten mit einem durchgängig konventionellen, gemischten bzw. kombinierten oder durchgängig agilen Projektmanagement. Eine Kombination von konventionellem und agilem Projektmanagement wird Scrum

zugesprochen (POMBERGER & PREE 2004, S. 45). Dies begründet sich aus den beinhalteten agilen Techniken, die auf verschiedene Aufgabenstellungen auch außerhalb der Softwareentwicklung angewendet werden können. Der Eignungsgrad von konventionellen und agilen Vorgehensmodellen wurde in diversen Arbeiten vertieft, auf die hinsichtlich weiterer Erfolgsberichte an dieser Stelle verwiesen wird[1].

Zusammenfassend kann als Fazit der untersuchten Studien genannt werden, dass agile Vorgehensmodelle von den Anwendern unter vielen Gesichtspunkten besser als konventionelle Vorgehensmodelle bewertet werden. Eine synergetische Kombination von konventionellen und agilen Vorgehensmodellen ist durchaus möglich und wird insbesondere Scrum zugesprochen. Der geeignete Integrationsgrad hängt dabei von den anwendungsspezifischen Gegebenheiten ab, die anhand der im nachfolgenden Abschnitt aufgeführten Auswahlkriterien bestimmt werden können.

3.3.2.5 Auswahlkriterien

Für die Auswahl eines konventionellen oder agilen Vorgehensmodells bzw. für die Wahl des geeigneten Integrationsgrads existieren in Literatur und Praxis erste Ansätze, die sich nicht nur auf die reine Softwareentwicklung beziehen. Eine Veranschaulichung zweier repräsentativer Ansätze von HRUSCHKA ET AL. (2009) und WELGE & FRIEDRICH (2012) ist in Abbildung 3-13 gezeigt.

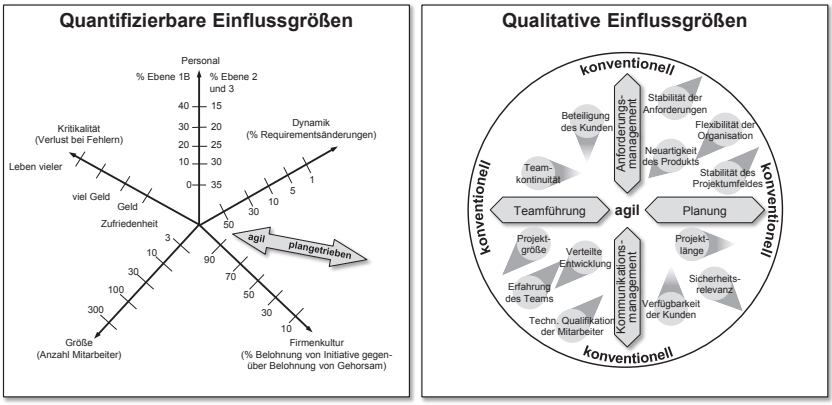


Abbildung 3-13: Kriterien für die Wahl eines konventionellen oder agilen Vorgehensmodells (HRUSCHKA ET AL. 2009, S. 99; WELGE & FRIEDRICH 2012, S. 345)

[1] WOLF ET AL. (2011); KOMUS (2012); KROPP & MEIER (2012); SWISS Q (2013); VERSIONONE (2013); KAPITSAKI & CHRISTOU (2014); RUBIN (2014)

HRUSCHKA ET AL. (2009) verwenden dazu fünf quantifizierbare Kriterien, die sich auf die Stärken und Schwächen von konventionellen bzw. agilen Vorgehensmodellen beziehen. Die Auswahlkriterien untergliedern sich in die Anzahl an Mitarbeitern, die Kritikalität des Projekts, das Personal, die Dynamik von Anforderungsänderungen und die grundlegende Firmenkultur. Die Einstufung der Kriterien ist über fünf unterschiedliche Dimensionen kombiniert. Der Ansatz von WELGE & FRIEDRICH (2012) betrachtet insgesamt 13 Auswahlkriterien (z. B. Projektgröße), die in die vier Bereiche des Anforderungsmanagements, der Planung, der Teamführung sowie des Kommunikationsmanagements eingeordnet sind. Je nach Ausprägung einer Einflussgröße ist eine qualitative Tendenz aufgezeigt, ob ein eher konventionelles oder ein agiles Vorgehensmodell einzusetzen ist. Als Darstellungsform dient ein Portfolio, in dem diese Einflussgrößen eingetragen sind. Sowohl die quantitativen Auswahlkriterien (z. B. Anzahl Mitarbeiter) von HRUSCHKA ET AL. (2009) als auch die qualitativen Einflussgrößen (z. B. Erfahrung des Teams) von WELGE & FRIEDRICH (2012) geben lediglich Tendenzen an, die für eine Entscheidung zugunsten eines konventionellen bzw. agilen Vorgehensmodells sprechen. Den konventionellen und agilen Vorgehensmodellen werden nach HRUSCHKA ET AL. (2009, S. 100) dabei jeweils „Standardterritorien“ zugeschrieben, in welchen sie den Vorgehensmodellen der anderen Klasse überlegen sind. Als Trend wird aufgeführt, dass sich Projekte zunehmend in den Bereichen dazwischen etablieren und von einer Balance an konventionellen und agilen Grundzügen profitieren können (HRUSCHKA ET AL. 2009, S. 100). Eine synergetische Kombination von konventionellen und agilen Vorgehensmodellen werde darüber hinaus in der Softwareindustrie bereits erfolgreich eingesetzt und sei auch auf andere Branchen (z. B. Automobilindustrie) übertragbar (WELGE & FRIEDRICH 2012, S. 346). Es ist daher empfehlenswert, eine gezielte Selektion agiler Vorgehensmodelle bzw. deren Bestandteile vorzunehmen und diese in bestehende Rahmenwerke, wie beispielsweise den Produktentwicklungsprozess, zu integrieren (WELGE & FRIEDRICH 2012, S. 346). Dies wurde bislang jedoch nicht fundiert analysiert. Die vorliegende Arbeit setzt daher an diesen Vorarbeiten an, wobei weiterführende Untersuchungen hinsichtlich der Einflussgrößen für einen Einsatz im Maschinen- und Anlagenbau sowie der Kombination der agilen Techniken erforderlich sind. (HRUSCHKA ET AL. 2009, S. 97-100; WELGE & FRIEDRICH 2012, S. 341-346)

3.3.3 Zugrundeliegende Werte und Bestandteile

Im Anschluss an die Übersicht von agilen und die Abgrenzung zu konventionellen Vorgehensmodellen wird nun im Allgemeinen auf die zugrundeliegenden Werte und Bestandteile von agilen Vorgehensmodellen eingegangen. Der Ursprung der meisten agilen Vorgehensmodelle liegt im Zeitraum rund um die Formulierung des agilen

Manifests (vgl. Abbildung 3-9). Die im agilen Manifest festgehaltenen Prinzipien dienen als Maßgabe zur effizienten Entwicklung von Software und sind in diversen Grundsätzen verankert, die den agilen Vorgehensmodellen zugrunde liegen. In diesem Zusammenhang spricht EPPING (2011, S. 14 f.) von einem sogenannten *Wert,* der als ein abstraktes und mit einem Nutzen verbundenes Ziel bezeichnet werden kann. Er soll einen fundamentalen Charakter einnehmen und das Vorgehen authentischer machen, damit sich der Anwender mit diesem identifiziert (EPPING 2011, S. 14 f.). Die wesentlichen Werte können unter Verweis auf weiterführende Arbeiten[1] wie folgt zusammengefasst werden:

- *Flexibilität und Transparenz:* Der Prozess und das Produkt zeichnen sich durch einen effizienten, schlanken Charakter aus.
- *Mensch im Mittelpunkt:* Die Prozesse richten sich an den beteiligten Individuen und deren Fähigkeiten aus. Die Entwickler kooperieren eigenverantwortlich, in enger Zusammenarbeit und losgelöst von engen Verfahrensvorschriften.
- *Einbeziehung des Kunden:* Während des Prozesses wird der Kunde regelmäßig einbezogen, um den Entwicklungsfortschritt zu überprüfen und das weitere Vorgehen mit zu gestalten.
- *Änderungen berücksichtigen:* Nachträgliche Anforderungsänderungen während des Prozesses werden willkommen geheißen. Es wird (pro-) aktiv auf sich ändernde Anforderungen reagiert und das Produkt so gestaltet, dass die gewünschten Anforderungen bestmöglich umgesetzt werden können.
- *Iterative Entwicklung:* Der Prozess zeichnet sich durch ein regelmäßiges Vorgehen mit wiederkehrenden Tätigkeiten aus.
- *Inkrementelle Auslieferung:* Produkte werden nach Möglichkeit in einzelnen Bestandteilen ausgeliefert, die dem Kunden einen Mehrwert bieten. Die Reihenfolge der umzusetzenden Anforderungen und der erforderliche Erfüllungsgrad werden vom Entwicklungsteam während des Prozesses bestimmt.

Die Werte sind für die Philosophie eines agilen Vorgehensmodells bestimmend, sind für den Anwender jedoch kaum sichtbar. Hingegen kommt der Anwender insbesondere mit den sogenannten Elementen und Techniken in Kontakt, deren Zusammenstellung für ein agiles Vorgehensmodell spezifisch ist. Ein Element entspricht einem allgemeinen Vorgehen, welches durch einen oder mehrere Werte motiviert ist und den

[1] ABRAHAMSSON (2002, S. 13-15); HRUSCHKA & RUPP (2002, S. 20); HRUSCHKA ET AL. (2009, S. 1-11); BARON & HÜTTERMANN (2010, S. 5-13); SAUER (2010, S. 43 f.); OPELT ET AL. (2012, S. 6-10, 23-29); RÖPSTORFF & WIECHMANN (2012, S. 8-22); RUMPE (2012, S. 26); SOMMERVILLE (2012, S. 88 f.)

erklärten Nutzen realisieren soll. Die konkrete Umsetzung eines Elements oder mehrerer Elemente erfolgt mit einer *Technik.* Gleichermaßen kann ein Element durch verschiedene Techniken umgesetzt werden, weshalb die Auswahl einer geeigneten Technik entsprechend den anwendungsspezifischen Rahmenbedingungen hilfreich sein kann. Gemäß der Struktur von Vorgehensmodellen (vgl. Abbildung 3-5) entsprechen die Elemente bzw. Techniken somit den Aktivitäten bzw. Abläufen, Artefakten, Hilfsmitteln und Rollen eines Vorgehensmodells. Dies ist in Abbildung 3-14 zusammengefasst. (EPPING 2011, S. 13-20, 37-40, 53-56)

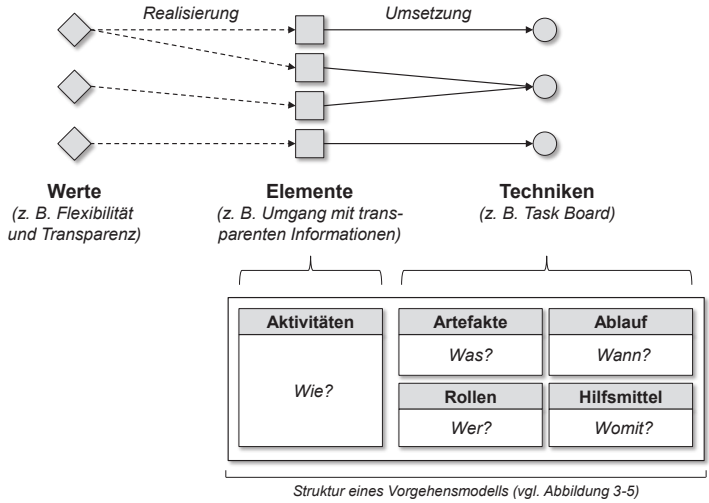


Abbildung 3-14: Zusammenhang zwischen Werten, Elementen und Techniken in Anlehnung an EPPING (2011, S. 19)

Ein Beispiel für die Realisierung des Werts *Flexibilität und Transparenz* ist das Element *Umgang mit transparenten Informationen* (*engl.* transparent information), welches durch die Technik des *Task-Boards* umgesetzt werden kann, das der Visualisierung des Entwicklungsfortschritts dient. Die Zusammenstellung aus Elementen und Techniken ist für agile Vorgehensmodelle spezifisch und wird im nachfolgenden Abschnitt anhand der etablierten agilen Vorgehensmodelle behandelt.

3.3.4 Beinhaltete Elemente und Techniken

Die Anzahl der Elemente und Techniken eines agilen Vorgehensmodells variiert zum Teil stark. Extreme Programming verfügt beispielsweise über eine große, unstrukturierte Sammlung an agilen Elementen (vgl. EPPING 2011, S. 18), die bewusst viel Freiraum bei der Ausgestaltung der Entwicklung effizienter Software lässt. Hingegen

entspricht Scrum einer strukturierten Zusammenstellung von agilen Techniken und ist damit prinzipiell freigehalten von inhaltlichen Vorgaben. Stattdessen gibt Scrum vielmehr Hinweise, wie sich ein lernendes Team in einem solchen Umfeld organisieren soll (COLDEWEY 2002, S. 242, 246). Darüber hinaus kann die Zusammenstellung der agilen Elemente und Techniken unstrukturiert (z. B. Kanban) oder strukturiert (z. B. Scrum) vorliegen, wobei bei einer strukturierten Zusammenstellung explizit beschrieben ist, wie die in Abhängigkeit stehenden Bestandteilen einzusetzen sind (EPPING 2011, S. 17-20).

Agile Vorgehensmodelle sind bewusst so gehalten, dass der Anwender einen großen Gestaltungsraum bei deren Verwendung hat. Sie können somit als eine Sammlung von Best Practices verstanden werden, die stark vom Anwendungsfall abhängig sind. Dies begründet sich nicht zuletzt daraus, dass es zum Teil keine offizielle Festlegung der Bestandteile von agilen Vorgehensmodellen gibt (vgl. EPPING 2011, S. 18, 53). Für die nachfolgend aufgeführte Analyse wurde daher auf eine Vielzahl an Quellen zurückgegriffen. Das Ergebnis beruht auf der im Anhang befindlichen Datengrundlage (siehe Anhang A3) und ist in Abbildung 3-15 veranschaulicht.

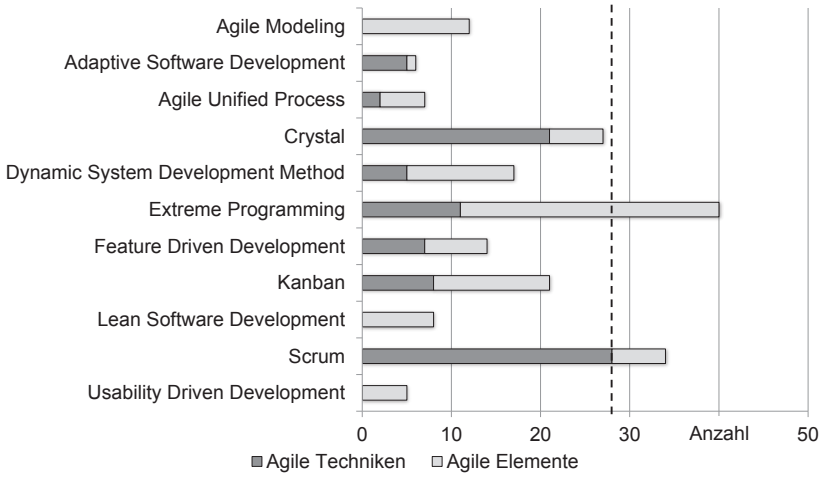


Abbildung 3-15: Anzahl an beinhalteten agilen Techniken und Elementen der betrachteten agilen Vorgehensmodelle

Entsprechend der Gegenüberstellung ist zu erkennen, dass die Anzahl an Bestandteilen bei den agilen Vorgehensmodellen stark variiert. Während User Driven Development lediglich fünf agile Elemente und Techniken aufweist, beinhaltet Extreme Programming fast 40 agile Elemente und Techniken. Gleichermaßen ist das Verhältnis aus agilen Elementen zu Techniken verschieden. Agile Unified Process, Dynamic Systems

Development Method, Extreme Programming, Kanban, Lean Software Development und Usability Driven Development weisen überwiegend agile Elemente auf. Agile Modeling, Lean Software Development, Usability Driven Development bestehen dabei sogar ausschließlich aus agilen Elementen und werden aus diesem Grund, wie eingangs erwähnt, häufig nicht als agile Vorgehensmodelle eingeordnet. Stattdessen beinhalten sie Best Practices zur Entwicklung effizienter Software. Agile Software Development, Crystal und Scrum weisen hingegen einen hohen Anteil an agilen Techniken auf. Diese agilen Vorgehensmodelle beinhalten also viele Handlungsanweisungen zur konkreten Umsetzung. Eine Sonderrolle nimmt in dieser Untersuchung Scrum ein, das mit Abstand die meisten agilen Techniken aufweist und andererseits wenig agile Elemente enthält. OPELT ET AL. (2012, S. 10) ordnen Scrum daher nicht als agiles Vorgehensmodell ein, sondern als ein Management-Framework für effiziente Entwicklungsprozesse, das keine konkreten, präskriptiven Handlungsanweisungen beinhaltet (GLOGER 2013A, S. 15).

Aus der vorangegangen Untersuchung lässt sich also schließen, dass Scrum einerseits weitgehend von spezifischen Inhalten der Softwareentwicklung (z. B. Strukturverbesserung von Quelltext, sog. *Refactoring*) freigehalten ist und andererseits einen großen Anteil an allgemeinen, d. h. nicht-softwarespezifischen agilen Techniken (z. B. Entwicklungsheft, sog. *Product Backlog*) aufweist. Der Abdeckungsgrad von Scrum bzw. das Verhältnis von softwarespezifischen und allgemeinen agilen Techniken der behandelten agilen Vorgehensmodelle kann dabei auf Basis der erarbeiteten Datengrundlage (siehe Anhang A3) dargestellt werden. Dies ist nachfolgend jeweils für die Abläufe, Artefakte, Hilfsmittel und Rollen in Abbildung 3-16 veranschaulicht.

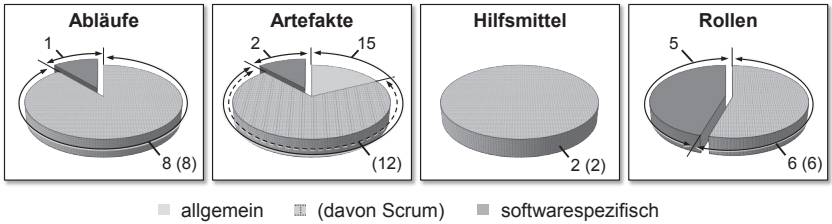


Abbildung 3-16: Abdeckungsgrad agiler Techniken durch Scrum

In den Diagrammen sind jeweils die Anzahl an allgemein gehaltenen (hell markiert) sowie softwarespezifischen (dunkel markiert) agilen Techniken je Gruppe als Anteile gezeigt. Überdies ist der Anteil an den allgemeinen agilen Techniken hervorgehoben (gestreift markiert), die auch in Scrum beinhaltet sind, und zahlenmäßig in der Klammer vermerkt. Aus der Gegenüberstellung wird deutlich, dass nur wenige Abläufe und Artefakte softwarespezifisch und alle allgemeinen agilen Techniken der Abläufe, Hilfsmittel und Rollen in Scrum enthalten sind. Beispielsweise ist nur einer der

insgesamt neun betrachteten Abläufe softwarespezifisch, wohingegen die anderen acht Abläufe allgemein und überdies in Scrum beinhaltet sind. Unter den Hilfsmitteln sind sogar alle agilen Techniken allgemein gehalten und ein Bestandteil von Scrum. Dagegen ist die Hälfte der betrachteten Rollen softwarespezifisch. Lediglich drei der 15 allgemeinen Artefakte (*Project Map, Risk List, Use-Case*) aus dem agilen Vorgehensmodell Crystal sind in Scrum nicht identisch beinhaltet, jedoch durch die anderen zwölf Artefakte (z. B. *Release-Plan, Product Backlog*) weitgehend abgedeckt. Da somit alle nicht-softwarespezifischen Abläufe, Hilfsmittel und Rollen sowie die Artefakte nahezu vollständig beinhaltet sind, wird der Fokus im Weiteren ausschließlich auf Scrum gelegt. Damit wird den bereits aufgeführten Einschätzungen gefolgt, womit Scrum zu den erfolgreichsten und am weitesten verbreiteten agilen Vorgehensmodellen zählt. Zudem liegen die agilen Techniken von Scrum, beispielsweise im Gegensatz zu Kanban, in einem strukturellen Zusammenhang vor, wodurch eine abgeschlossene Betrachtung der expliziten Abhängigkeiten ermöglicht wird (EPPING 2011, S. 19 f.). Aus diesen Gründen orientiert sich die vorliegende Arbeit ausschließlich an Scrum, das im nachfolgenden Abschnitt detailliert ausgeführt wird.

3.4 Scrum

In der industriellen Anwendung gilt Scrum heute als der mit Abstand bekannteste und meist genutzte Vertreter unter den agilen Vorgehensmodellen (KAPITSAKI & CHRISTOU 2014, S. 4; KOMUS 2014, S. 4, 41, 65, 82). Die Einsatzgebiete beschränken sich bislang jedoch maßgeblich auf die reine Softwareentwicklung, in der Scrum mittlerweile als „de-facto-Standard“ eingestuft wird (OPELT ET AL. 2012, S. 10). Entsprechend den agilen Werten (vgl. Kapitel 3.3.3) baut Scrum auf das Element der *Kundenorientierung* auf und überträgt die Verantwortung an *selbstorganisierte Teams*. In *Iterationen* sollen *Inkremente* eines Produkts ausgeliefert werden, welche dem Anwender einen Mehrwert bieten. Dabei soll eine *Offenheit gegenüber Veränderungen* sowie ein *kontinuierlicher Verbesserungsprozess* gepflegt werden. Grundlage der *disziplinübergreifenden Zusammenarbeit* ist dabei die *Kommunikation.* (RÖPSTORFF & WIECHMANN 2012, S. 8-22; GLOGER 2013A, S. 26)

Der vorliegende Abschnitt stellt die Historie und eine begriffliche Einordnung von Scrum vor (siehe Kapitel 3.4.1). Gemäß der Logik von Vorgehensmodellen wird im Weiteren Scrum aus Sicht eines mikrologischen Problemlösungszyklus (siehe Kapitel 3.4.2), der operativen Arbeitsschritte (siehe Kapitel 3.4.3) sowie der strategischen und taktischen Arbeitsabschnitte (siehe Kapitel 3.4.4) behandelt. Das Kapitel schließt mit dem Einsatz von Scrum in der industriellen Praxis (siehe Kapitel 3.4.5) sowie einem Fazit des gesamten Abschnitts (siehe Kapitel 3.4.6).

3.4.1 Historie und begriffliche Einordnung

Die Wortherkunft von Scrum wird zumeist auf die Sportart Rugby zurückgeführt und bedeutet aus dem Englischen übersetzt „Gedränge“ (vgl. SUTHERLAND 2010, S. 7, 37-45; GLOGER 2013A, S. 6). Im Sport beschreibt dieser Zustand ein kreisförmiges Gebilde zweier Mannschaften, welche sich am gegenseitigen Raumgewinn zu verhindern versuchen. Übertragen wird damit der Zusammenhalt des Entwicklungsteams unter Einhaltung gewisser Regeln beschrieben, in Form von unterschiedlichen Aspekten der Kooperation. Scrum sieht eine selbstständige und eigenverantwortliche Organisation des Entwicklungsteams vor und stellt damit den Menschen in den Mittelpunkt (GLOGER 2013A, S. 19). Die häufig anzutreffende Verbindung von Scrum mit reiner Softwareentwicklung hat ihren historischen Ursprung einerseits durch die Schöpfungsväter Ken Schwaber und Jeff Sutherland (GLOGER 2013A, S. 15), zwei Unterzeichnern des agilen Manifests, die in der Softwarebranche über langjährige Erfahrung verfügen. Andererseits existieren zahlreiche Berichte über die Erfolgsaussichten bei der Verwendung von Scrum in Softwareprojekten (z. B. GLOGER 2013A, S. 20-22). Entsprechend der zuvor durchgeführten Betrachtung ist Scrum aber hinsichtlich der Bestandteile nicht auf reine Softwareentwicklungsaufgaben beschränkt (vgl. GLOGER & HÄUSLING 2011 S. 5; HANSER 2011, S. 61; WIRDEMANN 2011, S. 9; OPELT ET AL. 2012, S. 11), da Scrum keinerlei softwarespezifischen Elemente oder Techniken spezifiziert (GLOGER 2013A, S. 15). Scrum ist daher theoretisch auch für Entwicklungstätigkeiten außerhalb der Softwarenentwicklung geeignet (vgl. ABRAHAMSSON 2002, S. 34). Somit kann Scrum im Grunde genommen als eine Produktentwicklungsmethode eingeordnet werden, jedoch fehlt es an konkreten Aktivitäten, wie ein Produkt zu entwickeln ist (GLOGER 2013A, S. 15). Für GLOGER (2013A, S. 6) ist Scrum „auf der Metaebene eine Grundüberzeugung, eine Philosophie und auf der Prozessebene eine Arbeitsweise mit klar definierten Rollen, einem sehr einfachen Prozessmodell mit einem klaren und einfachen Regelwerk“. Für Scrum hat sich diesbezüglich der Begriff des *Frameworks* etabliert, welches „weit über die Produktentwicklungsteams hinaus […] die Struktur und die Arbeitsweise einer ganzen Organisation beeinflusst“ (GLOGER 2013A, S. 6) und der Einbettung von etablierten Entwicklungspraktiken dient (WIRDEMANN 2011, S. 26). Ein konkreter Prozess kommt nach diesem Verständnis durch Verknüpfung der agilen Techniken mit bestimmten inhaltlichen Aktivitäten (z. B. Entwicklungstätigkeiten) zustande (WIRDEMANN 2011, S. 27 f.). GLOGER (2013A, S. XI f., 2) beschreibt Scrum hinsichtlich der Ziele als ein empirisches Prozessmodell zur Risikosteuerung und Wertoptimierung. Laut HANSER (2011, S. 61) folgt Scrum damit im Prinzip den Ideen des Lean Managements bzw. der Schlanken Produktion des Toyota Produktionssystems (vgl. GLOGER 2013A, S. 28-39).

3.4.2 Mikrologischer Problemlösungszyklus

Hinsichtlich der Logik von Vorgehensmodellen (vgl. Abbildung 3-3) kann der Kern von Scrum auf einen mikrologischen Problemlösungszyklus reduziert werden (GLOGER 2013A, S. 54). Dieser sogenannte PDCA-Zyklus (auch Deming-Cycle) ist am Beispiel von Scrum in Abbildung 3-17 dargestellt.

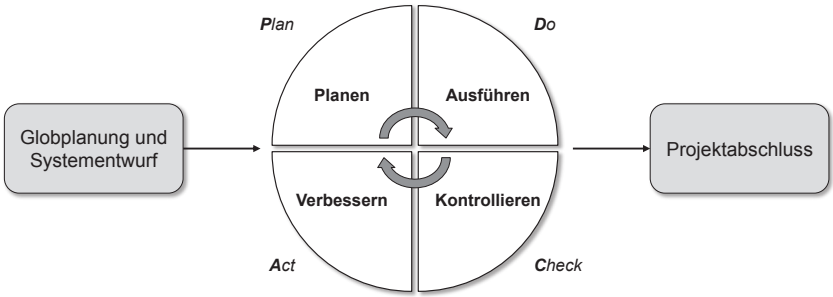


Abbildung 3-17: Mikrologischer Problemlösungszyklus von Scrum (SOMMERVILLE 2012, S. 104; GLOGER 2013A, S. 54)

Entsprechend dieser Darstellung liegt der mikrologische Problemlösungszyklus nach Scrum zwischen dem ersten Schritt der Grobplanung und des Systementwurfs und dem letzten Schritt des Projektabschlusses. Dazwischen folgen Phasen des wiederholten Planens (*engl.* plan), Ausführens (*engl.* do), Kontrollierens (*engl.* check) und Verbesserns (*engl.* act). In diesem Sachverhalt können Scrum zudem Aspekte eines kontinuierlichen Verbesserungsprozesses, die iterative Bearbeitung (vgl. *one-piece-flow*) von Aufgaben, das Beheben von Hindernissen (sog. *Impediments*) sowie die Anwendung des Pull-Prinzips zugeschrieben werden (GLOGER 2010, S. 2). Zur Umsetzung dieses mikrologischen Problemlösungszyklus sind in Scrum diverse agile Techniken inbegriffen, die im nächsten Abschnitt beschrieben werden.

3.4.3 Operative Arbeitsschritte

Die in Scrum beinhalteten agilen Techniken können gemäß der Logik von Vorgehensmodellen (vgl. Abbildung 3-3) den operativen Arbeitsschritten zugeordnet werden, die der Umsetzung des mikrologischen Problemlösungszyklus dienen. Als Übersicht der agilen Techniken kann die Struktur von Vorgehensmodellen herangezogen werden (vgl. Abbildung 3-5), die Aktivitäten, Abläufe, Artefakte, Hilfsmittel und Rollen unterscheidet. Scrum beinhaltet acht Abläufe (inkl. *Sprint*), zwölf Artefakte (inkl. der Ausprägungen des *Product Backlogs*), zwei Visualisierungstechniken der Hilfsmittel und sechs Rollen (OPELT ET AL. 2012, S. 13; GLOGER 2013A, S. 12-14;

GLOGER 2013B). Diese sind als Kennkarte der agilen Techniken von Scrum in Abbildung 3-18 zusammengefasst, wobei im Rahmen der vorliegenden Arbeit die englischsprachigen Bezeichnungen der agilen Techniken zur Anwendung kommen.

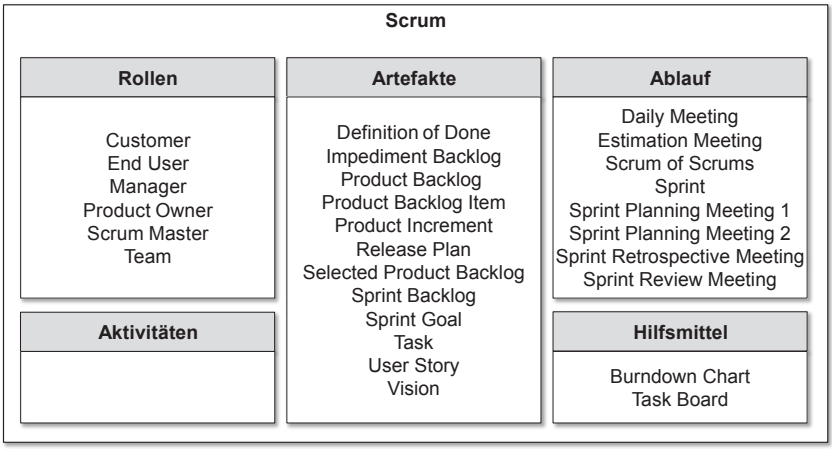


Abbildung 3-18: Kennkarte von Scrum (agile Techniken: OPELT ET AL. 2012, S. 13; GLOGER & MARGETICH 2014, S. 59, Struktur: vgl. Abbildung 3-5)

Die gezeigte Kennkarte von Scrum zeigt, dass keine konkreten Aktivitäten vorgesehen sind, *wie* entwickelt werden soll (vgl. GLOGER 2013A, S. 15). Ein Prozess unter Verwendung von Scrum kommt daher erst durch die Kombination der agilen Techniken mit bestimmten Aktivitäten (z. B. *Anforderungen mit dem Kunden zusammentragen*) zustande (WIRDEMANN 2011, S. 27 f.). Eine detaillierte Untersuchung und Beschreibung der hier aufgeführten agilen Techniken erfolgt an späterer Stelle (siehe Kapitel 5.3) und kann dem Anhang gesammelt entnommen werden (siehe Anhang A6).

3.4.4 Strategische und taktische Arbeitsabschnitte

Das Zusammenspiel der agilen Techniken von Scrum kann entsprechend der Logik von Vorgehensmodellen (vgl. Tabelle 3-4) im Kontext von Arbeitsabschnitten dargestellt werden. Von den Begrifflichkeiten der Phasen und Meilensteine gemäß der Makrologik soll dabei Abstand genommen werden, da diese einen sequenziellen bzw. einmaligen Charakter aufweisen und damit den Grundzügen von Scrum widersprechen. Scrum besteht aus einer strategischen und einer taktischen Ebene (OPELT ET AL. 2012, S. 13-17; GLOGER 2013A, S. 9-11, 150-153), in denen sich der mikrologische Problemlösungszyklus (vgl. Abbildung 3-17) widerspiegelt. Die Ebenen können in die Arbeitsabschnitte der strategischen Planung (vgl. „Globplanung und Systementwurf“),

der taktischen Planung (vgl. „plan“), der Umsetzung (vgl. „do“) sowie des Reviews (vgl. „check“) und kontinuierlichen Verbesserungsprozesses (vgl. „act“, „Projektabschluss“) untergliedert werden.

Vom Typ entspricht Scrum einem iterativen, inkrementellen Vorgehensmodell. Im Zentrum steht der wiederkehrende Arbeitsabschnitt der Umsetzung (sog. *Sprint*), in dem sukzessive die gewünschten Produktfunktionalitäten realisiert werden. Er ist eingerahmt von den Arbeitsabschnitten der taktischen Planung (auch Discovery-Phase, vgl. GLOGER 2013A, S. 9) sowie des Reviews und kontinuierlichen Verbesserungsprozesses. Der Arbeitsabschnitt der strategischen Planung (vgl. GAUSEMEIER ET AL. 2001, S. 50-213) kann nach Bedarf in diesem Rhythmus eingegliedert werden. Aus der Abfolge der Arbeitsabschnitte der taktischen Planung, der Umsetzung sowie des Reviews und kontinuierlichen Verbesserungsprozesses ergibt sich die Abfolge der Scrum-Iterationen, die in Abbildung 3-19 entlang einer Zeitachse der Tage einer Arbeitswoche anhand der Iteration *n* und unter Angabe der Abläufe veranschaulicht ist.

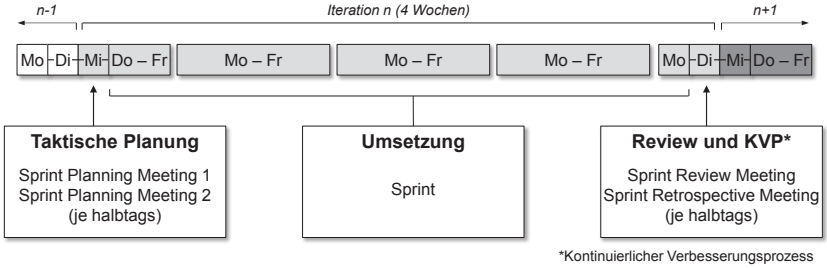


Abbildung 3-19: Zeitliche Abfolge der Scrum-Iterationen nach WIRDEMANN (2011, S. 131)

Der Scrum-Prozess kann als eine beliebige Aneinanderreihung von aufeinanderfolgenden Iterationen verstanden werden. Im Anschluss an die gezeigte Iteration *n* folgt damit Iteration *n+1* usw. nach dem gleichem Schema. Die Dauer einer Iteration kann zu Beginn des Projekts beliebig festgelegt werden, solange die Zeitspanne ausreicht, um Produktinkremente (z. B. Softwarearchitektur) zu erzeugen. In der Praxis werden hierfür in der Regel ca. vier Wochen anberaumt, woraus sich durch Verhältnisbildung die Dauer der anderweitigen Abläufe ergibt. Die zeitliche Einordnung wird meistens so gewählt, dass die Iterationen mit dem *Sprint Planning Meeting 1 und 2*, die jeweils einen halben Tag einnehmen, am selben Werktag beginnen (hier: Mittwoch). Diese beiden Abläufe dienen der Vorbereitung des bevorstehenden Entwicklungszeitraums. Es folgt der eigentliche Entwicklungszeitraum des Sprints, in dem die gewünschten Produktfunktionalitäten realisiert werden. Dieser endet mit dem *Sprint Review Meeting* bzw. *Sprint Retrospective Meeting*, die der Abnahme bzw. dem kontinuierlichen Verbesserungsprozess dienen. (GLOGER 2013A, S. 53-55)

Der Ablauf des Scrum-Prozesses ergibt sich somit aus der Kombination der operativen Arbeitsschritte und der Arbeitsabschnitte. Dies ist in Abbildung 3-20 veranschaulicht.

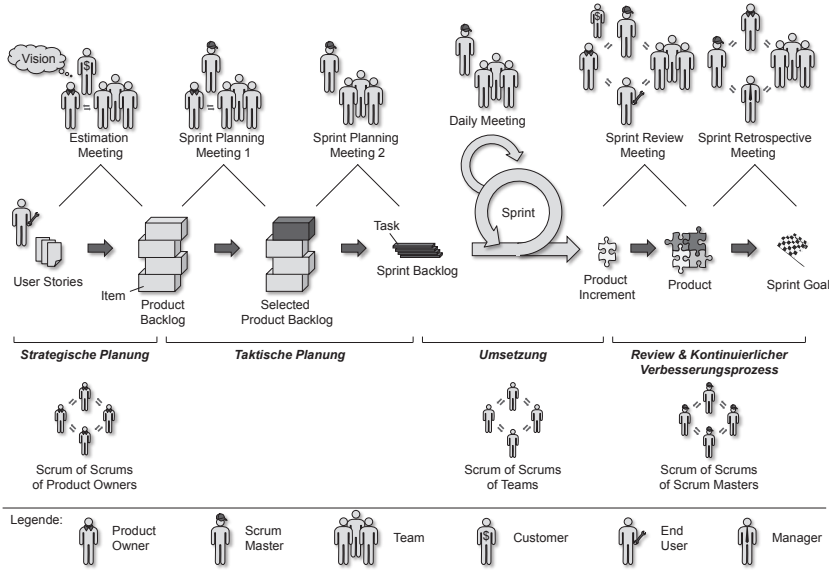


Abbildung 3-20: Scrum-Prozess in einem Unternehmen nach SCHWABER *(2007, S. 9),* SUTHERLAND *(2010, S. 11),* WIRDEMANN *(2011, S. 29) und* GLOGER *(2013B, S. 16 f.)*

Der Scrum-Prozess beginnt mit dem Arbeitsabschnitt der strategischen Planung, an dessen Beginn die *Vision* steht, die eine erste grobe Beschreibung des Produkts (z. B. Zeichnung) repräsentiert. Sie wird durch den *Product Owner* skizziert, der als Projektleiter die Schnittstelle zu einem externen Kunden (sog. *Customer)* einnimmt, jedoch nicht operativ in die Entwicklung eingebunden ist. Aus der Vision und den Kundenanforderungen, den sogenannten *User Stori*es, leitet der Product Owner in Zusammenarbeit mit dem interdisziplinär besetzten Entwicklungsteam im *Estimation Meeting* die Produktfunktionalitäten ab, die als sogenannte *Product Backlog Items* gruppiert und in einem Entwicklungsheft, dem *Product Backlog*, abgelegt werden. Es folgt eine Schätzung der Aufwände je Product Backlog Item durch das *Team* sowie eine Priorisierung entsprechend dem erwarteten Geschäftswert durch den Product Owner. Das Estimation Meeting kann auch während eines *Sprints* durchgeführt werden und dient der Zwischenbegutachtung, Erweiterung bzw. Aktualisierung des Product Backlogs sowie der Abstimmung hinsichtlich des langfristigen *Release Plans*, der die beabsichtigte Auslieferung von Produktinkrementen vorwegdeutet. Es können an dem Ablauf wahlweise auch der Customer und nach Möglichkeit der *End User* teilnehmen.

Im Anschluss folgt der taktische Bereich des Arbeitsabschnitts der Planung, welcher aus zwei Abläufen besteht. Am *Sprint Planning Meeting 1* nehmen der Product Owner, das Team und der *Scrum Master* teil. Letzterer hat keine Führungsverantwortung, sondern überwacht den Scrum-Prozess und fungiert als Vermittler zwischen dem Product Owner und dem Team. Weitere Teilnehmer können der *Manager*, der Customer sowie der End User sein. Das Ziel des Treffens ist die gemeinsame Erörterung der Anforderungen, vergleichbar mit einem Briefing bzw. einer Anforderungsklärung anhand eines Lastenheftes. Es endet mit einer Definition des anvisierten Ziels des bevorstehenden Sprints, dem *Sprint Goal*, sowie einem *Commitment* (*engl.* Versprechen) des Teams hinsichtlich der angedachten Abnahme von entwickelten *Product Increments* (d. h. auslieferungsfähige Teilprodukte). Die entsprechenden Items können in einem separaten Backlog als sogenanntes *Selected Product Backlog* geführt werden. Im Anschluss an den Ablauf findet das *Sprint Planning Meeting 2* statt, welches als Desingworkshop für die Klärung der Anforderungen im Sinne eines Pflichtenhefts eingeordnet werden kann. Im Rahmen dieses Ablaufs befasst sich das Team damit, wie es die Items des Selected Product Backlogs realisieren möchte. Dazu werden *Tasks* abgeleitet, welche spezifische Aufgaben zur Realisierung des Items des Selected Product Backlogs beschreiben. Der anknüpfende Arbeitsabschnitt der Umsetzung ist der Sprint, in welchem die Tasks eigenverantwortlich vom Team umgesetzt werden. In *Daily Meetings*, täglichen Treffen, stimmen sich die beteiligten Teammitglieder untereinander hinsichtlich der bereits erledigten, sich in Arbeit befindenden und der offenen Aufgaben ab. Im Zuge dieses Meetings, das vom Scrum Master begleitet wird, bestimmen die Mitglieder selbst, welche Tasks als nächstes bearbeitet werden sollen. Das Meeting dient darüber hinaus der konstruktiven Erörterung von Hindernissen, sogenannten *Impediments*, dessen Lösung sich der Scrum Master annimmt. Der Sprint endet mit dem Arbeitsabschnitt des Reviews und der kontinuierlichen Verbesserung. Dazu werden die erarbeiteten *Product Increments*, sprich Produktfunktionalitäten, in einem *Sprint Review Meeting* vom Team präsentiert. Diesem Ablauf wohnen der Product Owner, der Scrum Master und bei Bedarf auch der Customer bzw. End User bei. Das Ziel ist es, den aktuellen Entwicklungsfortschritt transparent zu gestalten und herauszustellen, auf welchem Stand die Entwicklung ist. Sollten die Güte der Product Increments nicht ausreichend für eine Abnahme sein, werden Maßnahmen zur Nacharbeit definiert, damit ein Release stattfinden kann. Im Anschluss erfolgt ein internes *Sprint Retrospective Meeting*. Dieses dient als Rückblick auf die Zusammenarbeit im zurückliegenden Sprint und hat zum Ziel, die eigenen Arbeitsprozesse zu optimieren. Die Maßnahmen werden im Anschluss vom Scrum Master an den Manager herangetragen, welcher die Entwicklungsumgebung für einen gesunden Scrum-Prozess bereitstellten soll. (SCHWABER 2007; SUTHERLAND 2010; GLOGER & HÄUSLING 2011; RÖPSTORFF & WIECHMANN 2012; GLOGER 2013A)

3.4.5 Einsatz in der Praxis

Die vorangegangenen Ausführungen haben dargestellt, dass sich der Einsatz von agilen Vorgehensmodellen nicht nur auf die Entwicklung von Software beschränkt. So werden agile Vorgehensmodelle bereits zu 41 % bei IT-nahen Themen und zu 27 % bei Aktivitäten ohne besonderen IT-Bezug eingesetzt (KOMUS 2014, S. 24). Laut ABRAHAMSSON (2002, S. 34) ist Scrum grundsätzlich auf keine Branche festgelegt, sondern kann für beliebige Entwicklungen eingesetzt werden. MAXIMINI (2013, S. 16, 19) spricht sogar davon, dass Scrum bewusst für komplexe Produktentwicklungen, d. h. auch von Hardware geschaffen wurde. Hierzu sind allerdings, wie beim Einsatz eines jeden Vorgehensmodells, die vorliegenden Randbedingungen des Anwendungsfalls gesondert zu beachten und gegebenenfalls Anpassungen vorzunehmen (vgl. KALUS 2013, S. 84). Für den systematischen Einsatz von Scrum außerhalb der Softwareentwicklung existieren jedoch keine Vorarbeiten, sondern lediglich erste Erfolgsberichte aus prototypischen Anwendungen, z. B. in produzierenden Unternehmen (vgl. WELGE & FRIEDRICH 2012; SOMMER ET AL. 2013). Die Forschungsansätze beschränken sich daher auf MAXIMINI (2013), der als Randbedingungen für den Eignungsgrad von Scrum die Produkt- und Fertigungsarten vorschlägt. Dies ist anhand der Ausprägungen und der zugehörigen Eignungsgrade in Tabelle 3-6 zusammengefasst.

Tabelle 3-6: Eignungsgrad von Scrum für verschiedene Produkt- und Fertigungsarten nach MAXIMINI (2013, S. 19)

	Ausprägung	Eignungsgrad
Produktart	Software	Vollständiger Scrum-Prozess
	Hardware	Ausgewählte agile Techniken
Fertigungsart	Einzelfertigung	Ausgewählte agile Techniken
	Serienproduktion	Konventionelles Vorgehensmodell

Aufgrund der zahlreichen Erfolgsberichte ist ein nutzbringender Einsatz des vollständigen Scrum-Prozesses für die Entwicklung von Software unumstritten. Im Kontrast liegt die Herausforderung bei der Entwicklung von Hardware darin, in regelmäßigen Abständen funktionierende Produktinkremente auszuliefern. Dies wird aufgrund der Einbindung in Zuliefernetzwerke durch die zum Teil langen Liefer- und Herstellungszeiten erschwert. Bei der Entwicklung von Maschinen und Anlagen muss daher nicht immer der gesamte Scrum-Prozess eingesetzt werden. Es sind stattdessen agile Techniken gezielt auszuwählen und zu adaptieren, beispielsweise durch die Anwendung von Tailoring-Operatoren (vgl. Kapitel 3.2.6). Anstelle von physischen Komponenten könnten bereits Artefakte (z. B. Testchecklisten) ausgeliefert werden, wobei mit dem

Kunden abzustimmen ist, inwiefern diese einen Mehrwert bieten. Gleichermaßen kann eine Skalierung der agilen Techniken vorgenommen werden, z. B. durch den Einsatz übergreifender strategischer Abläufe an verteilten Standorten. Ähnlich verhält es sich mit dem Einfluss der Fertigungsart auf den Eignungsgrad von Scrum. Während bei einer Einzelfertigung aufgrund der Unsicherheiten und volatilen Anforderungen der angepasste Einsatz in Form von agilen Techniken zu empfehlen ist, sollten bei einer Serienproduktion mit bekannten Rahmenbedingungen eher konventionelle Vorgehensmodelle (z. B. V-Modell) eingesetzt werden. (MAXIMINI 2013, S. 19 f.)

Über die Herangehensweisen beim prototypischen Einsatz von Scrum berichten SOMMER ET AL. (2013), die nach KLEIN & REINHART (2013) als horizontaler und vertikaler Ansatz bezeichnet werden können. Diese haben Einfluss auf die Formierung des Teams und die Integration von Mitgliedern unterschiedlichen Erfahrungshintergrunds (SHALABY & EL-KASSAS 2011, S. 12). Beim horizontalen Ansatz entwickelt lediglich eine Disziplin (z. B. Softwareentwicklung) während eines Abschnitts oder des gesamten Entwicklungsprozesses mit Scrum. Die Kollaboration ist multidisziplinär geprägt, sodass eine hohe Spezialisierung der Disziplinen und ein geringerer Vernetzungsgrad bestehen. Die Herausforderung liegt in der Akzeptanz der unterschiedlichen Vorgehensweisen und der Rückführung von Änderungen, beispielsweise infolge von Nacharbeiten. Auf Systemebene ist dazu meistens ein Phasenmodell (z. B. Quality-Gate-Modell) überlagert, das gemeinsame Meilensteine vorgibt (SOMMER ET AL. 2013, S. 1280). In mechatronischen Entwicklungsprozessen ist jedoch ein hoher Interaktionsgrad der Disziplinen erforderlich, der durch ein gemeinsames Vorgehen begünstigt werden kann (DIEHL 2009, S. 4, 84 f.). Hierzu sieht der vertikale Ansatz eine Verwendung von Scrum in allen Disziplinen und somit eine Parallelisierung der Entwicklung vor (vgl. Simultaneous Engineering). Bei einer interdisziplinären Kooperation können die Entwicklungsteams einzeln, d. h. getrennt nach Disziplinen agieren und einem spezifischen Prozess folgen (z. B. individuelle Iterationen). Hierbei ist die Abtaktung und Integration der disziplinspezifischen Entwicklungsergebnisse zu beachten, um keine zeitlichen Abhängigkeiten zu erzeugen. Dies kann durch überlappende Sprints erzielt werden, bei denen die Iterationen der Disziplinen zeitversetzt ablaufen (SUTHERLAND 2005, S. 90, 92-94). Liegt hingegen eine transdisziplinäre Entwicklung vor, wie in den gestalterischen Abschnitten eines mechatronischen Entwicklungsprozesses (z. B. Anforderungsspezifikation), ist eine enge Kooperation der Disziplinen zur Bearbeitung der Aufgabe in einem gemeinsamen Scrum-Prozess erforderlich. Das Team sollte sich dabei aus Entwicklern aller Disziplinen zusammensetzen, die einen unterschiedlichen Erfahrungshintergrund aufweisen können (SHALABY & EL-KASSAS 2011, S. 12). Dies ist vergleichbar zu der Strategie des Systems Engineerings und hat Einfluss auf den hohen Austausch zwischen Disziplinen sowie auf die Bestimmung einer geeigneten Länge der Iterationen. (vgl. KLEIN & REINHART 2013, S. 228 f.)

Für die Übertragung von agilen Techniken sind jedoch die passenden Rahmenbedingungen eine notwendige Voraussetzung (WELGE & FRIEDRICH 2012, S. 350). Die Etablierung von Scrum bzw. agilen Techniken in einem Unternehmen kann daher mit bestehenden Einführungsstrategien gestützt werden. MAXIMINI (2013, S. 11-14) unterscheidet diesbezüglich die Strategien *verdeckt*, *top-down* und *bottom-up*, die auch in anderweitigen Bereichen des Change Managements anzutreffen sind und entsprechende Aspekte des Veränderungsprozesses beinhalten (vgl. KOTTER 1996). Es ist hierfür insbesondere der Rückhalt der Mitarbeitenden für die angestrebte Neuerung (z. B. Umstrukturierung der Ablauforganisation) erforderlich. Dazu ist zunächst eine Dringlichkeit aufzubauen, um die Notwendigkeit eines Veränderungsprozesses herauszustellen. Daraufhin ist eine Führungskoalition zu etablieren, welche die Zielstellung vertritt und Visionen sowie Strategien entwickelt, die transparent zu kommunizieren sind. Dies dient der Einbindung der Mitarbeitenden auf breiter Basis. Dabei ist es insbesondere wichtig, zeitnah erste Erfolge zu erzielen und diese zu konsolidieren. Aus der Einleitung weiterführender Veränderungen und Verbesserungsmaßnahmen können so die neuen Ansätze nachhaltig im Unternehmen verankert werden. Bezogen auf die initiale Einführung von Scrum empfehlen sich insbesondere Pilotprojekte, die eine gewisse zeitliche Kritikalität besitzen. Um Scrum in einem Unternehmen zu etablieren, kann neben der Kooperation mit einem externen Beratungsunternehmen eine eigene Scrum-Abteilung als Stabsstelle berufen werden, die das Prozesswissen zentral vereint und bei der Durchführung von Scrum-Projekten durch Expertenwissen unterstützt. Gleichermaßen kann auch eine eigene Organisationseinheit gegründet werden, die alle Scrum-Projekte im Unternehmen durchführt oder die anvisierten Projekte inhaltlich in Untereinheiten aufteilt. (MAXIMINI 2013, S. 3-9, 11-14)

3.4.6 Fazit

Als Zusammenfassung der vorangegangenen Abschnitte lässt sich festhalten, dass Scrum mittlerweile als ein Standard in der reinen Softwareentwicklung eingestuft wird und zu den am weitesten verbreiteten sowie erfolgreichsten Vertretern der agilen Vorgehensmodelle zählt. Die zentralen Elemente von Scrum stellen die Kooperation und Kommunikation des Menschen, die zyklische Auslieferung von Teilprodukten sowie die kontinuierliche Verbesserung in den Mittelpunkt. Scrum kann aus den unterschiedlichen Sichten auf die Logik eines Vorgehensmodells beschrieben werden. Im Kern ist Scrum ein mikrologischer Problemlösungszyklus, vergleichbar mit dem PDCA-Zyklus, mit einem wiederkehrenden Vorgehen zwischen der Grobplanung bzw. Systementwurf und dem Projektabschluss. Als operative Arbeitsschritte sind in Scrum acht Abläufe, zwölf Artefakte, zwei Visualisierungstechniken der Hilfsmittel und sechs Rollen enthalten. Diese agilen Techniken gliedern sich in die Arbeitsabschnitte

der strategischen und taktischen Planung, der Umsetzung sowie des Reviews und kontinuierlichen Verbesserungsprozesses. Scrum beinhaltet keine softwarespezifischen Inhalte, weshalb ein Einsatz prinzipiell für beliebige Produktentwicklungen möglich ist. Für den systematischen Einsatz von Scrum außerhalb der Softwareentwicklung existiert jedoch bislang kein systematisches Vorgehen. Dies ist der Ansatzpunkt der vorliegenden Arbeit, wobei auf fortführenden Informationen zu Scrum auf weitere Arbeiten verwiesen wird[1].

Die verfügbaren Vorarbeiten beschränken sich auf einen Ansatz, der den synergetischen Einsatz von gezielt ausgewählten agilen Techniken anstelle des gesamten Scrum-Prozesses empfiehlt. Weitere Erfahrungsberichte sprechen von ersten prototypischen Anwendungen von Scrum in produzierenden Unternehmen, wobei ein horizontaler und ein vertikaler Ansatz unterschieden werden, die Einfluss auf die Formierung des Teams nehmen. Da in mechatronischen Entwicklungsprozessen insbesondere in den gestalterischen Abschnitten eine hohe Interaktion zwischen den Disziplinen vorherrscht, ist eine transdisziplinäre Besetzung des Entwicklungsteams in einem gemeinsamen Scrum-Prozess gemäß dem vertikalen Ansatz empfehlenswert, da diese die am weitesten fortgeschrittene Form der Zusammenarbeit darstellt (HELLENBRAND 2013, S. 13). Dies wird im Rahmen der vorliegenden Arbeit angenommen und weiter ausgeführt. Für die Übertragung von Scrum sind dazu passende Rahmenbedingungen zu schaffen, die sich mit dem Rückhalt der Mitarbeitenden, der gemeinsamen Definition von Zielen sowie mit Pilotprojekten und der Einbindung von Experten befassen. Für die Einführung der agilen Techniken selber kann hierzu auf bestehende Ansätze (z. B. Change Management) verwiesen werden, die im Rahmen der vorliegenden Arbeit daher nicht weiter detailliert werden.

[1] SCHWABER (2007); POTTER & SAKRY (2009); GLOGER & HÄUSLING (2011); PICHLER & ROOCK (2011); WIRDEMANN (2011); OPELT ET AL. (2012); RÖPSTORFF & WIECHMANN (2012); GLOGER (2013B); MAXIMINI (2013); PICHLER (2013); SUTHERLAND & SCHWABER (2013); GLOGER & MARGETICH (2014); RUBIN (2014)

4 Abgeleiteter Handlungsbedarf und resultierende Anforderungen

Im Anschluss an den Stand der Technik und Forschung fasst dieses Kapitel die Erkenntnisse zusammen und leitet daraus die Zielstellung sowie die Anforderungen der vorliegenden Arbeit ab. Dazu wird ausgehend von den behandelten Vorarbeiten eine Schlussfolgerung für den Untersuchungsbereich gezogen (siehe Kapitel 4.1), aus der sich die Ansatzpunkte der vorliegenden Arbeit ableiten. Darauf aufbauend werden die konkrete Zielstellung und die zu beantwortenden Forschungsfragen dargelegt sowie der erwartete Nutzen erläutert (siehe Kapitel 4.2). Das Kapitel schließt mit den Anforderungen an die Methodik (siehe Kapitel 4.3) sowie einem Fazit des Kapitels (siehe Kapitel 4.4).

4.1 Schlussfolgerung für den Untersuchungsbereich

In Kapitel 3.1 wurde dargelegt, wie mechatronische Entwicklungsprozesse des Maschinen- und Anlagenbaus zeitlich aufgebaut und inhaltlich strukturiert sind. Als Referenz für bestehende Prozesse in der industriellen Praxis wurden die sechs Abschnitte der Initialphase, Anforderungs- und Lösungsspezifikation, Realisierung, Systemintegration und Abnahme vorgestellt (vgl. Kapitel 3.1.1). Die vorliegende Arbeit grenzt sich von dem Verständnis eines rein phasenorientierten Prozessmodells ab, da vereinheitlichte, sequenzielle Zeitabschnitte und vordefinierte Entscheidungspunkte den Anforderungen an flexible Prozesse und den häufigen Änderungen in der industriellen Praxis kaum noch gerecht werden. Zudem erfordert ein Prozess eine konkrete Beschreibung von Tätigkeiten sowie der Aufbau- und Ablauforganisation in Form von Abläufen, Aktivitäten, Artefakten, Hilfsmitteln oder Rollen. Im Weiteren wurde daher auf den Aufbau von Entwicklungsprozessen eingegangen (vgl. Kapitel 3.1.2), der inhaltlich nach Prozessgebieten, Aktivitätsgruppen und Aktivitäten beschrieben werden kann. Eine detaillierte Abbildung eines mechatronischen Entwicklungsprozesses bis auf die Ebene der Aktivitäten existierte zu Beginn der vorliegenden Arbeit jedoch nicht. Aus diesem Grund wurden Referenzmodelle im Service- und Dienstleistungsbereich vorgestellt (vgl. Kapitel 3.1.3), die der Abbildung des Wissens über die Abläufe und Zusammenhänge in Unternehmen einer adressierten Branche dienen. Daraus kann ein gewollter Soll-Zustand der Aufbau- oder Ablauforganisation eines Unternehmens ermittelt werden, um anhand dessen den aktuellen Ist-Zustand zu bewerten und daraus die Ansatzpunkte für eine Umstrukturierung abzuleiten. Auf die bestehenden Vorarbeiten zu mechatronischen Entwicklungsprozessen kann in der vorliegenden Arbeit aufgebaut werden. Im Weiteren wurde ein repräsentativer Forschungsansatz zur

anwendergerechten Gestaltung eines mechatronischen Entwicklungsprozesses entsprechend den spezifischen Gegebenheiten des Anwendungsfalls vorgestellt (vgl. Kapitel 3.1.4). Auf die erarbeiteten Einflussfaktoren und deren Gruppierung kann in der vorliegenden Arbeit zurückgegriffen werden, jedoch sind weiterführende Untersuchungen hinsichtlich der speziellen Einflussfaktoren mit Bezug auf den Einsatz von agilen Techniken im Maschinen- und Anlagenbau erforderlich.

Das Kapitel 3.2 widmete sich den konventionellen Vorgehensmodellen in der Produktentwicklung. Hierzu wurden zunächst die adressierten Nutzenpotenziale (vgl. Kapitel 3.2.1) beschrieben und eine Übersicht ausgewählter konventioneller Vorgehensmodelle vorgestellt (vgl. Kapitel 3.2.2). Die vorliegende Arbeit grenzt sich von den plangeleiteten Ansätzen der konventionellen Vorgehensmodelle vollständig ab, da diese in ihrer ursprünglichen Konzeptionierung den Forderungen an flexible Prozesse im Maschinen- und Anlagenbau in vielen Fällen nicht mehr gerecht werden. Im Weiteren wurden bestehende Ansätze zur Strukturierung (vgl. Kapitel 3.2.3) und Modularisierung (vgl. Kapitel 3.2.4) vorgestellt, die Vorgehensmodelle in die Bestandteile der Aktivitäten, Abläufe, Artefakte, Hilfsmittel und Rollen untergliedern und Abhängigkeiten sowie mögliche Sollbruchstellen von Kombinationsmöglichkeiten über ein grafisches Verfahren visualisieren. Da sich die bestehenden Ansätze lediglich auf konventionelle Vorgehensmodelle beziehen, sollen diese im Rahmen der vorliegenden Arbeit auch auf agile Vorgehensmodelle angewendet und im Weiteren für eine Übertragung der agilen Techniken von Scrum in den Maschinen- und Anlagenbau aufgegriffen werden. Für eine Anwendung von Vorgehensmodellen in der industriellen Praxis wurden darüber hinaus Ansätze zur Weiterentwicklung (vgl. Kapitel 3.2.5) und zur anwendungsspezifischen Anpassung (vgl. Kapitel 3.2.6) vorgestellt, die durch Lebenszyklusmodelle synchronisiert werden können (vgl. Kapitel 3.2.7). Eine Weiterentwicklung eines Vorgehensmodellstandards kann als Version, Variante bzw. anwendungsspezifisches Vorgehensmodell beschrieben werden. Entsprechende Ansätze zur anwendungsspezifischen Anpassung eines Vorgehensmodellstandards bedienen sich der Tailoring-Operatoren unter Berücksichtigung der anwendungsspezifischen Gegebenheiten. Um die Weiterentwicklung und Anpassung eines Standards bzw. eines anwendungsspezifischen Vorgehensmodells zu unterstützen bzw. zu synchronisieren, können Erfahrungen aus deren Einsatz ausgetauscht werden. In der vorliegenden Arbeit kann auf die genannten Ansätze zurückgegriffen werden, wobei die hierarchischen Ebenen der aktuellen Version eines Vorgehensmodellstandards sowie eines anwendungsspezifischen Vorgehensmodells fokussiert werden. Da auch agile Vorgehensmodelle wie Scrum einer anwendungsspezifischen Anpassung bedürfen, können die bestehenden Tailoring-Operatoren übertragen werden. Gleiches ist für die Ansätze der Lebenszyklusmodelle zutreffend, da diese im Speziellen für resultat- bzw. produktorientierte Vorgehensmodelle entworfen wurden und daher insbesondere für Scrum geeignet sind.

In Kapitel 3.3 standen die in der Softwareentwicklung weit verbreiteten agilen Vorgehensmodelle im Fokus der Betrachtung. Hierzu wurden zunächst eine Übersicht und eine Kurzbeschreibung ausgewählter agiler Vorgehensmodelle gegeben (vgl. Kapitel 3.3.1), die in der Vergangenheit in diversen Arbeiten beschrieben, untersucht bzw. miteinander verglichen wurden. Im Weiteren wurden die Abgrenzung zu den konventionellen Vorgehensmodellen in Bezug auf das Prozessverständnis, die Einordnung, übliche Einsatzbedingungen, den Eignungsgrad sowie bestehende Auswahlkriterien behandelt (vgl. Kapitel 3.3.2). Agile Vorgehensmodelle können als eine wiederkehrende Sequenz eines konventionellen Vorgehens verstanden werden. Je nach Anwendungsfall haben konventionelle und agile Vorgehensmodelle jeweils ihre „Standardterritorien“, in denen sie dem Modell der jeweils anderen Klasse überlegen sind. Jedoch sind ebenso die Einsatzbedingungen zu betrachten, die sich in der Regel voneinander unterscheiden. Während konventionelle Vorgehensmodelle eher bei großen und langfristigen Projekten mit stabilen Anforderungen zum Einsatz kommen, werden agile Vorgehensmodelle vermehrt bei kleinen Projekten mit hohen Änderungseinflüssen verwendet. Laut bestehenden Studien wird dabei einem Projekt mit agilem Projektmanagement im Vergleich zu einem konventionellen Projektmanagement ein höheres Erfolgspotenzial beigemessen, wenngleich in beiden Fällen eine ähnliche Ergebnisqualität erzielt werden kann. Dies gilt auch für Projekte außerhalb der reinen Softwarenentwicklung, wobei agile und konventionelle Vorgehensmodelle in unterschiedlichen Ausprägungen miteinander kombiniert werden können. Es existieren erste Ansätze, die über Auswahlkriterien eine qualitative bzw. quantitative Aussage generieren, ob eher ein agiles oder ein konventionelles Vorgehensmodell eingesetzt werden sollte. Diese Ansätze gegeben jedoch nur einen Trend an und sehen keine Kombination der Auswahlkriterien vor. Gleichermaßen existieren bislang keine Eignungsgrade, die unterschiedliche Empfehlung bei der Anwendung von agilen Techniken gewährleisten würden. Die vorliegende Arbeit setzt daher bei mechatronischen Entwicklungsprozessen des Standes der Technik und der Forschung an und fokussiert den nutzbringenden Einsatz von agilen Techniken. Hierfür kann auf die bestehenden Auswahlkriterien zurückgegriffen werden, wobei es einer fundierten Systematik für die Auswahl und Kombination von agilen Techniken bedarf. Als Vorarbeit wurden die zugrundeliegenden Werte sowie die Bestandteile von agilen Vorgehensmodellen im Allgemeinen vorgestellt (vgl. Kapitel 3.3.4). Die agilen Vorgehensmodelle basieren auf mehreren Werten, die sich aus dem agilen Manifest ableiten und ein abstraktes sowie mit einem Nutzen verbundenes Ziel formulieren. In agilen Vorgehensmodellen werden diese Werte durch Elemente umgesetzt, die den Aktivitäten eines Vorgehensmodells entsprechen und durch Abläufe, Artefakte, Hilfsmittel und Rollen realisiert werden. Hierzu wurden im Weiteren die aufgeführten agilen Vorgehensmodelle einer Analyse hinsichtlich der beinhalteten Elemente und Techniken unterzogen (vgl. Kapitel 3.3.4).

Dabei wurde festgestellt, dass sich der Anteil an Elementen und Techniken bei den agilen Vorgehensmodellen stark unterscheidet. Während die Werte der agilen Vorgehensmodelle sich zumeist auf die effiziente Entwicklung von Software beziehen, geben viele der Techniken im Allgemeinen und unabhängig vom Entwicklungsgegenstand an, wie die Aufbau- und Ablauforganisation zu gestalten ist. Hierbei ist insbesondere Scrum hervorzuheben, das praktisch alle allgemeinen agilen Techniken der agilen Vorgehensmodelle beinhaltet. Da die agilen Techniken von Scrum zudem in einem strukturellen Zusammenhang stehen und die Abhängigkeiten explizit beschrieben sind, wird der Betrachtungsfokus ausschließlich auf die agilen Techniken von Scrum gelegt, die im Kontext des Maschinen- und Anlagenbaus zu beschreiben sind.

In Kapitel 3.4 wurde daran anknüpfend Scrum vorgestellt. Dazu wurden zunächst die Historie sowie das Begriffsverständnis dargelegt (vgl. Kapitel 3.4.1). Die Wortherkunft wird zumeist auf die Sportart Rugby zurückgeführt, um die Zusammenarbeit in einem Entwicklungsteam zu beschreiben. In Bezug auf die Bestandteile von Scrum sind Elemente der Kundenorientierung, des selbstorganisierten Teams, der Iterationen und Inkremente, der Offenheit gegenüber Veränderungen, des kontinuierlichen Verbesserungsprozesses sowie der Kommunikation hervorzuheben. Hinsichtlich des Prozesses kann Scrum nach der Logik von Vorgehensmodellen beschrieben werden, wobei im Kern ein mikrologischer Problemlösungszyklus steht (vgl. Kapitel 3.4.2). Dieser umfasst die Phasen des wiederholten Planens, Ausführens, Kontrollierens und Verbesserns, die mit konkreten, operativen Arbeitsschritten umgesetzt werden (vgl. Kapitel 3.4.3). Hierzu zählen acht Abläufe, zwölf Artefakte, zwei Visualisierungstechniken der Hilfsmittel und sechs Rollen, die allesamt keine softwarespezifischen Inhalte beschreiben. Die agilen Techniken sind in die unterschiedlichen Arbeitsabschnitte des Scrum-Prozesses inbegriffen, die sich in die taktische und strategische Planung, die Umsetzung sowie das Review und den kontinuierlichen Verbesserungsprozess gliedern (vgl. Kapitel 3.4.4). Ein Prozess ergibt sich dabei aus der Verknüpfung der agilen Techniken mit bestimmten inhaltlichen Aktivitäten, die jedoch nicht vorgegeben werden. Daran anknüpfend wurde der Einsatz von Scrum in der industriellen Praxis untersucht (vgl. Kapitel 3.4.5). Für eine Entwicklung von Hardware und bei Einzelfertigungen ist es empfehlenswert, einzelne agile Techniken auszuwählen und gezielt zu kombinieren. Dies ist insbesondere für einen Einsatz im Maschinen- und Anlagenbau sinnvoll. Entsprechende Ansätze für die Einführung von Scrum in der Unternehmenspraxis bestehen bereits, weshalb sich die vorliegende Arbeit von diesen abgrenzt. Stattdessen widmet sich die vorliegende Arbeit der Übertragung von Scrum in den Maschinen- und Anlagenbau. Es ist dazu die Strukturierung und Modularisierung von Scrum zu vertiefen und eine Systematik für die Auswahl und Adaption von agilen Techniken sowie deren Integration in die Aktivitäten des mechatronischen Entwicklungsprozesses entsprechend den anwendungsspezifischen Gegebenheiten zu erarbeiten.

4.2 Zielsetzung und Forschungsfragen

Ausgehend von der vorangegangenen Schlussfolgerung für den Untersuchungsbereich leiten sich die Zielsetzung sowie die zugrundeliegenden Forschungsfragen ab, die in diesem Abschnitt vorgestellt werden.

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Entwicklung einer *Methodik zum agilen Engineering im Maschinen- und Anlagenbau*.

Die zu entwickelnde Methodik soll der anwendungsspezifischen Beschreibung eines mechatronischen Entwicklungsprozesses unter Einsatz von agilen Techniken für den Maschinen- und Anlagenbau dienen. Den Neuheitsgrad bildet die synergetische Kombination und Adaption agiler Techniken von Scrum sowie deren Integration in den mechatronischen Entwicklungsprozess unter Berücksichtigung der anwendungsspezifischen Gegebenheiten. Anhand der Methodik sollen eine Entscheidungsgrundlage für den Einsatz eines agilen Engineerings im Maschinen- und Anlagenbau generiert sowie die erforderlichen Ansatzpunkte für eine Umstrukturierung der Aufbau- oder Ablauforganisation spezifiziert werden. Als Anwender sollen externe Dienstleister oder interne Abteilungen auftreten, um die Eignung eines agilen Engineerings in einem Unternehmen zu untersuchen sowie den erforderlichen Veränderungsprozess anzustoßen und zu begleiten.

Zur Erschließung dieser Zielsetzung lauten die aufeinander aufbauenden Forschungsfragen im Einzelnen:

F1 *Wie lässt sich das agile Engineering im Kontext des Maschinen- und Anlagenbaus einordnen?*

F2 *Wie können agile Techniken für eine Anwendung im Maschinen- und Anlagenbau kombiniert und adaptiert werden?*

F3 *Wie können mechatronische Entwicklungsprozesse für den Einsatz von agilen Techniken beschrieben werden?*

F4 *Wie können agile Techniken in die Aktivitäten eines mechatronischen Entwicklungsprozesses integriert werden?*

F5 *Wie kann der Anwendungsfall zur Beschreibung eines mechatronischen Entwicklungsprozesses unter Einsatz von agilen Techniken abgebildet werden?*

Die Forschungsfragen gliedern sich in generelle Grundüberlegungen (F1 und F2) zum agilen Engineering im Maschinen- und Anlagenbau (siehe Kapitel 5) sowie die Bestandteile (F3, F4 und F5) der zu entwickelnden Methodik (siehe Kapitel 6).

Die erste Forschungsfrage (F1) widmet sich der grundlegenden Beschreibung (siehe Kapitel 5.1) und Einordnung (siehe Kapitel 5.2) des agilen Engineerings im Kontext

des Maschinen- und Anlagenbaus. Dazu wird auf die Grundlagen und Begriffsbestimmungen dieser Arbeit (vgl. Kapitel 2), die allgemeinen Erkenntnisse zu Entwicklungsprozessen für mechatronische Maschinen- und Anlagen (vgl. Kapitel 3.1) sowie die agilen Vorgehensmodelle in der Softwareentwicklung (vgl. Kapitel 3.3) zurückgegriffen. Auf dieser Grundlage soll ein gemeinsames Verständnis des agilen Engineerings im Maschinen- und Anlagenbau erarbeitet und dieses im Untersuchungsbereich eingeordnet werden.

Die zweite Forschungsfrage (F2) beschäftigt sich mit Übertragung und Anwendung von agilen Techniken für einen Einsatz im mechatronischen Entwicklungsprozess des Maschinen- und Anlagenbaus (siehe Kapitel 5.3). Hierfür wird auf die Strukturierung (vgl. Kapitel 3.2.3) und Modularisierung von Vorgehensmodellen (vgl. Kapitel 3.2.4), die anwendungsspezifische Anpassung (vgl. Kapitel 3.2.6) und insbesondere auf Scrum (vgl. Kapitel 3.4) eingegangen. Dies dient der Identifikation von unterschiedlichen Kombinationen von agilen Techniken sowie deren Adaption und allgemeingültigen Beschreibung für einen Einsatz im Maschinen- und Anlagenbau.

Die dritte Forschungsfrage (F3) widmet sich der inhaltlichen Beschreibung eines mechatronischen Entwicklungsprozesses. Sie ist eng mit der vierten Forschungsfrage (F4) verknüpft, die sich mit der Integration von agilen Techniken in die Aktivitäten des mechatronischen Entwicklungsprozesses befasst (siehe Kapitel 6.2). Beide Forschungsfragen bauen auf die vorangegangen Untersuchungen auf und bedienen sich im Weiteren des inhaltlichen Aufbaus von mechatronischen Entwicklungsprozessen (vgl. Kapitel 3.1.2), den Vorarbeiten zu Referenzmodellen als Service- und Dienstleistungen (vgl. Kapitel 3.1.3), der Weiterentwicklung von Modellen (vgl. Kapitel 3.2.5) und den operativen Arbeitsschritten (vgl. Kapitel 3.4.3) und den Arbeitsabschnitten von Scrum (vgl. Kapitel 3.4.4). Die Erkenntnisse über mechatronische Entwicklungsprozesse unter Einsatz von agilen Techniken sollen dazu in einem eigenen Referenzmodell abgebildet werden.

Die fünfte Forschungsfrage (F5) befasst sich mit dem Anwendungsfall zur Beschreibung eines mechatronischen Entwicklungsprozesses unter Einsatz von agilen Techniken durch die Verwendung einer Skalierungsmethode (siehe Kapitel 6.3) und eines rechnerbasierten Werkzeugs (siehe Kapitel 6.4). Sie greift damit auf die Ansätze zur anwendergerechten Gestaltung von Entwicklungsprozessen (vgl. Kapitel 3.1.4), zum Lebenszyklus von Modellen (vgl. Kapitel 3.2.7) und zum Einsatz von Scrum in der Praxis (vgl. Kapitel 3.4.5) zurück. Mithilfe der Skalierungsmethode soll, unter Anwendung des rechnerbasierten Werkzeugs, der Soll-Zustand für einen mechatronischen Entwicklungsprozess unter Einsatz von agilen Techniken für einen im Maschinen- und Anlagenbau betrachteten Anwendungsfall abgeleitet werden.

4.3 Anforderungen an die Methodik

Im Rahmen der Zielsetzung der vorliegenden Arbeit und den vorangegangenen Erläuterungen sollen in diesem Abschnitt konkrete Anforderungen an die Entwicklung der Methodik formuliert und für eine anschließende Bewertung herangezogen werden. Die Anforderungen orientieren sich an den Zusammenhängen der Vorgehensweisen und beziehen sich somit auf die Bestandteile der Methodik. Da Wissen über die Aktivitäten von mechatronischen Entwicklungsprozessen und agile Techniken abgebildet werden soll, wird eine Gruppierung in spezifische und grundlegende Anforderungen vorgenommen. Die spezifischen Anforderungen beschreiben dabei die abgebildeten Inhalte (vgl. MELING 2013, S. 73 f.) und die grundlegenden Anforderungen an die Modellierung (vgl. JANSEN 2006, S. 75-79), die Methode (vgl. SCHACK 2007, S. 61-65) sowie die Umsetzung (vgl. GRAUPNER 2010, S. 40-44) durch ein rechnerbasiertes Werkzeug.

4.3.1 Inhalte

Die Anforderungen an die Inhalte sind spezifisch und beschreiben explizit, welches Wissen in Abhängigkeit vom Betrachtungsbereich repräsentiert wird und damit auch implizit, welche Aussagen damit erzeugt werden können (vgl. MELING 2013, S. 73). Die Inhalte sind zentraler Bestandteil der Methodik.

A1 *Abbildung und Strukturierung des mechatronischen Entwicklungsprozesses:* Für die inhaltliche Prozessbeschreibung sind Aufgaben und Tätigkeiten eines mechatronischen Entwicklungsprozesses im Maschinen- und Anlagenbau in der Methodik abzubilden (vgl. HELLENBRAND 2013, S. 96) und entsprechend der Struktur bestehend aus Prozessgebieten, Aktivitätsgruppen und Aktivitäten einzuordnen.

A2 *Abbildung und Klassifizierung agiler Techniken:* Für die Beschreibung des agilen Engineerings sind die auf den Maschinen- und Anlagenbau übertragenen agilen Techniken in der Methodik abzubilden und entsprechend ihrer Kombinierbarkeit inhaltlich zu klassifizieren.

A3 *Allgemeingültige Beschreibung und Aktualität:* Die abgebildeten Inhalte in der Methodik sind von individuellen Gegebenheiten freizuhalten und auf die wesentlichen Eigenschaften zu reduzieren (vgl. ROSEMANN 1995, S. 34). Eine Vollständigkeit und Konsistenz der Inhalte ist nicht gefordert (vgl. DELP 2006, S. 41). Stattdessen ist innerhalb des Betrachtungsbereichs eine Allgemeingültigkeit und Aktualität (vgl. FETTKE & LOOS 2002B, S. 3 f.) zu wahren, mit der ein möglichst großes Spektrum an Szenarien abgebildet werden kann (vgl. JANSEN 2006, S. 75).

4.3.2 Modellierung

Die grundlegenden Anforderungen an die Modellierung ergeben sich aus der Begriffsbestimmung des Modells (vgl. Kapitel 2.2.4) bzw. des Referenzmodells (vgl. Kapitel 3.1.3) und sind unabhängig von der Aufgabenstellung oder möglichen Lösungswegen (MELING 2013, S. 71 f.). Im Referenzmodell sind die Inhalte der Methodik hinterlegt.

A4 *Relationen zwischen Bestandteilen:* Die zu modellierenden Inhalte ergeben sich aus den Aktivitäten des mechatronischen Entwicklungsprozesses und den agilen Techniken. Um die Abhängigkeiten darzustellen, sind die Relationen zwischen diesen Bestandteilen abzubilden (JANSEN 2006, S. 78).

A5 *Skalierbarkeit:* Damit das verallgemeinerte Modell entsprechend eines spezifischen Anwendungsfalls konkretisiert werden kann, ist eine Skalierbarkeit des Modells zu gewährleisten (vgl. SCHACK 2007, S. 61). Diese erlaubt es, die relevanten Informationen in Abhängigkeit des Untersuchungsziels abzubilden (JANSEN 2006, S. 76).

A6 *Wiederverwendbarkeit und Erweiterbarkeit:* Damit das Modell mehrmalig eingesetzt und um neue Erkenntnisse ergänzt werden kann, ist eine Wiederverwendbarkeit sowie eine Erweiterbarkeit der Bestandteile zu gewährleisten (vgl. BECKER & KNACKSTEDT 2003, S. 420-426; JANSEN 2006, S. 76; GRAUPNER 2010, S. 41 f.).

4.3.3 Methode

Die grundlegenden Anforderungen an die Methode beschreiben die Anwendung des Referenzmodells. Sie ergeben sich aus der Begriffsbestimmung der Methode (vgl. Kapitel 2.2.4) sowie aus dem Untersuchungsbereich (vgl. Kapitel 2.5).

A7 *Abbildung von Einflussgrößen:* In der Methode sind Einflussgrößen (vgl. SCHACK 2007, S. 61-65) abzubilden, welche es ermöglichen, das Modell auf einen bestimmten Anwendungsfall des Maschinen- und Anlagenbaus anzuwenden. Die Einflussgrößen sind dazu mit Klassen bestehend aus agilen Techniken in Verbindung zu bringen.

