

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 Datenverarbeitungs-  
anlagen 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](http://www.utzverlag.de)

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>v</b>
<b>1 Einleitung.....</b>	<b>1</b>
1.1 Ausgangssituation und Motivation.....	1
1.2 Zielsetzung der Arbeit .....	5
1.3 Aufbau der Arbeit .....	6
<b>2 Grundlagen und Begriffsbestimmungen .....</b>	<b>9</b>
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
<b>3 Stand der Technik und Forschung.....</b>	<b>25</b>
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

## Inhaltsverzeichnis

---

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	<b>Abgeleiteter Handlungsbedarf und resultierende Anforderungen .....</b>	<b>71</b>
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	<b>Agiles Engineering im Maschinen- und Anlagenbau .....</b>	<b>81</b>
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

<b>6 Methodik zum agilen Engineering im Maschinen- und Anlagenbau .....</b>	<b>111</b>
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
<b>7 Anwendungsszenario und Ergebnisse.....</b>	<b>139</b>
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
<b>8 Bewertung der Methodik .....</b>	<b>155</b>
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
<b>9 Zusammenfassung und Ausblick.....</b>	<b>165</b>
9.1 Resümee und erreichte Ziele .....	165
9.2 Weiterführende Arbeiten .....	169

## **Inhaltsverzeichnis**

---

<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>171</b>
<b>Anhang .....</b>	<b>195</b>
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

# **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).

## **1 Einleitung**

---

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 (EHRENSPIEL 2009, S. 609). Aufgrund der Position in der Wertschöpfungskette wird der Erfolg eines Produkts deshalb insbesondere in der frühen Phase der Produktentstehung bestimmt (HAMMERS 2012, S. 17), da hier die besten Voraussetzungen für die Etablierung eines gesunden Prozesses vorherrschen (HEBLING 2006, S. 4).

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

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

ist (HELLENBRAND 2013, S. 1). 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 Zeiter sparnisse des Time-to-Markets (MÜLLER & PADBERG 2002, S. 3-5; COHN 2010, S. 10-19;

## **1 Einleitung**

---

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**

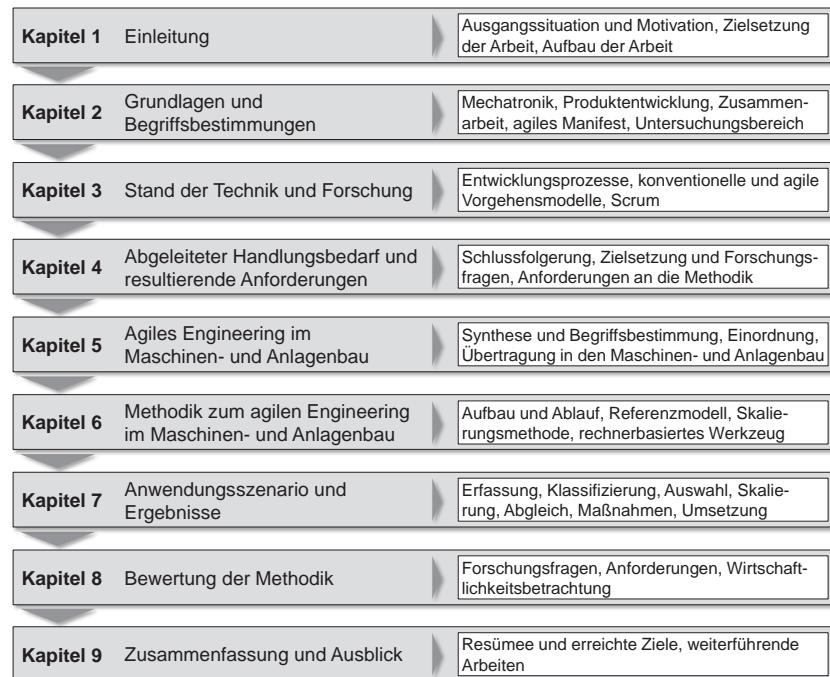
Die Zielsetzung der vorliegenden Arbeit ist die Entwicklung einer Methodik zum agilen Engineering im Maschinen- und Anlagenbau.

