

Stefan Krottil

**Online-Simulation von fluidischen Prozessen  
in der frühen Phase der Maschinen-  
und Anlagenentwicklung**



Herbert Utz Verlag · München

## Forschungsberichte IWB

Band 326

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 · 2017

ISBN 978-3-8316-4636-4

Printed in Germany  
Herbert Utz Verlag GmbH, München  
089-277791-00 · [www.utzverlag.de](http://www.utzverlag.de)

# Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis.....</b>	<b>i</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis.....</b>	<b>vii</b>
<b>Verzeichnis der Formelzeichen.....</b>	<b>ix</b>
<b>1 Einleitung.....</b>	<b>1</b>
1.1 Motivation.....	1
1.2 Problemstellung.....	3
1.3 Zielsetzung der Arbeit.....	4
1.4 Vorgehensweise und Aufbau der Arbeit.....	6
<b>2 Begriffsdefinition und Grundlagen.....</b>	<b>9</b>
2.1 Definition elementarer Begriffe.....	9
2.2 Der Produktentwicklungsprozess.....	11
2.2.1 Tätigkeiten in der Produktentwicklung.....	11
2.2.2 Definition der frühen Phase.....	12
2.2.3 Die ökonomische Bedeutung der frühen Phase.....	15
2.2.4 Simulation als Werkzeug im Entwicklungsprozess.....	15
2.3 Grundlagen der computergestützten Modellbildung und Simulation.....	16
2.3.1 Grundlagen der Rechnerarchitektur.....	16
2.3.2 Szenegraph.....	18
2.3.3 Geometrische Modellbeschreibung.....	19
2.3.4 Kollisionserkennung in computergraphischen Anwendungen.....	20
2.3.5 Konvexe Zerlegung von Geometrien.....	22

2.4	Grundlagen der CFD-Simulation .....	23
2.4.1	Einordnung der fluiddynamischen Prozesse .....	23
2.4.2	Die inkompressible Navier-Stokes-Gleichung .....	24
2.4.3	Modellierung der Simulationsdomäne in CFD-Simulationen .....	25
2.4.4	Verifikation und Validierung von Simulationen .....	27
2.5	Zusammenfassung .....	28
<b>3</b>	<b>Stand der Wissenschaft und Technik .....</b>	<b>31</b>
3.1	Methodische Entwicklung mechatronischer Systeme .....	31
3.1.1	Vorgehensmodelle elementarer Denk- und Handlungsabläufe .....	32
3.1.2	Vorgehensmodelle auf operativer Ebene .....	33
3.1.3	Phasenmodelle im Produktentwicklungsprozess .....	35
3.1.4	Die frühe Phase im Produktentwicklungsprozess .....	38
3.2	Computational Fluid Dynamics .....	41
3.2.1	Netzbasierte Berechnungsmethoden .....	42
3.2.2	Netzfremde Berechnungsmethoden .....	45
3.2.3	Prozessuale Durchführung von CFD-Simulationen im Entwicklungsprozess .....	51
3.3	Modellvariation in der Simulation .....	54
3.4	Zusammenfassung und Ableitung des Handlungsbedarfes .....	56
<b>4</b>	<b>Auswahl einer Simulationsmethode für die Online-Simulation von fluidischen Prozessen in der frühen Phase .....</b>	<b>61</b>
4.1	Methodische Vorgehensweise zur Auswahl einer anwendungsfallspezifischen Simulationsmethode .....	61
4.2	Anforderungen an die Online-Simulation in den frühen Phasen des Produktentwicklungsprozesses .....	62

4.2.1	Prozessuale Anforderungen.....	63
4.2.2	Technische Anforderungen .....	64
4.3	Deduktion der Anforderungen an eine CFD-Simulation .....	65
4.4	Auswahl einer Simulationsmethodenklasse.....	68
4.5	Anwendungsfall-spezifische Auswahl einer Simulationsmethode .....	71
4.6	Zusammenfassung.....	74
<b>5</b>	<b>Methode zur Online-Simulation fluidischer Prozesse in der frühen Phase.....</b>	<b>75</b>
5.1	Übersicht des Gesamtkonzepts .....	75
5.2	Initialisierung .....	77
5.3	Simulationsdurchführung.....	78
5.4	Simulationsvorbereitung .....	80
5.4.1	Fluidspezifische Präparationen.....	81
5.4.2	Modellspezifische Präparationen .....	83
5.4.3	Modellaktualisierung in der Simulation .....	97
5.5	Ergebnisanalyse.....	99
5.6	Nutzung der Hardwareressourcen.....	100
5.7	Prozessuale und technische Integration in den Entwicklungsprozess ...	102
5.7.1	Prozessuale Integration in den Entwicklungsprozess.....	102
5.7.2	Technische Integration in die Softwareinfrastruktur.....	106
5.8	Zusammenfassung.....	106
<b>6</b>	<b>Umsetzung und Evaluierung der Methode .....</b>	<b>109</b>
6.1	Auswahl eines Anwendungsfalls .....	109
6.2	Softwaretechnische Realisierung .....	111