A8 *Ermittlung des Soll-Zustands:* Anhand der Methode soll der Soll-Zustand eines mechatronischen Entwicklungsprozesses unter Einsatz von agilen Techniken für einen bestimmten Anwendungsfall des Maschinen- und Anlagenbaus ermittelt werden. Unter Abgleich des Ist-Zustands dient dies als Entscheidungsgrundlage für den Anwender, auf dessen Basis die erforderlichen Maßnahmen für eine Umstrukturierung getroffen werden können (vgl. SPIEGELBERGER 2011, S. 98 f.).

4.3.4 Umsetzung

Die grundlegenden Anforderungen an die Umsetzung beschreiben die Anwendung der Methodik in der industriellen Praxis (vgl. GRAUPNER 2010, S. 40-44), welche durch ein rechnerbasiertes Werkzeug unterstützt werden soll (vgl. SPIEGELBERGER 2011, S. 98).

A9 *Bedienbarkeit und Darstellung:* Für den praxistauglichen Einsatz der Methodik sind eine Bedienbarkeit durch ein rechnerbasiertes Werkzeug (vgl. JANSEN 2006, S. 74; MELING 2013, S. 72) zu gewährleisten und die Ergebnisse in geeigneter Form darzustellen (vgl. ROELOFSEN 2011, S. 90-92). Dies dient der effizienten Anwendung der Methodik, um mit überschaubarem Aufwand adäquate Ergebnisse zu generieren (vgl. SCHACK 2007, S. 64).

A10 *Integration in bestehende Prozesse:* Die rechnergestützte Anwendung der Methodik soll in bestehende Prozesse des Maschinen- und Anlagenbaus integriert werden können (vgl. GRAUPNER 2010, S. 42 f.), um davon ausgehend als Grundlage für die Entscheidungsfindung zu dienen (vgl. SCHACK 2007, S. 64 f.). Es ist dabei die einmalige und die wiederkehrende Anwendung zu ermöglichen.

4.4 Fazit

In diesem Kapitel wurden aus den Grundlagen und dem Stand der Technik und Forschung der Handlungsbedarf abgeleitet sowie die resultierenden Anforderungen für die vorliegende Arbeit aufgestellt. Es wurde eine Schlussfolgerung für den Untersuchungsbereich in Bezug auf die Entwicklungsprozesse mechatronischer Maschinen und Anlagen, die konventionellen Vorgehensmodelle der Produktentwicklung, die agilen Vorgehensmodelle der Softwareentwicklung sowie Scrum getroffen. Darin wurde gezeigt, dass die bestehenden Ansätze aktuell für eine effiziente Zusammenarbeit der Ingenieursdisziplinen im Entwicklungsprozess nicht genügen und Scrum zugleich hohe Potenziale für einen Einsatz im Maschinen- und Anlagenbau verspricht. Daraus ergibt sich die Zielstellung der vorliegenden Arbeit, welche die Entwicklung einer Methodik zum agilen Engineering im Maschinen- und Anlagenbau adressiert. Die Methodik basiert auf fünf Forschungsfragen, die sich mit dem agilen Engineering und der Übertragung von agilen Techniken in den Maschinen- und Anlagenbau sowie mit der Beschreibung des mechatronischen Entwicklungsprozesses, der Integration von agilen Techniken und der anwendungsspezifischen Beschreibung eines Soll-Prozesses befassen. Für die Entwicklung und Konstruktion der Methodik sind zehn Anforderungen bestimmt, die sich auf die abgebildeten Inhalte sowie die Bestandteile der Methodik, d. h. die Modellierung, die Methode und die Umsetzung beziehen.

5 Agiles Engineering im Maschinen- und Anlagenbau

Das vorliegende Kapitel befasst sich mit den generellen Grundüberlegungen der ersten beiden Forschungsfragen, wie das agile Engineering im Kontext des Maschinen- und Anlagenbaus eingeordnet werden kann (F1) und wie agile Techniken für eine dortige Anwendung kombiniert und adaptiert werden können (F2). Hierzu werden die Anknüpfungspunkte zu etablierten Ansätzen dargelegt, um eine Begriffsbestimmung für das agile Engineering zu tätigen (siehe Kapitel 5.1) und dieses im Untersuchungsbereich einzuordnen (siehe Kapitel 5.2). Darauf aufbauend wird die Übertragung der agilen Techniken in den Maschinen- und Anlagenbau ausführlich untersucht (siehe Kapitel 5.3), bevor das Kapitel mit einem Fazit schließt (siehe Kapitel 5.4).

5.1 Synthese und Begriffsbestimmung

Zwischen dem agilen Engineering bestehen etymologische und inhaltliche Zusammenhänge zu anderweitigen und bereits im Maschinen- und Anlagenbau etablierten Ansätzen. Diese sind anhand der englischsprachigen Begriffe *lean* und *agil* sowie *Produktion* und *Entwicklung* in Abbildung 5-1 dargestellt.

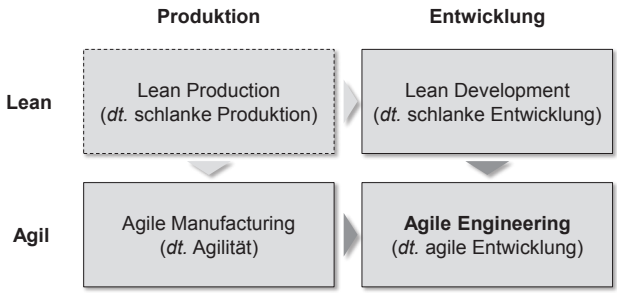


Abbildung 5-1: Begriffe rund um das agile Engineering

Das agile Engineering hat Anknüpfungspunkte zu den Begriffen *Lean (Product-) Development* (*dt.* schlanke Entwicklung, vgl. GRAEBSCH ET AL. 2007) und *Agile Manufacturing* (*dt. Agilität,* vgl. YUSUF ET AL. 1999), die sich aus dem *Lean Production* (*dt.* schlanke Produktion, vgl. WOMACK ET AL. 1991) ableiten. Für eine Übertragung des agilen Engineerings (vgl. SCHNEIDER ET AL. 2012, S. 160) werden in den folgenden Abschnitten daher die Anknüpfungspunkte zur schlanken Entwicklung und Agilität dargelegt (siehe Kapitel 5.1.1) sowie, unter Rückgriff auf bestehende Definitionen, die Erkenntnisse in ein gemeinsames Begriffsverständnis des agilen Engineerings überführt (siehe Kapitel 5.1.2).

5.1.1 Schlanke Entwicklung und Agilität

Die schlanke Produktion nach WOMACK ET AL. (1991) beruht im Wesentlichen auf dem Toyota Produktionssystem und befasst sich mit der Steigerung der Wertschöpfung durch die Vermeidung von Verschwendungen (WIENDAHL ET AL. 2009, S. 89-93). In der frühen Phase des Produktentwicklungsprozesses wird dies als schlanke Entwicklung bezeichnet (vgl. POPPENDIECK 2002, S. 3). Diese beinhaltet theoretische Prinzipien (vgl. MEHRLE ET AL. 2012), die sich mit der Effizienzsteigerung von Produktentwicklungsprozessen befassen (WANG 2011, 1-3; KIRNER 2014, S. 56, 59 f.). Die entsprechenden Verschwendungsarten sind in Tabelle 5-1 zusammengefasst.

Tabelle 5-1: Gegenüberstellung von Verschwendungsarten in der Produktion und Entwicklung

Verschwendungsart[1,2]	Produktion[1,2]	Entwicklung[1,3]
Überproduktion / -entwicklung	(Vor-) Produktion über einen Auftrag hinaus	Zusätzliche Funktionsumfänge, unsynchronisierte Prozessschritte
Wartezeiten	Engpässe, fehlender Nachschub, geringe Bedienraten	Fehlende Informationen, Entscheidungen und Abhängigkeiten
Transport und Austausch	Unnötig zurückgelegte Wegstrecken von Teilen oder Produkten	Unnötige Übergabe von Wissen, Verlust in der Informationskette
Bearbeitung	Nicht beauftragte Merkmale, falsche Bearbeitungen	Unnötiger Entwicklungsaufwand, unbestimmte Tätigkeiten
Bestände	Pufferübersteigende Mengen an Zwischenprodukten	Abzuarbeitende Aufgaben, nicht umgesetzte Anforderungen
Bewegung	Ungeeignete Tätigkeiten, nicht ergonomische Handhabung	Aufwände durch Akquise und Verwertung von Information
Ausschuss und Nacharbeit	Prüfung, Anpassung und Ausschuss infolge von Fehlern	Proprietäre Lösungen für Testabdeckungen, ungenaue Reviews

Gegenüber der Produktion haben die Verschwendungsarten in der Entwicklung andere Ausprägungen, weshalb die *Lean Enabler* (z. B. Poka-Yoke, d. h. technische Vorkehrungen zur Fehlerdetektion, vgl. KIRNER 2014, S. 64, 83) nur begrenzt übertragbar sind. Während Verschwendungen in der Produktion häufig in der Herstellung von Bauteilen sowie der Logistik vorzufinden sind, beziehen sich diese in der Entwicklung

[1]nach MORGAN & LIKER (2006, S. 72-74); WIENDAHL ET AL. (2009, S. 91); SCHIPPER & SWETS (2010, S. 28 f.); [2]WOMACK & JONES (2013, S. 23); [3]POPPENDIECK (2002, S. 3); GRAEBSCH ET AL. (2007, S. 35-48); HAMMERS (2012, S. 22); KIRNER (2014, S. 60)

vielmehr auf den Umgang mit Wissen und den Austausch von Informationen (vgl. HAMMERS 2012, S. 22; WOMACK & JONES 2013, S. 23). Die Verschwendungsarten in der Entwicklung liegen in der Realisierung nicht geforderter Funktionsumfänge, dem Warten auf Informationen oder Entscheidungen, den auftretenden Wissensverlusten beim Austausch von Informationen, der Durchführung unnötiger Tätigkeiten, der Akquise und Verwertung von Informationen sowie ungenauen Testabdeckungen und Reviews (POPPENDIECK 2002, S. 2-7; HAMMERS 2012, S. 21-24; KIRNER 2014, S. 59-62).

Neben der schlanken Entwicklung leitet sich auch der Begriff der Agilität aus der schlanken Produktion ab (*lat.*, *franz.* beweglich, gewandt, DUDEN 2015), der die Veränderungs- und Vernetzungsfähigkeit eines produzierenden Unternehmens beschreibt. WIENDAHL ET AL. (2009, S. 134) bezeichnen die Agilität als die „strategische Fähigkeit eines ganzen Unternehmens, überwiegend proaktiv neue Märkte zu erschließen, die dazu erforderliche Marktleistung zu entwickeln und die notwendige Produktionsleistung aufzubauen“. Sie entspricht der ressourcen-, bereichs- und firmenübergreifenden Reaktionsfähigkeit eines Unternehmens (YUSUF ET AL. 1999, S. 5). Dies ist anhand der Produktions- und Produktebene (MONAUNI & FOSCHIANI 2013, S. 335 f.) in Abbildung 5-2 veranschaulicht.

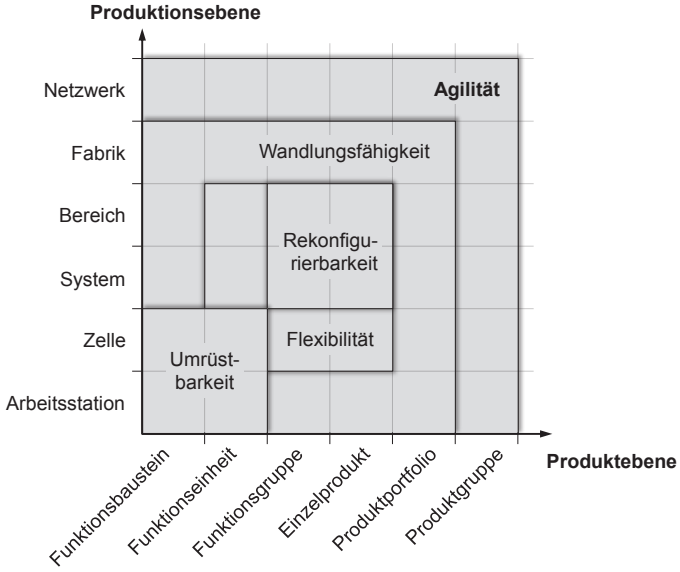


Abbildung 5-2: Klassen der Veränderungs- und Vernetzungsfähigkeit eines Unternehmens nach WIENDAHL ET AL. (2009, S. 131) und MONAUNI & FOSCHIANI (2013, S. 335)

Handlungsanweisungen zur praktischen Umsetzung der Agilität geben MONAUNI & FOSCHIANI (2013) mit den Ansätzen *Network Pooling, Allying* und *Slack*, die den unternehmensübergreifenden Zugriff auf verfügbare bzw. ungenützte Produktionskapazitäten eines Produktionsnetzwerkes (z. B. nicht ausgelastete Spezialwerkzeuge), die Konzentration auf die Kernkompetenzen (z. B. Übertragung von Verantwortungen) sowie die Vereinigung von überschüssigen Ressourcen (z. B. für gemeinsame Forschungszwecke) beschreiben. Agilität kann nach YUSUF ET AL. (1999, S. 37) als die erfolgreiche Vereinigung von Wettbewerbsfähigkeiten bzw. -vorteilen (z. B. Lieferzeit, Flexibilität, Innovation, Proaktivität, Qualität und Profitabilität) durch den Einsatz rekonfigurierbarer Ressourcen und Best Practices beschrieben werden, um kundenorientierte Produkte und Dienstleistungen in einem sich schnell wandelnden Markt anzubieten. Der Mensch als Ressource steht dabei im Mittelpunkt (UHLMANN & SCHRÖDER 1998, S. 182 f.), wobei Aspekte der Autonomie, Kooperation und Selbstoptimierung zum Tragen kommen (NEUHAUSEN 2001, S. 40-42). Agilität ist also eine Voraussetzung für Unternehmen, um ihre Wettbewerbsfähigkeit sicherzustellen, wozu verschiedene Konzepte, vergleichbar zu Total Quality Management, Just-in-Time und der schlanken Produktion, zum Einsatz kommen können (YUSUF ET AL. 1999, S. 33-43).

5.1.2 Agiles Engineering

Ausgehend von den ausgeführten Anknüpfungspunkten ist das *agile Engineering* als eine in den Ingenieurswissenschaften (*engl.* Engineering) gelebte Agilität zu verstehen. Das englischsprachige *Engineering* beschreibt dabei alle Aufgabenbereiche von der Produktidee bis zur erfolgreichen Auslieferung (GAUSEMEIER ET AL. 2001, S. 45) und *agil* die zu erzielenden Effizienzsteigerungen in Entwicklungsprozessen. Dies erfolgt durch die flexible und reaktionsschnelle Adaption, beispielsweise infolge von unerwarteten Änderungen. Die (pro-) aktive Reaktion kann durch die gestiegene Automatisierung, stärkere Preis-Kosten-Orientierungen, zunehmende Kundenwünsche bzw. -einbindungen usw. erforderlich werden. Das agile Engineering ist somit ein Managementansatz für die praktische Umsetzung der theoretischen Prinzipien der schlanken Entwicklung sowie der Agilität (WANG 2011, S. 7; GLOGER 2013A, S. 19).

Dies spiegelt sich in diversen Definitionen rund um das agile Engineering wider. Für COCKBURN (2002, S. 178 f.) ist ein agiler Prozess im Engineering hinreichend leichtgewichtig, der seine Effizienz durch die räumlich nahegelegene Zusammenarbeit von erfahrenen Entwicklern und Anwendungsexperten sowie die regelmäßige Auslieferung von getesteten Inkrementen entfaltet. Er beschränkt sich damit auf ein einfaches Regelwerk und stellt den Menschen bzw. die Kommunikation in den Vordergrund. Ähnlich sehen es BARON & HÜTTERMANN (2010, S. 6 f.), die Agilität im Engineering als eine Denkweise und Einstellung zur Arbeit bezeichnen, die eine enge Zusammenarbeit

im Team voraussetzt, und diese mit einer iterativen Entwicklung verknüpfen. Eine Agilität zeichne sich durch „eine enge Zusammenarbeit im Team, stetigen Wissensaustausch und -verteilung“ sowie Iterationen aus (BARON & HÜTTERMANN 2010, S. 6). Sie bezieht sich damit „auf die Denkweise und die Einstellung zur Arbeit und zur Kooperation mit Kollegen“, die „grundsätzlicher und umfassender als Vorgehensmodelle oder Methoden“ sind (BARON & HÜTTERMANN 2010, S. 6 f.). Gleichermaßen hebt KOMUS (2012, S. 6) „eine möglichst hohe Rückkopplungsrate verbunden mit kurzen Umsetzungszyklen“ hervor, die durch einen „hohen Grad an Eigenorganisation zu schnelleren und besseren Ergebnissen führt“ (KOMUS 2012, S. 6). Daran anknüpfend spricht OESTEREICH (2011) von Lerneffekten infolge der Reflexion der Arbeitsergebnisse. Die Agilität im Engineering sei damit „die Fähigkeit der Entwicklungsorganisation, sich anzupassen und zu lernen. Hierfür werden regelmäßige Rückkopplungen auf verschiedenen Ebenen benötigt“, z. B. über konkrete Arbeitsergebnisse, Selbstbeobachtung und Kommunikation, die „den Anpassungsbedarf sichtbar werden“ lassen (OESTEREICH 2011). Dies entspricht dem Kern der Definition von AUGUSTINE (2005, S. 2), der die prozessseitige Anpassung und Reaktion auf Veränderungen fokussiert und zugleich die Zielgröße des Kundennutzens aufführt. Agilität im Engineering sei „die Fähigkeit, Kundennutzen auszuliefern, bei gleichzeitiger Reaktion auf inhärente Unvorhersehbarkeit und Dynamik des Prozesses, indem Änderungen erkannt und auf diese adaptiv reagiert wird. Sie ist darüber hinaus die Fähigkeit, ein Gleichgewicht zwischen Stabilität und Flexibilität zu schaffen“ (frei aus dem Englischen, AUGUSTINE 2005, S. 2). Diese Zielgröße wird von TREPPER (2012, S. 66 f.) um einen Nutzen für sich selbst erweitert, wobei ein Gleichgewicht aus Strukturierung und Flexibilisierung vorherrscht. Agilität ist demnach „die Fertigkeit, schnell, flexibel und situationsbezogen in chaotischen und dynamischen Situation[en] zu agieren, indem eine Balance zwischen Strukturierung und Flexibilität geschaffen wird, um daraus einen Nutzen für den Kunden und sich selbst zu generieren“ (TREPPER 2012, S. 67). Ähnlich sieht es HIGHSMITH (2002, S. XI), der die Reaktion auf Veränderung fokussiert und zugleich die Adaption sowie die Individuen priorisiert. Agilität im Engineering beschreibe eine ganzheitliche, kollaborierende Umgebung, in welcher sowohl Änderungen vollzogen als auch berücksichtigt werden, indem die Adaption über die Vorhersagbarkeit und die Individuen über den Prozess gestellt werden (HIGHSMITH 2002, S. XI).

Unter Berücksichtigung der Voruntersuchungen lautet das gemeinsame Begriffsverständnis des agilen Engineerings im Rahmen der vorliegenden Arbeit: *Herstellung von auslieferungs- und verkaufsfähigen Produktinkrementen, die in iterativen Zyklen mithilfe von Abläufen, Artefakten, Hilfsmitteln und Rollen entwickelt werden. Der Prozess ist von einfachen Regeln geprägt, stellt die Zusammenarbeit und Kommunikation der beteiligten Individuen in den Mittelpunkt und erlaubt die laufende Anpassung und proaktive Reaktion auf Veränderung.*

Die inhaltlichen Bestandteile dieser Begriffsbestimmung ergeben sich aus der Zusammenarbeit in Ingenieursdisziplinen (vgl. Kapitel 2.3) sowie der Struktur von Vorgehensmodellen (vgl. Kapitel 3.2.3). Die Bedeutung der Begriffe *Iteration*, *Inkrement* und *Artefakt* für die Verwendung im Maschinen- und Anlagenbau ist in Abbildung 5-3 dargestellt und wird nachfolgend ausgeführt.

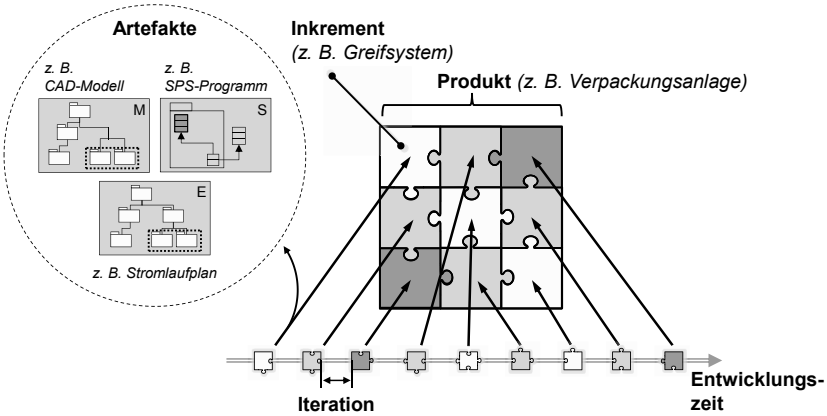


Abbildung 5-3: Iterativ-inkrementelles Vorgehen des agilen Engineerings in Anlehnung an KUTTIG (2005, S. 19) und FRIEDRICH (2011, S. 79)

Als Iteration ist eine auf Dauer konstante Zeitspanne (WOLF & BLEEK 2011, S. 152). Sie ist keine rekursive Wiederholung, sondern ein regelmäßiges Muster in einem wiederkehrenden Ablauf, in dem Produktfunktionalitäten realisiert werden. Eine fertige Funktionalität wird allgemein als Inkrement (*lat.* Zuwachs) bezeichnet (vgl. Abbildung 3-10). Im Kontext der mechatronischen Entwicklung im Maschinen- und Anlagenbau ist unter dem Begriff des Inkrements ein Teil (hier: Greifsystem) eines endgültigen Systems (hier: Verpackungsanlage) zu verstehen (HRUSCHKA ET AL. 2009, S. 8), der in der Regel einen Beitrag zum geschäftlichen Wert liefert. Der inkrementelle Fortschritt kann dabei auf unterschiedlichen Ebenen des Produkts liegen (vgl. Abbildung 5-2). Zumeist wird dies im Englischen mit „potential shippable business functionality“ bezeichnet (GLOGER 2013A, S. 10), wodurch zusätzlich der Aspekt der potenziellen Auslieferungsfähigkeit des Inkrements sowie der damit verbundene Mehrwehrt für den Kunden hervorgehoben ist. Dazu sollten zuerst jene Funktionalitäten ausgeliefert werden, die einen hohen Nutzen stiften (RUBIN 2014, S. 90). Auf dem Weg zum fertigen Produkt entstehen auch Zwischenlösungen, die in den Disziplinen abgestimmt und mit dem Kunden getestet werden müssen (vgl. Kapitel 2.5). Dies umfasst beispielsweise Dokumente (z. B. Testchecklisten) oder Modelle (z. B. CAD-Modelle) etc., die als (Entwicklungs-) Artefakte zu bezeichnen sind (TRISTL ET AL. 2013, S. 83).

5.2 Einordnung in den Untersuchungsbereich

Im Anschluss an die vorangegangenen Ausführungen wird das agile Engineering in diesem Abschnitt in den Untersuchungsbereich eingeordnet. In Bezug auf den Maschinen- und Anlagenbau dient das agile Engineering der Umsetzung der geforderten Anforderungen und Funktionsumfänge mit adäquatem Aufwand zur Realisierung hochwertiger mechatronischer Systeme. Agiles Engineering ist damit ein Wettbewerbsfaktor, der die Fähigkeit eines produzierenden Unternehmens beschreibt, (pro-) aktiv auf Veränderungen (z. B. Anforderungen, Termine etc.) zu reagieren. Es kann auf unterschiedlichen Unternehmensebenen (arbeitsgruppen-, bereichs- und firmenübergreifend) und Produktebenen (Funktionen, Module, Anlagen) stattfinden. Im persönlichen Bereich stehen die Entwickler sowie Aspekte der Autonomie und Selbstverwaltung bzw. -optimierung im Mittelpunkt. Die inter- und transdisziplinäre Kooperation zwischen den Disziplinen der Mechanik, Elektrotechnik und Informationstechnik erfolgt unter Berücksichtigung und Austausch von systemtechnischem Wissen. Die informatorische Integration der Prozessebene dient der Verkürzung und Parallelisierung der Arbeitsprozesse, um die Beteiligten und insbesondere Kunden zielorientiert in den Prozess einzubinden (HEßLING 2006, S. 55 f.) und bestehende Methoden und Modelle zu verknüpfen (vgl. GIERHARDT 2001, S. 65-67; HAMMERSCHALL 2008, S. 7 f.). Auf der Organisationsebene wird dazu eine disziplinübergreifende kontinuierliche Integration der Entwicklungsergebnisse der einzelnen Disziplinen angestrebt, um die spezifischen Verständnisse, Vorgehensweisen sowie Prozesswelten zusammenzuführen (vgl. HELLENBRAND 2013, S. 18 f.). Zur Synchronisation sollen durch einen gemeinsamen agilen Prozess sowohl horizontale Synergien, durch die Vernetzung von Fachabteilungen (z. B. Entwicklung Vertrieb etc.), als auch vertikalen Synergien durch die Vernetzung mehrerer Hierarchie-Ebenen erreicht werden (vgl. EHRLENSPIEL 2009, S. 189-200; HAMMERS 2012, S. 76-80; KLEIN & REINHART 2013, S. 216 f.).

Das agile Engineering stellt somit eine Strategie von produzierenden Unternehmen dar, die eng mit den Vorgehensweisen der agilen Vorgehensmodellen verknüpft ist (GNATZ 2005, S. 22). Es kann zu bereits im Maschinen- und Anlagenbau etablierten Strategien (z. B. Systems Engineering) positioniert werden, die als „langfristig angelegte Pläne zur Erreichung grundlegender Ziele“ zu verstehen sind (LINDEMANN 2009, S. 14). Diese Strategien folgen bei genauer Betrachtung übergeordneten Prinzipien (z. B. zielorientiertes Handeln) und werden zumeist von den vorgestellten Vorgehensweisen der Methoden, (Vorgehens-) Modelle und Werkzeuge unterstützt (DIEHL 2009, S. 17 f.; LINDEMANN 2009, S. 14 f.). Über den Prinzipien stehen die Wettbewerbsfaktoren der Kosten, Qualität und Zeit von produzierenden Unternehmen (WIENDAHL ET AL. 2009, S. 13), deren antagonistische Beziehung in Einklang zu bringen ist. Dies ist anhand der erwähnten Zusammenhänge in Abbildung 5-4 zusammengefasst.

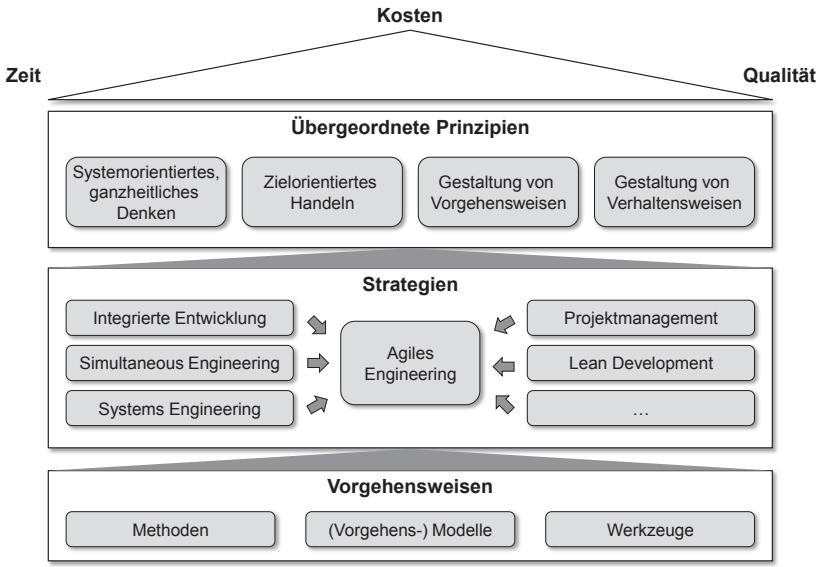


Abbildung 5-4: Einordnung des agilen Engineerings als Strategie von produzierenden Unternehmen in Anlehnung an DIEHL (2009, S. 17) und LINDEMANN (2009, S. 14 f.)

Die Einordnung des agilen Engineerings als eine Strategie von produzierenden Unternehmen wird in Bezug auf die übergeordneten Prinzipien (siehe Kapitel 5.2.1) und Strategien (siehe Kapitel 5.2.2) ausgeführt. Hierbei werden die Anknüpfungspunkte dargelegt und die Neuerungen gegenüber den bestehenden Ansätzen herausgearbeitet.

5.2.1 Übergeordnete Prinzipien

Nach LINDEMANN (2009, S. 14) stehen über den Strategien der produzierenden Unternehmen die vier Prinzipien des systemorientierten, ganzheitlichen Denkens (siehe Kapitel 5.2.1.1), des zielorientierten Handelns (siehe Kapitel 5.2.1.2), der Gestaltung von Vorgehensweisen (siehe Kapitel 5.2.1.3) sowie von Gestaltung von Verhaltensweisen (siehe Kapitel 5.2.1.4). Diese werden in den nachfolgenden Abschnitten behandelt.

5.2.1.1 Systemorientiertes, ganzheitliches Denken

Das Prinzip des systemorientierten, ganzheitlichen Denkens dient der Gestaltung komplexer Systeme. Es beruht auf deren Zerlegung in Teilsysteme, um sie besser verstehen zu können und Zusammenhänge aufzudecken. (LINDEMANN 2009, S. 15; HABERFELLNER ET AL. 2012, S. 33-48)

Dieses Prinzip ist in der Strategie des agilen Engineerings für mechatronische Maschinen und Anlagen wiederzufinden, da ein zentraler Aspekt die produktorientierte Entwicklung sowie die Realisierung von Inkrementen, d. h. Teilsystemen, ist. Unter Voraussetzung einer ausreichenden Modularisierung wird das zu entwickelnde System ausgehend von einer ersten Vision im Arbeitsabschnitt der Planung (vgl. Estimation Meeting) in Teilfunktionen gegliedert. Diese sind in Entwicklungsheften (vgl. Product Backlog) dokumentiert und werden entsprechend ihrer Priorität im Arbeitsabschnitt der Umsetzung realisiert sowie im Arbeitsabschnitt des Reviews ausgeliefert. Unter regelmäßiger Einbindung des Kunden können Wechselwirkungen zwischen den Funktionen sowie etwaige Änderungen berücksichtigt und die Teilsysteme sukzessive integriert werden. Das Gesamtsystem steht durch die wiederkehrenden Arbeitsabschnitte stets im Fokus, wobei der Fortschritt bezogen auf die Funktionalitäten über Artefakte (vgl. Release Plan) veranschaulicht wird.

5.2.1.2 Zielorientiertes Handeln

Das Prinzip des zielorientierten Handelns beschreibt den Zusammenhang von Tätigkeiten und Resultaten. Eine Handlung soll demnach immer in einem Ergebnis münden, welches vor dem Hintergrund der Zielsetzung bewertbar ist. Dies kann beispielsweise durch das Führen von Anforderungslisten unterstützt werden, um den vorgegeben Kosten- und Zeitrahmen einzuhalten. (LINDEMANN 2009, S. 15)

Dieses Prinzip findet sich ebenfalls in der Strategie des agilen Engineerings wieder. In Bezug auf den Maschinen- und Anlagenbau bedeutet dies, dem Kunden durch die kontinuierliche Auslieferung von funktionsfähigen Teilsystemen einen Mehrwert zu bieten. Das Handeln besteht aus einem makroskopischen Problemlösungszyklus mit den Phasen des Planens, Ausführens, Kontrollierens und Verbesserns. Die Anforderungen können beispielsweise über ein Entwicklungsheft (vgl. Product Backlog) festgehalten und gepflegt werden, wobei die Rentabilität des Projekts durch einen Projektleiter (vgl. Product Owner) laufend geprüft wird. Gleichermaßen ist das sogenannte *Time-Boxing* ein zentraler Bestandteil, welches eine definierte Zeitspanne für eine bestimmte Tätigkeit vorsieht, um die kontinuierliche und pünktliche Auslieferung von Teilsystemen zu gewährleisten.

5.2.1.3 Gestaltung von Vorgehensweisen

Das Prinzip der Gestaltung von Vorgehensweisen bestimmt die spezifische Ablauforganisation in einem Unternehmen und definiert Vorgaben hinsichtlich der Koordination von Aktivitäten und Aufgaben durch verantwortliche Rollen. Dies kann durch den zielgerichteten Einsatz oder die Adaption von standardisierten Vorgehensweisen der

Planung unterstützt werden. Die Abläufe werden dabei zumeist parallel gestaltet, um die Kooperation und Kommunikation anzuregen. Dies kann durch den regelmäßigen Austausch der Beteiligten hinsichtlich der Entwicklungsstände und Zwischenergebnisse realisiert werden. (LINDEMANN 2009, S. 15)

Dieses Prinzip ist in vielen Aspekten der Strategie des agilen Engineerings verankert. Dabei werden die Rahmenbedingungen der Aufbau- und Ablauforganisation durch die operativen Arbeitsschritte der Abläufe, Artefakte, Hilfsmittel und Rollen genau definiert und zu strategischen sowie taktischen Arbeitsabschnitten zusammengefasst. Dies ist im Maschinen- und Anlagenbau insbesondere bei der Parallelisierung von Tätigkeiten ein zentraler Aspekt, um die interdisziplinäre Bearbeitung von unterschiedlichen Aufgaben in einem gemeinsamen Entwicklungszeitraum (vgl. Sprint) zu koordinieren. Ein hohes Maß an Kooperation und Kommunikation kann beispielsweise durch tägliche Statustreffen (vgl. Daily Meeting) oder Abnahmetreffen (vgl. Sprint Review Meeting) unter Anwesenheit aller Beteiligten gewährleistet werden. Zudem kann der Austausch von Entwicklungsständen durch Visualisierungstechniken (vgl. Burndown Chart) der Hilfsmittel veranschaulicht werden, um den aktuellen Fortschritt der Entwicklung transparent wiedergeben.

5.2.1.4 Gestaltung von Verhaltensweisen

Das Prinzip der Gestaltung von Verhaltensweisen beschreibt die Formen der Individual- und Zusammenarbeit in interdisziplinären Teams. Das Ziel ist es, Stärken und Schwächen des Einzelnen zu berücksichtigen, auftretende Hindernisse zu erkennen und zu beseitigen sowie und mit Fehlern umzugehen, damit die Kooperation laufend verbessert wird. (LINDEMANN 2009, S. 15)

Dieses Prinzip ist ebenfalls mit vielen Aspekten in der Strategie des agilen Engineerings beinhaltet und für die inter- und transdisziplinären Arbeitsinhalte im mechatronischen Entwicklungsprozess des Maschinen- und Anlagenbaus von Bedeutung. Hierbei steht der Mensch im Mittelpunkt und arbeitet eigenverantwortlich in interdisziplinär besetzbaren Teams. Die organisatorischen Rollen (vgl. Scrum Master) übernehmen dabei die Verantwortung für die Schulung und Weiterbildung der inhaltlichen Rollen (vgl. Entwicklungsteam), sodass die Individuen sich bestmöglich entfalten können. Es herrscht ein hohes Maß an Autonomie und Selbstverantwortung, wobei auftretende Hindernisse widergespiegelt und zeitnah gelöst werden. Die fortlaufende Reflexion der Zusammenarbeit (vgl. Daily Meeting) sowie der kontinuierliche Verbesserungsprozess (vgl. Sprint Retrospective Meeting) sind dazu zentrale Bestandteile, um die Kooperation und Kommunikation zwischen internen und externen Beteiligten zu stärken.

5.2.2 Strategien

Die Strategien der produzierenden Unternehmen dienen nach LINDEMANN (2009, S. 14) im Wesentlichen der Zielerreichung der übergeordneten Prinzipien produzierender Unternehmen. Im Folgenden wird auf die Integrierte Produktentwicklung (siehe Kapitel 5.2.2.1), das Simultaneous Engineering (siehe Kapitel 5.2.2.2), das Systems Engineering (siehe Kapitel 5.2.2.3) und das Projektmanagement (siehe Kapitel 5.2.2.4) eingegangen sowie auf das bereits ausgeführte Lean Development verwiesen (vgl. Kapitel 5.1.1). Hierbei werden jeweils die Anknüpfungspunkte aufgezeigt und herausgearbeitet, inwiefern das agile Engineering über die bestehenden Strategien hinausgeht.

5.2.2.1 Integrierte Entwicklung

Die Strategie der integrierten Entwicklung basiert auf der zunehmenden Arbeitsteilung (DIEHL 2009, S. 48) und soll der „zielorientierten Zusammenarbeit von produkt-, produktions- und vertriebsdefinierenden Bereichen“ dienen (EHRLENSPIEL 2009, S. 219). Dies beinhaltet „Denkmethoden zur Lösung von Problemen […], Organisationsmethoden zur Optimierung zwischenmenschlicher Prozesse […] und […] Methoden zur unmittelbaren Verbesserung von Produkten“ (EHRLENSPIEL 2009, S. 3). Die Prozesse für eine integrierte Entwicklung müssen dabei effektiv, effizient, kontrollierbar und steuerbar sowie anpassungsfähig sein (BOSSMANN 2007, S. 61). Eine integrierte Entwicklung steht nicht im Widerspruch zu einer verteilten Entwicklung, „da eine integrierte Kooperation erst de[n] Erfolg der Produktentwicklung in einer verteilten Umgebung gewährleistet“ (GIERHARDT 2001, S. 71). Durch die integrierte Denkweise sollen die geistigen Mauern zwischen den Abteilungen eines Unternehmens überwunden werden (vgl. EHRLENSPIEL 2009, S. 187). Es ist das Zusammenwirken mehrerer Bereiche notwendig, die sich auf das Projektmanagement, den Mensch, die Aufbau- und Ablauforganisation sowie Methoden und Werkzeuge beziehen.

Zwischen der Strategie der integrierten Entwicklung und des agilen Engineerings bestehen diverse Anknüpfungspunkte. Das agile Engineering fokussiert effiziente Entwicklungsprozesse durch die interdisziplinäre Kooperation und kontinuierliche Verbesserung sowohl im Innen- als auch Außenverhältnis eines produzierenden Unternehmens. Im Gegensatz zur integrierten Entwicklung beinhaltet es neben den agilen Elementen nicht nur Handlungsanweisungen sondern auch konkrete Umsetzungsempfehlungen durch die synergetische Kombination von agilen Techniken. So wird die Zusammenarbeit durch zahlreiche Abläufe (vgl. Sprint etc.) zeitlich organisiert und durch Hilfsmittel gestützt, die die Visualisierung des Fortschritts (vgl. Burndown Chart) abbilden und allen Beteiligten einen transparenten Zustand der aktuellen Situation bieten. Eine Kooperation erfolgt bestenfalls an einem Ort, aber auch über

Zulieferketten und Standorte hinweg durch das Zusammenwirken mehrerer Disziplinen, die eine intensive Kundeneinbindung ermöglicht, welche gerade im Maschinen- und Anlagenbau stark gefordert ist (vgl. SCHRÖDER 2003, S. 32).

5.2.2.2 Simultaneous Engineering

Die Strategie des Simultaneous Engineerings beschreiben EVERSHEIM ET AL. (1995, S. 2), mit Blick auf die gängigen Wettbewerbsfaktoren der Produktentwicklung (z. B. Verkürzung der Entwicklungszeit), als „integrierte und zeitparallele Abwicklung der Produkt- und Prozessgestaltung". Die wesentlichen Vorgehensweisen sind das Parallelisieren von Prozessabläufen und Entwicklungsaufgaben, die Standardisierung auf Prozess-, Organisations- und Produktebene sowie die Integration von Informationen und Unternehmensfunktionen, Kunden und Zulieferern sowie Unternehmensstrategien (BULLINGER & WARSCHAT 1995, S. 18-24; GIERHARDT 2001, S. 69). Der wesentliche Bestandteil des Simultaneous Engineerings ist die interdisziplinäre, institutionalisierte und parallele Zusammenarbeit zur „Verkürzung von Produktentwicklungszeiten und zur Erhöhung der Qualität" (DIEHL 2009, S. 49). Dies bietet Vorteile hinsichtlich des regelmäßigen Austauschs von Informationen, der interdisziplinären Integration von Wissen sowie der Flexibilität und Kreativität des Entwicklungsteams (GIERHARDT 2001, S. 69). Hierzu sind alle Fachbereiche und externe Entwicklungspartner (insb. Kunden) aktiv in den Prozess einzubinden. (EVERSHEIM ET AL. 1995, S. 1-19; LINCKE 1995, S. 33-39; GAUL 2001, S. 24; vgl. HABERFELLNER ET AL. 2012)

Die Strategien des Simultaneous Engineerings und des agilen Engineerings haben ebenfalls viele Anknüpfungspunkte. Die detaillierten Maßgaben zur Parallelisierung des Prozesses (z. B. gemeinsame Sprints), zum Austausch der Beteiligten (vgl. Daily Meetings) sowie die Produktorientierung (vgl. Product Increment) des agilen Engineerings gehen jedoch über die prozessbehaftete Beschreibung des Simultaneous Engineerings hinaus. Eine zentrale Bedeutung wird im agilen Engineering dem interdisziplinären Vorgehen unter regelmäßiger Einbindung von internen und externen Beteiligten zuteil. Die Tätigkeiten werden dabei stets parallel ausgeführt, wodurch der Austausch von Informationen, Ideen und Entwicklungsständen gestärkt wird (vgl. Sprint Review Meetings). Gleichermaßen setzt das agile Engineering auf eine Synchronisierung der Produkt- und Prozessentwicklung. Neben der regelmäßigen Auslieferung von Inkrementen an den Kunden werden die internen Prozesse kontinuierlich verbessert. Dies ist insbesondere für den Maschinen- und Anlagenbau dienlich, da aufgrund des hohen Kundenauftragsbezugs bzw. der hohen Interdisziplinarität häufig keine Sequenzierung der Entwicklung (z. B. durch Vorentwicklung) anzutreffen und ein ständiger Austausch zwischen allen Beteiligten erforderlich ist (vgl. SCHRÖDER 2003, S. 32 f.)

5.2.2.3 Systems Engineering

Die Strategie des Systems Engineerings ist nach HABERFELLNER ET AL. (1999, S. XVIII) „eine auf bestimmten Denkmodellen und Grundprinzipien beruhende Wegleitung zur zweckmäßigen und zielgerichteten Gestaltung komplexer Systeme“. Der beinhaltete, systemtheoretische Ansatz zur Komplexitätsbewältigung (vgl. GIERHARDT 2001, S. 5) wird häufig dem Verantwortungsbereich einer eigenen Disziplin (sog. *Systems Engineer*) zugeschrieben (CALVANO & JOHN 2004, S. 26). Im Kern dieser Strategie steht ein Problemlösungsprozess unter Maßgaben der Systemgestaltung und des Projektmanagements. Als konkrete Methoden des Systems Engineerings können nach EIGNER ET AL. (2012, S. 44) Gemeinsamkeiten zum Projekt-, Änderungs- und Risikomanagement sowie zu Aspekten der Nachhaltigkeit und der Statistiken etc. genannt werden. (HABERFELLNER ET AL. 1999, S. XVII-XXIII; GAUL 2001, S. 10-16; vgl. HABERFELLNER ET AL. 2012; vgl. GAUSEMEIER ET AL. 2013)

Die Strategie des agilen Engineerings beinhaltet Ansatzpunkte des Systems Engineerings. Gemeinsamkeiten bestehen bei der Problemorientierung, die den Kern beider Strategien bildet, sowie hinsichtlich des Systemgedankens eines hierarchisch aufgebauten Produkts. Die Strategie des agilen Engineerings stellt jedoch nicht das modulare Produkt selbst, sondern dessen Lauffähigkeit in den Vordergrund (vgl. GLOGER 2013A, S. 10). Es enthält darüber hinaus keinerlei Empfehlungen zur technischen Gestaltung eines Produkts, die aufgrund der Sonderlösungen des Maschinen- und Anlagenbaus nur generisch gehalten sein könnten. Das agile Engineering fokussiert stattdessen die konkreten Arbeitsabschnitte und operativen Arbeitsschritte, die für eine effiziente Planung (vgl. Sprint Planning Meeting 1) und Realisierung der hohen Entwicklungstiefe im Maschinen- und Anlagenbau bei verhältnismäßig geringer Anzahl an Entwicklern erforderlich ist (vgl. SCHRÖDER 2003, S. 32).

5.2.2.4 Projektmanagement

Die Strategie des Projektmanagements beschreibt nach DIN 69901 die „Gesamtheit von Führungsaufgaben, -organisation, -techniken und -mitteln für die Initiierung, Definition, Planung, Steuerung und den Abschluss von Projekten“ (DIN 69901-5). In Bezug auf Innovationsprozesse ist das Projektmanagement ein Vorgang der Willensbildung und -durchsetzung, der sich in die Teilfunktionen des Planens, Entscheidens, Anordnens, Kontrollierens und Organisierens gliedert (vgl. DIEHL 2009, S. 51; HABERFELLNER ET AL. 2012, S. 167).

Die Strategie des agilen Engineerings bedient sich an den Ansätzen des Projektmanagements zur Durchführung und Steuerung von Projekten. Dies drückt sich in den zugrundeliegenden Vorgehensweisen aus, wobei im Fall von Scrum der Begriff des

Management-Frameworks gebräuchlich ist (OPELT ET AL. 2012, S. 10). Darüber hinaus gibt Scrum keine inhaltlichen Vorgaben zur Entwicklung sondern strukturelle Vorgaben zur Organisation in einer Entwicklung (GLOGER 2013A, S. 15). Es werden dabei Aspekte des Projektmanagements adressiert, wie die hohe Integration des Teams (vgl. Daily Meeting), die im Maschinen- und Anlagenbau häufig gewünscht ist (vgl. SCHRÖDER 2003, S. 126). Im Gegensatz zum Projektmanagement ist das agile Engineering keine Sammlung an Methoden zur zielgerichteten Durchführung von Projekten, die auf den gesamten Prozess ausgerichtet sind (vgl. SCHRÖDER 2003, S. 124), sondern beinhaltet Umsetzungsempfehlungen zur effizienten Entwicklung von Systemen durch die synergetische Kombination von agilen Techniken.

5.3 Übertragung von agilen Techniken

Der vorliegende Abschnitt befasst sich, ausgehend von der Begriffsbestimmung und allgemeinen Einordnung im Untersuchungsbereich, mit der Umsetzung des agilen Engineerings im Maschinen- und Anlagenbau. Unter Betrachtung des agilen Engineerings als eine Strategie von produzierenden Unternehmen führt dies zu einer weiterführenden Untersuchung der zugrundeliegenden Planungsweisen der agilen Vorgehensmodelle (vgl. Abbildung 5-4). Zur Umsetzung des agilen Engineerings wird dazu die Übertragung von agilen Techniken untersucht (vgl. Abbildung 3-14). Der Betrachtungsbereich beschränkt sich wie erläutert (vgl. Kapitel 4.1) auf die agilen Techniken der acht Abläufe, zwölf Artefakte, zwei Hilfsmittel und sechs Rollen aus Scrum (vgl. Kapitel 3.4.3), die im Maschinen- und Anlagenbau (z. B. als Ansätze des Projektmanagements) in Abwandlungen bzw. proprietären Ausprägungen bereits teilweise vorzufinden sind.

Die vorliegende Untersuchung erhebt jedoch nicht den Anspruch, dass ein Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus immer den gesamten Scrum-Prozess mit allen beinhalteten agilen Techniken ausführen muss. Stattdessen ist es gerade bei Entwicklungen außerhalb von Softwaresystemen zielführend, auf eine Auswahl an agilen Techniken gezielt zurückzugreifen (MAXIMINI 2013, S. 19), wie in den Abschnitten der anwendungsgerechten Gestaltung von Prozessen (vgl. Kapitel 3.1.4), der anwendungsspezifischen Anpassung von Vorgehensmodellen (vgl. Kapitel 3.2.6) sowie des Einsatzes von Scrum in der Praxis (vgl. Kapitel 3.2.7) ausführlich erläutert wurde. Der Neuheitsgrad der Übertragung der agilen Techniken in den Maschinen- und Anlagenbau gegenüber bereits etablierten Ansätzen ergibt sich aus der synergetischen Kombination von agilen Techniken sowie deren Anpassung an die spezifischen Gegebenheiten des Maschinen- und Anlagenbaus. Für die Übertragung wird eine Systematik angewendet, die nachfolgend in Abbildung 5-5 dargestellt ist.

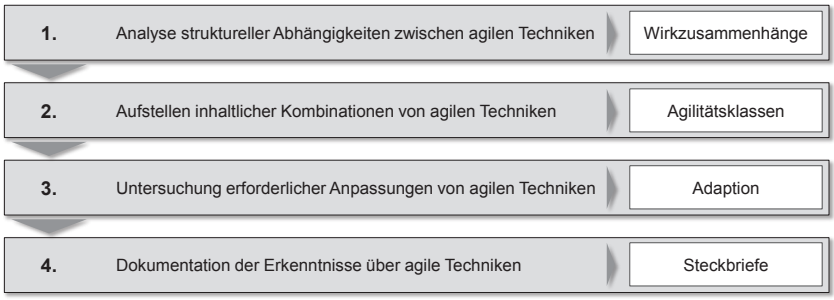


Abbildung 5-5: Angewendete Systematik zur Übertragung von agilen Techniken in den Maschinen- und Anlagenbau

Für die Übertragung der agilen Techniken in den Maschinen- und Anlagenbau ist eine Betrachtung der strukturellen und inhaltlichen Abhängigkeiten zwischen den agilen Techniken gemäß den aufbau- und ablauforganisatorischen Zusammenhängen des Scrum-Prozesses erforderlich (vgl. KUHRMANN 2008, S. 69-71). Dazu werden zunächst die strukturellen Abhängigkeiten (sog. *Wirkzusammenhänge*) zwischen den agilen Techniken analysiert (siehe Kapitel 5.3.1), um daraufhin geeignete Kombinationen (sog. *Agilitätsklassen*) von agilen Techniken aus den inhaltlichen Abhängigkeiten zu bilden (siehe Kapitel 5.3.2). Im Anschluss erfolgt eine Untersuchung der erforderlichen Anpassungen von agilen Techniken sowie des agilen Prozesses (sog. *Adaption*) gemäß den Randbedingungen des Maschinen- und Anlagenbaus (siehe Kapitel 5.3.3). Zuletzt werden die gewonnenen Erkenntnisse dokumentiert und das Wissen der Übertragung von agilen Techniken in den Maschinen- und Anlagenbau verankert (sog. *Steckbriefe*, siehe Kapitel 5.3.4), wobei jeweils Parallelen zu bereits bestehenden Ansätzen (z. B. Lastenheft des Projektmanagements) im Maschinen- und Anlagenbau gezogen werden.

5.3.1 Analyse struktureller Abhängigkeiten

Der erste Schritt der Systematik zur Übertragung der agilen Techniken in den Maschinen- und Anlagenbau befasst sich mit der Analyse der strukturellen Abhängigkeiten (EPPING 2011, S. 19) auf Grundlage der operativen Arbeitsschritte von Scrum (vgl. Kapitel 3.4.3). Dies wird im Weiteren als *Wirkzusammenhang* bezeichnet (vgl. BULLINGER ET AL. 2009, S. 16), um das aufbau- und ablauforganisatorische Zusammenspiel der agilen Techniken hervorzuheben.

Zur Analyse dieser Wirkzusammenhänge wird die Methode der Verknüpfungsmatrix herangezogen (vgl. LINDEMANN 2009, S. 123 f., 131, 203, 322), die zur Identifikation von Zusammenhängen zwischen Objekten und Kategorien dient. Dazu werden die

Abläufe, Artefakte, Hilfsmittel und Rollen als sogenannte Domänen der agilen Techniken als Zeilen bzw. Spalten einander gegenübergestellt und die zwischen den Domänen bestehenden Wirkzusammenhänge argumentativ erfasst. Diese bilden die obere Ebene der Verknüpfungsmatrix, die in Tabelle 5-2 dargestellt ist und auch auf die darunterliegenden agilen Techniken zutreffend sind.

Tabelle 5-2: Verknüpfungsmatrix der Domänen der agilen Techniken (obere Ebene)

Von \ Nach	**Abläufe**	**Artefakte**	**Hilfsmittel**	**Rollen**
Abläufe		-	-	-
Artefakte	Werden genutzt in	Sind Bestandteil von	-	-
Hilfsmittel	Werden eingesetzt in	-		-
Rollen	Führen aus	Verantworten	Verwenden	

Die Wirkzusammenhänge zwischen den Domänen erschließen sich aus der angegebenen Lesart. Dies erfolgt unter Rückgriff auf die Erkenntnisse zur Modularität von Vorgehensmodellen (vgl. Kapitel 3.2.4), wonach die inneren Strukturen der Domänen vernachlässigt und nur domänenübergreifende Wirkzusammenhänge untersucht werden. Eine Ausnahme bilden hierbei die Artefakte, da diese als Bestandteil eines anderen Artefakts aufgefasst werden können (vgl. Abbildung 3-4). Wie anhand der Verknüpfungsmatrix zu erkennen ist, nehmen die Abläufe keine aktiven Wirkzusammenhänge zu anderen Domänen ein. Artefakte werden hingegen in den Abläufen genutzt und können Bestandteil eines anderen Artefakts sein. Hilfsmittel dienen der Visualisierung und werden in Abläufen eingesetzt. Die Rollen besitzen Wirkzusammenhänge zu allen anderen Domänen, führen also die Abläufe aus, verantworten die Artefakte und verwenden die Hilfsmittel.

Ausgehend von der oberen Ebene der Verknüpfungsmatrix können auf der jeweils unterlagerten Ebene die Wirkzusammenhänge zwischen den agilen Techniken in den Domänen analysiert werden. Dies erfolgt auf Grundlage der gesammelten Erkenntnisse über die strukturellen Abhängigkeiten zwischen den agilen Techniken gemäß den operativen Arbeitsschritten (vgl. Kapitel 3.4). Für die Ausprägungen wird eine binäre Skala angesetzt, wobei ein vorhandener Wirkzusammenhang als Verknüpfung („X“) in der Matrix eingetragen ist. Dies ist in Tabelle 5-3 anhand eines Auszugs der unteren Ebene der Verknüpfungsmatrix dargestellt.

Tabelle 5-3: Verknüpfungsmatrix der agilen Techniken (untere Ebene, Auszug)

		Abläufe				
	Von \ Nach	**Daily Meeting**	**Estimation Meeting**	**Scrum of Scrums**	**Sprint**	**…**
Rollen	**Product Owner**		X	X		
	Scrum Master	X	X	X		
	Team	X	X	X	X	
	…					

In dem gezeigten Ausschnitt der unteren Ebene der Verknüpfungsmatrix lässt sich ermitteln, welche Rollen einen Ablauf verantworten. Beispielsweise nimmt der Product Owner an einem Estimation Meeting teil, ist aber nicht aktiv in einen Sprint involviert. Unter Berücksichtigung der Verknüpfungen bestehen zwischen den 28 agilen Techniken insgesamt 99 Wirkzusammenhänge, die in vollem Umfang dem Anhang entnommen werden können (siehe Anhang A4). Zur Auswertung der Verknüpfungsmatrix kann über die Anzahl an Wirkzusammenhängen je Zeile bzw. Spalte auf die Aktiv- bzw. Passivsumme der Domänen geschlossen werden (vgl. LINDEMANN ET AL. 2009, S. 208). Diese quantifizieren, inwiefern sich eine Domäne aktiv bzw. passiv zu anderen Domänen verhält, wie in Abbildung 5-6 ausgewertet ist.

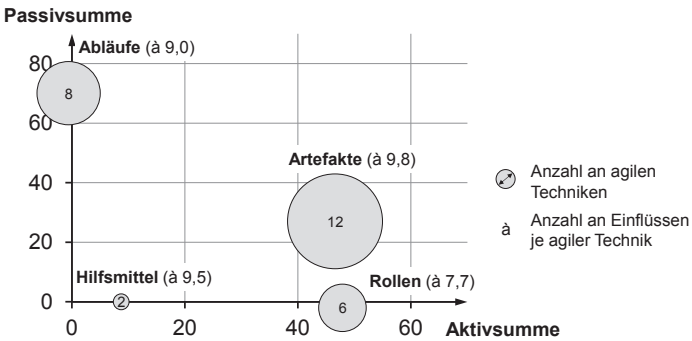


Abbildung 5-6: Aktiv- und Passivsummen der Verknüpfungen zwischen den Domänen der agilen Techniken

Wie zu erkennen ist, sind die Domänen der Abläufe bzw. Rollen ausschließlich über passive bzw. aktive Wirkzusammenhänge verknüpft. Zwischen den agilen Techniken der Artefakte und Hilfsmittel liegen hingegen sowohl aktive als auch passive Verknüpfungen vor. Dies entspricht der argumentativen Verknüpfung der oberen Ebene der

Verknüpfungsmatrix und wird umso deutlicher, wenn die Anzahl der darunterliegenden agilen Techniken dazu ins Verhältnis gesetzt wird. Demnach weist ein Artefakt mit je 9,8 Wirkzusammenhängen den höchsten Grad an Verknüpfungen auf.

Zur Visualisierung der identifizierten Wirkzusammenhänge kann der bereits aufgeführte Graph zur Modularisierung eines Vorgehensmodells (vgl. Abbildung 3-6) herangezogen werden (vgl. LINDEMANN 2009, S. 81, 89, 255). Das Ergebnis aus der Analyse der strukturellen Abhängigkeiten ist in Abbildung 5-7 auf Grundlage der Datenbasis (siehe Anhang A4) veranschaulicht, wobei die Wirkzusammenhänge zwischen den agilen Techniken entsprechend ihrer Richtung als Pfeil eingetragen sind.

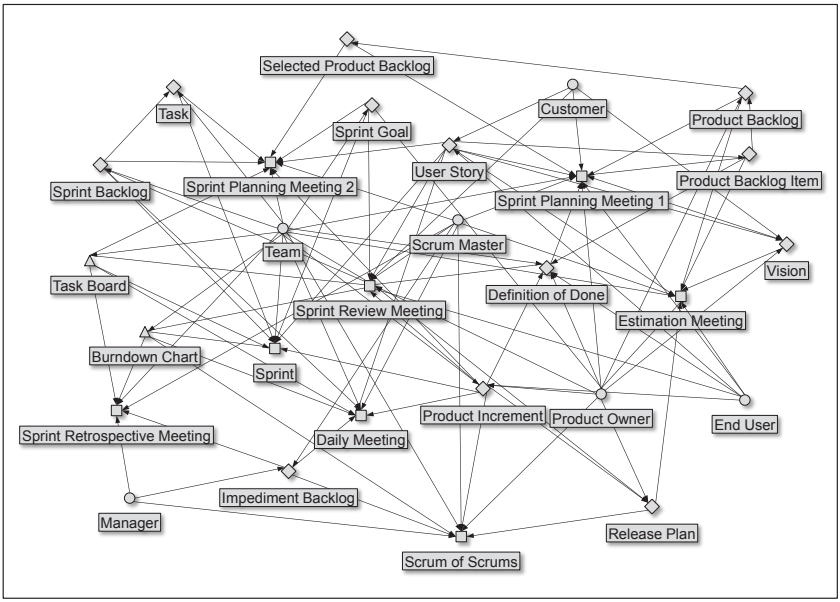


Abbildung 5-7: Graph zur Modularisierung von Scrum auf Basis der Wirkzusammenhänge der agilen Techniken

In diesem Graph sind jene agilen Techniken zentral angeordnet, die viele aktive bzw. passive Wirkzusammenhänge aufweisen. Dies wirkt sich implizit auch auf die scheinbare Nähe der agilen Techniken im Graph aus, der aufgrund der binären Skala aber nicht stärkebasiert ist. Es ist zu erkennen, dass bestimmte agile Techniken eine zentrale Rolle einnehmen. Dies ist beispielsweise für das Sprint Review Meeting oder das Team zutreffend, die in der Mitte des Graphs angeordnet sind und viele Wirkzusammenhänge zu anderen agilen Techniken aufweisen. Auf dieser Grundlage ist ohne eine mathematische Analyse der Struktur (vgl. LINDEMANN ET AL. 2009, S. 119-141) direkt festzustellen, dass sich keine eindeutigen und völlig voneinander losgelösten

Kombinationen an agilen Techniken ergeben. Dies begründet sich aus den strukturellen Abhängigkeiten von Scrum (vgl. EPPING 2011, S. 19), die sich in der hohen Anzahl an wechselseitigen Wirkzusammenhängen der agilen Techniken über die Domänen hinweg ausdrückt. Für eine Bestimmung der Sollbruchstellen (vgl. KUHRMANN 2008, S. 70) ist daher zusätzlich zu den strukturellen Abhängigkeiten eine Untersuchung der inhaltlichen Abhängigkeiten zwischen möglichen Kombinationen an agilen Techniken hinzuzuziehen, die im nachfolgenden Abschnitt ausgeführt wird.

5.3.2 Aufstellen inhaltlicher Kombinationen

Der zweite Schritt zur Übertragung von agilen Techniken in den Maschinen- und Anlagenbau stellt geeignete Kombinationen an agilen Techniken auf. Da auf der reinen Grundlage der strukturellen Abhängigkeiten keine eindeutige Kombinationen bestehen, können die Sollbruchstellen zwischen den agilen Techniken nur über die inhaltlichen Abhängigkeiten auf Grundlage der Arbeitsabschnitte von Scrum definiert werden (vgl. Kapitel 3.4.4). Hierzu wird an dieser Stelle der Begriff der Agilitätsklasse (AK) eingeführt. Analog zu agilen Reifegraden (vgl. HRUSCHKA ET AL. 2009, S. 101-107) wird die Zuordnung der Arbeitsabschnitte zu den Agilitätsklassen stufenförmig vorgenommen, sodass die Anzahl an Abschnitten mit jeder weiteren Oberklasse zunimmt. Dies ist in Abbildung 5-8 veranschaulicht, wobei die agilen Techniken gemäß dem Scrum-Prozess in den Arbeitsabschnitten eingegliedert sind.

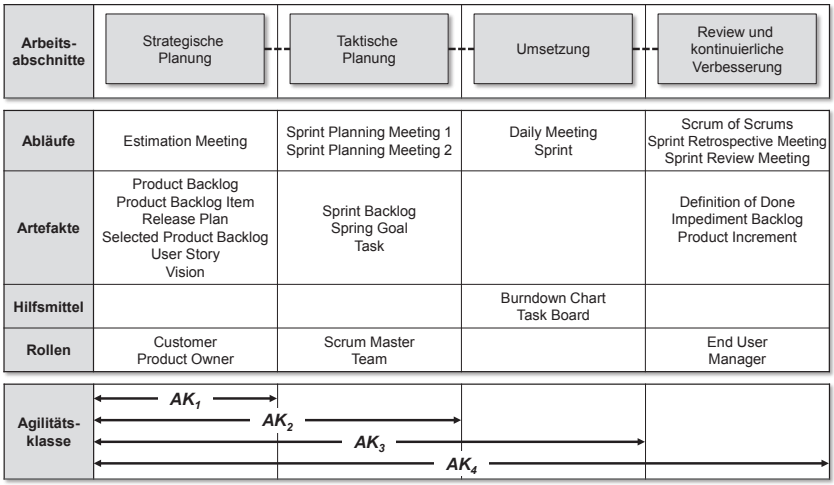


Abbildung 5-8: Zuordnung der Arbeitsabschnitte und agilen Techniken zu Agilitätsklassen

Anhand dieser Zuordnung kann die Anzahl an agilen Techniken sowie der zwischen diesen bestehenden Wirkzusammenhänge je Arbeitsabschnitt und Agilitätsklasse über einen Graph veranschaulicht werden. Dies ist zunächst in Abbildung 5-9 für jeden Arbeitsabschnitt veranschaulicht.

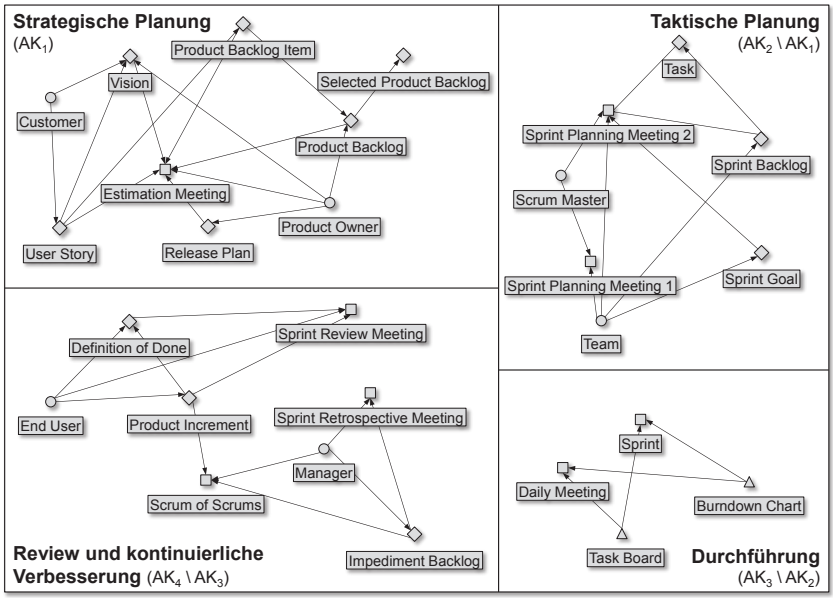


Abbildung 5-9: Wirkzusammenhänge der agilen Techniken innerhalb der Arbeitsabschnitte

Im Vergleich zur vorangegangenen Untersuchung der Wirkzusammenhänge von Scrum (vgl. Abbildung 5-7) ist zu erkennen, dass die agilen Techniken innerhalb der Arbeitsabschnitte in einer überschaubaren Anzahl an Wirkzusammenhängen stehen. Dies ändert sich, wenn die Anzahl an agilen Techniken und Wirkzusammenhänge über die Agilitätsklassen aufgelöst wird, wie in Abbildung 5-10 dargestellt ist.

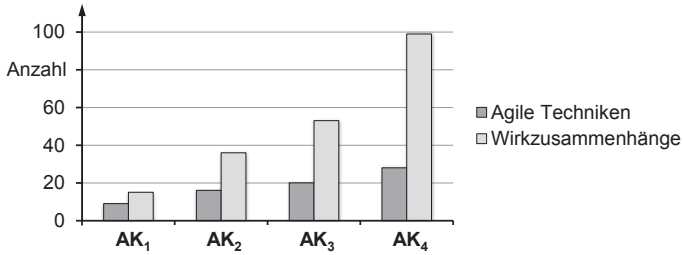


Abbildung 5-10: Anzahl agiler Techniken und Wirkzusammenhänge je Agilitätsklasse

Die Anzahl an agilen Techniken nimmt auf Grundlage der inhaltlichen Abhängigkeiten linear und die Anzahl an Wirkzusammenhänge aufgrund der strukturellen Zusammenhänge exponentiell mit den Agilitätsklassen zu. Der Kombinationsgrad steigt mit jeder oberen Agilitätsklasse an, wie in Abbildung 5-11 schematisch pro Agilitätsklasse mit einem Graphen veranschaulicht ist und dem Anhang zur Detailansicht entnommen werden kann (siehe Anhang A5).

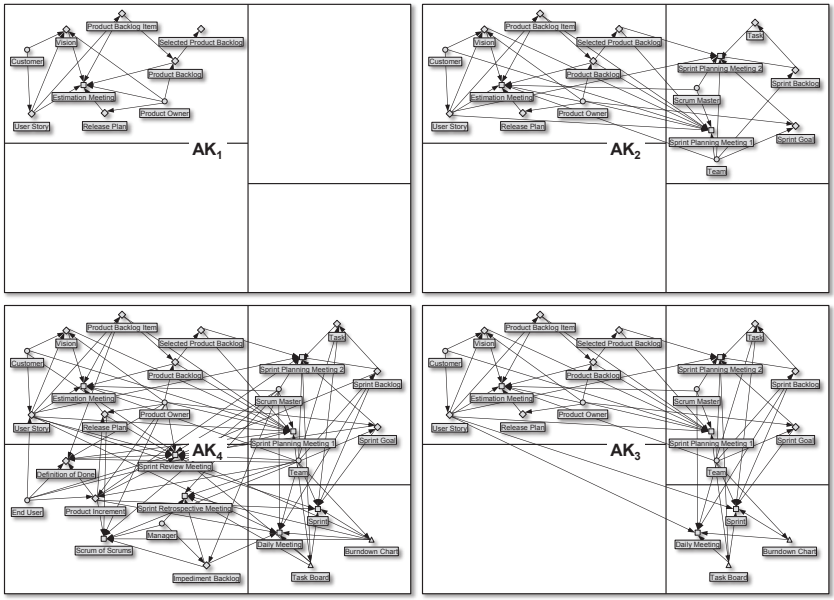


Abbildung 5-11: Wirkzusammenhänge der agilen Techniken innerhalb der Agilitätsklassen (schematische Darstellung)

Die Agilitätsklasse AK_1 entspricht mit dem Arbeitsabschnitt der strategischen Planung der Minimalausprägung an agilen Techniken. In jeder weiteren Oberklasse ist ein zusätzlicher Arbeitsabschnitt enthalten, bis mit der Agilitätsklasse AK_4 der gesamte Scrum-Prozess aus der Kombination aller agilen Techniken erreicht ist. Demnach ist der agile Prozess je Agilitätsklasse spezifisch, der unter Berücksichtigung der strukturellen und inhaltlichen Abhängigkeiten wie folgt zu beschreiben ist:

Agilitätsklasse AK_1: Die erste Agilitätsklasse entspricht dem Arbeitsabschnitt der strategischen Planung und wird losgelöst von den eigentlichen Entwicklungsaufgaben durchgeführt. Mit neun beinhalteten agilen Techniken und 15 Wirkzusammenhängen weist die Klasse den geringsten Kombinationsgrad auf. Die wesentliche Technik nimmt die Rolle des Product Owners ein, der als Produktmanager die Verantwortung über das Produkt übernimmt. Es liegt in seinem Verantwortungsbereich, die vom

Anwender zu spezifizierenden Anforderungen an das Produkt aufzunehmen und zu pflegen. Hierzu wird das Produkt unter Einbeziehung des Kunden als Vision formuliert. Darüber hinaus empfiehlt sich ein Product Backlog als zentrales Entwicklungsdokument zu führen, welches laufend gepflegt und mit dem Kunden abgestimmt wird. Dieses weist mehrere Abwandlungen auf (z. B. Selected Product Backlog), um die Funktionalitäten des Produkts zu klassifizieren. Im Rahmen von regelmäßigen Vorausplanungen in den Estimation Meetings werden die User Stories, sprich die vorgegebenen Anforderungen an das Produkt, durch den Product Owner geprüft und für das weitere Vorgehen berücksichtigt. Zu diesem Zweck pflegt er einen Release Plan, in dem die geplanten Auslieferungen als Meilensteine vorbestimmt sind und mit dem der aktuelle Entwicklungsstand dem Kunden formell widergespiegelt werden kann.

Agilitätsklasse AK_2: Die zweite Agilitätsklasse knüpft an die strategische Planung mit der taktischen Planung an. Sie beinhaltet 16 agile Techniken, die über 36 Wirkzusammenhänge miteinander verknüpft sind. Allen voran wird die inhaltliche Verantwortung für das Produkt auf das Entwicklungsteam übertragen. Losgelöst von den Entwicklungsaufgaben finden in regelmäßigen Abständen die Abläufe des Sprint Planning Meetings 1 und 2 statt, in denen gemeinsam mit dem Kunden die Anforderungs- und Lösungsspezifikation des Produkts diskutiert wird. Dies dient dem gemeinsamen Verständnis der angedachten Tasks, die zur Realisierung der Funktionalitäten erforderlich sind und der Fortschrittskontrolle dienen. Hierzu wird das Product Backlog als eine Form des Lasten- und Pflichtenhefts geführt, indem vermerkt wird, wie die Funktionalitäten umzusetzen sind. Zudem wird die Rolle des Scrum Masters initiiert, welcher für die Einhaltung der vereinbarten Regeln sowie den ordnungsgemäßen Prozess verantwortlich ist. Im Rahmen seiner Möglichkeiten kann er auch Entwicklungsaufgaben wahrnehmen und operativ in die Entwicklungsaufgabe eingebunden werden.

Agilitätsklasse AK_3: Die dritte Agilitätsklasse knüpft an die Arbeitsabschnitte der strategischen und taktischen Planung mit dem Abschnitt der Umsetzung an. Es sind darin 20 agile Techniken beinhaltet, die insgesamt 53 Wirkzusammenhänge einnehmen. In dieser Agilitätsklasse kommt als wesentliche Neuerung der iterative Entwicklungszeitraum des sogenannten Sprints hinzu. Dieser ist auf eine bestimmte Zeitspanne festgelegt, in der die zuvor definierten Tasks bearbeitet werden. Somit wird ein gemeinsamer Takt für die Erarbeitung und Integration der disziplinspezifischen Entwicklungsergebnisse eingeführt. Die Entwickler der Disziplinen Mechanik, Elektrotechnik und Software arbeiten hierbei nach Möglichkeit in einem gemeinsamen Projektteam, das während des Sprints eigenverantwortlich agiert. Neue bzw. nicht-kritische Anforderungen können erst für den nächsten Sprint eingeplant werden. Die Daily Meetings unterstützen den regelmäßigen Austausch über den aktuellen Entwicklungsstand, wozu für Visualisierungszwecke die Hilfsmittel des Task Boards und Burndown Charts zum

Einsatz kommen. Damit die operativen Arbeitsschritte entsprechend den Vorgaben eingehalten werden, nimmt daher der Scrum Master zunehmend die Rolle des lateralen Team-Leiters bzw. Moderators ein.

Agilitätsklasse AK_4: Die vierte Agilitätsklasse beinhaltet mit dem Arbeitsabschnitt des Reviews und des kontinuierlichen Verbesserungsprozesses nunmehr alle 28 agilen Techniken, die über 99 Wirkzusammenhänge stark miteinander vernetzt sind. Die Rolle des Scrum Masters konzentriert sich nun ausschließlich auf die korrekte Ausführung des Prozesses. Hierzu wird intern der Ablauf des Sprint Retrospective Meetings abgehalten sowie das Impediment Backlog gepflegt. Dies dient dem aktiven Austausch zwischen den internen Beteiligten und der kontinuierlichen Verbesserung. Zum formellen Austausch mit den externen Stakeholdern werden Sprint Reviews Meetings abgehalten, in denen die Produktinkremente durch den Anwender bzw. Kunden abgenommen werden. Die vierte Agilitätsklasse entspricht der Durchführung eines vollständigen Scrum-Prozesses, auf den im Weiteren verwiesen wird (vgl. Kapitel 3.4.4).

5.3.3 Untersuchung erforderlicher Anpassungen

Als dritter Schritt der Systematik erfolgt die Untersuchung der Anpassung von agilen Techniken an die Rahmenbedingungen des Maschinen- und Anlagenbaus. Dies wird analog zur Anpassung an Vorgehensmodellen (vgl. Kapitel 3.2.6) als Adaption bezeichnet und in den folgenden Abschnitten anhand der agilen Techniken (siehe Kapitel 5.3.3.1) sowie des agilen Prozesses (siehe Kapitel 5.3.3.2) weiter ausgeführt.

5.3.3.1 Adaption von agilen Techniken

Eine Adaption von agilen Techniken kann notwendig werden, wenn Erfordernisse eines Projekts unzureichend beschrieben sind oder umdefiniert werden müssen (KALUS 2013, S. 41, 56, 81-86, 210). Dies ist aufgrund der heterogenen Aufgabenstellungen in vielen Entwicklungsprozessen zutreffend, wie beispielsweise bei der Zusammenarbeit in global verteilten Projektteams. Zudem begründet sich dies aus den bislang begrenzten Erfahrungen hinsichtlich des Einsatzes agiler Techniken außerhalb der reinen Softwareentwicklung. Die Unterschiede einer Neuentwicklung von Software bzw. Hardware liegen nach HRUSCHKA & RUPP (2002, S. 18) unter anderem in der Zeit, den Terminen, den Kosten und den Zielvorgaben. Denn während der Zeitrahmen für die Entwicklung von Softwareprodukten nur wenige Monate beträgt, kann er bei Hardwareprodukten mehrere Jahre einnehmen (vgl. HAMMERS 2012, S. 19). Ebenso sind bei der Softwareentwicklung zumeist die Zielvorstellungen des Produkts genau definiert, bei Hardwareentwicklungen hingegen die Vorgaben des Zeitrahmens und Budgets. (HRUSCHKA & RUPP 2002, S. 18; GRETER & KELLER 2013, S. 244)

Eine Auswirkung auf die Adaption von agilen Techniken haben vor allem die Anzahl an Teammitgliedern sowie deren räumliche Verteilung. Bei Softwareprojekten können die Entwicklungsaufgaben auf kleine Teams mit wenigen Entwicklern umgelegt werden, die sich physisch zumeist an einem Ort befinden oder Entwicklungsstände aufwandsarm und ohne Lieferzeiten mit digitalen Medien austauschen können. Die Entwicklung von physischen Produkten ist hingegen häufig ortsgebunden und unter Einbeziehung einer Vielzahl an Teammitgliedern über mehrere Standorte hinweg verteilt. Für ein agiles Engineering im Maschinen- und Anlagenbau kann es daher erforderlich sein, die Abläufe zu skalieren und auf die örtliche Verteilung anzupassen, um die Herausforderungen einer verteilten Entwicklung (z. B. unterschiedliche Zeitzonen) zu berücksichtigen (vgl. RÖPSTORFF & WIECHMANN 2012, S. 73-86). Eine Ablaufhierarchie sieht ein Entwicklungsteam von mindestens fünf bis neun Personen je Standort vor. Die Personen können je nach Möglichkeit auch Mitglied mehrerer Teams sein, wobei eine Beteiligung in mehr als drei Teams aus Effizienzgründen nicht zu empfehlen ist. Um den Austausch zwischen den Teams zu stärken, können beispielsweise übergreifende Treffen der Scrum Master (sog. Scrum of Scrums) an einem Standort stattfinden. Übertragen auf alle Ebenen des Unternehmens entspricht dies den Ansätzen einer fraktalen Fabrik (vgl. GREENING 2010, S. 6). In diesem Fall sind auch die Rollen zu skalieren, d. h. es wird unternehmensweit ein Global Scrum Master bestimmt, welcher regelmäßige Treffen mit den Local Scrum Mastern der einzelnen Standorte abhält und sich übergreifend mit Rollen seiner Hierarchie austauscht (z. B. agiles Organisationsmodell, vgl. GLOGER & HÄUSLING 2011, S. 30-33). Dies kann auch an einem Ort stattfinden, wenn beispielsweise Probleme durch Vertreter unterschiedlicher Bereiche gelöst werden müssen (sog. *Meta-Scrum*, vgl. WOLF & BLEEK 2011, S. 147). Sollte es die Distanz zwischen den Beteiligten nicht anders gewährleisten, können persönliche Treffen auch durch unterschiedliche digitale Medien (z. B. Telefon-, Videokonferenz) ersetzt werden. Hierzu ist das Medium je nach Komplexität der Kommunikationsaufgabe und der Informationsreichhaltigkeit so zu wählen, dass eine effiziente Kommunikation ermöglicht wird (vgl. Media-Richness-Theorie, GAUL 2001, S. 29 f.). Es können dazu die Maßgaben der Raum-Zeit-Matrix (*engl.* Anytime-Anyplace-Matrix) angewendet werden, welche die Wahl von Kommunikationsmedien in Abhängigkeit zur zeitlichen bzw. örtlichen Konstellation des Entwicklungsteams bestimmt (GIERHARDT 2001, S. 87 f.). Dies betrifft auch die Hilfsmittel, die mit einem Softwaretool global zur Verfügung gestellt werden können und für die in der Praxis zahlreiche Lösungen bestehen (vgl. GLOGER 2013A, S. 310; VERSIONONE 2013, S. 12-14). Vergleichbar zu den Rollen und Abläufen können auch die Artefakte nach Teams und Standorten skaliert werden (z. B. Scrum im Multiprojektumfeld, vgl. GLOGER 2013A, S. 265-271; RUBIN 2014, S. 150-155). Hierzu sind die Möglichkeiten der Datenverarbeitung auszuschöpfen, wobei ein Augenmerk auf die Schnittstellen, die Zugänglichkeit und die

Pflege der Daten zu legen ist. Die Skalierung von Scrum, die Arbeit in verteilten Teams und die Externalisierung von Informationen in agilen Abläufen sowie das agile Engineering in global verteilten Projekten wird in entsprechenden Arbeiten vertieft, auf die an dieser Stelle für weiterführende Informationen verwiesen ist[1].

