

TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN  
Lehrstuhl für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik am  
Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (*iwb*)

**Rechnergestützte Minimierung des Verzugs  
laserstrahlgeschweißter Bauteile**

**Alexander Belitzki**

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

**Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)**

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender:

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Wall

Prüfer der Dissertation:

1. Prof. Dr.-Ing. Michael F. Zäh

2. Prof. Dr.-Ing. Frank Vollertsen

Die Dissertation wurde am 21.06.2017 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät für Maschinenwesen am 23.10.2017 angenommen.

Alexander Belitzki

**Rechnergestützte Minimierung des Verzugs  
laserstrahlgeschweißter Bauteile**



Herbert Utz Verlag · München

**Forschungsberichte IWB**

Band 336

Zugl.: Diss., München, Techn. Univ., 2017

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 · 2018

ISBN 978-3-8316-4254-0

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>Verzeichnis der Zeichen, Kennzahlen und Konstanten</b>	<b>VII</b>
Lateinische Formelzeichen . . . . .	VII
Griechische Formelzeichen . . . . .	XII
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Ausgangssituation . . . . .	1
1.2 Motivation und Zielsetzung . . . . .	3
1.3 Betrachtungsrahmen und Schwerpunktsetzung . . . . .	5
<b>2 Grundlagen</b>	<b>7</b>
2.1 Allgemeines . . . . .	7
2.2 Bauteilreaktionen . . . . .	7
2.2.1 Überblick . . . . .	7
2.2.2 Entstehung von Bauteilverzügen beim Schweißen . . . . .	8
2.2.3 Formen des Bauteilverzugs . . . . .	10
2.3 Schweißsimulation . . . . .	12
2.3.1 Überblick . . . . .	12
2.3.2 Thermomechanische Grundgleichungen . . . . .	15
2.3.3 Wärmequellenmodelle . . . . .	18
2.4 Bildverarbeitung . . . . .	20
2.4.1 Überblick . . . . .	20
2.4.2 Kantenerkennung . . . . .	21
2.4.3 Segmentierung und morphologische Operationen . . . . .	21
2.5 Optimierung . . . . .	23
2.5.1 Überblick . . . . .	23
2.5.2 Lokale Optimierungsverfahren – gradientenbasierte Optimierungsalgorithmen . . . . .	23

## Inhaltsverzeichnis

---

2.5.3	Direkte Suchverfahren – Pattern-Search-Algorithmen . . . . .	25
2.5.4	Globale Optimierungsverfahren – genetische Algorithmen	27
2.6	Metamodellierung . . . . .	29
2.6.1	Überblick . . . . .	29
2.6.2	Regression . . . . .	29
2.6.3	Künstliche Neuronale Netze . . . . .	30
<b>3</b>	<b>Stand der Forschung</b>	<b>35</b>
3.1	Allgemeines . . . . .	35
3.2	Ansätze zur Wärmequellenkalibrierung . . . . .	36
3.2.1	Überblick . . . . .	36
3.2.2	Numerische Ansätze . . . . .	36
3.2.3	Analytische Ansätze . . . . .	37
3.3	Ansätze zur zeitoptimierten Verzugssimulation . . . . .	40
3.3.1	Überblick . . . . .	40
3.3.2	Strategien zur Vernetzung . . . . .	42
3.3.3	Näherungsmethoden mit vereinfachten Randbedingungen	42
3.4	Ansätze zur Verzugskompensation und -minimierung . . . . .	45
3.4.1	Überblick . . . . .	45
3.4.2	Experimentelle Ansätze . . . . .	46
3.4.3	Rechnergestützte Ansätze . . . . .	48
3.5	Fazit und Handlungsbedarf . . . . .	50
<b>4</b>	<b>Vorgehensweise und Aufbau der Arbeit</b>	<b>53</b>
<b>5</b>	<b>Methode zur automatisierten Wärmequellenkalibrierung</b>	<b>57</b>
5.1	Allgemeines . . . . .	57
5.2	Vorstellung der Methode . . . . .	59
5.2.1	Datenvorbereitung . . . . .	59
5.2.2	Wärmequellenmodell . . . . .	64
5.2.3	Automatisierung der Wärmequellenkalibrierung . . . . .	68
5.3	Bewertung der Ergebnisse . . . . .	73
5.3.1	Kalibrierung mit dem genetischen Algorithmus . . . . .	73
5.3.2	Kombination mit weiteren Optimierungsansätzen . . . . .	77
5.4	Zusammenfassung der Methode . . . . .	81