## **Inhaltsverzeichnis**

---

6.2.1	Softwarestruktur und Kommunikationsinfrastruktur .....	111
6.2.2	Klassenstruktur und Ablaufdiagramm.....	112
6.3	Evaluierung und Quantifizierung des Nutzens einzelner Prozessschritte.....	116
6.3.1	Nutzen der Separation der Geometrievorbereitung.....	117
6.3.2	Nutzen der konvexen Zerlegung der Online-Simulation .....	118
6.4	Online-Simulation von fluidischen Prozessen im Anwendungsfall .....	120
6.5	Zusammenfassung.....	123
<b>7</b>	<b>Technische und wirtschaftliche Bewertung .....</b>	<b>125</b>
7.1	Erfüllungsgrad der prozessualen und technischen Anforderungen .....	125
7.2	Nutzenpotential, Einschränkungen und Aufwände.....	128
7.3	Bewertung der Wirtschaftlichkeit .....	130
7.4	Zusammenfassung.....	132
<b>8</b>	<b>Schlussbetrachtung.....</b>	<b>135</b>
8.1	Resümee .....	135
8.2	Ausblick .....	136
<b>9</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>139</b>
<b>10</b>	<b>Anhang.....</b>	<b>165</b>
10.1	Ablaufdiagramme der Online-Simulation.....	165
10.1.1	Beobachter .....	165
10.1.2	Simulationsschritt .....	166
10.1.3	Geometrieimport.....	167
10.1.4	Simulationsschleife.....	168

10.2 Abgleich der Realität mit der Simulation .....	169
<b>11 Verzeichnis betreuter Studienarbeiten.....</b>	<b>171</b>



Studie 85 % der Unternehmen der Meinung, dass das Werkzeug Simulation die Generierung von Wissen über Problemstellungen steigert. Darüber hinaus erachten 84 % der Studienteilnehmer die Simulationsergebnisse als eine wesentliche Unterstützung im Entscheidungsprozess (OPPELT ET AL. 2015). Somit ist die Simulation ein valides und anerkanntes Werkzeug in der Produktentwicklung.

Innerhalb des Produktentwicklungsprozesses ist die frühe Phase von großer Bedeutung, in welcher die Grundlage für das spätere Produkt durch unterschiedliche Konzepte gelegt wird. Bezogen auf den gesamten Produktlebenszyklus entstehen bis zu dieser Phase kaum Kosten, jedoch hat diese einen großen Einfluss auf die Gesamtproduktkosten (EHRENSPIEL ET AL. 2007, S. 8-22). Auch ist die Phase entscheidend für die Güte der finalen Produkte und somit für den Erfolg des Produkts (ERNST 2005). Die frühe Phase ist daher von hoher Bedeutung, um wichtige Entscheidungen möglichst früh im Entwicklungsprozess zu treffen (SIEDL 2008, S. 59-61).

In dieser Phase sind die Produkte in Form von Konzepten noch meist rein virtuell, da die Entwicklung der unterschiedlichen Prototypen sehr kostenintensiv ist. Somit würden sich virtuelle simulative Überprüfungen der Funktionen zur Bewertung der Konzepte anbieten (BENDER ET AL. 2005, REINHART ET AL. 2011). Heute erfolgt dies jedoch aufgrund des großen Aufwandes bei der Durchführung einer Simulation und der langen Wartezeiten auf die Ergebnisse nur in Ausnahmefällen (WANG ET AL. 2002, LANGERMANN 2008, S. 31).