5.3.3.2 Adaption des agilen Prozesses

Aufgrund der Unterschiede von digitalen und physischen Produkten kann auch eine Anpassung des agilen Prozesses unabhängig von den Agilitätsklassen erforderlich sein. Im Vergleich zu einem Softwaresystem, welches auf digitalen Wegen ausgetauscht und vergleichsweise aufwandsarm eingebettet werden kann, sind die Anforderungen an eine iterative Auslieferung von physischen Inkrementen eines Hardwareprodukts mit höheren Aufwänden verbunden und nicht immer ohne Weiteres zu realisieren. Im Vergleich zur Entwicklungszeit nimmt nämlich die Zeit für die Herstellung eines Hardwareprodukts einen großen Anteil ein, zudem ist ein produzierendes Unternehmen im Maschinen- und Anlagenbau stets von den Lieferanten abhängig, welche im passenden Takt und der geforderten Qualität liefern müssen. Eine Auslieferung von physischen Produktinkrementen ist also nur dann ohne Adaptionen zielführend, wenn eine Modularisierung des zu entwickelnden Systems gegeben ist. In der Praxis ist dies zunehmend der Fall (vgl. FÖRSTER 2003, HEßLING 2006, FRAGER & NEHR 2010, VON DER HEIDE 2014). Auch ist hier bereits der Begriff des agilen Systems anzutreffen (vgl. RAPP 2010, S. 69-73). Um also die Auslieferung von physischen Produktinkrementen zu begünstigen, können die Iterationen bei der interdisziplinären Kooperation mehrerer Teams parallelisiert (vgl. SUTHERLAND 2005, S. 2) und zwei Ansätze der Adaption hinsichtlich der Abnahmekriterien bzw. der Auslieferung genutzt werden.

Der erste Ansatz befasst sich mit der gemeinsamen Vereinbarung hinsichtlich der Zielerreichung eines Entwicklungsergebnisses. Die sogenannte *Definition of Done* kann zwischen den internen und externen Beteiligten beliebig festgelegt werden. Üblicherweise ist eine auszuliefernde Produktfunktionalität mit einem Bestandteil des späteren Produkts gleichgesetzt. Bei einem Hardwareprodukt sind dies physische Teilkomponenten, deren unabhängige Auslieferung nicht immer zweckmäßig wäre. Die Vereinbarung ist daher so zu gestalten, dass die Auslieferung dem Kunden einen Mehrwert bietet, aber nicht zwangsläufig einem physischen Teilsystem entspricht. Dies kann für viele Artefakte wie beispielsweise Entwurfsskizzen, digitale Modelle (z. B. CAD, Mock-Up etc.) zutreffend sein. Wenngleich diese nicht ein Bestandteil des fertigen Gesamtsystems sind, können sie dem Kunden bereits einen Mehrwert bei der Definition der Anforderungen oder der Integration des Produkts liefern.

[1] COHN (2010, S. 327-388); SAUER (2010); SCHILLER (2010); SUTHERLAND (2010, S. 35)

Der zweite Ansatz befasst sich mit der Forderung, fertiggestellte Produktfunktionalitäten bereits nach der ersten Iteration auszuliefern. Während in der Softwareentwicklung eine kontinuierliche Auslieferung häufig zu realisieren ist, kann im Maschinen- und Anlagenbau hiervon bei Bedarf abgesehen werden, indem die Inkremente diskontinuierlich ausgeliefert werden (vgl. PAIGE ET AL. 2008, S. 35). Dies ist in Abbildung 5-12 anhand eines in Funktionen gegliederten Systems dargestellt, wobei das agile Engineering in die Schritte *Konzept*, *Realisierung* und *Test* zusammengefasst ist.

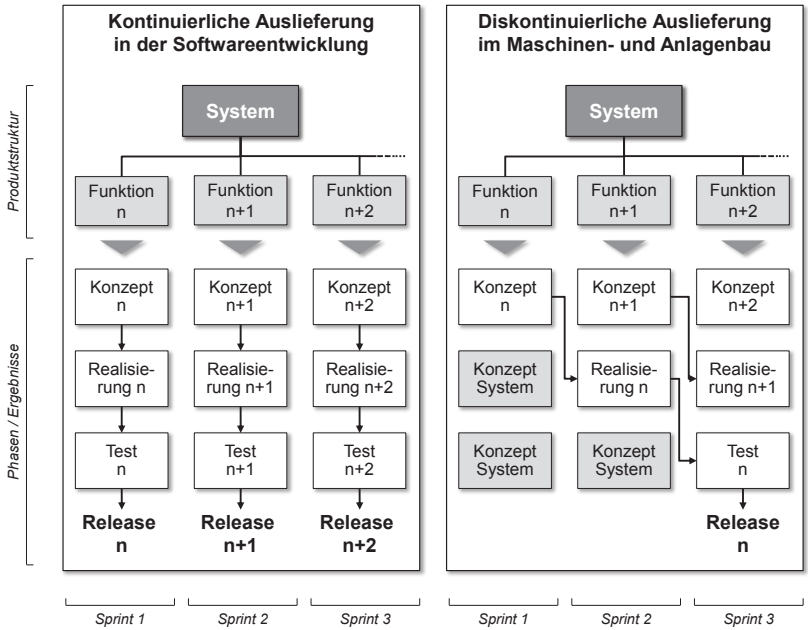


Abbildung 5-12: Anpassung der Auslieferungsart für den Maschinen- und Anlagenbau in Anlehnung an PAIGE ET AL. (2008, S. 35)

Die diskontinuierliche Auslieferung ermöglicht die Verlagerung von Funktionalitäten auf spätere Sprints. Hierbei kann in der frühen Phase Zeit für die Konzeptionierung des Gesamtsystems gewonnen werden. Über die Iterationen befinden sich mehrere Funktionalitäten gleichzeitig in Bearbeitung, die sukzessive und kontinuierlich ausgeliefert werden. Es steht je Funktion ein längerer Zeitraum vom ersten Konzept bis zur Auslieferung zur Verfügung, der für Zulieferungen etc. genutzt werden kann. Dies wird in der Literatur auch unter den Begriffen der prototyporientierten Entwicklung und des Requirement Engineerings geführt, auf die an dieser Stelle verwiesen ist[1].

[1]GOLL (2012, S. 78-82); BERGSMANN (2014, S. 22 f.)

5.3.4 Dokumentation der Erkenntnisse

Als letzter Schritt der dargestellten Systematik werden die gewonnenen Erkenntnisse über agile Techniken in einem Beschreibungsmittel festgehalten. Hierzu wird in diesem Abschnitt das im Rahmen der vorliegenden Arbeit entwickelte Beschreibungsmittel des Steckbriefs für agile Techniken vorgestellt. Dieser soll dem Anwender eine Hilfestellung bei der Auswahl und Anwendung agiler Techniken im Maschinen- und Anlagenbau bieten, wie in Abbildung 5-13 am Beispiel des Product Backlogs gezeigt ist und dem Anhang für alle agilen Techniken gesammelt entnommen werden kann (siehe Anhang A6).

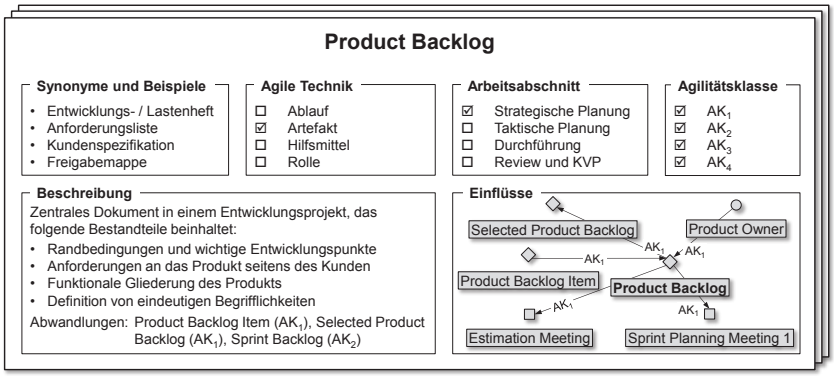


Abbildung 5-13: Steckbrief der agilen Technik „Product Backlog“

Der Steckbrief für agile Techniken ist in einen Steckbriefkopf mit allgemeinen Daten und den inhaltlichen Abhängigkeiten der agilen Technik, und in einen Steckbriefrumpf mit der detaillierten Beschreibung und den strukturellen Abhängigkeiten unterteilt. Der Kopf verweist mit Synonymen und Beispielen auf vergleichbare Techniken des Maschinen- und Anlagenbaus, wie etwa Abwandlungen bzw. proprietäre Ausprägungen der betrachteten agilen Technik. Ein gängiges Synonym für ein Product Backlog ist beispielsweise das Entwicklungsheft oder eine Freigabemappe. In den weiteren Reitern des Kopfs ist eine Zuordnung zu den Domänen der agilen Techniken sowie zu den Arbeitsabschnitten und Agilitätsklassen vorgenommen. Der Steckbriefrumpf beinhaltet eine allgemeine Beschreibung, wozu die agile Technik verwendet wird, wie sie aufgebaut ist bzw. was sie beinhaltet. Mit welchen anderen agilen Techniken entsprechend der Wirkzusammenhänge sie interagiert, ist unter Angabe der Schnittstelle der Agilitätsklasse im Reiter der Einflüsse veranschaulicht.

5.4 Fazit

In diesem Kapitel wurden die generellen Grundüberlegungen zu den ersten beiden Forschungsfragen der erklärten Zielsetzung der vorliegenden Arbeit behandelt. Diese adressieren die Einordnung des agilen Engineerings sowie der Kombination und Adaption von agilen Techniken für eine Übertragung in den Maschinen- und Anlagenbau.

Zunächst wurden die Anknüpfungspunkte des agilen Engineerings zu den im Maschinen- und Anlagenbau etablierten Begriffen der schlanken Entwicklung und der Agilität erläutert. Aus der Synthese der Erkenntnisse wurde, unter Rückgriff auf bestehende Definitionen, eine Begriffsbestimmung des agilen Engineerings für ein gemeinsames Verständnis getätigt. Die Kernaspekte des agilen Engineerings liegen in der iterativen Entwicklung von auslieferungs- und verkaufsfähigen Produktinkrementen, wobei die Zusammenarbeit und Kommunikation zwischen den beteiligten Individuen im Vordergrund stehen. Das agile Engineering kann als eine Strategie von produzierenden Unternehmen angesehen werden und wurde hierzu im Weiteren im Untersuchungsbereich eingeordnet. Es wurde gezeigt, inwiefern das agile Engineering die übergeordneten Prinzipien (z. B. zielorientiertes Handeln) der produzierenden Unternehmen bedient. Zudem wurden die Anknüpfungspunkte zu etablierten Strategien (z. B. Systems Engineering) dargelegt und erläutert, inwiefern das agile Engineering über diese Strategien hinausgeht.

Im Weiteren wurde die Übertragung der agilen Techniken von Scrum in den Maschinen- und Anlagenbau ausführlich untersucht. Dies erfolgte unter der Maßgabe, dass nicht immer der gesamte Scrum-Prozess in einem Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus eingesetzt werden muss. Stattdessen stellt die gezielte, synergetische Kombination von ausgewählten agilen Techniken einen Neuheitsgrad dar. Hierzu wurde eine Systematik bestehend aus vier Stufen angewendet. Diese diente der Analyse der strukturellen Abhängigkeiten zwischen den agilen Techniken von Scrum und dem Aufstellen geeigneter inhaltlicher Kombinationen von agilen Techniken. Weiterhin befasste sich die Methodik mit der Untersuchung von erforderlichen Anpassungen von agilen Techniken und des agilen Prozesses an die Gegebenheiten des Maschinen- und Anlagenbaus sowie der Dokumentation der Erkenntnisse über den Einsatz von agilen Techniken im Maschinen- und Anlagenbau. Dazu wurden die strukturellen Wirkzusammenhänge zwischen den agilen Techniken mithilfe einer Verknüpfungsmatrix ermittelt und über einen Graph zur Modularisierung visualisiert. Da auf dieser Grundlage keine Möglichkeiten für eindeutige Kombinationen an agilen Techniken bestehen, wurden die Sollbruchstellen auf Basis der Arbeitsabschnitte von Scrum über die inhaltlichen Abhängigkeiten zwischen den agilen Techniken erarbeitet. Daraus wurden vier Agilitätsklassen aufgestellt, wobei die Arbeitsabschnitte stufenförmig zugeordnet und die agilen Techniken entsprechend dem Scrum-Prozess eingegliedert

sind. Ausgehend von der geringsten Agilitätsklasse nimmt mit jeder weiteren Oberklasse die Anzahl an inbegriffenen agilen Techniken linear und die Anzahl an Wirkzusammenhängen exponentiell zu. In der höchsten Agilitätsklasse sind alle agilen Techniken inbegriffen, sodass diese dem vollständigen Scrum-Prozess entspricht. Für jede dieser Agilitätsklassen wurde daraufhin die inbegriffene Kombination an agilen Techniken beschrieben, über einen Graph veranschaulicht und das Verständnis der Abstufung des spezifischen agilen Prozesses jeder Agilitätsklasse erläutert.

Im Anschluss erfolgte eine Untersuchung, inwiefern die agilen Techniken und der agile Prozess unabhängig von den Agilitätsklassen an die Rahmenbedingungen des Maschinen- und Anlagenbaus anzupassen sind. Hierzu wurden die Besonderheiten bei der interdisziplinären Entwicklung eines mechatronischen Systems gegenüber der reinen Softwareentwicklung herausgearbeitet und mögliche Adaptionen der agilen Techniken aufgeführt. Zudem wurde die Adaption der diskontinuierlichen Auslieferung von Produktinkrementen behandelt, um den Erfordernissen des Maschinen- und Anlagenbaus bei der Entwicklung von Hardwareprodukten Rechnung zu tragen. Um die erarbeiteten Erkenntnisse zur Übertragung der agilen Techniken in den Maschinen- und Anlagenbau zu dokumentieren, wurde das Beschreibungsmittel des Steckbriefs für agile Techniken entwickelt. Dieser enthält, neben Angaben zu den strukturellen und inhaltlichen Abhängigkeiten zu anderen agilen Techniken, insbesondere Synonyme und Beispiele für vergleichbare Techniken (z. B. Abwandlungen, proprietäre Ausprägungen), die im Maschinen- und Anlagenbau eingesetzt werden. Zudem ist im Steckbrief eine ausführliche Beschreibung gegeben, die dem Anwender eine Hilfestellung bei der Auswahl, Adaption und Anwendung der agilen Technik im Maschinen- und Anlagenbau bietet.

6 Methodik zum agilen Engineering im Maschinen- und Anlagenbau

Das vorliegende Kapitel stellt die Konstruktion der Methodik zum agilen Engineering im Maschinen- und Anlagenbau vor. Durch die Anwendung der Methodik sollen die Ansatzpunkte für den Einsatz von agilen Techniken im mechatronischen Entwicklungsprozess ermittelt werden. Hieraus lassen sich Maßnahmen für die Umstrukturierung der Aufbau- und Ablauforganisation ableiten, um ein agiles Engineering in einem produzierenden Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus umzusetzen.

In den nachfolgenden Abschnitten werden der Aufbau und Ablauf (siehe Kapitel 6.1) sowie die Bestandteile der Methodik vorgestellt. Es wird ein Referenzmodell erarbeitet (siehe Kapitel 6.2), das der Beantwortung der dritten und vierten Forschungsfrage dient, nämlich wie mechatronische Entwicklungsprozesse für den Einsatz von agilen Techniken beschrieben (F3) und wie agile Techniken in diesen integriert (F4) werden können. Daran schließt die Entwicklung einer Skalierungsmethode hinsichtlich der fünften Forschungsfrage an, wie der Anwendungsfall zur Beschreibung eines mechatronischen Entwicklungsprozesses unter Einsatz von agilen Techniken abgebildet (F5) werden kann (siehe Kapitel 6.3). Abschließend wird die rechnergestützte Anwendung der Methodik behandelt (siehe Kapitel 6.4), bevor das Kapitel mit einem Fazit schließt (siehe Kapitel 6.5).

6.1 Aufbau und Ablauf

Die Methodik beinhaltet ein Referenzmodell, eine Skalierungsmethode und ein rechnerbasiertes Werkzeug. Diese stehen gemäß Abbildung 6-1 in einem Zusammenhang.

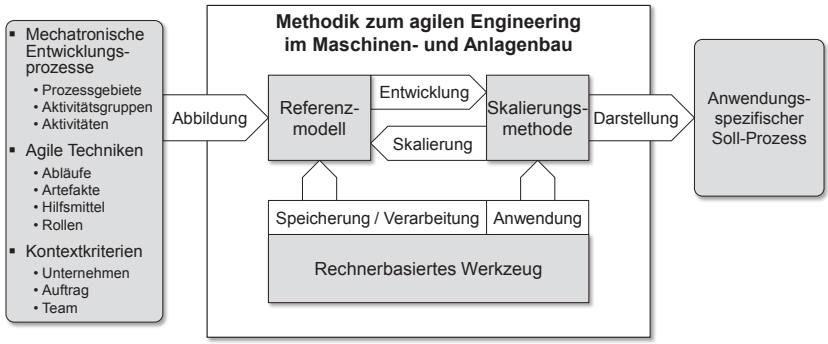


Abbildung 6-1: Aufbau der entwickelten Methodik zum agilen Engineering im Maschinen- und Anlagenbau

Im Referenzmodell sind als Eingangsgrößen die erlangten Erkenntnisse aus Praxis und Forschung über die Prozessgebiete, Aktivitätsgruppen und Aktivitäten mechatronischer Entwicklungsprozesse des Maschinen- und Anlagenbaus und sowie über die agilen Techniken der Abläufe, Artefakte, Hilfsmittel und Rollen von Scrum abgebildet. Es kann über die Skalierungsmethode angepasst werden, wozu als Eingangsgrößen Kriterien zur Bestimmung des Anwendungsfalls dienen. Zur Speicherung und Verarbeitung der im Referenzmodell verankerten Daten sowie zur Anwendung der Skalierungsmethode wird ein rechnerbasiertes Werkzeug eingesetzt. Als Ausgangsgröße kann mithilfe der Methodik für einen betrachteten Anwendungsfall der aufbau- und ablauforganisatorische Soll-Zustand eines mechatronischen Entwicklungsprozesses unter Verwendung agiler Techniken dargestellt werden. Der Ablauf der rechnergestützten Anwendung der Methodik sowie deren Nachbereitung untergliedern sich in insgesamt sieben Schritte chronologischer Abfolge, die in Abbildung 6-2 gezeigt sind.

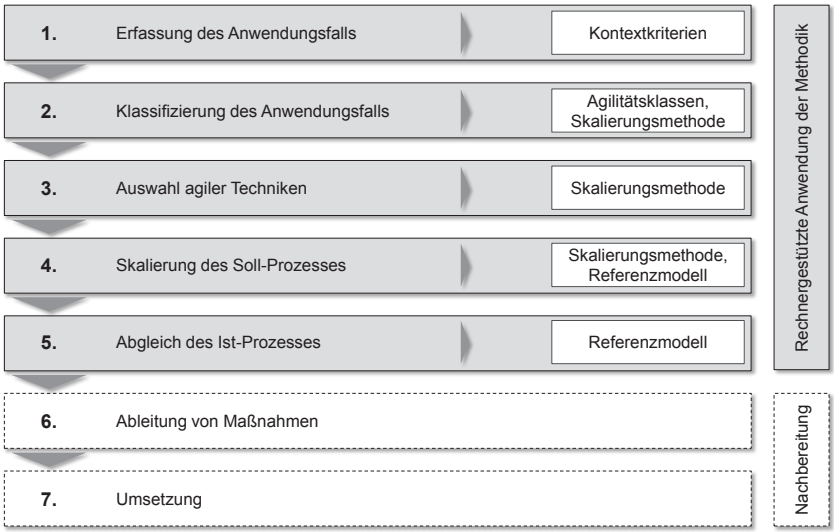


Abbildung 6-2: Ablauf der rechnergestützten Anwendung und Nachbereitung der entwickelten Methodik

Im ersten Schritt erfolgt die Erfassung des betrachteten Anwendungsfalls anhand von sogenannten *Kontextkriterien* (1). Über die Skalierungsmethode wird damit die Klassifizierung des Anwendungsfalls vorgenommen und eine Empfehlung hinsichtlich der Auswahl einer geeigneten Agilitätsklasse ausgesprochen (2). Aus der gewählten Agilitätsklasse werden die hinterlegten agilen Techniken abgeleitet, deren Auswahl nach Wunsch angepasst und bei Bedarf an die anwendungsspezifischen Gegebenheiten (z. B. verteilte Entwicklung) adaptiert werden können (3). Anhand der gewählten

agilen Techniken ergibt sich eine Skalierung des Referenzmodells, die nach Wunsch auf bestimmte Abschnitte des mechatronischen Entwicklungsprozesses (z. B. Aktivitätsgruppen) fokussiert werden kann. Aus der gewählten Kombination ergibt sich der Soll-Zustand des mechatronischen Entwicklungsprozesses unter Einsatz von agilen Techniken zu einer anwendungsspezifischen Sicht (4). Anhand dieser Empfehlung kann der bestehende Ist-Prozess mit dem Soll-Prozess abgeglichen werden, woraus sich die Ansatzpunkte für Prozessverbesserungen ergeben (5). Die Nachbereitung der Methodik umfasst die Ableitung von Maßnahmen zur Umstrukturierung der Ablauf- bzw. Aufbauorganisation (6), um das agile Engineering in einem produzierenden Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus umzusetzen (7).

6.2 Referenzmodell

Das Referenzmodell bildet die Datengrundlage für die Methodik zum agilen Engineering im Maschinen- und Anlagenbau. Im Referenzmodell ist, gemäß den Anforderungen an die Inhalte der Methodik (A1, A2 und A3), das Wissen über die Abläufe und Zusammenhänge von mechatronischen Entwicklungsprozessen des Maschinen- und Anlagenbaus sowie über agile Techniken von Scrum verankert. Neben den Charakteristiken eines Referenzmodells (vgl. Kapitel 3.1.3) wird bei der Erarbeitung den Anforderungen an die Modellierung gefolgt (A4, A5 und A6).

In diesem Abschnitt werden die Struktur des Referenzmodells vorgestellt (siehe Kapitel 6.2.1) und die Inhalte erläutert (siehe Kapitel 6.2.2). Den Kern bildet die Darstellung der abgebildeten Aktivitäten des mechatronischen Entwicklungsprozesses (siehe Kapitel 6.2.3) sowie die Integration der agilen Techniken (siehe Kapitel 6.2.4).

6.2.1 Struktur

Die äußere und innere Struktur des Referenzmodells lässt sich durch den Einsatz der Unified Modeling Language (UML, vgl. KECHER & SALVANOS 2015) veranschaulichen, indem die Inhalte als Klassen modelliert und miteinander in Beziehungen gesetzt werden. Die äußere Umgebung stellt die technische Auftragsabwicklung dar, die neben der Produktionsplanung, der Produktion und dem Vertrieb maßgeblich dem Produktentwicklungsprozess entspricht (SCHACK 2007, S. 36). Das Referenzmodell bettet sich über Kompositionen in die Aufbau- und Ablauforganisation möglicher Anwendungsfälle des Maschinen- und Anlagenbaus ein. Eine Komposition drückt dabei die Beziehung zwischen einem *Ganzen* und seinen *Teilen* aus, wobei die Teile nicht ohne das Ganze existieren können. In Bezug auf die Aufbau- und Ablauforganisation bedeutet dies eine Gliederung der Organisation sowie die Definition von Arbeitsprozessen

hinsichtlich der auszuführenden Tätigkeiten und den zu erfüllenden Aufgaben (BROY & KUHRMANN 2013, S. 31). In der inneren Struktur des Referenzmodells bestehen neben den Kompositionen weitere Beziehungen. Diese kommen durch die Abbildung der Verknüpfungen zwischen den Klassen der Domänen der agilen Techniken sowie deren wechselwirkenden Einflüsse zum mechatronischen Entwicklungsprozess zustande. Die Struktur des Referenzmodells unter Verwendung von UML ist in Abbildung 6-3 modelliert und wird nachfolgend mit Fokus auf die inneren Beziehungen erläutert.

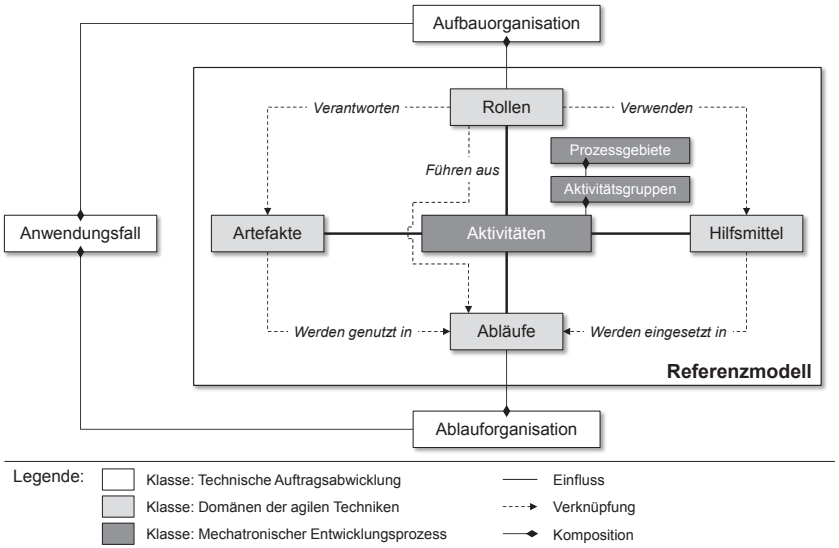


Abbildung 6-3: Aufbau des Referenzmodells (Struktur in Anlehnung an BROY & KUHRMANN 2013, S. 12)

Die zentralen Inhalte des Referenzmodells bilden die Klassen der Domänen der agilen Techniken bzw. die Klasse der Aktivitäten des mechatronischen Entwicklungsprozesses. Diese stehen innerhalb ihrer Klasse gemäß den Wirkzusammenhängen auf der oberen Ebene der Verknüpfungsmatrix (vgl. Tabelle 5-2) bzw. über die Kompositionen mit den Aktivitätsgruppen und Prozessgebieten (vgl. Abbildung 3-2) miteinander in Beziehung. Das wechselseitige Zusammenspiel dieser Klassen ist über sogenannte Einflüsse modelliert. Es wird also abgebildet, welche agilen Techniken der Umsetzung einer bestimmten Aktivität dienen bzw. für welche Aktivitäten eine bestimmte agile Technik eingesetzt werden kann. Die Datengrundlage der abgebildeten Inhalte ergibt sich, neben den bereits ausführlich behandelten agilen Techniken (vgl. Kapitel 5.3), aus der Beschreibung von mechatronischen Entwicklungsprozessen des Maschinen- und Anlagenbaus, wie in den beiden nachfolgenden Abschnitten ausgeführt wird.

6.2.2 Abgebildete Inhalte

Die inhaltliche Beschreibung von mechatronischen Entwicklungsprozessen entspricht in weiten Teilen der unter Mitwirkung des Autors erarbeiteten Ergebnisse im Rahmen des Forschungsprojekts EUREKA-MEPROMA[1]. Ein zentraler Bestandteil dieses Forschungsprojekts war die konstruktionsorientierte Modellierung von mechatronischen Entwicklungsprozessen im Maschinen- und Anlagenbau auf Grundlage einer Struktur aus Prozessgebieten, Aktivitätsgruppen und Aktivitäten. Als Modellierer traten ein wissenschaftliches Institut und ein Beratungsunternehmen auf, die durch induktive Erstellung mit empirisch-deskriptivem Ansatz die Entwicklungsprozesse von diversen Industriepartnern des Maschinen- und Anlagenbaus systematisiert und um deduktive Erkenntnisse mit analytisch-präskriptivem Ansatz aus der Forschung erweitert haben. Die im Referenzmodell abgebildeten Klassen der gemeinsam erarbeiteten neun Prozessgebiete, 40 Aktivitätsgruppen und 342 Aktivitäten repräsentieren den Stand der Technik und Forschung von mechatronischen Entwicklungsprozessen im Maschinen- und Anlagenbau und wurden unter maßgeblicher Beteiligung des Autors bereits in diversen Medien publiziert, auf die an dieser Stelle verwiesen wird[2]. Während definitionsgemäß kein Anspruch auf Vollständigkeit oder Konsistenz für die dem Referenzmodell zugrundeliegenden Daten erhoben werden muss (vgl. vgl. DELP 2006, S. 41), ist die geforderte Aktualität aus der Anforderung hinsichtlich der Identifikation, Evaluation, Allokation und Anwendung des Wissens (vgl. FETTKE & LOOS 2002B, S. 3 f.) über mechatronische Entwicklungsprozesse aufgrund der durchgeführten Aktivitäten in Praxis und Forschung gegeben.

Des Weiteren hat der Autor als zertifizierter Scrum Master (CSM) Workshops zum agilen Engineering im Maschinen- und Anlagenbau sowie Expertenbefragungen durchgeführt, um die Einflüsse zwischen dem mechatronischen Entwicklungsprozess und dem agilen Engineering aufzudecken. Hierbei wurde der Nutzen eines agilen Engineerings im Maschinen- und Anlagenbau herausgestellt und die primäre Herausforderung auf die zielgerichtete Auswahl, Kombination und Integration der agilen Techniken in den mechatronischen Entwicklungsprozess eingegrenzt. Auf Basis der Befragungen konnten zwischen 149 Aktivitäten des mechatronischen Entwicklungsprozesses wechselseitige Einflüsse zum agilen Engineering ermittelt werden. Dies diente als eine Grundlage, um die Einflüsse zwischen den Aktivitäten des mechatronischen Entwicklungsprozesses und den 28 agilen Techniken von Scrum weitergehend zu untersuchen. (vgl. VDMA 2015B)

[1]Mechatronisches Engineering zur effizienten Produktentwicklung im Maschinen- und Anlagenbau (MEPROMA 2015); [2]DRESCHER ET AL. (2013); KLEIN & REINHART (2013); DRESCHER & KLEIN ET AL. (2014); KLEIN & REINHART (2014); HERRMANN ET AL. (2015); VDMA (2015B)

6.2.3 Aktivitäten des mechatronischen Entwicklungsprozesses

Die Klasse der Aktivitäten des mechatronischen Entwicklungsprozesses bildet einen Kernbestandteil des Referenzmodells. Die Aktivitäten stellen elementare Vorgänge in einem Entwicklungsprozess dar, die durchzuführende Tätigkeiten beschreiben und Eingangsinformationen in Ausgangsinformationen umwandeln (GNATZ 2005, S. 40; BROY & KUHRMANN 2013, S. 32, 68, 84). Die Struktur der im Referenzmodell verankerten Prozessgebiete und Aktivitätsgruppen ist in Abbildung 6-4 veranschaulicht, wobei die inbegriffenen Aktivitäten ausgeblendet sind.

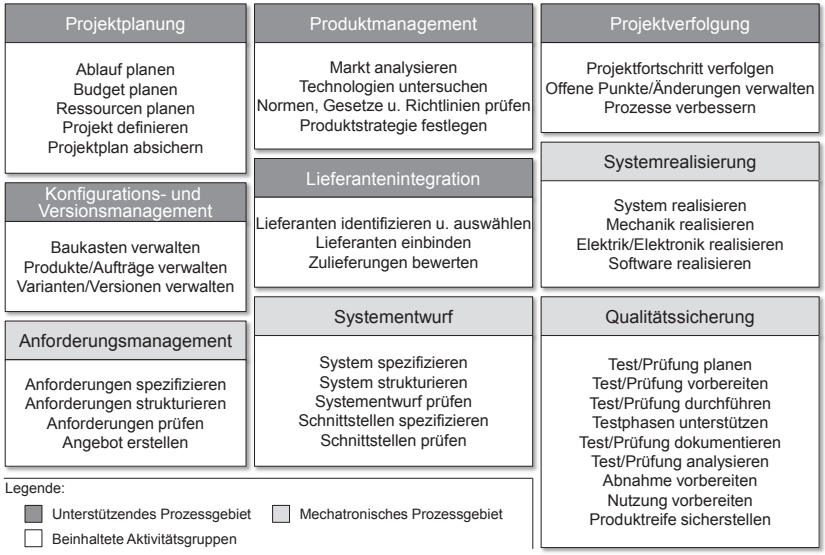


Abbildung 6-4: Struktur der Prozessgebiete und Aktivitätsgruppen des Referenzmodells (DRESCHER & KLEIN ET AL. 2014; VDMA 2015B)

Im Referenzmodell sind vier unterstützende und fünf mechatronische Prozessgebiete abgebildet, die insgesamt 40 Aktivitätsgruppen beinhalten. Die Aktivitätsgruppen in den unterstützenden Prozessgebieten sind ohne gesonderten Fokus auf den mechatronischen Entwicklungsprozess (z. B. *Projekt definieren*) und sollten unabhängig von dem zu entwickelnden Produkt in jedem Projekt im Maschinen- und Anlagenbau berücksichtigt werden. Die Aktivitätsgruppen der als mechatronisch bezeichneten Prozessgebiete beinhalten Aktivitäten, die für die Entwicklung von mechatronischen Maschinen und Anlagen spezifisch sind (z. B. *Schnittstellen spezifizieren*). Die 342 Aktivitäten teilen sich im Verhältnis von etwa zwei zu drei in die unterstützenden und mechatronischen Prozessgebiete auf, wie in Abbildung 6-5 nachfolgend dargestellt ist.

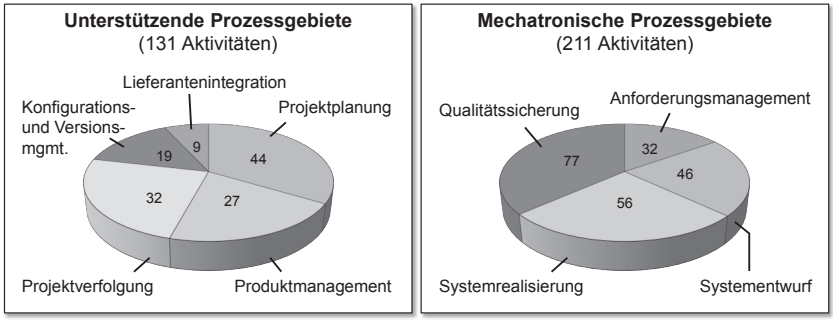


Abbildung 6-5: Aufteilung der Aktivitäten auf die Prozessgebiete

Aus der Betrachtung des Prozesses sind die Projektplanung und -verfolgung bzw. die Systemrealisierung und Qualitätssicherung herausgestellt, da diese einen hohen Anteil an Aktivitäten einnehmen. Die unterstützenden (siehe Kapitel 6.2.3.1) sowie mechatronischen Prozessgebiete (siehe Kapitel 6.2.3.2) nach VDMA (2015B) werden nachfolgend weiter ausgeführt, wobei die beinhalteten Aktivitätsgruppen aufgeführt und ein repräsentatives Beispiel für eine Aktivität gegeben wird. Eine vollständige Auflistung aller Aktivitäten kann dem Anhang entnommen werden (siehe Anhang A7).

6.2.3.1 Unterstützende Prozessgebiete

Zu den unterstützenden Prozessgebieten zählen die Projektplanung, das Produktmanagement, die Projektverfolgung, das Konfigurations- und Versionsmanagement sowie die Lieferantenintegration[1]. Sie beinhalten gemeinsam 131 (38 %) der Aktivitäten des Referenzmodells.

Projektplanung: Das Prozessgebiet der Projektplanung entspricht der „Gesamtheit von Führungsaufgaben, -organisation, -techniken und -mitteln für die Initiierung, Definition [und] Planung“ eines Projekts (DIN 69901-5). Die entsprechenden Aktivitätsgruppen beinhalten 44 Aktivitäten, die sich mit der Definition des Projekts, der Planung des Ablaufs, des Budgets und der Ressourcen sowie der Absicherung des Projektplans befassen. Ein Beispiel für eine Aktivität in der Aktivitätsgruppe *Ablauf planen* ist das *Erstellen eines Projektplans.*

Produktmanagement: Das Prozessgebiet des Produktmanagements beinhaltet Tätigkeiten zur Begleitung des Produkts von seiner Entstehung bis zu seinem Ausscheiden aus dem Markt. Die Aktivitätsgruppen entsprechen der Analyse des Markts, der Untersuchung von Technologien, der Prüfung von Normen, Gesetzen und Richtlinien sowie

[1]Inhaltliche Beschreibung der Prozessgebiete dieses Abschnitts nach VDMA (2015B)

der Festlegung einer Produktstrategie und umfassen 27 Aktivitäten. Ein Beispiel für eine Aktivität in der Aktivitätsgruppe *Markt analysieren* ist die *Identifikation neu zu erschließender Märkte.*

Projektverfolgung: Das Prozessgebiet der Projektverfolgung befasst sich mit der Fortschrittskontrolle eines Entwicklungsprojekts in Bezug auf Termine, Kosten und Ressourcen sowie der kontinuierlichen Prozessverbesserung. In den Aktivitätsgruppen sind 32 Aktivitäten zu der Verfolgung des Projektfortschritts, der Verwaltung von offenen Punkten und Änderungen sowie der Verbesserung der Prozesse beinhaltet. Ein Beispiel für eine Aktivität in der Aktivitätsgruppe *Prozesse verbessern* ist der *disziplinübergreifende Austausch von Review-Ergebnissen.*

Konfigurations- und Versionsmanagement: Das Prozessgebiet des Konfigurations- und Versionsmanagements dient dem Aufbau und der Verwaltung von Strukturen, Baukästen und Produkten sowie deren Varianten und Versionen. Die Aktivitätsgruppen entsprechen somit der Verwaltung von Baukästen, Produkten und Aufträgen sowie von Varianten und Versionen und beinhalten 19 Aktivitäten. Ein Beispiel für eine Aktivität in der Aktivitätsgruppe *Varianten und Versionen verwalten* ist die *disziplinübergreifende Verwaltung von Dokumenten.*

Lieferantenintegration: Das Prozessgebiet der Lieferantenintegration befasst sich mit der Einbindung von Lieferanten in die Strukturen und Abläufe eines Unternehmens. Die entsprechenden Aktivitätsgruppen umfassen 9 Aktivitäten zur Identifikation und Auswahl sowie der Einbindung von Lieferanten und der Bewertung von Zulieferungen. Ein Beispiel für eine Aktivität in der Aktivitätsgruppe *Lieferanten einbinden* ist die *rechtzeitige Abstimmung und Dokumentation von Lieferterminen.*

6.2.3.2 Mechatronische Prozessgebiete

Zu den mechatronischen Prozessgebieten zählen das Anforderungsmanagement, der Systementwurf, die Systemrealisierung sowie die Qualitätssicherung[1]. Sie beinhalten gemeinsam 211 (62 %) der Aktivitäten des Referenzmodells.

Anforderungsmanagement: Das Prozessgebiet des Anforderungsmanagements befasst sich mit den Eigenschaften und zu erbringenden Leistungen eines Produkts bzw. Systems, eines Prozesses oder der beteiligten Personen. Die Aktivitätsgruppen umfassen mit 32 Aktivitäten die Spezifikation, Strukturierung und Prüfung von Anforderungen sowie die Erstellung eines Angebots. Ein Beispiel für eine Aktivität in der Aktivitätsgruppe *Anforderungen spezifizieren* ist das *Zusammentragen von Anforderungen mit dem Kunden.*

[1]Inhaltliche Beschreibung der Prozessgebiete dieses Abschnitts nach VDMA (2015B)

Systementwurf: Das Prozessgebiet des Systementwurfs umfasst die Tätigkeiten für den Entwurf, die Spezifikation sowie die Schnittstellen eines zu entwickelnden Systems. Als Aktivitätsgruppen sind darin 46 Aktivitäten zur Spezifikation sowie Strukturierung des Systems, zur Prüfung des Systementwurfs sowie der Spezifikation und Prüfung von Schnittstellen enthalten. Ein Beispiel für eine Aktivität in der Aktivitätsgruppe *System spezifizieren* ist das *Erstellen einer Funktionsliste auf Grundlage der Anforderungen.*

Systemrealisierung: Das Prozessgebiet der Systemrealisierung befasst sich mit der Umsetzung der spezifizierten Komponenten innerhalb der beteiligten Disziplinen. Die Aktivitätsgruppen beinhalten 56 Aktivitäten zur Realisierung der Mechanik, der Elektrik/Elektronik, der Software sowie des Systems. Ein Beispiel für eine Aktivität in der Aktivitätsgruppe *Mechanik realisieren* ist die *Erstellung von Konstruktionszeichnungen und CAD-Modellen.*

Qualitätssicherung: Das Prozessgebiet der Qualitätssicherung umfasst die Tätigkeiten zur Überprüfung der Funktionalität, Qualität, Zuverlässigkeit und Sicherheit der realisierten Komponenten eines Produkts mit Blick auf die spezifizierten Anforderungen. Die Aktivitätsgruppen beinhalten mit 77 Aktivitäten die Planung, die Vorbereitung, die Durchführung, die Analyse und die Dokumentation von Tests bzw. Prüfungen, die Vorbereitung der Abnahme und der Nutzung sowie die Unterstützung von Testphasen und die Sicherstellung der Produktreife. Ein Beispiel für eine Aktivität in der Aktivitätsgruppe *Abnahme vorbereiten* ist die *interne Vorabnahme ohne Kunden anhand kundenspezifizierter Testfälle.*

6.2.4 Integration der agilen Techniken

Die Klasse der Domänen der agilen Techniken bildet neben den Aktivitäten den zweiten Kernbestandteil des Referenzmodells. Da Scrum keine spezifischen Aktivitäten besitzt (vgl. Abbildung 3-18), stehen die agilen Techniken unmittelbar mit dem Vorgehen in Bezug (KALUS 2013, S. 82). Eine Formalisierung eines agilen Engineerings in einem mechatronischen Entwicklungsprozess des Maschinen- und Anlagenbaus ergibt sich somit durch die Integration der agilen Techniken (vgl. WIRDEMANN 2011, S. 27 f.). Die Aktivitäten des mechatronischen Entwicklungsprozesses können dazu auch als das agile Artefakt *Task* angesehen werden, d. h. als die während des Entwicklungszeitraums umzusetzenden Aufgaben. Hierzu ist es erforderlich, die Beziehung der Einflüsse zwischen den Aktivitäten sowie den agilen Techniken herauszuarbeiten (vgl. Abbildung 6-3). Dazu werden im Weiteren jene 149 der 342 Aktivitäten des mechatronischen Entwicklungsprozesses herangezogen, zwischen denen gemäß den Vorarbeiten ein Einfluss zum agilen Engineering besteht (vgl. VDMA 2015B).

Die weiterführende Untersuchung der Einflüsse erfolgt unter Verwendung der Methode der Einflussmatrix[1] (vgl. LINDEMANN 2009, S. 73-78, 259; KIRNER 2014, S. 285-297). Hierzu sind die Aktivitäten des mechatronischen Entwicklungsprozesses als Zeilen sowie die agilen Techniken als Spalten der Einflussmatrix in einer tabellarischen Beschreibungsform im Referenzmodell zusammengefasst. Es wird damit bewusst auf einen funktions-, prozess- oder objektorientierten Verknüpfungsansatz verzichtet[2], um dem eigenverantwortlichen Ausführen von Aufgaben durch das Entwicklungsteam in einem agilen Engineering Rechnung zu tragen. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden alle Kombinationen der 149 Aktivitäten und 28 agilen Techniken hinsichtlich potenzieller Einflüsse untersucht und ein vorhandener wechselseitiger Einfluss als entsprechender Eintrag („X“) vermerkt. Das Ergebnis dieser Untersuchung ist als exemplarischer Auszug in Abbildung 6-6 dargestellt.

			Agile Techniken			
Mechatronischer Entwicklungsprozess			Abläufe	Artefakte	Rollen	…
Prozessgebiete	Aktivitäten-gruppen	Aktivitäten	Daily Meeting	Product Backlog	Product Owner	…
Projektplanung	Ablauf planen	Erstellen eines Projektplans mit Arbeitspaketen und Meilensteinen und deren zeitliche Verknüpfung.		X	X	…
		Definition von Visualisierungstechniken für den Ablauf des Projekts.		X	X	…
		Definition von Arbeitspaketen gleichen Aufwands bzw. gleicher Dauer.			X	…
		Definition von prüfbaren Meilensteinen mit erforderlichen Ergebnissen und Dokumenten.			X	…
		Definition von regelmäßigen Besprechungen zum Abgleich der verschiedenen Disziplinen.	X			…
	…	…	…	…	…	…
Anforderungs-management		Definition von MUSS-/KANN-Anforderungen mit dem Kunden.			X	…
	Anforderungen strukturieren	Definition eines Status für Anforderungen (Erfüllungsgrad).				…
		Strukturierung der Anforderungen für die Entwicklung der Maschine.			X	…
	…	…	…	…	…	…
…	…	…	…	…	…	…

Lesart: *Zeile*

Lesart: *Spalte*

Abbildung 6-6: Abgebildete Einflussmatrix im Referenzmodell (Auszug)

Aufgrund der wechselseitigen Einflüsse können zwei unterschiedliche Lesarten an die Einflussmatrix angesetzt werden. Es kann identifiziert werden, welche agilen Techniken zur Umsetzung einer bestimmten Aktivität dienen (Lesart: *Zeile*) und welche Aktivitäten mit einer bestimmten agilen Technik umgesetzt werden können (Lesart: *Spalte*). Als Beispiel kann ermittelt werden, dass die *Strukturierung der Anforderungen für die Entwicklung der Maschine* der Rolle des *Product Owners* obliegt. Die Einflussmatrix ermöglicht weitere Aussagen, die beginnend mit Tabelle 6-1 erläutert werden.

[1]vgl. RAUCHENBERGER (2011); ROELOFSEN (2011); SPIEGELBERGER (2011); [2]vgl. HAMMERS (2012, S. 72-76); FORSTER (2013, S. 87-91)

Tabelle 6-1: Tabellarische Auswertung der Einflüsse zwischen den Aktivitäten und Domänen der agilen Techniken

		Domäne (Anzahl)				
		Aktivitäten (149)	**Abläufe (8)**	**Artefakte (12)**	**Hilfsmittel (2)**	**Rollen (6)**
Einflüsse	**Anzahl**	839	239	239	54	307
	Durch-schnitt	5,6	29,9	19,9	27,0	51,1
	Maximum	16 (Statustreffen)	52 (Sprint)	53 (Task)	36 (Task Board)	109 (Team)
	Minimum	2 (…)	13 (Sprint Retro-spective M.)	6 (Vision)	18 (Burndown Chart)	21 (End User)

In Summe bestehen 839 wechselseitige Einflüsse zwischen den Aktivitäten des mechatronischen Entwicklungsprozesses und den agilen Techniken. Eine Aktivität hat im Durchschnitt 5,6 und eine agile Technik je Domäne zwischen 19,9 und 51,1 Einflüsse. Am häufigsten werden dabei die Aktivität der *Abhaltung von regelmäßigen Statustreffen* beeinflusst sowie die agilen Techniken Sprint, Task, Task Board und Team. Dies lässt sich auch auf die Prozessgebiete übertragen, wie in Abbildung 6-7 gezeigt ist.

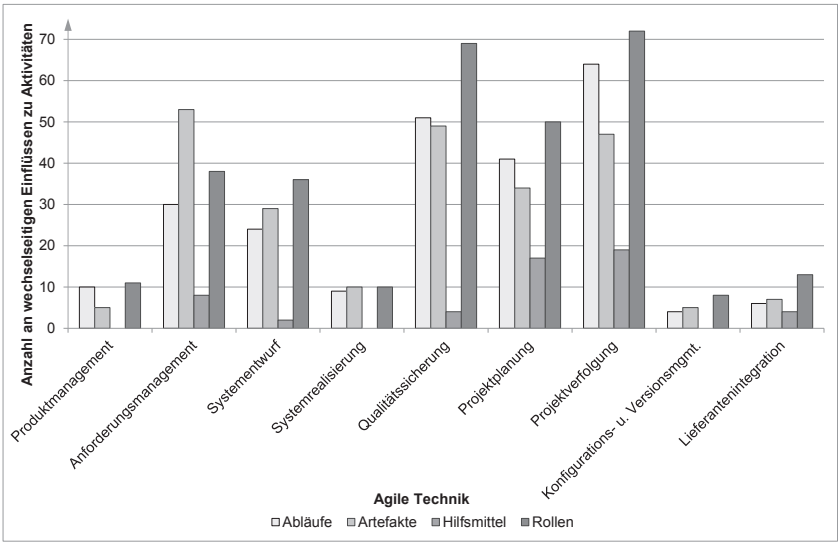


Abbildung 6-7: Grafische Auswertung der Einflussmatrix zwischen den Prozessgebieten und den Domänen der agilen Techniken

Aus der grafischen Auswertung ist zu entnehmen, dass sich die Einflüsse ungleichmäßig über die Prozessgebiete verteilen. Eine hohe Abdeckung liegt bei den Prozessgebieten des Anforderungsmanagements, der Qualitätssicherung sowie der Projektplanung und -verfolgung vor. Die Abläufe, Hilfsmittel und Rollen nehmen in der Projektverfolgung einen hohen Anteil an den Einflüssen ein, was beispielsweise auf eine Vielzahl an Abstimmungstreffen (z. B. Daily Meeting) zurückzuführen ist, an denen alle Rollen (z. B. Product Owner) teilnehmen und deren Ergebnisse über die Hilfsmittel (z. B. Task Board) visualisiert werden. Die Artefakte haben hingegen im Anforderungsmanagement einen hohen Anteil, da diese bei vielen Aktivitäten beispielsweise für Dokumentationszwecke (z. B. Anforderungsspezifikation) verwendet werden (z. B. Product Backlog). Die Verteilung der Einflüsse ergibt sich einerseits aus der Anzahl der Aktivitäten je Prozessgebiet und andererseits aus der Anzahl der identifizierten Einflüsse selbst. Dies kann wiederum auf die unterstützenden und mechatronischen Prozessgebiete übertragen werden, wie abschließend in Abbildung 6-8 dargestellt ist.

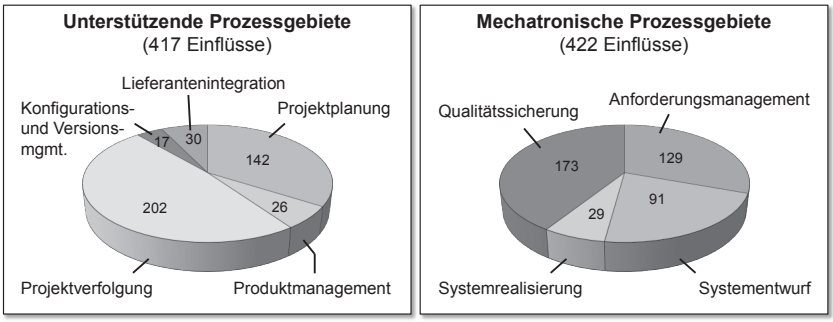


Abbildung 6-8: Verteilung der Einflüsse in den Prozessgebieten

Im Gegensatz zu der Aufteilung der Aktivitäten (vgl. Abbildung 6-4) zeigt die Verteilung der Einflüsse in den Prozessgebieten die Schwerpunkte des agilen Engineerings auf. Die Einflüsse sind nahezu gleichmäßig auf die unterstützenden und die mechatronischen Prozessgebiete verteilt. In den unterstützenden Prozessgebieten sind dabei wiederum die Projektplanung und -verfolgung dominierend. Sie nehmen gemeinsam einen großen Anteil der Einflüsse im Vergleich zum Produktmanagement, dem Konfigurations- und Versionsmanagement sowie der Lieferantenintegration ein. Bei den mechatronischen Prozessgebieten hat insbesondere das Anforderungsmanagement an Bedeutung gewonnen, das neben der Qualitätssicherung die meisten Einflüsse hat. Gegenüber der vorangegangenen Betrachtung hat der verhältnismäßige Anteil des Systementwurfs kaum einer Änderung erfahren. Die Systemrealisierung nimmt hingegen einen geringeren Anteil ein, da nur wenige Einflüsse zwischen den stark inhaltlich geprägten Aktivitäten und den allgemeinen agilen Techniken bestehen.

6.3 Skalierungsmethode

Die Skalierungsmethode der Methodik zum agilen Engineering im Maschinen- und Anlagenbau dient der Anwendung des Referenzmodells. Daraus lässt sich eine anwendungsspezifische Sicht auf den mechatronischen Entwicklungsprozess unter Einsatz von agilen Techniken generieren. Gemäß den Anforderungen an die Methode sind Einflussgrößen aufzustellen, die den Anwendungsfall des Maschinen- und Anlagenbaus wiedergeben (A7), um den gewünschten Soll-Zustand zu ermitteln (A8). In diesem Abschnitt werden die Kontextkriterien hergeleitet (siehe Kapitel 6.3.1), die als Eingangsgröße der Methodik zur Entwicklung der Skalierungsmethode dienen. Es wird auf Kriterien in den Gruppen *Unternehmen* (siehe Kapitel 6.3.2), *Auftrag* (siehe Kapitel 6.3.3) und *Team* (siehe Kapitel 6.3.4) eingegangen. Je nach Ausprägung der Kriterien wird jeweils beurteilt, inwiefern ein agiles Engineering für einen Einsatz im Maschinen- und Anlagenbau geeignet ist. Der Abschnitt schließt mit einer Auswertung der Skalierungsmethode (siehe Kapitel 6.3.5), wobei sich der geeignete Kombinationsgrad an agilen Techniken als Empfehlung einer Agilitätsklasse ausdrückt.

6.3.1 Einflussgrößen

Um den Anwendungsfall in der Skalierungsmethode zu verarbeiten, sind Einflussgrößen zu identifizieren (vgl. SCHRÖDER 2003, S. 28-34). Diese werden im Folgenden als *Kontextkriterien* bezeichnet, da sie die Randbedingungen der Entwicklungsprozesse von produzierenden Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus widerspiegeln sollen (vgl. PONN 2007, S. 137 f.; FORSTER 2013, S. 147). Für die Ermittlung dieser Kontextkriterien wurde eine Vielzahl an vergleichbaren Bewertungsmethoden aus unterschiedlichen Ansätzen herangezogen, auf die für weiterführende Informationen verwiesen wird[1]. Zur Entscheidung für die Berücksichtigung eines Kriteriums wurde betrachtet, inwiefern dieses eine Empfehlung zugunsten eines agilen Engineerings beeinflusst. In Summe konnten daraus zehn wesentliche Kontextkriterien ermittelt und in die Gruppen *Unternehmen*, *Auftrag* und *Team* eingeordnet werden. Sie decken damit die drei Handlungsfelder Organisation, Technik und Mensch ab, die die Leistung der Produktentwicklung im Wesentlichen beeinflussen (vgl. BALÁŽOVÁ 2004, S. 23 f., 81; BULLINGER ET AL. 2009, S. 12 f.). Eine Übersicht der Kontextkriterien ist in diesen Gruppen inklusive deren Ausprägungen in Abbildung 6-9 dargestellt.

[1] HEYN (1999, S. 21 f.); GAUL (2001, S. 91-94); RUPPRECHT (2002, S. 36-44); SCHRÖDER (2003, S. 34, 168); BRAUN (2005, S. 239 f.); GRIEB (2007, S. 111); EHRLENSPIEL (2009, S. 160); HRUSCHKA ET AL. (2009, S. 41); WIENDAHL ET AL. (2009, S. 277); PONN & LINDEMANN (2011, S. 137 f.); SPIEGELBERGER (2011, S. 31, 64-67, 121-123); WELGE & FRIEDRICH (2012, S. 345); FORSTER (2013, S. 147-149)

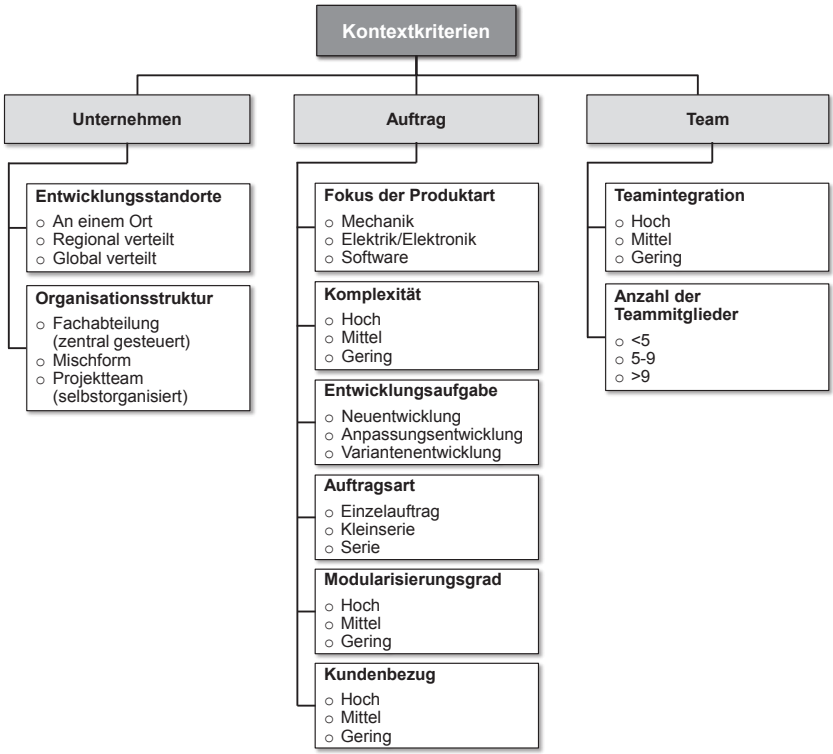


Abbildung 6-9: Kontextkriterien der Skalierungsmethode

Bei der Zusammenstellung dieser zehn Kontextkriterien wurde darauf geachtet, dass diese weitgehend unabhängig voneinander sind und aus den möglichen Kombinationen ein breites Spektrum an Anwendungsfällen des Maschinen- und Anlagenbaus abgedeckt werden kann. Eine Überschneidungsfreiheit der Gruppen und der Kontextkriterien ist jedoch nicht gänzlich zu vermeiden, da stets Zusammenhänge zwischen den Kriterien bestehen (BALÁŽOVÁ 2004, S. 24). Hinsichtlich der identifizierten Kontextkriterien wird daher auch kein Anspruch auf Vollständigkeit erhoben, da diese zuletzt auch von der Individualität der Anwendungsfälle abhängig sind (vgl. KALUS 2013, S. 213). Stattdessen wird im Sinne der Erweiterbarkeit durch den gewählten Aufbau der Skalierungsmethode eine Modifikation der bestehenden Kriterien sowie im Bedarfsfall eine Erweiterung um neue Kriterien gewährleistet. In den nachfolgenden Abschnitten wird auf die Kriterien in den jeweiligen Gruppen einzeln eingegangen. Dazu wird je nach Ausprägung des Kontextkriteriums eine Empfehlung hinsichtlich einer geeigneten Agilitätsklasse aufgestellt. Die gesamte Bewertungsgrundlage der Skalierungsmethode kann dem Anhang gesammelt entnommen werden (siehe Anhang A8).

6.3.2 Kriterien der Gruppe Unternehmen

Die Gruppe *Unternehmen* umfasst jene Kriterien, die sich im Allgemeinen auf ein Unternehmen beziehen und unabhängig von einem bestimmten Auftrag sind. Sie sind damit maßgeblich von einem Unternehmen selbst bestimmt (FORSTER 2013, S. 147). In den nachfolgenden Abschnitten wird auf die Kontextkriterien der Entwicklungsstandorte (siehe Kapitel 6.3.2.1) und der Organisationsstruktur (siehe Kapitel 6.3.2.2) eingegangen.

6.3.2.1 Entwicklungsstandorte

Heutige Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus sind häufig über mehrere Orte hinweg verteilt und agieren in unterschiedlichen Ländern. Mit der zunehmenden Distanz wird jedoch die Zusammenarbeit der Beteiligten erschwert. Der Aufwand für den Austausch von Informationen nimmt zu und der Gütertransport kann gesonderten Erfordernissen (z. B. Zollbestimmungen) unterliegen (GAUL 2001, S. 92). Die Ausprägungen der Entwicklungsstandorte lässt sich unterscheiden in „an einem Ort“, „regional verteilt“ und „global verteilt“ (vgl. GRIEB 2007, S. 111). Ein agiles Engineering kann sich bei räumlicher Nähe sehr gut entfalten, ist aber nicht zwingend auf diese festgelegt (COHN 2010, S. 327-388; SAUER 2010, S. 44-48; WELGE & FRIEDRICH 2012, S. 345; KOMUS 2014, S. 104). Die Bewertungsgrundlage für das Kontextkriterium der Entwicklungsstandorte wird daher, ausgehend von der Entwicklung an einem Ort (AK_4), mit einer Abstufung für eine regionale (AK_2) bzw. eine global verteilte Entwicklung (AK_1) gewählt, wie in Tabelle 6-2 zusammengefasst ist.

Tabelle 6-2: Bewertungsgrundlage des Kontextkriteriums „Entwicklungsstandorte“

	#	Kontextkriterium	Ausprägung	Agilitätsklasse
Unternehmen	1	Entwicklungsstandorte	An einem Ort	4
			Regional verteilt	2
			Global verteilt	1

6.3.2.2 Organisationsstruktur

Die Aufbauorganisation eines Unternehmens hat Einfluss auf die Verteilung der Aufgaben, auf die Leistungsbeziehungen und die auszuführenden Prozesse (FORSTER 2013, S. 148). Die Ausprägungen können im Wesentlichen in zentral gesteuerte Fachabteilungen, selbstorganisierende Projektteams und Mischformen unterschieden werden (SPIEGELBERGER 2011, S. 122 f.). Ein agiles Engineering eignet sich insbesondere

für selbstorganisierte Projektteams, aber auch für Mischformen, die in der Praxis häufig anzutreffen sind, kann sich jedoch in Fachabteilungen nur begrenzt entfalten (vgl. WELGE & FRIEDRICH 2012, S. 345; KOMUS 2014, S. 104). Ist die Organisationsstruktur neben über mehrere Standorte verteilt, können skalierte Abläufe und Rollen sowie digitale Artefakte und Hilfsmittel eingesetzt werden. Die Bewertungsgrundlage für das Kontextkriterium der Organisationsstruktur wird daher ausgehend von der Entwicklung in Projektteams (AK_4) bzw. einer Mischform (AK_3) mit einer Abstufung für Fachabteilungen (AK_1) gewählt, wie in Tabelle 6-3 zusammengefasst ist.

Tabelle 6-3: Bewertungsgrundlage des Kontextkriteriums „Organisationsstruktur“

	#	Kontextkriterium	Ausprägung	Agilitätsklasse
Unternehmen	2	Organisationsstruktur	Fachabteilung	1
			Mischform	3
			Projektteam	4

6.3.3 Kriterien der Gruppe Auftrag

Die Gruppe *Auftrag* umfasst jene Kriterien, die sich im Speziellen auf ein anvisiertes Projekt bzw. einen üblichen Auftrag eines Unternehmens beziehen. Sie umfassen sowohl Aspekte des Innen- als auch des Außenverhältnisses (vgl. KALUS 2013, S. 217-228) und werden durch das Unternehmen selbst sowie durch externe Beteiligte (z. B. Wünsche des Auftraggebers) bestimmt (vgl. RUPPRECHT 2002, S. 36; FORSTER 2013, S. 147). In den nachfolgenden Abschnitten wird auf die Kontextkriterien des Fokus der Produktart (siehe Kapitel 6.3.3.1), der Komplexität (siehe Kapitel 6.3.3.2), der Entwicklungsaufgabe (siehe Kapitel 6.3.3.3), der Auftragsart (siehe Kapitel 6.3.3.4), der Modularisierung (siehe Kapitel 6.3.3.5) und des Kundenbezugs (siehe Kapitel 6.3.3.6) eingegangen.

6.3.3.1 Fokus der Produktart

Die Produkte der produzierenden Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus weisen zumeist Kombinationen von mechanischen, elektrotechnischen und informationstechnischen Funktionen auf. Häufig ist eine Diversifizierung zu einer dieser Disziplinen anzutreffen, mit der die angestrebte Innovation vorangetrieben werden soll. Der sogenannte Fokus auf eine Produktart kann eher in der Mechanik, Elektrotechnik oder Software liegen (vgl. SPIEGELBERGER 2011, S. 122). Ein agiles Engineering wurde in der Vergangenheit in zahlreichen Softwareentwicklungsprojekten, IT-nahen Themen

und Aktivitäten ohne IT-Bezug erfolgreich eingesetzt (KOMUS 2012, S. 31, 44, 105-121, KOMUS 2014, S. 3, 24, 26-37), ist auf diese jedoch nicht festgelegt. Außerhalb der reinen Informationstechnik existieren bereits erste pilothafte Anwendungen, wenngleich Erfahrungen bislang kaum systematisiert vorliegen und daher Adaptionen erforderlich sind (MAXIMINI 2013, S. 19 f.). Die Bewertungsgrundlage für das Kontextkriterium des Fokus der Produktart wird daher ausgehend von der Entwicklung von Software (AK_4) mit einer Abstufung für die Entwicklung von Mechanik (AK_2) bzw. Elektrik/Elektronik (AK_2) gewählt, wie in Tabelle 6-4 zusammengefasst ist.

Tabelle 6-4: Bewertungsgrundlage des Kontextkriteriums „Fokus der Produktart“

	#	Kontextkriterium	Ausprägung	Agilitätsklasse
Auftrag	3	Fokus der Produktart	Mechanik	2
			Elektrik/Elektronik	2
			Software	4

6.3.3.2 Komplexität

Die Komplexität eines Anwendungsfalls umfasst unterschiedliche Ausprägungen, wie die Entwicklungstiefe, die Deutlichkeit der Ziele, den Grad der Interdisziplinarität, den Abstimmungsbedarf usw. (PONN 2007, S. 138; WIENDAHL ET AL. 2009, S. 277). Die entsprechende Kombination dieser Herausforderungen als sogenannte *Komplexität* kann die Ausprägungen hoch, mittel und gering einnehmen, die üblicherweise für eine qualitative Einstufung herangezogen werden (vgl. GRIEB 2007, S. 111; PONN 2007, S. 138; vgl. HRUSCHKA ET AL. 2009, S. 41). Das agile Engineering empfiehlt sich für Aufträge hoher Komplexität, beinhaltet aber auch für überschaubare Aufträge nutzenreiche Bestandteile (vgl. HRUSCHKA ET AL. 2009, S. 99; RICK ET AL. 2010, S. 175 f.; SAUER 2010, S. 45 f.). Gegenüber den anderen Kontextkriterien nimmt die Komplexität eine geringere Bedeutung für die Empfehlung hinsichtlich des agilen Engineerings ein. Die Bewertungsgrundlage für das Kontextkriterium der Komplexität wird daher abgestuft und für eine hohe (AK_3), mittlere (AK_2) und geringe (AK_1) Komplexität gewählt, wie in Tabelle 6-5 zusammengefasst ist.

Tabelle 6-5: Bewertungsgrundlage des Kontextkriteriums „Komplexität“

	#	Kontextkriterium	Ausprägung	Agilitätsklasse
Auftrag	4	Komplexität	Hoch	3
			Mittel	2
			Gering	1

6.3.3.3 Entwicklungsaufgabe

Die Entwicklung von Produkten kann in Bezug auf den Neuheitsgrad der Aufgabe bzw. den Bekanntheitsgrad unterschieden werden (PONN 2007, S. 138; HRUSCHKA ET AL. 2009, S. 41). Die Ausprägung der Entwicklungsaufgabe kann entsprechend den Fertigungsarten in eine Neu-, eine Anpassungs-, und eine Variantenentwicklung unterschieden werden und ist abhängig vom Detaillierungs- bzw. Konkretisierungsgrad (JUNG 2006, S. 54; WIENDAHL ET AL. 2009, S. 277). Das agile Engineering hat sich vor allem bei Aufträgen mit geringem Wiederholungscharakter, also bei Neuentwicklungen, und hohen Änderungseinflüssen bewährt (ABRAHAMSSON 2002, S. 16; SAUER 2010, S. 46; KOMUS 2012, S. 99; WELGE & FRIEDRICH 2012, S. 345). Dies ist auch im agilen Wert abgebildet, der sich mit der *Akzeptanz von Änderungen* befasst. Diese Nutzeneffekte werden bei Variantenentwicklungen weniger deutlich. Gegenüber den anderen Kontextkriterien nimmt die Art der Entwicklungsaufgabe eine geringere Bedeutung für die Empfehlung hinsichtlich des agilen Engineerings ein. Die Bewertungsgrundlage für das Kontextkriterium der Art der Entwicklungsaufgabe wird daher abgestuft und für eine Neu- (AK_3), Varianten- (AK_2) und Anpassungsentwicklung (AK_1) gewählt, wie in Tabelle 6-6 zusammengefasst.

Tabelle 6-6: Bewertungsgrundlage des Kontextkriteriums „Art der Entwicklungsaufgabe“

	#	Kontextkriterium	Ausprägung	Agilitätsklasse
Auftrag	5	Art der Entwicklungsaufgabe	Neuentwicklung	3
			Anpassungsentwicklung	1
			Variantenentwicklung	2

6.3.3.4 Auftragsart

Die Auftragsart legt fest, wie häufig und in welchem Umfang ein Produkt angefordert wird. Mögliche Ausprägungen sind entsprechend einer Fertigungsart der Einmalauftrag, die Kleinserie und die Serie (WIENDAHL ET AL. 2009, S. 277; MAXIMINI 2013, S. 19 f.). Dies ist gleichbedeutend mit der Fragestellung, wie häufig sich die Anforderungen während einer Entwicklung ändern bzw. wie häufig ein Projekt durchgeführt wird. Im Maschinen- und Anlagenbau sind meistens Sonderprodukte mit einem hohen Diversifizierungsgrad vorzufinden (SCHRÖDER 2003, S. 26), die in Einzelaufträgen oder kleinen Stückzahlen entwickelt werden. Ein agiles Engineering eignet sich gemäß dem agilen Wert der *Flexibilität und Transparenz* insbesondere bei Projekten mit unscharfen Vorgaben, hohen Änderungsbedarfen, einer hohen Dynamik und bei geringen Stückzahlen, da Nutzeneffekte der Kommunikation im Innen- und Außenverhältnis

zum Tragen kommen (ABRAHAMSSON 2002, S. 16; HRUSCHKA ET AL. 2009, S. 99; KOMUS 2012, S. 99; WELGE & FRIEDRICH 2012, S. 345; MAXIMINI 2013, S. 19 f.). Die Bewertungsgrundlage für das Kontextkriterium der Auftragsart wird daher ausgehend für einen Einzelauftrag (AK_4) zweifach für eine Kleinserie (AK_2) abgestuft, wie in Tabelle 6-7 zusammengefasst ist. Für eine Serienentwicklung ist das agile Engineering in dem Verständnis der vorliegenden Arbeit nicht zu empfehlen.

Tabelle 6-7: Bewertungsgrundlage des Kontextkriteriums „Auftragsart“

	#	Kontextkriterium	Ausprägung	Agilitätsklasse
Auftrag	6	Auftragsart	Einzelauftrag	4
			Kleinserie	2
			Serie	-

6.3.3.5 Modularisierung

Ein mechatronisches Produkt kann in Bezug auf Funktionen und Komponenten betrachtet werden, beispielsweise aus Sicht der Mechanik, Elektrotechnik und Software (vgl. FRIEDRICH 2011, S. 84). Dem zugrunde liegt eine anzunehmende Modularisierung des Produkts. Die Mehrteiligkeit und Struktur bzw. die funktionale und physische Unabhängigkeit eines mechatronischen Produkts kann die Ausprägungen hoch, mittel und gering einnehmen (vgl. GÖPFERT & STEINBRECHER 2000, S. 4; WIENDAHL ET AL. 2009, S. 277). Dies hat einen Einfluss auf die Austauschbarkeit, die Erweiterbarkeit und die Kombinierbarkeit der inbegriffenen Module (GÖPFERT & STEINBRECHER 2000, S. 6). Das agile Engineering eignet sich insbesondere bei Produkten mit hohem Modularisierungsgrad, um der kontinuierlichen Auslieferung von Produktinkrementen nachzukommen (SAUER 2010, S. 67). Bei Produkten mit geringem Modularisierungsgrad ist dies nicht immer möglich, weshalb Adaptionen des Prozesses (vgl. Kapitel 5.3.3) erforderlich sein können. Die Bewertungsgrundlage für das Kontextkriterium des Modularisierungsgrads wird daher ausgehend für eine hohe (AK_4) und mittleren Modularisierung (AK_3) gegenüber einer geringen Modularisierung (AK_1) abgestuft, wie in Tabelle 6-8 zusammengefasst ist.

Tabelle 6-8: Bewertungsgrundlage des Kontextkriteriums „Modularisierungsgrad“

	#	Kontextkriterium	Ausprägung	Agilitätsklasse
Auftrag	7	Modularisierungsgrad	Hoch	4
			Mittel	3
			Gering	1

6.3.3.6 Kundenbezug

In Entwicklungsprojekten ist eine hohe Kooperation mit dem Kunden anzustreben (vgl. BULLINGER ET AL. 2009, S. 20 f.). Die Intensität der Zusammenarbeit richtet sich danach, wie viele gemeinsame Abläufe bestehen und ob Zwischenergebnisse regelmäßig ausgetauscht werden (GAUL 2001, S. 92 f.). Der Bezug zum Kunden kann die Ausprägungen hoch, mittel und gering einnehmen, je nachdem, wie hoch die Bekanntheit, das Vertrauen und die Kooperation ist (vgl. SCHRÖDER 2003, S. 34; HRUSCHKA ET AL. 2009, S. 41). Ein agiles Engineering erfordert entsprechend dem Wert eine hohe *Zusammenarbeit mit dem Kunden*. Ein abnehmender Kundenbezug mindert entsprechend die Nutzeneffekte der Kommunikation und Kooperation (ABRAHAMSSON 2002, S. 16; WELGE & FRIEDRICH 2012, S. 345). Die Bewertungsgrundlage für das Kontextkriterium des Kundenbezugs wird daher ausgehend für einen hohen Kundenbezug (AK_4) zweifach für einen mittleren Kundenbezug (AK_2) abgestuft, wie in Tabelle 6-9 zusammengefasst ist. Für einen geringen Kundenbezug ist das agile Engineering in dem Verständnis der vorliegenden Arbeit nicht zu empfehlen.

Tabelle 6-9: Bewertungsgrundlage des Kontextkriteriums „Kundenbezug“

	#	Kontextkriterium	Ausprägung	Agilitätsklasse
Auftrag	8	Kundenbezug	Hoch	4
			Mittel	2
			Gering	-

6.3.4 Kriterien der Gruppe Team

Die Gruppe *Team* umfasst jene Kriterien, die sich auf das Entwicklungsteam beziehen. Sie stellt den Menschen als wichtige Ressource in den Vordergrund. In den nachfolgenden Abschnitten wird auf die Kontextkriterien der Teamintegration (siehe Kapitel 6.3.4.1) und der Anzahl an Teammitgliedern (siehe Kapitel 6.3.4.2) eingegangen.

6.3.4.1 Teamintegration

Der Menschen nimmt in einem produzierenden Unternehmen den wichtigsten Stellenwert ein (UHLMANN & SCHRÖDER 1998, S. 182 f.; BULLINGER ET AL. 2009, S. 12 f.). Erfolgreiche Entwicklungsprozesse setzen auf eine hohe Einbindung der Entwickler. Dies ist verbunden mit einer hohen Selbstverantwortung bzw. einer individuellen Freiheit (PONN 2007, S. 138). Dazu sind die Rahmenbedingungen bzw. die Firmenkultur so zu gestalten, dass ein effizientes Arbeiten möglich ist, etwa durch

geeignete Methoden und Qualifizierungsmaßnahmen (HRUSCHKA ET AL. 2009, S. 99; WELGE & FRIEDRICH 2012, S. 345). Die Ausprägungen der Teamintegration können hoch, mittel oder gering sein (vgl. PONN 2007, S. 138). Ein agiles Engineering setzt auf eine hohe Firmenkultur, in dem sich das Entwicklungsteam entfalten und eigenverantwortlich arbeiten kann. Dies spiegelt sich in dem agilen Wert wider, der den *Menschen in den Mittelpunkt* stellt, wodurch die Potenziale und individuellen Gegebenheiten zur Herstellung qualitativ hochwertiger Produkte genutzt werden sollen (ABRAHAMSSON 2002, S. 16; vgl. HRUSCHKA ET AL. 2009, S. 99; WELGE & FRIEDRICH 2012, S. 345). Die Bewertungsgrundlage für das Kontextkriterium der Teamintegration wird daher für eine hohe (AK_4), mittlere (AK_3) und geringe (AK_2) Teamintegration angesetzt, wie in Tabelle 6-10 zusammengefasst ist.

Tabelle 6-10: Bewertungsgrundlage des Kontextkriteriums „Teamintegration“

	#	Kontextkriterium	Ausprägung	Agilitätsklasse
Team	9	Teamintegration	Hoch	4
			Mittel	3
			Gering	2

6.3.4.2 Anzahl an Teammitgliedern

Mit der Anzahl an Entwicklern in einem Team steigt der Kommunikationsbedarf, jedoch auch die Synergien des Austauschs. Übliche Ausprägungen der Anzahl liegen bei weniger als fünf, fünf bis neun und über neun Entwicklern (vgl. SPIEGELBERGER 2011, S. 123). Das Optimum für ein Entwicklungsteam im Umfeld des agilen Engineerings liegt bei fünf bis neun Entwicklern (ABRAHAMSSON 2002, S. 16; CHOW & CAO 2007, S. 965; COHN 2010, S. 180-182, 327; HRUSCHKA ET AL. 2009, S. 99; SAUER 2010, S. 76 f.; KOMUS 2014, S. 96). Unter dieser Anzahl kommen die Nutzeneffekte der Kooperation nicht zum Tragen, darüber sind Adaptionen hinsichtlich der skalierten Abläufe und Rollen erforderlich. Die Bewertungsgrundlage für das Kontextkriterium der Anzahl an Teammitgliedern wird daher für fünf bis neun (AK_4), über neun (AK_3) und weniger als fünf (AK_2) Mitglieder gesetzt, wie in Tabelle 6-11 zusammengefasst ist.

Tabelle 6-11: Bewertungsgrundlage des Kontextkriteriums „Anzahl an Teammitgliedern“

	#	Kontextkriterium	Ausprägung	Agilitätsklasse
Team	10	Anzahl der Teammitglieder	<5	2
			5-9	4
			>9	3

6.3.5 Auswertung und Empfehlung

Für die Auswertung der Skalierungsmethode ist es erforderlich, aus den gewählten Ausprägungen der zehn Kontextkriterien auf eine geeignete Agilitätsklasse zu schließen. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass sich die Ausprägungen einzelner Kontextkriterien antagonistisch verhalten können. Dadurch sind gegensätzliche Aussagen möglich, sodass eine eindeutige Empfehlung hinsichtlich einer geeignete Agilitätsklasse erschwert wird. Dies ist für ein fiktives Szenario in Tabelle 6-12 gezeigt, welches für die nachfolgenden Erläuterungen als ein Beispiel dienen soll.

