

Harald Krauss

**Qualitätssicherung beim Laserstrahlschmelzen
durch schichtweise thermografische
In-Process-Überwachung**



Herbert Utz Verlag · München

Forschungsberichte IWB

Band 325

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 978-3-8316-4628-9

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

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	v
Verzeichnis der Formelzeichen	vii
1 Einleitung	1
1.1 Additive Fertigung im produktionstechnischen Umfeld	1
1.2 Ausgangssituation und Motivation	3
1.3 Handlungsbedarf und Zielsetzung	4
2 Stand der Wissenschaft und Technik	7
2.1 Überblick	7
2.2 Grundlagen des Laserstrahlschmelzens	7
2.2.1 Verfahrensprinzip	7
2.2.2 Prozesskette und Einflussgrößen	8
2.2.3 Strahl-Stoff-Wechselwirkungen	10
2.2.4 Schichtverfestigung und Wärmehaushalt	14
2.3 Materialeigenschaften beim Laserstrahlschmelzen	18
2.3.1 Grundlegende Eigenschaften	18
2.3.2 Gefügeausbildung	19
2.3.3 Werkstoff Iconel 718	20
2.4 Qualitätssicherung und Prozessüberwachung	24
2.4.1 Grundlegendes	24
2.4.2 Qualitätssicherung im Fertigungsprozess	25
2.4.3 Qualitätssicherung in der additiven Fertigung	28
2.4.4 Grundlagen der Prozessüberwachung	30
2.5 In-Process-Überwachung	34
2.5.1 Prozessüberwachung in Laserfertigungsprozessen	35
2.5.2 Prozessüberwachung beim Laserstrahlschmelzen	37
2.5.3 Zwischenfazit	43
2.6 Grundlagen der berührungslosen Infrarot-Thermografie	44
2.6.1 Strahlungsemission	44
2.6.2 Strahlungstransport	47
2.6.3 Thermografische Messung	49
2.6.4 Detektoren	53
2.7 Schlussfolgerungen aus den Betrachtungen zum Stand der Wissenschaft und Technik	57
3 Vorgehensweise	59
3.1 Überblick	59
3.2 Thermografische In-Process-Überwachung	59
3.3 Vorgehen	60

4	Analyse des Laserstrahlschmelzprozesses	63
4.1	Überblick	63
4.2	Prozess- und Systemgrundlagen	63
4.2.1	Allgemeine Systemeinteilung	63
4.2.2	Prozesssteuerung und Einflussgrößen	65
4.3	Analyse von Einflussgrößen	67
4.3.1	Versuchsumgebung	67
4.3.2	Versuchsplanung und Zielgrößen	68
4.3.3	Systematische Einflüsse auf das Prozessergebnis	72
4.3.4	Geometriebedingte Einflüsse auf das Prozessergebnis	79
4.3.5	Störgrößen und zufällige Einflüsse	85
4.4	Einteilung von Fehlern und Unregelmäßigkeiten	87
4.5	Zusammenfassung	89
5	Abkühlverhalten und Materialeigenschaften	91
5.1	Überblick	91
5.2	Modellbildung zur Temperaturentwicklung beim SLM	91
5.2.1	Grundlagen aus der Lasermaterialbearbeitung	91
5.2.2	Temperaturmodelle für die Hatch-Verfestigung	94
5.2.3	Temperaturmodell für den Schichtauftrag	101
5.3	Materialeigenschaften und thermische Zyklierung	105
5.3.1	Abkühlverhalten	105
5.3.2	Hatch-Zyklierung	106
5.3.3	Scanfeldzyklierung	110
5.3.4	Schichtzyklierung	110
5.4	Wärmeabfuhr und Wärmehaushalt	112
5.4.1	Einfluss von Überhängen	112
5.4.2	Einfluss von porösem Grundmaterial	114
5.4.3	Eigenspannungen und Verzug	117
5.4.4	Schichtenanbindung	119
5.5	Zusammenfassung	120
6	Thermografische In-Process-Überwachung	123
6.1	Überblick	123
6.2	Methode	123
6.2.1	Aufbau der Methode	123
6.2.2	Datenverarbeitung und schichtweise Merkmalsextraktion	124
6.2.3	Indikatorbewertung und -reduktion	128
6.2.4	Anwendung und Klassifikation	130
6.3	Bildung von Indikatoren	133
6.3.1	Einteilung	133
6.3.2	Indikatoren für die Verfestigung	134
6.3.3	Indikatoren für den Schichtauftrag	141
6.4	Indikatoranalyse	144