Dies trifft besonders für die Simulation fluidischer Prozesse zu, welche durch Computational Fluid Dynamics (CFD)-Methoden simuliert werden (JOHNSON ET AL. 2005, BEINERT 2007, SONNENBURG 2009, OPPELT ET AL. 2015). Die geringe Nutzung der simulativen Absicherung hat mehrere Ursachen. So ist die inkompressible Navier-Stokes Gleichung eines der sieben Millenniums-Probleme, d. h. es existiert bis heute kein mathematischer Beweis für die eindeutige Lösbarkeit (FEFFERMAN 2006). Darüber hinaus sind die Berechnungszeiten sehr lange und wegen der noch ungelösten Problemstellungen, bspw. einer exakten Nachbildung von Verwirbelungen, für welche unterschiedliche Modellierungsmethoden und -theorien bestehen, müssen die Ergebnisse von Simulationsexperten interpretiert werden (DAVIDSON 2002, HÖLLING & HERWIG 2004, JOHNSON ET AL. 2005). Jedoch steht in den frühen Phasen des Produktentwicklungsprozesses nicht die quantitative Aussage im Fokus, stattdessen ist eine schnelle qualitative Aussage über die Funktionsweise von Maschinen und Anlagen von höherer Bedeutung. Somit ist eine höhere Simulationsungenauigkeit für Aussagen über Tendenzen

von Maschinen und Anlagen zugunsten einer schnellen Bereitstellung der Ergebnisse erlaubt (ZIRN & WEIKERT 2006, S. 51-52).

Das schnelle Feedback ist zudem den unbewussten Arbeitsabläufen der Entwicklungsingenieure zuträglich. Das menschliche Verhalten ist in kreativen Prozessen stark von Trial-and-Error geprägt (MILLER ET AL. 1991, HACKER 1998). Daher ist die Latenz einer Rückmeldung der Simulation entscheidend. Je schneller die Rückmeldung ist, desto besser ist das System an den Menschen angepasst. Somit kann die Intuitivität in der Entwicklung gesteigert werden, falls die Simulation eine direkte Rückmeldung über Änderungen an Konzepten ist. Dieser Online-Ansatz folgt dem What You See Is What You Get (WYSIWYG)-Ansatz (ZEIDLER 2004).

## 1.2 Problemstellung

Die frühe Phase im Produktentwicklungsprozess ist eine für das Produkt entscheidende Phase, welche auf das hilfreiche Werkzeug der Simulation nicht zurückgreift. Darüber hinaus werden Simulationsuntersuchungen zu spät eingesetzt, wobei die Wirksamkeit der Simulation steigt, je früher diese genutzt wird (ZEICHEN & FÜRST 2000, S. 43.). Folglich wird bei der Entwicklung von Produkten nur die „(...) nächstbeste Systemarchitektur (genutzt, die) zur Verfügung steht. (...) Es wird sich damit in einer für die Systementwicklung entscheidenden Phase auf ein Konzept festgelegt, das keinem Optimierungsprozess unterzogen wurde. Stattdessen erfolgt die Auswahl einer Systemarchitektur ausschließlich auf Basis von Erfahrungswerten (...)“ (LANGERMANN 2008, S. 31). Um diese Missstände zu lösen, muss ein Werkzeug geschaffen werden, welches einen auf phasenspezifische Anforderungen angepassten Optimierungsprozess der Produkte erlaubt. Ein solches Werkzeug stellt die Simulation als bereits etablierte Methode dar.

Diese kann bereits in vielen Fällen eingesetzt werden. Betrachtet man jedoch die heutigen Prozessplanungen in der Entwicklung, werden aufgrund der zu hohen Komplexität sonstiger Werkzeuge nach einer Befragung kleiner und mittelständischer Unternehmen zu 38% Microsoft Visio und zu 66% Microsoft Excel eingesetzt (BIERSCHENK ET AL. 2005). Ein Grund für die Nichtnutzung der Simulationen ist der hohe und intensive Modellierungsaufwand, welcher bei CFD-Simulationen bis zu 80 % eines Synthese-Analyse-Zyklus beträgt (VERSTEEG & MALALASEKRA 2007, S. 3, BARBA 2010). In Kombination mit den langen Warte-

zeiten auf die Ergebnisse ist daher der Einsatz in der frühen Phase in vielen Unternehmen nicht akzeptiert. Es ist notwendig, dass sich die Simulationswerkzeuge an die Anforderungen im Entwicklungsprozess anpassen. In Bezug auf die frühe Phase bedeutet dies, dass der Synthese-Analyse-Zyklus zur Absicherung prinzipieller Tendenzen sehr schnell erfolgen muss. CFD-Simulationen bieten hierfür bis heute keine Methode, da diese einen rein sequentiellen, iterativen und unflexiblen Ablauf von der Modellerstellung bis zur Ergebnisanalyse haben (ENGEL 1994, HEDTSTÜCK, 2013, HEFNER ET AL. 2014, LECHERER 2014).