Tabelle 6-12: Beispielszenario für die Auswertung der Skalierungsmethode

	#	Kontextkriterium	Ausprägung*	Agilitätsklasse**
Unter-nehmen	1	Entwicklungsstandorte	An einem Ort	4
	2	Organisationsstruktur	Projektteam	4
Auftrag	3	Fokus der Produktart	Elektrik/Elektronik	2
	4	Komplexität	Hoch	4
	5	Art der Entwicklungsaufgabe	Neuentwicklung	3
	6	Auftragsart	Einzelauftrag	3
	7	Modularisierungsgrad	Hoch	4
	8	Kundenbezug	Hoch	4
Team	9	Teamintegration	Hoch	4
	10	Anzahl der Teammitglieder	5-9	4

* Beispielszenario ** Bewertungsgrundlage der Skalierungsmethode (siehe Anhang A8)

Anhand des Beispielszenarios ist zu erkennen, dass viele Ausprägungen der Kontextkriterien so gewählt sind (z. B. Entwicklungsstandorte *an einem Ort*), dass sie zu einer Empfehlung der Agilitätsklasse AK_4 führen. Es gibt aber auch Kontextkriterien, wie die *Auftragsart* (hier: *Einzelauftrag*, AK_3), deren Ausprägung eine geringere Agilitätsklasse empfiehlt. Um aus der Kombination der Ausprägungen aller Kontextkriterien auf eine Agilitätsklasse zu schließen, ist es nicht möglich, die jeweiligen Empfehlungen auf einen Wert zu verdichten (z. B. Mittelwertbildung). Dies begründet sich aus der gewählten Bewertungsgrundlage, da einerseits die Anzahl an Ausprägungen der Kontextkriterien nicht mit der Anzahl an Agilitätsklassen korreliert und andererseits die einzelnen Agilitätsklassen in unterschiedlicher Anzahl den Ausprägungen der Kontextkriterien zugeordnet sind. Eine Abhilfe verschafft die unabhängige Auswertung der Agilitätsklassen. Dies wird als Erfüllungsgrad bezeichnet, der sich je Agilitätsklasse

aus dem Quotienten der Anzahl an gewählten Ausprägungen des Anwendungsfalls zur maximal möglichen Anzahl an Ausprägungen der Bewertungsgrundlage ergibt. Dies ist anhand des Beispielszenarios nachfolgend in Tabelle 6-13 aufgeführt.

Tabelle 6-13: Auswertung der Skalierungsmethode am Beispielszenario

Agilitätsklasse	Anzahl an gewählten Ausprägungen*	Maximale Anzahl an Ausprägungen**	Erfüllungsgrad
AK_4	7	8	87,5 %
AK_3	2	6	33,3 %
AK_2	1	9	11,1 %
AK_1	0	5	0 %

* Beispielszenario ** Bewertungsgrundlage der Skalierungsmethode (siehe Anhang A8)

Im Beispielszenario sind insgesamt sieben der acht möglichen Ausprägungen der Agilitätsklasse AK_4 abgedeckt. Eine Ausnahme bildet das Kontextkriterium *Fokus der Produktart*, das im Anwendungsszenario mit *Elektrik/Elektronik* (AK_2) gewählt ist und bei der Ausprägung *Software* ebenfalls der höchsten Agilitätsklasse entsprechen würde. Der Erfüllungsgrad ergibt sich durch Verhältnisbildung für Agilitätsklasse AK_4 zu 87,5 % und für die anderen Agilitätsklassen analog. Insofern die Ausprägung einer Agilitätsklasse ein agiles Engineering nicht empfiehlt (z. B. *Kundenbezug: gering*), findet diese bei der Ermittlung des Erfüllungsgrads keine Berücksichtigung. Da für die Klassifizierung des Anwendungsfalls eine Einstufung aller Kontextkriterien erforderlich ist, wird stets zumindest die Agilitätsklasse AK_1 empfohlen. Dies erfolgt unter der Annahme, dass die Methodik lediglich für Anwendungsfälle eingesetzt wird, bei denen eine generelle Eignung des agilen Engineerings bereits vorab anzunehmen ist.

Um aus den einzelnen Erfüllungsgraden auf eine geeignete Agilitätsklasse zu schließen, wird die stufenförmige Empfehlungsform von BENDER (2005, S. 86-89) herangezogen, die eine schrittweise bzw. kontinuierliche Verbesserung ermöglicht. Hierzu werden die Erfüllungsgrade in Quartile unterteilt. Es werden (abhängig vom Erfüllungsgrad) die Empfehlungen *nicht empfohlen* (0-25 %), *beschränkt empfohlen* (26-50 %), *weitgehend empfohlen* (51-75 %) und *voll empfohlen* (76-100 %) ausgesprochen (BENDER 2005, S. 86). Dies lässt dem geschulten Anwender den erforderlichen Handlungsraum, um aus der Auswertung der Skalierungsmethode die als geeignet empfundene Agilitätsklasse auszuwählen. Als Darstellungsform wird ein vierfach gestapeltes Balkendiagramm gewählt, welches die einzelnen Erfüllungsgrade auf einer relativen Skala (dunkler Anteil) übereinander stellt und die zugehörige Empfehlung jeder Agilitätsklassen angibt. Dies ist in Abbildung 6-10 anhand des vorherigen Beispielszenarios 1 (links) sowie eines weiteren Beispielszenarios 2 (rechts) dargestellt.

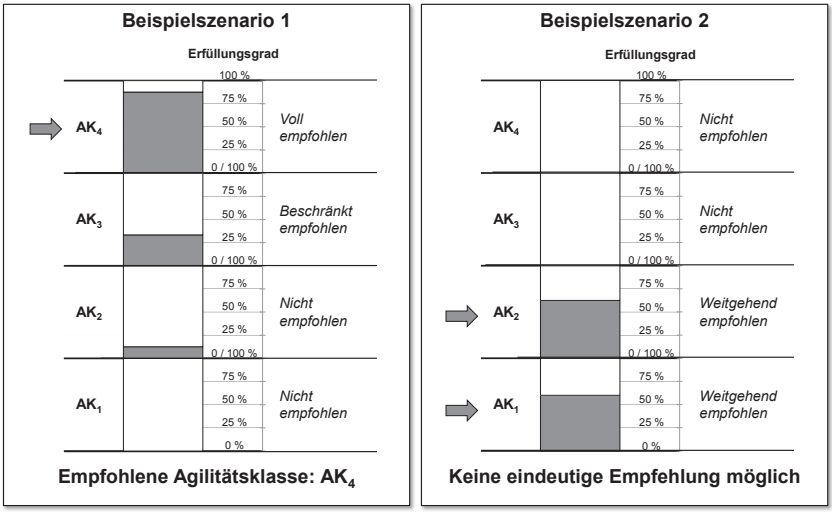


Abbildung 6-10: Beistimmung einer geeigneten Agilitätsklasse anhand der Empfehlung der Agilitätsklassen

Anhand des zuvor aufgeführten Beispielszenarios 1 ist im Diagramm links zu erkennen, dass der Erfüllungsgrad der Agilitätsklasse AK_4 die anderen Erfüllungsgrade weit übersteigt und nahezu vollständig erfüllt ist. Die Agilitätsklasse AK_4 ist somit für eine Anwendung *voll empfohlen*. Im Beispielszenario 2 kann hingegen keine eindeutige Empfehlung ausgesprochen werden, weil sowohl Agilitätsklasse AK_1 als auch Agilitätsklasse AK_2 nur *weitgehend empfohlen* sind. In diesem Fall kann schrittweise vorgegangen und zunächst mit der grundlegenden Agilitätsklasse AK_1 begonnen werden. Die Klassifizierung des Anwendungsfalls kann überdies zu einem späteren Zeitpunkt erneut durchgeführt werden, sollten sich zwischenzeitlich beispielsweise die Randbedingungen geändert haben.

6.4 Rechnerbasiertes Werkzeug

Das rechnerbasierte Werkzeug der Methodik zum agilen Engineering im Maschinen- und Anlagenbau dient der Speicherung und Verarbeitung der Daten des Referenzmodells sowie der Anwendung der Skalierungsmethode. Es wird im Rahmen einer Service- bzw. Dienstleistung von einer internen Abteilung oder einem externen Beratungsunternehmen eingesetzt. Die zugrundeliegenden Anforderungen beziehen sich auf die Bedienbarkeit und Darstellung (A9) des Werkzeugs sowie die Integration in bestehende Prozesse (A10).

In diesem Abschnitt wird das entwickelte Werkzeug anhand der ersten fünf Schritte des Ablaufs der Methodik vorgestellt (vgl. Abbildung 6-2). Das Werkzeug ist mit einem Tabellenverarbeitungsprogramm umgesetzt, wobei die Schritte als Tabellenblätter hinterlegt sind, wie Abbildung 6-11 in schematischen Auszügen anhand der bereits ausgeführten Auswertungen gezeigt ist. Für eine Detailansicht dieser Blätter wird an dieser Stelle auf das Anwendungsszenario verwiesen (siehe Kapitel 7).

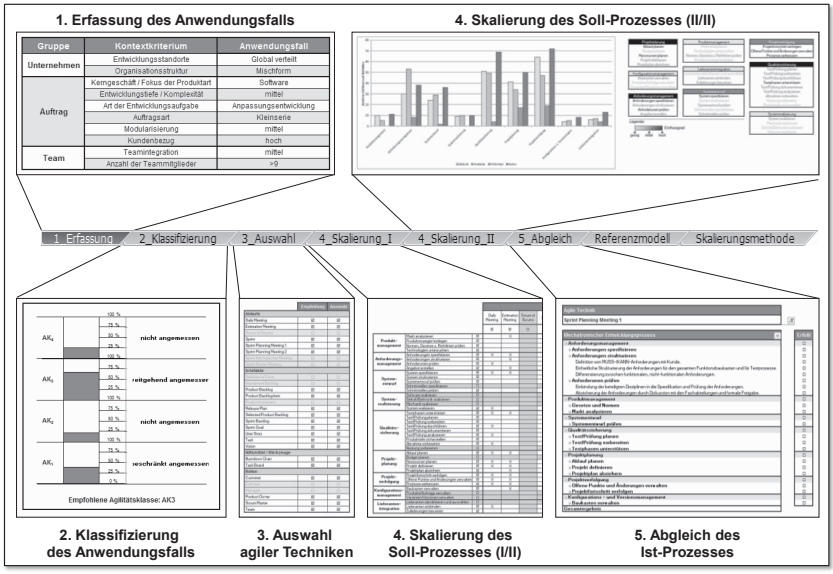


Abbildung 6-11: Rechnerbasiertes Werkzeug zur Anwendung der Methodik (schematische Darstellung)

Die Eingabe von Daten erfolgt im rechnerbasierten Werkzeug gemäß dem ersten Schritt zur Anwendung der Methodik in entsprechenden Eingabemasken (vgl. Erfassung des Anwendungsfalls). Im Hintergrund wird hierbei automatisch auf die Datengrundlage des Referenzmodells bzw. der Bewertungsgrundlage der Skalierungsmethode zurückgegriffen, um die erforderlichen Berechnungen anzustoßen. Die Ergebnisse aus der Anwendung der Skalierungsmethode auf das Referenzmodell können für die Schritte zwei bis fünf der Methodik über verschiedene Tabellenblätter abgerufen werden (vgl. Abgleich des Ist-Prozesses). Die letzten beiden Schritte zur Ableitung von Maßnahmen sowie zur Umsetzung sind im rechnerbasierten Werkzeug nicht explizit abgebildet, da diese aufgrund der Heterogenität an möglichen Anwendungsfällen stark von den Gegebenheiten abhängig sind und das Vorgehen stark vom Hintergrund sowie Erfahrungsschatz des Anwenders geprägt ist.

6.5 Fazit

Im vorliegenden Kapitel wurde die Konstruktion der Methodik zum agilen Engineering im Maschinen- und Anlagenbau vorgestellt, die der anwendungsspezifischen Beschreibung eines mechatronischen Entwicklungsprozesses unter Einsatz von agilen Techniken dient. Die Anwendung der Methodik erfolgt in sieben chronologisch aufeinander aufbauenden Schritten, mit denen die Ansatzpunkte für ein agiles Engineering im Maschinen- und Anlagenbau ermittelt und entsprechende Maßnahmen für die Umstrukturierung der Aufbau- und Ablauforganisation abgeleitet werden können. Dies erfolgt durch die Erfassung und Klassifizierung des Anwendungsfalls, die Auswahl agiler Techniken, die Skalierung des Soll-Prozesses, den Abgleich des Ist-Prozesses, die Ableitung von Maßnahmen sowie deren Umsetzung. Die Methodik beinhaltet dazu ein Referenzmodell, eine Skalierungsmethode sowie ein rechnerbasiertes Werkzeug.

Als Datengrundlage sind im Referenzmodell die Erkenntnisse aus Praxis und Forschung über das agile Engineering im Maschinen- und Anlagenbau beinhaltet. Die zentralen Klassen des Referenzmodells bilden insgesamt 342 Aktivitäten des mechatronischen Entwicklungsprozesses, die Aktivitätsgruppen und Prozessgebieten zugeordnet sind, sowie die 28 agilen Techniken aus Scrum, die den Domänen der Abläufe, Artefakte, Hilfsmittel und Rollen angehören. Da keine spezifischen Aktivitäten in Scrum beinhaltet sind, stehen die Techniken mit dem Vorgehen unmittelbar in Bezug. Eine Formalisierung eines agilen Engineerings im Maschinen- und Anlagenbau kommt somit durch die Integration der agilen Techniken in den mechatronischen Entwicklungsprozess zustande. Dies ist im Referenzmodell über eine Einflussmatrix abgebildet, welche die wechselseitigen Beziehungen zwischen den agilen Techniken und den Aktivitäten des mechatronischen Entwicklungsprozesses beinhaltet. Dadurch kann dargestellt werden, welche agilen Techniken zur Umsetzung einer bestimmten Aktivität dienen bzw. welche Aktivitäten eine bestimmte agile Technik bedienen. Zusammenfassend bestehen hohe Einflüsse insbesondere zwischen den agilen Techniken und den Aktivitäten in den Prozessgebieten der Projektplanung und -verfolgung, des Anforderungsmanagements, des Systementwurfs und der Qualitätssicherung hohe Einflüsse. Dies entspricht den Grundzügen des agilen Engineerings, wonach Scrum als Management-Framework vorwiegend der Planung, Organisation und Durchführung von Projekten dient, jedoch keine spezifischen Vorgaben zur Entwicklung von Produkten beinhaltet.

Die Anwendung des Referenzmodells erfolgt über eine Skalierungsmethode, die der Ermittlung des anwendungsspezifischen Soll-Zustands eines mechatronischen Entwicklungsprozesses unter Einsatz von agilen Techniken dient. Hierzu können über zehn Kontextkriterien die Randbedingungen der Entwicklung eines betrachteten Anwendungsfalls aus dem Maschinen- und Anlagenbau erfasst werden. Für jede

Ausprägung der Kriterien ist in der Bewertungsgrundlage der Skalierungsmethode eine Agilitätsklasse hinterlegt. Über die Eingangsdaten des Anwendungsfalls kann somit auf eine geeignete Agilitätsklasse geschlossen und der zu empfehlende Kombinationsgrad an agilen Techniken für das betrachtete Unternehmen gewählt werden. Durch die hinterlegten Einflüsse zu den Aktivitäten gestattet dies eine Skalierung des gesamten Referenzmodells auf eine anwendungsspezifische Sicht, die durch den Anwender der Methodik auf bestimmte Abschnitte des mechatronischen Entwicklungsprozesses oder bestimmte agile Techniken fokussiert werden kann.

Die Speicherung und Verarbeitung der hinterlegten Daten erfolgt in einem rechnerbasierten Werkzeug, das zugleich der Anwendung der Methodik dient. Das Werkzeug ist auf Basis eines Tabellenverarbeitungsprogramms implementiert, in dem die Schritte zur Anwendung der Methodik über Ein- und Ausgabemasken hinterlegt sind. Die Anwendung erfolgt im Rahmen einer Service- bzw. Dienstleistung, die von einer internen Abteilung oder einem externen Beratungsunternehmen angeboten und durchgeführt werden kann.

7 Anwendungsszenario und Ergebnisse

Das vorliegende Kapitel zeigt die Anwendung der Methodik anhand eines realen Szenarios aus dem Maschinen- und Anlagenbau. Dazu werden die einzelnen Schritte der Methodik durchlaufen, beginnend mit der Erfassung (siehe Kapitel 7.1) und Klassifizierung (siehe Kapitel 7.2) des Anwendungsfalls, über die Auswahl agiler Techniken (siehe Kapitel 7.3), hin zu der Skalierung des Soll-Prozesses (siehe Kapitel 7.4). Daraus erfolgt der Abgleich mit dem Ist-Prozess (siehe Kapitel 7.5), bevor die weiteren Schritte zur Ableitung von Maßnahmen beispielhaft skizziert werden (siehe Kapitel 7.6). Zuletzt wird eine prototypische Umsetzung des agilen Engineerings gezeigt (siehe Kapitel 7.7), bevor das Kapitel mit einem Fazit zum Anwendungsszenario und den erzielten Ergebnisse schließt (siehe Kapitel 7.8).

7.1 Erfassung des Anwendungsfalls

Den Rahmen für das Anwendungsszenario der Methodik zum agilen Engineering im Maschinen- und Anlagenbau bilden Unternehmensdaten des realen Use-Cases eines Anbieters von Werkzeugmaschinen. Aufgrund volatiler Kundenanforderungen und spezifischen Kundenwerkzeugen wird dessen Verarbeitungskonzept laufend angepasst, was Änderungen in allen Disziplinen nach sich zieht. In dem vorliegenden Use-Case wird daher eine umfassende Neuentwicklung des Verarbeitungskonzepts für eine Kleinserie an Maschinen in Betracht gezogen, wobei Testkunden für Erprobungszwecke zum Einsatz kommen sollen. Diese Randbedingungen motivieren für den vertikalen Einsatz der Strategie des agilen Engineerings aller Disziplinen in einem gemeinsamen agilen Prozess (vgl. KLEIN & REINHART 2013, S. 216 f.). Es werden daher im Weiteren die Schritte zur rechnergestützten Anwendung der Methodik gezeigt, beginnend mit der Erfassung des Anwendungsfalls, der in Abbildung 7-1 dargestellt ist.

Erfassung des Anwendungsfalls

Gruppe	Kontextkriterium	Anwendungsfall
Unternehmen	Entwicklungsstandorte	Regional verteilt
	Organisationsstruktur	Mischform
Auftrag	Fokus der Produktart	Software
	Komplexität	Hoch
	Art der Entwicklungsaufgabe	Anpassungsentwicklung
	Auftragsart	Kleinserie
	Modularisierungsgrad	Mittel
	Kundenbezug	Hoch
Team	Teamintegration	Mittel
	Anzahl der Teammitglieder	>9

Abbildung 7-1: Erfassung des Anwendungsfalls anhand der Kontextkriterien

Im Anwendungsfall wird an mehreren Standorten an der Entwicklung des neuen Verarbeitungskonzepts gearbeitet, die regional in Süddeutschland verteilt sind. Die Organisationsstruktur der für das Vorhaben verantwortlichen Bereiche entspricht einer Mischform, bestehend aus einer Matrix an Fachabteilungen und Projektteams. Die Diversifizierung des neuen Verarbeitungskonzepts soll sich insbesondere durch eine intelligente Ansteuerung der Einheit sowie einer Auswertung von Sensordaten ergeben, d. h. vor allem durch neue Softwarekomponenten. Da ein hoher Grad an Entwicklungstiefe angestrebt und ein hoher Abstimmungsbedarf zwischen Disziplinen erwartet wird, ist die Komplexität als hoch einzustufen. Die Art der Entwicklungsaufgabe entspricht einer Anpassungskonstruktion, da bestehende Konzepte als Grundlage dienen können. Die Maschine soll unterschiedliche Einsatzgebiete mehrerer Endkunden bedienen. Als Auftragsart liegt damit eine Kleinserie vor, wobei intensiv mit einem Testkunden zusammengearbeitet wird. Aufgrund des hohen Vertrauensverhältnisses ist der Bezug zum Kunden hoch. Die Prozesse werden weitgehend zentral gesteuert, sodass die Teamintegration der mehr als neun involvierten Personen als mittel einzustufen ist.

7.2 Klassifizierung des Anwendungsfalls

Auf Grundlage der Kontextkriterien wird eine Klassifizierung des Anwendungsfalls vorgenommen. Das Ergebnis der Skalierungsmethode ist in Abbildung 7-2 dargestellt.

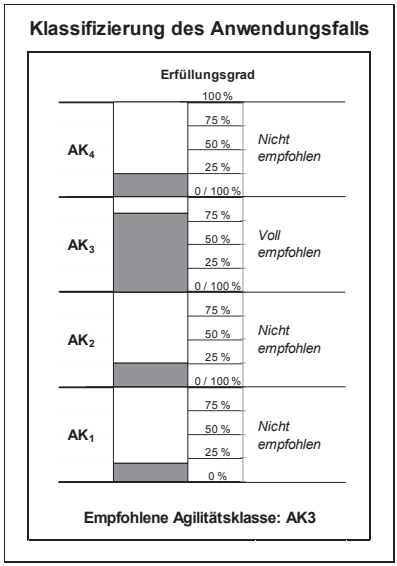


Abbildung 7-2: Auswertung der geeigneten Agilitätsklasse

Anhand der Auswertung ist zu erkennen, dass die Agilitätsklasse AK_3 mit über 75 % den größten Erfüllungsgrad einnimmt und daher voll zu empfehlen ist. Es werden daher im Weiteren die Arbeitsabschnitten der strategischen und der taktischen Planung sowie der Umsetzung sowie die beinhalteten agilen Techniken herangezogen.

7.3 Auswahl agiler Techniken

Die Agilitätsklasse AK_3 beinhaltet insgesamt 20 agile Techniken, die in Abbildung 7-3 neben den nicht empfohlenen agilen Techniken (grau) aufgelistet sind und teilweise hinsichtlich einer Adaption (vgl. Kapitel 5.3.3) untersucht werden sollten.

Auswahl agiler Techniken

	Empfehlung: AK_3	Auswahl
Abläufe		
Daily Meeting	☑	☑
Estimation Meeting	☑	☑
Scrum of Scrums	☐	☐
Sprint	☑	☑
Sprint Planning Meeting 1	☑	☑
Sprint Planning Meeting 2	☑	☑
Sprint Retrospective Meeting	☐	☐
Sprint Review Meeting	☐	☐
Artefakte		
Definition of Done	☐	☐
Impediment Backlog	☐	☐
Product Backlog*	☑	☑
Product Backlog Item	☑	☑
Product Increment	☐	☐
Release Plan	☑	☑
Selected Product Backlog	☑	☑
Sprint Backlog	☑	☑
Sprint Goal	☑	☑
User Story	☑	☑
Task	☑	☑
Vision	☑	☑
Hilfsmittel		
Burndown Chart*	☑	☑
Task Board*	☑	☑
Rollen		
Customer	☑	☑
End User	☐	☐
Manager	☐	☐
Product Owner*	☑	☑
Scrum Master*	☑	☑
Team	☑	☑

*Adaption der agilen Technik empfohlen
☑: aktiviert; ☐: deaktiviert

Abbildung 7-3: Empfehlung und Auswahl agiler Techniken

Die Adaptionen richten sich nach den global verteilten Entwicklungsstandorten sowie der großen Anzahl an Teammitgliedern in der Entwicklung. Es sollten daher die agilen Techniken derart skaliert, dass das agile Engineering an allen Entwicklungsstandorten eingesetzt werden kann. Dazu sollte eine Aufbauorganisation mit globalen Product Ownern und Scrum Mastern eingesetzt werden. Zum Austausch aller Beteiligten sind die Hilfsmittel mit digitalen Medien umzusetzen, damit ein Zugriff auf die Daten jederzeit möglich ist. Dies gilt auch für das Artefakt *Product Backlog* sowie dessen Abwandlungen, welche global zu führen und auf die einzelnen Standorte bzw. Teams zu instanziieren sind. Zudem ist die Adaption der diskontinuierlichen Auslieferung zu wählen, um insbesondere zu Beginn die Konzeptionierung des Gesamtsystems voranzutreiben (vgl. Kapitel 5.3.3).

Aus dieser Empfehlung kann der Anwender jene agilen Techniken auswählen, die im konkreten Anwendungsfall eingesetzt werden sollen. Dies erfolgt unter Berücksichtigung bereits vorhandener Erfahrungen mit einem agilen Engineering im Unternehmen. Im vorliegenden Anwendungsszenario wird der Empfehlung hinsichtlich der Auswahl an agilen Techniken aus Agilitätsklasse AK_3 sowie deren Adaptionen vollständig entsprochen, da bereits Erfahrungen in der agilen Softwareentwicklung bestehen. Aus der Verknüpfung der gewählten agilen Techniken ergeben sich somit die in Abbildung 7-4 veranschaulichten Wirkzusammenhänge.

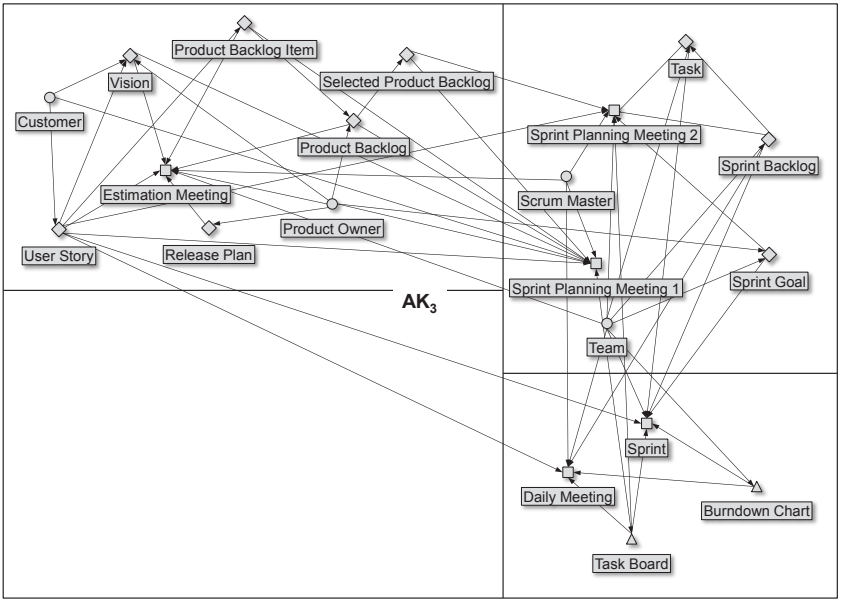


Abbildung 7-4: Wirkzusammenhänge der gewählten agilen Techniken

7.4 Skalierung des Soll-Prozesses

Zur Skalierung des Soll-Prozesses werden die gewählten agilen Techniken den Aktivitäten des mechatronischen Entwicklungsprozesses gegenübergestellt. Methodisch erfolgt dies über die Anwendung der Skalierungsmethode auf das Referenzmodell durch Aktivierung der entsprechenden Spalten der abgebildeten Einflussmatrix. Aus den Einflüssen ergibt sich somit implizit eine Empfehlung hinsichtlich der anzuwendenden Aktivitäten. Dies ist in Abbildung 7-5 auszugsweise anhand einer binären Skala in Bezug auf die Aktivitätsgruppen dargestellt, wobei eine Gruppe bzw. eine agile Technik genau dann aktiviert ist, wenn mindestens ein Einfluss („X“) zwischen einer beinhalteten Aktivität und einer agilen Technik besteht.

Skalierung des Soll-Prozesses (I/II)

			Abläufe				
			Daily Meeting	Estimation Meeting	Scrum of Scrums	Sprint	Sprint Planning Meeting 1
			☑	☑	☐	☑	☑
Produkt-management	Markt analysieren	☑		X			X
	Produktstrategie festlegen	☑					
	Normen, Gesetze und Richtlinien prüfen	☑				X	X
	Technologien untersuchen	☑					
Anforderungs-management	Anforderungen spezifizieren	☑	X	X		X	X
	Anforderungen strukturieren	☑		X			X
	Anforderungen prüfen	☑	X			X	X
	Angebot erstellen	☑		X			
System-entwurf	System spezifizieren	☑	X	X		X	
	System strukturieren	☑					
	Systementwurf prüfen	☑				X	X
	Schnittstellen spezifizieren	☐					
	Schnittstellen prüfen	☑					

☑: aktiviert; ☐: deaktiviert

Abbildung 7-5: Skalierung des Soll-Prozesses auf Basis der Aktivitätsgruppen und agilen Techniken (Auszug)

In dem gezeigten Ausschnitt des Referenzmodells ist zu erkennen, zwischen welchen Aktivitätsgruppen und agilen Techniken ein Einfluss besteht. Beispielsweise dient das *Estimation Meeting* der Aktivitätsgruppe *Anforderungen spezifizieren*. Insofern eine agile Technik nicht ausgewählt wurde (hier: *Scrum of Scrums*) bzw. eine Aktivitätsgruppe keinen Einfluss zu den gewählten agilen Techniken aufweist (hier: *Schnittstellen spezifizieren*), wird die entsprechende Spalte bzw. Zeile deaktiviert. Analog zu der Auswahl der agilen Techniken kann der Anwender über das rechnerbasierte Werkzeug die Skalierung des Soll-Prozesses bedarfsweise anpassen, indem Aktivitätsgruppen manuell deaktiviert werden. Dies kann vorgenommen werden, wenn einzelne Aktivitätsgruppen im Anwendungsfall nicht zutreffend sind, keiner Betrachtung bedürften oder um den Betrachtungsfokus auf bestimmte Aktivitätsgruppen zu lenken.

Um die Aussagekraft der gezeigten Datengrundlage zu verstärken, kann eine qualitative oder quantitative Visualisierung der Skalierung des Soll-Prozesses erfolgen. Dies wird im Weiteren auf die Struktur der Prozessgebiete und Aktivitätsgruppen des Referenzmodells umgelegt (vgl. Abbildung 6-4). Zunächst ist die qualitative Visualisierung für das betrachtete Anwendungsszenario in Abbildung 7-6 dargestellt, wobei der Einflussgrad der in den Prozessgebieten bzw. Aktivitätsgruppen beinhalteten Aktivitäten zu den agilen Techniken über ein Farbschema auf Graustufenbasis veranschaulicht ist.

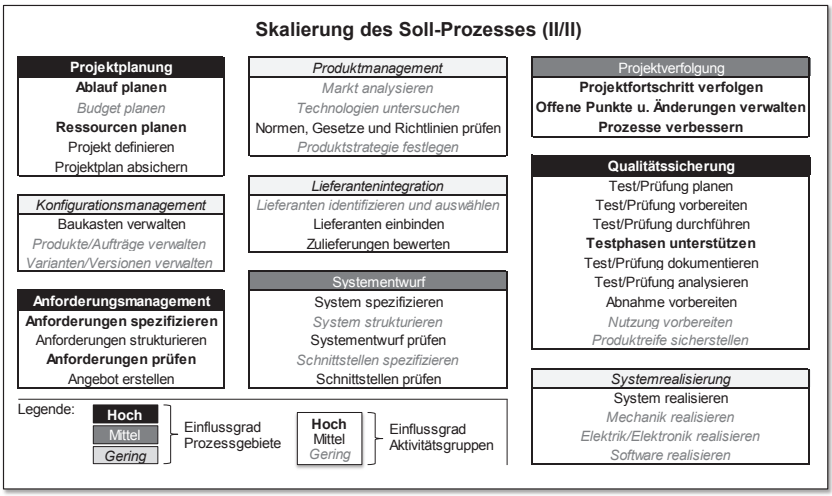


Abbildung 7-6: Qualitative Visualisierung der Skalierung des Soll-Prozesses auf Basis des Einflussgrads

Die Ermittlung des Einflussgrads der Prozessgebiete bzw. Aktivitätsgruppen erfolgt über die jeweils beinhalteten Aktivitäten hinweg. Dazu wird die Anzahl an Einflüssen ermittelt und daraus, beginnend mit dem Prozessgebiet bzw. der Aktivitätsgruppe mit den meisten Einflüssen, eine absteigende Rangfolge gebildet. Durch Unterteilung dieser Rangfolgen in Terzile, d. h. Abschnitte gleichen Umfangs (oberes, mittleres und unteres Drittel), ergeben sich hohe, mittlere oder geringe Einflussgrade je Prozessgebiet bzw. Aktivitätsgruppe. Im vorliegenden Anwendungsszenario sind insbesondere die Prozessgebiete der Projektplanung, des Anforderungsmanagements und der Qualitätssicherung hervorzuheben, welche einen hohen Einflussgrad aufweisen. Dies ist auch für die Aktivitätsgruppen der Projektverfolgung zutreffend, wenngleich diese im Vergleich zu den anderen Prozessgebieten aufgrund der geringen Anzahl an Aktivitäten nur einen mittleren Einfluss hat. Im Gegenzug nehmen weder die Prozessgebiete des Produkt- und Konfigurationsmanagements, der Lieferantenintegration und der Systemrealisierung noch deren Aktivitätsgruppen einen hohen Einflussgrad ein.

Die quantitative Visualisierung der Skalierung des Soll-Prozesses erfolgt analog zur grafischen Auswertung der Einflussmatrix zwischen den Prozessgebieten und den Domänen der agilen Techniken (vgl. Abbildung 6-7). Dazu werden die Anzahl an Einflüssen zwischen den Aktivitäten des mechatronischen Entwicklungsprozesses und den Domänen der agilen Techniken je Prozessgebiet für die ausgewählten agilen Techniken und die aktivierten Aktivitätsgruppen gegenübergestellt. Dies ist für das vorliegende Anwendungsszenario in Abbildung 7-7 veranschaulicht.

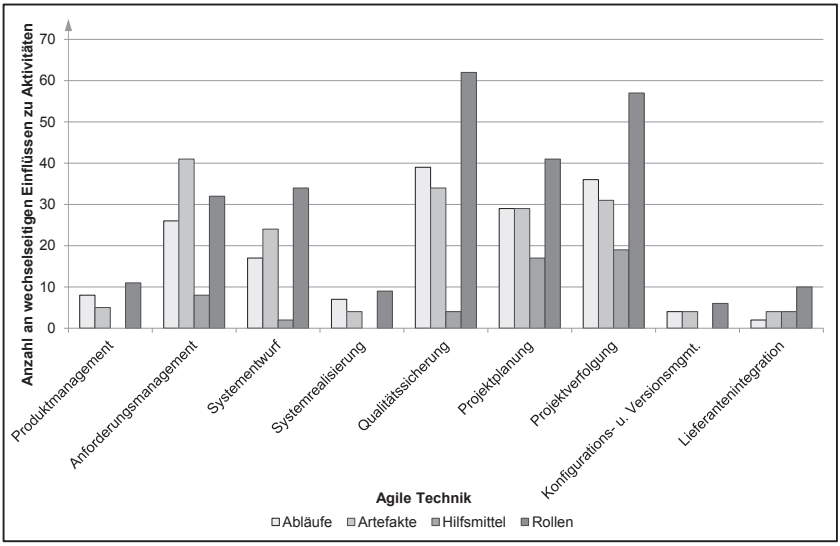


Abbildung 7-7: Quantifizierte Darstellung der Skalierung des Soll-Prozesses auf Basis der Domänen der agilen Techniken

Vergleichbar zu der grafischen Auswertung der Einflussmatrix können über die quantifizierte Darstellung die konkrete Anzahl an Einflüssen für die Prozessgebiete, aber auch für die agilen Domänen identifiziert werden. Im Anwendungsszenario nehmen dabei insbesondere die gewählten agilen Rollen eine große Bedeutung im Vergleich zu den anderen Domänen ein. Dies ist insbesondere beim Systementwurf, der Qualitätssicherung sowie der Projektplanung und -verfolgung zutreffend. Im Prozessgebiet des Anforderungsmanagements sind insbesondere die Artefakte stark vertreten. Über alle Domänen der agilen Techniken hinweg ist analog zu erkennen, dass insbesondere die Prozessgebiete des Anforderungsmanagements, der Qualitätssicherung sowie der Projektplanung und -verfolgung, aber auch des Systementwurfs eine große Anzahl an Einflüssen aufweisen.

7.5 Abgleich des Ist-Prozesses

Der Abgleich des bestehenden Ist-Prozesses mit dem empfohlenen Soll-Prozess erfolgt in Bezug auf die gewählten agilen Techniken und den skalierten mechatronischen Entwicklungsprozess. Hierzu können vor allem die Übersicht zur Empfehlung und Auswahl agiler Techniken (vgl. Abbildung 7-3) sowie die Skalierung des Soll-Prozesses auf Basis der Aktivitätsgruppen (vgl. Abbildung 7-5) verwendet werden. Unter Rückgriff auf die Steckbriefe der agilen Techniken (siehe Anhang A6) kann somit ein Abgleich erfolgen, welche agilen Techniken im Unternehmen bereits eingesetzt werden oder in Abwandlungen vorhanden sind. Gleichermaßen können die Inhalte des bestehenden Ist-Prozesses mit den empfohlenen Inhalten des skalierten Soll-Prozesses in den Klassen der Prozessgebiete, Aktivitätsgruppen oder Aktivitäten verglichen werden. Dazu stellt das rechnerbasierte Werkzeug unterschiedliche Lesarten der gemäß den Anwendereingaben skalierten Einflussmatrix zur Verfügung. Diese entsprechen einer Auswertung, welche agilen Techniken für eine bestimmte Aktivität empfohlen sind (Lesart: *Zeile*) bzw. welche Aktivitäten mit einer bestimmten agilen Technik umgesetzt werden können (Lesart: *Spalte*). Für jede Kombination aus Aktivitäten und agilen Techniken kann der Anwender für den Ist-Prozess eine Einschätzung tätigen, inwiefern der Soll-Prozess bereits erfüllt ist. Dies ist am Beispiel des Ablaufs *Sprint Planning Meeting 1* als Auszug der Lesart *Spalte* in Abbildung 7-8 verdeutlicht.

Abgleich des Ist-Prozesses

Agile Technik
Sprint Planning Meeting 1

Mechatronischer Entwicklungsprozess	Erfüllt
⊟ **Anforderungsmanagement**	☐
⊞ **Anforderungen spezifizieren**	☐
⊟ **Anforderungen strukturieren**	☐
Definition von MUSS-/KANN-Anforderungen mit dem Kunden.	☐
Einheitliche Strukturierung der Anforderungen für den gesamten Funktionsbaukasten und für Testprozesse.	☐
Differenzierung zwischen funktionalen und nicht-funktionalen Anforderungen.	☐
⊟ **Anforderungen prüfen**	☐
Einbindung der beteiligten Disziplinen in die Spezifikation und Prüfung der Anforderungen.	☐
Absicherung der Anforderungen durch Diskussion mit den Fachabteilungen und formale Freigabe.	☐
⊞ **Produktmanagement**	☐
⊞ **Systementwurf**	☐
⊞ **Qualitätssicherung**	☐
⊟ **Projektplanung**	☐
⊞ **Ablauf planen**	☐
⊞ **Projekt definieren**	☐
⊞ **Projektplan absichern**	☐
⊞ **Ressourcen planen**	☐
⊞ **Projektverfolgung**	☐
⊞ **Konfigurations- und Versionsmanagement**	☐

Abbildung 7-8: Abgleich des Ist-Prozesses mit dem Soll-Prozess anhand der agilen Technik „Sprint Planning Meeting 1“ (Auszug, Lesart Spalte)

In dem gezeigten Ausschnitt sind alle Prozessgebiete des mechatronischen Entwicklungsprozesses gezeigt. Dabei sind insbesondere die Prozessgebiete des Anforderungsmanagements und der Projektplanung sowie die Aktivitätsgruppen *Anforderungen strukturieren* und *Anforderungen prüfen* aufgedeckt. In diesen beiden Aktivitätsgruppen sind drei bzw. zwei Aktivitäten für eine Umsetzung des Sprint Planning Meetings 1 empfohlen. Beispielsweise kann mit dieser agilen Technik eine *Einbindung der beteiligten Disziplinen in die Spezifikation und Prüfung der Anforderungen* erfolgen. In Summe kann das Sprint Planning Meeting 1 über alle Prozessgebiete für 35 Aktivitäten aus 16 Aktivitätsgruppen eingesetzt werden, wie den Ausführungen zum Anwendungsszenario im Anhang entnommen werden kann (siehe Anhang A9).

Über das rechnerbasierte Werkzeug kann der Anwender beliebig zwischen weiteren Prozessgebieten und Aktivitätsgruppen bzw. agilen Techniken navigieren. Daraus soll ein möglichst vollständiges Bild aus dem Abgleich des Ist-Prozesses im gewählten Betrachtungsfokus aus mechatronischen Aktivitäten und agilen Techniken generiert werden, um die Ansatzpunkte für das agile Engineering herauszuarbeiten. Diese abzuleitenden Maßnahmen ergeben sich je nach Erfüllung des Soll-Prozesses gemäß der Einschätzung des Anwenders. Die Maßnahmen können vielfältiger Art sein (z. B. Definition der Rolle des Scrum Masters) und sind stark vom betrachteten Anwendungsfall abhängig. Diese letzten beiden Schritte werden daher in den beiden nachfolgenden Abschnitten allgemeingültig und losgelöst vom Anwendungsszenario behandelt.

7.6 Ableitung von Maßnahmen

Die Maßnahmen zur Umsetzung des agilen Engineerings beziehen sich, neben der Strukturierung des mechatronischen Entwicklungsprozesses, maßgeblich auf die Übertragung von agilen Techniken in den Maschinen- und Anlagenbau bzw. die Adaption bestehender Techniken um die Werte des agilen Engineerings. Sie dienen der Identifikation der Ansatzpunkte zur Umstrukturierung der Aufbau- und Ablauforganisation des betrachteten Anwendungsfalls. Hierfür bieten die Wirkzusammenhänge zwischen den agilen Techniken gemäß den Agilitätsklassen (siehe Anhang A5) sowie den Steckbriefen der agilen Techniken einen Überblick der relevanten Beschreibungen und Zusammenhänge (siehe Anhang A6). Der Prozess sollte dazu von Experten begleitet werden, wobei sich für langfristige Kooperationen interne Abteilungen oder Service- bzw. Dienstleistungen von externen Partnern anbieten. Zudem können fachliche Wissensträger den Prozess selbst begleiten oder als zertifizierte Product Owner bzw. Scrum Master ihre Erfahrung über das agile Engineering einbringen. Die Ableitung von Maßnahmen sowie deren Weiterentwicklung stellt ein wiederkehrendes Verfahren der Prozessverbesserung dar, das nachfolgend in Abbildung 7-9 veranschaulicht ist.

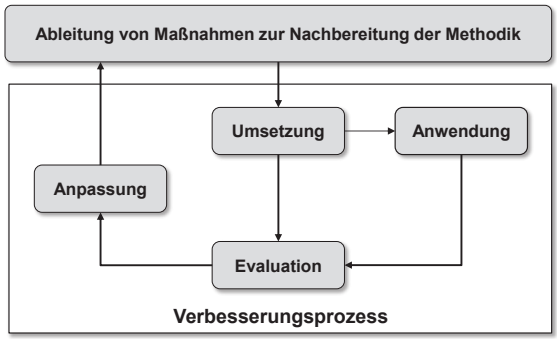


Abbildung 7-9: Verbesserungsprozess zur Ableitung von Maßnahmen in Anlehnung an HAMMERSCHALL (2008, S. 119)

Der Verbesserungsprozess folgt einem wiederkehrenden Verfahren aus der *Umsetzung*, *Anwendung*, *Evaluation* sowie *Anpassung* der abgeleiteten Maßnahmen. Er entspricht damit in weiten Teilen bestehenden Prozessen des Change Managements, auf die der Anwender im Anschluss an die rechnergestützte Anwendung und im Rahmen der Nachbereitung der Methodik zurückgreifen kann[1]. Dabei können auch Rückschritte in der Methodik erforderlich werden, um beispielsweise die Skalierung des Soll-Prozesses zu überarbeiten oder einen erneuten Abgleich des Ist-Prozesses vorzunehmen. Eine abgeleitete Maßnahme kann auch die Verbesserung der Methodik selbst darstellen. Hierzu kann auf den Ansatz von Lebenszyklusmodellen zurückgegriffen werden, die eine Synchronisation des Standards und des unternehmensspezifischen Modells ermöglicht (vgl. Kapitel 3.2.7). Für das rechnerbasierte Werkzeug bedeutet dies, dass die Erkenntnisse aus der Anwendung zur Verbesserung der hinterlegten Daten genutzt werden können. Der Aufbau der Methodik gewährleistet es, neue Aktivitäten in die Klasse des mechatronischen Entwicklungsprozesses oder neue agile Techniken in die entsprechende Klasse der Domänen einzufügen. Hierfür sind die Verknüpfungs- und Einflussmatrizen sowie die Bewertungsgrundlage der Skalierungsmethode um die erweiterten Bestandteile neu zu bewerten. Für die Umsetzung der agilen Techniken im Maschinen- und Anlagenbau kann der Anwender zudem auf unterschiedliche Ansätze aus den Bereichen des Änderungsmanagements, der Produkt- sowie der Softwareentwicklung zurückgreifen, auf die an dieser Stelle im Weiteren verwiesen ist[2]. Die konkrete Umsetzung des agilen Engineerings wird im nachfolgenden Abschnitt anhand einer prototypischen Entwicklungsaufgabe ausgeführt.

[1]vgl. KOTTER (1996); HAMMERSCHALL (2008); BROY & KUHRMANN (2013, 345-354); MAXIMINI (2013); [2]VIERTLBÖCK (2000); NERUR ET AL. (2005); HEßLING (2006, S. 86-100); COHN (2010); EPPING (2011, S. 131-146); PICHLER & ROOCK (2011); SCHNEIDER ET AL. (2012); MAXIMINI (2013); PICHLER (2013); GLOGER & MARGETICH (2014)

7.7 Prototypische Umsetzung

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde das agile Engineering anhand einer prototypischen Entwicklungsaufgabe umgesetzt. Begleitet wurde diese durch den Autor als CSM und einen Product Owner. Letzterer formulierte als Vision den Einzelauftrag eines neu zu entwickelndes Moduls einer modellhaften Verpackungsanlage, welches dem automatisierten Befüllen eines Transportbehälters mit diskretem Füllgut dient. Die Hauptfunktion des Moduls ist anhand des sekundären Grundoperators des Sammelns nach KOLLER (1985, S. 37) in Abbildung 7-10 gezeigt.

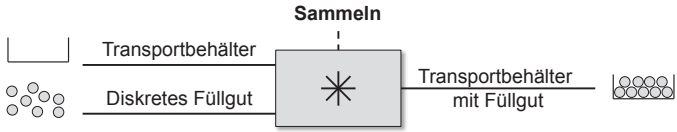


Abbildung 7-10: Hauptfunktion des Befüllmoduls (vgl. KOLLER 1985, S. 37)

Zur Realisierung dieser Neuentwicklung arbeiteten weniger als fünf Vertreter der Mechanik, Elektrik/Elektronik und Software an einem Ort in einer Mischform zusammen. Sie beschäftigten sich in den Themenbereichen des Entwurfs, der Konstruktion, des physikalischen Aufbaus, der Programmierung sowie der virtuellen und realen Inbetriebnahme, wobei der Fokus der Produktart auf der Mechanik lag. Während die Komplexität der Aufgabe hoch und der Modularisierungsgrad gering waren, lagen ein mittlerer Kundenbezug und eine mittlere Teamintegration vor. Die prototypische Umsetzung erfolgte gemäß der Skalierungsmethode unter Verwendung der Agilitätsklasse AK_3, erweitert um das Sprint Review Meeting für Abnahmezwecke. Als Anforderungen an das Befüllmodul wurden User Stories vorgegeben, wie beispielsweise:

„Ich als

Anwender	*möchte*	eine Dosiereinheit, eine Speichereinheit, eine Positioniereinheit, …	*damit*	das Füllgut portioniert das Füllgut gelagert der Transportbehälter positioniert …

werden kann.“

Aus den User Stories wurden zu Beginn der Entwicklungsaufgabe in einem Estimation Meeting die Items des Product Backlogs zusammengetragen und zu jeder Iteration aktualisiert und priorisiert. Die zeitliche Vorgabe der Aufgabe betrug vier Tage, sodass über einen Skalierungsansatz die Iteration der Arbeitsabschnitte auf einen halben Tag festgesetzt wurden und insgesamt acht Iterationen für die Erfüllung der Entwicklungsaufgabe zur Verfügung standen. Einen Auszug des priorisierten Product Backlogs zum Zeitpunkt des Sprint Planning Meetings 1 vor dem dritten Sprint ist in Tabelle 7-1 dargestellt.

Tabelle 7-1: Product Backlog der prototypischen Umsetzung vor dem 3. Sprint

#	Beschreibung	Priorität	Status
1	Erstellung eines Gesamtkonzepts	-	Erledigt
2	Füllgut lagern	-	Erledigt
3	Behälter zuführen	Hoch	In Arbeit
4	Behälter füllen	Hoch	Offen
5	Behälter abführen	Mittel	Offen
6	Physikalischer Aufbau	Gering	Offen
7	Virtuelle Inbetriebnahme	Gering	Offen
8	Inbetriebnahme	Gering	Offen

Aufgrund der zeitlichen Restriktionen erfolgte die oben erwähnte Adaption hinsichtlich der Produktinkremente sowie der Definition of Done (vgl. Kapitel 5.3.3), sodass eine diskontinuierliche Auslieferung (vgl. Abbildung 5-12) gewählt und den erarbeiteten disziplinspezifischen bzw. -übergreifenden Artefakten (z. B. Skizze, Funktionsbaum etc.) gegenüber den Inkrementen ebenfalls ein Nutzen zugesprochen wurde. Als ein Product Backlog Item sei an dieser Stelle das Befüllen des Behälters (# 4) herausgegriffen, das eine hohe Priorität besitzt und vom Team für eine Bearbeitung im dritten Sprint vorgesehen wurde. Dieses Item wurde durch einen Vereinzeler realisiert, an dessen Entwicklung alle Disziplinen beteiligt waren. Zur Fortschrittskontrolle wurden die Hilfsmittel des Task Boards sowie des Burndown Charts eingesetzt und in regelmäßigen Abständen aktualisiert. Dies ist als ein Auszug des dritten Sprints nach 80 % der Bearbeitungszeit in Abbildung 7-11 veranschaulicht.

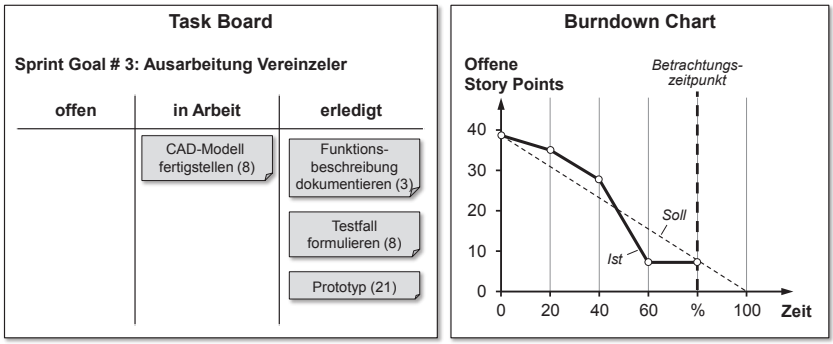


Abbildung 7-11: Task Board und Burndown Chart der prototypischen Umsetzung im 3. Sprint (schematischer Auszug)

Zum Betrachtungszeitpunkt war lediglich die Fertigstellung des CAD-Modells ausstehend, während alle weiteren Tasks bereits realisiert wurden. Im Vergleich zu den geplanten Aufwänden lagen die offenen Arbeiten, sogenannte *Story Points*, daher knapp unterhalb der Soll-Linie, was mit einer voraussichtlich vorzeitigen Erfüllung des erklärten Sprint-Ziels gleichzusetzen ist.

In der insgesamt zur Verfügung stehenden Entwicklungszeit konnte das Befüllmodul der modellhaften Verpackungsanlage unter der prototypischen Umsetzung des agilen Engineerings vollständig konzipiert, realisiert und in Betrieb genommen werden. Eine Übersicht der wesentlichen erzielten Entwicklungsergebnisse ist in Abbildung 7-12 zusammengefasst.

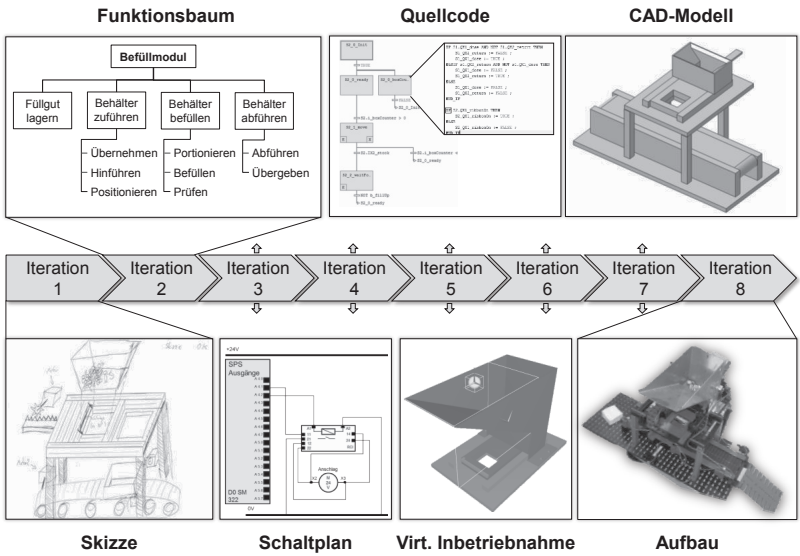


Abbildung 7-12: Ergebnisse der prototypischen Umsetzung des Befüllmoduls der modellhaften Verpackungsanlage durch agiles Engineering

Neben den Ergebnissen der Entwicklungsaufgabe konnten aus der modellhaften Umsetzung auch Erkenntnisse für das agile Engineering gewonnen werden. So wurde von den beteiligten Entwicklern den Aussagen mehrheitlich voll und ganz zugestimmt, dass das mechatronische Entwickeln von einem agilen Engineering mit Scrum unterstützt wird und dazu insbesondere die Abläufe und Artefakte dienlich sind. Derselben Aussage wurde hinsichtlich der Hilfsmittel und Rollen größtenteils zugestimmt, wie auch dem positiven Verhältnis aus Aufwand und Nutzen für den Einsatz eines agilen Engineerings im Maschinen- und Anlagenbau.

7.8 Fazit

In diesem Kapitel wurden die Anwendung der Methodik anhand eines Anwendungsszenarios auf Basis von Unternehmensdaten des realen Use-Cases eines Werkzeugmaschinenherstellers aus dem Maschinen- und Anlagenbau vorgestellt. Dazu wurden die einzelnen Schritte der Methodik durchlaufen, zu denen weiterführende Ausführungen dem Anhang entnommen werden können (siehe Anhang A9).

Anhand des rechnerbasierten Werkzeugs wurde zunächst die Erfassung des Anwendungsfalls vorgenommen. Das betrachtete Anwendungsszenario befasste sich mit der Entwicklung eines neuen Verarbeitungskonzepts für eine Werkzeugmaschine, für die das agile Engineering einsetzt werden sollte. Anhand der Kontextkriterien war die Agilitätsklasse AK_3 für das Anwendungsszenario als voll empfehlenswert einzustufen, wobei alle 20 darin beinhalteten agilen Techniken verwendet und Adaptionen hinsichtlich der global verteilten Entwicklungsstandorte sowie der großen Anzahl an über neun Teammitgliedern empfohlen wurden. Dazu wurden Skalierungen der Domänen der agilen Techniken sowie der Ansatz der diskontinuierlichen Auslieferung angewendet. Es wurde zudem der vertikale Einsatz des agilen Engineerings gewählt, der zur Synchronisation der Disziplinen einen einheitlichen Takt in einem gemeinsamen agilen Prozess vorsieht. Anhand der Auswahl an agilen Techniken ergab sich die Skalierung des Soll-Prozesses, wobei die inhaltlichen Schwerpunkte des mechatronischen Entwicklungsprozesses unter Einsatz von agilen Techniken in den Prozessgebieten des Anforderungsmanagements bzw. des Qualitätsmanagements sowie der Projektplanung und -verfolgung lagen. Bezogen auf diese Prozessgebiete nahmen insbesondere die agilen Techniken in den Domänen der Artefakte und Rollen eine große Bedeutung ein. Zum Abgleich des Ist-Prozesses wurden über das rechnerbasierte Werkzeug diverse Sichten auf den Soll-Prozess generiert und am Beispiel des Sprint Planning Meetings 1 veranschaulicht. Da die Ableitung von Maßnahmen sowie die Umsetzung sehr anwendungsspezifisch sind, wurden diese allgemein behandelt. Dazu wurde die prototypische Umsetzung des agilen Engineerings zur Entwicklung des Befüllmoduls einer modellhaften Verpackungsanlage vorgestellt und auf die Anwendung der agilen Techniken sowie auf Auszüge der Entwicklungsergebnisse eingegangen.

Das Anwendungsszenario hat gezeigt, dass die entwickelte Methodik der anwendungsspezifischen Beschreibung eines mechatronischen Entwicklungsprozesses unter Einsatz von agilen Techniken für den Maschinen- und Anlagenbau dient. Die synergetische Kombination und Adaption von agilen Techniken sowie deren Integration in den mechatronischen Entwicklungsprozess im Rahmen des agilen Engineerings wird gemäß der prototypischen Umsetzung als nutzbringend für eine Anwendung im Maschinen- und Anlagenbau eingestuft. Zur Umsetzung der abgeleiteten Maßnahmen kann darüber hinaus auf etablierte Verfahren des Change Managements zurückgegriffen

werden. Eine Verbesserung der Methodik selbst wird über den Aufbau gewährleistet. Durch den Einsatz von Lebenszyklusmodellen lassen sich die Erkenntnisse aus der Anwendung im Maschinen- und Anlagenbau zur Verbesserung der hinterlegten Daten nutzen. Dies wird durch das Hinzufügen neuer Aktivitäten bzw. agilen Techniken in die entsprechenden Klassen gewährleistet, indem die hinterlegten Verknüpfungs- und Einflussmatrizen im Referenzmodell sowie die Bewertungsgrundlage der Skalierungsmethode um die erweiterten Bestandteile neu bewertet werden.

8 Bewertung der Methodik

Im vorliegenden Kapitel wird eine zusammenfassende Bewertung der Methodik vorgenommen. Dazu werden die aufgestellten Forschungsfragen herangezogen (siehe Kapitel 8.1) sowie die Erfüllung der gesetzten Anforderungen diskutiert (siehe Kapitel 8.2). Weiterhin erfolgt eine Gegenüberstellung von Nutzen und Aufwänden unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten (siehe Kapitel 8.3), bevor das Kapitel mit einem Fazit zur Anwendung der Methodik in der industrielen Praxis schließt (siehe Kapitel 8.4).

8.1 Beantwortung der Forschungsfragen

Die in der vorliegenden Arbeit erklärte Zielsetzung befasst sich mit der Entwicklung einer Methodik zum agilen Engineering im Maschinen- und Anlagenbau. Zur Erschließung dieser Zielstellung wurden fünf Forschungsfragen aufgestellt (vgl. Kapitel 4.2), die wie folgt zu beantworten sind.

F1 *Wie lässt sich das agile Engineering im Kontext des Maschinen- und Anlagenbaus einordnen?* Das agile Engineering knüpft an die bestehenden Ansätze der schlanken Entwicklung und der Agilität an. Es kann als eine der Strategien (u. a. Simultaneous Engineering) verstanden werden, die die übergeordneten Prinzipien der Produktentwicklung (u. a. zielorientiertes Handeln) bedienen. Das agile Engineering hat mehrere Anknüpfungspunkte, geht aber hinsichtlich vieler Aspekte über die bestehenden Strategien hinaus. Zur Umsetzung des agilen Engineerings im Maschinen- und Anlagenbau eignet sich Scrum, wobei die agilen Techniken unmittelbar mit dem Vorgehen in Bezug stehen.

F2 *Wie können agile Techniken für eine Anwendung im Maschinen- und Anlagenbau kombiniert und adaptiert werden?* Prinzipiell sind alle 28 agilen Techniken aus Scrum für eine Anwendung im Maschinen- und Anlagenbau übertragbar. Für einen Einsatz im Maschinen- und Anlagenbau ist es nicht immer erforderlich, den gesamten Scrum-Prozess anzuwenden. Anstelle dessen bildet die synergetische Kombination und Adaption von agilen Techniken einen Neuheitsgrad. Dies erfolgt durch die Bildung von Sollbruchstellen über die strukturellen bzw. inhaltlichen Abhängigkeiten der agilen Techniken bzw. des Scrum-Prozesses. Aus der Bildung von Agilitätsklassen entstehen somit unterschiedliche Ausprägungen eines agilen Prozesses. Je nach anwendungsspezifischen Gegebenheiten können darüber hinaus Adaptionen der agilen Techniken oder des Prozesses erforderlich sein. Die Graphen zur Modularisierung sowie die entwickelten Steckbriefe geben dem Anwender hierzu wesentliche Informationen zu den Zusammenhängen und für das Verständnis der agilen Techniken.

F3 *Wie können mechatronische Entwicklungsprozesse für den Einsatz von agilen Techniken beschrieben werden?* Eine Formalisierung des mechatronischen Entwicklungsprozesses unter Einsatz von agilen Techniken lässt sich über die Einflüsse zu den Aktivitäten des mechatronischen Entwicklungsprozesses tätigen. Der mechatronische Entwicklungsprozess kann inhaltlich in neun Prozessgebiete, 40 Aktivitätsgruppen und 342 Aktivitäten strukturiert werden. Dies entspricht dem Stand der Erkenntnisse aus Technik und Forschung hinsichtlich der Aufgaben bzw. Tätigkeiten, die in einem mechatronischen Entwicklungsprozess des Maschinen- und Anlagenbaus zu erfüllen sind. Das Wissen über die Prozessgebiete, Aktivitätsgruppen und Aktivitäten ist in einem Referenzmodell verankert. Die Aktivitäten können für den Einsatz des agilen Engineerings mitunter als Task verstanden werden, der im Entwicklungszeitraum umzusetzen ist.

F4 *Wie können agile Techniken in die Aktivitäten eines mechatronischen Entwicklungsprozesses integriert werden?* Die für den Maschinen- und Anlagenbau adaptierbaren agilen Techniken können über die Einflüsse zu den Aktivitäten in den mechatronischen Entwicklungsprozess integriert werden. Ein funktions-, prozess- oder objektorientierter Ansatz zur Verknüpfung der Aktivitäten ist dabei nicht erforderlich, weil es dem Product Owner bzw. Entwicklungsteam obliegt, die Aktivitäten zu priorisieren bzw. sie in der für sie geeignet erscheinenden Reihenfolge zu bearbeiten. Die agilen Techniken sind im Referenzmodell hinterlegt und mit den Aktivitäten des mechatronischen Entwicklungsprozesses über eine Einflussmatrix verknüpft. Diese erlaubt zwei unterschiedliche Lesarten: Aus Sicht des mechatronischen Entwicklungsprozesses kann identifiziert werden, welche agilen Techniken für die Umsetzung einer Aktivität dienen. Im Gegenzug kann aus Sicht des agilen Engineerings beschrieben werden, welche Aktivitäten mit einer agilen Technik umgesetzt werden können.

F5 *Wie kann der Anwendungsfall zur Beschreibung eines mechatronischen Entwicklungsprozesses unter Einsatz von agilen Techniken abgebildet werden?* Zur Abbildung des Anwendungsfalls können Einflussgrößen herangezogen werden, die die Randbedingungen der Entwicklung im Maschinen- und Anlagenbau repräsentieren. Die Einordnung dieser zehn Kontextkriterien erfolgt in die Gruppen des Unternehmens, des Auftrags und des Teams, mit denen die Handlungsfelder abgedeckt werden, welche die Leistung der Produktentwicklung im Wesentlichen beeinflussen. Die Anwendung des Referenzmodells erfolgt über eine Skalierungsmethode. Als Bewertungsgrundlage dient die Verknüpfung der Kontextkriterien mit den Agilitätsklassen. Je nach Erfüllungsgrad der einzelnen Agilitätsklassen kann eine Empfehlung ausgesprochen werden, welche agilen Techniken für einen betrachteten Anwendungsfall geeignet sind.

8.2 Erfüllung der Anforderungen

Für die Entwicklung der Methodik zum agilen Engineering im Maschinen- und Anlagenbau wurden im Rahmen dieser Arbeit diverse Anforderungen in Bezug auf die Inhalte, die Modellierung, die Methode und die Umsetzung aufgestellt (vgl. Kapitel 4.3), deren Erfüllung wie folgt zu beschreiben ist.

Anforderungen an die Inhalte:

A1 *Abbildung und Strukturierung des mechatronischen Entwicklungsprozesses:* Die inhaltliche Abbildung des mechatronischen Entwicklungsprozesses erfolgt durch 342 Aktivitäten, welche die Aufgaben bzw. Tätigkeiten für die Branche des Maschinen- und Anlagenbaus beschreiben. Die Aktivitäten sind in 40 Aktivitätsgruppen zusammengefasst, die neun Prozessgebieten angehören. Letztere sind in unterstützende und mechatronische Gebiete unterteilt, die allgemeine bzw. spezifische Aktivitäten des Projektmanagements enthalten. Diese Inhalte und Strukturen sind im Referenzmodell der Methodik verankert.

A2 *Abbildung und Klassifizierung agiler Techniken:* Die inhaltliche Abbildung der agilen Techniken umfasst die 28 agilen Techniken von Scrum. Diese entsprechen nahezu allen nicht-softwarespezifischen Techniken der etablierten agilen Vorgehensmodelle und sind im Referenzmodell abgebildet. Auf Grundlage der Wirkzusammenhänge sind diese über die entsprechenden Arbeitsabschnitte des Scrum-Prozesses stufenförmig zu Agilitätsklassen zugeordnet, welche zunehmend agile Techniken beinhalten und somit unterschiedliche Ausprägungen eines agilen Prozesses aufweisen. Die Oberklasse umfasst alle betrachteten agilen Techniken und entspricht dem gesamten Scrum-Prozess.

A3 *Allgemeingültige Beschreibung und Aktualität:* Das Referenzmodell repräsentiert den Stand der Technik und Forschung hinsichtlich mechatronischer Entwicklungsprozesse unter Einsatz von agilen Techniken im Maschinen- und Anlagenbau. Dazu wurden die Inhalte induktiv mit empirisch-deskriptivem Ansatz anhand von praktischen Anwendungsfällen von Industrieunternehmen erarbeitet und deduktiv mit einem analytisch-präskriptiven Ansatz um Erkenntnisse aus der Literatur erweitert. Das Referenzmodell bildet somit ein breites Spektrum an Szenarien ab, wobei die Inhalte von individuellen Gegebenheiten freigehalten und auf die wesentlichen Eigenschaften reduziert sind.

Anforderungen an die Modellierung:

A4 *Relationen zwischen Bestandteilen:* Die Relationen zwischen den Bestandteilen des Referenzmodells sind in einer Einflussmatrix abgebildet. Über die

binären, ungerichteten Einträge der Einflussmatrix kann aus Sicht des mechatronischen Entwicklungsprozesses identifiziert werden, welche agilen Techniken zur Umsetzung einer bestimmten Aktivität dienen. Gleichzeitig kann aus Sicht des agilen Engineerings abgelesen werden, welche Aktivitäten mit einer bestimmten agilen Technik umgesetzt werden können.

A5 *Skalierbarkeit:* Um das verallgemeinerte Referenzmodell zu konkretisieren, können abhängig vom Untersuchungsziel die relevanten Informationen extrahiert werden. Das Wissen über die Aktivitäten des mechatronischen Entwicklungsprozesses und die agilen Techniken ist in einer Tabellenform abgelegt. Die Skalierung erfolgt über die Aktivierung bzw. Deaktivierung der entsprechenden Zeilen und Spalten, d. h. über die Auswahl von agilen Techniken und die Fokussierung auf bestimmte Aktivitäten, Aktivitätsgruppen oder Prozessgebiete.

A6 *Wiederverwendbarkeit und Erweiterbarkeit:* Das Referenzmodell kann wiederholt angewendet werden, da die abgebildeten Inhalte verallgemeinert und nicht nur für spezifische Untersuchungsziele abgebildet sind. Entsprechend des Aufbaus kann das Referenzmodell um aktuelle Erkenntnisse erweitert werden, indem beispielsweise Aktivitäten, agile Techniken oder Kontextkriterien eingefügt werden. Hierzu sind neue Aktivitäten in die passenden Aktivitätsgruppen und Prozessgebiete bzw. neue agile Techniken in eine Agilitätsklasse einzuordnen. Weiterhin sind die Einfluss- und Verknüpfungsmatrizen sowie die Zuordnungen zu den Agilitätsklassen um die entsprechenden Neuerungen anzupassen.

Anforderungen an die Methode:

A7 *Abbildung von Einflussgrößen:* Zur Anwendung der Methodik können unterschiedliche Einflussgrößen herangezogen werden, die die Randbedingungen der Entwicklung widerspiegeln und in der Skalierungsmethode abgebildet sind. Diese zehn Kontextkriterien sind in die Gruppen des Unternehmens, des Auftrags und des Teams unterteilt und repräsentieren damit die Handlungsfelder, welche die Leistung der Produktentwicklung im Wesentlichen beeinflussen.

A8 *Ermittlung des Soll-Zustands:* Die Ermittlung des Soll-Zustands eines anwendungsspezifischen mechatronischen Entwicklungsprozesses unter Einsatz von agilen Techniken erfolgt über die Skalierung des Referenzmodells. Als Bewertungsgrundlage wird dazu die argumentative Verknüpfung der Kontextkriterien mit den Agilitätsklassen herangezogen. Je nach Erfüllungsgrad der einzelnen Agilitätsklassen kann über die Empfehlung eine Aussage getroffen werden, welche zugrundeliegenden agilen Techniken für einen betrachteten Anwendungsfall empfehlenswert sind.

Anforderungen an die Umsetzung:

A9 *Bedienbarkeit und Darstellung:* Die Methodik kann über ein rechnerbasiertes Werkzeug angewendet werden. Die Bedienbarkeit wird durch die Beinhaltung der einzelnen Schritte zur Anwendung der Methodik unterstützt. Diese sind in den Tabellenblättern des Werkzeugs abgebildet und werden durch den Anwender der Methodik sukzessive bearbeitet. Die erforderlichen Benutzereingaben von Unternehmensdaten sind hervorgehoben, zudem stehen diverse Visualisierungstechniken zur Auswertung der Ergebnisse bereit.

A10 *Integration in bestehende Prozesse:* Unter Verwendung des rechnerbasierten Werkzeugs kann die Methodik wiederkehrend eingesetzt werden. Im Rahmen einer Service- bzw. Dienstleistung kann dazu eine interne Abteilungen oder ein externes Beratungsunternehmen auftreten. Für die Anwendung der Methodik ist die Anwesenheit von prozessverantwortlichen und befugten Personen des Unternehmens sowie eines geschulten Anwenders (z. B. CSM) notwendig. Es ist dabei jedoch kein Eingriff in laufende Prozesse erforderlich. Die Anwendung dient zur Identifikation der Ansatzpunkte für eine Umstrukturierung von Entwicklungsprozessen hinsichtlich der Aufbau- und Ablauforganisation.

8.3 Betrachtung der Wirtschaftlichkeit

Den Abschluss der Bewertung eines wissenschaftlichen Konzepts bildet die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung (EVERSHEIM 2003, S. 113). Hierzu sind die erforderlichen Aufwände dem potenziell erzielbaren Nutzen gegenüberzustellen (ABTS & MÜLDER 2009, S. 383). Im diesem Abschnitt sollen die Aufwände und Nutzen qualitativ aufgeführt und quantitativ abgeschätzt werden (vgl. EHRLENSPIEL 2009, S. 137), die sich aus der initialen Anwendung (siehe Kapitel 8.3.1), der Weiterentwicklung (siehe Kapitel 8.3.2) sowie der Umsetzung der abgeleiteten Maßnahmen (siehe Kapitel 8.3.3) der entwickelten Methodik ergeben.

8.3.1 Initiale Anwendung

Die qualitativen Nutzeneffekte der Konstruktion der Methodik liegen in der Reduzierung von Kosten für die Akquise und Speicherung von Informationen. Der Beitrag der Methodik liegt insbesondere in der Adaption von agilen Techniken für einen Einsatz im Maschinen- und Anlagenbau. Das aktuelle Wissen über agile Techniken von Scrum ist in Kennkarten, Steckbriefen und Agilitätsklassen abgebildet. Weiterhin sind die Aufgaben und Tätigkeiten von mechatronischen Entwicklungsprozessen des Maschinen- und Anlagenbaus in einer Struktur aus Prozessgebieten, Aktivitätsgruppen und

Aktivitäten eingeordnet. Beide Bestandteile sind im Referenzmodell verankert. Damit liegt erstmalig eine fundierte Kombination aus Aktivitäten des mechatronischen Entwicklungsprozesses mit agilen Techniken von Scrum vor, die anhand von Kontextkriterien über die Skalierungsmethode auf Anwendungsfälle des Maschinen- und Anlagenbaus abgebildet werden kann. Durch die Synthese des Standes der Technik und der Forschung in einer Methodik kann damit das Risiko für eine Umstrukturierung reduzieren werden, im Gegensatz zu einer losgelösten, unvollständigen oder gar fehlerhaften Modellierung eines gewünschten Soll-Prozesses durch ein Unternehmen selbst (vgl. BECKER & SCHÜTTE 2004, S. 80).

Für die initiale Anwendung der Methodik liegt der qualitative Nutzen in der anwendungsspezifischen Abbildung eines mechatronischen Entwicklungsprozesses unter Einsatz von geeigneten agilen Techniken. Aufgrund der konditionalen Verbindung der empirischen Inhalte im Referenzmodell ist der Wahrheitsgehalt der gewonnenen Aussagen jedoch nicht zu beweisen sowie die Gültigkeit auf Grundlage eines einzelnen Anwendungsfalls nur begrenzt prüfbar, da nur Ausschnitte des Referenzmodells adressiert werden (vgl. BECKER & SCHÜTTE 2004, S. 69, 77). Der aufgezeigte Soll-Prozess dient dem Anwender als Grundlage, um den Zustand des aktuellen Ist-Prozesses bewerten zu können. Die Anwendung der Methodik kann rechnergestützt auf einem beliebigen elektronischen Datenverarbeitungssystem (z. B. Personal Computer) ausgeführt werden. Dies ermöglicht zahlreiche Auswertungen, die das Vorgehen für den Anwender nachvollziehbar und transparent gestalten. Dies wurde im Anwendungsszenario auf Basis von Unternehmensdaten eines realen Use-Cases sowie anhand der prototypischen Umsetzung belegt. Auf Basis dieser Erkenntnisse liegt der direkte Nutzen der initialen Anwendung der Methodik in der Ableitung von Ansatzpunkten für die Einführung von agilen Techniken aus Scrum in einem Unternehmen.

Dem aufgeführten, qualitativen Nutzen stehen monetär bewertbare Initialaufwände gegenüber. Diese ergeben sich aus den Kosten für die Anwendung der Methodik selbst. Hierzu ist die Anwesenheit von drei prozessverantwortlichen und entscheidungsbefugten Vertretern (z. B. Entwicklung, Management, Vertrieb) des Unternehmens sowie eines beratenden Anwendungsexperten (z. B. CSM) mit fundierten Vorkenntnissen erforderlich. Letzterer kann einer internen Abteilung des Unternehmens oder einer externen Beratungsfirma angehören. Gesonderte Aufwendungen für Soft- oder Hardware fallen dabei nicht an, gleichermaßen wird das Projektgeschäft nicht von der Anwendung der Methodik beeinflusst. Die erforderliche Zeit für die Anwendung und Nachbereitung der Methodik im Rahmen eines Workshops ist auf einen Tag zu beziffern. Unter der Annahme eines Kostensatzes von 1.000 Euro pro Personentag und eines Pauschalpreises für die Beratungsdienstleistung in Höhe von 2.000 Euro ergeben sich Kosten für die initiale Anwendung der Methodik von insgesamt 5.000 Euro.

8.3.2 Weiterentwicklung

Bei einer Weiterentwicklung der Methodik entstehen qualitative Nutzeneffekte durch die Aktualität und Pflege der Daten sowie die Wiederverwendbarkeit. Das beinhaltete Referenzmodell und die Skalierungsmethode sind derart aufgebaut, dass Anpassungen oder Erweiterungen um neue Aktivitäten, agile Techniken oder Kontextkriterien aufwandsarm möglich sind. Es sind dazu die hinterlegten Einfluss- und Verknüpfungsmatrizen sowie die Agilitätsklassen an den erforderlichen Stellen anzupassen. Damit können die Erfahrungen aus der Praxis bzw. die gewonnenen Erkenntnisse aus der Anwendung der Methodik in das Referenzmodell bzw. die Skalierungsmethode entsprechend eines Lebenszyklusmodells eingepflegt werden. Die Anpassung oder Erweiterung der beinhalteten Daten liegt im Ermessen und Interessensbereich des Anwendungsexperten. Es ist daher davon auszugehen, dass die Weiterentwicklung im Nachgang der sich wiederkehrenden Anwendung der Methodik erfolgt, sodass keine zusätzlichen Kosten für das beauftragende Unternehmen anfallen bzw. diese bereits durch die Kosten für die initiale Beratungsdienstleistung gedeckt sind.

8.3.3 Umsetzung

Die Aufwände für die Umsetzung der abgeleiteten Maßnahmen der Methodik im Rahmen der Nachbereitung liegen in der Umstrukturierung sowie Verbesserung von Unternehmensprozessen. Die monetäre Bewertung befasst sich daher mit der Einführung des agilen Engineerings. Hierzu sind eine Schulung der Entwickler sowie die Anschaffung von Ausrüstungsgegenständen erforderlich. Abgesehen von Variationen der Größe des Projektteams ist davon auszugehen, dass keine größeren Skaleneffekte bei der Einführung auftreten, sodass die Kosten weitgehend unabhängig vom Projektvolumen sind. Unter der Annahme einer Projektteamgröße von sieben Entwicklern belaufen sich die Kosten für eine zweitätige Schulung von Scrum, bei einem Teilnehmerpreis von 1.200 Euro pro Person und unter Berücksichtigung eines Kostensatzes von 800 Euro pro Personentag, auf insgesamt 19.600 Euro. Hinzu kommen Kosten für die Ausbildung eines der Mitglieder zum zertifizierten Scrum Master für die spätere Leitung des agilen Prozesses in Höhe von weiteren 4.000 Euro sowie ca. 1.400 Euro für spezifische Ausrüstungsgegenstände (z. B. Task-Board). Die Kosten für die Schulung und Einführung von Scrum belaufen sich somit auf insgesamt 25.000 Euro.

Die Nutzeneffekte der Umsetzung der Methodik befassen sich zunächst mit der qualitativen Betrachtung (vgl. BRAUN 2005, S. 44). Im Kontext wissenschaftlicher Arbeiten wird ein logisch begründbarer und empirisch nachweisbarer Erfolg konstatiert, wenn eine wissenschaftliche Methodik zum Einsatz kommt (vgl. VIERTLBÖCK 2000, S. 16-21). Überdies wird einem methodengeleiteten Verfahren auch ein genereller Nutzen

hinsichtlich eines zielgerichteten, planmäßigen Vorgehens zugesprochen (GRABOWSKI & GEIGER 1997, S. 38). Die Effekte sind insbesondere in den Bereichen des strukturierten Vorgehens (z. B. Systematik), der Nachvollziehbarkeit von Ergebnissen (z. B. Transparenz) und der einheitlichen Vorgehensweise (z. B. Standardisierung) erkennbar (BRAUN 2005, S. 43 f.; EHRLENSPIEL 2009, S. 142-153). Die Erfolge des Einsatzes von agilen Vorgehensmodellen ist weitreichend belegt, wie viele Einschätzungen aus der Softwareentwicklung konstatieren, auf die an dieser Stelle für weiterführende Informationen verwiesen wird[1]. So lassen sich beispielsweise die Entwicklungszeiten und Kosten reduzieren (MÜLLER & PADBERG 2002, S. 3-5) bzw. Zeiten für die Bearbeitung einer Funktionalität und für die Fehlerbehebung senken (SJØBERG ET AL. 2012, S. 48-53). Laut Studien werden überdies die Erfolgsquoten von agilen Projekten höher bewertet, wie auch zu 80 % der positive Einfluss auf die Entwicklungsergebnisse und die Effizienz, wobei der Nutzen in 93 % der Fälle sehr viel höher bzw. höher als der Aufwand eingeschätzt wird (KOMUS 2014, S. 29, 36 f.).