<b>6 Methode zur Bestimmung verzugsoptimierter Fertigungsparameter</b>	<b>83</b>
6.1 Allgemeines . . . . .	83
6.2 Vorstellung der Methode . . . . .	84
6.3 Datenverwaltung . . . . .	87
6.4 Metamodellierung mit Neuronalen Netzen . . . . .	96
6.5 Zusammenfassung der Methode . . . . .	97
<b>7 Anwendungsbeispiel</b>	<b>99</b>
7.1 Allgemeines . . . . .	99
7.2 Verfahrensgrundlagen . . . . .	100
7.3 Minimierung des Bauteilverzugs an einem Teilgebiet . . . . .	101
7.3.1 Vorhersage des Bauteilverzugs mit Neuronalen Netzen .	103
7.3.2 Verzugsminimierung mithilfe eines genetischen Algorithmus . . . . .	109
7.3.3 Gegenüberstellung beider Verfahrensweisen . . . . .	115
7.4 Minimierung des Bauteilverzugs am Gesamtmodell . . . . .	116
7.5 Experimentelle Validierung . . . . .	126
7.5.1 Überblick . . . . .	126
7.5.2 Bauteilverzüge an der Beispielgeometrie . . . . .	126
7.5.3 Bauteilverzüge am Gesamtrahmen . . . . .	127
7.6 Abschließende Bemerkungen . . . . .	133
<b>8 Technische und wirtschaftliche Bewertung</b>	<b>137</b>
8.1 Allgemeines . . . . .	137
8.2 Technische Bewertung . . . . .	137
8.3 Wirtschaftliche Bewertung . . . . .	140
<b>9 Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>143</b>
9.1 Zusammenfassung . . . . .	143
9.2 Ausblick . . . . .	144
<b>Literatur</b>	<b>149</b>
<b>Anhang</b>	<b>XIII</b>
<b>A Betreute Studienarbeiten</b>	<b>XV</b>
<b>B Verwendete Software</b>	<b>XVII</b>

## Inhaltsverzeichnis

---

<b>C Prozessfenster für das Schweißen von Kehl- und Stumpfnähten</b>	<b>XIX</b>
C.1 Kehlnähte . . . . .	XIX
C.2 Stumpfnähte . . . . .	XX
<b>D BHLS – Kenngrößen und Leistungsmessungen</b>	<b>XXI</b>
D.1 Kenngrößen . . . . .	XXI
D.2 Leistungsmessungen . . . . .	XXI
<b>E Übersicht der kalibrierten Wärmequellen</b>	<b>XXIII</b>
E.1 Kehlnähte . . . . .	XXIII
E.2 Stumpfnähte . . . . .	XXVIII
<b>F Visualisierung des verwendeten Neuronalen Netzes</b>	<b>XXXIII</b>

# 1 Einleitung

## 1.1 Ausgangssituation

Das Schweißen nimmt einen hohen Stellenwert in der Fertigungstechnik ein (FAHRENWALDT ET AL. 2011, S. 1). Die hohe wirtschaftliche Bedeutung ist daran zu erkennen, dass die Schweißtechnik in nahezu allen Branchen vertreten ist. Den größten Marktanteil weisen dabei die Automobilindustrie (ca. 27 %), der allgemeine Maschinenbau (ca. 24 %), die Bauindustrie (ca. 21 %) und der Schiffsbau, einschließlich der Offshore-Industrie (ca. 11 %), auf (SPUR 2014, S. 27 ff.). Insbesondere das Laserstrahlschweißen gewinnt aufgrund der hohen Präzision sowie der flexiblen Einsatzmöglichkeiten und der damit einhergehenden neuen Montagekonzepte weiter an Bedeutung. Mit den steigenden Forderungen aus der Industrie nach kurzen Fertigungszeiten, niedrigen Fertigungskosten und einer hohen Fertigungsqualität kommen neue Werkstoffe, innovative konstruktive Lösungen und neue oder modifizierte Fertigungstechnologien wie das Laserstrahlschweißen verstärkt zum Einsatz. Im Zuge dessen ergeben sich auch in Zukunft zu bewältigende Herausforderungen, um die Schweißbarkeit bzw. Schweißeignung von metallischen Werkstoffen zu gewährleisten. Zur Verdeutlichung der zu berücksichtigenden Aspekte beim Schweißen wird das sogenannte Schweißtechnische Dreieck verwendet (vgl. Abbildung 1.1).