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 durchgeföhrten Untersuchungen getätig, die erreichten Ziele reflektiert und ein Ausblick auf mögliche weiterführende Arbeiten gegeben.

- 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.: Erfahrungsgleitete 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. Mößner: Methode zur simulationsbasierten Regelung zeitvarianter Produktionsysteme  
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 Kugelman: 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 Konstruktion 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 Produktionsoptimierung 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 Industrierkeramik  
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. Schlippenbacher: Konfiguration virtueller Wertschöpfungsketten in dynamischen, heterarchischen Kompetenznetzwerken  
187 Seiten - ISBN 978-3-89675-754-8
- 141 Andreas Sprengel: 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 Lehrer: 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: Sensorgeführt 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 978-3-8316-0212-2
- 152 *Stephan Dürschmidt*: 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 Ruderer*: 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 Laserstrahlenschweißens 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 Löfer*: Rechnergestützte Gestaltung von Montagesystemen  
178 Seiten · ISBN 978-3-8316-0118-9
- 163 *Jörg Fähr*: Ganzheitliche Optimierung des indirekten Metall-Lasersinterprozesses  
176 Seiten · ISBN 978-3-8316-0124-0
- 164 *Jürgen Höppner*: Verfahren zur berührungslosen Handhabung mittels leistungsfester 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 lens 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 telepräsentier Montagesysteme  
158 Seiten · ISBN 978-3-8316-0215-5
- 176 *Wolff 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 Druckengießen  
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 Berkak*: Methodik zur strukturierten Auswahl von Auftragsabwicklungsystmen  
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 stückzahlflexible Montagesysteme  
197 Seiten · ISBN 978-3-8316-0371-8
- 187 *Matthias Meinrl*: 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 Produktionsystemen  
200 Seiten · ISBN 978-3-8316-0475-3