Eine monetäre Quantifizierung des Nutzens in Bezug auf Kosten- und Zeitersparnisse ist objektiv nur schwer bewertbar. Dies begründet sich aus der Tatsache, dass bislang nur geringe Erkenntnisse und keine quantifizierbaren Effekte in Bezug auf den Einsatz eines agilen Engineerings existieren (ABRAHAMSSON 2002, S. 96). Im Maschinen- und Anlagenbau liegen zudem größtenteils heterogene Aufgabenstellungen vor, die keine identische Einsatz- oder Vergleichssituation bei der Anwendung der Methodik erlauben würden. Zudem sind die Eingangsgrößen eines Entwicklungsprojekts derart vielfältig, dass kein eindeutiger kausaler Zusammenhang zwischen dem Einsatz eines agilen Engineerings und den Wettbewerbsfaktoren der Produktentwicklung gezogen werden kann (vgl. BRAUN 2005, S. 43). Gleichermaßen ist der Zeitaspekt von der Umsetzung eines agilen Engineerings bis zur Messbarkeit der Auswirkungen sehr divergent und nicht vorherbestimmt. Da bislang keine quantifizierbaren Erfahrungswerte im Maschinen- und Anlagenbau vorliegen, sind die Größenordnungen der Einsparpotenziale anderweitig abzulesen. Bei vergleichbaren Arbeiten mit Referenzmodellen wurden etwa Einsparungen in Höhe von 30 % bezüglich Kosten und Zeit beziffert (vgl. SCHEER 2002, S. 61). In Bezug auf den Einsatz von agilen Vorgehensmodellen in der Softwareentwicklung liegen laut Erfahrungswerten die durchschnittlichen Einsparungen hinsichtlich der Kosten bei 26 %, die Produktivitätssteigerungen bei 88 %, die Zeitersparnisse beim Time-to-Market bei 37 % und die Senkungen der Kundenreklamationen bei 24 % (COHN 2010, S. 10-19; MIDDLETON & JOYCE 2012, S. 27-30; KAPITSAKI & CHRISTOU 2014, S.6).

[1] PAIGE ET AL. (2008); COHN (2010); GREENING (2010); KOMUS (2012); KROPP & MEIER (2012); SCHNEIDER ET AL. (2012); WELGE & FRIEDRICH (2012); SWISS Q (2013); VERSIONONE (2013); EKLUND ET AL. (2014); KOMUS (2014); MULDER ET AL. (2014); ORTH ET AL. (2014)

Unter der Annahme, dass sich die aufgeführten Einsparungen in einem gewissen Umfang auch im Maschinen- und Anlagenbau realisieren lassen, wird nachfolgend eine Schätzung möglicher Kostensenkungen durch den Einsatz von agilen Techniken aus Herstellersicht vorgenommen (vgl. EHRLENSPIEL 2009, S. 604-619, 629). Es wird dabei von Selbstkosten ausgegangen, die sich im Bereich von 100.000 Euro bei einer einzelnen Maschine und bis zu 1,5 Mio. Euro bei einer ganzen Anlage bewegen können, ohne dass gesonderte Skaleneffekte für die Aufwände zu berücksichtigen sind. Als die zwei wesentlichen Steuergrößen werden an dieser Stelle die Kundenzufriedenheit sowie die Zeiteffizienz herangezogen (vgl. HAMMERS 2012, S. 76, 86). Unter Zugrundelegung eines Rückgangs der Kundenreklamationen von 8 %, die erfahrungsgemäß einen Anteil von ca. 10 % an den Selbstkosten einnehmen, liegt der Hebel der Kostensenkungen bereits zwischen 800 Euro bei einer Maschine und 12.000 Euro bei einer Anlage. Bei einer anzunehmenden Einsparung von Entwicklungskosten infolge von Effizienzsteigerungen bzw. Zeitersparnissen in Höhe von insgesamt 20 %, welche die Selbstkosten wiederum zu ca. 10 % bestimmen, ergibt sich ein Hebel für weitere Kostensenkungen in Höhe von 2.000 Euro für eine Maschine und 30.000 Euro für eine Anlage. Bei einer angenommenen Auslieferung von 15 Maschinen bzw. einer Anlage pro Jahr ergeben sich somit jeweils Kostensenkungen von insgesamt 42.000 Euro, welche die Aufwände für die initiale Anwendung der Methodik (5.000 €) und die Einführung von Scrum (25.000 €) übersteigen.

Neben den hier behandelten Steuergrößen bestehen in den Unternehmensbereichen weitere Einsparpotenziale, die einen Zusatznutzen generieren können. Diese sind individuell und abhängig vom Anwendungsfall zu bewerten, wofür auf die Checkliste zurückgegriffen werden kann, die abschließend in Tabelle 8-1 dargestellt ist.

Tabelle 8-1: Checkliste zur individuellen Bewertung weiterer Einsparpotenziale[1]

Unternehmensbereich	Steuergröße	Potenziale
Entwicklung und Konstruktion	Entwicklungs- und Konstruktionskosten	Verkürzung der Entwicklungszeit sowie des Time-to-Markets
Fertigung	Material- und Fertigungskosten	Produktivitäts- und Qualitätssteigerungen, Reduzierung von Nacharbeit
Materialwirtschaft und Zulieferer	Einbindung von Stakeholdern	Höhere Liefertreue, Harmonisierung von Kunden-Lieferanten-Beziehungen
Verwaltung und Vertrieb	Kontinuierliche Einbeziehung	Lieferzeitverkürzung, kundengerechte Produkte, verbesserter Service
Übergreifend	Kollaboration und Teamwork	Steigerung der Mitarbeitermotivation, Verbesserung der Transparenz

[1]nach EHRLENSPIEL (2006, S. 607-609) und PONN & LINDEMANN (2011, S. 330 f.)

8.4 Fazit

In diesem Kapitel wurden die Bewertung der Methodik und eine kritische Reflexion der vorliegenden Arbeit vorgenommen. Für die Entwicklung der Methodik zum agilen Engineering im Maschinen- und Anlagenbau wurden die fünf Forschungsfragen beantwortet sowie die Erfüllung der zehn Anforderungen dargelegt. Anhand der durchgeführten Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wurde eine positive Bilanz hinsichtlich der Aufwände und Nutzen für die Einführung eines agilen Engineerings im Maschinen- und Anlagenbau gezogen. Dazu wurde mittels einer monetären Abschätzung gezeigt, dass die zu erwartenden Kosteneinsparungen, infolge von Senkungen der Kundenreklamationen sowie von Effizienzsteigerungen, die Aufwände für die Anwendung der Methodik sowie die Schulung der Entwickler übersteigen. Darüber hinaus wurden dem Anwender weitere Einsparpotenziale in verschiedenen Unternehmensbereichen aufgezeigt, die in Anhängigkeit vom Anwendungsfall mithilfe einer Checkliste strukturiert aufgenommen und individuell bewertet werden können.

9 Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Kapitel werden die Zusammenfassung und ein Ausblick des in der vorliegenden Arbeit behandelten agilen Engineerings im Maschinen- und Anlagenbau gegeben. Dazu werden ein Resümee gezogen, die erreichten Ziele zusammengefasst (siehe Kapitel 9.1) sowie weiterführende Arbeiten im Bereich des agilen Engineerings angeführt (siehe Kapitel 9.2).

9.1 Resümee und erreichte Ziele

Die Branche des Maschinen- und Anlagenbaus zählt in Deutschland zu den innovativsten und größten Wirtschaftszweigen. Im Fokus der vorliegenden Arbeit stehen insbesondere die Werkzeugmaschinen und Fertigungssysteme sowie die Nahrungsmittel- und Verpackungsmaschinen, die zu den umsatzstärksten Fachzweigen des Maschinen- und Anlagenbaus gehören und weltweit den ersten Rang hinsichtlich des Exportes einnehmen. Die spezialisierten Sonderprodukte dieser Fachzweige werden häufig in geringen Stückzahlen hergestellt, wobei mechanische, elektrotechnische und informationstechnische Teilsysteme zusammenwirken. Der softwaretechnische Anteil verantwortet dabei mittlerweile einen Großteil der echten Innovationen und wird laut Prognosen zunehmend auch die Wertschöpfung bestimmen. Für die Sonderprodukte des Maschinen- und Anlagenbaus ist es charakteristisch, dass sich die Anforderungen erst im Laufe des Prozesses konkretisieren. Späte Änderungen und Nacharbeiten sind häufig erforderlich, die mit dem eigentlichen Entwicklungsziel nicht direkt in Beziehung stehen. Der Erfolg eines Produkts wird daher maßgeblich schon ab der frühen Phase des Entwicklungsprozesses bestimmt. Die wesentlichen Herausforderungen für produzierende Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus sind in diesem Zuge die wachsende Interdisziplinarität, die Beherrschung der Anforderungskomplexität sowie die kürzeren Produktlebenszyklen. Die spezifischen und allgemeinen Erfolgsfaktoren umfassen dabei insbesondere die Befriedigung von Kundenbedürfnissen, die Professionalisierung der Projektabwicklung, die Projektsystematik, klar definierte und flexible Prozesse, die kontinuierliche Verbesserung, interdisziplinäre, selbstorganisierte und -verantwortliche Teams sowie die Kommunikation und Kooperation. Jedoch wirken sich in der industriellen Praxis die disziplinspezifischen Vorgehensweisen, Sichten und Begriffswelten sowie die Vielzahl an technischen und organisatorischen Abhängigkeiten nachteilig auf die Effizienz der Prozesse aus. Eine methodische Unterstützung durch bestehende Vorgehensmodelle (z. B. V-Modell) ist jedoch häufig nicht ausreichend, um die disziplinspezifischen Entwicklungsergebnisse fristgerecht und in der erforderlichen Reife zu integrieren. Eine Abhilfe verspricht eine gemeinsame, systematische Vorgehensweise aller Disziplinen, wobei besonders die Informationstechnik,

die Mikrologik sowie die Synchronisation und Parallelisierung von Entwicklungstätigkeiten eine Schlüsselrolle einnehmen. In der reinen Softwareentwicklung haben sich hierzu sogenannte agile Vorgehensmodelle etabliert, die den Menschen in den Mittelpunkt stellen und sich durch eine Flexibilität und Transparenz, die Einbeziehung des Kunden, die Berücksichtigung von Änderungen sowie die iterative Entwicklung und inkrementelle Auslieferung von Teilprodukten auszeichnen. So konnten in Bezug auf die Verkürzung der Lieferzeit, die Reduzierung von Kundenreklamationen, die Zeiten für die Entwicklung (z. B. Time-to-Market) bzw. die Fehlerbehebung, die Produktivitätssteigerungen sowie die Kosten teilweise erhebliche Verbesserungen erzielt werden. Zu den bekanntesten Vertretern der agilen Vorgehensmodelle zählt Scrum, ein mikrologischer Problemlösungszyklus mit operativen Arbeitsschritten und mit strategischen sowie taktischen Arbeitsabschnitten. Aufgrund der allgemeinen, nicht-softwarespezifischen Inhalte kann Scrum prinzipiell auch für Hardwareentwicklungen eingesetzt werden und gilt als folgerichtige Antwort auf die Herausforderungen der modernen Produktentwicklung. Für den zielgerichteten Einsatz von Scrum im mechatronischen Entwicklungsprozess des Maschinen- und Anlagenbaus fehlt es derzeit jedoch an umfassenden Erfahrungswerten. Insbesondere mangelt es an einer Systematik, nach welchen Kriterien eine anwendungsspezifische Auswahl und Adaption der Bestandteile von Scrum vorzunehmen ist. Im Weiteren beinhaltet Scrum keine Aktivitäten die vorschreiben, wie inhaltlich zu entwickeln ist. Eine formalisierte Beschreibung eines agilen Prozesses kommt daher erst durch die Verknüpfung von agilen Techniken der Abläufe, Artefakte, Hilfsmittel und Rollen mit inhaltlichen Aktivitäten eines mechatronischen Entwicklungsprozesses zustande.

Das Ziel der vorliegenden Arbeit war die Entwicklung einer Methodik zum agilen Engineering im Maschinen- und Anlagenbau. Hierzu wurden zunächst die Grundlagen und Begriffsbestimmungen getätigt, die für das gemeinsame Verständnis der in der vorliegenden Arbeit verwendeten Begriffe von Bedeutung sind. Im Weiteren wurde der Stand der Technik und Forschung vorgestellt, der die Erkenntnisse hinsichtlich der Entwicklungsprozesse mechatronischer Maschinen und Anlagen, konventioneller Vorgehensmodelle der Produktentwicklung, agiler Vorgehensmodelle der Softwareentwicklung und des Einsatzes von Scrum widerspiegelt. Unter Diskussion der Grenzen der bestehenden Ansätze wurden der Handlungsbedarf sowie die resultierenden Anforderungen für die vorliegende Arbeit abgeleitet. Dazu wurde gezeigt, dass die bestehenden Ansätze der effizienten Zusammenarbeit der Ingenieursdisziplinen im Entwicklungsprozess nicht vollständig genügen und mit der Übertragung von Scrum ein vielversprechender Ansatz für ein agiles Engineering im Maschinen- und Anlagenbau besteht. Die zu entwickelnde Methodik basiert auf fünf grundlegenden Forschungsfragen, die sich mit der Begriffsbestimmung und Einordnung des agilen Engineerings in den Maschinen- und Anlagenbau, der inhaltlichen Beschreibung von

mechatronischen Entwicklungsprozessen, der Integration von agilen Techniken sowie der anwendungsspezifischen Ermittlung eines agilen Soll-Prozesses für den Maschinen- und Anlagenbau befassen. Die entsprechenden zehn Anforderungen an die Entwicklung der Methodik beziehen sich auf die abgebildeten Inhalte sowie die Bestandteile des Referenzmodells, der Skalierungsmethode und des rechnerbasierten Werkzeugs.

Im ersten Hauptteil der vorliegenden Arbeit wurde das agile Engineering im Maschinen- und Anlagenbau eingeordnet, wobei Analogien zu bestehenden Ansätzen der schlanken Entwicklung sowie der Agilität eines produzierenden Unternehmens gezogen wurden. Ein agiles Engineering fokussiert die Herstellung von auslieferungs- und verkaufsfähigen Produktinkrementen, die in iterativen Zyklen mithilfe von Abläufen, Artefakten, Hilfsmitteln und Rollen entwickelt werden. Es ist ein entscheidender Wettbewerbsfaktor, der die Fähigkeit eines Unternehmens beschreibt, (pro-) aktiv auf Veränderungen zu reagieren, wobei der Mensch sowie Aspekte der Autonomie, Kooperation und Kommunikation sowie die Selbstoptimierung in den Mittelpunkt gerückt werden. Das agile Engineering kann somit als eine Strategie aufgefasst werden, welche die übergeordneten Prinzipien der Produktentwicklung bedient. Neben der Einordnung des agilen Engineerings wurde auch die Kombination der agilen Techniken von Scrum untersucht, da in der industriellen Praxis bei der Herstellung von physischen Produkten nicht immer der gesamte Scrum-Prozess etabliert werden muss. Für Modularisierungszwecke wurden dazu die strukturellen und inhaltlichen Wirkzusammenhänge der agilen Techniken untersucht und daraus vier Agilitätsklassen mit unterschiedlichen Integrationsgraden aufgestellt, denen die Arbeitsabschnitte des Scrum-Prozesses stufenförmig zugeordnet sind. Durch den Einsatz der in den Agilitätsklassen beinhalteten Kombinationen an agilen Techniken ergeben sich spezifische Charakteristiken für die Etablierung eines agilen Prozesses im Maschinen- und Anlagenbau. Im Weiteren wurde dies hinsichtlich des Bedarfs einer Adaption der agilen Techniken untersucht. Außerdem wurden die gewonnen Erkenntnisse in Steckbriefen verankert, die dem Anwender eine Hilfestellung für die Auswahl, Adaption und Anwendung von agilen Techniken im Maschinen- und Anlagenbau geben.

Auf dieser Grundlage wurde im zweiten Hauptteil der vorliegenden Arbeit die Konstruktion der Methodik zum agilen Engineering im Maschinen- und Anlagenbau vorgestellt, die aus einem Referenzmodell, einer Skalierungsmethode und einem rechnerbasierten Werkzeug besteht. Im Referenzmodell sind die aktuellen Erkenntnisse des Standes der Technik und der Forschung in Bezug auf mechatronische Entwicklungsprozesse unter Einsatz von agilen Techniken abgebildet. Anhand der Skalierungsmethode kann das Referenzmodell hinsichtlich der zu verwendenden agilen Techniken sowie der Aktivitäten des mechatronischen Entwicklungsprozesses angewendet und

über Kontextkriterien auf eine geeignete Agilitätsklasse geschlossen werden. Dazu sind im rechnerbasierten Werkzeug die Erkenntnisse über die strukturellen und inhaltlichen Abhängigkeiten der agilen Techniken des Scrum-Prozesses sowie die Aktivitäten, Aktivitätsgruppen und Prozessgebiete von mechatronischen Entwicklungsprozessen im Maschinen- und Anlagenbau hinterlegt. Die Anwendung der Methodik erfolgt durch das rechnerbasierte Werkzeug, um den anwendungsspezifischen Soll-Zustand eines mechatronischen Entwicklungsprozesses unter Einsatz von agilen Techniken zu ermitteln. Anhand dieses Soll-Prozesses kann ein Abgleich mit den bestehenden Ist-Prozessen im Unternehmen vorgenommen werden. Dies dient dem Anwender als eine Entscheidungsgrundlage für die Ableitung von Maßnahmen zur Umgestaltung der Aufbau- und Ablauforganisation des Unternehmens sowie die Umsetzung des agilen Engineerings. Die Anwendung sowie die Ergebnisse der Methodik wurden anhand eines Szenarios auf Grundlage eines realen Use-Cases eines Werkzeugmaschinenherstellers aus dem Maschinen- und Anlagenbau veranschaulicht. Die Schritte folgen der Erfassung und Klassifizierung des Anwendungsfalls, der Auswahl agiler Techniken, der Skalierung des Soll-Prozesses, dem Abgleich des Ist-Prozesses sowie der Ableitung von Maßnahmen und der Umsetzung des agilen Engineerings. Es wurde gezeigt, dass die Methodik für die anwendungsspezifische Beschreibung eines mechatronischen Entwicklungsprozesses unter Einsatz von agilen Techniken und somit als Hilfsmittel für die Systematisierung bzw. die Umstrukturierung genutzt werden kann. Dies wurde anhand einer prototypischen Umsetzung des agilen Engineerings bei der Entwicklung einer modellhaften Verpackungsanlage untermauert.

Die kritische Reflexion der Konstruktion und Anwendung der Methodik erfolgte vor der erklärten Zielstellung der vorliegenden Arbeit. Hierzu wurden die zugrundeliegenden Forschungsfragen beantwortet, die Erfüllung der gesetzten Anforderungen behandelt sowie eine Bewertung von Nutzen und Aufwänden unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten durchgeführt. Es wurde dabei eine positive Bilanz zugunsten der qualitativen Nutzeneffekte für die initiale Anwendung und die Weiterentwicklung der Methodik selbst gezogen, die vor allem in der Bündelung von Wissen über die Abläufe von mechatronischen Entwicklungsprozessen und agilen Techniken liegt. Der quantitative, monetär bewertbare Nutzen aus der Umsetzung der abgeleiteten Maßnahmen übersteigt auf Grundlage getroffener Abschätzungen die erforderlichen Aufwände für die initiale Anwendung der Methodik sowie die Schulung und Einführung der Entwickler in Scrum. Es kann somit aus den quantitativen und qualitativen Gesichtspunkten, den Erkenntnissen der Effekte eines methodischen Vorgehens, der Verwendung von Referenzmodellen und den Erfolgsberichten aus der agilen Softwareentwicklung abschließend ein positives Resümee für das agile Engineering im Maschinen- und Anlagenbau hinsichtlich Kosten- und Zeitersparnissen sowie Qualitätssteigerungen gezogen werden.

9.2 Weiterführende Arbeiten

Die Ansätze für weiterführende Forschungsarbeiten im Bereich der mechatronischen Entwicklungsprozesse unter Einsatz von agilen Techniken befassen sich mit der Skalierung des mechatronischen Entwicklungsprozesses, dem horizontalen agilen Engineering, den Artefakten im Umfeld von Hardwareentwicklungen sowie der Übertragung des agilen Engineerings in weitere Branchen.

Der erste Ansatz stellt die Skalierung des mechatronischen Entwicklungsprozesses mithilfe einer Systematik auf Grundlage der Kontextkriterien dar. Hierfür wären die vorhandenen Kontextkriterien heranzuziehen, bei Bedarf zu erweitern und auf die Aktivitäten, Aktivitätsgruppen oder Prozessgebiete umzulegen. Dies würde es dem Anwender der Methodik zusätzlich und analog zu den agilen Techniken anstelle einer manuellen Auswahl ermöglichen, den Betrachtungsfokus werkzeuggestützt auf bestimmte Entwicklungsbereiche einzugrenzen.

Der zweite Ansatz befasst sich mit der horizontalen Durchführung des agilen Engineerings. Hierbei sind nicht alle Entwicklungsdisziplinen einem gleichen Takt unterworfen. Stattdessen entwickelt lediglich eine Disziplin agil, vornehmlich jene der Informationstechnik. Hierzu wären insbesondere Fragestellungen zur Parallelisierung der Kommunikation und Kooperation sowie der fristgerechten Integration der Entwicklungsergebnisse in der dafür erforderlichen Reife zu beantworten.

Der dritte Ansatz bezieht sich auf die Entwicklungsartefakte, die während einer mechatronischen Entwicklung entstehen. Diese umfassen beispielsweise CAD-Modelle, Elektroschaltpläne oder Programmcodes. Hier gilt es zu untersuchen, inwiefern diese eines regelmäßigen Austauschs bedürfen und im Sinne eines potenziell ausliefer- bzw. vermarktungsfähigen Produktinkrements dem Kunden einen echten Mehrwert bieten. Zudem sind weitere Forschungsarbeiten anzustrengen, um die Prozess- und Produktsicht in Bezug auf die Modularisierung zu vereinen.

Ein zuletzt anzuführender Ansatz überträgt das agile Engineering in weitere Branchen, z. B. den Automobilbau oder in die Wirtschaftszweige der Informations- und Kommunikationstechnologien. Hierbei ist insbesondere von Interesse, wie das agile Engineering bei hohen Stückzahlen von Hardwareprodukten oder für die Entwicklung von Katalogware einzusetzen ist, um losgelöst von konkreten Aufträgen die von den Konsumenten geforderten Funktionsumfänge nach dem Pareto-Prinzip zu entwickeln und in regelmäßigen zeitlichen Abständen zielgerichtet am Markt zu platzieren.

Literaturverzeichnis

ABRAHAMSSON 2002
Abrahamsson, P.: Agile software development methods. Review and analysis. Espoo: VTT 2002. ISBN: 9513860108.

ABTS & MÜLDER 2009
Abts, D.; Mülder, W.: Grundkurs Wirtschaftsinformatik. Eine kompakte und praxisorientierte Einführung. 6. Aufl. Wiesbaden: Vieweg+Teubner 2009. ISBN: 9783834805966.

AMBLER 2002
Ambler, S. W.: Agile Modeling. Effective Practices for eXtreme Programming and the Unified Process. New York: John Wiley & Sons 2002. ISBN: 9780471202820.

AMBLER 2006
Ambler, S. W.: The Agile Unified Process (AUP) (2006). <http://www.ambysoft.com/unifiedprocess/agileUP.html> – 25.11.2015.

ANDERSON 2010
Anderson, D. J.: Kanban. Successful Evolutionary Change for Your Software Business. Sequim: Blue Hole Press 2010. ISBN: 9780984521401.

AUGUSTINE 2005
Augustine, S.: Managing Agile Projects. Upper Saddle River: Prentice Hall 2005. ISBN: 9780131240711.

BACS 2010
Bacs, C.: Effizientes Informationsmanagement zur Systemintegration mechatronischer Produkte mittels ablauforientierter Simulation. Diss. Technische Hochschule Zürich (2010). <https://e-collection.library.ethz.ch/eserv/eth:1043/eth-1043-02.pdf > – 25.11.2015.

BALÁŽOVÁ 2004
Balážová, M.: Methode zur Leistungsbewertung und Leistungssteigerung der Mechatronikentwicklung. Diss. Universität Paderborn (2004). <http://digital.ub.uni-paderborn.de/hs/download/pdf/3433> – 25.11.2015.

BARON & HÜTTERMANN 2010
Baron, P.; Hüttermann, M.: Fragile Agile. Agile Softwareentwicklung richtig verstehen und leben. München: Hanser 2010. ISBN: 9783446422582.

BATHELT 2006
Bathelt, J.: Entwicklungsmethodik für SPS-gesteuerte mechatronische Systeme. Diss. ETH Zürich (2006). <http://e-collection.library.ethz.ch/eserv/eth:29382/eth-29382-02.pdf> – 25.11.2015.

BECK 1999
Beck, K.: Embracing Change with eXtreme Programming. In: Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) (Hrsg.): Computer 32 (1999) 10, S. 70-77.

BECK ET AL. 2001
Beck, K.; Beedle, M.; van Bennekum, A.; Cockburn, A.; Cunningham, W.; Fowler, M.; Grenning, J.; Highsmith, J. Hunt, A.; Jeffries, R.; Kern, Jon; M., Brian; M., Robert C.; Mellor, S.; Schwaber, K.; Sutherland, J.; Thomas, D.: Manifest für Agile Softwareentwicklung (2001).
<http://agilemanifesto.org/iso/de/> – 25.11.2015.

BECKER & KNACKSTEDT 2002A
Becker, J.; Knackstedt, R. (Hrsg.): Referenzmodellierung 2002. Methoden - Modelle - Erfahrungen. In: Arbeitsberichte des Instituts für Wirtschaftsinformatik, Nr. 90. Westfälische Wilhelms-Universität Münster (2002). <https://www.wi.uni-muenster.de/sites/default/files/publications/arbeitsberichte/ab90.pdf> – 25.11.2015.

BECKER & KNACKSTEDT 2002B
Becker, J.; Knackstedt, R. (Hrsg.): Wissensmanagement mit Referenzmodellen. Konzepte für die Anwendungssystem- und Organisationsgestaltung. Heidelberg: Physica 2002. ISBN: 9783790815146.

BECKER & KNACKSTEDT 2003
Becker, J.; Knackstedt, R.: Konstruktion und Anwendung fachkonzeptioneller Referenzmodelle im Data Warehousing. In: Uhr, W. et al. (Hrsg.): Wirtschaftsinformatik 2003/Band II. Medien - Märkte - Mobilität. Heidelberg: Physica 2003, S. 415-434. ISBN: 9783642632679.

BECKER & DELFMANN 2004
Becker, J.; Delfmann, P.: Referenzmodellierung. Grundlagen, Techniken und domänenbezogene Anwendung. Heidelberg: Physica 2004. ISBN: 9783790802450.

BECKER & SCHÜTTE 2004
Becker, J.; Schütte, R.: Handelsinformationssysteme. Domänenorientierte Einführung in die Wirtschaftsinformatik. 2. Aufl. Frankfurt am Main: Moderne Industrie 2004. ISBN: 9783478255905.

BENDER 2005
Bender, K.: Embedded Systems. Qualitätsorientierte Entwicklung. Berlin: Springer 2005. ISBN: 9783540229957.

BERGSMANN 2014
Bergsmann, J.: Requirements Engineering für die agile Softwareentwicklung. Methoden, Techniken und Strategien. Heidelberg: dpunkt 2014. ISBN: 9783864901492.

BISKUP 2010
Biskup, T.: Agile fachmodellgetriebene Softwareentwicklung für mittelständische IT-Projekte. Diss. Universität Oldenburg (2009). Oldenburg: Shaker 2010. ISBN: 9783832287726.

BLEES 2011
Blees, C.: Eine Methode zur Entwicklung modularer Produktfamilien. Diss. Technische Universität Hamburg (2011). Hamburg: TuTech Innovation 2011. ISBN: 9783941492356.

BMWI 2014
BMWi: Bundeministerium für Wirtschaft und Energie: Maschinen- und Anlagenbau: Branchenskizze (2014).
<http://www.bmwi.de/DE/Themen/Wirtschaft/branchenfokus,did=196364.html> – 25.11.2015.

BOEHM 1988
Boehm, B.: A Spiral Model of Software Development and Enhancement. In: Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) (Hrsg.): Computer 21 (1988) 5, S. 61-72.

BOEHM 2002
Boehm, B.: Get Ready for Agile Methods, with Care. Computer 35 (2002) 1, S. 64-69.

BOROWSKI & HENNING 2013
Borowski, E.; Henning, K.: Agile Prozessgestaltung und Erfolgsfaktoren im Produktionsanlauf als komplexer Prozess. In: Automation, Communication and Cybernetics in Science and Engineering. Berlin: Springer 2013, S. 27-40.

BOSSMANN 2007
Bossmann, M.: Feature-basierte Produkt- und Prozessmodelle in der integrierten Produktentstehung. Diss. Universität des Saarlandes (2007).
<http://d-nb.info/999930214/34> – 25.11.2015.

BRAUN 2005
Braun, T.: Methodische Unterstützung der strategischen Produktplanung in einem mittelständisch geprägten Umfeld. Diss. Technische Universität München (2005). München: Dr. Hut 2005. ISBN: 9783899632743.

BRETZKE 1980
Bretzke, W.-R.: Der Problembezug von Entscheidungsmodellen. Tübingen: Mohr Siebeck 1980. ISBN: 9783169428526.

BROY & KUHRMANN 2013
Broy, M.; Kuhrmann, M.: Projektorganisation und Management im Software Engineering. Berlin: Springer Vieweg 2013. ISBN: 9783642292897.

BULLINGER & WARSCHAT 1995
Bullinger, H.-J.; Warschat, J.: Concurrent Simultaneous Engineering Systems. The Way to Successful Product Development. Berlin: Springer 1995. ISBN: 9783540760030.

BULLINGER ET AL. 2009
Bullinger, H. J.; Spath, D.; Warnecke, H. J.; Westkämper, E.: Handbuch Unternehmensorganisation. Strategien, Planung, Umsetzung. 3. Aufl. Berlin: Springer 2009. ISBN: 9783540721369.

BUSCHERMÖHLE ET AL. 2010
Buschermöhle, R.; Eekhoff, H.; Frommhold, H.; Josko, B.; Schiller, M.: SUCCESS. Erfolgs- und Misserfolgsfaktoren bei der Durchführung von Hard- und Softwareentwicklungsprojekten in Deutschland (2010): Studie.

CALVANO & JOHN 2004
Calvano, C. N.; John, P.: Systems Engineering in an Age of Complexity. In: Systems Engineering 7 (2004) 1, S. 25-34.

CHOW & CAO 2007
Chow, T.; Cao, D.-B.: A survey study of critical success factors in agile software projects. In: The Journal of Systems and Software 81 (2007), S. 961-971.

CHOWDHURY & HUDA 2011
Chowdhury, A. F.; Huda, M. N.: Comparison between Adaptive Software Development and Feature Driven Development. In: Computer Science and Network Technology (2011), S. 363-367.

CMMI 2011
CMMI: CMMI-DEV für Entwicklung, Version 1.3. Prozessverbesserung für die Entwicklung besserer Produkte und Dienstleistungen (2011). <http://www.sei.cmu.edu/library/assets/whitepapers/10tr033de_v11.pdf> – 25.11.2015

COAD ET AL. 1999
Coad, P.; LeFebvre, E.; de Luca, J.: Java Modeling In Color With UML. Enterprise Components and Process. New York: Prentice Hall 1999. ISBN: 9780130115102.

COCKBURN 1998
Cockburn, A.: Surviving Object-Oriented Projects. A manager's guide. Upper Saddle River: Addison-Wesley 1998. ISBN: 9780201498349.

COCKBURN 2002
Cockburn, A.: Agile software development. Boston: Addison-Wesley 2002. ISBN: 9780201699692.

COCKBURN 2004
Cockburn, A.: Crystal Clear: A Human-Powered Methodology For Small Teams, including The Seven Properties of Effective Software Projects. Addison-Wesley 2004. ISBN: 9780201699470.

COHN 2010
Cohn, M.: Succeeding with Agile: Software Development Using Scrum. Boston: Addison-Wesley 2010. ISBN: 9780321579362.

COLDEWEY 2002
Coldewey, J.: Agile Entwicklung Web-basierter Systeme. Einführung und Überblick. In: Wirtschaftsinformatik 44 (2002) 3, S. 237-248.

COOPER 1979
Cooper, R.: The Dimensions of Industrial New Product Success and Failure. In: Journal of Marketing 43 (1979) 3, S. 93-103.

CZICHOS 2008
Czichos, H.: Mechatronik. Grundlagen und Anwendungen technischer Systeme. 2. Aufl. Wiesbaden: Vieweg+Teubner 2008. ISBN: 9783834803733.

DANIILIDIS ET AL. 2011
Daniilidis, C.; Enßlin, V.; Eben, K.; Lindemann, U.: A Classification Framework for Product Modularization Methods. In: International Conference on Engineering Desing (2011), S. 1-10.

DELP 2006
Delp, M.: Ein Referenzmodell für die Herstellung von Fachmedienprodukten. Diss. Universität Stuttgart (2006). <http://d-nb.info/980130611/34> – 25.11.2015.

DENNING 2010
Denning, S.: The leader's guide to radical management. Reinventing the workplace for the 21st century. New York: John Wiley & Sons 2010. ISBN: 9780470548684.

DIEHL 2009
Diehl, H.: Systemorientierte Visualisierung disziplinübergreifender Entwicklungsabhängigkeiten mechatronischer Automobilsysteme. Diss. Technische Universität München (2009). <http://mediatum.ub.tum.de/doc/673652/673652.pdf> – 25.11.2015.

DIN 19226
DIN 19226: Deutsche Norm. Leittechnik. Regelungstechnik und Steuerungstechnik. Berlin: Beuth 1994.

DIN 69901-2
DIN 69901-2: Deutsche Norm. Projektmanagement – Projektmanagementsysteme - Teil 2: Prozess, Prozessmodell. Berlin: Beuth 2009.

DIN 69901-5
DIN 69901-5: Deutsche Norm: Projektmanagement. – Projektmanagementsysteme - Teil 5: Begriffe. Berlin: Beuth 2009.

DIN EN ISO 9000
DIN EN ISO 9000: Deutsche Norm. Qualitätsmanagementsysteme – Grundlagen und Begriffe. Berlin: Beuth 2005.

DINGSØYR ET AL. 2012
Dingsøyr, T.; Nerur, S.; Balijepally, V.; Moe, N. B.: A decade of agile methodologies: Towards explaining agile software development. In: The Journal of Systems and Software (2012) 85, S. 1213-1221.

DOHMEN 2003
Dohmen, W.: Interdisziplinäre Methoden für die integrierte Entwicklung komplexer mechatronischer Systeme. Diss. Technische Universität München (2002). München: Utz 2003. ISBN: 9783831602148.

DRESCHER ET AL. 2012
Drescher, B.; Klein, T.; Stich, P.; Reinhart, G.: Kontextspezifische Auswahl und Adaption von Entwicklungsvorgehen zur Effizienzsteigerung im Maschinen- und Anlagenbau. In: Maurer, M.; Schulze, S.-O. (Hrsg.): Tag des Systems Engineering - Komplexe Herausforderungen meistern. München: Hanser 2012. ISBN: 9783446430419.

DRESCHER ET AL. 2013
Drescher, B.; Stich, P.; Kiefer, J.; Strahilov, A.; Bär, T.; Reinhart, G.: Physikbasierte Simulation im Anlagenentstehungsprozess. Einsatzpotenziale bei der Entwicklung automatisierter Montageanlagen im Automobilbau. In: Dangelmaier, W. (Hrsg.): Simulation in Produktion und Logistik. Paderborn: HNI 2013, S. 270-281. ISBN: 9783942647359.

DRESCHER & KLEIN ET AL. 2014
Drescher, B.*; Klein, T. P.*; Spiegelberger, B.; Stetter, R.; Reinhart, G.: Synthesis of a Mechatronic Reference Model for Engineering Processes of Production Systems. In: Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) (Hrsg.): International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (2014). *geteilte Erstautorenschaft

DRESCHER & REINHART 2014
Drescher, B.; Reinhart, G.: Reference Model for the Description of Digital Engineering Tools based on Mechatronic Principles and Concepts. In: Advanced Materials Research. Trans Tech Publications: Pfäffikon 2014.

DSDM CONSORTIUM 2015
DSDM Consortium: Dynamic Systems Development Method (2015). <http://www.dsdm.org> – 25.11.2015.

DUDEN 2015
Duden: Agilität, Disziplin, Integration, Kommunikation (2015). <http://www.duden.de/> – 25.11.2015.

EBBERT-KARROUM & NOVAKOVIC 2010
Ebbert-Karroum, A.; Novakovic, M.: Business Case für Agilität. In: Business Technology (2010) 2, S. 2-6.

EHRLENSPIEL 2006
Ehrlenspiel, K.: Integrierte Produktentwicklung. Denkabläufe, Methodeneinsatz, Zusammenarbeit. 3. Aufl. München: Hanser 2006. ISBN: 9783446407336.

EHRLENSPIEL 2009
Ehrlenspiel, K.: Integrierte Produktentwicklung. Denkabläufe, Methodeneinsatz, Zusammenarbeit. 4. Aufl. München: Hanser 2009. ISBN: 9783446420137.

EIGNER ET AL. 2012
Eigner, M.; Gerhardt, F.; Gilz, T.; Mogo Nem, F.: Informationstechnologie für Ingenieure. Berlin: Springer 2012. ISBN: 9783642248924.

EKLUND ET AL. 2014
Eklund, U.; Olsson, H. H.; Strøm, N. J.: Industrial Challenges of Scaling Agile in Mass-Produced Embedded Systems. In: T. Dingsøyr et al. (Hrsg.): XP 2014 Workshops. LNBIP 199. Springer 2014.

EPPING 2011
Epping, T.: Kanban für die Softwareentwicklung. Berlin: Springer 2011. ISBN: 9783642225949.

EVERSHEIM ET AL. 1995
Eversheim, W.; Bochtler, W.; Laufenberg, L.: Simultaneous Engineering. Erfahrungen aus der Industrie für die Industrie. Berlin: Springer 1995. ISBN: 9783642789182.

EVERSHEIM 2003
Eversheim, W.: Innovationsmanagement für technische Produkte: Systematische und integrierte Produktentwicklung und Produktionsplanung. Berlin: Springer 2003. ISBN: 9783540434252.

FELDMANN ET AL. 2015
Feldmann, S.; Legat, C.; Vogel-Heuser, B.: An Analysis of Challenges and State of the Art for Modular Engineering in the Machine and Plant Manufacturing Domain. In: Conference on Embedded Systems, Computational Intelligence and Telematics in Control (2015), S. 87-92.

FERNANDES & ALMEIDA 2010
Fernandes, J. M.; Almeida, M.: Classification and Comparison of Agile Methods. In: Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) (Hrsg.): Seventh International Conference on the Quality of Information and Communications Technology (2010), S. 391-396.

FETTKE & LOOS 2002A
Fettke, P.; Loos, P.: Methoden zur Wiederverwendung von Referenzmodellen. In: Becker, J.; Knackstedt, R. (Hrsg.): Referenzmodellierung 2002: Methoden - Modelle - Erfahrungen. Arbeitsberichte des Instituts für Wirtschaftsinformatik, Nr. 90. Westfälische Wilhelms-Universität Münster (2002), S. 9-33.

FETTKE & LOOS 2002B
Fettke, P.; Loos, P.: Der Referenzmodellkatalog als Instrument des Wissensmanagements - Methodik und Anwendung. In: Becker, J.; Knackstedt, R. (Hrsg.): Wissensmanagement mit Referenzmodellen - Konzepte für die Anwendungssystem- und Organisationsgestaltung. Heidelberg: Physica 2002, S. 3-24. ISBN: 9783790815146.

FORSTER 2013
Forster, C.: Referenzmodell zur Gestaltung der Serviceorganisation in Unternehmen der Raumfahrtbranche zum Betrieb bemannter Raumfahrtsysteme. Diss. Universität Stuttgart (2013).

FÖRSTER 2003
Förster, M.: Variantenmanagement nach Fusionen in Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus. Diss. Technische Universität München (2003). <https://mediatum.ub.tum.de/doc/601873/601873.pdf> – 25.11.2015

FRAGER & NEHR 2010
Frager, O.; Nehr, W.: Modularität und Wiederverwendung im Engineering des Maschinen- und Anlagenbaus. Anforderungen an Programmierverhalten für Steuerungssysteme, UML und Tools. In: Schiller, F. (Hrsg.): Erfolgreiches Engineering. Die wichtigsten Methoden. München: Oldenburg Industrieverlag 2010. ISBN: 9783835632103.

FRIEDRICH 2011
Friedrich, M. O.: Funktionsorientiertes Konzept zur Unterstützung früher Phasen der Produktentwicklung in der Informationstechnik. Diss. Technische Universität München (2011).

FUCHS ET AL. 2012
Fuchs, J.; Feldmann, S.; Vogel-Heuser, B.: Modularität im Maschinen- und Anlagenbau. Analyse der Anforderungen und Herausforderungen im industriellen Einsatz. In: Entwurf komplexer Automatisierungssysteme. Magdeburg 2012, S. 307-316.

GAUL 2001
Gaul, H.-D.: Verteilte Produktentwicklung. Perspektiven und Modell zur Optimierung. Diss. Technische Universität München (2001).
<https://mediatum.ub.tum.de/doc/601839/601839.pdf> – 25.11.2015.

GAUSEMEIER ET AL. 2001
Gausemeier, J.; Ebbesmeyer, P.; Kallmeyer, F.: Produktinnovation. Strategische Planung und Entwicklung der Produkte von morgen. München: Hanser 2001. ISBN: 9783446216310.

GAUSEMEIER & BERGER 2004
Gausemeier, J.; Berger, T.: Ideenmanagement in der strategischen Produktplanung. Identifikation der Produkte und Geschäftsfelder von morgen. Konstruktion (2004) 9, S. 1-12.

GAUSEMEIER ET AL. 2013
Gausemeier, J.; Dumitrescu, R.; Steffen, D.; Czaja, A.; Wiederkehr, O.; Tschirner, C.: Systems Engineering in der industriellen Praxis (2013).
<http://www.its-owl.de/fileadmin/PDF/Publikationen/Studie_Systems_Engineering_in_der_industriellen_Praxis_Leseprobe.pdf> – 25.11.2015.

GEHRKE 2005
Gehrke, M.: Entwurf mechatronischer Systeme auf Basis von Funktionshierarchien und Systemstrukturen. Diss. Universität Paderborn (2005).
<http://s-lab.uni-paderborn.de/fileadmin/Informatik/slab/veroeffentlichungen/2006_Entwurf_mechatronischer_Systeme_auf_Basis_von_Funktionshierarchien_und_Systemstrukturen.pdf> – 25.11.2015.

GEISBERGER & SCHMIDT 2005
Geisberger, E.; Schmidt, R.: ProMiS. Projektmanagement für interdisziplinäre Systementwicklungen. Abschlussbericht des Projekts Leitfaden für die Anwendung von Projektmanagement und Systemspezifikation. Frankfurt am Main: VDMA 2005. ISBN: 9783816305033.

GIERHARDT 2001
Gierhardt, H.: Global verteilte Produktentwicklungsprojekte. Ein Vorgehensmodell auf der operativen Ebene. Diss. Technische Universität München (2001).
<https://mediatum.ub.tum.de/doc/601840/601840.pdf> – 25.11.2015.

GLOGER 2010
Gloger, B.: Scrum. Der Paradigmenwechsel im Projekt- und Produktmanagement. Eine Einführung. In: Informatik Spektrum 33 (2010) 2, S. 195-200.

GLOGER & HÄUSLING 2011
Gloger, B.; Häusling, A.: Erfolgreich mit Scrum. Einflussfaktor Personalmanagement. Finden und Binden von Mitarbeitern in agilen Unternehmen. München: Hanser 2011. ISBN: 9783446425156.

GLOGER 2013A
Gloger, B.: Scrum Checklist (2013). <http://files.hanser.de/hanser/docs/20130415_21341513727-102_110413_checklist2013_de_web.pdf> – 25.11.2015.

GLOGER 2013B
Gloger, B.: Scrum. Produkte zuverlässig und schnell entwickeln. 4. Aufl. München: Hanser 2013. ISBN: 9783446433380.

GLOGER & MARGETICH 2014
Gloger, B.; Margetich, J.: Das Scrum-Prinzip. Agile Organisationen aufbauen und gestalten. Stuttgart: Schäffer-Poeschel 2014. ISBN: 9783791032894.

GNATZ 2005
Gnatz, M.: Vom Vorgehensmodell zum Projektplan. Diss. Technische Universität München (2005). <http://mediatum.ub.tum.de/doc/601787/601787.pdf> – 25.11.2015.

GOLL 2012
Goll, J.: Methoden des Software Engineering. Funktions-, daten-, objekt- und aspektorientiert entwickeln. Wiesbaden: Springer Vieweg 2012. ISBN: 9783834824332.

GÖPFERT & STEINBRECHER 2000
Göpfert, J.; Steinbrecher, M.: Modulare Produktentwicklung leistet mehr. In: Harvard Business Manager (2000) 3, S. 1-17.

GRABOWSKI & GEIGER 1997
Grabowski, H.; Geiger, K.: Neue Wege zur Produktentwicklung. Stuttgart: Raabe 1997. ISBN: 9783886493470.

GRAEBSCH ET AL. 2007
Graebsch, M.; Lindemann, U.; Weiß, S.: Lean Development in Deutschland. Eine Studie über Begriffe, Verschwendung und Wirkung, Dr. Hut: München 2007. ISBN: 9783899634969.

GRAUPNER 2010
Graupner, T.-D.: Vorgehensmodell zur Gestaltung internetbasierter Mehrwertdienste für den Maschinen- und Anlagenbau. Diss. Universität Stuttgart (2010).

GREENING 2010
Greening, D. R.: Enterprise Scrum: Scaling Scrum to the Executive Level. In: Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) (Hrsg.): Proceedings of the 43rd Hawaii International Conference on System Sciences (2010).

GRETER & KELLER 2013
Greter, S.; Keller, W.: Ein agiles Projekt in einem internationalen Großkonzern. In: Korn, H.-P.; Berchez, J. P. (Hrsg.): Agiles IT-Management in großen Unternehmen. Düsseldorf: Symposium Publishing 2013, S. 235-251. ISBN: 9783863294427.

GRIEB 2007
Grieb, J. C.: Auswahl von Werkzeugen und Methoden für verteilte Produktentwicklungsprozesse. Diss. Technische Universität München (2007). <http://mediatum.ub.tum.de/doc/618400/618400.pdf> – 25.11.2015.

GROTE & FELDHUSEN 2011
Grote, K.-H.; Feldhusen, J.: Dubbel. Taschenbuch für den Maschinenbau. 23. Aufl. Berlin: Springer 2011. ISBN: 9783642173059.

HABERFELLNER ET AL. 1999
Haberfellner, R.; Nagel, P.; Becker, M.; Büchel, A.; Massow, H. V.: Systems Engineering. Methodik und Praxis. In: Daenzer, W. F.; Huber, F. (Hrsg.). 10. Aufl. Zürich: Industrielle Organisation 1999. ISBN: 385743998X.

HABERFELLNER ET AL. 2012
Haberfellner, R.; de Weck, O.; Fricke, E.; Vössner, S.: Systems Engineering. Grundlagen und Anwendung. 12. Aufl. Zürich: Orell Füssli 2012. ISBN: 9783280040683.

HAMED & ABUSHAMA 2013
Hamed, A.; Abushama, H.: Popular Agile Approaches in Software Development. Review and Analysis. In: Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) (Hrsg.): International Conference on Computing, Electrical and Electronic Engineering (2013).

HAMM 1997
Hamm, V.: Informationstechnikbasierte Referenzprozesse. Prozessorientierte Gestaltung des industriellen Einkaufs. Wiesbaden: Gabler 1997. ISBN: 9783824466122.

HAMMERS 2012
Hammers, C.: Modell für die Identifikation kritischer Informationspfade in Entwicklungsprojekten zur projektindividuellen Umsetzung der Quality-Gate-Systematik. Diss. Technische Hochschule Aachen (2012). Aachen: Apprimus 2012. ISBN: 9783863590703.

HAMMERSCHALL 2008
Hammerschall, U.: Flexible Methodenintegration in anpassbare Vorgehensmodelle. Diss. Technische Universität München (2008). <http://mediatum.ub.tum.de/doc/645115/645115.pdf> – 25.11.2015.

HAMMERSTINGL & REINHART 2015
Hammerstingl, V.; Reinhart, G.: Unified Plug&Produce Architecture for Automatic Integration of Field Devices in Industrial Environments. In: Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) (Hrsg.): International Conference on Industrial Technology (2015), S. 1956-1963.

HANSER 2011
Hanser, E.: Agile Prozesse. Von XP über Scrum bis MAP. Heidelberg: Springer 2011. ISBN: 9783642123122.

HAUSER 2008
Hauser, A.: Ein Referenzmodell zur Modellierung wissensintensiver Prozesse bei Ingenieurdienstleistungen zur kooperativen Planung verfahrenstechnischer Anlagen. Diss. Technische Hochschule Aachen (2008). Aachen: Shaker 2008. ISBN: 9783832273316.

HELLENBRAND 2013
Hellenbrand, D.: Transdisziplinäre Planung und Synchronisation mechatronischer Produktentwicklungsprozesse. Diss. Technische Universität München (2013). <http://mediatum.ub.tum.de/doc/1120629/1120629.pdf> – 25.11.2015.

HENSEL 2011
Hensel, T.: Modellbasierter Entwicklungsprozess für Automatisierungslösungen. Diss. Technische Universität München (2011). München: Utz 2011. ISBN: 9783831641673.

HERRMANN ET AL. 2015
Herrmann, C.; Reinhart, G.; Schuh, G.; Spengler, T.; Vietor, T.; Drescher, B.; Gäde, M.; Klein, T.; Richter, T.; Schönemann, M.; Spiegelberger, B.; Vogels, T.: Strategien, Methoden und Werkzeuge für die Entwicklung mechatronischer Produkte. Ergebnisse und Synergiepotenziale aus den Forschungsprojekten GiBWert, MEPROMA und SynProd. In: ZWF 110 (2015) 5, S. 2-6.

HEßLING 2006
Heßling, T.: Einführung der Integrierten Produktpolitik in kleinen und mittelständischen Unternehmen. Diss. Technische Universität München (2006). <https://mediatum.ub.tum.de/doc/601996/601996.pdf> – 25.11.2015.

HEYN 1999
Heyn, M.: Methodik zur schnittstellenorientierten Gestaltung von Entwicklungskooperationen. Aachen: Shaker 1999. ISBN: 9783826547072.

HIGHSMITH 2000
Highsmith, J.: Adaptive Software Development. A Collaborative Approach to Managing Complex Systems. New York: Dorset House 2000. ISBN: 9780932633408.

HIGHSMITH 2002
Highsmith, J. A.: Agile Software Development Ecosystems. Boston: Addison-Wesley 2002. ISBN: 9780201760439.

HOFMANN 2013
Hofmann, D.: Verknüpfungsmodell zuverlässigkeitsrelevanter Informationen in der Produktentwicklung mechatronischer Systeme. Diss. Universität Stuttgart (2013). <http://elib.uni-stuttgart.de/opus/volltexte/2013/8336/pdf/Dissertation_Hofmann.pdf> – 25.11.2015.

HRUSCHKA & RUPP 2002
Hruschka, P.; Rupp, C.: Agile Softwareentwicklung für Embedded Real-Time Systems mit der UML. München: Hanser 2002. ISBN: 9783446219977.

HRUSCHKA ET AL. 2009
Hruschka, P.; Rupp, C.; Starke, G.: Agility kompakt. Tipps für erfolgreiche Systementwicklung. 2. Aufl. Heidelberg: Spektrum 2009. ISBN: 9783827420923.

HUTTERER 2005
Hutterer, P.: Reflexive Dialoge und Denkbausteine für die methodische Produktentwicklung. Diss. Technische Universität München (2005). <http://mediatum.ub.tum.de/doc/601939/file.pdf> – 25.11.2015.

ISERMANN 1999
Isermann, R.: Mechatronische Systeme. Grundlagen. Berlin: Springer 1999. ISBN: 9783540647256.

ISERMANN 2008
Isermann, R.: Mechatronische Systeme. Grundlagen. 2. Aufl. Berlin: Springer 2008. ISBN: 9783540323365.

JACOBSON ET AL. 1999
Jacobson, I.; Booch, G.; Rumbaugh, J.: The Unified Software Development Process. Reading: Addison-Wesley 1999. ISBN: 9780201571691.

JAEGER 2008
Jaeger, J.: Usability Driven Development (2008). <http://www.jensjaeger.com/tag/usability-driven-development/> – 25.11.2015.

JAHN 2010
Jahn, T.: Portfolio- und Reifegradmanagement für Innovationsprojekte zur Multiprojektsteuerung in der frühen Phase der Produktentwicklung. Diss. Universität Stuttgart (2010).

JANSEN 2006
Jansen, S.: Eine Methodik zur modellbasierten Partitionierung mechatronischer Systeme. Diss. Ruhr-Universität Bochum (2006). Aachen: Shaker 2006. ISBN: 9783832262525.

JOHNSON 2011
Johnson, N.: Agile hardware development. Nonsense or necessity? (2011) <http://www.eetimes.com/document.asp?doc_id=1279137> – 25.11.2015.

JUNG 2006
Jung, C.: Anforderungsklärung in interdisziplinärer Entwicklungsumgebung. Diss. Technische Universität München (2006). München: Dr. Hut 2006. ISBN: 9783899633672.

KALUS 2013
Kalus, G.: Projektspezifische Anpassung von Vorgehensmodellen. Feature-basiertes Tailoring. Diss. Technische Universität München (2013). <http://mediatum.ub.tum.de/doc/1129552/1129552.pdf> – 25.11.2015.

KAPITSAKI & CHRISTOU 2014
Kapitsaki, G. M.; Christou, M.: Where Is Scrum in the Current Agile World? In: Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) (Hrsg.): International Conference on Evaluation of Novel Approaches to Software Engineering (2014), S. 1-8.

KECHER & SALVANOS 2015
Kecher, C.; Salvanos, A.: UML 2.5. Das umfassende Handbuch. 5. Aufl. Bonn: Rheinwerk Computing 2015. ISBN: 9783836229777.

KETTER ET AL. 2009
Ketter, W.; Banjanin, M.; Guikers, R.; Kayser, A.: Introducing an Agile Method for Enterprise Mash-Up Component Development. In: Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) (Hrsg.): Conference on Commerce and Enterprise Computing (2009), S. 293-300.

KIRCHHOF & AGHAJANI 2010
Kirchhof, M.; Aghajani, B.: Agil in die Sackgasse. In: mange it 8 (2010) 9-10, S. 2-6.

KIRNER 2014
Kirner, K.: Zusammenhang zwischen Leistung in der Produktentwicklung und Variantenmanagement. Einflussmodell und Analysemethode. Diss. Technische Universität München (2014). München: Dr. Hut 2014. ISBN: 9783843918268.

KLEIN & REINHART 2013
Klein, T. P.; Reinhart, G.: Approaches for Integration of Agile Procedures into Mechatronic Engineering of Manufacturing Systems. In: Zäh, M. F. (Hrsg.): Enabling Manufacturing Competitiveness and Economic Sustainability. Cham: Springer 2013, S. 225-230. ISBN: 9783319020532.

KLEIN & REINHART 2014
Klein, T.; Reinhart, G.: Agile Entwicklung in Kontext von Industrie 4.0. Innovativer Ansatz zur effizienten Arbeitsgestaltung und -organisation im Zeitalter von Industrie 4.0. In: Industrie Management (2014) 6, S. 59-63.

KLIGERT ET AL. 2005
Kligert, T.; Becker, D.; Paulukuhn, L.; Weber, P.; Schröder, J.: Forschung und Entwicklung managen. Erfolgsfaktoren im Maschinen- und Anlagenbau. KPMG (Hrsg.): Studie (2005).

KOLLER 1985
Koller, R.: Konstruktionslehre für den Maschinenbau. Grundlagen des methodischen Konstruierens. 2. Aufl. Berlin: Springer 1985. ISBN: 9783540153696.

KOMUS 2012
Komus, A.: Studie: Status Quo Agile. Verbreitung und Nutzen agiler Methoden. BPM-Labor, Hochschule Koblenz (Hrsg.): Ergebnisbericht (Langfassung) Studie (2012).

KOMUS 2014
Komus, A.: Internationale Studie: Status Quo Agile 2014. BPM-Labor, Hochschule Koblenz (Hrsg.): Ergebnisbericht (Langfassung für Studienteilnehmer) der Studie (2014).

KOTTER 1996
Kotter, J. P.: Leading change. Boston: Harvard Business School Press 1996. ISBN: 9780875847474.

KROPP & MEIER 2012
Kropp, M.; Meier, A.: Swiss Agile Study 2012. Agile Software-Entwicklung in der Schweiz. Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften; Fachhochschule Nordwestschweiz (Hrsg.): Studie (2012) <http://www.swissagilestudy.ch/files/2015/05/SwissAgileStudy2012.pdf > – 25.11.2015.

KUHRMANN 2008
Kuhrmann, M.: Konstruktion modularer Vorgehensmodelle. Methodisches Erstellen und Pflegen von Entwicklungsstandards und Vorgehensmodellen für Prozessingenieure. Diss. Technische Universität München (2008). <https://mediatum.ub.tum.de/doc/635536/635536.pdf> – 25.11.2015.

KUTTIG 2005
Kuttig, F.: Verteilte kooperative Geräteentwicklung in der Mechatronik. Diss. Technische Universität München (2005). <https://mediatum.ub.tum.de/doc/601938/601938.pdf> – 25.11.2015.

LAUER 2010
Lauer, W. M.: Integrative Dokumenten- und Prozessbeschreibung in dynamischen Produktentwicklungsprozessen. Diss. Technische Universität München (2010). München: Dr. Hut 2010. ISBN: 9783868535938.

LAUFENBERG 1996
Laufenberg, L.: Methodik zur integrierten Projektgestaltung für die situative Umsetzung des Simultaneous Engineering. Aachen: Shaker 1996. ISBN: 9783826514852.

LEOPOLD & KALTENECKER 2012
Leopold, K.; Kaltenecker, S.: Kanban in der IT. Eine Kultur der kontinuierlichen Verbesserung schaffen. München: Hanser 2012. ISBN: 9783446430594.

LINCKE 1995
Lincke, W.: Simultaneous Engineering: Neue Wege zu überlegenen Produkten. München: Hanser 1995. ISBN: 9783446180093.

LINDEMANN 2004
Lindemann, U.: Methodische Entwicklung technischer Produkte. Methoden flexibel und situationsgerecht anwenden. Berlin: Springer 2004. ISBN: 9783540140412.

LINDEMANN 2009
Lindemann, U.: Methodische Entwicklung technischer Produkte. Methoden flexibel und situationsgerecht anwenden. 3. Aufl. Berlin: Springer 2009. ISBN: 9783642014222.

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: 9783540878889.

LINK 2014
Link, P.: Agile Methoden im Produkt-Lifecycle-Prozess. Mit agilen Methoden die Komplexität im Innovationsprozess handhaben. In: Schoeneberg, K.-P. (Hrsg.): Komplexitätsmanagement in Unternehmen. Herausforderungen im Umgang mit Dynamik, Unsicherheit und Komplexität meistern. Wiesbaden: Springer 2014, S. 65-92. ISBN: 9783658012830.

MAUDERER 2013
Mauderer, M.: Ein Beitrag zur Planung und Entwicklung von rekonfigurierbaren mechatronischen Systemen. Am Beispiel von starren Fertigungssystemen. Diss. Technische Universität München (2013). München: Utz 2013. ISBN: 9783831641260.

MAXIMINI 2013
Maximini, D.: Scrum - Einführung in der Unternehmenspraxis. Von starren Strukturen zu agilen Kulturen. Berlin: Springer Gabler 2013. ISBN: 9783642348228.

MEHRLE ET AL. 2012
Mehrle, P.; Vendég, T.; Hammer, A.; Weber, M.: Schlanke Zusammenarbeit in der Produktentwicklung. Best-Practice-Prinzipien aus der Automobilindustrie. In: ZWF 107 (2012) 5, S. 332-338.

MELING 2013
Meling, F.: Methodik für die Rekombination von Anlagentechnik. München: Utz 2013. ISBN: 9783831643196.

MEPROMA 2015
Forschungsprojekt „Mechatronisches Engineering zur effizienten Produktentwicklung im Maschinen- und Anlagenbau“ (EUREKA-MEPROMA), im Rahmenkonzept „Forschung für die Produktion von morgen“ der „Hightech-Strategie 2020 für Deutschland“, gefördert (FKZ: 02PJ1051) vom Bundesministerium für Bildung und Forschung und betreut vom Projektträger Karlsruhe (2015). <https://www.bmbf.de/pub/forschung_fuer_produktion_von_morgen_projekte.pdf>, <http://www.pro-factory-plus.eu/sites/default/files/project_pdf/eureka-meproma_30._bk_internetversion_barrierefrei.pdf> – 25.11.2015

MIDDLETON & JOYCE 2012
Middleton, P.; Joyce, D.: Lean Software Management. BBC Worldwide Case Study. In: Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) (Hrsg.): Transactions on Engineering Management 59 (2012) 1, S. 20-32.

MICHNIEWICZ & REINHART 2015
Michniewicz, J.; Reinhart, G.: Cyber-Physische Systeme in der Robotik. Automatische Planung und Durchführung von Montageprozessen durch Kommunikation zwischen Produkt und Produktionssystem. In: Reinhart, G.; Scholz-Reiter, B.; Wahlster, W.; Wittenstein, M.; Zühlke, D. (Hrsg.): Intelligente Vernetzung in der Fabrik. Industrie 4.0 Umsetzungsbeispiele für die Praxis. Fraunhofer: Stuttgart 2015. ISBN: 978-3839609309

MONAUNI & FOSCHIANI 2013
Monauni, M.; Foschiani, S.: Agility Enablers in Manufacturing Systems. Contributions of the Production Network Perspective. In: Zäh, M. F. (Hrsg.): Enabling Manufacturing Competitiveness and Economic Sustainability. Cham: Springer 2013, S. 333-337. ISBN: 9783319020532.

MORGAN & LIKER 2006
Morgan, J. M.; Liker, J. K.: The Toyota Product Development System. Integrating people, process and technology. New York: Productivity Press 2006. ISBN: 9781563272820.

MULDER ET AL. 2014
Mulder, F.; Verlinden, J.; Maruyama, T.: Adapting Scrum Development Method for the Development of Cyber-Physical Systems. In: Horváth, Z. R. (Hrsg.): Proceedings of the TCME 2014. Budapest 2014.

MÜLLER & PADBERG 2002
Müller, M. M.; Padberg, F.: Extreme Programming from an Engineering Economics Viewpoint (2002). <http://www.ipd.uka.de/Tichy/uploads/publikationen /41/edser02.pdf> – 25.11.2015.

NERUR ET AL. 2005
Nerur, S.; Mahapatra, R.; Mangalaraj, G.: Challenges of Migrating to Agile Methodologies (2005). <http://faculty.salisbury.edu/~xswang/Research/Papers/ SERelated/Agile/p72-nerur.pdf> – 25.11.2015.

NEUHAUSEN 2001
Neuhausen, J.: Methodik zur Gestaltung modularer Produktionssysteme für Unternehmen der Serienproduktion. Diss. Technische Hochschule Aachen (2001). <https://www.deutsche-digitale-bibliothek.de/binary/ QN6AQNPT23OBOHTCNDISLTLQEBK63XZ7/full/1.pdf> – 25.11.2015.

OESTEREICH 2011
Oestereich, B.: Warum müssen wir agile Verfahren anwenden? (2011). <http://www.oose.de/blogpost/warum-scrum-und-agil-sein> – 25.11.2015.

OPELT ET AL. 2012
Opelt, A.; Gloger, B.; Pfarl, W.; Mittermayr, R.: Der agile Festpreis. Leitfaden für wirklich erfolgreiche IT-Projekt-Verträge. München: Hanser Verlag 2012. ISBN: 9783446432260.

ORTH ET AL. 2014
Orth, P.; Schloßer, A.; Richenhagen, J.: Agil und modellbasiert. In: Mechatronik IGT (2014), S. 1-6.

PAHL ET AL. 2007
Pahl; G.; Beitz, W.; Feldhusen, J.; Grote, K.-H.: Pahl/Beitz Konstruktionslehre. Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung. Methoden und Anwendung. 7. Aufl. Berlin: Springer 2007. ISBN: 9783540340607.

PAIGE ET AL. 2008
Paige, R. F.; Charalambous, R.; Ge, X.; Brooke, P. J.: Towards Agile Engineering of High-Integrity Systems. In: Harrison, M. D.; Sujan, M.-A. (Hrsg.): SAFECOMP 2008. Berlin: Springer 2008, S. 30-43.

PICHLER & ROOCK 2011
Pichler, R.; Roock, S.: Agile Entwicklungspraktiken mit Scrum. Heidelberg: dpunkt 2011. ISBN: 9783898647199.

PICHLER 2013
Pichler, R.: Agiles Produktmanagement mit Scrum. Erfolgreich als Product Owner arbeiten. 2. Aufl. Heidelberg: dpunkt 2013. ISBN: 9783864901423.

POMBERGER & PREE 2004
Pomberger, G.; Pree, W.: Software Engineering. Architektur-Design und Prozessorientierung. 3. Aufl. München, Wien: Hanser 2004. ISBN: 9783446224292.

PONN 2007
Ponn, J. C.: Situative Unterstützung der methodischen Konzeptentwicklung technischer Produkte. Diss. Technische Universität München (2007). <http://d-nb.info/999941518/34> – 25.11.2015.

PONN & LINDEMANN 2011
Ponn, J.; Lindemann, U.: Konzeptentwicklung und Gestaltung technischer Produkte. Systematisch von Anforderungen zu Konzepten und Gestaltlösungen. 2. Aufl. Heidelberg: Springer 2011. ISBN: 9783642205798.

POPPENDIECK 2002
Poppendieck, M.: Principles of Lean Thinking (2002). <http://www.sel.unsl.edu.ar/ApuntesMaes/Anteriores/MetodologiasAgiles/LeanThinking.pdf> – 25.11.2015.

POPPENDIECK & POPPENDIECK 2003
Poppendieck, M.; Poppendieck, T.: Lean Software Development. An Agile Toolkit for Software Development Managers. Boston: Addison-Wesley 2003. ISBN: 9780321150783.

POTTER & SAKRY 2009
Potter, N.; Sakry, M.: Implementing Scrum (agile) and CMMI® together (2009). <http://www.processgroup.com/pgpostmar09.pdf> – 25.11.2015.

PULM 2004
Pulm, U.: Eine systemtheoretische Betrachtung der Produktentwicklung. Diss. Technische Universität München (2004). <https://mediatum.ub.tum.de/doc/601917/601917.pdf> – 25.11.2015.

RAMMER ET AL. 2013
Rammer, C.; Aschhoff, B.; Crass, D.; Doherr, T.; Hud, M.; Köhler, C.; Peters, B.; Schubert, T.; Schwiebacher, F.: Innovationsverhalten der deutschen Wirtschaft. Indikatorenbericht zur Innovationserhebung 2012. Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung GmbH (ZEW) Mannheim (Hrsg.): (2013) <ftp.zew.de/pub/zew-docs/mip/12/mip_2012.pdf> – 08.06.2015.

RAPP 2012
Rapp, T.: Produktstrukturierung. Komplexitätsmanagement durch modulare Produktstrukturen und -plattformen. 2. Aufl. Norderstedt: Books on Demand 2010. ISBN: 9783839136041.

RAUCHENBERGER 2011
Rauchenberger, J.: Reifegradmodelle als Ordnungsrahmen zur systematischen Prozessverbesserung für mechatronische Entwicklungsprozesse. Diss. Technische Hochschule Aachen (2010). Aachen: Apprimus 2011. ISBN: 9783863590093.

REICHWALD ET AL. 2006
Reichwald, R.; Moser, K.; Schlichter, J.; Leckner, T.; Stegmann, R.: Marketing- und Vertriebswerkzeuge für individualisierte Produkte. In: Lindemann, U.; Reichwald, R.; Zäh, M. F. (Hrsg.): Individualisierte Produkte-Komplexität beherrschen in Entwicklung und Produktion. VDI: Berlin 2006. ISBN: 9783540255062.

REIK ET AL. 2012
Reik, U.; Weiß, S.; Lindemann, U.: Lean Monitoring Card. An approach for the multi-perspective evaluation of the success of measures to reduce waste within the frame of Lean Development (2012).
<http://mediatum.ub.tum.de/doc/1167145/1167145.pdf> – 25.11.2015.

REINHART ET AL. 2009
Reinhart, G.; Meling, F.; Zuber, E.; Grimmer, K.: Baukastenbasiertes disziplinübergreifendes Engineering von Produktionsanlagen. Herausforderungen und Lösungsansätze. In: Gausemeier et al. (Hrsg.): Entwurf mechatronischer Systeme. 6. Paderborner Workshop 2009.

REIß 2014
Reiß, T.: Ein Referenzmodell für die Serienentwicklung mechatronischer Systeme in der Automobilindustrie. Göttingen: Cuvillier 2014. ISBN: 9783954046102.

RICK ET AL. 2010
Rick, U.; Vossen, R.; Richert, A.; Henning, K.: Designing Agile Processes in Information Management. In: Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) (Hrsg.): International Conference on Information Management and Engineering 2010, S. 173-182.

ROELOFSEN 2011
Roelofsen, J.: Situationsspezifische Planung von Produktentwicklungsprozessen. Diss. Technische Universität München (2011).
<https://mediatum.ub.tum.de/doc/1006819/1006819.pdf> – 25.11.2015.

RÖPSTORFF & WIECHMANN 2012
Röpstorff, S.; Wiechmann, R.: Scrum in der Praxis. Erfahrungen, Problemfelder und Erfolgsfaktoren. Heidelberg: dpunkt 2012. ISBN: 9783898647922.

ROSEMANN 1995
Rosemann, M.: Komplexitätsmanagement in Prozessmodellen. Methodenspezifische Gestaltungsempfehlungen für die Informationsmodellierung. Wiesbaden: Gabler 1995. ISBN: 9783409121729.

ROYCE 1970
Royce, W. W.: Managing the Development of large Software Systems. In: Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) (Hrsg.): Managing the Development of Large Software Systems (1970), S. 328-338.

RUBIN 2014
Rubin, K. S.: Essential Scrum. Umfassendes Scrum. Wissen aus der Praxis. Heidelberg: mitp 2014. ISBN: 9783826690471.

RUMPE 2012
Rumpe, B.: Agile Modellierung mit UML. Codegenerierung, Testfälle, Refactoring. 2. Aufl. Berlin: Springer 2012. ISBN: 9783642224294.

RUPPRECHT 2002
Rupprecht, C.: Ein Konzept zur projektspezifischen Individualisierung von Prozessmodellen. Diss. Universität Karlsruhe (2002). <http://d-nb.info/1007257296/34> – 25.11.2015.

SAUER 2010
Sauer, O.: Architekturzentrierte agile Anwendungsentwicklung in global verteilten Projekten. Diss. Universität Hamburg (2010). <http://ediss.sub.uni-hamburg.de/volltexte/2011/4959/pdf/Dissertation_Sauer.pdf> – 25.11.2015.

SCHACK 2007
Schack, R.: Methodik zur bewertungsorientierten Skalierung der Digitalen Fabrik. Diss. Technische Universität München (2007). München: Utz 2007. ISBN: 9783831607488.

SCHEDL 2008
Schedl, S.: Integration von Anforderungsmanagement in den mechatronischen Entwicklungsprozess. Diss. Technische Universität München (2008). München: Utz 2008. ISBN: 9783831608744.

SCHEER 2002
Scheer, A.-W.: ARIS. Vom Geschäftsprozess zum Anwendungssystem. 4. Aufl. Berlin: Springer 2002. ISBN: 9783540658238.

SCHELLMANN 2012
Schellmann, H.: Bewertung kundenspezifischer Mengenflexibilität im Wertschöpfungsnetz. Diss. Technische Universität München (2012). München: Utz 2012. ISBN: 9783831641895.

SCHILLER 2010
Schiller, J.: A Framework for Externalizing Information in Agile Meetings. Diss. Technische Universität München (2010). <http://d-nb.info/1013436954/34> – 25.11.2015.

SCHIPPER & SWETS 2010
Schipper, T.; Swets, M.: Innovative Lean Development. How to Create, Implement and Maintain a Learning Culture Using Fast Learning Cycles. New York: Productivity Press 2010. ISBN: 9781420092981.

SCHMIDT 2007
Schmidt, R.: Qualitätsgerechte Entwicklung softwareintensiver technischer Systeme. Diss. Technische Hochschule Aachen (2007). Aachen: Shaker 2007. ISBN: 9783832259396.

SCHNEIDER ET AL. 2012
Schneider, S.; Fallböhmer, M.; Schallow, J.; Deuse, J.: Agile Prozessplanung im Produktentstehungsprozess - Softwareentwicklung als Lösungshilfe für permanente Anpassungsbedarfe in der Prozessplanung. In: ZWF 107 (2012) 3, S. 158-162.

SCHRÖDER 2003
Schröder, J.: Benchmarking von Entwicklungsbereichen im Maschinenbau. Diss. Technische Hochschule Aachen (2003). <http://darwin.bth.rwth-aachen.de/opus3/volltexte/2003/711/pdf/Schroeder_Jens.pdf> – 25.11.2015.

SCHÜTTE 1998
Schütte, R.: Grundsätze ordnungsmäßiger Referenzmodellierung. Konstruktion Konfigurations- und anpassungsorientierter Modelle. Wiesbaden: Gabler 1998. ISBN: 9783409128438.

SCHWABER & BEEDLE 2001
Schwaber, K.; Beedle, M.: Agile Software Development with Scrum. Upper Saddle River: Prentice Hall 2001. ISBN: 9780130676344.

SCHWABER 2007
Schwaber, K.: Agiles Projektmanagement mit Scrum. Unterschleißheim: Microsoft Press 2007. ISBN: 9783866456310.

SEIDEL 2005
Seidel, M.: Methodische Produktplanung. Grundlagen, Systematik und Anwendung im Produktentstehungsprozess. Karlsruhe: KIT Scientific Publishing 2005. ISBN: 9783937300511.

SHALABY & EL-KASSAS 2011
Shalaby, M.; El-Kassas, S.: Applying Scrum Framework in the IT Service Support Domain. In: Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) (Hrsg.): Asia – Pacific Services Computing Conference (2011), S. 9-15.

SJØBERG ET AL. 2012
Sjøberg, I. K.; Johnsen, A.; Solberg, J.: Quantifying the Effect of Using Kanban versus Scrum. A Case Study. In: Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) (Hrsg.): Software 29 (2012) 5, S. 47-53.

SOMMER ET AL. 2013
Sommer, A. F.; Slavensky, A.; Nguyen, V. T.; Steger-Jensen, K.; Dukovska-Popovska, I.: Scrum Integration in Stage-gate Models for Collaborative Product Development. A Case Study of Three Industrial Manufacturers. In: Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) (Hrsg.): International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (2013), S. 1278-1282.

SOMMERVILLE 2012
Sommerville, I.: Software Engineering. 9. Aufl. München: Pearson 2012. ISBN: 9783868940992.

SPIEGELBERGER 2011
Spiegelberger, B.: Anwendergerechte Gestaltung mechatronischer Entwicklungsprozesse für kleine und mittlere Unternehmen im Maschinenbau. Diss. Technische Universität München (2011). Göttingen: Sierke 2011. ISBN: 9783868443592.

STATISTISCHES BUNDESAMT 2008
Statistisches Bundesamt: Klassifikation der Wirtschaftszweige (2008). <https://www.destatis.de/DE/Methoden/Klassifikationen/GueterWirtschaftklassifikationen/klassifikationwz2008_erl.pdf?__blob=publicationFile> – 25.11.2015.

STATISTISCHES BUNDESAMT 2012
Statistisches Bundesamt: Statistisches Jahrbuch Deutschland und Internationales. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt 2012. ISBN: 9783824609895.

STETTER ET AL. 2009
Stetter, R.; Rauchenberger, J.; Spiegelberger, B.; Müller, T.; Pfeifer, G.; Witzel, O.; Gideon, F.: Betriebliche Einführungsstrategie für ein anwendungsorientiertes Vorgehensmodell für die Entwicklung zuverlässigerer mechatronischer Systeme im Maschinen- und Anlagenbau. Projektabschlussbericht des Forschungsprojekts BESTVOR. <http://edok01.tib.uni-hannover.de/edoks/e01fb10/623739291.pdf> – 25.11.2015.

SUTHERLAND 2005
Sutherland, J.: Future of Scrum. Parallel Pipelining of Sprints in Complex Projects. In: Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) (Hrsg.): Proceedings of the Agile Development Conference (2005), S. 90-99.

SUTHERLAND 2010
Sutherland, J.: Scrum Handbook (2010). <http://miroslawdabrowski.com/downloads/Scrum/The%20Scrum%20Handbook%20%5Bscruminc%5D.pdf > – 25.11.2015.

SUTHERLAND & SCHWABER 2013
Sutherland, J.; Schwaber, K.: Der Scrum Guide. Der gültige Leitfaden für Scrum (2013). <http://www.scrumguides.org/docs/scrumguide/v1/Scrum-Guide-DE.pdf> – 25.11.2015.

SWISS Q 2013
Swiss Q: Agile 2013 - Trends & Benchmarks Report Schweiz (2013). <http://www.swissq.it/wp-content/uploads/2013/03/Agile-Trends-und-Benchmarks-2013_Web.pdf> – 29.03.2015.

TAROMIRAD & RAMSIN 2009
Taromirad, M.; Ramsin, R.: Comprehensive Evaluation Framework for Agile Methodologies. In: Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) (Hrsg.): 32nd Annual Software Engineering Workshop (2009), S. 195-204.

THOMAS 2006
Thomas, O.: Management von Referenzmodellen. Entwurf und Realisierung eines Informationssystems zur Entwicklung und Anwendung von Referenzmodellen. Berlin: Logos 2006. ISBN: 9783832513443.

TREPPER 2012
Trepper, T.: Agil-systemisches Softwareprojektmanagement. Wiesbaden: Gabler 2012. ISBN: 9783834942012.

TRISTL ET AL. 2013
Tristl, C.; Klenk, H.; Karcher, A.: Adaptives SE-basiertes Rahmenwerk zur Synchronisation von Teilentwicklungsprozessen. In: Maurer, M.; Schulze, S.-O. (Hrsg.): Tag des Systems Engineering. Der Weg zu den technischen Systemen von morgen. München: Hanser 2013.

UHLMANN & SCHRÖDER 1998
Uhlmann, E.; Schröder, C.: Agile Produktion als Antwort auf den Wandel der Märkte. In: ZWF 93 (1998) 5, S. 180-184.

VERSIONONE 2011
Versionone: State of Agile Survey (2011). <http://www.versionone.com/pdf/2011_State_of_Agile_Development_Survey_Results.pdf> – 25.11.2015.

VERSIONONE 2013
Versionone: 8th Annual State of Agile Survey (2013). <http://www.versionone.com/pdf/2013-state-of-agile-survey.pdf> – 25.11.2015.

VDI 2206
VDI 2206: VDI-Richtlinie: Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme. Düsseldorf: VDI-Verlag 2004.

VDI 2221
VDI 2221: VDI-Richtlinie: Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte. Düsseldorf: VDI-Verlag 1993.

VDI/VDE 2422
VDI/VDE 2422: VDI/VDE-Richtlinie: Entwicklungsmethodik für Geräte mit Steuerung durch Mikroelektronik. Düsseldorf: VDI-Verlag 1994.

VDMA 2006
VDMA: Leitfaden Softwarequalitätssicherung. Frankfurt am Main: VDMA 2006. ISBN: 9783816305217.

VDMA 2014
VDMA: Volkswirtschaft und Statistik. Statistisches Handbuch für den Maschinenbau. Frankfurt am Main: VDMA 2014. ISBN: 9783816306696.

VDMA 2015A
VDMA: Maschinenbau in Zahl und Bild 2015. <http://www.vdma.org/documents/105628/0/Maschinenbau%20in%20Zahl%20und%20Bild%202014.pdf/> – 25.11.2015.

VDMA 2015B
Stetter, R.; Spiegelberger, B.; Reinhart, G.; Drescher, B.; Haberstroh, P.; Hammerstingl, V.; Klein, T.; Stich, P.; Tenner, A.; Wölfel, F.; Pfeifer, G.; Frank, C.; Marwitz, G.; Bonetsmüller, M.; Julinek S.; Munk, M.; Wetzel, M.: MEPROMA – Anforderungen und Methoden im mechatronischen Engineering. In: VDMA (Hrsg.): Leitfaden für Anwender im Maschinen- und Anlagenbau. VDMA: Frankfurt am Main 2015. ISBN: 9783816306788.

VIERTLBÖCK 2000
Viertlböck, M.: Modell der Methoden- und Hilfsmitteleinführung im Bereich der Produktentwicklung. Diss. Technische Universität München (2000). München: Dr. Hut 2000. ISBN: 9783934767195.