Nach dem DIN-FACHBERICHT ISO/TR 581 wird die Schweißbarkeit in die drei wechselwirkenden Einflussgrößenbereiche *Konstruktion*, *Werkstoffe* und *Fertigung* eingeteilt. Während bei den Werkstoffen die Schweißeignung im Vordergrund steht und beispielsweise physikalische Eigenschaften wie die Wärmeleitfähigkeit oder das Ausdehnungsverhalten berücksichtigt werden müssen, ist bei der Konstruktion auf die Schweißsicherheit zu achten. So sollten unnötige Umlenkungen des Kraftflusses oder Nahtanhäufungen durch eine ungünstige Anordnung der Schweißnähte vermieden werden. Bei der Fertigung ist die Schweißmöglichkeit zu berücksichtigen. Darunter fällt nicht nur der

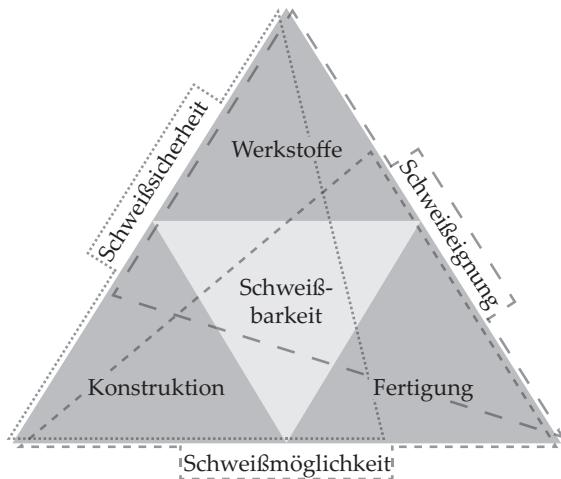


Abbildung 1.1: Schweißtechnisches Dreieck nach SPUR (2014, S. 36); die Schweißsicherheit wird im Wesentlichen vom Werkstoff beeinflusst, die Schweißeignung im Wesentlichen von der Fertigung und die Schweißmöglichkeit im Wesentlichen von der Konstruktion.

Aspekt der Wärmeführung, sondern auch die Auswahl des Schweißverfahrens in Abhängigkeit vom ausgewählten Werkstoff. Als Beispiel besitzt Aluminium einen etwa zweimal höheren thermischen Ausdehnungskoeffizienten als Stahl (OSTERMANN 2014, S. 601). Dies äußert sich entsprechend in einer stärkeren Ausprägung des Bauteilverzugs.

In der Industrie wird den Bauteilverzügen eine hohe Aufmerksamkeit gewidmet. Starke Verformungen der geschweißten Bauteile können dazu führen, dass Toleranzen nicht eingehalten werden und nachgelagerte Prozessschritte wie Richten zusätzliche Kosten verursachen. Nach Schätzungen von SCHENK (2011, S. 2 ff.) belaufen sich diese auf mehr als 200.000 Euro pro Schiff im Schiffsbau, auf etwa 6 Mio. Euro pro Jahr in der Automobilindustrie und auf mehr als 6 Mrd. Euro pro Jahr in der Eisenbahnindustrie. Außer durch die Auswahl eines geeigneten Schweißverfahrens lassen sich solche Kosten durch die rechnergestützte Auslegung von Produkten bereits in der Planungs- und Entwicklungsphase reduzieren (HEHENBERGER 2011, S. 3 ff.). Nach BABU ET AL. (2010, S. 43 f.) und PERRET (2013, S. 22) besteht noch ein großer Bedarf an standardisierten, effizien-

---

ten und automatisierten Vorgehensweisen für die Schweißsimulation, um eine vereinfachte Nutzbarkeit im industriellen Umfeld zu erzielen. Zugleich zeigen mehrere Forschungsarbeiten, wie die Schweißsimulation eingesetzt werden kann, um den Entwicklungsprozess neuer Produkte zu unterstützen (ROEREN 2007; PAPADAKIS 2008; BABU ET AL. 2010; ESI GROUP 2008, S. 13, 2014, S. 15; LANGHORST 2015). Das Deutsche Institut für Normung (DIN) hat zudem mehrere Dokumente herausgegeben, die den Anwender bei der rechnergestützten Umsetzung von verfahrensbezogenen Simulationen unterstützen sollen (z. B. DIN SPEC 32534-3: Numerische Schweißsimulation – Durchführung und Dokumentation – Teil 3: Verzugssimulation beim MAG-Schweißen). Die vorliegende Arbeit knüpft an die gegenwärtigen wissenschaftlichen Herausforderungen an und liefert eine rechnergestützte Vorgehensweise zur Verzugsbeherrschung bzw. schlägt eine solche vor. Diese wird ab Kapitel 4 eingehend beschrieben.