6.4.1 Schichtweise Überwachung - globale Unregelmäßigkeiten	144
6.4.2 Schichtaufgelöste Überwachung - lokale Unregelmäßigkeiten	149
6.5 Kennzahlensystem und Qualitätsbewertung	153
6.5.1 Priorisierung von Indikatoren	153
6.5.2 Indikation der Bauteilqualität	155
6.5.3 Schichtübergreifende Überwachung	157
6.5.4 Vergleichbarkeit von Prozessen	159
6.6 Anwendungsbeispiele	161
6.6.1 Delamination	161
6.6.2 Fehlerhafte Supportanbindung	163
6.7 Zusammenfassung	165
7 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	167
7.1 Überblick	167
7.2 Wirtschaftliche Potenziale	167
7.3 Kostenbetrachtung	168
8 Schlussbetrachtung	173
8.1 Zusammenfassung	173
8.2 Ausblick	174
Literaturverzeichnis	177
Anhang	213
A.1 Prozessanalyse	213
A.1.1 Gut-Schlecht-Vergleich zur Identifikation von Haupteinflussgrößen	213
A.1.2 Realbauteil zur Untersuchung der Maßhaltigkeit	213
A.1.3 Versuchsplanung zur Prozessanalyse und -optimierung	214
A.1.4 Regressionsanalyse	216
A.1.5 Strahlprofil der Versuchsanlage	216
A.2 Thermografische Messung beim Laserstrahlschmelzen	217
A.2.1 Off-Axis-Integration	217
A.2.2 Ortsauflösung	224
A.2.3 Zeitauflösung	227
A.2.4 Temperaturbestimmung beim Strahlschmelzen	230
A.2.5 Zusammenfassung	245
A.3 Modellbildung	245
A.3.1 Oberflächenwärmequelle	245
A.3.2 Abkühlverhalten im Modell der Linienwärmequelle	247
A.3.3 Erwärmungsverhalten beim Schichtauftrag	251
A.4 Wärmehaushalt	254
A.4.1 Einfluss umgebender Wärmekapazitäten	254
A.4.2 Einfluss der Bauhöhe	255

Inhaltsverzeichnis

A.5 Prozessüberwachung	257
A.5.1 Detektionsgrenze	257
A.5.2 Indikatorkorrelationen	258
A.5.3 Software zur Prozessüberwachung	260
Quellen für den Anhang	265
Verzeichnis der betreuten Studienarbeiten	269
Verzeichnis der eigenen Arbeiten	271

1 Einleitung

1.1 Additive Fertigung im produktionstechnischen Umfeld

Die additiven Fertigungsverfahren gewinnen stetig an Bedeutung und stellen heute eine interessante Alternative zu konventionellen Fertigungstechnologien dar. Durch das sukzessive Hinzufügen von Material, meist in Form einzelner Schichten, ergeben sich bei der Bauteilherstellung Einsparpotenziale gegenüber spanabhebenden und abtragenden Verfahren. Prinzipbedingt wird nur die Menge an Material verarbeitet, die für die Bauteilgeometrie benötigt wird. Die additiven Verfahren ermöglichen es zudem, die Produktfunktion in den Vordergrund zu stellen, da neben komplexen, belastungsoptimierten Geometrien auch mehrere Werkstoffe zu Multimaterialbauteilen kombiniert werden können.

Für einen Produktionsstandort bergen diese Technologien ein hohes Potenzial, um auf die sich verändernden Marktanforderungen, die Globalisierung, die Individualisierung und die verkürzten Produktlebenszyklen sowie die Ressourcenverknappung zu reagieren (ABELE & REINHART 2011). In Deutschland sind über 10 Mio. Arbeitsplätze direkt oder indirekt vom produzierenden Gewerbe abhängig (STATISTISCHES BUNDESAMT 2014), die es hinsichtlich zukünftiger Herausforderungen mithilfe von intelligenter Produktionstechnik und marktge-rechter Innovationen zu sichern gilt. Die additiven Verfahren können hierbei eine entscheidende Rolle übernehmen und gelten im Kontext der durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung definierten Schlüsseltechnologien „Produktionssysteme und -technologien“ sowie „Werkstofftechnologien“ als aktuelle und zukünftige Forschungsschwerpunkte (BUNDESMINISTERIUM FÜR BILDUNG UND FORSCHUNG 2012).

Vor allem in den Leitbranchen „Mobilität“ und „Gesundheit, Ernährung“ befinden sich die additiven Verfahren in einer Transitionsphase aus dem Entwicklungsbereich hin zur Industrialisierung. Im Automotive- und Luftfahrtbereich werden neben Prototypenteilen unterdessen erste Serienteile mit additiven Verfahren gefertigt (MEIXLSPERGER 2010; MTU AERO ENGINES AG 2014) und ein sprunghafter Anstieg ist mittelfristig zu erwarten (DILBA 2011; GE AVIATION 2014). Im Medizinbereich dienen additive Verfahren dagegen schon länger als Mittel der Wahl, um kundenindividuelle Zahnprothesen oder Implantate herzustellen (UCKELMANN 2012; WOHLERS 2011). Die verwendeten Materialien umfassen neben Kunststoffen und Metallen zunehmend auch Keramiken (BROOKE 2014).