VOGEL-HEUSER ET AL. 2015
Vogel-Heuser, B.; Fay, A.; Schäfer, I.; Tichy, M.: Evolution of software in automated production systems. Challenges and Research Directions. In: Journal of Systems and Software 110 (2015), S. 54-84.

VOIGTSBERGER 2005
Voigtsberger, J.: Adaptive Modellierung und Simulation von Produktentwicklungsprozessen. Diss. Technische Universität Berlin (2005). Stuttgart: IRB 2005. ISBN: 9783816769293.

VON DER HEIDE 2014
von der Heide, A.: Effizienz aus dem Systembaukasten (2014). <http://www.wrapped-mag.de/index.php/magazin/Top-Stories/Effizienz-aus-dem-Systembaukasten> – 25.11.2015.

V-MODELL XT 2005
V-Modell XT: V-Modell® XT, Version 1.3. Bundesrepublik Deutschland (Hrsg.): (2005). <http://www.v-modell-xt.de/> – 25.11.2015.

WALKER & THOMAS 1985
Walker, R. A.; Thomas, D. E.: A Model of Design Representation and Synthesis. In: Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) (Hrsg.): 22nd Design Automation Conference (1985), S. 453-459.

WANG 2011
Wang, X.: The Combination of Agile and Lean in Software Development: An Experience Report Analysis. In: Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) (Hrsg.): Agile Conference (2011), S. 1-9.

WELGE & FRIEDRICH 2012
Welge, M.; Friedrich, C. S.: Integration von agilen Methoden in der Systementwicklung. In: Maurer, M.; Schulze, S.-O. (Hrsg.): Tag des Systems Engineering: Komplexe Herausforderungen meistern. München: Hanser 2012. ISBN: 9783446430419.

WIENDAHL ET AL. 2009
Wiendahl, H.-P.; Reichardt, J.; Nyhuis, P.: Handbuch Fabrikplanung. Konzept, Gestaltung und Umsetzung wandlungsfähiger Produktionsstätten. München: Hanser 2009. ISBN: 9783446224773.

WIRDEMANN 2011
Wirdemann, R.: Scrum mit User Stories. 2. Aufl. München: Hanser 2011. ISBN: 9783446426603.

WOLF & BLEEK 2011
Wolf, H.; Bleek, W.-G.: Agile Softwareentwicklung. Werte, Konzepte und Methoden. 2. Aufl. Heidelberg: dpunkt 2011. ISBN: 9783898647014.

WOLF ET AL. 2011
Wolf, H.; van Solingen, R.; Rustenburg, E.: Die Kraft von Scrum. Eine inspirierende Geschichte über einen revolutionären Projektmanagementansatz. München: Addison-Wesley 2011. ISBN: 9783827330529.

WOMACK ET AL. 1991
Womack, J. P.; Jones, D. T.; Roos, D.: The Machine That Changed the World. The Story of Lean Production. New York: Harper Paperbacks 1991. ISBN: 9780060974176.

WOMACK & JONES 2013
Womack, J. P.; Jones, D. T.: Lean Thinking. Ballast abwerfen, Unternehmensgewinn steigern. 3. Aufl. Frankfurt: Campus 2013. ISBN: 9783593398433.

YUSUF ET AL. 1999
Yusuf, Y. Y.; Sarhadi, M.; Gunasekaran, A.: Agile manufacturing. The drivers, concepts and attributes. In: International Journal of Production Economics 62 (1999), S. 33-43.

ZIEGLER 2009
Ziegler, A.: Eignungseinstufung von Vorgehensmodellen. Wie eine systematische Risikoanalyse für Softwareprojekte auf ein ideal geeignetes Vorgehensmodell führt. Diss. Technische Universität Bremen (2009). Berlin: Pro Business 2009. ISBN: 9783868053296.

Anhang

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 betreuter Studienarbeiten 255

A1 Einordnung des Maschinen- und Anlagenbaus

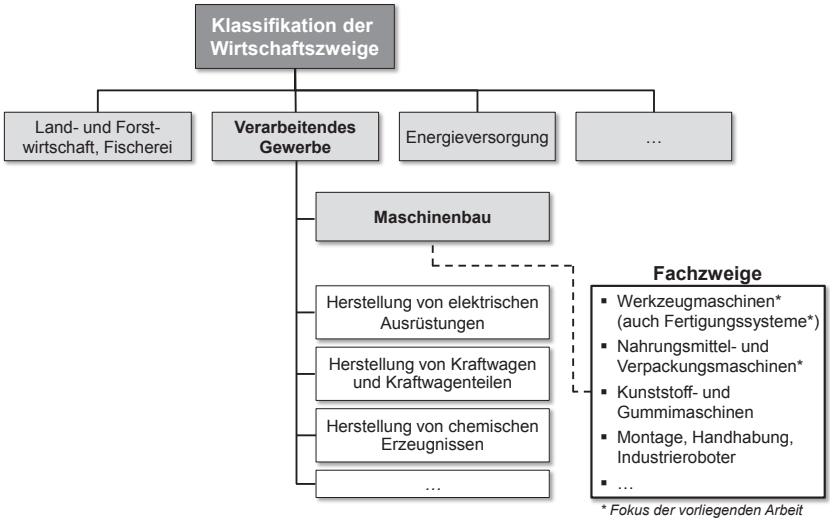


Abbildung A-1: Einordnung des Maschinen- und Anlagenbaus in der deutschen Wirtschaft (Statistisches Bundesamt 2008, S. 54 f., 186-333; VDMA 2014, S. 27)

A2 Übersicht agiler Vorgehensmodelle

Tabelle A-1: Bezeichnungen und Abkürzungen agiler Vorgehensmodelle

#	Bezeichnung (Abkürzung)
1	ActiF
2	Adaptive Software Development (ASD)
3	Agile Datawarehousing
4	Agile Enterprise (ehemals X Breed)
5	Agile Model Driven Development (AMDD)
6	Agile Modeling (AM)
7	Agile Unified Process (AUP)
8	Behavior Driven Development (BDD)
9	Crystal
10	Design Driven Development (D3)
11	Design Thinking
12	Dynamic System Development Method (DSDM)
13	Eclipse Way Process
14	Essential Unified Process (EssUP)
15	Evolutionary Process For Integrating Cots-Based Systems (EPIC)
16	Evolutionary Project Management & Product Development (EVO)
17	Extreme Programming (XP)
18	Feature Driven Development (FDD)
19	Iconix
20	Internet-Speed Development
21	Kanban
22	Lean
23	Lean Software Development (LSD)
24	Lean Startup
25	Microsoft Solutions Framework for Agile Software Development (MSF4ASD)
26	Mobile-D
27	Open Unified Process (OpenUP)
28	Pragmatic Programming (PP)
29	Rapid Application Development (RAD)
30	Rational Unified Process (RUP)
31	Scrum
32	Software-Expedition
33	Test Driven Development (TDD)
34	Unified Process (UP)
35	Universal Application
36	Usability Driven Development (UDD)

A3 Analyse agiler Vorgehensmodelle

Tabelle A-2: Beinhaltete agile Elemente

(1x1) **Agile Elemente**	**software-spezifisch**	**AM**	**ASD**	**AUP**	**Crystal**	**DSDM**	**FDD**	**Kanban**	**LSD**	**Scrum**	**UDD**	**XP**
40 Stunden Woche												X
Akzeptierte Verantwortung						X		X	X			X
Beidseitiger Vorteil						X						X
Configuration Management / Reversible Changes					X	X	X					
Construction				X								
Collective Code Ownership / Individual Class Ownership	X				X		X	X				X
Decide as late as possible								X	X			
Deliver as fast as possible								X	X			
Einfaches Design		X										X
Einfachheit		X										X
Elaboration				X								
Featurebasiert entwickeln			X				X					
Feedback		X										X
Fehlschläge hinnehmen								X	X			X
Fluss												X
Fokus auf Architektur				X								
Fokus auf Risiko				X								
Gelegenheiten wahrnehmen												X
Inkrementelle Entwicklung		X								X		
Iterative Entwicklung		X								X	X	
Kleine Releases											X	X
Kleine Schritte												X
Kleine Teams		X										
Kommunikation		X				X				X		X
Kontinuierliche Verbesserung								X	X	X		
Menschlichkeit		X				X						X
Mut		X										X
Planungsspiel								X			X	X
Post-Project						X						
Pre-Project						X						
Project Life-Cycle						X						
Problem analysieren, Rahmen modellieren							X					
Programmierrichtlinien	X											X
Progress Reporting							X					
Qualität												X
Redundanzen vermeiden												X
Refactoring	X											X

(2x1) **Agile Elemente**	**software-spezifisch**	**AM**	**ASD**	**AUP**	**Crystal**	**DSDM**	**FDD**	**Kanban**	**LSD**	**Scrum**	**UDD**	**XP**
Reflexion												X
Regular Builds	X						X					
Respekt								X				X
Seeing the whole									X			X
Ständige Integration					X	X		X				X
Teamwork		X						X	X	X		
Testautomatisierung					X	X		X				
Testgetriebene Entwicklung		X			X	X	X					X
Transition				X								
Usability Test											X	
User-centered design											X	
Verbesserungen					X							X
Verschwendung vermeiden									X			
Vielfältigkeit												X
Vor-Ort-Kunde		X								X		X
Wirtschaftlichkeit						X		X				X
Work in Progress								X				

Tabelle A-3: Beinhaltete agile Techniken

(1x1) **Agile Techniken**	**software-spezifisch**	**AM**	**ASD**	**AUP**	**Crystal**	**DSDM**	**FDD**	**Kanban**	**LSD**	**Scrum**	**UDD**	**XP**
Abläufe												
Daily Meeting					X			X		X		X
Estimation Meeting										X		
Pair Programming	X				X							X
Scrum of Scrums										X		
Sprint			X	X	X	X	X			X		X
Sprint Planning Meeting 1			X							X		X
Sprint Planning Meeting 2										X		X
Sprint Retrospective Meeting					X			X		X		X
Sprint Review Meeting			X							X		X
Artefakte												
Bug Reports	X				X							
Definition of Done			X					X		X		
Impediment Backlog										X		
Product Backlog										X		
Product Backlog Item										X		
Product Increment			X	X	X	X	X	X		X		X
Project Map					X							
Release Plan					X			X		X		
Risk List					X							

(2x1) **Agile Techniken**	**software-spezifisch**	**AM**	**ASD**	**RUP**	**Crystal**	**DSDM**	**FDD**	**Kanban**	**LSD**	**Scrum**	**UDD**	**XP**
Artefakte												
Selected Product Backlog										X		
Sprint Backlog										X		
Sprint Goal										X		
Use Case					X							
User Help Text	X				X							
User Story					X	X		X		X		X
Task					X	X		X		X		
Vision										X		
Hilfsmittel												
Burndown Chart					X					X		
Task Board								X		X		
Rollen												
Architekt	X						X					
Customer					X	X				X		
End User										X		
Lead Designer	X				X							
Manager					X		X			X		
Product Owner					X		X			X		
Programmer	X						X					
Scrum Master										X		
Team					X		X			X		X
Tester	X				X							
Writer	X				X							

Quellen des Anhangs A3:

ABRAHAMSSON (2002); HIGHSMITH (2002); POPPENDIECK & POPPENDIECK (2003); JAEGER (2008); BISKUP (2010); EPPING (2011); HANSER (2011); WOLF & BLEEK (2011); LEOPOLD & KALTENECKER (2012); BROY & KUHRMANN (2013); GLOGER (2013A); KALUS (2013)

A4 Verknüpfungsmatrix

Tabelle A-4: Verknüpfungsmatrix zwischen Aktivitäten und agilen Techniken

(1x1)

	von \ nach	Abläufe							
		Daily Meeting	Estimation Meeting	Scrum of Scrums	Sprint	Sprint Planning Meeting 1	Sprint Planning Meeting 2	Sprint Retrospective Meeting	Sprint Review Meeting
Abläufe	Daily Meeting								
	Estimation Meeting								
	Scrum of Scrums								
	Sprint								
	Sprint Planning Meeting 1								
	Sprint Planning Meeting 2								
	Sprint Retrospective Meeting								
	Sprint Review Meeting								
Artefakte	Definition of Done					X			X
	Impediment Backlog	X		X				X	
	Product Backlog		X			X			
	Product Backlog Item		X			X			
	Product Increment	X		X	X		X		X
	Release Plan		X	X					X
	Selected Product Backlog					X	X		
	Sprint Backlog	X			X		X		X
	Sprint Goal				X		X		X
	Task				X		X		
	User Story	X	X		X	X	X		X
	Vision		X			X			
Hilfsmittel	Burndown Chart	X		X	X			X	X
	Task Board	X			X		X	X	X
Rollen	Customer					X			X
	End User		X			X			X
	Manager			X				X	
	Product Owner		X	X		X			X
	Scrum Master	X	X	X		X	X	X	X
	Team	X	X	X	X	X	X	X	X

(1x2)

	von \ nach	Artefakte											
		Definition of Done	Impediment Backlog	Product Backlog	Product Backlog Item	Product Increment	Release Plan	Sel. Product Backlog	Sprint Backlog	Sprint Goal	Task	User Story	Vision
Abläufe	Daily Meeting	-											
	Estimation Meeting												
	Scrum of Scrums												
	Sprint												
	Sprint Planning Meeting 1												
	Sprint Planning Meeting 2												
	Sprint Retrospective Meeting												
	Sprint Review Meeting												
Artefakte	Definition of Done												
	Impediment Backlog												
	Product Backlog							X					
	Product Backlog Item	X		X									
	Product Increment	X					X						
	Release Plan												
	Selected Product Backlog												
	Sprint Backlog										X		
	Sprint Goal												
	Task												
	User Story				X								X
	Vision												
Hilfsmittel	Burndown Chart	-											
	Task Board												
Rollen	Customer											X	X
	End User	X				X						X	
	Manager		X										
	Product Owner	X		X		X	X			X			X
	Scrum Master		X										
	Team	X				X			X	X	X		

(1x3)

	von \ nach	Hilfsmittel		Rollen					
		Burn-down Chart	Task Board	Customer	End User	Manager	Product Owner	Scrum Master	Team
Abläufe	Daily Meeting	-		-					
	Estimation Meeting								
	Scrum of Scrums								
	Sprint								
	Sprint Planning Meeting 1								
	Sprint Planning Meeting 2								
	Sprint Retro-spective Meeting								
	Sprint Review Meeting								
Artefakte	Definition of Done	-		-					
	Impediment Backlog								
	Product Backlog								
	Product Backlog Item								
	Product Increment								
	Release Plan								
	Selected Product Backlog								
	Sprint Backlog								
	Sprint Goal								
	Task								
	User Story								
	Vision								
Hilfs-mittel	Burndown Chart			-					
	Task Board								
Rollen	Customer								
	End User								
	Manager								
	Product Owner								
	Scrum Master								
	Team	X	X						

A5 Agilitätsklassen

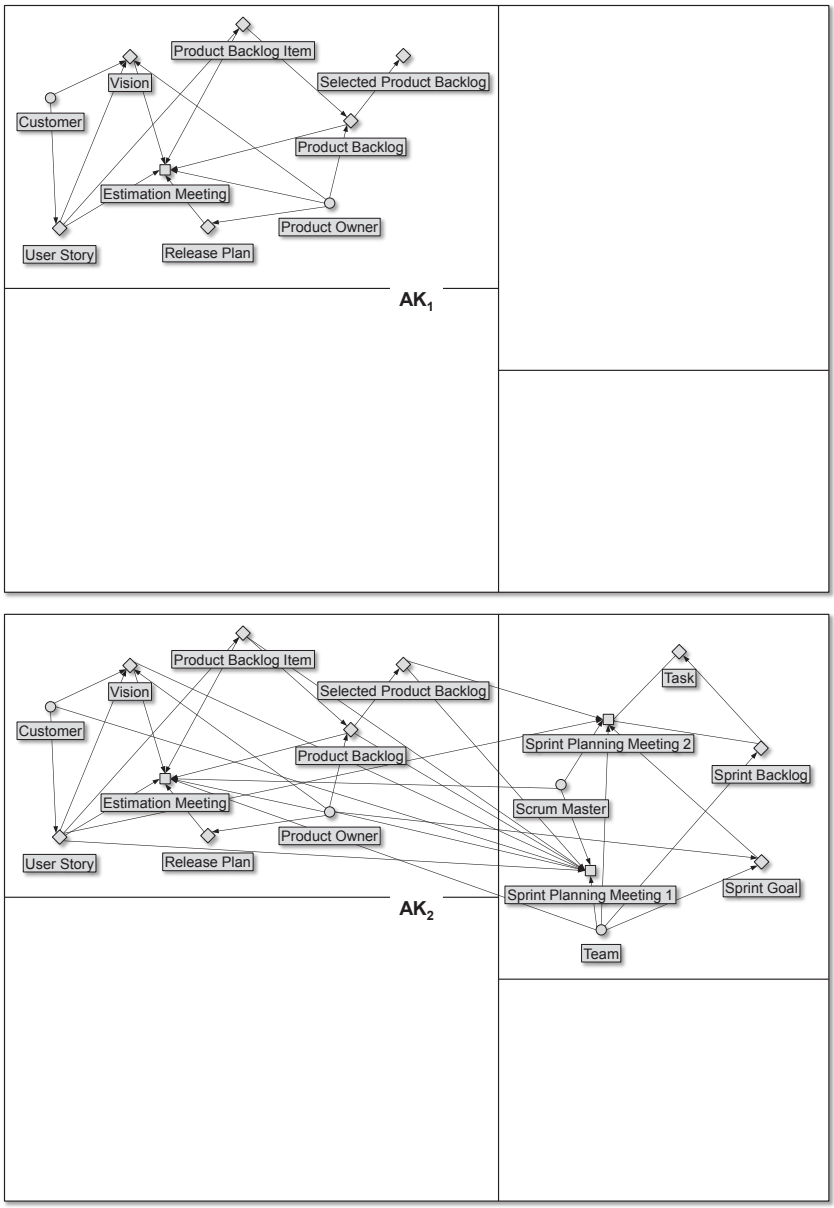
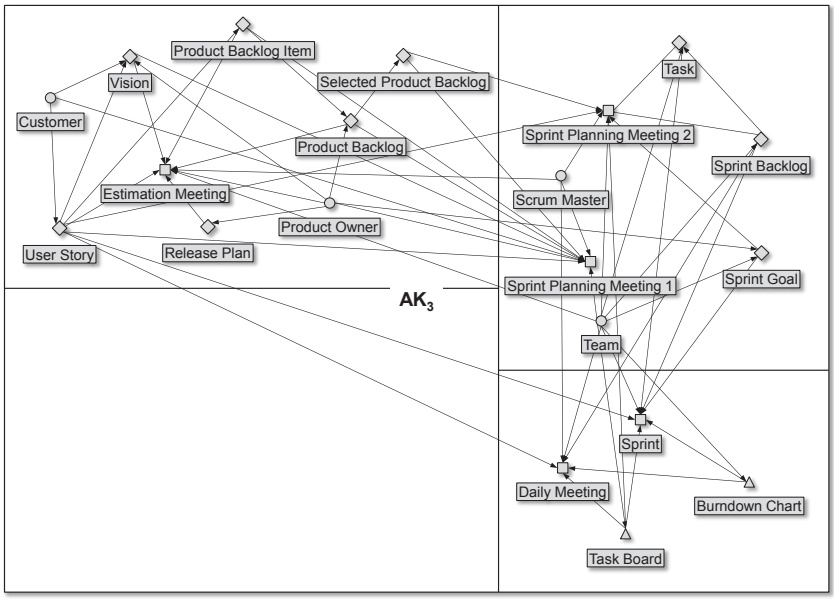


Abbildung A-2: Agilitätsklassen AK_1 und AK_2



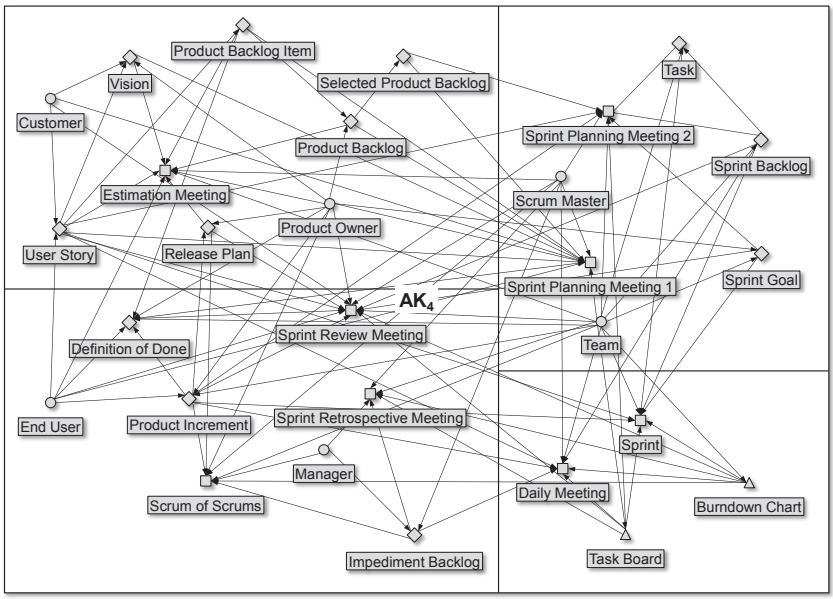


Abbildung A-3: Agilitätsklassen AK_3 und AK_4

A6 Steckbriefe agiler Techniken

Daily Meeting

Synonyme und Beispiele
- Daily Scrum
- Daily Stand-up
- Informales Statutstreffen
- Tagesplanungsmeeting

Agile Technik
- ☑ Ablauf
- ☐ Artefakt
- ☐ Hilfsmittel
- ☐ Rolle

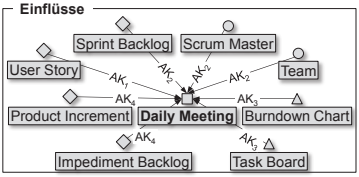
Arbeitsabschnitt
- ☐ Strategische Planung
- ☐ Taktische Planung
- ☑ Durchführung
- ☐ Review und KVP

Agilitätsklasse
- ☐ AK_1
- ☐ AK_2
- ☑ AK_3
- ☑ AK_4

Beschreibung

Tägliches Statustreffen von begrenzter Dauer und zu einer bestimmten Uhrzeit, mit allen Mitgliedern des Teams und unter Moderation des Scrum Masters. Es dient den folgenden Inhalten:
- Darlegung der zurückliegende Tätigkeiten des Vortages, Tätigkeiten des bevorstehenden Entwicklungstages und aufgetretene Hindernisse durch jedes Mitglied des Teams
- Aktualisierung des Burndown Charts und das Task Boards

Einflüsse



Estimation Meeting

Synonyme und Beispiele
- Vorausplanung
- Schätzung

Agile Technik
- ☑ Ablauf
- ☐ Artefakt
- ☐ Hilfsmittel
- ☐ Rolle

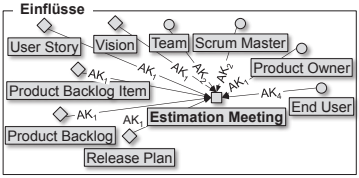
Arbeitsabschnitt
- ☑ Strategische Planung
- ☐ Taktische Planung
- ☐ Durchführung
- ☐ Review und KVP

Agilitätsklasse
- ☑ AK_1
- ☑ AK_2
- ☑ AK_3
- ☑ AK_4

Beschreibung

Regelmäßiges Treffen einmal pro Sprint unter maßgeblicher Beteiligung von Product Owner, Team und End User. Es dient den folgenden Inhalten:
- Kennenlernen und Abschätzen des Funktionsumfangs neuer User Stories
- Aufnahme neuer User Stories in das Product Backlog
- Priorisierung des Product Backlogs (Business Value)
- Aktualisierung und Vervollständigung des Release Plans

Einflüsse



Scrum of Scrums

Synonyme und Beispiele
- Synchronisationstreffen
- Skaliertes Daily Meeting
- Scrum of Scrums der Scrum Master / Product Owner

Agile Technik
- ☑ Ablauf
- ☐ Artefakt
- ☐ Hilfsmittel
- ☐ Rolle

Arbeitsabschnitt
- ☐ Strategische Planung
- ☐ Taktische Planung
- ☐ Durchführung
- ☑ Review und KVP

Agilitätsklasse
- ☐ AK_1
- ☐ AK_2
- ☐ AK_3
- ☑ AK_4

Beschreibung

Tägliches Treffen zwischen Vertretern unterschiedlicher Teams bei skalierten Entwicklungen. In der Regel nehmen Vertreter jeden Teams daran teil. Das Treffen kann auch unter Scrum Mastern, oder Product Ownern stattfinden. Es ist vergleichbar zu Daily Meetings und dient den folgenden Inhalten:
- Bericht über die aktuelle Lage in jedem Team
- Austausch und Synergien
- Impediments und kontinuierlicher Verbesserungsprozess

Einflüsse

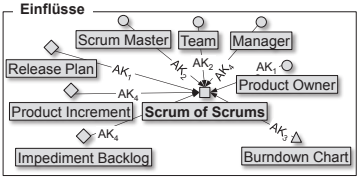


Abbildung A-4: Steckbriefe agiler Abläufe „Daily Meeting“, „Estimation Meeting“ und „Scrum of Scrums“

Sprint

Synonyme und Beispiele
- Entwicklungszeitraum
- Iteration
- Ausführungstreffen

Agile Technik
- ☑ Ablauf
- ☐ Artefakt
- ☐ Hilfsmittel
- ☐ Rolle

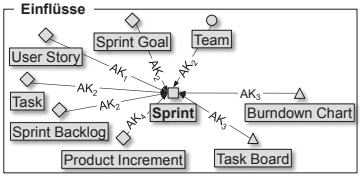
Arbeitsabschnitt
- ☐ Strategische Planung
- ☐ Taktische Planung
- ☑ Durchführung
- ☐ Review und KVP

Agilitätsklasse
- ☐ AK_1
- ☐ AK_2
- ☑ AK_3
- ☑ AK_4

Beschreibung

Zentraler Entwicklungszeitraum des Teams, in dem das Sprint Goal abgearbeitet wird. Ziel ist es, auslieferungsfähige Product Increments zu erstellen. Dazu werden die Tasks abgearbeitet bzw. die User Stories umgesetzt. Der Sprint besteht aus den folgenden Inhalten:
- Konzeption
- Realisierung
- Integration und Test

Einflüsse



Sprint Planning Meeting 1

Synonyme und Beispiele
- Analyse
- Anforderungen klären
- Lastenheft aufsetzen
- Planungstreffen

Agile Technik
- ☑ Ablauf
- ☐ Artefakt
- ☐ Hilfsmittel
- ☐ Rolle

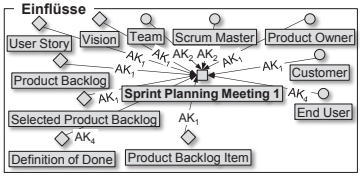
Arbeitsabschnitt
- ☐ Strategische Planung
- ☑ Taktische Planung
- ☐ Durchführung
- ☐ Review und KVP

Agilitätsklasse
- ☐ AK_1
- ☑ AK_2
- ☑ AK_3
- ☑ AK_4

Beschreibung

Treffen zu Beginn der taktischen Planung, an dem der Product Owner, das Team und der Scrum Master teilnehmen. Wahlweise wohnen diesem auch der Customer oder End User bei. Es dient den folgenden Inhalten:
- Inhaltliche Diskussion der User Stories
- Auswahl der zu realisierenden Product Backlog Items für das Selected Product Backlog
- Abstimmung und Festsetzung der Definiton of Done

Einflüsse



Sprint Planning Meeting 2

Synonyme und Beispiele
- Design
- Anforderungen spezifizieren
- Pflichtenheft formulieren
- Planungstreffen

Agile Technik
- ☑ Ablauf
- ☐ Artefakt
- ☐ Hilfsmittel
- ☐ Rolle

Arbeitsabschnitt
- ☐ Strategische Planung
- ☑ Taktische Planung
- ☐ Durchführung
- ☐ Review und KVP

Agilitätsklasse
- ☐ AK_1
- ☑ AK_2
- ☑ AK_3
- ☑ AK_4

Beschreibung

Vorbereitungstreffen eines Sprints, an dem das Team und der Scrum Master teilnehmen. Es dient den folgenden Inhalten:
- Diskussion der User Stories und des Selected Product Backlogs
- Ableiten von konkreten Tasks für das Sprint Backlog
- Formulierung eines Sprint Goals
- Commitment gegenüber dem Product Owner hinsichtlich des Sprint Goals und der Product Increments

Einflüsse

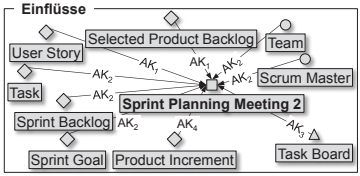


Abbildung A-5: Steckbriefe agiler Abläufe „Sprint“, „Sprint Planning Meeting 1“ und „Sprint Planning Meeting 2“

Sprint Retrospective Meeting

Synonyme und Beispiele
- Kontinuierlicher Verbesserungsprozess
- Verbesserungstreffen
- Diagnose

Agile Technik
- ☑ Ablauf
- ☐ Artefakt
- ☐ Hilfsmittel
- ☐ Rolle

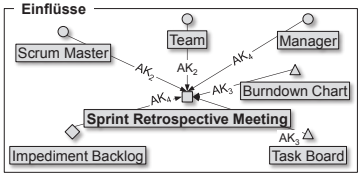
Arbeitsabschnitt
- ☐ Strategische Planung
- ☐ Taktische Planung
- ☐ Durchführung
- ☑ Review und KVP

Agilitätsklasse
- ☐ AK_1
- ☐ AK_2
- ☐ AK_3
- ☑ AK_4

Beschreibung

Treffen zum Abschluss eines Sprints, an dem das Team, der Scrum Master und wahlweise der Manager teilnehmen. Es dient den folgenden Inhalten:
- Analyse des zurückliegenden Entwicklungszeitraums, unter Einsatz von Hilfsmitteln und Artefakten
- Diskussion der Zusammenarbeit im Team
- Vermerken von Hindernissen im Impediment Backlog
- Identifikation von Möglichkeiten und Maßnahmen

Einflüsse



Sprint Review Meeting

Synonyme und Beispiele
- Ergebnispräsentation und -diskussion
- Abnahme
- Kontrolltreffen

Agile Technik
- ☑ Ablauf
- ☐ Artefakt
- ☐ Hilfsmittel
- ☐ Rolle

Arbeitsabschnitt
- ☐ Strategische Planung
- ☐ Taktische Planung
- ☐ Durchführung
- ☑ Review und KVP

Agilitätsklasse
- ☐ AK_1
- ☐ AK_2
- ☐ AK_3
- ☑ AK_4

Beschreibung

Treffen zur Vorstellung der fertiggestellten Funktionalitäten durch das Team, moderiert durch den Product Owner, unter Anwesenheit der Stakeholder. Es dient den folgenden Inhalten:
- Abnahme der Product Increments durch den Product Owner und den End User (wahlweise Customer) entsprechend der Definition of Done
- Diskussion von Ansatzpunkten für Verbesserungen und neue User Stories

Einflüsse

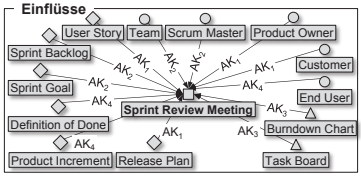


Abbildung A-6: Steckbriefe agiler Abläufe „Sprint Retrospective Meeting“ und „Sprint Review Meeting“

Definition of Done

Synonyme und Beispiele
- Abnahmekriterium
- Quality Gate

Agile Technik
- ☐ Ablauf
- ☑ Artefakt
- ☐ Hilfsmittel
- ☐ Rolle

Arbeitsabschnitt
- ☐ Strategische Planung
- ☐ Taktische Planung
- ☐ Durchführung
- ☑ Review und KVP

Agilitätsklasse
- ☐ AK_1
- ☐ AK_2
- ☐ AK_3
- ☑ AK_4

Beschreibung

Mit dem Product Owner bzw. End User abgestimmtes individuelles Qualitätsverständnis des Teams, wann ein Product Backlog Item als fertiggestellt gilt. Dieses kann den Richtlinien und Standards eines Unternehmens folgen. Es beinhaltet:
- Zu erfüllende Aktivitäten, Lieferungen und die Qualität des Product Backlog Items
- Kriterien für die Abnahme eines Product Increments

Einflüsse

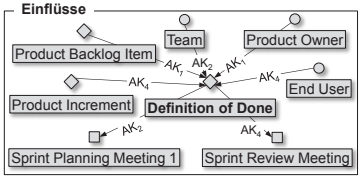


Abbildung A-7: Steckbrief agiles Artefakt „Definition of Done“

Impediment Backlog

Synonyme und Beispiele
- KVP-Liste
- Fehler-Liste
- ToDo-Liste
- Maßnahmenkatalog

Agile Technik
- ☐ Ablauf
- ☑ Artefakt
- ☐ Hilfsmittel
- ☐ Rolle

Arbeitsabschnitt
- ☐ Strategische Planung
- ☐ Taktische Planung
- ☐ Durchführung
- ☑ Review und KVP

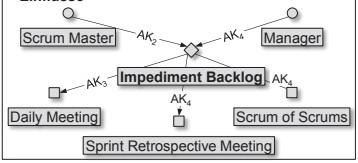
Agilitätsklasse
- ☐ AK_1
- ☐ AK_2
- ☐ AK_3
- ☑ AK_4

Beschreibung

Offentlich sichtbare Arbeitsliste des Scrum Masters, die in den Daily Meetings, Sprint Retrospective Meetings und Scrum of Scrums gefüllt wird. Sie beinhaltet:
- Alle derzeit vorherrschenden Hindernisse, die das Team in seiner Produktivität oder Effizienz einschränken
- Ergriffene Maßnahmen zur Verbesserung der Umstände

Die Beseitigung von Hindernissen obliegt maßgeblich dem Manager und wird vom Scrum Master angestoßen.

Einflüsse



Product Backlog

Synonyme und Beispiele
- Entwicklungs- / Lastenheft
- Anforderungsliste
- Kundenspezifikation
- Freigabemappe

Agile Technik
- ☐ Ablauf
- ☑ Artefakt
- ☐ Hilfsmittel
- ☐ Rolle

Arbeitsabschnitt
- ☑ Strategische Planung
- ☐ Taktische Planung
- ☐ Durchführung
- ☐ Review und KVP

Agilitätsklasse
- ☑ AK_1
- ☑ AK_2
- ☑ AK_3
- ☑ AK_4

Beschreibung

Zentrales Dokument in einem Entwicklungsprojekt, das folgende Bestandteile beinhaltet:
- Randbedingungen und wichtige Entwicklungspunkte
- Anforderungen an das Produkt seitens des Kunden
- Funktionale Gliederung des Produkts
- Definition von eindeutigen Begrifflichkeiten

Abwandlungen: Product Backlog Item (AK_1), Selected Product Backlog (AK_1), Sprint Backlog (AK_2)

Einflüsse

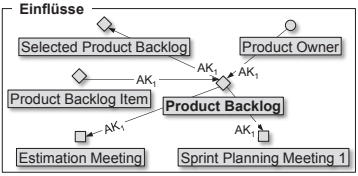


Abbildung A-8: Steckbriefe agiler Artefakte „Impediment Backlog“ und „Product Backlog“

Product Backlog Item

Synonyme und Beispiele
Siehe Product Backlog

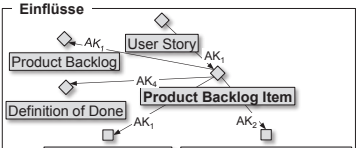
Agile Technik
- ☐ Ablauf
- ☑ Artefakt
- ☐ Hilfsmittel
- ☐ Rolle

Arbeitsabschnitt
- ☑ Strategische Planung
- ☐ Taktische Planung
- ☐ Durchführung
- ☐ Review und KVP

Agilitätsklasse
- ☑ AK_1
- ☑ AK_2
- ☑ AK_3
- ☑ AK_4

Beschreibung
Siehe Product Backlog

Einflüsse



Selected Product Backlog

Synonyme und Beispiele
Siehe Product Backlog

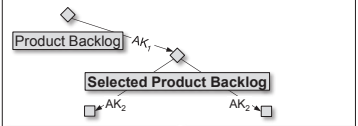
Agile Technik
- ☐ Ablauf
- ☑ Artefakt
- ☐ Hilfsmittel
- ☐ Rolle

Arbeitsabschnitt
- ☑ Strategische Planung
- ☐ Taktische Planung
- ☐ Durchführung
- ☐ Review und KVP

Agilitätsklasse
- ☑ AK_1
- ☑ AK_2
- ☑ AK_3
- ☑ AK_4

Beschreibung
Siehe Product Backlog

Einflüsse



Sprint Backlog

Synonyme und Beispiele
Siehe Product Backlog

Agile Technik
- ☐ Ablauf
- ☑ Artefakt
- ☐ Hilfsmittel
- ☐ Rolle

Arbeitsabschnitt
- ☐ Strategische Planung
- ☑ Taktische Planung
- ☐ Durchführung
- ☐ Review und KVP

Agilitätsklasse
- ☐ AK_1
- ☑ AK_2
- ☑ AK_3
- ☑ AK_4

Beschreibung
Siehe Product Backlog

Einflüsse

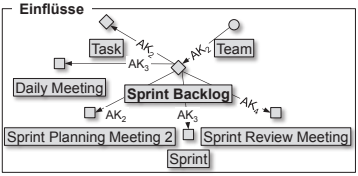


Abbildung A-9: Steckbriefe agiler Artefakte „Product Backlog Item“, „Selected Product Backlog“ und „Sprint Backlog“ (Abwandlungen des „Product Backlogs“)

Product Increment

Synonyme und Beispiele
- Fertiggestellte Produktfunktionalität
- Teilprodukt

Agile Technik
- ☐ Ablauf
- ☑ Artefakt
- ☐ Hilfsmittel
- ☐ Rolle

Arbeitsabschnitt
- ☐ Strategische Planung
- ☐ Taktische Planung
- ☐ Durchführung
- ☑ Review und KVP

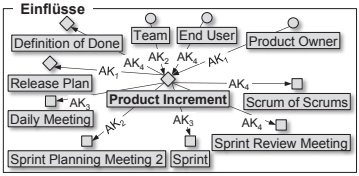
Agilitätsklasse
- ☐ AK_1
- ☐ AK_2
- ☐ AK_3
- ☑ AK_4

Beschreibung

Potenziell benutzbarer und auslieferungsfähiger Teil eines Gesamtproduktes, der im Sprint Planning Meeting 1 vorweggedacht, im Sprint vom Team realisiert und im Sprint Review Meeting auf Grundlage der Definition of Done vom End User abgenommen wird.

In Abwandlungen ist das Product Backlog auch als Zwischenlösung eines Teilproduktes zu verstehen, welche dem Anwender einen Mehrwert bietet.

Einflüsse



Release Plan

Synonyme und Beispiele
- Lieferterminplanung
- Zeitplan
- Meilensteinplanung

Agile Technik
- ☐ Ablauf
- ☑ Artefakt
- ☐ Hilfsmittel
- ☐ Rolle

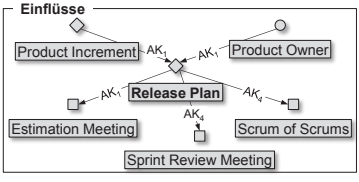
Arbeitsabschnitt
- ☑ Strategische Planung
- ☐ Taktische Planung
- ☐ Durchführung
- ☐ Review und KVP

Agilitätsklasse
- ☑ AK_1
- ☑ AK_2
- ☑ AK_3
- ☑ AK_4

Beschreibung

Ergebnis einer groben Planung des Product Owners, in welchem Sprint gewisse Product Increments ausgeliefert werden sollen. Der Release Plan wird im Estimation Meeting aktualisiert und beim Sprint Review Meeting geprüft. Bei skalierten Entwicklungen kann er dazu dienen, die Auslieferungen von mehreren Teams im Ablauf des Scrum of Scrums aufeinander abzustimmen.

Einflüsse



Sprint Goal

Synonyme und Beispiele
- Entwicklungsziel
- Meilenstein
- Teilziel

Agile Technik
- ☐ Ablauf
- ☑ Artefakt
- ☐ Hilfsmittel
- ☐ Rolle

Arbeitsabschnitt
- ☐ Strategische Planung
- ☑ Taktische Planung
- ☐ Durchführung
- ☐ Review und KVP

Agilitätsklasse
- ☐ AK_1
- ☑ AK_2
- ☑ AK_3
- ☑ AK_4

Beschreibung

Im Sprint Planning Meeting 2 durch das Team bzw. den Product Owner festgelegtes Ziel. Es dient der Fokussierung auf die wesentlichen Ziele im bevorstehenden Sprint bzw. im Sprint Review Meeting. Es sollte nach den SMART-Zielen definiert sein: Spezifisch, Messbar, Akzeptiert, Realistisch, Terminiert.

Einflüsse

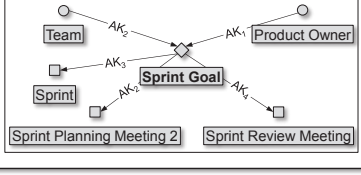


Abbildung A-10: Steckbriefe agiler Artefakte „Product Increment“, „Release Plan“, und „Sprint Goal“

User Story

Synonyme und Beispiele
- Kundenanforderung
- Gewünschte Produkt-funktionalität

Agile Technik
- ☐ Ablauf
- ☑ Artefakt
- ☐ Hilfsmittel
- ☐ Rolle

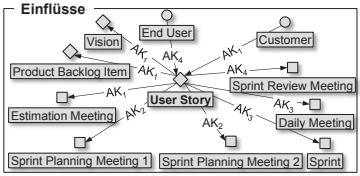
Arbeitsabschnitt
- ☑ Strategische Planung
- ☐ Taktische Planung
- ☐ Durchführung
- ☐ Review und KVP

Agilitätsklasse
- ☑ AK_1
- ☑ AK_2
- ☑ AK_3
- ☑ AK_4

Beschreibung

Vom Anwender gewünschte Anforderung bzw. Funktionalität des Produktes. Die User Story wird formalisiert dargestellt: „Ich als <Rolle> möchte <Anforderung>, damit <Nutzen>“. Sie beinhaltet damit eine konkrete Begründung. Eine oder mehrere User Stories sind Grundlage für die Product Backlog Items. Als Repräsentation des Kundenwunsches, d. h. des Auftraggebers, ist die User Story in jedem Ablauf des Prozesses gegenwärtig.

Einflüsse



Task

Synonyme und Beispiele
- Aufgaben
- Tätigkeiten
- ToDos

Agile Technik
- ☐ Ablauf
- ☑ Artefakt
- ☐ Hilfsmittel
- ☐ Rolle

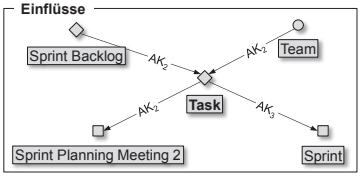
Arbeitsabschnitt
- ☐ Strategische Planung
- ☑ Taktische Planung
- ☐ Durchführung
- ☐ Review und KVP

Agilitätsklasse
- ☐ AK_1
- ☑ AK_2
- ☑ AK_3
- ☑ AK_4

Beschreibung

Vom Team im Sprint Planning Meeting 2 spezifizierte Aufgaben, die zur Realisierung der im Sprint Backlog festgehaltenen User Stories nötig sind. Sie sind technischer Art, können aber auch organisatorisch gehalten sein und werden im Sprint abgearbeitet. Die Tasks sind über die in den Abläufen eingesetzten Hilfsmittel des Burndown Charts und des Task Boards visualisiert.

Einflüsse



Vision

Synonyme und Beispiele
- Vorhabensbeschreibung
- Idee
- Bildhafte Vorstellung
- Kreatives Wunschbild

Agile Technik
- ☐ Ablauf
- ☑ Artefakt
- ☐ Hilfsmittel
- ☐ Rolle

Arbeitsabschnitt
- ☑ Strategische Planung
- ☐ Taktische Planung
- ☐ Durchführung
- ☐ Review und KVP

Agilitätsklasse
- ☑ AK_1
- ☑ AK_2
- ☑ AK_3
- ☑ AK_4

Beschreibung

Vom Product Owner grob formulierte erste Vorstellung des fertigen Produktes. Die Vision wird im Estimation Meeting bzw. dem Sprint Planning Meeting 1 vorgestellt und dient der Versinnbildlichung. Sie ist dazu klar, deutlich, attraktiv und emotional beschrieben.

Einflüsse

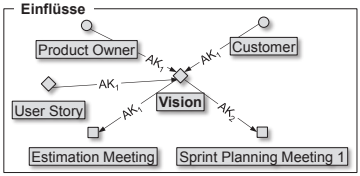


Abbildung A-11: Steckbriefe agiler Artefakte „User Story“, „Task“ und „Vision“

Burndown Chart

Synonyme und Beispiele
- Fortschrittsdiagramm
- Statusdiagramm

Agile Technik
- ☐ Ablauf
- ☐ Artefakt
- ☑ Hilfsmittel
- ☐ Rolle

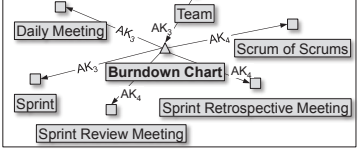
Arbeitsabschnitt
- ☐ Strategische Planung
- ☐ Taktische Planung
- ☑ Durchführung
- ☐ Review und KVP

Agilitätsklasse
- ☐ AK_1
- ☐ AK_2
- ☑ AK_3
- ☑ AK_4

Beschreibung

Einsehbares Diagramm des Entwicklungsfortschrittes, das pro Entwicklungsteam genutzt wird. Es enthält auf der horizontalen Achse die Zeit und auf der vertikalen Achse die verbliebenen Aufgaben, wahlweise mit dem Umfang der Funktionalität (Story Points). Das Burndown Chart wird zu Beginn eines Sprints aufgesetzt und täglich vom Team aktualisiert. Der Soll-Verlauf ergibt sich unter der Annahme, dass pro Tag eine gleichmäßige Anzahl an Funktionalitäten realisiert werden kann.

Einflüsse



Task Board

Synonyme und Beispiele
- ToDo-Liste

Agile Technik
- ☐ Ablauf
- ☐ Artefakt
- ☑ Hilfsmittel
- ☐ Rolle

Arbeitsabschnitt
- ☐ Strategische Planung
- ☐ Taktische Planung
- ☑ Durchführung
- ☐ Review und KVP

Agilitätsklasse
- ☐ AK_1
- ☐ AK_2
- ☑ AK_3
- ☑ AK_4

Beschreibung

Einsehbare Darstellung des Fortschrittes im aktuellen Sprint, die pro Entwicklungsteam genutzt wird. Sie ist eine kombinierte Übersicht aus dem Selected Product Backlog (User Stories) und dem Sprint Backlog (Tasks). In der ersten Spalte werden die User Stories vermerkt. Je Story werden in einer Zeile die zugehörigen Tasks gepflegt. Diese werden je nach Status in die Spalten „offen“, „in Arbeit“ oder „erledigt“ geführt. Das Task Board wird vom Team regelmäßig gepflegt.

Einflüsse

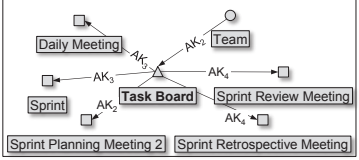


Abbildung A-12: Steckbriefe agile Hilfsmittel „Burndown Chart“ und „Task Board“

Customer

Synonyme und Beispiele
- Kunde
- Auftraggeber
- Finanzier / Einkauf
- Executive Manager

Agile Technik
- ☐ Ablauf
- ☐ Artefakt
- ☐ Hilfsmittel
- ☑ Rolle

Arbeitsabschnitt
- ☑ Strategische Planung
- ☐ Taktische Planung
- ☐ Durchführung
- ☐ Review und KVP

Agilitätsklasse
- ☑ AK_1
- ☑ AK_2
- ☑ AK_3
- ☑ AK_4

Beschreibung

Der Customer beauftragt das Produkt und kann einer externen Firma angehören. Als Budgetverantwortlicher einer internen Produktentwicklung ist er Ansprechpartner für den Product Owner hinsichtlich der Rentabilität des Produktes. Im Prozess nimmt er eine nebensächliche Rolle ein und kann an der Vision, den User Stories sowie dem Sprint Planning Meeting 1 und dem Sprint Review Meeting mitwirken. Die Rolle des Customers kann mit der des End Users kombiniert werden.

Einflüsse

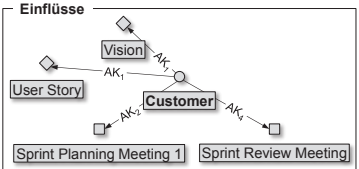


Abbildung A-13: Steckbrief agile Rolle „Customer“

End User

Synonyme und Beispiele
- (End-) Anwender
- Marketing
- Fachexperten
- Externer Berater

Agile Technik
- ☐ Ablauf
- ☐ Artefakt
- ☐ Hilfsmittel
- ☑ Rolle

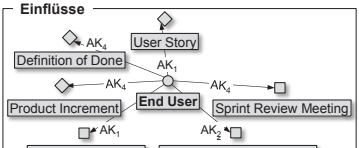
Arbeitsabschnitt
- ☐ Strategische Planung
- ☐ Taktische Planung
- ☐ Durchführung
- ☑ Review und KVP

Agilitätsklasse
- ☐ AK_1
- ☐ AK_2
- ☐ AK_3
- ☑ AK_4

Beschreibung

Der End User nutzt das Produkt und kann unterschiedlichen Bereichen angehören (siehe oben). Er besitzt das meiste Wissen hinsichtlich der Anforderungen bzw. Erwartungen an das Produkt. Der End User formuliert die User Stories, nimmt die Definition of Done ab sowie die Product Increments entgegen. Er ist am Estimation Meeting, Sprint Planning Meeting 1 und Sprint Review Meeting beteiligt. Im Prozess kann er bei Bedarf vom Product Owner vertreten werden.

Einflüsse



Manager

Synonyme und Beispiele
- Bereitsteller
- Disziplinarische Führungskraft

Agile Technik
- ☐ Ablauf
- ☐ Artefakt
- ☐ Hilfsmittel
- ☑ Rolle

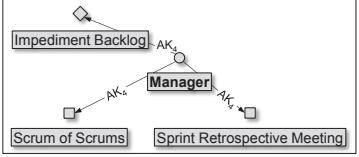
Arbeitsabschnitt
- ☐ Strategische Planung
- ☐ Taktische Planung
- ☐ Durchführung
- ☑ Review und KVP

Agilitätsklasse
- ☐ AK_1
- ☐ AK_2
- ☐ AK_3
- ☑ AK_4

Beschreibung

Der Manager stellt innerhalb der Organisation die Ressourcen bereit und schafft damit den Rahmen, in dem sich die anderen Rollen bewegen. Seine Kernaufgabe ist es, gemeinsam mit dem Scrum Master Hindernisse zu lösen, um die Entwicklung zu fördern und die Strukturen laufend zu verbessern. Er betreibt Personalpolitik, hat also einen Blick auf die Beteiligten, fördert das Team und prüft, dass Product Owner und Scrum Master ihre Aufgaben erfüllen.

Einflüsse



Product Owner

Synonyme und Beispiele
- Projektleiter / -manager
- Führungskraft
- Visionär

Agile Technik
- ☐ Ablauf
- ☐ Artefakt
- ☐ Hilfsmittel
- ☑ Rolle

Arbeitsabschnitt
- ☑ Strategische Planung
- ☐ Taktische Planung
- ☐ Durchführung
- ☐ Review und KVP

Agilitätsklasse
- ☑ AK_1
- ☑ AK_2
- ☑ AK_3
- ☑ AK_4

Beschreibung

Der Product Owner ist verantwortlich für den Erfolg und die Rentabilität des Produktes. Er plant und steuert den Prozess anhand des Release Plans, formuliert die Vision und definiert die maßgeblichen Eigenschaften. Er ist verantwortlich für das Product Backlog und nimmt die Product Increments am Ende eines Sprints ab. Er ist in die Abläufe der Planung und des Reviews involviert und versorgt das Team mit den nötigen Informationen, damit dieses eigenverantwortlich arbeiten kann.

Einflüsse

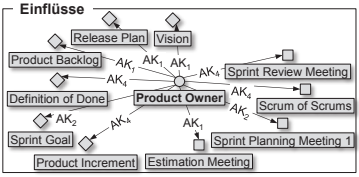


Abbildung A-14: Steckbriefe agiler Rollen „End User“, „Manager“ und „Product Owner“

Scrum Master

Synonyme und Beispiele
- Change Agent
- Team-Leiter / -Sprecher

Agile Technik
- ☐ Ablauf
- ☐ Artefakt
- ☐ Hilfsmittel
- ☑ Rolle

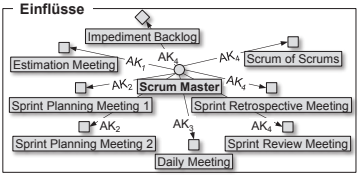
Arbeitsabschnitt
- ☑ Strategische Planung
- ☐ Taktische Planung
- ☐ Durchführung
- ☐ Review und KVP

Agilitätsklasse
- ☑ AK_1
- ☑ AK_2
- ☑ AK_3
- ☑ AK_4

Beschreibung

Der Scrum Master ist verantwortlich für die Einhaltung der Regeln und Vorgaben im Prozess sowie die Beseitigung aller auftretenden Hindernisse, die im Impediment Backlog aufgeführt werden. Er nimmt ohne gesonderte Weisungsbefugnis in allen Abläufen als Moderator teil und ist nur in Ausnahmen in die operative Arbeit am Produkt eingebunden. Seine Kernaufgabe ist es sicherzustellen, dass der Prozess verstanden wird und die anderen Rollen entsprechend geschult sind.

Einflüsse



Team

Synonyme und Beispiele
- Entwickler
- Lieferant

Agile Technik
- ☐ Ablauf
- ☐ Artefakt
- ☐ Hilfsmittel
- ☑ Rolle

Arbeitsabschnitt
- ☑ Strategische Planung
- ☐ Taktische Planung
- ☐ Durchführung
- ☐ Review und KVP

Agilitätsklasse
- ☑ AK_1
- ☑ AK_2
- ☑ AK_3
- ☑ AK_4

Beschreibung

Das Team ist für die Qualität und die Lieferung der Product Increments verantwortlich. Allein das Team entscheidet, *wie* und in *welchem* Zeitraum diese zu realisieren sind. Es besteht aus Vertretern aller Disziplinen, die für die Entwicklung erforderlich sind. Das Team arbeitet eigenverantwortlich und selbstorganisiert zusammen und steht in engem Austausch mit allen anderen Rollen. Es nimmt an allen Abläufen des Prozesses teil und ist für die Pflege der Hilfsmittel verantwortlich.

Einflüsse

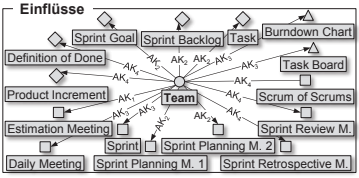


Abbildung A-15: Steckbriefe agiler Rollen „Scrum Master“ und „Team“

Quellen des Anhangs A6:

Beschreibung der agilen Techniken nach GLOGER & HÄUSLING (2011); WIRDEMANN (2011); OPELT ET AL. (2012); RÖPSTORFF & WIECHMANN (2012); GLOGER (2013A); GLOGER (2013B); MAXIMINI (2013)

A7 Datengrundlage des Referenzmodells

Tabelle A-5: Abkürzungen des Kapitels

Abkürzung	Agile Technik	Abkürzung	Agile Technik
BC	Burndown Chart	SG	Sprint Goal
CU	Customer	SM	Scrum Master
DM	Daily Meeting	SoS	Scrum of Scrums
DoD	Definition of Done	SPB	Selected Product Backlog
EM	Estimation Meeting	SPR	Sprint
EU	End User	SP1	Sprint Planning Meeting 1
IB	Impediment Backlog	SP2	Sprint Planning Meeting 2
MA	Manager	SRS	Sprint Retrospective Meeting
PB	Product Backlog	SRV	Sprint Review Meeting
PBI	Product Backlog Item	US	User Story
PI	Product Increment	TA	Task
PO	Product Owner	TB	Task Board
RP	Release Plan	TE	Team
SB	Sprint Backlog	VI	Vision

(AxB)	Agile Technik	
	…	…
Prozessgebiet		
Aktivitätsgruppe		
Aktivität	X	

Legende:
X: Einfluss A: Zeile B: Spalte

Abbildung A-16: Struktur des Referenzmodells

(1x1) *Prozessgebiete, Aktivitätsgruppen und Aktivitäten: MEPROMA (2015) sowie DRESCHER & KLEIN ET AL. (2014) und VDMA (2015B)*

	Abläufe							
	DM	EM	SoS	SPR	SP1	SP2	SRS	SRV
Produktmanagement								
Markt analysieren								
Ermittlung des Ist-Marktanteils.								
Festlegung des Soll-Marktanteils.								
Recherche und Analyse von gesellschaftlichen Trends.								
Definition von Markt-Segmenten.								
Identifikation neu zu erschließender Märkte.								
Interne Berechnung der Rentabilität für das Entwicklungsprojekt.								
Betrachtung der Stabilität von Marktanforderungen.		X						
Bewertung der politischen Stabilität im Kundenland.								
Systematische Prüfung am Markt bestehender Patente.								
Identifikation und Bewertung von Markt- und Mitbewerbern sowie deren Produkte.								
Analyse von Wettbewerbern und Wettbewerbsbenchmark.								
Systematische Sammlung von Kundeninformationen.		X			X			X
Durchführung einer quantifizierbaren Kunden-Nutzen-Bedürfnisanalyse.		X			X			
Produktstrategie festlegen								
Erstellung einer Road-Map über mehrere Jahre als Planungsinstrument.								
Ableitung von Entscheidungen für die eigene Strategie aus den Kundenanforderungen.								
Strukturierung der Produkte nach marktrelevanten Funktionen.								
Auswahl einer geeigneten Sicherheitstechnologie.								
Berücksichtigung von Alleinstellungsmerkmalen.								
Normen, Gesetze und Richtlinien prüfen								
Berücksichtigung von relevanten Gesetzen, Normen, Richtlinien, Vorschriften, Konformitätserklärungen und Standards.								
Berücksichtigung der Einhaltung von Richtlinien des Kunden.				X	X	X		X
Systematische Prüfung bestehender Patentmöglichkeiten.								
Technologien untersuchen								
Systematische Identifikation neuer, bislang nicht eingesetzter Technologien.								
Identifikation, Untersuchung und Vergleich von innovativen Technologien.								
Berücksichtigung von technologischen Weiterentwicklungen.								
Bewertung der eigenen Erfahrungen mit ausgewählten Technologien.								
Analyse der internen Stärken und Schwächen.						X		
Definition von Fertigungs- und Montagetechnologien.								
Anforderungsmanagement								
Anforderungen spezifizieren								
Sammeln der Anforderungen mit eindeutigen und durchgängigen Begrifflichkeiten.					X			
Sammeln von Anforderungen mit dem Vertrieb.					X			
Abbildung von Kundenanforderungen im Vertrag.		X			X			

(1x2) *Prozessgebiete, Aktivitätsgruppen und Aktivitäten: MEPROMA (2015) sowie DRESCHER & KLEIN ET AL. (2014) und VDMA (2015B)*

	Artefakte											
	DoD	IB	PB	PBI	PI	RP	SPB	SB	SG	TA	US	VI
Produktmanagement												
Markt analysieren												
Ermittlung des Ist-Marktanteils.												
Festlegung des Soll-Marktanteils.												
Recherche und Analyse von gesellschaftlichen Trends.												
Definition von Markt-Segmenten.												
Identifikation neu zu erschließender Märkte.												
Interne Berechnung der Rentabilität für das Entwicklungsprojekt.												
Betrachtung der Stabilität von Marktanforderungen.												
Bewertung der politischen Stabilität im Kundenland.												
Systematische Prüfung am Markt bestehender Patente.												
Identifikation und Bewertung von Markt- und Mitbewerbern sowie deren Produkte.												
Analyse von Wettbewerbern und Wettbewerbsbenchmark.												
Systematische Sammlung von Kundeninformationen.											X	X
Durchführung einer quantifizierbaren Kunden-Nutzen-Bedürfnisanalyse.												
Produktstrategie festlegen												
Erstellung einer Road-Map über mehrere Jahre als Planungsinstrument.												
Ableitung von Entscheidungen für die eigene Strategie aus den Kundenanforderungen.												
Strukturierung der Produkte nach marktrelevanten Funktionen.												
Auswahl einer geeigneten Sicherheitstechnologie.												
Berücksichtigung von Alleinstellungsmerkmalen.											X	X
Normen, Gesetze und Richtlinien prüfen												
Berücksichtigung von relevanten Gesetzen, Normen, Richtlinien, Vorschriften, Konformitätserklärungen und Standards.												
Berücksichtigung der Einhaltung von Richtlinien des Kunden.											X	
Systematische Prüfung bestehender Patentmöglichkeiten.												
Technologien untersuchen												
Systematische Identifikation neuer, bislang nicht eingesetzter Technologien.												
Identifikation, Untersuchung und Vergleich von innovativen Technologien.												
Berücksichtigung von technologischen Weiterentwicklungen.												
Bewertung der eigenen Erfahrungen mit ausgewählten Technologien.												
Analyse der internen Stärken und Schwächen.												
Definition von Fertigungs- und Montagetechnologien.												
Anforderungsmanagement												
Anforderungen spezifizieren												
Sammeln der Anforderungen mit eindeutigen und durchgängigen Begrifflichkeiten.	X			X							X	
Sammeln von Anforderungen mit dem Vertrieb.				X								
Abbildung von Kundenanforderungen im Vertrag.	X		X		X	X					X	

(1x3) *Prozessgebiete, Aktivitätsgruppen und Aktivitäten: MEPROMA (2015) sowie DRESCHER & KLEIN ET AL. (2014) und VDMA (2015B)*	Hilfsmittel		Rollen					
	BC	TB	CU	EU	MA	PO	SM	TE
Produktmanagement								
Markt analysieren								
Ermittlung des Ist-Marktanteils.								
Festlegung des Soll-Marktanteils.								
Recherche und Analyse von gesellschaftlichen Trends.								
Definition von Markt-Segmenten.								
Identifikation neu zu erschließender Märkte.								
Interne Berechnung der Rentabilität für das Entwicklungsprojekt.								
Betrachtung der Stabilität von Marktanforderungen.								
Bewertung der politischen Stabilität im Kundenland.								
Systematische Prüfung am Markt bestehender Patente.								
Identifikation und Bewertung von Markt- und Mitbewerbern sowie deren Produkte.								
Analyse von Wettbewerbern und Wettbewerbsbenchmark.								
Systematische Sammlung von Kundeninformationen.						X		
Durchführung einer quantifizierbaren Kunden-Nutzen-Bedürfnisanalyse.						X		
Produktstrategie festlegen								
Erstellung einer Road-Map über mehrere Jahre als Planungsinstrument.								
Ableitung von Entscheidungen für die eigene Strategie aus den Kundenanforderungen.								
Strukturierung der Produkte nach marktrelevanten Funktionen.								
Auswahl einer geeigneten Sicherheitstechnologie.								
Berücksichtigung von Alleinstellungsmerkmalen.			X			X		
Normen, Gesetze und Richtlinien prüfen								
Berücksichtigung von relevanten Gesetzen, Normen, Richtlinien, Vorschriften, Konformitätserklärungen und Standards.								
Berücksichtigung der Einhaltung von Richtlinien des Kunden.			X			X		X
Systematische Prüfung bestehender Patentmöglichkeiten.								
Technologien untersuchen								
Systematische Identifikation neuer, bislang nicht eingesetzter Technologien.								
Identifikation, Untersuchung und Vergleich von innovativen Technologien.								
Berücksichtigung von technologischen Weiterentwicklungen.								
Bewertung der eigenen Erfahrungen mit ausgewählten Technologien.								X
Analyse der internen Stärken und Schwächen.						X	X	X
Definition von Fertigungs- und Montagetechnologien.								
Anforderungsmanagement								
Anforderungen spezifizieren								
Sammeln der Anforderungen mit eindeutigen und durchgängigen Begrifflichkeiten.			X			X		
Sammeln von Anforderungen mit dem Vertrieb.						X		
Abbildung von Kundenanforderungen im Vertrag.						X		

(2x1) *Prozessgebiete, Aktivitätsgruppen und Aktivitäten: MEPROMA (2015) sowie DRESCHER & KLEIN ET AL. (2014) und VDMA (2015B)*

	Abläufe							
	DM	EM	SoS	SPR	SP1	SP2	SRS	SRV
Definition der Zuverlässigkeit der Maschine.								
Integration der branchenspezifischen Sicherheitsvorschriften.								
Definition der Leistungsmerkmale der Maschine.					X			
Definition der Zielkosten und -termine.		X						
Definition der technischen Randbedingungen.					X			
Definition der Bedienungsabläufe.					X			
Integration von neuen Trends.								
Berücksichtigung eines Funktionsbaukastens.	X			X				
Beschreibung der Anwendungsfälle.					X			
Beschreibung verschiedener Bediener-/Nutzersichten der Maschine.					X			
Beschreibung von Maschinenzuständen in einem einheitlichen Format.								
Definition einer Schnittstelle zur Integration von Anforderungen in eine zentrale Datenbasis.								
Verweise zwischen Anforderungen und allen Lösungen innerhalb der zentralen Datenbasis.								
Anforderungen strukturieren								
Definition von MUSS-/KANN-Anforderungen mit dem Kunden.					X			
Definition eines Status für Anforderungen (Erfüllungsgrad).								
Strukturierung der Anforderungen für die Entwicklung der Maschine.		X						
Einheitliche Strukturierung der Anforderungen für den gesamten Funktionsbaukasten und für Testprozesse.					X			
Differenzierung zwischen funktionalen und nicht-funktionalen Anforderungen.					X			
Anforderungen prüfen								
Einbindung der beteiligten Disziplinen in die Spezifikation und Prüfung der Anforderungen.	X		X	X	X			X
Absicherung der Anforderungen durch Diskussion mit den Fachabteilungen und formale Freigabe.					X	X		X
Review mit den Stakeholdern durch Prüfung aller Anforderungen vor Abschluss des Vertrages.								
Bewertung der Zusatznutzen gegenüber Konkurrenzprodukten unter Berücksichtigung der Zielfaktoren.								
Festlegen von Prüfkriterien für Anforderungen.						X		
Dokumentation der Projektentscheidung.						X		
Prüfung und Beurteilung der Machbarkeit aller Anforderungen des Lastenheftes.						X		
Durchführung von detaillierten Machbarkeitsstudien für kritische Produktfunktionalitäten.								
Angebot erstellen								
Klärung der Vertragsinhalte und Durchführung der Vertragsprüfung.		X						X
Durchführung einer Risikoanalyse des Entwicklungsprojektes.		X						
Einheitliches Vorgehen zur Angebotserstellung.								
Systementwurf								
System spezifizieren								
Erstellung einer Funktionsliste auf Grundlage der Anforderungen.				X				
Erstellung und Verwaltung eines ersten Maschinenlayouts.								
Umsetzung der geprüften Anforderungen in das Entwicklungsheft.				X				

(2x2) *Prozessgebiete, Aktivitätsgruppen und Aktivitäten: MEPROMA (2015) sowie DRESCHER & KLEIN ET AL. (2014) und VDMA (2015B)*

	Artefakte											
	DoD	IB	PB	PBI	PI	RP	SPB	SB	SG	TA	US	VI
Definition der Zuverlässigkeit der Maschine.												
Integration der branchenspezifischen Sicherheitsvorschriften.												
Definition der Leistungsmerkmale der Maschine.											X	
Definition der Zielkosten und -termine.				X					X			X
Definition der technischen Randbedingungen.				X							X	
Definition der Bedienungsabläufe.											X	
Integration von neuen Trends.												
Berücksichtigung eines Funktionsbaukastens.				X	X			X				
Beschreibung der Anwendungsfälle.				X				X			X	X
Beschreibung verschiedener Bediener-/Nutzersichten der Maschine.			X									
Beschreibung von Maschinenzuständen in einem einheitlichen Format.												
Definition einer Schnittstelle zur Integration von Anforderungen in eine zentrale Datenbasis.		X	X	X			X	X			X	
Verweise zwischen Anforderungen und allen Lösungen innerhalb der zentralen Datenbasis.		X	X									
Anforderungen strukturieren												
Definition von MUSS-/KANN-Anforderungen mit dem Kunden.	X				X		X					
Definition eines Status für Anforderungen (Erfüllungsgrad).	X									X		
Strukturierung der Anforderungen für die Entwicklung der Maschine.							X					
Einheitliche Strukturierung der Anforderungen für den gesamten Funktionsbaukasten und für Testprozesse.				X								
Differenzierung zwischen funktionalen und nicht-funktionalen Anforderungen.				X					X			
Anforderungen prüfen												
Einbindung der beteiligten Disziplinen in die Spezifikation und Prüfung der Anforderungen.							X		X			
Absicherung der Anforderungen durch Diskussion mit den Fachabteilungen und formale Freigabe.	X											
Review mit den Stakeholdern durch Prüfung aller Anforderungen vor Abschluss des Vertrages.												
Bewertung der Zusatznutzen gegenüber Konkurrenzprodukten unter Berücksichtigung der Zielfaktoren.												
Festlegen von Prüfkriterien für Anforderungen.	X				X	X	X		X			
Dokumentation der Projektentscheidung.			X									
Prüfung und Beurteilung der Machbarkeit aller Anforderungen des Lastenheftes.							X					
Durchführung von detaillierten Machbarkeitsstudien für kritische Produktfunktionalitäten.												
Angebot erstellen												
Klärung der Vertragsinhalte und Durchführung der Vertragsprüfung.						X						
Durchführung einer Risikoanalyse des Entwicklungsprojektes.										X		
Einheitliches Vorgehen zur Angebotserstellung.												
Systementwurf												
System spezifizieren												
Erstellung einer Funktionsliste auf Grundlage der Anforderungen.			X									
Erstellung und Verwaltung eines ersten Maschinenlayouts.												
Umsetzung der geprüften Anforderungen in das Entwicklungsheft.			X									

(2x3) *Prozessgebiete, Aktivitätsgruppen und Aktivitäten: MEPROMA (2015) sowie DRESCHER & KLEIN ET AL. (2014) und VDMA (2015B)*

	Hilfsmittel		Rollen					
	BC	TB	CU	EU	MA	PO	SM	TE
Definition der Zuverlässigkeit der Maschine.								
Integration der branchenspezifischen Sicherheitsvorschriften.								
Definition der Leistungsmerkmale der Maschine.			X					
Definition der Zielkosten und -termine.			X			X		
Definition der technischen Randbedingungen.								X
Definition der Bedienungsabläufe.				X				X
Integration von neuen Trends.								
Berücksichtigung eines Funktionsbaukastens.							X	X
Beschreibung der Anwendungsfälle.				X				
Beschreibung verschiedener Bediener-/Nutzersichten der Maschine.				X				
Beschreibung von Maschinenzuständen in einem einheitlichen Format.								
Definition einer Schnittstelle zur Integration von Anforderungen in eine zentrale Datenbasis.						X		
Verweise zwischen Anforderungen und allen Lösungen innerhalb der zentralen Datenbasis.								
Anforderungen strukturieren								
Definition von MUSS-/KANN-Anforderungen mit dem Kunden.	X	X	X			X		
Definition eines Status für Anforderungen (Erfüllungsgrad).	X	X						X
Strukturierung der Anforderungen für die Entwicklung der Maschine.						X		
Einheitliche Strukturierung der Anforderungen für den gesamten Funktionsbaukasten und für Testprozesse.		X				X		
Differenzierung zwischen funktionalen und nicht-funktionalen Anforderungen.		X				X		X
Anforderungen prüfen								
Einbindung der beteiligten Disziplinen in die Spezifikation und Prüfung der Anforderungen.			X	X	X	X	X	X
Absicherung der Anforderungen durch Diskussion mit den Fachabteilungen und formale Freigabe.						X		X
Review mit den Stakeholdern durch Prüfung aller Anforderungen vor Abschluss des Vertrages.								
Bewertung der Zusatznutzen gegenüber Konkurrenzprodukten unter Berücksichtigung der Zielfaktoren.								
Festlegen von Prüfkriterien für Anforderungen.		X				X		X
Dokumentation der Projektentscheidung.		X				X		
Prüfung und Beurteilung der Machbarkeit aller Anforderungen des Lastenheftes.								X
Durchführung von detaillierten Machbarkeitsstudien für kritische Produktfunktionalitäten.								
Angebot erstellen								
Klärung der Vertragsinhalte und Durchführung der Vertragsprüfung.			X	X		X		
Durchführung einer Risikoanalyse des Entwicklungsprojektes.								X
Einheitliches Vorgehen zur Angebotserstellung.								
Systementwurf								
System spezifizieren								
Erstellung einer Funktionsliste auf Grundlage der Anforderungen.						X		
Erstellung und Verwaltung eines ersten Maschinenlayouts.								
Umsetzung der geprüften Anforderungen in das Entwicklungsheft.						X		

(3x1) *Prozessgebiete, Aktivitätsgruppen und Aktivitäten: MEPROMA (2015) sowie DRESCHER & KLEIN ET AL. (2014) und VDMA (2015B)*

	Abläufe							
	DM	EM	SoS	SPR	SP1	SP2	SRS	SRV
Erstellung eines Strukturplans für das System.								
Erstellung eines Strukturplans für die Funktionen.								
Erstellung einer Funktionsbeschreibung.								
Erstellung und Verwaltung einer disziplinenübergreifenden Stückliste.								
Verwaltung von Konzepten und Ideen.	X		X	X				
Erarbeitung von mindestens zwei Lösungsvorschlägen inkl. zeichnerischer Darstellung.				X				
Suchen bereits vorhandener disziplinspezifischer Lösungsvarianten.				X				
Suchen bereits vorhandener disziplinenübergreifender Lösungsvarianten.				X				
Prüfung der Wiederverwendbarkeit vorhandener Funktionsbausteine.				X				
Zukäufe von Komponenten und Geräten prüfen.		X						
Darstellung von Statusinformationen in den Strukturplänen.								
Erstellung eines Montagekonzeptes für Lösungsvorschläge.								
Erstellung einer Spezifikation der Einbaugegebenheiten für Komponenten.								
Erstellung eines Verpackungs- und Installationskonzeptes für den Versand der Maschine.								
Definition von Anforderungen an die Produktion.						X		
System strukturieren								
Anlegung einer Moduldatenbank.								
Zentrale Erstellung und Verwaltung eines Funktionsbaukastens.								
Plastische Darstellung der benötigten Funktionen des Maschinensystems.								
Zentrale Erstellung und Verwaltung von Spezifikationen für Funktionsbausteine.								
Definieren der Funktionsbausteine aus Komponenten.						X		
Dokumentation der technischen Anforderung für Funktionen.								
Verknüpfung von Dokumenten und Teillösungen der einzelnen Disziplinen.			X					
Systementwurf prüfen								
Prüfung der Konsistenz zwischen Anforderungen und Lösungen.				X			X	
Berücksichtigung der Benutzerfreundlichkeit bei der Konzeptauswahl.				X				
Disziplinübergreifende Abstimmung verschiedener Lösungsansätze.			X	X				
Freigabe der Lösungsspezifikation durch den Auftraggeber.								X
Schaffen eines gemeinsamen Verständnisses für die gewählte technische Lösung mit dem Kunden.					X			X
Einholen technologischer Erfahrungen des Kunden.					X			
Bewertung u. Priorisierung aller Lösungsvarianten u. Dokumentation der Auswahl nach klaren Entscheidungskriterien.				X				
Prüfung der erarbeiteten Lösungsspezifikation mit dem Kunden.								X
Systematische Suche nach Einsparpotenzialen.								
Absicherung kritischer Funktionalitäten durch Tests.								
Durchführung einer FMEA für Elemente der zentralen Datenbasis.								
Schnittstellen spezifizieren								
Spezifikation der Schnittstellen zwischen den Funktionen.								

(3x2) *Prozessgebiete, Aktivitätsgruppen und Aktivitäten: MEPROMA (2015) sowie DRESCHER & KLEIN ET AL. (2014) und VDMA (2015B)*

	Artefakte											
	DoD	IB	PB	PBI	PI	RP	SPB	SB	SG	TA	US	VI
Erstellung eines Strukturplans für das System.												
Erstellung eines Strukturplans für die Funktionen.												
Erstellung einer Funktionsbeschreibung.												
Erstellung und Verwaltung einer disziplinenübergreifenden Stückliste.												
Verwaltung von Konzepten und Ideen.			X								X	X
Erarbeitung von mindestens zwei Lösungsvorschlägen inkl. zeichnerischer Darstellung.										X		
Suchen bereits vorhandener disziplinspezifischer Lösungsvarianten.										X		
Suchen bereits vorhandener disziplinenübergreifender Lösungsvarianten.										X		
Prüfung der Wiederverwendbarkeit vorhandener Funktionsbausteine.										X		
Zukäufe von Komponenten und Geräten prüfen.												
Darstellung von Statusinformationen in den Strukturplänen.												
Erstellung eines Montagekonzeptes für Lösungsvorschläge.												
Erstellung einer Spezifikation der Einbaugegebenheiten für Komponenten.												
Erstellung eines Verpackungs- und Installationskonzeptes für den Versand der Maschine.												
Definition von Anforderungen an die Produktion.								X		X	X	
System strukturieren												
Anlegung einer Moduldatenbank.												
Zentrale Erstellung und Verwaltung eines Funktionsbaukastens.												
Plastische Darstellung der benötigten Funktionen des Maschinensystems.												
Zentrale Erstellung und Verwaltung von Spezifikationen für Funktionsbausteine.												
Definieren der Funktionsbausteine aus Komponenten.					X						X	
Dokumentation der technischen Anforderung für Funktionen.												
Verknüpfung von Dokumenten und Teillösungen der einzelnen Disziplinen.								X				
Systementwurf prüfen												
Prüfung der Konsistenz zwischen Anforderungen und Lösungen.					X						X	
Berücksichtigung der Benutzerfreundlichkeit bei der Konzeptauswahl.										X		
Disziplinübergreifende Abstimmung verschiedener Lösungsansätze.		X					X			X		
Freigabe der Lösungsspezifikation durch den Auftraggeber.	X											
Schaffen eines gemeinsamen Verständnisses für die gewählte technische Lösung mit dem Kunden.									X			
Einholen technologischer Erfahrungen des Kunden.												
Bewertung u. Priorisierung aller Lösungsvarianten u. Dokumentation der Auswahl nach klaren Entscheidungskriterien.										X		
Prüfung der erarbeiteten Lösungsspezifikation mit dem Kunden.					X				X			
Systematische Suche nach Einsparpotenzialen.												
Absicherung kritischer Funktionalitäten durch Tests.												
Durchführung einer FMEA für Elemente der zentralen Datenbasis.												
Schnittstellen spezifizieren												
Spezifikation der Schnittstellen zwischen den Funktionen.												

(3x3) *Prozessgebiete, Aktivitätsgruppen und Aktivitäten: MEPROMA (2015) sowie DRESCHER & KLEIN ET AL. (2014) und VDMA (2015B)*	Hilfsmittel		Rollen					
	BC	TB	CU	EU	MA	PO	SM	TE
Erstellung eines Strukturplans für das System.								
Erstellung eines Strukturplans für die Funktionen.								
Erstellung einer Funktionsbeschreibung.								
Erstellung und Verwaltung einer disziplinenübergreifenden Stückliste.								
Verwaltung von Konzepten und Ideen.		X				X		X
Erarbeitung von mindestens zwei Lösungsvorschlägen inkl. zeichnerischer Darstellung.								X
Suchen bereits vorhandener disziplinspezifischer Lösungsvarianten.								X
Suchen bereits vorhandener disziplinenübergreifender Lösungsvarianten.								X
Prüfung der Wiederverwendbarkeit vorhandener Funktionsbausteine.								X
Zukäufe von Komponenten und Geräten prüfen.					X	X		
Darstellung von Statusinformationen in den Strukturplänen.								
Erstellung eines Montagekonzeptes für Lösungsvorschläge.								
Erstellung einer Spezifikation der Einbaugegebenheiten für Komponenten.								
Erstellung eines Verpackungs- und Installationskonzeptes für den Versand der Maschine.								
Definition von Anforderungen an die Produktion.			X	X		X		X
System strukturieren								
Anlegung einer Moduldatenbank.								
Zentrale Erstellung und Verwaltung eines Funktionsbaukastens.								
Plastische Darstellung der benötigten Funktionen des Maschinensystems.								
Zentrale Erstellung und Verwaltung von Spezifikationen für Funktionsbausteine.								
Definieren der Funktionsbausteine aus Komponenten.								X
Dokumentation der technischen Anforderung für Funktionen.								
Verknüpfung von Dokumenten und Teillösungen der einzelnen Disziplinen.								X
Systementwurf prüfen								
Prüfung der Konsistenz zwischen Anforderungen und Lösungen.			X					X
Berücksichtigung der Benutzerfreundlichkeit bei der Konzeptauswahl.								
Disziplinübergreifende Abstimmung verschiedener Lösungsansätze.							X	X
Freigabe der Lösungsspezifikation durch den Auftraggeber.		X	X			X		X
Schaffen eines gemeinsamen Verständnisses für die gewählte technische Lösung mit dem Kunden.			X			X		X
Einholen technologischer Erfahrungen des Kunden.			X			X		
Bewertung u. Priorisierung aller Lösungsvarianten u. Dokumentation der Auswahl nach klaren Entscheidungskriterien.								X
Prüfung der erarbeiteten Lösungsspezifikation mit dem Kunden.			X			X	X	X
Systematische Suche nach Einsparpotenzialen.								
Absicherung kritischer Funktionalitäten durch Tests.								
Durchführung einer FMEA für Elemente der zentralen Datenbasis.								
Schnittstellen spezifizieren								
Spezifikation der Schnittstellen zwischen den Funktionen.								