## **1.2 Motivation und Zielsetzung**

Das produzierende Gewerbe in Deutschland bildet mit einem Anteil von 23,3 % am Bruttonsozialprodukt (BIP) einen zentralen Sektor in der Wirtschaft (STATISTISCHES BUNDESAMT 2015). In den vergangenen Jahrzehnten hat sich das Arbeitsfeld in der Fertigung jedoch stark verändert. Mit günstiger werdenden Hardware-Komponenten sowie mit den höheren Prozessorleistungen und Speicherkapazitäten der Computersysteme gehen auch neue Herausforderungen einher, die zu bewältigen sind, um auf wirtschaftlicher Ebene weiterhin konkurrenzfähig zu bleiben (HEHENBERGER 2011, S. 3). Nicht zuletzt hängt die Digitalisierung von Arbeitsabläufen mit der verstärkten Vernetzung von Systemen (Stichwort Industrie 4.0, siehe BAUERNHANSL ET AL. (2013)) und den damit verbundenen Trends (z. B. Globalisierung oder Durchdringung mit neuen Technologien) zusammen. Die aktive Mitwirkung an den neuesten technologischen Entwicklungen ist eine entscheidende Voraussetzung, um einen wettbewerbsfähigen Industriestandort zu bewahren (HEHENBERGER 2011, S. 3; ABELE & REINHART 2011, S. 1). Bei der Herstellung von Produkten lassen sich die Fertigungszeiten und -kosten oft durch eine Optimierung der Prozesse während der Produktentwicklung reduzieren. Hierzu kann beispielsweise eine Erhöhung des Automatisierungsgrads bei der rechnergestützten Auslegung in der Fertigung beitragen (HEHENBERGER 2011, S. 4). So sind wiederkehrende

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](mailto:info@utzverlag.de), [www.utzverlag.de](http://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 Machi:** 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 Industriereramik  
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 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 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 Loferer*: Rechnergestützte Gestaltung von Montagesystemen  
178 Seiten · ISBN 978-3-8316-0118-9

163 *Jörg Fährer*: Ganzheitliche Optimierung des indirekten Metall-Lasersinterprozesses  
176 Seiten · ISBN 978-3-8316-0124-0

164 *Jürgen Höppner*: Verfahren zur berührungslosen Handhabung mittels leistungsfreier 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*: Anzielverfahren 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 *Wolfgang Broser*: Methode zur Definition und Bewertung von Anwendungsfeldern für Kompetenznetzwerke  
224 Seiten · ISBN 978-3-8316-0217-9

177 *Frank Breitinger*: Ein ganzheitliches Konzept zum Einsatz des indirekten Metall-Lasersinterns für das Druckgießen  
156 Seiten · ISBN 978-3-8316-0227-8

178 *Johann von Pieverling*: Ein Vorgehensmodell zur Auswahl von Konturfertigungsverfahren für das Rapid Tooling  
163 Seiten · ISBN 978-3-8316-0230-8

179 *Thomas Baudisch*: Simulationsumgebung zur Auslegung der Bewegungsdynamik des mechatronischen Systems Werkzeugmaschine  
190 Seiten · ISBN 978-3-8316-0249-0

180 *Heinrich Schieferstein*: Experimentelle Analyse des menschlichen Kausystems  
132 Seiten · ISBN 978-3-8316-0251-3

181 *Joachim Berkak*: Methodik zur strukturierten Auswahl von Auftragsabwicklungsystmen  
244 Seiten · ISBN 978-3-8316-0258-2

182 *Christian Meierhofer*: 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 kompetenzorientierten 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 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 Kostensenkung bei marktnaher Produktion  
208 Seiten · ISBN 978-3-8316-0586-6

196 *Christopher Ulrich*: Erhöhung des Nutzungsgrades von Laserstrahlquellen durch Mehrfach-Anwendungen  
192 Seiten · ISBN 978-3-8316-0590-3

197 *Johann Härtl*: Prozessgaseinfluss beim Schweißen mit Hochleistungsdiodenlasern  
148 Seiten · ISBN 978-3-8316-0611-5

198 *Bernd Hartmann*: Die Bestimmung des Personalbedarfs für den Materialfluss in Abhängigkeit von Produktionsfläche und -menge  
208 Seiten · ISBN 978-3-8316-0615-3

199 *Michael Schilp*: Auslegung und Gestaltung von Werkzeugen zum berührungslosen Greifen kleiner Bauteile in der Mikromontage  
180 Seiten · ISBN 978-3-8316-0631-3

200 *Florian Manfred Grätz*: Teilautomatische Generierung von Stromlauf- und Fluidplänen für mechatronische Systeme  
192 Seiten · ISBN 978-3-8316-0643-6