- 192 *Florian Auer*: Methode zur Simulation des Laserstrahlenschweißens 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 Kostenenkung 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 Rooren*: 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-Griebisch*: Overcoming the Network Problem in Telepresence Systems with Prediction and Inertia  
150 Seiten · ISBN 978-3-8316-0701-3
- 206 *Michael Ehrenstraßer*: Sensorsreinsatz 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 Schlickerrieder*: Methodik zur Prozessoptimierung beim automatisierten elastischen Kleben großflächiger Bauteile  
204 Seiten · ISBN 978-3-8316-0776-1
- 212 *Niklas Möller*: Bestimmung der Wirtschaftlichkeit wandlungsfähiger Produktionsysteme  
260 Seiten · ISBN 978-3-8316-0778-5
- 213 *Daniel Siedl*: Simulation des dynamischen Verhaltens von Werkzeugmaschinen während Verfahrerbewegungen  
226 Seiten · ISBN 978-3-8316-0779-2
- 214 *Dirk Ansorge*: Auftragsabwicklung in heterogenen Produktionsstrukturen mit spezifischen Planungsfreiraumen  
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 Oerli*: 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 Harfenerster*: 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*: Methoden 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*: Röhrengeschweißen 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 978-3-8316-4015-5
- 240 *Michael Loy*: Modularer Vibrationswendelförderer zur flexiblen Teilezuführung  
190 Seiten · ISBN 978-3-8316-4027-0
- 241 *Andreas Ersch*: 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 varianterneiche Serienmontage  
261 Seiten · ISBN 978-3-8316-4031-1
- 244 *Johannes Schipf*: Adaptive Montagesysteme für hybride Mikrosysteme unter Einsatz von Telepräsenz  
192 Seiten · ISBN 978-3-8316-4063-8
- 245 *Stefan Lutzmann*: Beitrag zur Prozessbeherrschung des Elektronenstrahl schmelzens  
242 Seiten · ISBN 978-3-8316-4070-6
- 246 *Gregor Branner*: Modellierung transienter Effekte in der Struktursimulation von Schichtbauerfahrungen  
230 Seiten · ISBN 978-3-8316-4071-3
- 247 *Josef Ludwig Zimmermann*: Eine Methodik zur Gestaltung berührungsloser 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 entwicklungs begleitenden 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 Karosserie teilen in Presswerkten 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 Röhrengeschweißen  
220 Seiten · ISBN 978-3-8316-4129-1
- 254 *Michael Heinz*: Modellunterstützte Auslegung berührungsloser Ultraschallgrefsysteme 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 Lacur*: Modellbildung für die physikbasierte Virtuelle Inbetriebnahme materialflussintensiver Produktionsanlagen  
222 Seiten · ISBN 978-3-8316-4162-8
- 258 *Thomas Hense*: 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 Radt*: 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 Rührstorfer*: Röhrengeschweißen 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 pulverbettbasierte 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 Faser verbund-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-Reibscheiben durch modellbasierte Regelungsverfahren  
220 Seiten · ISBN 978-3-8316-4245-8
- 272 *William Brice Tekouo Moutchivo*: 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 Escher*: 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 Henauer*: 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 Brauneuther*: 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 *Matthey Wiesbeck*: Struktur zur Repräsentation von Montagesequenzen für die situationsorientierte Werkerfahrung  
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 Wiedemann*: Prozessmodell und Systemtechnik für das laserunterstützte Fräsen  
220 Seiten · ISBN 978-3-8316-4384-4
- 288 *Thomas Irenhauser*: Bewertung der Wirtschaftlichkeit von RFID im Wertschöpfungsnetz  
242 Seiten · ISBN 978-3-8316-4404-9
- 289 *Jens Hatwig*: Automatisierte Bahnanplanung 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 Schöber*: Eine Methode zur Wärmequellenkalibrierung in der Schweißstruktursimulation  
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 Elektronenstrahl schmelzen (EBSM)  
228 Seiten · ISBN 978-3-8316-4416-2
- 294 *Sebastian Schindler*: Strategische Planung von Technologieketten für die Produktion  
220 Seiten · ISBN 978-3-8316-4443-6
- 295 *Tobias Föcker*: Methode zur rechnergestützten Prozessgestaltung des Schleifhärtens  
128 Seiten · ISBN 978-3-8316-4448-3
- 296 *Rüdiger Spiller*: Einsatz und Planung von Roboterassistenz zur Berücksichtigung von Leistungswandlungen in der Produktion  
286 Seiten · ISBN 978-3-8316-4450-6
- 297 *Daniel Schmid*: Röhrebschweißen 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 Rösche*: 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 Fliegmontage  
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 Musol*: 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 Schweißspannungen  
252 Seiten · ISBN 978-3-8316-4524-2
- 310 *Markus Schweiß*: Simulative und experimentelle Untersuchungen zum Laserschweißen mit Strahloscillation  
284 Seiten · ISBN 978-3-8316-4536-7
- 311 *Florian Geiger*: System zur wissensbasierten Maschinenbelegungsplanung auf Basis produktsspezifischer Auftragsdaten  
224 Seiten · ISBN 978-3-8316-4537-4
- 312 *Peter Schnellbach*: Methodik zur Reduzierung von Energieverschwendungen unter Berücksichtigung von Zielgrößen  
Ganzheitlicher Produktionsysteme  
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 Pröster*: 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 Kunststoff scheiben und -schalen  
234 Seiten · ISBN 978-3-8316-4548-0
- 316 *Stefan Maurer*: Frühauflärung 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*: Agile Engineering im Maschinen- und Anlagenbau  
284 Seiten · ISBN 978-3-8316-4598-5