(4x1) *Prozessgebiete, Aktivitätsgruppen und Aktivitäten: MEPROMA (2015) sowie DRESCHER & KLEIN ET AL. (2014) und VDMA (2015B)*

	Abläufe							
	DM	EM	SoS	SPR	SP1	SP2	SRS	SRV
Spezifikation der Schnittstellen zwischen Umgebung und Maschinensystem.								
Spezifikation von Benutzerschnittstellen und Bedienungsabläufen.								
Spezifikation von Service- und Diagnose-Schnittstellen.								
Definition von Sicherheitskreisen und -richtlinien.								
Schnittstellen prüfen								
Prüfung der Schnittstellen zu externen Systemen des Kunden.								
Prüfung aller Schnittstellen hinsichtlich der Erfüllung der Anforderungen.								
Prüfung aller Schnittstellen hinsichtlich eines internen Standards.								
Prüfung aller Schnittstellen hinsichtlich der Sicherheit.								
Spezifikation von Tests für Schnittstellen.								
Systemrealisierung								
Software realisieren								
Erstellen von statischen Software-Strukturen.								
Erstellen von dynamischen Software-Strukturen.								
Spezifikation und Implementierung der Mensch-Maschine-Schnittstelle.								
Spezifikation und Implementierung der PLC Ablaufsteuerung und Hardware-Konfiguration.								
Schnittstelle zur Integration von SPS Quellcode in eine zentrale Datenbasis.								
Spezifikation und Implementierung der NC-Software.								
Simulation der NC-Abläufe auf Grundlage von 3D-Modellen.								
Schnittstelle zur Integration von NC-Quellcode in eine zentrale Datenbasis.								
Schnittstelle zur Integration von Quellcode verschiedener Programmiersprachen in eine zentrale Datenbasis.								
Möglichkeit zur Durchführung von HIL Tests auf Grundlage der zentralen Datenbasis.								
Möglichkeit zur Durchführung von SIL Tests auf Grundlage der zentralen Datenbasis.								
Spezifikation von Schnittstellen der beteiligten Software-Komponenten.								
Definition und Integration von Entwicklungsumgebungen für Software-Komponenten.								
Dokumentation aller Code-Teile.								
Elektrik/Elektronik realisieren								
Verwendung eines geeigneten CAD-Systems.								
Erstellung eines Entwurfs unter Berücksichtigung von Richtlinien.								
Integration von ECAD-Daten in der Stückliste.								
Definition von Schnittstellen und Abhängigkeiten zu weiteren Systemeinheiten und -komponenten.								
Prüfung der elektromagnetischen Verträglichkeit und des Klimabereichs.								
Integration von Aufbau- und Kabelplänen in der Stückliste.								
Festlegung der Sensorik/ Aktorik nach Vorgaben und Nachbildung der Geometrie bzgl. Lage.								
Berücksichtigung von relevanten Sicherheitsaspekten.								
Prüfung der Integrationsfähigkeit der spezifizierten Elektrik/Elektronik zur Mechanik.								
Analyse des Zeitverhaltens.								

(4x2) *Prozessgebiete, Aktivitätsgruppen und Aktivitäten: MEPROMA (2015) sowie DRESCHER & KLEIN ET AL. (2014) und VDMA (2015B)*	Artefakte											
	DoD	IB	PB	PBI	PI	RP	SPB	SB	SG	TA	US	VI
Spezifikation der Schnittstellen zwischen Umgebung und Maschinensystem.												
Spezifikation von Benutzerschnittstellen und Bedienungsabläufen.												
Spezifikation von Service- und Diagnose-Schnittstellen.												
Definition von Sicherheitskreisen und -richtlinien.												
Schnittstellen prüfen												
Prüfung der Schnittstellen zu externen Systemen des Kunden.								X	X	X		
Prüfung aller Schnittstellen hinsichtlich der Erfüllung der Anforderungen.												
Prüfung aller Schnittstellen hinsichtlich eines internen Standards.												
Prüfung aller Schnittstellen hinsichtlich der Sicherheit.												
Spezifikation von Tests für Schnittstellen.												
Systemrealisierung												
Software realisieren												
Erstellen von statischen Software-Strukturen.												
Erstellen von dynamischen Software-Strukturen.												
Spezifikation und Implementierung der Mensch-Maschine-Schnittstelle.												
Spezifikation und Implementierung der PLC Ablaufsteuerung und Hardware-Konfiguration.												
Schnittstelle zur Integration von SPS Quellcode in eine zentrale Datenbasis.												
Spezifikation und Implementierung der NC-Software.												
Simulation der NC-Abläufe auf Grundlage von 3D-Modellen.												
Schnittstelle zur Integration von NC-Quellcode in eine zentrale Datenbasis.												
Schnittstelle zur Integration von Quellcode verschiedener Programmiersprachen in eine zentrale Datenbasis.												
Möglichkeit zur Durchführung von HIL Tests auf Grundlage der zentralen Datenbasis.												
Möglichkeit zur Durchführung von SIL Tests auf Grundlage der zentralen Datenbasis.												
Spezifikation von Schnittstellen der beteiligten Software-Komponenten.												
Definition und Integration von Entwicklungsumgebungen für Software-Komponenten.												
Dokumentation aller Code-Teile.												
Elektrik/Elektronik realisieren												
Verwendung eines geeigneten CAD-Systems.												
Erstellung eines Entwurfs unter Berücksichtigung von Richtlinien.												
Integration von ECAD-Daten in der Stückliste.												
Definition von Schnittstellen und Abhängigkeiten zu weiteren Systemeinheiten und -komponenten.												
Prüfung der elektromagnetischen Verträglichkeit und des Klimabereichs.												
Integration von Aufbau- und Kabelplänen in der Stückliste.												
Festlegung der Sensorik/ Aktorik nach Vorgaben und Nachbildung der Geometrie bzgl. Lage.												
Berücksichtigung von relevanten Sicherheitsaspekten.												
Prüfung der Integrationsfähigkeit der spezifizierten Elektrik/Elektronik zur Mechanik.												
Analyse des Zeitverhaltens.												

(4x3) *Prozessgebiete, Aktivitätsgruppen und Aktivitäten: MEPROMA (2015) sowie DRESCHER & KLEIN ET AL. (2014) und VDMA (2015B)*	Hilfsmittel		Rollen					
	BC	TB	CU	EU	MA	PO	SM	TE
Spezifikation der Schnittstellen zwischen Umgebung und Maschinensystem.								
Spezifikation von Benutzerschnittstellen und Bedienungsabläufen.								
Spezifikation von Service- und Diagnose-Schnittstellen.								
Definition von Sicherheitskreisen und -richtlinien.								
Schnittstellen prüfen								
Prüfung der Schnittstellen zu externen Systemen des Kunden.			X			X		X
Prüfung aller Schnittstellen hinsichtlich der Erfüllung der Anforderungen.								
Prüfung aller Schnittstellen hinsichtlich eines internen Standards.								
Prüfung aller Schnittstellen hinsichtlich der Sicherheit.								
Spezifikation von Tests für Schnittstellen.								
Systemrealisierung								
Software realisieren								
Erstellen von statischen Software-Strukturen.								
Erstellen von dynamischen Software-Strukturen.								
Spezifikation und Implementierung der Mensch-Maschine-Schnittstelle.								
Spezifikation und Implementierung der PLC Ablaufsteuerung und Hardware-Konfiguration.								
Schnittstelle zur Integration von SPS Quellcode in eine zentrale Datenbasis.								
Spezifikation und Implementierung der NC-Software.								
Simulation der NC-Abläufe auf Grundlage von 3D-Modellen.								
Schnittstelle zur Integration von NC-Quellcode in eine zentrale Datenbasis.								
Schnittstelle zur Integration von Quellcode verschiedener Programmiersprachen in eine zentrale Datenbasis.								
Möglichkeit zur Durchführung von HIL Tests auf Grundlage der zentralen Datenbasis.								
Möglichkeit zur Durchführung von SIL Tests auf Grundlage der zentralen Datenbasis.								
Spezifikation von Schnittstellen der beteiligten Software-Komponenten.								
Definition und Integration von Entwicklungsumgebungen für Software-Komponenten.								
Dokumentation aller Code-Teile.								
Elektrik/Elektronik realisieren								
Verwendung eines geeigneten CAD-Systems.								
Erstellung eines Entwurfs unter Berücksichtigung von Richtlinien.								
Integration von ECAD-Daten in der Stückliste.								
Definition von Schnittstellen und Abhängigkeiten zu weiteren Systemeinheiten und -komponenten.								
Prüfung der elektromagnetischen Verträglichkeit und des Klimabereichs.								
Integration von Aufbau- und Kabelplänen in der Stückliste.								
Festlegung der Sensorik/ Aktorik nach Vorgaben und Nachbildung der Geometrie bzgl. Lage.								
Berücksichtigung von relevanten Sicherheitsaspekten.								
Prüfung der Integrationsfähigkeit der spezifizierten Elektrik/Elektronik zur Mechanik.								
Analyse des Zeitverhaltens.								

(5x1) *Prozessgebiete, Aktivitätsgruppen und Aktivitäten: MEPROMA (2015) sowie DRESCHER & KLEIN ET AL. (2014) und VDMA (2015B)*	Abläufe							
	DM	EM	SoS	SPR	SP1	SP2	SRS	SRV
Prüfung der Eignung der spezifizierten Elektrik/Elektronik als Plattform für die Software.								
Berücksichtigung der Anforderungen an die Verfügbarkeit des Produkts beim Elektrik/Elektronik-Entwurf.								
Ableitung von Elektrik-/Elektronik-Spezifikationen aus den Systemspezifikationen.								
Freigabe der Dokumente zur Spezifikation der Elektrik/Elektronik.								
Prüfung und Zuordnung aller Elektrik-/Elektronik-Anforderungen der spezifizierten Komponenten.								
Schnittstelle zur Integration von ECAD-Daten und Modellen in eine zentrale Datenbasis.								
Erstellung von Sensor-Aktor-Listen auf Grundlage der MCAD- und ECAD-Datenbasis.								
Mechanik realisieren								
Festlegung von Konstruktionszeichnungen, CAD, Stücklisten, Teilearten, Fluidplänen etc.								
Spezifikation von Norm-, Kauf- und Fertigungsteilen.								
Festlegung der Kopplung zwischen Werkzeugen (CAD/CAM).								
Installation und Einstellung der Maschinen.								
Festlegung der Schnittstellen und der Bauteil-Struktur.								
Sicherstellen der Integrationsfähigkeit der spezifizierten Mechanik zur Elektrik/Elektronik.								
Ableiten der Mechanik-Spezifikationen aus der Systemspezifikation.								
Definition von Mechanik-Anforderungen für spezifizierte Komponenten.								
Erstellung von Konstruktionszeichnungen, CAD-Modellen, etc.								
Errichtung einer Schnittstelle zur Integration von MCAD-Daten und Modellen in eine zentrale Datenbasis.								
Aufwandsarme Erstellung von Mechanik-Simulationen auf Grundlage einer zentralen Datenbasis.								
Kontinuierliche Verfeinerung von Mechanik-Simulationen auf Grundlage aktueller ECAD-und MCAD-Daten.								
System realisieren								
Beachtung von Sicherheitsrichtlinien in der Lösungsfindung.								
Definition von Design-Richtlinien für Software-, Elektrik-, Elektronik- und Mechanik-Komponenten.						X		
Spezifikation und Bewertung von Lösungsvarianten.								
Fühzeitige Fehlerfindung von Mechanik, Elektrik/Elektronik und Software-Problemen.	X							
Erstellung von Prototypen.				X				X
Lösungsalternativen der technischen Aufgabe erstellen.				X		X		
Anfertigen von Stammstücklisten.								
Bereitstellung von technischen Unterlagen der kompletten Maschine.								
Erkennung von Kollisionen, Rückfluss von Erkenntnissen in die laufende Konstruktion.								
Zusammenbau aller Funktionseinheiten.				X				X
Erstellung eines abgestimmten Fertigungskonzepts für alle Disziplinen.								
Erzeugen einer Schnittstelle zur Integration von Daten für die Produktdokumentation.				X				
Erstellung von Ablauf- und Flussdiagrammen zur Darstellung zeitlicher Abläufe und Sequenzen.								
Qualitätssicherung								
Testphasen unterstützen								
Test von Kompontenten und Funktionsbausteinen.				X				

(5x2) *Prozessgebiete, Aktivitätsgruppen und Aktivitäten: MEPROMA (2015) sowie DRESCHER & KLEIN ET AL. (2014) und VDMA (2015B)*

	Artefakte											
	DoD	IB	PB	PBI	PI	RP	SPB	SB	SG	TA	US	VI
Prüfung der Eignung der spezifizierten Elektrik/Elektronik als Plattform für die Software.												
Berücksichtigung der Anforderungen an die Verfügbarkeit des Produkts beim Elektrik/Elektronik-Entwurf.												
Ableitung von Elektrik-/Elektronik-Spezifikationen aus den Systemspezifikationen.												
Freigabe der Dokumente zur Spezifikation der Elektrik/Elektronik.												
Prüfung und Zuordnung aller Elektrik-/Elektronik-Anforderungen der spezifizierten Komponenten.												
Schnittstelle zur Integration von ECAD-Daten und Modellen in eine zentrale Datenbasis.												
Erstellung von Sensor-Aktor-Listen auf Grundlage der MCAD- und ECAD-Datenbasis.												
Mechanik realisieren												
Festlegung von Konstruktionszeichnungen, CAD, Stücklisten, Teilearten, Fluidplänen etc.												
Spezifikation von Norm-, Kauf- und Fertigungsteilen.												
Festlegung der Kopplung zwischen Werkzeugen (CAD/CAM).												
Installation und Einstellung der Maschinen.												
Festlegung der Schnittstellen und der Bauteil-Struktur.												
Sicherstellen der Integrationsfähigkeit der spezifizierten Mechanik zur Elektrik/Elektronik.												
Ableiten der Mechanik-Spezifikationen aus der Systemspezifikation.												
Definition von Mechanik-Anforderungen für spezifizierte Komponenten.												
Erstellung von Konstruktionszeichnungen, CAD-Modellen, etc.												
Errichtung einer Schnittstelle zur Integration von MCAD-Daten und Modellen in eine zentrale Datenbasis.												
Aufwandsarme Erstellung von Mechanik-Simulationen auf Grundlage einer zentralen Datenbasis.												
Kontinuierliche Verfeinerung von Mechanik-Simulationen auf Grundlage aktueller ECAD-und MCAD-Daten.												
System realisieren												
Beachtung von Sicherheitsrichtlinien in der Lösungsfindung.												
Definition von Design-Richtlinien für Software-, Elektrik-, Elektronik- und Mechanik-Komponenten.	X									X	X	
Spezifikation und Bewertung von Lösungsvarianten.												
Fühzeitige Fehlerfindung von Mechanik, Elektrik/Elektronik und Software-Problemen.		X								X		
Erstellung von Prototypen.					X							
Lösungsalternativen der technischen Aufgabe erstellen.	X											
Anfertigen von Stammstücklisten.												
Bereitstellung von technischen Unterlagen der kompletten Maschine.												
Erkennung von Kollisionen, Rückfluss von Erkenntnissen in die laufende Konstruktion.												
Zusammenbau aller Funktionseinheiten.	X				X							
Erstellung eines abgestimmten Fertigungskonzepts für alle Disziplinen.												
Erzeugen einer Schnittstelle zur Integration von Daten für die Produktdokumentation.				X								
Erstellung von Ablauf- und Flussdiagrammen zur Darstellung zeitlicher Abläufe und Sequenzen.												
Qualitätssicherung												
Testphasen unterstützen												
Test von Kompontenten und Funktionsbausteinen.												

(5x3) *Prozessgebiete, Aktivitätsgruppen und Aktivitäten: MEPROMA (2015) sowie DRESCHER & KLEIN ET AL. (2014) und VDMA (2015B)*	Hilfsmittel		Rollen					
	BC	TB	CU	EU	MA	PO	SM	TE
Prüfung der Eignung der spezifizierten Elektrik/Elektronik als Plattform für die Software.								
Berücksichtigung der Anforderungen an die Verfügbarkeit des Produkts beim Elektrik/Elektronik-Entwurf.								
Ableitung von Elektrik-/Elektronik-Spezifikationen aus den Systemspezifikationen.								
Freigabe der Dokumente zur Spezifikation der Elektrik/Elektronik.								
Prüfung und Zuordnung aller Elektrik-/Elektronik-Anforderungen der spezifizierten Komponenten.								
Schnittstelle zur Integration von ECAD-Daten und Modellen in eine zentrale Datenbasis.								
Erstellung von Sensor-Aktor-Listen auf Grundlage der MCAD- und ECAD-Datenbasis.								
Mechanik realisieren								
Festlegung von Konstruktionszeichnungen, CAD, Stücklisten, Teilearten, Fluidplänen etc.								
Spezifikation von Norm-, Kauf- und Fertigungsteilen.								
Festlegung der Kopplung zwischen Werkzeugen (CAD/CAM).								
Installation und Einstellung der Maschinen.								
Festlegung der Schnittstellen und der Bauteil-Struktur.								
Sicherstellen der Integrationsfähigkeit der spezifizierten Mechanik zur Elektrik/Elektronik.								
Ableiten der Mechanik-Spezifikationen aus der Systemspezifikation.								
Definition von Mechanik-Anforderungen für spezifizierte Komponenten.								
Erstellung von Konstruktionszeichnungen, CAD-Modellen, etc.								
Errichtung einer Schnittstelle zur Integration von MCAD-Daten und Modellen in eine zentrale Datenbasis.								
Aufwandsarme Erstellung von Mechanik-Simulationen auf Grundlage einer zentralen Datenbasis.								
Kontinuierliche Verfeinerung von Mechanik-Simulationen auf Grundlage aktueller ECAD-und MCAD-Daten.								
System realisieren								
Beachtung von Sicherheitsrichtlinien in der Lösungsfindung.								
Definition von Design-Richtlinien für Software-, Elektrik-, Elektronik- und Mechanik-Komponenten.			X	X		X		
Spezifikation und Bewertung von Lösungsvarianten.								
Fühzeitige Fehlerfindung von Mechanik, Elektrik/Elektronik und Software-Problemen.			X				X	X
Erstellung von Prototypen.								X
Lösungsalternativen der technischen Aufgabe erstellen.								X
Anfertigen von Stammstücklisten.								
Bereitstellung von technischen Unterlagen der kompletten Maschine.								
Erkennung von Kollisionen, Rückfluss von Erkenntnissen in die laufende Konstruktion.								
Zusammenbau aller Funktionseinheiten.								X
Erstellung eines abgestimmten Fertigungskonzepts für alle Disziplinen.								
Erzeugen einer Schnittstelle zur Integration von Daten für die Produktdokumentation.								X
Erstellung von Ablauf- und Flussdiagrammen zur Darstellung zeitlicher Abläufe und Sequenzen.								
Qualitätssicherung								
Testphasen unterstützen								
Test von Kompontenten und Funktionsbausteinen.								X

(6x1) *Prozessgebiete, Aktivitätsgruppen und Aktivitäten: MEPROMA (2015) sowie DRESCHER & KLEIN ET AL. (2014) und VDMA (2015B)*

	Abläufe							
	DM	EM	SoS	SPR	SP1	SP2	SRS	SRV
Erstellung eines Plans der Mechanik-/ Elektrik-/ Software-Komponententests zur schrittweisen Integration.		X				X		
Sicherstellung der rechtzeitigen Bereitstellung der Testumgebung.				X				
Übernahme von Testplänen und -ergebnissen des Lieferanten.								
Festlegung der zu integrierenden Komponenten und Funktionsbausteine.					X			
Systemtest unter kundennahen Bedingungen.				X				X
Vortests mittels Prototypen von mechanischen/ hydraulischen/ elektrischen Komponentenen.				X				X
Tests mittels Simulation von mechanischen/ regelungstechnischen Komponenten.				X				
Build-Server, Daily Build, Nightly Test im Rahmen der Softwareentwicklung anwenden.	X			X				X
Statische Codeanalyse zur Optimierung der Software.				X				
Test/Prüfung planen								
Definition von Testfällen auf Grundlage von funktionalen Anforderungen.					X	X		
Definition der Durchführbarkeit von Tests.								
Definition von Abnahme- und Freigabekriterien aus den Leistungsmerkmalen zur Produktfreigabe.					X			
Berücksichtigung von Erfahungswissen bei der Auswahl von Testfällen.				X				
Erstellen eines Qualitätssicherungsplans und Verwendung innerhalb kontinuierlicher Testphasen.								
Terminierung der Testfälle zur frühzeitigen Fehlererkennung.				X				
Erstellung eines Software-Qualitätshandbuchs.								
Aufbau von standardisierten Testbeschreibungen zur vollumfänglichen Dokumentation der Tests.								
Erstellen von Prüfplänen für System- und Integrationstests inkl. Ressourcenplanung.								
Planung von Tests im Fehlerfall.						X		
Planung von Risikoanalysen anhand der Maschinenrichtlinie.								
Spezifikation von zu testenden Anwendungsfällen des Kunden.					X			
Definition von Testfällen zur mechatronischen Integration.				X				
Definition von Teststrategien für Regressionstests.				X				
Definition von Reviews zur Spiegelung der Testfälle an den späteren, realen Einsatzbedingungen.				X				
Planung von Langzeittests zur Bewertung der Zuverlässigkeit.								
Planung von FMEA.								
Priorisierung der Testfälle.								
Definition von unterschiedlichen Testarten.						X		
Definition von projektübergreifenden Teststrategien.								
Prüfen der Möglichkeiten für automatische Tests.				X				
Definition von Testumgebungen für die Testphasen.						X		
Test/Prüfung vorbereiten								
Bereitstellung von Testumgebungen, Versorgungsmitteln und Personal auf Grundlage der Prüfpläne.								X
Bereitstellung von Testbeschreibungen.					X			
Bereitstellung des Testobjektes mit benötigtem Reifegrad.								
Anpassen der Regressionstests an die Projektrandbedingungen.								

(6x2) *Prozessgebiete, Aktivitätsgruppen und Aktivitäten: MEPROMA (2015) sowie DRESCHER & KLEIN ET AL. (2014) und VDMA (2015B)*	Artefakte											
	DoD	IB	PB	PBI	PI	RP	SPB	SB	SG	TA	US	VI
Erstellung eines Plans der Mechanik-/ Elektrik-/ Software-Komponententests zur schrittweisen Integration.								X	X			
Sicherstellung der rechtzeitigen Bereitstellung der Testumgebung.								X				
Übernahme von Testplänen und -ergebnissen des Lieferanten.												
Festlegung der zu integrierenden Komponenten und Funktionsbausteine.										X		
Systemtest unter kundennahen Bedingungen.					X				X			
Vortests mittels Prototypen von mechanischen/ hydraulischen/ elektrischen Kompontenten.										X		
Tests mittels Simulation von mechanischen/ regelungstechnischen Komponenten.										X		
Build-Server, Daily Build, Nightly Test im Rahmen der Softwareentwicklung anwenden.										X		
Statische Codeanalyse zur Optimierung der Software.										X		
Test/Prüfung planen												
Definition von Testfällen auf Grundlage von funktionalen Anforderungen.										X		
Definition der Durchführbarkeit von Tests.												
Definition von Abnahme- und Freigabekriterien aus den Leistungsmerkmalen zur Produktfreigabe.	X											
Berücksichtigung von Erfahungswissen bei der Auswahl von Testfällen.												
Erstellen eines Qualitätssicherungsplans und Verwendung innerhalb kontinuierlicher Testphasen.												
Terminierung der Testfälle zur frühzeitigen Fehlererkennung.									X			
Erstellung eines Software-Qualitätshandbuchs.												
Aufbau von standardisierten Testbeschreibungen zur vollumfänglichen Dokumentation der Tests.												
Erstellen von Prüfplänen für System- und Integrationstests inkl. Ressourcenplanung.												
Planung von Tests im Fehlerfall.				X								
Planung von Risikoanalysen anhand der Maschinenrichtlinie.												
Spezifikation von zu testenden Anwendungsfällen des Kunden.				X								
Definition von Testfällen zur mechatronischen Integration.				X								
Definition von Teststrategien für Regressionstests.				X								
Definition von Reviews zur Spiegelung der Testfälle an den späteren, realen Einsatzbedingungen.	X			X								
Planung von Langzeittests zur Bewertung der Zuverlässigkeit.												
Planung von FMEA.												
Priorisierung der Testfälle.												
Definition von unterschiedlichen Testarten.										X		
Definition von projektübergreifenden Teststrategien.												
Prüfen der Möglichkeiten für automatische Tests.										X		
Definition von Testumgebungen für die Testphasen.				X								
Test/Prüfung vorbereiten												
Bereitstellung von Testumgebungen, Versorgungsmitteln und Personal auf Grundlage der Prüfpläne.												
Bereitstellung von Testbeschreibungen.												
Bereitstellung des Testobjektes mit benötigtem Reifegrad.												
Anpassen der Regressionstests an die Projektrandbedingungen.												

(6x3) *Prozessgebiete, Aktivitätsgruppen und Aktivitäten: MEPROMA (2015) sowie DRESCHER & KLEIN ET AL. (2014) und VDMA (2015B)*

	Hilfsmittel		Rollen					
	BC	TB	CU	EU	MA	PO	SM	TE
Erstellung eines Plans der Mechanik-/ Elektrik-/ Software-Komponententests zur schrittweisen Integration.		X						X
Sicherstellung der rechtzeitigen Bereitstellung der Testumgebung.				X	X		X	X
Übernahme von Testplänen und -ergebnissen des Lieferanten.								
Festlegung der zu integrierenden Komponenten und Funktionsbausteine.						X		X
Systemtest unter kundennahen Bedingungen.			X			X		X
Vortests mittels Prototypen von mechanischen/ hydraulischen/ elektrischen Komponenten.			X			X		X
Tests mittels Simulation von mechanischen/ regelungstechnischen Komponenten.								X
Build-Server, Daily Build, Nightly Test im Rahmen der Softwareentwicklung anwenden.			X					X
Statische Codeanalyse zur Optimierung der Software.								
Test/Prüfung planen								
Definition von Testfällen auf Grundlage von funktionalen Anforderungen.						X		X
Definition der Durchführbarkeit von Tests.								
Definition von Abnahme- und Freigabekriterien aus den Leistungsmerkmalen zur Produktfreigabe.			X			X		X
Berücksichtigung von Erfahungswissen bei der Auswahl von Testfällen.				X				X
Erstellen eines Qualitätssicherungsplans und Verwendung innerhalb kontinuierlicher Testphasen.								
Terminierung der Testfälle zur frühzeitigen Fehlererkennung.								X
Erstellung eines Software-Qualitätshandbuchs.								
Aufbau von standardisierten Testbeschreibungen zur vollumfänglichen Dokumentation der Tests.								
Erstellen von Prüfplänen für System- und Integrationstests inkl. Ressourcenplanung.								
Planung von Tests im Fehlerfall.								X
Planung von Risikoanalysen anhand der Maschinenrichtlinie.								
Spezifikation von zu testenden Anwendungsfällen des Kunden.			X			X		
Definition von Testfällen zur mechatronischen Integration.								X
Definition von Teststrategien für Regressionstests.								X
Definition von Reviews zur Spiegelung der Testfälle an den späteren, realen Einsatzbedingungen.							X	X
Planung von Langzeittests zur Bewertung der Zuverlässigkeit.								
Planung von FMEA.								
Priorisierung der Testfälle.								
Definition von unterschiedlichen Testarten.								X
Definition von projektübergreifenden Teststrategien.						X	X	X
Prüfen der Möglichkeiten für automatische Tests.								X
Definition von Testumgebungen für die Testphasen.				X				
Test/Prüfung vorbereiten								
Bereitstellung von Testumgebungen, Versorgungsmitteln und Personal auf Grundlage der Prüfpläne.			X	X				
Bereitstellung von Testbeschreibungen.								X
Bereitstellung des Testobjektes mit benötigtem Reifegrad.								
Anpassen der Regressionstests an die Projektrandbedingungen.								

(7x1) *Prozessgebiete, Aktivitätsgruppen und Aktivitäten: MEPROMA (2015) sowie DRESCHER & KLEIN ET AL. (2014) und VDMA (2015B)*	Abläufe							
	DM	EM	SoS	SPR	SP1	SP2	SRS	SRV
Erstellung von Testchecklisten für Elemente der zentralen Datenbasis.				X				
Test/Prüfung durchführen								
Durchführung und Dokumentation von disziplinspezifischen Testfällen bei Komponententests.				X				
Durchführung der Tests von einfachen Abläufen und Funktionen laut den definierten Anwendungsfällen.				X				
Systematische Durchführung von disziplinübergreifenden Reviews.	X		X	X				X
Identifikation und Dokumentation von offenen Punkten in der Testbeschreibung.							X	
Durchführung aller Testfälle nach Prüfplan.								
Umsetzung der geplanten Teststrategie für Regressionstests.				X				
Durchführung der automatisierten Regressionstests nach Planung.				X				
Dokumentation des Testfall-Status und Entscheidung möglicher Reaktionen.				X				
Test/Prüfung dokumentieren								
Dokumentation der positiven und negativen Test-/Prüfergebnisse in der Testbeschreibung.				X				
Dokumentation offener / nicht behobener Fehler außerhalb der Testbeschreibungen.								
Archvierung der abgearbeiteten Testbeschreibungen.								
Dokumentation der Probleme/Risiken bei der Testdurchführung in der Testbeschreibung.								
Mechatronische Verknüpfung der Testbeschreibungen auf allen Teststufen.								
Automatisierte Erstellung von Testbeschreibungen bei automatisierten Tests.								
Test/Prüfung analysieren								
Fallbasierte Dokumentation von Fehlerursachen zur Vermeidung von zukünftigen Fehlern.								
Dokumentation der Reviewdaten.	X							X
Einteilung zw. tolerierbaren und zu behebenden Fehlern und Festlegung der Reihenfolge der Fehlerbehebung.								
Bewertung der Auswirkungen einer Fehlerbehebung.								
Wiederholte Testplanung/-durchführung nach Fehlerbehebung.				X		X		
Berechnung von Testtiefe und -abdeckung auf Grundlage der Anforderungen.								
Erstellen einer Historie der aufgetretenen Fehler und Definition von Kennzahlen zu Fehlern.								
Produktreife sicherstellen								
Erstellung einer anwendergerechten Bedienungsanleitung.								
Dokumentation der Risiken im Gebrauch des Produktes.								
Erstellung von Test- und Prüfplänen für das Serienprodukt.								
Erstellung der Montageanleitungen für Produktion und Service.								
Validierung der Kriterien, Festlegung der Personen und Dokumentation der Ergebnisse der Produktfreigabe.								
Gezielte Freigabe einzelner Optionen anhand von Produktkonfigurationen.								X
Abnahme vorbereiten								
Abnahme anhand der definierten Abnahme- und Freigabekriterien sowie Abläufe aus den Leistungsmerkmalen.								X
Abnahme des Produktes vom Kunden.								X
Erstellung eines Abnahmeprotokolls.								
Analyse der Ergebnisse und Festlegung weiterer Schritte.								

(7x2) *Prozessgebiete, Aktivitätsgruppen und Aktivitäten: MEPROMA (2015) sowie DRESCHER & KLEIN ET AL. (2014) und VDMA (2015B)*

	Artefakte											
	DoD	IB	PB	PBI	PI	RP	SPB	SB	SG	TA	US	VI
Erstellung von Testchecklisten für Elemente der zentralen Datenbasis.										X		
Test/Prüfung durchführen												
Durchführung und Dokumentation von disziplinspezifischen Testfällen bei Komponententests.										X		
Durchführung der Tests von einfachen Abläufen und Funktionen laut den definierten Anwendungsfällen.					X			X				
Systematische Durchführung von disziplinübergreifenden Reviews.				X								
Identifikation und Dokumentation von offenen Punkten in der Testbeschreibung.		X				X						
Durchführung aller Testfälle nach Prüfplan.												
Umsetzung der geplanten Teststrategie für Regressionstests.										X		
Durchführung der automatisierten Regressionstests nach Planung.										X		
Dokumentation des Testfall-Status und Entscheidung möglicher Reaktionen.		X				X		X		X		
Test/Prüfung dokumentieren												
Dokumentation der positiven und negativen Test-/Prüfergebnisse in der Testbeschreibung.		X				X				X		
Dokumentation offener / nicht behobener Fehler außerhalb der Testbeschreibungen.												
Archvierung der abgearbeiteten Testbeschreibungen.												
Dokumentation der Probleme/Risiken bei der Testdurchführung in der Testbeschreibung.												
Mechatronische Verknüpfung der Testbeschreibungen auf allen Teststufen.												
Automatisierte Erstellung von Testbeschreibungen bei automatisierten Tests.												
Test/Prüfung analysieren												
Fallbasierte Dokumentation von Fehlerursachen zur Vermeidung von zukünftigen Fehlern.												
Dokumentation der Reviewdaten.										X		
Einteilung zw. tolerierbaren und zu behebenden Fehlern und Festlegung der Reihenfolge der Fehlerbehebung.												
Bewertung der Auswirkungen einer Fehlerbehebung.												
Wiederholte Testplanung/-durchführung nach Fehlerbehebung.				X								
Berechnung von Testtiefe und -abdeckung auf Grundlage der Anforderungen.												
Erstellen einer Historie der aufgetretenen Fehler und Definition von Kennzahlen zu Fehlern.												
Produktreife sicherstellen												
Erstellung einer anwendergerechten Bedienungsanleitung.												
Dokumentation der Risiken im Gebrauch des Produktes.												
Erstellung von Test- und Prüfplänen für das Serienprodukt.												
Erstellung der Montageanleitungen für Produktion und Service.												
Validierung der Kriterien, Festlegung der Personen und Dokumentation der Ergebnisse der Produktfreigabe.	X				X							
Gezielte Freigabe einzelner Optionen anhand von Produktkonfigurationen.	X				X							
Abnahme vorbereiten												
Abnahme anhand der definierten Abnahme- und Freigabekriterien sowie Abläufe aus den Leistungsmerkmalen.	X				X							
Abnahme des Produktes vom Kunden.	X				X				X			
Erstellung eines Abnahmeprotokolls.												
Analyse der Ergebnisse und Festlegung weiterer Schritte.												

(7x3) *Prozessgebiete, Aktivitätsgruppen und Aktivitäten: MEPROMA (2015) sowie DRESCHER & KLEIN ET AL. (2014) und VDMA (2015B)*	Hilfsmittel		Rollen					
	BC	TB	CU	EU	MA	PO	SM	TE
Erstellung von Testchecklisten für Elemente der zentralen Datenbasis.						X		X
Test/Prüfung durchführen								
Durchführung und Dokumentation von disziplinspezifischen Testfällen bei Komponententests.								
Durchführung der Tests von einfachen Abläufen und Funktionen laut den definierten Anwendungsfällen.								X
Systematische Durchführung von disziplinübergreifenden Reviews.			X	X		X	X	X
Identifikation und Dokumentation von offenen Punkten in der Testbeschreibung.		X						X
Durchführung aller Testfälle nach Prüfplan.								
Umsetzung der geplanten Teststrategie für Regressionstests.								X
Durchführung der automatisierten Regressionstests nach Planung.								X
Dokumentation des Testfall-Status und Entscheidung möglicher Reaktionen.								X
Test/Prüfung dokumentieren								
Dokumentation der positiven und negativen Test-/Prüfergebnisse in der Testbeschreibung.	X	X						X
Dokumentation offener / nicht behobener Fehler außerhalb der Testbeschreibungen.								
Archvierung der abgearbeiteten Testbeschreibungen.								
Dokumentation der Probleme/Risiken bei der Testdurchführung in der Testbeschreibung.								
Mechatronische Verknüpfung der Testbeschreibungen auf allen Teststufen.								
Automatisierte Erstellung von Testbeschreibungen bei automatisierten Tests.								
Test/Prüfung analysieren								
Fallbasierte Dokumentation von Fehlerursachen zur Vermeidung von zukünftigen Fehlern.								
Dokumentation der Reviewdaten.								X
Einteilung zw. tolerierbaren und zu behebenden Fehlern und Festlegung der Reihenfolge der Fehlerbehebung.								
Bewertung der Auswirkungen einer Fehlerbehebung.								
Wiederholte Testplanung/-durchführung nach Fehlerbehebung.						X		X
Berechnung von Testtiefe und -abdeckung auf Grundlage der Anforderungen.								
Erstellen einer Historie der aufgetretenen Fehler und Definition von Kennzahlen zu Fehlern.								
Produktreife sicherstellen								
Erstellung einer anwendergerechten Bedienungsanleitung.								
Dokumentation der Risiken im Gebrauch des Produktes.								
Erstellung von Test- und Prüfplänen für das Serienprodukt.								
Erstellung der Montageanleitungen für Produktion und Service.								
Validierung der Kriterien, Festlegung der Personen und Dokumentation der Ergebnisse der Produktfreigabe.			X			X		X
Gezielte Freigabe einzelner Optionen anhand von Produktkonfigurationen.			X			X		
Abnahme vorbereiten								
Abnahme anhand der definierten Abnahme- und Freigabekriterien sowie Abläufe aus den Leistungsmerkmalen.				X		X		X
Abnahme des Produktes vom Kunden.			X			X		X
Erstellung eines Abnahmeprotokolls.								
Analyse der Ergebnisse und Festlegung weiterer Schritte.								

(8x1) *Prozessgebiete, Aktivitätsgruppen und Aktivitäten: MEPROMA (2015) sowie DRESCHER & KLEIN ET AL. (2014) und VDMA (2015B)*

	Abläufe							
	DM	EM	SoS	SPR	SP1	SP2	SRS	SRV
Interne Vorabnahme ohne Kunde und anhand kundenspezifischer Testfälle.	X			X				X
Dokumentation der ermittelten Einstell-/Abnahmedaten.								
Nutzung vorbereiten								
Abschließen von Service- und Wartungsverträgen mit dem Kunden.								
Schulung und Einweisung der Servicemitarbeiter in das neue Produkt.								
Zugriff der Service-Mitarbeiter auf das Konfigurationsmanagementsystem.								
Ermöglichung von Updates und Upgrades.								
Festlegung der Strategie zur Produktmodifikation.								
Schulungsprogramm für Kundenmitarbeiter erstellen.								
Berücksichtigung der Fehler während der Nutzung bei Neuentwicklungen.								
Projektplanung								
Ablauf planen								
Erstellen eines Projektplans mit Arbeitspaketen und Meilensteinen und deren zeitliche Verknüpfung.		X						
Definition von Visualisierungstechniken für den Ablauf des Projekts.				X				
Definition von Arbeitspaketen gleichen Aufwands bzw. gleicher Dauer.						X		
Definition von prüfbaren Meilensteinen mit erforderlichen Ergebnissen und Dokumenten.						X		
Definition von regelmäßigen Besprechungen zum Abgleich der verschiedenen Disziplinen.	X							
Berücksichtigung von Zeitpuffern für Änderungen im Projektplan.					X			
Abschätzung des Grobaufwandes der Aktivitäten aller beteiligten Rollen.	X					X		
Definition der Arbeitsaufwände in den einzelnen Projektphasen.		X						
Planung von internen Reviews für alle Disziplinen.			X				X	X
Budget planen								
Vorkalkulation auf Grundlage von Herstell- und Herstellungskosten.								
Definition eines Zielbereichs für das Produktportfolio.								
Berechnung des Deckungsbeitrags.								
Definition eines Kostenfaktors für Rückstellungen.								
Aufgliederung und Sortierung nach benutzerspezifischen Modulen.								
Abschätzung des Kostenprofils für die wesentlichen Funktionen.								
Durchführung einer Investitionsrechnung.								
Zeitpunkt des Break-Even ermitteln.								
Zuschläge für Qualitätsmaßnahmen festlegen.								
Interne Kostenverrechnung anhand der Arbeitspakete.								
Ressourcen planen								
Festlegung der Rollen und Zuordnung von Personen zu Rollen.	X							
Zuordnung zwischen Personal und Projektplanung pro Arbeitspaket.	X							
Ressourcenplanung unter Berücksichtigung von Verfügbarkeiten.		X	X		X			
Verfügbarkeitsprüfung von Ressourcen in Abhängigkeit von Terminen und Grundlast.					X			

(8x2) *Prozessgebiete, Aktivitätsgruppen und Aktivitäten: MEPROMA (2015) sowie DRESCHER & KLEIN ET AL. (2014) und VDMA (2015B)*	Artefakte											
	DoD	IB	PB	PBI	PI	RP	SPB	SB	SG	TA	US	VI
Interne Vorabnahme ohne Kunde und anhand kundenspezifischer Testfälle.												
Dokumentation der ermittelten Einstell-/Abnahmedaten.												
Nutzung vorbereiten												
Abschließen von Service- und Wartungsverträgen mit dem Kunden.												
Schulung und Einweisung der Servicemitarbeiter in das neue Produkt.												
Zugriff der Service-Mitarbeiter auf das Konfigurationsmanagementsystem.												
Ermöglichung von Updates und Upgrades.												
Festlegung der Strategie zur Produktmodifikation.												
Schulungsprogramm für Kundenmitarbeiter erstellen.												
Berücksichtigung der Fehler während der Nutzung bei Neuentwicklungen.												
Projektplanung												
Ablauf planen												
Erstellen eines Projektplans mit Arbeitspaketen und Meilensteinen und deren zeitliche Verknüpfung.			X			X		X	X			
Definition von Visualisierungstechniken für den Ablauf des Projekts.			X									
Definition von Arbeitspaketen gleichen Aufwands bzw. gleicher Dauer.							X	X		X		
Definition von prüfbaren Meilensteinen mit erforderlichen Ergebnissen und Dokumenten.	X									X		
Definition von regelmäßigen Besprechungen zum Abgleich der verschiedenen Disziplinen.												
Berücksichtigung von Zeitpuffern für Änderungen im Projektplan.										X		
Abschätzung des Grobaufwandes der Aktivitäten aller beteiligten Rollen.				X				X	X	X		
Definition der Arbeitsaufwände in den einzelnen Projektphasen.							X					
Planung von internen Reviews für alle Disziplinen.					X							
Budget planen												
Vorkalkulation auf Grundlage von Herstell- und Herstellungskosten.												
Definition eines Zielbereichs für das Produktportfolio.												
Berechnung des Deckungsbeitrags.												
Definition eines Kostenfaktors für Rückstellungen.												
Aufgliederung und Sortierung nach benutzerspezifischen Modulen.												
Abschätzung des Kostenprofils für die wesentlichen Funktionen.												
Durchführung einer Investitionsrechnung.												
Zeitpunkt des Break-Even ermitteln.												
Zuschläge für Qualitätsmaßnahmen festlegen.												
Interne Kostenverrechnung anhand der Arbeitspakete.												
Ressourcen planen												
Festlegung der Rollen und Zuordnung von Personen zu Rollen.												
Zuordnung zwischen Personal und Projektplanung pro Arbeitspaket.										X		
Ressourcenplanung unter Berücksichtigung von Verfügbarkeiten.												
Verfügbarkeitsprüfung von Ressourcen in Abhängigkeit von Terminen und Grundlast.												

(8x3) *Prozessgebiete, Aktivitätsgruppen und Aktivitäten: MEPROMA (2015) sowie DRESCHER & KLEIN ET AL. (2014) und VDMA (2015B)*

	Hilfsmittel		Rollen					
	BC	TB	CU	EU	MA	PO	SM	TE
Interne Vorabnahme ohne Kunde und anhand kundenspezifischer Testfälle.								X
Dokumentation der ermittelten Einstell-/Abnahmedaten.								
Nutzung vorbereiten								
Abschließen von Service- und Wartungsverträgen mit dem Kunden.								
Schulung und Einweisung der Servicemitarbeiter in das neue Produkt.								
Zugriff der Service-Mitarbeiter auf das Konfigurationsmanagementsystem.								
Ermöglichung von Updates und Upgrades.								
Festlegung der Strategie zur Produktmodifikation.								
Schulungsprogramm für Kundenmitarbeiter erstellen.								
Berücksichtigung der Fehler während der Nutzung bei Neuentwicklungen.								
Projektplanung								
Ablauf planen								
Erstellen eines Projektplans mit Arbeitspaketen und Meilensteinen und deren zeitliche Verknüpfung.						X		
Definition von Visualisierungstechniken für den Ablauf des Projekts.	X	X				X	X	X
Definition von Arbeitspaketen gleichen Aufwands bzw. gleicher Dauer.						X		X
Definition von prüfbaren Meilensteinen mit erforderlichen Ergebnissen und Dokumenten.	X	X	X			X		X
Definition von regelmäßigen Besprechungen zum Abgleich der verschiedenen Disziplinen.					X		X	X
Berücksichtigung von Zeitpuffern für Änderungen im Projektplan.		X				X	X	X
Abschätzung des Grobaufwandes der Aktivitäten aller beteiligten Rollen.			X					X
Definition der Arbeitsaufwände in den einzelnen Projektphasen.								X
Planung von internen Reviews für alle Disziplinen.					X	X	X	X
Budget planen								
Vorkalkulation auf Grundlage von Herstell- und Herstellungskosten.								
Definition eines Zielbereichs für das Produktportfolio.								
Berechnung des Deckungsbeitrags.								
Definition eines Kostenfaktors für Rückstellungen.								
Aufgliederung und Sortierung nach benutzerspezifischen Modulen.								
Abschätzung des Kostenprofils für die wesentlichen Funktionen.								
Durchführung einer Investitionsrechnung.								
Zeitpunkt des Break-Even ermitteln.								
Zuschläge für Qualitätsmaßnahmen festlegen.								
Interne Kostenverrechnung anhand der Arbeitspakete.								
Ressourcen planen								
Festlegung der Rollen und Zuordnung von Personen zu Rollen.								X
Zuordnung zwischen Personal und Projektplanung pro Arbeitspaket.		X						X
Ressourcenplanung unter Berücksichtigung von Verfügbarkeiten.	X	X			X	X		
Verfügbarkeitsprüfung von Ressourcen in Abhängigkeit von Terminen und Grundlast.					X	X	X	X

(9x1) *Prozessgebiete, Aktivitätsgruppen und Aktivitäten: MEPROMA (2015) sowie DRESCHER & KLEIN ET AL. (2014) und VDMA (2015B)*	Abläufe							
	DM	EM	SoS	SPR	SP1	SP2	SRS	SRV
Prüfen der Verfügbarkeit der Produktionskapazitäten in Abhängigkeit der Terminplanung.		X						
Ressourcenplanung und Verfügbarkeitsprüfung pro Arbeitspaket.					X			
Prüfung der Verfügbarkeit der Personen im Projekt in Abhängigkeit der Terminplanung.						X		
Verwaltung der vorhandenen Produktionsmittel.								
Planung der Ressourcen unter Berücksichtigung qualitätssichernder Entwicklungstätigkeiten.								
Projektübergreifende Abstimmung der Ressourcen unter Berücksichtigung von Unterstützungsprozessen.			X					
Zuordnung von Verantwortlichkeiten zu den Arbeitsergebnissen.	X					X		
Weiterleitung des Aufgabenspektrums an eine andere Person.								
Zuordnung und Darstellung von Arbeitspaketen pro verantwortlicher Rolle.	X							X
Zuweisung von Teilaufgabe zu mindestens einem Verantwortlichen.	X							X
Transparente Abschätzung von Aufwänden.	X					X		
Projekt definieren								
Zuweisung von Standarddokumenten / -vorlagen zu Aktionen.								
Definition eines internen Berichtswesen.	X		X		X		X	X
Bestimmung eines einheitlichen, standardisierten Vorgehens zur Projekt- / Auftragsdurchführung.								
Grobe Beschreibung und genaue Definition der Projektart.		X			X			
Definition eines Projektkoordinatensystems.								
Definition und Festlegung eines Ablaufs für Änderungsanforderungen.								
Projektplan absichern								
Überprüfung des Projektplans auf Vollständigkeit und Konsistenz.								
Abstimmung des Berichtswesens mit dem Kunden.		X						X
Definition von Maßnahmen zur Minimierung bzw. Vermeidung von Risiken.								
Abstimmung des Projektplans mit dem Projektteam.			X		X			
Projektverfolgung								
Projektfortschritt verfolgen								
Verwendung und regelmäßige Aktualisierung eines Projektplans als Grundlage für Besprechungen und Termine.	X	X	X	X			X	X
Terminliche und inhaltliche Visualisierung und Bewertung des Projekt- / Auftragfortschritts.	X							
Verfolgung und inhaltliche Prüfung des aktuellen Standes aller Entwicklungsaktivitäten.	X							X
Verfolgung und inhaltliche Prüfung des aktuellen Standes aller Prüf- und Testaktivitäten.	X							X
Mitlaufende Kalkulation von Material- und Personalkosten und Gegenüberstellung der Vorkalkulation.		X						
Terminliche sowie inhaltliche Visualisierung und Bewertung des Sachfortschritts auf Aufgabenebene.	X							X
Regelmäßige, disziplinübergreifende Abstimmungen und Treffen während des gesamten Projektverlaufes.	X	X	X	X	X	X	X	X
Automatische Generierung regelmäßiger Statusberichte über den Projektverlauf und die eingeleiteten Maßnahmen.	X		X					X
Statusverfolgung des Projektleiters durch aktive, selbstständige und konsequente Rückmeldungen der Verantwortlichen.	X	X	X				X	X
Erstellung und Verwendung eines Kennzahlensystems zur Auswertung.								
Verfolgung qualitätsrelevanter Aktivitäten.								
Visualisierung von Abweichungen gegenüber dem Ressourcenplan.	X							

(9x2) *Prozessgebiete, Aktivitätsgruppen und Aktivitäten: MEPROMA (2015) sowie DRESCHER & KLEIN ET AL. (2014) und VDMA (2015B)*

	Artefakte											
	DoD	IB	PB	PBI	PI	RP	SPB	SB	SG	TA	US	VI
Prüfen der Verfügbarkeit der Produktionskapazitäten in Abhängigkeit der Terminplanung.												
Ressourcenplanung und Verfügbarkeitsprüfung pro Arbeitspaket.												
Prüfung der Verfügbarkeit der Personen im Projekt in Abhängigkeit der Terminplanung.												
Verwaltung der vorhandenen Produktionsmittel.												
Planung der Ressourcen unter Berücksichtigung qualitätssichernder Entwicklungstätigkeiten.												
Projektübergreifende Abstimmung der Ressourcen unter Berücksichtigung von Unterstützungsprozessen.												
Zuordnung von Verantwortlichkeiten zu den Arbeitsergebnissen.								X		X		
Weiterleitung des Aufgabenspektrums an eine andere Person.												
Zuordnung und Darstellung von Arbeitspaketen pro verantwortlicher Rolle.					X						X	
Zuweisung von Teilaufgabe zu mindestens einem Verantwortlichen.										X		
Transparente Abschätzung von Aufwänden.	X						X			X		
Projekt definieren												
Zuweisung von Standarddokumenten / -vorlagen zu Aktionen.												
Definition eines internen Berichtswesen.		X				X						
Bestimmung eines einheitlichen, standardisierten Vorgehens zur Projekt- / Auftragsdurchführung.												
Grobe Beschreibung und genaue Definition der Projektart.												X
Definition eines Projektkoordinatensystems.												
Definition und Festlegung eines Ablaufs für Änderungsanforderungen.												
Projektplan absichern												
Überprüfung des Projektplans auf Vollständigkeit und Konsistenz.												
Abstimmung des Berichtswesens mit dem Kunden.									X	X	X	
Definition von Maßnahmen zur Minimierung bzw. Vermeidung von Risiken.												
Abstimmung des Projektplans mit dem Projektteam.				X			X					
Projektverfolgung												
Projektfortschritt verfolgen												
Verwendung und regelmäßige Aktualisierung eines Projektplans als Grundlage für Besprechungen und Termine.		X				X	X	X		X		
Terminliche und inhaltliche Visualisierung und Bewertung des Projekt- / Auftragfortschritts.								X	X			
Verfolgung und inhaltliche Prüfung des aktuellen Standes aller Entwicklungsaktivitäten.	X					X				X		
Verfolgung und inhaltliche Prüfung des aktuellen Standes aller Prüf- und Testaktivitäten.	X									X		
Mitlaufende Kalkulation von Material- und Personalkosten und Gegenüberstellung der Vorkalkulation.						X						
Terminliche sowie inhaltliche Visualisierung und Bewertung des Sachfortschritts auf Aufgabenebene.	X	X						X	X	X		
Regelmäßige, disziplinübergreifende Abstimmungen und Treffen während des gesamten Projektverlaufes.						X			X			
Automatische Generierung regelmäßiger Statusberichte über den Projektverlauf und die eingeleiteten Maßnahmen.												
Statusverfolgung des Projektleiters durch aktive, selbstständige und konsequente Rückmeldungen der Verantwortlichen.		X			X							
Erstellung und Verwendung eines Kennzahlensystems zur Auswertung.												
Verfolgung qualitätsrelevanter Aktivitäten.												
Visualisierung von Abweichungen gegenüber dem Ressourcenplan.										X		

(9x3) *Prozessgebiete, Aktivitätsgruppen und Aktivitäten: MEPROMA (2015) sowie DRESCHER & KLEIN ET AL. (2014) und VDMA (2015B)*	Hilfsmittel		Rollen					
	BC	TB	CU	EU	MA	PO	SM	TE
Prüfen der Verfügbarkeit der Produktionskapazitäten in Abhängigkeit der Terminplanung.					X			
Ressourcenplanung und Verfügbarkeitsprüfung pro Arbeitspaket.					X			X
Prüfung der Verfügbarkeit der Personen im Projekt in Abhängigkeit der Terminplanung.	X							X
Verwaltung der vorhandenen Produktionsmittel.								
Planung der Ressourcen unter Berücksichtigung qualitätssichernder Entwicklungstätigkeiten.								
Projektübergreifende Abstimmung der Ressourcen unter Berücksichtigung von Unterstützungsprozessen.	X	X			X	X	X	
Zuordnung von Verantwortlichkeiten zu den Arbeitsergebnissen.		X						X
Weiterleitung des Aufgabenspektrums an eine andere Person.								
Zuordnung und Darstellung von Arbeitspaketen pro verantwortlicher Rolle.		X						X
Zuweisung von Teilaufgabe zu mindestens einem Verantwortlichen.		X						X
Transparente Abschätzung von Aufwänden.		X						X
Projekt definieren								
Zuweisung von Standarddokumenten / -vorlagen zu Aktionen.								
Definition eines internen Berichtswesen.	X	X			X	X	X	
Bestimmung eines einheitlichen, standardisierten Vorgehens zur Projekt- / Auftragsdurchführung.								
Grobe Beschreibung und genaue Definition der Projektart.					X	X		
Definition eines Projektkoordinatensystems.								
Definition und Festlegung eines Ablaufs für Änderungsanforderungen.								
Projektplan absichern								
Überprüfung des Projektplans auf Vollständigkeit und Konsistenz.								
Abstimmung des Berichtswesens mit dem Kunden.			X			X		
Definition von Maßnahmen zur Minimierung bzw. Vermeidung von Risiken.								
Abstimmung des Projektplans mit dem Projektteam.						X		X
Projektverfolgung								
Projektfortschritt verfolgen								
Verwendung und regelmäßige Aktualisierung eines Projektplans als Grundlage für Besprechungen und Termine.		X					X	X
Terminliche und inhaltliche Visualisierung und Bewertung des Projekt- / Auftragfortschritts.	X	X	X					X
Verfolgung und inhaltliche Prüfung des aktuellen Standes aller Entwicklungsaktivitäten.		X	X		X	X		X
Verfolgung und inhaltliche Prüfung des aktuellen Standes aller Prüf- und Testaktivitäten.		X				X		X
Mitlaufende Kalkulation von Material- und Personalkosten und Gegenüberstellung der Vorkalkulation.						X		
Terminliche sowie inhaltliche Visualisierung und Bewertung des Sachfortschritts auf Aufgabenebene.	X	X						X
Regelmäßige, disziplinübergreifende Abstimmungen und Treffen während des gesamten Projektverlaufes.			X	X	X	X	X	X
Automatische Generierung regelmäßiger Statusberichte über den Projektverlauf und die eingeleiteten Maßnahmen.		X			X		X	X
Statusverfolgung des Projektleiters durch aktive, selbstständige und konsequente Rückmeldungen der Verantwortlichen.		X			X		X	X
Erstellung und Verwendung eines Kennzahlensystems zur Auswertung.								
Verfolgung qualitätsrelevanter Aktivitäten.								
Visualisierung von Abweichungen gegenüber dem Ressourcenplan.	X	X			X	X		X

(10x1) *Prozessgebiete, Aktivitätsgruppen und Aktivitäten: MEPROMA (2015) sowie DRESCHER & KLEIN ET AL. (2014) und VDMA (2015B)*

	Abläufe							
	DM	EM	SoS	SPR	SP1	SP2	SRS	SRV
Planung und Vorbereitung von Reviews bei Überschreitung des Zielbereichs.				X				X
Status des Erfüllungsgrades der Anforderungen prüfen.								X
Anwendung eines System-Bildes.								
Anwendung eines Strukturplan-Systems zur Fortschrittskontrolle.								
Anwendung von Strukturplan-Funktionen zur Fortschrittskontrolle.								
Verfolgung von Aktionen zur Risikominimierung.	X			X				
Aktualisierung der Maßnahmen des Risikomanagements.								
Offene Punkte und Änderungen verwalten								
Identifikation von offenen Punkten sowie Änderungen, die mit dem Auftraggeber geklärt werden müssen.	X	X	X	X				
Information des Auftraggebers und aller beteiligten Disziplinen über notwendige Änderungen und Abstimmungen.								X
Bewertung der Auswirkungen einer Änderungsanforderung und Ableitung der Maßnahmen.	X		X	X				
Regelmäßige Erfassung des Status von Änderungsanforderungen und Verwaltung der Abwicklung.	X				X			X
Überführung der Änderungsanforderungen in Werkaufträge/Lastenhefte.		X			X			
Identifikation der Abhängigkeiten und Prüfung der Auswirkungen von geänderten Dokumenten und Teillösungen.					X			
Prozesse verbessern								
Disziplinübergreifender Austausch der Review-Erkenntnisse.	X		X	X			X	X
Integrieren von erfolgreich etablierten Abläufen, Werkzeugen, Dokumenten und Methoden in die Auftragsorgansiation.								
Identifikation von Abweichungen gegenüber der definierten Auftragsorganisation u. Nominierung aufgrund v. Störungen.	X						X	
Dokumentation von Störungen.							X	
Ableiten von Schulungsbedarfen aus Projekten und Erstellung von Aus- bzw. Weiterbildungsplänen.								
Selbstständiges Einbringen von Verbesserungsvorschlägen durch die Mitarbeiter.	X						X	
Überprüfung der Einhaltung der definierten Auftragsorganisation durch wiederkehrende Audits.	X	X	X				X	
Konfigurations- und Versionsmanagement								
Baukasten verwalten								
Definition von Standard-Funktionsbausteinen innerhalb eines Systembaukastens.				X				
Technologiezirkel zur systemtischen Untersuchung/Bewertung von Technologien.								
Gremium zur Definition der zu verwendenden Funktionsbausteine.								
Darstellung der Auswirkung einer Veränderung auf weitere Funktionsbausteine.								
Konfigurator zur Auswahl von Funktionsbausteinen zur Realisierung einer Maschine.								
Versionierung des aktuellen Baukastens sowie der Versionen aller Funktionsbausteine.								
Eindeutige Bezeichnung aller Elemente innerhalb des Systembaukastens.								
Hierarchische Struktur des Systembaukastens.		X		X	X			
Standardisierte Spezifikation für jedes Element des Systembaukastens.								
Standardisierte Spezifikation der Schnittstellen aller Elemente des Systembaukastens.								
Definition einer standardisierten Software-Hardware-Architektur.								
Standardisierte Test-Spezifikation für alle Funktionsbausteine.								
Produkte/Aufträge verwalten								

(10x2) *Prozessgebiete, Aktivitätsgruppen und Aktivitäten: MEPROMA (2015) sowie DRESCHER & KLEIN ET AL. (2014) und VDMA (2015B)*	Artefakte											
	DoD	IB	PB	PBI	PI	RP	SPB	SB	SG	TA	US	VI
Planung und Vorbereitung von Reviews bei Überschreitung des Zielbereichs.										X		
Status des Erfüllungsgrades der Anforderungen prüfen.	X					X						
Anwendung eines System-Bildes.												
Anwendung eines Strukturplan-Systems zur Fortschrittskontrolle.												
Anwendung von Strukturplan-Funktionen zur Fortschrittskontrolle.												
Verfolgung von Aktionen zur Risikominimierung.		X								X		
Aktualisierung der Maßnahmen des Risikomanagements.												
Offene Punkte und Änderungen verwalten												
Identifikation von offenen Punkten sowie Änderungen, die mit dem Auftraggeber geklärt werden müssen.		X								X		
Information des Auftraggebers und aller beteiligten Disziplinen über notwendige Änderungen und Abstimmungen.		X				X				X		
Bewertung der Auswirkungen einer Änderungsanforderung und Ableitung der Maßnahmen.				X						X		
Regelmäßige Erfassung des Status von Änderungsanforderungen und Verwaltung der Abwicklung.				X	X							
Überführung der Änderungsanforderungen in Werkaufträge/Lastenhefte.							X					
Identifikation der Abhängigkeiten und Prüfung der Auswirkungen von geänderten Dokumenten und Teillösungen.										X		
Prozesse verbessern												
Disziplinübergreifender Austausch der Review-Erkenntnisse.										X		
Integrieren von erfolgreich etablierten Abläufen, Werkzeugen, Dokumenten und Methoden in die Auftragsorgansiation.												
Identifikation von Abweichungen gegenüber der definierten Auftragsorganisation u. Nominierung aufgrund v. Störungen.		X										
Dokumentation von Störungen.		X						X		X		
Ableiten von Schulungsbedarfen aus Projekten und Erstellung von Aus- bzw. Weiterbildungsplänen.												
Selbstständiges Einbringen von Verbesserungsvorschlägen durch die Mitarbeiter.		X				X						
Überprüfung der Einhaltung der definierten Auftragsorganisation durch wiederkehrende Audits.		X										
Konfigurations- und Versionsmanagement												
Baukasten verwalten												
Definition von Standard-Funktionsbausteinen innerhalb eines Systembaukastens.			X							X	X	
Technologiezirkel zur systemtischen Untersuchung/Bewertung von Technologien.												
Gremium zur Definition der zu verwendenden Funktionsbausteine.												
Darstellung der Auswirkung einer Veränderung auf weitere Funktionsbausteine.												
Konfigurator zur Auswahl von Funktionsbausteinen zur Realisierung einer Maschine.												
Versionierung des aktuellen Baukastens sowie der Versionen aller Funktionsbausteine.												
Eindeutige Bezeichnung aller Elemente innerhalb des Systembaukastens.												
Hierarchische Struktur des Systembaukastens.					X					X		
Standardisierte Spezifikation für jedes Element des Systembaukastens.												
Standardisierte Spezifikation der Schnittstellen aller Elemente des Systembaukastens.												
Definition einer standardisierten Software-Hardware-Architektur.												
Standardisierte Test-Spezifikation für alle Funktionsbausteine.												
Produkte/Aufträge verwalten												

(10x3) *Prozessgebiete, Aktivitätsgruppen und Aktivitäten: MEPROMA (2015) sowie DRESCHER & KLEIN ET AL. (2014) und VDMA (2015B)*

	Hilfsmittel		Rollen					
	BC	TB	CU	EU	MA	PO	SM	TE
Planung und Vorbereitung von Reviews bei Überschreitung des Zielbereichs.							X	X
Status des Erfüllungsgrades der Anforderungen prüfen.	X	X	X	X		X	X	X
Anwendung eines System-Bildes.								
Anwendung eines Strukturplan-Systems zur Fortschrittskontrolle.								
Anwendung von Strukturplan-Funktionen zur Fortschrittskontrolle.								
Verfolgung von Aktionen zur Risikominimierung.					X	X	X	X
Aktualisierung der Maßnahmen des Risikomanagements.								
Offene Punkte und Änderungen verwalten								
Identifikation von offenen Punkten sowie Änderungen, die mit dem Auftraggeber geklärt werden müssen.		X	X			X	X	X
Information des Auftraggebers und aller beteiligten Disziplinen über notwendige Änderungen und Abstimmungen.			X	X		X		X
Bewertung der Auswirkungen einer Änderungsanforderung und Ableitung der Maßnahmen.						X		X
Regelmäßige Erfassung des Status von Änderungsanforderungen und Verwaltung der Abwicklung.		X	X			X		
Überführung der Änderungsanforderungen in Werkaufträge/Lastenhefte.						X		
Identifikation der Abhängigkeiten und Prüfung der Auswirkungen von geänderten Dokumenten und Teillösungen.						X	X	
Prozesse verbessern								
Disziplinübergreifender Austausch der Review-Erkenntnisse.	X	X	X	X	X	X	X	X
Integrieren von erfolgreich etablierten Abläufen, Werkzeugen, Dokumenten und Methoden in die Auftragsorganisation.								
Identifikation von Abweichungen gegenüber der definierten Auftragsorganisation u. Nominierung aufgrund v. Störungen.	X				X	X		
Dokumentation von Störungen.	X				X		X	X
Ableiten von Schulungsbedarfen aus Projekten und Erstellung von Aus- bzw. Weiterbildungsplänen.								
Selbstständiges Einbringen von Verbesserungsvorschlägen durch die Mitarbeiter.					X	X	X	X
Überprüfung der Einhaltung der definierten Auftragsorganisation durch wiederkehrende Audits.					X	X	X	X
Konfigurations- und Versionsmanagement								
Baukasten verwalten								
Definition von Standard-Funktionsbausteinen innerhalb eines Systembaukastens.			X	X		X		X
Technologiezirkel zur systemtischen Untersuchung/Bewertung von Technologien.								
Gremium zur Definition der zu verwendenden Funktionsbausteine.								
Darstellung der Auswirkung einer Veränderung auf weitere Funktionsbausteine.								
Konfigurator zur Auswahl von Funktionsbausteinen zur Realisierung einer Maschine.								
Versionierung des aktuellen Baukastens sowie der Versionen aller Funktionsbausteine.								
Eindeutige Bezeichnung aller Elemente innerhalb des Systembaukastens.								
Hierarchische Struktur des Systembaukastens.			X	X		X		X
Standardisierte Spezifikation für jedes Element des Systembaukastens.								
Standardisierte Spezifikation der Schnittstellen aller Elemente des Systembaukastens.								
Definition einer standardisierten Software-Hardware-Architektur.								
Standardisierte Test-Spezifikation für alle Funktionsbausteine.								
Produkte/Aufträge verwalten								

(11x1) *Prozessgebiete, Aktivitätsgruppen und Aktivitäten: MEPROMA (2015) sowie DRESCHER & KLEIN ET AL. (2014) und VDMA (2015B)*	Abläufe							
	DM	EM	SoS	SPR	SP1	SP2	SRS	SRV
Dokumentation der verwendeten Elemente des Systembaukastens für jeden Auftrag.								
Darstellung des Status eines verwendeten Funktionsbausteins für einen Auftrag.								
Dokumentation des Status der verwendeten Funktionsbausteine für jeden Auftrag.								
Varianten/Versionen verwalten								
Disziplinübergreifende Verwaltung von Versionen und Varianten von Dokumenten.								
Definition von Vorlagen für Dokumente.								
Erstellen einer Änderungshistorie für Dokumente.								
Archivieren der Versionen und Varianten von Dokumenten mit Möglichkeiten des Zugriffs durch Projektbeteiligte.								
Lieferantenintegration								
Lieferanten identifizieren und auswählen								
Rechtzeitige (Vor-) Auswahl von Lieferanten durch das Projektteam.								
Rückgriff auf Vorzugslieferanten für Funktionsbausteine.								
Lieferanten einbinden								
Definition eines Änderungsprozesses für Funktionsbausteine mit Lieferanten.								
Rechtzeitige Abstimmung und Dokumentation realistischer Liefertermine für Funktionsbausteine mit Lieferanten.								
Definition eines virtuellen Raums zur Kommunikation und Fortschrittskontrolle mit externem Zugriff für Lieferanten.	X		X				X	X
Fortschrittskontrolle bei langlaufenden, komplexen bzw. kritischen, extern beschafften Funktionsbausteinen.				X				
Integration und Dokumentation von Erfahrungswissen des Lieferanten zur Kostenoptimierung.								
Zulieferungen bewerten								
Abnahme von Funktionsbausteinen durch den Verantwortlichen auf Basis der Prüfergebnisse u. des Abnahmeprotokolls.								X
Bewertung von Ergebnissen und der Zusammenarbeit mit Lieferanten durch die internen Projektbeteiligten.								

(11x2) *Prozessgebiete, Aktivitätsgruppen und Aktivitäten: MEPROMA (2015) sowie DRESCHER & KLEIN ET AL. (2014) und VDMA (2015B)*

	Artefakte											
	DoD	IB	PB	PBI	PI	RP	SPB	SB	SG	TA	US	VI
Dokumentation der verwendeten Elemente des Systembaukastens für jeden Auftrag.												
Darstellung des Status eines verwendeten Funktionsbausteins für einen Auftrag.												
Dokumentation des Status der verwendeten Funktionsbausteine für jeden Auftrag.												
Varianten/Versionen verwalten												
Disziplinübergreifende Verwaltung von Versionen und Varianten von Dokumenten.												
Definition von Vorlagen für Dokumente.												
Erstellen einer Änderungshistorie für Dokumente.												
Archivieren der Versionen und Varianten von Dokumenten mit Möglichkeiten des Zugriffs durch Projektbeteiligte.												
Lieferantenintegration												
Lieferanten identifizieren und auswählen												
Rechtzeitige (Vor-) Auswahl von Lieferanten durch das Projektteam.												
Rückgriff auf Vorzugslieferanten für Funktionsbausteine.												
Lieferanten einbinden												
Definition eines Änderungsprozesses für Funktionsbausteine mit Lieferanten.												
Rechtzeitige Abstimmung und Dokumentation realistischer Liefertermine für Funktionsbausteine mit Lieferanten.												
Definition eines virtuellen Raums zur Kommunikation und Fortschrittskontrolle mit externem Zugriff für Lieferanten.						X						
Fortschrittskontrolle bei langlaufenden, komplexen bzw. kritischen, extern beschafften Funktionsbausteinen.					X							
Integration und Dokumentation von Erfahrungswissen des Lieferanten zur Kostenoptimierung.												
Zulieferungen bewerten												
Abnahme von Funktionsbausteinen durch den Verantwortlichen auf Basis der Prüfergebnisse u. des Abnahmeprotokolls.	X				X				X	X	X	
Bewertung von Ergebnissen und der Zusammenarbeit mit Lieferanten durch die internen Projektbeteiligten.												

(11x3) *Prozessgebiete, Aktivitätsgruppen und Aktivitäten: MEPROMA (2015) sowie DRESCHER & KLEIN ET AL. (2014) und VDMA (2015B)*	Hilfsmittel		Rollen					
	BC	TB	CU	EU	MA	PO	SM	TE
Dokumentation der verwendeten Elemente des Systembaukastens für jeden Auftrag.								
Darstellung des Status eines verwendeten Funktionsbausteins für einen Auftrag.								
Dokumentation des Status der verwendeten Funktionsbausteine für jeden Auftrag.								
Varianten/Versionen verwalten								
Disziplinübergreifende Verwaltung von Versionen und Varianten von Dokumenten.								
Definition von Vorlagen für Dokumente.								
Erstellen einer Änderungshistorie für Dokumente.								
Archivieren der Versionen und Varianten von Dokumenten mit Möglichkeiten des Zugriffs durch Projektbeteiligte.								
Lieferantenintegration								
Lieferanten identifizieren und auswählen								
Rechtzeitige (Vor-) Auswahl von Lieferanten durch das Projektteam.								
Rückgriff auf Vorzugslieferanten für Funktionsbausteine.								
Lieferanten einbinden								
Definition eines Änderungsprozesses für Funktionsbausteine mit Lieferanten.								
Rechtzeitige Abstimmung und Dokumentation realistischer Liefertermine für Funktionsbausteine mit Lieferanten.								
Definition eines virtuellen Raums zur Kommunikation und Fortschrittskontrolle mit externem Zugriff für Lieferanten.	X	X	X	X	X	X	X	X
Fortschrittskontrolle bei langlaufenden, komplexen bzw. kritischen, extern beschafften Funktionsbausteinen.	X	X				X		X
Integration und Dokumentation von Erfahrungswissen des Lieferanten zur Kostenoptimierung.								
Zulieferungen bewerten								
Abnahme von Funktionsbausteinen durch den Verantwortlichen auf Basis der Prüfergebnisse u. des Abnahmeprotokolls.			X	X		X	X	X
Bewertung von Ergebnissen und der Zusammenarbeit mit Lieferanten durch die internen Projektbeteiligten.								

A8 Bewertungsgrundlage der Skalierungsmethode

Tabelle A-6: Bewertungsgrundlage der Skalierungsmethode

	#	Kontextkriterium	Ausprägung	Agilitätsklasse
Unternehmen	1	Entwicklungsstandorte	An einem Ort	4
			Regional verteilt	2
			Global verteilt	1
	2	Organisationsstruktur	Fachabteilung	1
			Mischform	3
			Projektteam	4
Auftrag	3	Fokus der Produktart	Mechanik	2
			Elektrik/Elektronik	2
			Software	4
	4	Komplexität	Hoch	3
			Mittel	2
			Gering	1
	5	Art der Entwicklungsaufgabe	Neuentwicklung	3
			Anpassungsentwicklung	1
			Variantenentwicklung	2
	6	Auftragsart	Einzelauftrag	4
			Kleinserie	2
			Serie	-
	7	Modularisierungsgrad	Hoch	4
			Mittel	3
			Gering	1
	8	Kundenbezug	Hoch	4
			Mittel	2
			Gering	-
Team	9	Teamintegration	Hoch	4
			Mittel	3
			Gering	2
	10	Anzahl der Teammitglieder	<5	2
			5-9	4
			>9	3

A9 Ausführungen zum Anwendungsszenario

Tabelle A-7: Skalierung des Soll-Prozesses

(1x1) *Prozessgebiete und Aktivitätsgruppen: MEPROMA (2015) sowie DRESCHER & KLEIN ET AL. (2014) und VDMA (2015B)*

			Abläufe							
			Daily Meeting	Estimation Meeting	Scrum of Scrums	Sprint	Sprint Planning Meeting 1	Sprint Planning Meeting 2	Sprint Retrospective M.	Sprint Review Meeting
			☑	☑	☐	☑	☑	☑	☐	☐
Produkt-management	Markt analysieren	☑		X			X			
	Produktstrategie festlegen	☑								
	Normen, Gesetze und Richtlinien prüfen	☑				X	X	X		
	Technologien untersuchen	☑						X		
Anforderungs-management	Anforderungen spezifizieren	☑	X	X		X	X			
	Anforderungen strukturieren	☑		X			X			
	Anforderungen prüfen	☑	X			X	X	X		
	Angebot erstellen	☑		X						
System-entwurf	System spezifizieren	☑	X	X		X		X		
	System strukturieren	☑						X		
	Systementwurf prüfen	☑				X	X			
	Schnittstellen spezifizieren	☐								
	Schnittstellen prüfen	☑								
System-realisierung	Software realisieren	☐								
	Elektrik/Elektronik realisieren	☐								
	Mechanik realisieren	☐								
	System realisieren	☑	X			X		X		
Qualitäts-sicherung	Testphasen unterstützen	☑	X	X		X	X	X		
	Test/Prüfung planen	☑				X	X	X		
	Test/Prüfung vorbereiten	☑				X	X			
	Test/Prüfung durchführen	☑	X			X				
	Test/Prüfung dokumentieren	☑				X				
	Test/Prüfung analysieren	☑	X			X		X		
	Produktreife sicherstellen	☑								
	Abnahme vorbereiten	☑	X			X				
	Nutzung vorbereiten	☐								
Projekt-planung	Ablauf planen	☑	X	X		X	X	X		
	Budget planen	☐								
	Ressourcen planen	☑	X	X			X	X		
	Projekt definieren	☑	X	X			X			
	Projektplan absichern	☑		X			X			
Projekt-verfolgung	Projektfortschritt verfolgen	☑	X	X		X	X	X		
	Offene Punkte und Änderungen verwalten	☑	X	X		X	X			
	Prozesse verbessern	☑	X	X		X				
Konfigurations-management	Baukasten verwalten	☑		X		X	X			
	Produkte/Aufträge verwalten	☐								
	Varianten/Versionen verwalten	☐								
Lieferanten-integration	Lieferanten identifizieren und auswählen	☐								
	Lieferanten einbinden	☑	X			X				
	Zulieferungen bewerten	☑								

(1x2) *Prozessgebiete und Aktivitätsgruppen: MEPROMA (2015) sowie* DRESCHER & KLEIN ET AL. *(2014) und VDMA (2015B)*

			Artefakte											
			Definition of Done	Impidi-ment Backlog	Product Backlog	Product Backlog Item	Product Increment	Release Plan	Selected Product Backlog	Sprint Backlog	Sprint Goal	User Story	Task	Vision
			☐	☐	☑	☑	☐	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
Produkt-management	Markt analysieren	☑										X		X
	Produktstrategie festlegen	☑										X		X
	Normen, Gesetze und Richtlinien prüfen	☑										X		
	Technologien untersuchen	☑												
Anforderungs-management	Anforderungen spezifizieren	☑			X	X		X	X	X	X	X		X
	Anforderungen strukturieren	☑				X			X		X		X	
	Anforderungen prüfen	☑			X			X	X		X			
	Angebot erstellen	☑						X					X	
System-entwurf	System spezifizieren	☑			X					X		X	X	X
	System strukturieren	☑								X		X		
	Systementwurf prüfen	☑							X		X	X	X	
	Schnittstellen spezifizieren	☐												
	Schnittstellen prüfen	☑								X	X		X	
System-realisierung	Software realisieren	☐												
	Elektrik/Elektronik realisieren	☐												
	Mechanik realisieren	☐												
	System realisieren	☑				X						X	X	
Qualitäts-sicherung	Testphasen unterstützen	☑								X	X		X	
	Test/Prüfung planen	☑				X					X		X	
	Test/Prüfung vorbereiten	☑											X	
	Test/Prüfung durchführen	☑				X		X		X			X	
	Test/Prüfung dokumentieren	☑						X					X	
	Test/Prüfung analysieren	☑				X							X	
	Produktreife sicherstellen	☑												
	Abnahme vorbereiten	☑									X			
	Nutzung vorbereiten	☐												
Projekt-planung	Ablauf planen	☑			X	X		X	X	X	X		X	
	Budget planen	☐												
	Ressourcen planen	☑							X	X		X	X	
	Projekt definieren	☑						X						X
	Projektplan absichern	☑				X			X		X	X	X	
Projekt-verfolgung	Projektfortschritt verfolgen	☑						X	X	X	X		X	
	Offene Punkte und Änderungen verwalten	☑				X		X	X				X	
	Prozesse verbessern	☑						X		X			X	
Konfigurations-management	Baukasten verwalten	☑			X							X	X	
	Produkte/Aufträge verwalten	☐												
	Varianten/Versionen verwalten	☐												
Lieferanten-integration	Lieferanten identifizieren und auswählen	☐												
	Lieferanten einbinden	☑						X						
	Zulieferungen bewerten	☑									X	X	X	

(1x3) *Prozessgebiete und Aktivitätsgruppen: MEPROMA (2015) sowie* DESCHER & KLEIN ET AL. *(2014) und VDMA (2015B)*

		Hilfsmittel		Rollen				
		Burndown Chart	Task Board	Customer	End User	Manager	Product Owner	Scrum Master	Team
Produkt-management	Markt analysieren	☑							
	Produktstrategie festlegen	☑							
	Normen, Gesetze und Richtlinien prüfen	☑		X			X		
	Technologien untersuchen	☑		X			X		X
Anforderungs-management	Anforderungen spezifizieren	☑					X		X
	Anforderungen strukturieren	☑	X	X			X	X	X
	Anforderungen prüfen	☑	X	X			X	X	X
	Angebot erstellen	☑		X			X		X
System-entwurf	System spezifizieren	☑		X			X		X
	System strukturieren	☑	X						X
	Systementwurf prüfen	☑		X			X	X	X
	Schnittstellen spezifizieren	☐							
	Schnittstellen prüfen	☑		X			X		X
System-realisierung	Software realisieren	☐							
	Elektrik/Elektronik realisieren	☐							
	Mechanik realisieren	☐							
	System realisieren	☑		X			X	X	X
Qualitäts-sicherung	Testphasen unterstützen	☑	X	X			X	X	X
	Test/Prüfung planen	☑		X			X	X	X
	Test/Prüfung vorbereiten	☑		X			X		X
	Test/Prüfung durchführen	☑	X	X			X	X	X
	Test/Prüfung dokumentieren	☑	X						X
	Test/Prüfung analysieren	☑					X		X
	Produktreife sicherstellen	☑		X			X		X
	Abnahme vorbereiten	☑		X			X		X
	Nutzung vorbereiten	☐							
Projekt-planung	Ablauf planen	☑	X	X			X	X	X
	Budget planen	☐							
	Ressourcen planen	☑	X				X	X	X
	Projekt definieren	☑	X				X	X	
	Projektplan absichern	☑		X			X		X
Projekt-verfolgung	Projektfortschritt verfolgen	☑	X	X			X	X	X
	Offene Punkte und Änderungen verwalten	☑		X			X	X	X
	Prozesse verbessern	☑	X	X			X	X	X
Konfigurations-management	Baukasten verwalten	☑		X			X		X
	Produkte/Aufträge verwalten	☐							
	Varianten/Versionen verwalten	☐							
Lieferanten-integration	Lieferanten identifizieren und auswählen	☐							
	Lieferanten einbinden	☑	X	X			X	X	X
	Zulieferungen bewerten	☑		X			X		X

			Agile Technik	
			…	…
			☑	☐
Prozessgebiet	Aktivitätsgruppe	☑	X	
	Aktivitätsgruppe	☐		
	…	…	..	…

Legende:

X: Einfluss A: Zeile B: Spalte ☑: aktiviert ☐: deaktiviert

Abbildung A-17: Struktur der Ausführungen zum Anwendungsszenario

A10 Verzeichnis verwendeter Software

- Citavi® 4
- Microsoft® Excel 2010
- Microsoft® PowerPoint 2010
- Microsoft® Word 2010
- NodeXL Basic Template 2014 für Microsoft® Excel
- ThinkCell® 6

A11 Verzeichnis betreuter Studienarbeiten

Im Rahmen dieser Dissertation entstanden am Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (*iwb*) der Technischen Universität München (TUM) in den Jahren von 2012 bis 2015 unter wesentlicher wissenschaftlicher, fachlicher und inhaltlicher Anleitung des Autors die im Folgenden aufgeführten studentischen Arbeiten. Entstandene Ergebnisse sind teilweise in das vorliegende Dokument eingeflossen. Der Autor dankt allen Studierenden für ihr Engagement bei der Unterstützung dieser wissenschaftlichen Arbeit.