201 *Dieter Eireiner*: Prozessmodelle zur statischen Auslegung von Anlagen für das Friction Stir Welding  
214 Seiten · ISBN 978-3-8316-0650-4

202 *Gerhard Volkwein*: Konzept zur effizienten Bereitstellung von Steuerungsfunktionalität für die NC-Simulation  
192 Seiten · ISBN 978-3-8316-0668-9

203 *Sven 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 Ehrensträßer*: 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 Verfahrbewegungen  
226 Seiten · ISBN 978-3-8316-0779-2

214 *Dirk Ansorge*: Auftragsabwicklung in heterogenen Produktionsstrukturen mit spezifischen Planungsfreiräumen  
150 Seiten · ISBN 978-3-8316-0785-3

215 *Georg Wünsch*: Methoden für die virtuelle Inbetriebnahme automatisierter Produktionssysteme  
238 Seiten · ISBN 978-3-8316-0795-2

216 *Thomas 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 *Locas 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 Hartensteller*: 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  
148 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 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 Radj*: 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 Faserverbund-Vorformlingen  
252 Seiten - ISBN 978-3-8316-4233-5

269 *Tobias Zeilinger*: Laserbasierte Bauteilellagebestimmung 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 Schwinggrad-Reibschweißen 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  
226 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 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 Workerföhrung  
194 Seiten · ISBN 978-3-8316-4369-1

286 *Sonja Huber*: In-situ-Legierungsbestimmung beim Laserstrahl schweißen  
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 (EBM)  
228 Seiten · ISBN 978-3-8316-4416-2

294 *Sebastian Schindler*: Strategische Planung von Technologieketten für die Produktion  
220 Seiten · ISBN 978-3-8316-4443-6

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 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*: Laserstrahl schweißen 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 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 Schweier*: Simulative und experimentelle Untersuchungen zum Laserschweißen mit Strahloszillation  
284 Seiten · ISBN 978-3-8316-4536-7

311 *Florian Geiger*: System zur wissensbasierten Maschinenbelegungsplanung auf Basis 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 Pröpster*: Methodik zur kurzfristigen Austaktung variante reicher 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

324 *Markus Wiedemann*: Methodik zur auslastungsorientierten Angebotsminimierung für hochvariante Produkte mit kundenindividuellen Leistungsanteilen  
216 Seiten · ISBN 978-3-8316-4599-2

325 *Harald Krauss*: Qualitätssicherung beim Laserstrahlschmelzen durch schichtweise thermografische In-Process-Überwachung  
304 Seiten · ISBN 978-3-8316-4628-9

326 *Stefan Krotli*: Online-Simulation von fluidischen Prozessen in der frühen Phase der Maschinen- und Anlagenentwicklung  
208 Seiten · ISBN 978-3-8316-4636-4

327 *Andreas Roth*: Modellierung des Rührreibschweißens unter besonderer Berücksichtigung der Spalttoleranz  
232 Seiten · ISBN 978-3-8316-4639-5

328 *Philipp Benjamin Michaeli*: Methodik zur Entwicklung von Produktionsstrategien am Beispiel der Triebwerksindustrie  
288 Seiten · ISBN 978-3-8316-4642-5

329 *Michael Richard Niehues*: Adaptive Produktionssteuerung für Werkstattfertigungssysteme durch fertigungsbegleitende Reihenfolgebildung  
314 Seiten · ISBN 978-3-8316-4650-0

330 *Johannes Stock*: Remote-Laserstrahl trennen von kohlenstofffaserverstärktem Kunststoff  
232 Seiten · ISBN 978-3-8316-4662-3

331 *Andreas Fabian Hees*: System zur Produktionsplanung für rekonfigurierbare Produktionsysteme  
218 Seiten · ISBN 978-3-8316-4676-0

332 *Fabian Michael Distel*: Methodische Auslegung ultraschallbasierter berührungsloser Handhabungssysteme  
292 Seiten · ISBN 978-3-8316-4679-1

333 *Christian Plehn*: A Method for Analyzing the Impact of Changes and their Propagation in Manufacturing Systems  
276 Seiten · ISBN 978-3-8316-4695-1

334 *Josef Huber*: Verfahren zur Klassifikation von Ungänzen bei der optischen Prüfung von Batterieseparatoren  
226 Seiten · ISBN 978-3-8316-4593-0

335 *Martin Schmid*: Kognitive Prozesssteuerung zur Steigerung der Ressourceneffizienz in der Druckindustrie  
210 Seiten · ISBN 978-3-8316-4139-0

336 *Alexander Beltzki*: Rechnergestützte Minimierung des Verzugs laserstrahlgeschweißter Bauteile  
234 Seiten · ISBN 978-3-8316-4254-0