Ein weiterer Handlungsbedarf basiert auf der Forderung nach einer intuitiven und an die menschlichen unbewussten Denk- und Handlungsprozesse angepassten Simulationsmethode. Heutige Simulationsmethoden weisen eine strikte Sequenzierung der Synthese- und Analyseprozesse auf (HEDTSTÜCK 2013, LECHERER 2014) und manifestieren somit eine statische Vorgehensweise im Umgang mit Simulationen. Dies wirkt kontraproduktiv auf die Akzeptanz von wissensgenerierenden Simulationen in den dynamischen frühen Phasen des Produktentwicklungsprozesses.

### 1.3 Zielsetzung der Arbeit

„Virtuelle Prototypen ermöglichen die modellbasierte Verifikation und Validierung und tragen damit zur Senkung des zeit- und kostenintensiven Baus und Tests von realen Prototypen bei.“ (GAUSEMEIER ET AL. 2013, S. 40) Um dieser Aussage im Bereich der fluidischen Prozesse auch in den frühen Phasen des Produktentwicklungsprozesses gerecht zu werden, müssen bestimmte Grundanforderungen erfüllt werden.

Eine wesentliche Anforderung ist eine realitätsnahe Simulation, welche über ein einfaches, intuitiv zu bedienendes Werkzeug durchgeführt werden kann. Darüber hinaus muss zur Reduktion des Aufwandes der Simulation und somit zur Steigerung der Akzeptanz eine durchgängige und einfache Datennutzung sichergestellt werden. Des Weiteren erfordert die frühe Phase aufgrund ihrer inhärenten Dynamik ein hohes Maß an Flexibilität (BIERSCHENK ET AL. 2005). Die bisherigen Methoden erfüllen diese Anforderungen nicht, weshalb nur eine geringe Akzeptanz vorhanden ist und daher nur selten die Produktkonzepte durch Simulationen untersucht werden.

Aus diesem Grund ist das übergeordnete Ziel eine Methode zur Online-Simulation von fluidischen Prozessen in der frühen Phase Maschinen- und Anla-

genentwicklung. Diese Methode umfasst eine heute noch nicht vorhandene, sehr schnelle Möglichkeit zur Simulation von fluidischen Vorgängen, wobei das Simulationsmodell während der laufenden Simulationsberechnung variant und jederzeit modifizierbar ist.

Zum Erreichen des Ziels werden in einem ersten Schritt die Anforderungen an die Online-Simulation im Fall von fluidischen Prozessen sowohl auf Basis heutiger mikro- bis makroskopischer Vorgehensweisen im Entwicklungsprozess als auch der technischen Rahmenbedingungen von CFD-Simulationen deduziert. Anschließend wird auf der Grundlage der gesammelten Anforderungen eine Klasse von geeigneten Simulationsmethoden abgeleitet. Dies ist notwendig, da aufgrund der mathematischen und physikalischen Herausforderungen keine anwendungsfallunabhängige Standardmethode zur Simulation von Fluiden existiert. Die Simulationsmethodenklasse bildet abschließend die Grundlage zur Entwicklung einer intuitiven Online-Simulation, welche ein gleichzeitiges Bearbeiten der Konzepte mit direktem simulativen Feedback an den Anwender ermöglicht. Ein besonderer Fokus liegt auf der Reduktion der manuellen Aufwände.

Folglich werden folgende Forschungsfragen betrachtet:

1. Welche Anforderungen ergeben sich für die Online-Simulation in den frühen Phasen des Produktentwicklungsprozesses?
2. Welche Klasse an Simulationsmethoden eignet sich für die Simulation von Fluiden in der frühen Phase des Produktentwicklungsprozesses?
3. Wie kann der heutige hohe Modellierungsaufwand von Simulationsmodellen reduziert werden?
4. Wie kann die Online-Simulation im Synthese-Analyse-Zyklus zwischen Modell und Simulation umgesetzt werden?

Das Leitziel dieser Arbeit ist die Schaffung einer praxistauglichen und wirtschaftlichen Möglichkeit zum Einsatz der Simulation in den frühen Phasen des Entwicklungsprozesses in der industriellen Praxis im Maschinen- und Anlagenbau, welche bis heute nicht vorhanden ist. Ein Schwerpunkt ist die Anpassung heutiger Methoden und Bedienung von Werkzeugen an die unbewussten, intuitiven menschlichen Denk- und Handlungsweisen. Darüber hinaus erfolgt die Anpassung und Erweiterung heutiger Simulationsverfahren an die phasenspezifischen Anforderungen und Restriktionen. Zudem wird die Steigerung der Durchgängigkeit von Modellen verbessert, der Modellierungsprozess beschleunigt und die Skalierbarkeit innerhalb von CFD-Simulationen vergrößert. Des Weiteren