Tabelle A-8: Betreute Studienarbeiten

Name	Arbeit	Titel
Enßlin, V.	Diplomarbeit Abgabe 02.2013	Effiziente Implementierung und Wiederverwendung von Teilmodellen durch mechatronische Modularisierung von Maschinen und Anlagen im Aufgabengebiet der virtuellen Inbetriebnahme
Blöchl, G.	Diplomarbeit Abgabe 06.2013	Eine agile Methode zur Modularisierung komplexer, mechatronischer Produkte
Schieber, T.	Master's Thesis Abgabe 09.2013	Evaluation der Einsatzpotenziale agiler Vorgehensweisen in der Entwicklung mechatronischer Produktionssysteme im Maschinen- und Anlagenbau
Westrich, I.	Bachelor's Thesis Abgabe 09.2013	Entwicklung eines Beschriftungsmoduls für eine modellhafte Verpackungsanlage unter Verwendung eines agilen Projektmanagementtools
Griss, M.	Semesterarbeit Abgabe 10.2013	Funktionsorientiertes Konzept zur disziplinübergreifenden Absicherung der Eigenschaften mechatronischer Produkte durch qualitätssichernde Maßnahmen
Rüter, F.	Diplomarbeit Abgabe 10.2013	Anwendung von agilen Methoden zur Aufdeckung von Abhängigkeiten und Bewältigung von Fehlereinflüssen in der synchronisierten Produktentwicklung und Fertigungsplanung von mechatronischen Produkten
Bartnik, T.	Master's Thesis Abgabe 01.2014	Kontextspezifisches Reifegradmodell für mechatronische Entwicklungsprozesse im Maschinen- und Anlagenbau
Demmelmair, S.	Master's Thesis Abgabe 07.2014	Übertragung von agilen Techniken auf die Entwicklung mechatronischer Produktionssysteme auf Basis von Scrum
Händl, M.	Diplomarbeit Abgabe 12.2014	Einsatz von agilen Methoden im Kontext der mechatronischen Entwicklung einer modularen Produktionsanlage
Heinisch, M.	Mastersemesterarbeit Abgabe 05.2015	Statistische Auswertung einer Studie zur agilen Entwicklung im Maschinen- und Anlagenbau

Seminarberichte IWB

herausgegeben von Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart und Prof. Dr.-Ing. Michael Zäh,
Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften der Technischen Universität München

Seminarberichte IWB sind erhältlich im Buchhandel oder beim
Herbert Utz Verlag, München, Fax 089-277791-01, info@utzverlag.de, www.utzverlag.de

1 Innovative Montagesysteme - Anlagengestaltung, -bewertung und -überwachung
115 Seiten · ISBN 3-931327-01-9
2 Integriertes Produktmodell - Von der Idee zum fertigen Produkt
82 Seiten · ISBN 3-931327-02-7
3 Konstruktion von Werkzeugmaschinen - Berechnung, Simulation und Optimierung
110 Seiten · ISBN 3-931327-03-5
4 Simulation - Einsatzmöglichkeiten und Erfahrungsberichte
134 Seiten · ISBN 3-931327-04-3
5 Optimierung der Kooperation in der Produktentwicklung
95 Seiten · ISBN 3-931327-05-1
6 Materialbearbeitung mit Laser · von der Planung zur Anwendung
86 Seiten · ISBN 3-931327-76-0
7 Dynamisches Verhalten von Werkzeugmaschinen
80 Seiten · ISBN 3-931327-77-9
8 Qualitätsmanagement · der Weg ist das Ziel
130 Seiten · ISBN 3-931327-78-7
9 Installationstechnik an Werkzeugmaschinen · Analysen und Konzepte
120 Seiten · ISBN 3-931327-79-5
10 3D-Simulation - Schneller, sicherer und kostengünstiger zum Ziel
90 Seiten · ISBN 3-931327-10-8
11 Unternehmensorganisation - Schlüssel für eine effiziente Produktion
110 Seiten · ISBN 3-931327-11-6
12 Autonome Produktionssysteme
100 Seiten · ISBN 3-931327-12-4
13 Planung von Montageanlagen
130 Seiten · ISBN 3-931327-13-2
14 Nicht erschienen – wird nicht erscheinen
15 Flexible fluide Kleb/Dichtstoffe · Dosierung und Prozeßgestaltung
80 Seiten · ISBN 3-931327-15-9
16 Time to Market - Von der Idee zum Produktionsstart
80 Seiten · ISBN 3-931327-16-7
17 Industriekeramik in Forschung und Praxis - Probleme, Analysen und Lösungen
80 Seiten · ISBN 3-931327-17-5
18 Das Unternehmen im Internet - Chancen für produzierende Unternehmen
165 Seiten · ISBN 3-931327-18-3
19 Leittechnik und Informationslogistik - mehr Transparenz in der Fertigung
85 Seiten · ISBN 3-931327-19-1
20 Dezentrale Steuerungen in Produktionsanlagen – Plug & Play – Vereinfachung von Entwicklung und Inbetriebnahme
105 Seiten · ISBN 3-931327-20-5
21 Rapid Prototyping - Rapid Tooling - Schnell zu funktionalen Prototypen
95 Seiten · ISBN 3-931327-21-3
22 Mikrotechnik für die Produktion - Greifbare Produkte und Anwendungspotentiale
95 Seiten · ISBN 3-931327-22-1
24 EDM Engineering Data Management
195 Seiten · ISBN 3-931327-24-8
25 Rationelle Nutzung der Simulationstechnik - Entwicklungstrends und Praxisbeispiele
152 Seiten · ISBN 3-931327-25-6
26 Alternative Dichtungssysteme - Konzepte zur Dichtungsmontage und zum Dichtmittelauftrag
110 Seiten · ISBN 3-931327-26-4
27 Rapid Prototyping · Mit neuen Technologien schnell vom Entwurf zum Serienprodukt
111 Seiten · ISBN 3-931327-27-2
28 Rapid Tooling · Mit neuen Technologien schnell vom Entwurf zum Serienprodukt
154 Seiten · ISBN 3-931327-28-0
29 Installationstechnik an Werkzeugmaschinen · Abschlußseminar
156 Seiten · ISBN 3-931327-29-9
30 Nicht erschienen – wird nicht erscheinen
31 Engineering Data Management (EDM) · Erfahrungsberichte und Trends
183 Seiten · ISBN 3-931327-31-0
32 Nicht erschienen – wird nicht erscheinen
33 3D-CAD · Mehr als nur eine dritte Dimension
181 Seiten · ISBN 3-931327-33-7
34 Laser in der Produktion · Technologische Randbedingungen für den wirtschaftlichen Einsatz
102 Seiten · ISBN 3-931327-34-5
35 Ablaufsimulation · Anlagen effizient und sicher planen und betreiben
129 Seiten · ISBN 3-931327-35-3
36 Moderne Methoden zur Montageplanung · Schlüssel für eine effiziente Produktion
124 Seiten · ISBN 3-931327-36-1
37 Wettbewerbsfaktor Verfügbarkeit · Produktivitätsteigerung durch technische und organisatorische Ansätze
95 Seiten · ISBN 3-931327-37-X
38 Rapid Prototyping · Effizienter Einsatz von Modellen in der Produktentwicklung
128 Seiten · ISBN 3-931327-38-8
39 Rapid Tooling · Neue Strategien für den Werkzeug- und Formenbau
130 Seiten · ISBN 3-931327-39-6
40 Erfolgreich kooperieren in der produzierenden Industrie · Flexibler und schneller mit modernen Kooperationen
160 Seiten · ISBN 3-931327-40-X
41 Innovative Entwicklung von Produktionsmaschinen
146 Seiten · ISBN 3-89675-041-0
42 Stückzahlflexible Montagesysteme
139 Seiten · ISBN 3-89675-042-9
43 Produktivität und Verfügbarkeit · ...durch Kooperation steigern
120 Seiten · ISBN 3-89675-043-7
44 Automatisierte Mikromontage · Handhaben und Positionieren von Mikrobauteilen
125 Seiten · ISBN 3-89675-044-5
45 Produzieren in Netzwerken · Lösungsansätze, Methoden, Praxisbeispiele
173 Seiten · ISBN 3-89675-045-3
46 Virtuelle Produktion · Ablaufsimulation
108 Seiten · ISBN 3-89675-046-1

47 Virtuelle Produktion · Prozeß- und Produktsimulation
131 Seiten · ISBN 3-89675-047-X
48 Sicherheitstechnik an Werkzeugmaschinen
106 Seiten · ISBN 3-89675-048-8
49 Rapid Prototyping · Methoden für die reaktionsfähige Produktentwicklung
150 Seiten · ISBN 3-89675-049-6
50 Rapid Manufacturing · Methoden für die reaktionsfähige Produktion
121 Seiten · ISBN 3-89675-050-X
51 Flexibles Kleben und Dichten · Produkt-& Prozeßgestaltung, Mischverbindungen, Qualitätskontrolle
137 Seiten · ISBN 3-89675-051-8
52 Rapid Manufacturing · Schnelle Herstellung von Klein-und Prototypenserien
124 Seiten · ISBN 3-89675-052-6
53 Mischverbindungen · Werkstoffauswahl, Verfahrensauswahl, Umsetzung
107 Seiten · ISBN 3-89675-054-2
54 Virtuelle Produktion · Integrierte Prozess- und Produktsimulation
133 Seiten · ISBN 3-89675-054-2
55 e-Business in der Produktion · Organisationskonzepte, IT-Lösungen, Praxisbeispiele
150 Seiten · ISBN 3-89675-055-0
56 Virtuelle Produktion – Ablaufsimulation als planungsbegleitendes Werkzeug
150 Seiten · ISBN 3-89675-056-9
57 Virtuelle Produktion – Datenintegration und Benutzerschnittstellen
150 Seiten · ISBN 3-89675-057-7
58 Rapid Manufacturing · Schnelle Herstellung qualitativ hochwertiger Bauteile oder Kleinserien
169 Seiten · ISBN 3-89675-058-7
59 Automatisierte Mikromontage · Werkzeuge und Fügetechnologien für die Mikrosystemtechnik
114 Seiten · ISBN 3-89675-059-3
60 Mechatronische Produktionssysteme · Genauigkeit gezielt entwickeln
131 Seiten · ISBN 3-89675-060-7
61 Nicht erschienen – wird nicht erscheinen
62 Rapid Technologien · Anspruch – Realität – Technologien
100 Seiten · ISBN 3-89675-062-3
63 Fabrikplanung 2002 · Visionen – Umsetzung – Werkzeuge
124 Seiten · ISBN 3-89675-063-1
64 Mischverbindungen · Einsatz und Innovationspotenzial
143 Seiten · ISBN 3-89675-064-X
65 Fabrikplanung 2003 – Basis für Wachstum · Erfahrungen Werkzeuge Visionen
136 Seiten · ISBN 3-89675-065-8
66 Mit Rapid Technologien zum Aufschwung · Neue Rapid Technologien und Verfahren, Neue Qualitäten, Neue Möglichkeiten, Neue Anwendungsfelder
185 Seiten · ISBN 3-89675-066-6
67 Mechatronische Produktionssysteme · Die Virtuelle Werkzeugmaschine: Mechatronisches Entwicklungsvorgehen, Integrierte Modellbildung, Applikationsfelder
148 Seiten · ISBN 3-89675-067-4
68 Virtuelle Produktion · Nutzenpotenziale im Lebenszyklus der Fabrik
139 Seiten · ISBN 3-89675-068-2
69 Kooperationsmanagement in der Produktion · Visionen und Methoden zur Kooperation – Geschäftsmodelle und Rechtsformen für die Kooperation – Kooperation entlang der Wertschöpfungskette
134 Seiten · ISBN 3-98675-069-0
70 Mechatronik · Strukturdynamik von Werkzeugmaschinen
161 Seiten · ISBN 3-89675-070-4
71 Klebtechnik · Zerstörungsfreie Qualitätssicherung beim flexibel automatisierten Kleben und Dichten
ISBN 3-89675-071-2 · vergriffen
72 Fabrikplanung 2004 Ergfolgsfaktor im Wettbewerb · Erfahrungen – Werkzeuge – Visionen
ISBN 3-89675-072-0 · vergriffen
73 Rapid Manufacturing Vom Prototyp zur Produktion · Erwartungen – Erfahrungen – Entwicklungen
179 Seiten · ISBN 3-89675-073-9
74 Virtuelle Produktionssystemplanung · Virtuelle Inbetriebnahme und Digitale Fabrik
133 Seiten · ISBN 3-89675-074-7
75 Nicht erschienen – wird nicht erscheinen
76 Berührungslose Handhabung · Vom Wafer zur Glaslinse, von der Kapsel zur aseptischen Ampulle
95 Seiten · ISBN 3-89675-076-3
77 ERP-Systeme - Einführung in die betriebliche Praxis · Erfahrungen, Best Practices, Visionen
153 Seiten · ISBN 3-89675-077-7
78 Mechatronik · Trends in der interdisziplinären Entwicklung von Werkzeugmaschinen
155 Seiten · ISBN 3-89675-078-X
79 Produktionsmanagement
267 Seiten · ISBN 3-89675-079-8
80 Rapid Manufacturing · Fertigungsverfahren für alle Ansprüche
154 Seiten · ISBN 3-89675-080-1
81 Rapid Manufacturing · Heutige Trends – Zukünftige Anwendungsfelder
172 Seiten · ISBN 3-89675-081-X
82 Produktionsmanagement · Herausforderung Variantenmanagement
100 Seiten · ISBN 3-89675-082-8
83 Mechatronik · Optimierungspotenzial der Werkzeugmaschine nutzen
160 Seiten · ISBN 3-89675-083-6
84 Virtuelle Inbetriebnahme · Von der Kür zur Pflicht?
104 Seiten · ISBN 978-3-89675-084-6
85 3D-Erfahrungsforum · Innovation im Werkzeug- und Formenbau
375 Seiten · ISBN 978-3-89675-085-3
86 Rapid Manufacturing · Erfolgreich produzieren durch innovative Fertigung
162 Seiten · ISBN 978-3-89675-086-0
87 Produktionsmanagement · Schlank im Mittelstand
102 Seiten · ISBN 978-3-89675-087-7
88 Mechatronik · Vorsprung durch Simulation
134 Seiten · ISBN 978-3-89675-088-4
89 RFID in der Produktion · Wertschöpfung effizient gestalten
122 Seiten · ISBN 978-3-89675-089-1
90 Rapid Manufacturing und Digitale Fabrik · Durch Innovation schnell und flexibel am Markt
100 Seiten · ISBN 978-3-89675-090-7
91 Robotik in der Kleinserienproduktion – Die Zukunft der Automatisierungstechnik
ISBN 978-3-89675-091-4
92 Rapid Manufacturing · Ressourceneffizienz durch generative Fertigung im Werkzeug- und Formenbau
ISBN 978-3-89675-092-1
93 Handhabungstechnik · Innovative Greiftechnik für komplexe Handhabungsaufgaben
136 Seiten · ISBN 978-3-89675-093-8
94 iwb Seminarreihe 2009 Themengruppe Werkzeugmaschinen
245 Seiten · ISBN 978-3-89675-094-5
95 Zuführtechnik · Herausforderung der automatisierten Montage!
111 Seiten · ISBN 978-3-89675-095-2
96 Risikobewertung bei Entscheidungen im Produktionsumfeld · Seminar »Risiko und Chance«
151 Seiten · ISBN 978-3-89675-096-9
97 Seminar Rapid Manufacturing 2010 · Innovative Einsatzmöglichkeiten durch neue Werkstoffe bei Schichtbauverfahren
180 Seiten · ISBN 978-3-89675-097-6

98 Handhabungstechnik · Der Schlüssel für eine automatisierte Herstellung von Composite-Bauteilen
260 Seiten · ISBN 978-3-89675-098-3

99 Abschlussveranstaltung SimuSint 2010 · Modulares Simulationssystem für das Strahlschmelzen
270 Seiten · ISBN 978-3-89675-099-0

100 Additive Fertigung: Innovative Lösungen zur Steigerung der Bauteilqualität bei additiven Fertigungsverfahren
200 Seiten · ISBN 978-3-8316-4114-7

101 Mechatronische Simulation in der industriellen Anwendung
91 Seiten · ISBN 978-3-8316-4149-9

102 Wissensmanagement in produzierenden Unternehmen
ISBN 978-3-8316-4169-7

103 Additive Fertigung: Bauteil- und Prozessauslegung für die wirtschaftliche Fertigung
ISBN 978-3-8316-4188-8

104 Ressourceneffizienz in der Lebensmittelkette
ISBN 978-3-8316-4192-5

105 Werkzeugmaschinen: Leichter schwer zerspanen! · Herausforderungen und Lösungen für die Zerspanung von Hochleistungswerkstoffen
120 Seiten · ISBN 978-3-8316-4217-5

106 Batterieproduktion – Vom Rohstoff bis zum Hochvoltspeicher
108 Seiten · ISBN 978-3-8316-4221-2

107 Batterieproduktion – Vom Rohstoff bis zum Hochvoltspeicher
150 Seiten · ISBN 978-3-8316-4249-6

Forschungsberichte IWB Band 1-121

herausgegeben von Prof. Dr.-Ing. J. Milberg und Prof. Dr.-Ing. G. Reinhart,
Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften der Technischen Universität München

Band 1 -121 sind im Springer Verlag, Berlin, Heidelberg erschienen.

1 Streifinger, E.: Beitrag zur Sicherung der Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit moderner Fertigungsmittel
1986 · 72 Abb. · 167 Seiten · ISBN 3-540-16391-3

2 Fuchsberger, A.: Untersuchung der spanenden Bearbeitung von Knochen
1986 · 90 Abb. · 175 Seiten · ISBN 3-540-16392-1

3 Maier, C.: Montageautomatisierung am Beispiel des Schraubens mit Industrierobotern
1986 · 77 Abb. · 144 Seiten · ISBN 3-540-16393-X

4 Summer, H.: Modell zur Berechnung verzweigter Antriebsstrukturen
1986 · 74 Abb. · 197 Seiten · ISBN 3-540-16394-8

5 Simon, W.: Elektrische Vorschubantriebe an NC-Systemen
1986 · 141 Abb. · 198 Seiten · ISBN 3-540-16693-9

6 Büchs, S.: Analytische Untersuchungen zur Technologie der Kugelbearbeitung
1986 · 74 Abb. · 173 Seiten · ISBN 3-540-16694-7

7 Hunzinger, J.: Schneiderodierte Oberflächen
1986 · 79 Abb. · 162 Seiten · ISBN 3-540-16695-5

8 Pilland, U.: Echtzeit-Kollisionsschutz an NC-Drehmaschinen
1986 · 54 Abb. · 127 Seiten · ISBN 3-540-17274-2

9 Barthelmeß, P.: Montagegerechtes Konstruieren durch die Integration von Produkt- und Montageprozeßgestaltung
1987 · 70 Abb. · 144 Seiten · ISBN 3-540-18120-2

10 Reithofer, N.: Nutzungssicherung von flexibel automatisierten Produktionsanlagen
1987· 84 Abb. · 176 Seiten · ISBN 3-540-18440-6

11 Diess, H.: Rechnerunterstützte Entwicklung flexibel automatisierter Montageprozesse
1988 · 56 Abb. · 144 Seiten · ISBN 3-540-18799-5

12 Reinhart, G.: Flexible Automatisierung der Konstruktion und Fertigung elektrischer Leitungssätze
1988 · 112 Abb. · 197 Seiten · ISBN 3-540-19003-1

13 Bürstner, H.: Investitionsentscheidung in der rechnerintegrierten Produktion
1988 · 74 Abb. · 190 Seiten · ISBN 3-540-19099-6

14 Groha, A.: Universelles Zellenrechnerkonzept für flexible Fertigungssysteme
1988 · 74 Abb. · 153 Seiten · ISBN 3-540-19182-8

15 Riese, K.: Klipsmontage mit Industrierobotern
1988 · 92 Abb. · 150 Seiten · ISBN 3-540-19183-6

16 Lutz, P: Leitsysteme für rechnerintegrierte Auftragsabwicklung
1988 · 44 Abb. · 144 Seiten · ISBN 3-540-19260-3

17 Klippel, C.: Mobiler Roboter im Materialfluß eines flexiblen Fertigungssystems
1988 · 86 Abb. · 164 Seiten · ISBN 3-540-50468-0

18 Rascher, R.: Experimentelle Untersuchungen zur Technologie der Kugelherstellung
1989 · 110 Abb. · 200 Seiten · ISBN 3-540-51301-9

19 Heusler, H.-J.: Rechnerunterstützte Planung flexibler Montagesysteme
1989 · 43 Abb. · 154 Seiten · ISBN 3-540-51723-5

20 Kirchknopf, P: Ermittlung modaler Parameter aus Übertragungsfrequenzgängen
1989 · 57 Abb. · 157 Seiten · ISBN 3-540-51724-3

21 Sauerer, Ch.: Beitrag für ein Zerspanprozeßmodell Metallbandsägen
1990 · 89 Abb. · 166 Seiten · ISBN 3-540-51868-1

22 Karstedt, K.: Positionsbestimmung von Objekten in der Montage- und Fertigungsautomatisierung
1990 · 92 Abb. · 157 Seiten · ISBN 3-540-51879-7

23 Peiker, St.: Entwicklung eines integrierten NC-Planungssystems
1990 · 66 Abb. · 180 Seiten · ISBN 3-540-51880-0

24 Schugmann, R: Nachgiebige Werkzeugaufhängungen für die automatische Montage
1990 · 71 Abb. · 155 Seiten · ISBN 3-540-52138-0

25 Wrba, P: Simulation als Werkzeug in der Handhabungstechnik
1990 · 125 Abb. · 178 Seiten · ISBN 3-540-52231-X

26 Eibelshäuser, P: Rechnerunterstützte experimentelle Modalanalyse mittels gestufter Sinusanregung
1990 · 79 Abb. · 156 Seiten · ISBN 3-540-52451-7

27 Prasch, J.: Computerunterstützte Planung von chirurgischen Eingriffen in der Orthopädie
1990 · 113 Abb. · 164 Seiten · ISBN 3-540-52543-2

28 Teich, K.: Prozeßkommunikation und Rechnerverbund in der Produktion
1990 · 52 Abb. · 158 Seiten · ISBN 3-540-52764-8

29 Pfrang, W.: Rechnergestützte und graphische Planung manueller und teilautomatisierter Arbeitsplätze
1990 · 59 Abb. · 153 Seiten · ISBN 3-540-52829-6

30 Tauber, A.: Modellbildung kinematischer Strukturen als Komponente der Montageplanung
1990 · 93 Abb. · 190 Seiten · ISBN 3-540-52911-X

31 Jäger, A.: Systematische Planung komplexer Produktionssysteme
1991 · 75 Abb. · 148 Seiten · ISBN 3-540-53021-5

32 Hartberger, H.: Wissensbasierte Simulation komplexer Produktionssysteme
1991 · 58 Abb. · 154 Seiten · ISBN 3-540-53326-5

33 Tuczek, H.: Inspektion von Karosseriepreßteilen auf Risse und Einschnürungen mittels Methoden der Bildverarbeitung
1992· 125 Abb. · 179 Seiten · ISBN 3-540-53965-4

34 Fischbacher, J: Planungsstrategien zur stömungstechnischen Optimierung von Reinraum-Fertigungsgeräten
1991 · 60 Abb. · 166 Seiten · ISBN 3-540-54027-X

35 Moser, O.: 3D-Echtzeitkollisionsschutz für Drehmaschinen
1991 · 66 Abb. · 177 Seiten · ISBN 3-540-54076-8

36 Naber, H.: Aufbau und Einsatz eines mobilen Roboters mit unabhängiger Lokomotions- und Manipulationskomponente
1991 · 85 Abb. · 139 Seiten · ISBN 3-540-54216-7

37 Kupec, Th.: Wissensbasiertes Leitsystem zur Steuerung flexibler Fertigungsanlagen
1991 · 68 Abb. · 150 Seiten · ISBN 3-540-54260-4

38 Maulhardt, U.: Dynamisches Verhalten von Kreissägen
1991 · 109 Abb. · 159 Seiten · ISBN 3-540-54365-1

39 Götz, R.: Strukturierte Planung flexibel automatisierter Montagesysteme für flächige Bauteile
1991 · 86 Abb. · 201 Seiten · ISBN 3-540-54401-1

40 Koepfer, Th.: 3D-grafisch-interaktive Arbeitsplanung - ein Ansatz zur Aufhebung der Arbeitsteilung
1991 · 74 Abb. · 126 Seiten · ISBN 3-540-54436-4

41 Schmidt, M.: Konzeption und Einsatzplanung flexibel automatisierter Montagesysteme
1992 · 108 Abb. · 168 Seiten · ISBN 3-540-55025-9

42 Burger, C.: Produktionsregelung mit entscheidungsunterstützenden Informationssystemen
1992 · 94 Abb. · 186 Seiten · ISBN 3-540-55187-5

43 Hoßmann, J.: Methodik zur Planung der automatischen Montage von nicht formstabilen Bauteilen
1992 · 73 Abb. · 168 Seiten · ISBN 3-540-5520-0

44 Petry, M.: Systematik zur Entwicklung eines modularen Programmbaukastens für robotergeführte Klebeprozesse
1992 · 106 Abb. · 139 Seiten · ISBN 3-540-55374-6

45 Schönecker, W.: Integrierte Diagnose in Produktionszellen
1992 · 87 Abb. · 159 Seiten · ISBN 3-540-55375-4

46 Bick, W.: Systematische Planung hybrider Montagesysteme unter Berücksichtigung der Ermittlung des optimalen Automatisierungsgrades
1992 · 70 Abb. · 156 Seiten · ISBN 3-540-55377-0

47 Gebauer, L.: Prozeßuntersuchungen zur automatisierten Montage von optischen Linsen
1992 · 84 Abb. · 150 Seiten · ISBN 3-540-55378-9

48 Schrüfer, N.: Erstellung eines 3D-Simulationssystems zur Reduzierung von Rüstzeiten bei der NC-Bearbeitung
1992 · 103 Abb. · 161 Seiten · ISBN 3-540-55431-9

49 Wisbacher, J.: Methoden zur rationellen Automatisierung der Montage von Schnellbefestigungselementen
1992· 77 Abb. · 176 Seiten · ISBN 3-540-55512-9

50 Garnich, F.: Laserbearbeitung mit Robotern
1992 · 110 Abb. · 184 Seiten · ISBN 3-540-55513-7

51 Eubert, P.: Digitale Zustandesregelung elektrischer Vorschubantriebe
1992 · 89 Abb. · 159 Seiten · ISBN 3-540-44441-2

52 Glaas, W.: Rechnerintegrierte Kabelsatzfertigung
1992 · 67 Abb. · 140 Seiten · ISBN 3-540-55749-0

53 Helml, H.J.: Ein Verfahren zur On-Line Fehlererkennung und Diagnose
1992· 60 Abb. · 153 Seiten · ISBN 3-540-55750-4

54 Lang, Ch.: Wissensbasierte Unterstützung der Verfügbarkeitsplanung
1992· 75 Abb. · 150 Seiten · ISBN 3-540-55751-2

55 Schuster, G.: Rechnergestütztes Planungssystem für die flexibel automatisierte Montage
1992 · 67 Abb. · 135 Seiten · ISBN 3-540-55830-6

56 Bomm, H.: Ein Ziel- und Kennzahlensystem zum Investitionscontrolling komplexer Produktionssysteme
1992 · 87 Abb. · 195 Seiten · ISBN 3-540-55964-7

57 Wendt, A.: Qualitätssicherung in flexibel automatisierten Montagesystemen
1992 · 74 Abb. · 179 Seiten · ISBN 3-540-56044-0

58 Hansmaier, H.: Rechnergestütztes Verfahren zur Geräuschminderung
1993 · 67 Abb. · 156 Seiten · ISBN 3-540-56053-2

59 Dilling, U.: Planung von Fertigungssystemen unterstützt durch Wirtschaftssimulationen
1993 · 72 Abb. · 146 Seiten · ISBN 3-540-56307-5

60 Strohmayr, R: Rechnergestützte Auswahl und Konfiguration von Zubringeeinrichtungen
1993 · 80 Abb. · 152 Seiten · ISBN 3-540-56652-X

61 Glas, J.: Standardisierter Aufbau anwendungsspezifischer Zellenrechnersoftware
1993 · 80 Abb. · 145 Seiten · ISBN 3.540-56890-5

62 Stetter, R.: Rechnergestützte Simulationswerkzeuge zur Effizienzsteigerung des Industrieroboterereinsatzes
1994 · 91 Abb. · 146 Seiten · ISBN 3-540-56889-1

63 Dirndorfer, A.: Robotersysteme zur förderbandsynchronen Montage
1993 · 76 Abb. · 144 Seiten · ISBN 3-540-57031-4

64 Wiedemann, M.: Simulation des Schwingungsverhaltens spanender Werkzeugmaschinen
1993 · 81 Abb. · 137 Seiten · ISBN 3-540-57177-9

65 Woenckhaus, Ch.: Rechnergestütztes System zur automatisierten 3D- Layoutoptimierung
1994 · 81 Abb. · 140 Seiten · ISBN 3-540-57284-8

66 Kummetsteiner, G.: 3D-Bewegungssimulation als integratives Hilfsmittel zur Planung manueller Montagesysteme
1994 · 62 Abb. · 146 Seiten · ISBN 3-540-57535-9

67 Kugelmann, F.: Einsatz nachgiebiger Elemente zur wirtschaftlichen Automatisierung von Produktionssystemen
1993 · 76 Abb. · 144 Seiten · ISBN 3-540-57549-9

68 Schwarz, H.: Simulationsgestützte CAD/CAM-Kopplung für die 3D-Laserbearbeitung mit integrierter Sensorik
1994 · 96 Abb. · 148 Seiten · ISBN 3-540-57577-4

69 Viethen, U.: Systematik zum Prüfen in flexiblen Fertigungssystemen
1994 · 70 Abb. · 142 Seiten · ISBN 3-540-57794-7

70 Seehuber, M.: Automatische Inbetriebnahme geschwindigkeitsadaptiver Zustandsregler
1994 · 72 Abb. · 155 Seiten · ISBN 3-540-57896-X

71 Amann, W.: Eine Simulationsumgebung für Planung und Betrieb von Produktionssystemen
1994 · 71 Abb. · 129 Seiten · ISBN 3-540-57924-9

72 Schöpf, M.: Rechnergestütztes Projektinformations- und Koordinationssystem für das Fertigungsvorfeld
1997 · 63 Abb. · 130 Seiten · ISBN 3-540-58052-2

73 Welling, A.: Effizienter Einsatz bildgebender Sensoren zur Flexibilisierung automatisierter Handhabungsvorgänge
1994 · 66 Abb. · 139 Seiten · ISBN 3-540-580-0

74 Zetlmayer, H.: Verfahren zur simulationsgestützten Produktionsregelung in der Einzel- und Kleinserienproduktion
1994 · 62 Abb. · 143 Seiten · ISBN 3-540-58134-0

75 Lindl, M.: Auftragsleittechnik für Konstruktion und Arbeitsplanung
1994 · 66 Abb. · 147 Seiten · ISBN 3-540-58221-5

76 Zipper, B.: Das integrierte Betriebsmittelwesen - Baustein einer flexiblen Fertigung
1994 · 64 Abb. · 147 Seiten · ISBN 3-540-58222-3

77 Raith, P.: Programmierung und Simulation von Zellenabläufen in der Arbeitsvorbereitung
1995 · 51 Abb. · 130 Seiten · ISBN 3-540-58223-1

78 Engel, A.: Strömungstechnische Optimierung von Produktionssystemen durch Simulation
1994 · 69 Abb. · 160 Seiten · ISBN 3-540-58258-4

79 Zäh, M. F.: Dynamisches Prozeßmodell Kreissägen
1995· 95 Abb. · 186 Seiten · ISBN 3-540-58624-5

80 Zwanzer, N.: Technologisches Prozeßmodell für die Kugelschleifbearbeitung
1995 · 65 Abb. · 150 Seiten · ISBN 3-540-58634-2

81 Romanow, P: Konstruktionsbegleitende Kalkulation von Werkzeugmaschinen
1995 · 66 Abb. · 151 Seiten · ISBN 3-540-58771-3

82 Kahlenberg, R: Integrierte Qualitätssicherung in flexiblen Fertigungszellen
1995 · 71 Abb. · 136 Seiten · ISBN 3-540-58772-1

83 Huber, A.: Arbeitsfolgenplanung mehrstufiger Prozesse in der Hartbearbeitung
1995 · 87 Abb. · 152 Seiten · ISBN 3-540-58773-X

84 Birkel, G.: Aufwandsminimierter Wissenserwerb für die Diagnose in flexiblen Produktionszellen
1995 · 64 Abb. · 137 Seiten · ISBN 3-540-58869-8

85 Simon, D.: Fertigungsregelung durch zielgrößenorientierte Planung und logistisches Störungsmanagement
1995 · 77 Abb. · 132 Seiten · ISBN 3-540-58942-2

86 Nedeljkovic-Groha, V.: Systematische Planung anwendungsspezifischer Materialflußsteuerungen
1995 · 94 Abb. · 188 Seiten · ISBN 3-540-58953-8

87 Rockland, M.: Flexibilisierung der automatischen Teilbereitstellung in Montageanlagen
1995· 83 Abb. · 168 Seiten · ISBN 3-540-58999-6

88 Linner, St: Konzept einer integrierten Produktentwicklung
1995 · 67 Abb. · 168 Seiten · ISBN 3-540-59016-1

89 Eder, Th.: Integrierte Planung von Informationssystemen für rechnergestützte Produktionssysteme
1995 · 62 Abb. · 150 Seiten · ISBN 3-540-59084-6

90 Deutschle, U.: Prozeßorientierte Organisation der Auftragsentwicklung in mittelständischen Unternehmen
1995 · 80 Abb. · 188 Seiten · ISBN 3-540-59337-3

91 Dieterle, A.: Recyclingintegrierte Produktentwicklung
1995 · 68 Abb. · 146 Seiten · ISBN 3-540-60120-1

92 Hechl, Chr.: Personalorientierte Montageplanung für komplexe und variantenreiche Produkte
1995 · 73 Abb. · 158 Seiten · ISBN 3-540-60325-5

93 Albertz, F.: Dynamikgerechter Entwurf von Werkzeugmaschinen - Gestellstrukturen
1995 · 83 Abb. · 156 Seiten · ISBN 3-540-60608-8

94 Trunzer, W.: Strategien zur On-Line Bahnplanung bei Robotern mit 3D-Konturfolgesensoren
1996 · 101 Abb. · 164 Seiten · ISBN 3-540-60961-X

95 Fichtmüller, N.: Rationalisierung durch flexible, hybride Montagesysteme
1996 · 83 Abb. · 145 Seiten · ISBN 3-540-60960-1

96 Trucks, V.: Rechnergestützte Beurteilung von Getriebestrukturen in Werkzeugmaschinen
1996 · 64 Abb. · 141 Seiten · ISBN 3-540-60599-8

97 Schäffer, G.: Systematische Integration adaptiver Produktionssysteme
1996· 71 Abb. · 170 Seiten · ISBN 3-540-60958-X

98 Koch, M. R.: Autonome Fertigungszellen - Gestaltung, Steuerung und integrierte Störungsbehandlung
1996 · 67 Abb. · 138 Seiten · ISBN 3-540-61104-5

99 Moctezuma de la Barrera, J. L.: Ein durchgängiges System zur Computer- und rechnergestützten Chirurgie
1996 · 99 Abb. · 175 Seiten · ISBN 3-540-61145-2

100 Geuer, A.: Einsatzpotential des Rapid Prototyping in der Produktentwicklung
1996 · 84 Abb. · 154 Seiten · ISBN 3-540-61495-8

101 Ebner, C.: Ganzheitliches Verfügbarkeits- und Qualitätsmanagment unter Verwendung von Felddaten
1996 · 67 Abb. · 132 Seiten · ISBN 3-540-61678-0

102 Pischeltsrieder, K: Steuerung autonomer mobiler Roboter in der Produktion
1996 · 74 Abb. · 171 Seiten · ISBN 3-540-61714-0

103 Köhler, R.: Disposition und Materialbereitstellung bei komplexen variantenreichen Kleinprodukten
1997 · 62 Abb. · 177 Seiten · ISBN 3-540-62024-9

104 Feldmann, Ch.: Eine Methode für die integrierte rechnergestützte Montageplanung
1997 · 71 Abb. · 163 Seiten · ISBN 3-540-62059-1

105 Lehmann, H.: Integrierte Materialfluß- und Layoutplanung durch Kopplung von CAD- und Ablaufsimulationssystem
1997 · 96 Abb. · 191 Seiten · ISBN 3-540-62202-0

106 Wagner, M.: Steuerungsintegrierte Fehlerbehandlung für maschinennahe Abläufe
1997 · 94 Abb. · 164 Seiten · ISBN 3-540-62656-5

107 Lorenzen, J.: Simulationsgestützte Kostenanalyse in produktorientierten Fertigungsstrukturen
1997 · 63 Abb. · 129 Seiten · ISBN 3-540-62794-4

108 Krönert, U.: Systematik für die rechnergestützte Ähnlichteilsuche und Standardisierung
1997 · 53 Abb. · 127 Seiten · ISBN 3-540-63338-3

109 Pfersdorf, I.: Entwicklung eines systematischen Vorgehens zur Organisation des industriellen Service
1997 · 74 Abb. · 172 Seiten · ISBN 3-540-63615-3

110 Kuba, R.: Informations- und kommunikationstechnische Integration von Menschen in der Produktion
1997 · 77 Abb. · 155 Seiten · ISBN 3-540-63642-0

111 Kaiser, J.: Vernetztes Gestalten von Produkt und Produktionsprozeß mit Produktmodellen
1997 · 67 Abb. · 139 Seiten · ISBN 3-540-63999-3

112 Geyer, M.: Flexibles Planungssystem zur Berücksichtigung ergonomischer Aspekte bei der Produkt- und Arbeitssystemgestaltung
1997 · 85 Abb. · 154 Seiten · ISBN 3-540-64195-5

113 Martin, C.: Produktionsregelung - ein modularer, modellbasierter Ansatz
1998 · 73 Abb. · 162 Seiten · ISBN 3-540-64401-6

114 Löffler, Th.: Akustische Überwachung automatisierter Fügeprozesse
1998 · 85 Abb. · 136 Seiten · ISBN 3-540-64511-X

115 Lindermaier, R.: Qualitätsorientierte Entwicklung von Montagesystemen
1998 · 84 Abb. · 164 Seiten · ISBN 3-540-64686-8

116 Koehrer, J.: Prozeßorientierte Teamstrukturen in Betrieben mit Großserienfertigung
1998 · 75 Abb. · 185 Seiten · ISBN 3-540-65037-7

117 Schuller, R. W.: Leitfaden zum automatisierten Auftrag von hochviskosen Dichtmassen
1999 · 76 Abb. · 162 Seiten · ISBN 3-540-65320-1

118 Debuschewitz, M.: Integrierte Methodik und Werkzeuge zur herstellungsorientierten Produktentwicklung
1999 · 104 Abb. · 169 Seiten · ISBN 3-540-65350-3

119 Bauer, L.: Strategien zur rechnergestützten Offline- Programmierung von 3D-Laseranlagen
1999 · 98 Abb. · 145 Seiten · ISBN 3-540-65382-1

120 Pfob, E.: Modellgestützte Arbeitsplanung bei Fertigungsmaschinen
1999 · 69 Abb. ·154 Seiten · ISBN 3-540-65525-5

121 Spitznagel, J.: Erfahrungsgeleitete Planung von Laseranlagen
1999 · 63 Abb. ·156 Seiten · ISBN 3-540-65896-3

Forschungsberichte IWB ab Band 122

herausgegeben von Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart und Prof. Dr.-Ing. Michael Zäh,
Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften der Technischen Universität München

Forschungsberichte IWB ab Band 122 sind erhältlich im Buchhandel oder beim
Herbert Utz Verlag, München, Fax 089-277791-01, info@utzverlag.de, www.utzverlag.de

122 *Burghard Schneider:* Prozesskettenorientierte Bereitstellung nicht formstabiler Bauteile
183 Seiten · ISBN 978-3-89675-559-9

123 *Bernd Goldstein:* Modellgestützte Geschäftsprozeßgestaltung in der Produktentwicklung
170 Seiten · ISBN 978-3-89675-546-9

124 *Helmut E. Mößmer:* Methode zur simulationsbasierten Regelung zeitvarianter Produktionssysteme
164 Seiten · ISBN 978-3-89675-585-8

125 *Ralf-Gunter Gräser:* Ein Verfahren zur Kompensation temperaturinduzierter Verformungen an Industrierobotern
167 Seiten · ISBN 978-3-89675-603-9

126 *Hans-Jürgen Trossin:* Nutzung der Ähnlichkeitstheorie zur Modellbildung in der Produktionstechnik
162 Seiten · ISBN 978-3-89675-614-5

127 *Doris Kugelmann:* Aufgabenorientierte Offline-Programmierung von Industrierobotern
168 Seiten · ISBN 978-3-89675-615-2

128 *Rolf Diesch:* Steigerung der organisatorischen Verfügbarkeit von Fertigungszellen
160 Seiten · ISBN 978-3-89675-618-3

129 *Werner E. Lulay:* Hybrid-hierarchische Simulationsmodelle zur Koordination teilautonomer Produktionsstrukturen
190 Seiten · ISBN 978-3-89675-620-6

130 *Otto Murr:* Adaptive Planung und Steuerung von integrierten Entwicklungs- und Planungsprozessen
178 Seiten · ISBN 978-3-89675-636-7

131 *Michael Macht:* Ein Vorgehensmodell für den Einsatz von Rapid Prototyping
170 Seiten · ISBN 978-3-89675-638-1

132 *Bruno H. Mehler:* Aufbau virtueller Fabriken aus dezentralen Partnerverbünden
152 Seiten · ISBN 978-3-89675-645-9

133 *Knut Heitmann:* Sichere Prognosen für die Produktionsptimierung mittels stochastischer Modelle
146 Seiten · ISBN 978-3-89675-675-6

134 *Stefan Blessing:* Gestaltung der Materialflußsteuerung in dynamischen Produktionsstrukturen
160 Seiten · ISBN 978-3-89675-690-9

135 *Can Abay:* Numerische Optimierung multivariater mehrstufiger Prozesse am Beispiel der Hartbearbeitung von Industriekeramik
159 Seiten · ISBN 978-3-89675-697-8

136 *Stefan Brandner:* Integriertes Produktdaten- und Prozeßmanagement in virtuellen Fabriken
172 Seiten · ISBN 978-3-89675-715-9

137 *Arnd G. Hirschberg:* Verbindung der Produkt- und Funktionsorientierung in der Fertigung
165 Seiten · ISBN 978-3-89675-729-6

138 *Alexandra Reek:* Strategien zur Fokuspositionierung beim Laserstrahlschweißen
193 Seiten · ISBN 978-3-89675-730-2

139 *Khalid-Alexander Sabbah:* Methodische Entwicklung störungstoleranter Steuerungen
148 Seiten · ISBN 978-3-89675-739-5

140 *Klaus U. Schliffenbacher:* Konfiguration virtueller Wertschöpfungsketten in dynamischen, heterarchischen Kompetenznetzwerken
187 Seiten · ISBN 978-3-89675-754-8

141 *Andreas Sprenzel:* Integrierte Kostenkalkulationsverfahren für die Werkzeugmaschinenentwicklung
144 Seiten · ISBN 978-3-89675-757-9

142 *Andreas Gallasch:* Informationstechnische Architektur zur Unterstützung des Wandels in der Produktion
150 Seiten · ISBN 978-3-89675-781-4

143 *Ralf Cuiper:* Durchgängige rechnergestützte Planung und Steuerung von automatisierten Montagevorgängen
174 Seiten · ISBN 978-3-89675-783-8

144 *Christian Schneider:* Strukturmechanische Berechnungen in der Werkzeugmaschinenkonstruktion
180 Seiten · ISBN 978-3-89675-789-0

145 *Christian Jonas:* Konzept einer durchgängigen, rechnergestützten Planung von Montageanlagen
183 Seiten · ISBN 978-3-89675-870-5

146 *Ulrich Willnecker:* Gestaltung und Planung leistungsorientierter manueller Fließmontagen
194 Seiten · ISBN 978-3-89675-891-0

147 *Christof Lehner: Beschreibung des Nd:*YAG-Laserstrahlschweißprozesses von Magnesiumdruckguss
205 Seiten · ISBN 978-3-8316-0004-5

148 *Frank Rick:* Simulationsgestützte Gestaltung von Produkt und Prozess am Beispiel Laserstrahlschweißen
145 Seiten · ISBN 978-3-8316-0008-3

149 *Michael Höhn:* Sensorgeführte Montage hybrider Mikrosysteme
185 Seiten · ISBN 978-3-8316-0012-0

150 *Jörn Böhl:* Wissensmanagement im Klein- und mittelständischen Unternehmen der Einzel- und Kleinserienfertigung
190 Seiten · ISBN 978-3-8316-0020-5

151 *Robert Bürgel:* Prozessanalyse an spanenden Werkzeugmaschinen mit digital geregelten Antrieben
185 Seiten · ISBN 978-3-8316-0021-2

152 *Stephan Dürrschmidt:* Planung und Betrieb wandlungsfähiger Logistiksysteme in der variantenreichen Serienproduktion
194 Seiten · ISBN 978-3-8316-0023-6

153 *Bernhard Eich:* Methode zur prozesskettenorientierten Planung der Teilebereitstellung
136 Seiten · ISBN 978-3-8316-0028-1

154 *Wolfgang Rudorfer:* Eine Methode zur Qualifizierung von produzierenden Unternehmen für Kompetenznetzwerke
207 Seiten · ISBN 978-3-8316-0037-3

155 *Hans Meier:* Verteilte kooperative Steuerung maschinennaher Abläufe
166 Seiten · ISBN 978-3-8316-0044-1

156 *Gerhard Nowak:* Informationstechnische Integration des industriellen Service in das Unternehmen
208 Seiten · ISBN 978-3-8316-0055-7

157 *Martin Werner:* Simulationsgestützte Reorganisation von Produktions- und Logistikprozessen
191 Seiten · ISBN 978-3-8316-0058-8

158 *Bernhard Lenz:* Finite Elemente-Modellierung des Laserstrahlschweißens für den Einsatz in der Fertigungsplanung
162 Seiten · ISBN 978-3-8316-0094-6

159 *Stefan Grunwald:* Methode zur Anwendung der flexiblen integrierten Produktentwicklung und Montageplanung
216 Seiten · ISBN 978-3-8316-0095-3

160 *Josef Gartner:* Qualitätssicherung bei der automatisierten Applikation hochviskoser Dichtungen
165 Seiten · ISBN 978-3-8316-0096-0

161 *Wolfgang Zeller:* Gesamtheitliches Sicherheitskonzept für die Antriebs- und Steuerungstechnik bei Werkzeugmaschinen
192 Seiten · ISBN 978-3-8316-0100-4

162 *Michael Loferer:* Rechnergestützte Gestaltung von Montagesystemen
178 Seiten · ISBN 978-3-8316-0118-9

163 *Jörg Fährer:* Ganzheitliche Optimierung des indirekten Metall-Lasersinterprozesses
176 Seiten · ISBN 978-3-8316-0124-0

164 *Jürgen Höppner:* Verfahren zur berührungslosen Handhabung mittels leistungsstarker Schallwandler
144 Seiten · ISBN 978-3-8316-0125-7

165 *Hubert Götte:* Entwicklung eines Assistenzrobotersystems für die Knieendoprothetik
258 Seiten · ISBN 978-3-8316-0126-4

166 *Martin Weißenberger:* Optimierung der Bewegungsdynamik von Werkzeugmaschinen im rechnergestützten Entwicklungsprozess
210 Seiten · ISBN 978-3-8316-0138-7

167 *Dirk Jacob:* Verfahren zur Positionierung unterseitenstrukturierter Bauelemente in der Mikrosystemtechnik
200 Seiten · ISBN 978-3-8316-0142-4

168 *Ulrich Roßgoderer:* System zur effizienten Layout- und Prozessplanung von hybriden Montageanlagen
175 Seiten · ISBN 978-3-8316-0154-7

169 *Robert Klingel:* Anziehverfahren für hochfeste Schraubenverbindungen auf Basis akustischer Emissionen
164 Seiten · ISBN 978-3-8316-0174-5

170 *Paul Jens Peter Ross:* Bestimmung des wirtschaftlichen Automatisierungsgrades von Montageprozessen in der frühen Phase der Montageplanung
144 Seiten · ISBN 978-3-8316-0191-2

171 *Stefan von Praun:* Toleranzanalyse nachgiebiger Baugruppen im Produktentstehungsprozess
252 Seiten · ISBN 978-3-8316-0202-5

172 *Florian von der Hagen:* Gestaltung kurzfristiger und unternehmensübergreifender Engineering-Kooperationen
220 Seiten · ISBN 978-3-8316-0208-7

173 *Oliver Kramer:* Methode zur Optimierung der Wertschöpfungskette mittelständischer Betriebe
212 Seiten · ISBN 978-3-8316-0211-7

174 *Winfried Dohmen:* Interdisziplinäre Methoden für die integrierte Entwicklung komplexer mechatronischer Systeme
200 Seiten · ISBN 978-3-8316-0214-8

175 *Oliver Anton:* Ein Beitrag zur Entwicklung telepräsenter Montagesysteme
158 Seiten · ISBN 978-3-8316-0215-5

176 *Welf Broser:* Methode zur Definition und Bewertung von Anwendungsfeldern für Kompetenznetzwerke
224 Seiten · ISBN 978-3-8316-0217-9

177 *Frank Breitinger:* Ein ganzheitliches Konzept zum Einsatz des indirekten Metall-Lasersinterns für das Druckgießen
156 Seiten · ISBN 978-3-8316-0227-8

178 *Johann von Pieverling:* Ein Vorgehensmodell zur Auswahl von Konturfertigungsverfahren für das Rapid Tooling
163 Seiten · ISBN 978-3-8316-0230-8

179 *Thomas Baudisch:* Simulationsumgebung zur Auslegung der Bewegungsdynamik des mechatronischen Systems Werkzeugmaschine
190 Seiten · ISBN 978-3-8316-0249-0

180 *Heinrich Schieferstein:* Experimentelle Analyse des menschlichen Kausystems
132 Seiten · ISBN 978-3-8316-0251-3

181 *Joachim Berlak:* Methodik zur strukturierten Auswahl von Auftragsabwicklungssystemen
244 Seiten · ISBN 978-3-8316-0258-2

182 *Christian Meierlohr:* Konzept zur rechnergestützten Integration von Produktions- und Gebäudeplanung in der Fabrikgestaltung
181 Seiten · ISBN 978-3-8316-0292-6

183 *Volker Weber:* Dynamisches Kostenmanagement in kompetenzzentrierten Unternehmensnetzwerken
230 Seiten · ISBN 978-3-8316-0330-5

184 *Thomas Bongardt:* Methode zur Kompensation betriebsabhängiger Einflüsse auf die Absolutgenauigkeit von Industrierobotern
170 Seiten · ISBN 978-3-8316-0332-9

185 *Tim Angerer:* Effizienzsteigerung in der automatisierten Montage durch aktive Nutzung mechatronischer Produktkomponenten
180 Seiten · ISBN 978-3-8316-0336-7

186 *Alexander Krüger:* Planung und Kapazitätsabstimmung stückzahlflexibler Montagesysteme
197 Seiten · ISBN 978-3-8316-0371-8

187 *Matthias Meindl:* Beitrag zur Entwicklung generativer Fertigungsverfahren für das Rapid Manufacturing
236 Seiten · ISBN 978-3-8316-0465-4

188 *Thomas Fusch:* Betriebsbegleitende Prozessplanung in der Montage mit Hilfe der Virtuellen Produktion am Beispiel der Automobilindustrie
190 Seiten · ISBN 978-3-8316-0467-8

189 *Thomas Mosandl:* Qualitätssteigerung bei automatisiertem Klebstoffauftrag durch den Einsatz optischer Konturfolgesysteme
182 Seiten · ISBN 978-3-8316-0471-5

190 *Christian Patron:* Konzept für den Einsatz von Augmented Reality in der Montageplanung
150 Seiten · ISBN 978-3-8316-0474-6

191 *Robert Cisek:* Planung und Bewertung von Rekonfigurationsprozessen in Produktionssystemen
200 Seiten · ISBN 978-3-8316-0475-3

192 *Florian Auer:* Methode zur Simulation des Laserstrahlschweißens unter Berücksichtigung der Ergebnisse vorangegangener Umformsimulationen
160 Seiten · ISBN 978-3-8316-0485-2

193 *Carsten Selke:* Entwicklung von Methoden zur automatischen Simulationsmodellgenerierung
137 Seiten · ISBN 978-3-8316-0495-1

194 *Markus Seefried:* Simulation des Prozessschrittes der Wärmebehandlung beim Indirekten-Metall-Lasersintern
216 Seiten · ISBN 978-3-8316-0503-3

195 *Wolfgang Wagner:* Fabrikplanung für die standortübergreifende Kostensenkung bei marktnaher Produktion
208 Seiten · ISBN 978-3-8316-0586-6

196 *Christopher Ulrich:* Erhöhung des Nutzungsgrades von Laserstrahlquellen durch Mehrfach-Anwendungen
192 Seiten · ISBN 978-3-8316-0590-3

197 *Johann Härtl:* Prozessgaseinfluss beim Schweißen mit Hochleistungsdiodenlasern
148 Seiten · ISBN 978-3-8316-0611-5

198 *Bernd Hartmann:* Die Bestimmung des Personalbedarfs für den Materialfluss in Abhängigkeit von Produktionsfläche und -menge
208 Seiten · ISBN 978-3-8316-0615-3

199 *Michael Schilp:* Auslegung und Gestaltung von Werkzeugen zum berührungslosen Greifen kleiner Bauteile in der Mikromontage
180 Seiten · ISBN 978-3-8316-0631-3

200 *Florian Manfred Grätz:* Teilautomatische Generierung von Stromlauf- und Fluidplänen für mechatronische Systeme
192 Seiten · ISBN 978-3-8316-0643-6

201 *Dieter Eireiner:* Prozessmodelle zur statischen Auslegung von Anlagen für das Friction Stir Welding
214 Seiten · ISBN 978-3-8316-0650-4

202 *Gerhard Volkwein:* Konzept zur effizienten Bereitstellung von Steuerungsfunktionalität für die NC-Simulation
192 Seiten · ISBN 978-3-8316-0668-9

203 *Sven Roeren:* Komplexitätsvariable Einflussgrößen für die bauteilbezogene Struktursimulation thermischer Fertigungsprozesse
224 Seiten · ISBN 978-3-8316-0680-1

204 *Henning Rudolf:* Wissensbasierte Montageplanung in der Digitalen Fabrik am Beispiel der Automobilindustrie
200 Seiten · ISBN 978-3-8316-0697-9

205 *Stella Clarke-Griebsch:* Overcoming the Network Problem in Telepresence Systems with Prediction and Inertia
150 Seiten · ISBN 978-3-8316-0701-3

206 *Michael Ehrenstraßer:* Sensoreinsatz in der telepräsenten Mikromontage
180 Seiten · ISBN 978-3-8316-0743-3

207 *Rainer Schack:* Methodik zur bewertungsorientierten Skalierung der Digitalen Fabrik
260 Seiten · ISBN 978-3-8316-0748-8

208 *Wolfgang Sudhoff:* Methodik zur Bewertung standortübergreifender Mobilität in der Produktion
300 Seiten · ISBN 978-3-8316-0749-5

209 *Stefan Müller:* Methodik für die entwicklungs- und planungsbegleitende Generierung und Bewertung von Produktionsalternativen
260 Seiten · ISBN 978-3-8316-0750-1

210 *Ulrich Kohler:* Methodik zur kontinuierlichen und kostenorientierten Planung produktionstechnischer Systeme
246 Seiten · ISBN 978-3-8316-0753-2

211 *Klaus Schlickenrieder:* Methodik zur Prozessoptimierung beim automatisierten elastischen Kleben großflächiger Bauteile
204 Seiten · ISBN 978-3-8316-0776-1

212 *Niklas Möller:* Bestimmung der Wirtschaftlichkeit wandlungsfähiger Produktionssysteme
260 Seiten · ISBN 978-3-8316-0778-5

213 *Daniel Siedl:* Simulation des dynamischen Verhaltens von Werkzeugmaschinen während Verfahrbewegungen
226 Seiten · ISBN 978-3-8316-0779-2

214 *Dirk Ansorge:* Auftragsabwicklung in heterogenen Produktionsstrukturen mit spezifischen Planungsfreiräumen
150 Seiten · ISBN 978-3-8316-0785-3

215 *Georg Wünsch:* Methoden für die virtuelle Inbetriebnahme automatisierter Produktionssysteme
238 Seiten · ISBN 978-3-8316-0795-2

216 *Thomas Oertli:* Strukturmechanische Berechnung und Regelungssimulation von Werkzeugmaschinen mit elektromechanischen Vorschubantrieben
194 Seiten · ISBN 978-3-8316-0798-3

217 *Bernd Petzold:* Entwicklung eines Operatorarbeitsplatzes für die telepräsente Mikromontage
234 Seiten · ISBN 978-3-8316-0805-8

218 *Loucas Papadakis:* Simulation of the Structural Effects of Welded Frame Assemblies in Manufacturing Process Chains
260 Seiten · ISBN 978-3-8316-0813-3

219 *Mathias Mörtl:* Ressourcenplanung in der variantenreichen Fertigung
228 Seiten · ISBN 978-3-8316-0820-1

220 *Sebastian Weig:* Konzept eines integrierten Risikomanagements für die Ablauf- und Strukturgestaltung in Fabrikplanungsprojekten
252 Seiten · ISBN 978-3-8316-0823-2

221 *Tobias Hornfeck:* Laserstrahlbiegen komplexer Aluminiumstrukturen für Anwendungen in der Luftfahrtindustrie
150 Seiten · ISBN 978-3-8316-0826-3

222 *Hans Egermeier:* Entwicklung eines Virtual-Reality-Systems für die Montagesimulation mit kraftrückkoppelnden Handschuhen
230 Seiten · ISBN 978-3-8316-0833-1

223 *Matthäus Sigl:* Ein Beitrag zur Entwicklung des Elektronenstrahlsinterns
200 Seiten · ISBN 978-3-8316-0841-6

224 *Mark Harfensteller:* Eine Methodik zur Entwicklung und Herstellung von Radiumtargets
198 Seiten · ISBN 978-3-8316-0849-2

225 *Jochen Werner:* Methode zur roboterbasierten förderbandsynchronen Fließmontage am Beispiel der Automobilindustrie
210 Seiten · ISBN 978-3-8316-0857-7

226 *Florian Hagemann:* Ein formflexibles Werkzeug für das Rapid Tooling beim Spritzgießen
244 Seiten · ISBN 978-3-8316-0861-4

227 *Haitham Rashidy:* Knowledge-based quality control in manufacturing processes with application to the automotive industry
226 Seiten · ISBN 978-3-8316-0862-1

228 *Wolfgang Vogl:* Eine interaktive räumliche Benutzerschnittstelle für die Programmierung von Industrierobotern
248 Seiten · ISBN 978-3-8316-0869-0

229 *Sonja Schedl:* Integration von Anforderungsmanagement in den mechatronischen Entwicklungsprozess
176 Seiten · ISBN 978-3-8316-0874-4

230 *Andreas Trautmann:* Bifocal Hybrid Laser Welding · A Technology for Welding of Aluminium and Zinc-Coated Steels
314 Seiten · ISBN 978-3-8316-0876-8

231 *Patrick Neise:* Managing Quality and Delivery Reliability of Suppliers by Using Incentives and Simulation Models
226 Seiten · ISBN 978-3-8316-0878-2

232 *Christian Habicht:* Einsatz und Auslegung zeitfensterbasierter Planungssysteme in überbetrieblichen Wertschöpfungsketten
204 Seiten · ISBN 978-3-8316-0891-1

233 *Michael Spitzweg:* Methode und Konzept für den Einsatz eines physikalischen Modells in der Entwicklung von Produktionsanlagen
180 Seiten · ISBN 978-3-8316-0931-4

234 *Ulrich Munzert:* Bahnplanungsalgorithmen für das robotergestützte Remote-Laserstrahlschweißen
176 Seiten · ISBN 978-3-8316-0948-2

235 *Georg Völlner:* Rührreibschweißen mit Schwerlast-Industrierobotern
232 Seiten · ISBN 978-3-8316-0955-0

236 *Nils Müller:* Modell für die Beherrschung und Reduktion von Nachfrageschwankungen
286 Seiten · ISBN 978-3-8316-0992-5

237 *Franz Decker:* Unternehmensspezifische Strukturierung der Produktion als permanente Aufgabe
180 Seiten · ISBN 978-3-8316-0996-3

238 *Christian Lau:* Methodik für eine selbstoptimierende Produktionssteuerung
204 Seiten · ISBN 978-3-8316-4012-6

239 *Christoph Rimpau:* Wissensbasierte Risikobewertung in der Angebotskalkulation für hochgradig individualisierte Produkte
268 Seiten · ISBN 978-3-8316-4015-7

240 *Michael Loy:* Modulare Vibrationswendelförderer zur flexiblen Teilezuführung
190 Seiten · ISBN 978-3-8316-4027-0

241 *Andreas Eursch:* Konzept eines immersiven Assistenzsystems mit Augmented Reality zur Unterstützung manueller Aktivitäten in radioaktiven Produktionsumgebungen
226 Seiten · ISBN 978-3-8316-4029-4

242 *Florian Schwarz:* Simulation der Wechselwirkungen zwischen Prozess und Struktur bei der Drehbearbeitung
282 Seiten · ISBN 978-3-8316-4030-0

243 *Martin Georg Prasch:* Integration leistungsgewandelter Mitarbeiter in die variantenreiche Serienmontage
261 Seiten · ISBN 978-3-8316-4033-1

244 *Johannes Schilp:* Adaptive Montagesysteme für hybride Mikrosysteme unter Einsatz von Telepräsenz
192 Seiten · ISBN 978-3-8316-4063-8

245 *Stefan Lutzmann:* Beitrag zur Prozessbeherrschung des Elektronenstrahlschmelzens
242 Seiten · ISBN 978-3-8316-4070-6

246 *Gregor Branner:* Modellierung transienter Effekte in der Struktursimulation von Schichtbauverfahren
230 Seiten · ISBN 978-3-8316-4071-3

247 *Josef Ludwig Zimmermann:* Eine Methodik zur Gestaltung berührungslos arbeitender Handhabungssysteme
186 Seiten · ISBN 978-3-8316-4091-1

248 *Clemens Pörnbacher:* Modellgetriebene Entwicklung der Steuerungssoftware automatisierter Fertigungssysteme
280 Seiten · ISBN 978-3-8316-4108-6

249 *Alexander Lindworsky:* Teilautomatische Generierung von Simulationsmodellen für den entwicklungsbegleitenden Steuerungstest
294 Seiten · ISBN 978-3-8316-4125-3

250 *Michael Mauderer:* Ein Beitrag zur Planung und Entwicklung von rekonfigurierbaren mechatronischen Systemen – am Beispiel von starren Fertigungssystemen
220 Seiten · ISBN 978-3-8316-4126-0

251 *Roland Mork:* Qualitätsbewertung und -regelung für die Fertigung von Karosserieteilen in Presswerken auf Basis Neuronaler Netze
228 Seiten · ISBN 978-3-8316-4127-7

252 *Florian Reichl:* Methode zum Management der Kooperation von Fabrik- und Technologieplanung
224 Seiten · ISBN 978-3-8316-4128-4

253 *Paul Gebhard:* Dynamisches Verhalten von Werkzeugmaschinen bei Anwendung für das Rührreibschweißen
220 Seiten · ISBN 978-3-8316-4129-1

254 *Michael Heinz:* Modellunterstützte Auslegung berührungsloser Ultraschallgreifsysteme für die Mikrosystemtechnik
302 Seiten · ISBN 978-3-8316-4147-5

255 *Pascal Krebs:* Bewertung vernetzter Produktionsstandorte unter Berücksichtigung multidimensionaler Unsicherheiten
244 Seiten · ISBN 978-3-8316-4156-7

256 *Gerhard Straßer:* Greiftechnologie für die automatisierte Handhabung von technischen Textilien in der Faserverbundfertigung
290 Seiten · ISBN 978-3-8316-4161-1

257 *Frédéric-Felix Lacour:* Modellbildung für die physikbasierte Virtuelle Inbetriebnahme materialflussintensiver Produktionsanlagen
222 Seiten · ISBN 978-3-8316-4162-8

258 *Thomas Hensel:* Modellbasierter Entwicklungsprozess für Automatisierungslösungen
184 Seiten · ISBN 978-3-8316-4167-3

259 *Sherif Zaidan:* A Work-Piece Based Approach for Programming Cooperating Industrial Robots
212 Seiten · ISBN 978-3-8316-4175-8

260 *Hendrik Schellmann:* Bewertung kundenspezifischer Mengenflexibilität im Wertschöpfungsnetz
224 Seiten · ISBN 978-3-8316-4189-5

261 *Marwan Radi:* Workspace scaling and haptic feedback for industrial telepresence and teleaction systems with heavy-duty teleoperators
172 Seiten · ISBN 978-3-8316-4195-6

262 *Markus Ruhstorfer:* Rührreibschweißen von Rohren
206 Seiten · ISBN 978-3-8316-4197-0

263 *Rüdiger Daub:* Erhöhung der Nahttiefe beim Laserstrahl-Wärmeleitungsschweißen von Stählen
182 Seiten · ISBN 978-3-8316-4199-4

264 *Michael Ott:* Multimaterialverarbeitung bei der additiven strahl- und pulverbettbasierten Fertigung
220 Seiten · ISBN 978-3-8316-4201-4

265 *Martin Ostgathe:* System zur produktbasierten Steuerung von Abläufen in der auftragsbezogenen Fertigung und Montage
278 Seiten · ISBN 978-3-8316-4206-9

266 *Imke Nora Kellner:* Materialsysteme für das pulverbettbasierte 3D-Drucken
208 Seiten · ISBN 978-3-8316-4223-6

267 *Florian Oefele:* Remote-Laserstrahlschweißen mit brillanten Laserstrahlquellen
238 Seiten · ISBN 978-3-8316-4224-3

268 *Claudia Anna Ehinger:* Automatisierte Montage von Faserverbund-Vorformlingen
252 Seiten · ISBN 978-3-8316-4233-5

269 *Tobias Zeilinger:* Laserbasierte Bauteillagebestimmung bei der Montage optischer Mikrokomponenten
220 Seiten · ISBN 978-3-8316-4234-2

270 *Stefan Krug:* Automatische Konfiguration von Robotersystemen (Plug&Produce)
208 Seiten · ISBN 978-3-8316-4243-4

271 *Marc Lotz:* Erhöhung der Fertigungsgenauigkeit beim Schwungrad-Reibschweißen durch modellbasierte Regelungsverfahren
220 Seiten · ISBN 978-3-8316-4245-8

272 *William Brice Tekouo Moutchiho:* A New Programming Approach for Robot-based Flexible Inspection systems
232 Seiten · ISBN 978-3-8316-4247-2

273 *Matthias Waibel:* Aktive Zusatzsysteme zur Schwingungsreduktion an Werkzeugmaschinen
158 Seiten · ISBN 978-3-8316-4250-2

274 *Christian Eschey:* Maschinenspezifische Erhöhung der Prozessfähigkeit in der additiven Fertigung
216 Seiten · ISBN 978-3-8316-4270-0

275 *Florian Aull:* Modell zur Ableitung effizienter Implementierungsstrategien für Lean-Production-Methoden
270 Seiten · ISBN 978-3-8316-4283-0

276 *Marcus Hennauer:* Entwicklungsbegleitende Prognose der mechatronischen Eigenschaften von Werkzeugmaschinen
214 Seiten · ISBN 978-3-8316-4306-6

277 *Alexander Götzfried:* Analyse und Vergleich fertigungstechnischer Prozessketten für Flugzeugtriebwerks-Rotoren
220 Seiten · ISBN 978-3-8316-4310-3

278 *Saskia Reinhardt:* Bewertung der Ressourceneffizienz in der Fertigung
232 Seiten · ISBN 978-3-8316-4317-2

279 *Fabian J. Meling:* Methodik für die Rekombination von Anlagentechnik
192 Seiten · ISBN 978-3-8316-4319-6

280 *Jörg Egbers:* Identifikation und Adaption von Arbeitsplätzen für leistungsgewandelte Mitarbeiter entlang des Montageplanungsprozesses
192 Seiten · ISBN 978-3-8316-4328-8

281 *Max von Bredow:* Methode zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit und des Risikos unternehmensübergreifender Wertschöpfungskonfigurationen in der Automobilindustrie
204 Seiten · ISBN 978-3-8316-4337-0

282 *Tobias Philipp:* RFID-gestützte Produktionssteuerungsverfahren für die Herstellung von Bauteilen aus Faserverbundkunststoffen
142 Seiten · ISBN 978-3-8316-4346-2

283 *Stefan Rainer Johann Braunreuther:* Untersuchungen zur Lasersicherheit für Materialbearbeitungsanwendungen mit brillanten Laserstrahlquellen
232 Seiten · ISBN 978-3-8316-4348-6

284 *Johannes Pohl:* Adaption von Produktionsstrukturen unter Berücksichtigung von Lebenszyklen
202 Seiten · ISBN 978-3-8316-4358-5

285 *Mathey Wiesbeck:* Struktur zur Repräsentation von Montagesequenzen für die situationsorientierte Werkerführung
194 Seiten · ISBN 978-3-8316-4369-1

286 *Sonja Huber:* In-situ-Legierungsbestimmung beim Laserstrahlschweißen
206 Seiten · ISBN 978-3-8316-4370-7

287 *Robert Wiedenmann:* Prozessmodell und Systemtechnik für das laserunterstützte Fräsen
220 Seiten · ISBN 978-3-8316-4384-4

288 *Thomas Irrenhauser:* Bewertung der Wirtschaftlichkeit von RFID im Wertschöpfungsnetz
242 Seiten · ISBN 978-3-8316-4404-9

289 *Jens Hatwig:* Automatisierte Bahnplanung für Industrieroboter und Scanneroptiken bei der Remote-Laserstrahlbearbeitung
196 Seiten · ISBN 978-3-8316-4405-6

290 *Matthias Baur:* Aktives Dämpfungssystem zur Ratterunterdrückung an spanenden Werkzeugmaschinen
210 Seiten · ISBN 978-3-8316-4408-7

291 *Alexander Schober:* Eine Methode zur Wärmequellenkalibrierung in der Schweißstrukursimulation
198 Seiten · ISBN 978-3-8316-4415-5

292 *Matthias Glonegger:* Berücksichtigung menschlicher Leistungsschwankungen bei der Planung von Variantenfließmontagesystemen
214 Seiten · ISBN 978-3-8316-4419-3

293 *Markus Kahnert:* Scanstrategien zur verbesserten Prozessführung beim Elektronenstrahlschmelzen (EBM)
228 Seiten · ISBN 978-3-8316-4416-2

294 *Sebastian Schindler:* Strategische Planung von Technologieketten für die Produktion
220 Seiten · ISBN 978-3-8316-4434-6

295 *Tobias Föckerer:* Methode zur rechnergestützten Prozessgestaltung des Schleifhärtens
128 Seiten · ISBN 978-3-8316-4448-3

296 *Rüdiger Spillner:* Einsatz und Planung von Roboterassistenz zur Berücksichtigung von Leistungswandlungen in der Produktion
286 Seiten · ISBN 978-3-8316-4450-6

297 *Daniel Schmid:* Rührreibschweißen von Aluminiumlegierungen mit Stählen für die Automobilindustrie
300 Seiten · ISBN 978-3-8316-4452-0

298 *Florian Karl:* Bedarfsermittlung und Planung von Rekonfigurationen an Betriebsmitteln
222 Seiten · ISBN 978-3-8316-4458-2

299 *Philipp Ronald Engelhardt:* System für die RFID-gestützte situationsbasierte Produktionssteuerung in der auftragsbezogenen Fertigung und Montage
246 Seiten · ISBN 978-3-8316-4472-8

300 *Markus Graßl:* Bewertung der Energieflexibilität in der Produktion
202 Seiten · ISBN 978-3-8316-4476-6

301 *Thomas Kirchmeier:* Methode zur Anwendung der berührungslosen Handhabung mittels Ultraschall im automatisierten Montageprozess
196 Seiten · ISBN 978-3-8316-4478-0

302 *Oliver Rösch:* Steigerung der Arbeitsgenauigkeit bei der Fräsbearbeitung metallischer Werkstoffe mit Industrierobotern
214 Seiten · ISBN 978-3-8316-4486-5

303 *Christoph Sieben:* Entwicklung eines Prognosemodells zur prozessbegleitenden Beurteilung der Montagequalität von Kolbendichtungen
194 Seiten · ISBN 978-3-8316-4510-7

304 *Philipp Alexander Schmidt:* Laserstrahlschweißen elektrischer Kontakte von Lithium-Ionen-Batterien in Elektro- und Hybridfahrzeugen
190 Seiten · ISBN 978-3-8316-4519-0

305 *Yi Shen:* System für die Mensch-Roboter-Koexistenz in der Fließmontage
230 Seiten · ISBN 978-3-8316-4520-6

306 *Thomas Bonin:* Moderne Ordnungsreduktionsverfahren für die Simulation des dynamischen Verhaltens von Werkzeugmaschinen
274 Seiten · ISBN 978-3-8316-4522-0

307 *Jan Daniel Musiol:* Remote-Laserstrahl-Abtragschneiden
168 Seiten · ISBN 978-3-8316-4523-7

308 *Emin Genc:* Frühwarnsystem für ein adaptives Störungsmanagement
234 Seiten · ISBN 978-3-8316-4525-1

309 *Mirko Langhorst:* Beherrschung von Schweißverzug und Schweißeigenspannungen
252 Seiten · ISBN 978-3-8316-4524-2

310 *Markus Schweier:* Simulative und experimentelle Untersuchungen zum Laserschweißen mit Strahloszillation
284 Seiten · ISBN 978-3-8316-4536-7

311 *Florian Geiger:* System zur wissensbasierten Maschinenbelegungsplanung auf Basis produktspezifischer Auftragsdaten
224 Seiten · ISBN 978-3-8316-4537-4

312 *Peter Schnellbach:* Methodik zur Reduzierung von Energieverschwendung unter Berücksichtigung von Zielgrößen Ganzheitlicher Produktionssysteme
236 Seiten · ISBN 978-3-8316-4540-4

313 *Stefan Schwarz:* Prognosefähigkeit dynamischer Simulationen von Werkzeugmaschinenstrukturen
244 Seiten · ISBN 978-3-8316-4542-8

314 *Markus Pröpster:* Methodik zur kurzfristigen Austaktung variantenreicher Montagelinien am Beispiel des Nutzfahrzeugbaus
238 Seiten · ISBN 978-3-8316-4547-3

315 *Dominik David Simon:* Automatisierte flexible Werkzeugsysteme zum Umformen und Spannen von Kunststoffscheiben und -schalen
234 Seiten · ISBN 978-3-8316-4548-0

316 *Stefan Maurer:* Frühaufklärung kritischer Situationen in Versorgungsprozessen
242 Seiten · ISBN 978-3-8316-4554-1

317 *Tobias Maier:* Modellierungssystematik zur aufgabenbasierten Beschreibung des thermoelastischen Verhaltens von Werkzeugmaschinen
274 Seiten · ISBN 978-3-8316-4561-9

318 *Klemens Konrad Niehues:* Identifikation linearer Dämpfungsmodelle für Werkzeugmaschinenstrukturen
286 Seiten · ISBN 978-3-8316-4568-8

319 *Julian Christoph Sebastian Backhaus:* Adaptierbares aufgabenorientiertes Programmiersystem für Montagesysteme
264 Seiten · ISBN 978-3-8316-4570-1

320 *Sabine G. Zitzlsberger:* Flexibles Werkzeug zur Umformung von Polycarbonatplatten unter besonderer Beachtung der optischen Qualität
228 Seiten · ISBN 978-3-8316-4573-2

321 *Christian Thiemann:* Methode zur Konfiguration automatisierter thermografischer Prüfsysteme
244 Seiten · ISBN 978-3-8316-4574-9

322 *Markus Westermeier:* Qualitätsorientierte Analyse komplexer Prozessketten am Beispiel der Herstellung von Batteriezellen
208 Seiten · ISBN 978-3-8316-4586-2

323 *Thorsten Klein:* Agiles Engineering im Maschinen- und Anlagenbau
284 Seiten · ISBN 978-3-8316-4598-5