- 119 Bauer, L.: Strategien zur rechnergestützten Offline- Programmierung von 3D-Laseranlagen  
1999 - 98 Abb. - 145 Seiten - ISBN 3-540-65382-1
- 120 Pfoh, 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 *Bernad Goldstein*: Modellgestützte Geschäftsprozessgestaltung in der Produktentwicklung  
170 Seiten - ISBN 978-3-89675-546-9
- 124 *Helmut E. Mößner*: 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 Partnerverbänden  
152 Seiten - ISBN 978-3-89675-645-9
- 133 *Knut Heltmann*: Sichere Prognosen für die Produktionsptimierung mittels stochastischer Modelle  
146 Seiten - ISBN 978-3-89675-675-6
- 134 *Stefan Blessing*: Gestaltung der Materialfußsteuerung 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 Fokusspositionierung 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. Schilffebacher*: 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 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 Rudarfer:** Eine Methode zur Qualifizierung von produzierenden Unternehmen für Kompetenznetzwerke  
207 Seiten - ISBN 978-3-8316-0037-3
- 155 **Hans Meier:** Verteilte kooperative Steuerung maschinenaher 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 Laserstrahlweißens 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 Führer:** 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 Raßgoderer:** System zur effizienten Layout- und Prozessplanung von hybriden Montageanlagen  
175 Seiten - ISBN 978-3-8316-0154-7
- 169 **Robert Klingel:** Anziehfverfahren 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 Breitinge:** Ein ganzheitliches Konzept zum Einsatz des indirekten Metall-Lasersinterns für das Druckgießen  
156 Seiten - ISBN 978-3-8316-0227-8
- 178 **Johann von Pieveling:** 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 Kaustems  
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 Meierloh:** 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:** Prozessgasfluss 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 978-3-8316-0663-9
- 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-Griebisch:** 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 telepräsen- ten 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 Schlicknieder:** Methodik zur Prozessoptimierung beim automatisierten elastischen Kleben großflächiger Bauteile  
204 Seiten - ISBN 978-3-8316-0776-1
- 212 **Niklas Müller:** Bestimmung der Wirtschaftlichkeit wandlungsfähiger Produktionssysteme  
260 Seiten - ISBN 978-3-8316-0778-5
- 213 **Daniel Siedl:** Simulation des dynamischen Verhaltens von Werkzeugmaschinen während Verfahrenbewegungen  
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 Würnsch:** 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 telepräsen- te Mikromontage  
234 Seiten - ISBN 978-3-8316-0805-8
- 218 **Lucas 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 Sigi:** Ein Beitrag zur Entwicklung des Elektronenstrahlstahns  
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 roboterbasieren 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 zeitenfensterbasierter Planungssysteme in unterbetrieblichen 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:** Rührreißschweißen 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 für 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 Mark:** 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 Rührreißschweißen  
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 materialflusintensiver 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 Rad:** 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:** Rührreißschweißen von Rohren  
206 Seiten - ISBN 978-3-8316-4197-0
- 263 **Rüdiger Daub:** Erhöhung der Nahttiefe beim Laserstrahl-Wärmelitungsschweißen 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 Bauteilabgabestimmung 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-Reißschweißen durch modellbasierte Regelungsverfahren  
220 Seiten - ISBN 978-3-8316-4245-8
- 272 **William Brice Tekouo Mouthicho:** 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 **Mathy 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 Irenhauser:** 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 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 Kahmert:** 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 Fockerer:** Methode zur rechnergestützten Prozessgestaltung des Schleifhärrens  
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 Langhast:** Beherrschung von Schweißverzug und Schweißteigenspannungen  
252 Seiten - ISBN 978-3-8316-4524-2
- 310 **Markus Schweiße:** 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 Ausrüstung 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
- 324 **Markus Wiedemann:** Methodik zur auslastungsorientierten Angebotsterminierung für hochvariante Produkte mit kundenindividuellen Leistungsanteilen  
216 Seiten - ISBN 978-3-8316-4599-2
- 325 **Harald Kraus:** Qualitätssicherung beim Laserstrahlschmelzen durch schichtweise thermografische In-Process-Überwachung  
304 Seiten - ISBN 978-3-8316-4628-9
- 326 **Stefan Krottl:** Online-Simulation von fluidischen Prozessen in der frühen Phase der Maschinen- und Anlagenentwicklung  
208 Seiten - ISBN 978-3-8316-4636-4