„Additive Fertigung“ wird synonym mit vielen weiteren Begriffen, darunter „3D-Druck“ und „Rapid Prototyping“ verwendet. Es können jedoch drei Anwendungsbereiche unterschieden werden, deren Begrifflichkeiten in der Richtlinie VDI 3404 bzw. VDI 3405 geregelt sind. *Rapid Prototyping* bezieht sich auf die additive Herstellung von Bauteilen mit eingeschränkter Funktionalität.

1 Einleitung

Diese dienen als Prototypen und Versuchsteile, das Material muss nicht notwendigerweise dem Serienmaterial entsprechen. Beim *Rapid Manufacturing* werden Bauteile additiv hergestellt, die alle Merkmale des Endproduktes aufweisen und damit für den Serieneinsatz ausgelegt sind. Im Bereich *Rapid Tooling* werden dagegen additive Verfahren verwendet, um Werkzeuge und Formen möglichst kostengünstig und schnell aufzubauen. Von diesen Anwendungsfeldern zu differenzieren ist der Consumer-Bereich, der sich durch die Verfügbarkeit von kostengünstigen Druckern für den Heim- und Bürobereich stetig weiterentwickelt, mit der Fertigung von Serienbauteilen jedoch nicht verwechselt werden darf.

Die zunehmende Bedeutung der additiven Verfahren liegt in ihren wesentlichen Potenzialen begründet, die sich wie folgt zusammenfassen lassen (vgl. GEBHARDT (2012)):

- Designfreiheit und Möglichkeit der geometrischen Komplexitätssteigerung von Bauteilen ohne Zusatzkosten
- Möglichkeiten der Funktionsintegration, z. B. durch Materialkombinationen, gradierte Eigenschaften, innen liegende Strukturen etc.
- Ressourceneffizienz durch Materialeinsparung
- Reduzierte *Time-to-Market* und On-Demand-Produktion aufgrund direkter Fertigung anhand digitaler Modelle
- Kosteneinsparung durch geringeren Materialeinsatz sowie reduzierte Werkzeug- und Lagerkosten

Die Potenziale kommen erfolgreich zum Tragen, wenn es sich um komplexe, integrierte, für die additive Fertigung ausgelegte Produkte bei geringen Stückzahlen handelt (KRAUSS et al. 2011). Eine reine Substitution konventioneller Fertigungsprozesse für konventionelle Geometrien ist dagegen selten wirtschaftlich (ZÄH 2006). Die additiven Verfahren regen zu einem Umdenken an und fördern Produktinnovationen. Sie stellen damit ein ausgezeichnetes Beispiel für das *Push-Pull*-Prinzip dar, das bestimmend für die moderne Produktion und Produktionsforschung ist. Während die Industrie bzw. der Markt produktionstechnische Herausforderungen zur Steigerung der Produktivität und Qualität verlangt (*Technology Pull*), kann die Wissenschaft durch Vorausentwicklung neue Wege öffnen (*Technology Push*) und Innovationen schaffen.

Die vorliegende Dissertation greift die aktuellen Entwicklungen auf und soll einen Beitrag dazu leisten, die additiven Fertigungsverfahren als Serientechnologien weiter zu etablieren. Zu diesem Zweck wird im Rahmen der Qualitätssicherung die thermische Prozessüberwachung fokussiert.

1.2 Ausgangssituation und Motivation

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird die pulverbettbasierte additive Fertigung betrachtet, die sich gegenüber den lokal auftragenden Verfahren durch eine feste Bearbeitungsebene auszeichnet. Darüber hinaus erfolgt eine Fokussierung auf das Selektive (Laser-)strahlschmelzen, engl. *Selective Laser Melting* (SLM). Bei diesem Verfahren wird in einem zweistufigen Prozess metallisches Pulvermaterial schichtweise aufgebracht und anschließend durch lokal eingebrachte Laserenergie unter Schutzgasatmosphäre aufgeschmolzen und verfestigt. Dieser Vorgang wird so oft wiederholt, bis die Geometrie vollständig hergestellt ist (vgl. Abbildung 1.1). Um hohe Genauigkeiten zu erreichen, werden Schichtdicken im Bereich von wenigen zehn Mikrometern appliziert, die zusammen mit der Ausdehnung des Schmelzbades die Auflösung des Verfahrens begrenzen.

Die Technologie des SLM wird von zahlreichen Herstellern kommerzialisiert und weiterentwickelt. Sie stellt neben dem Elektronenstrahlschmelzen, engl. *Electron Beam Melting* (EBM), bei dem der Energieeintrag in die Pulverschicht durch einen hochenergetischen Elektronenstrahl erfolgt, eine zentrale Technologie im Bereich des *Rapid Tooling* und *Rapid Manufacturing* metallischer Serienbauteile dar (LJUNGBLAD et al. 2014; WOHLERS 2014).

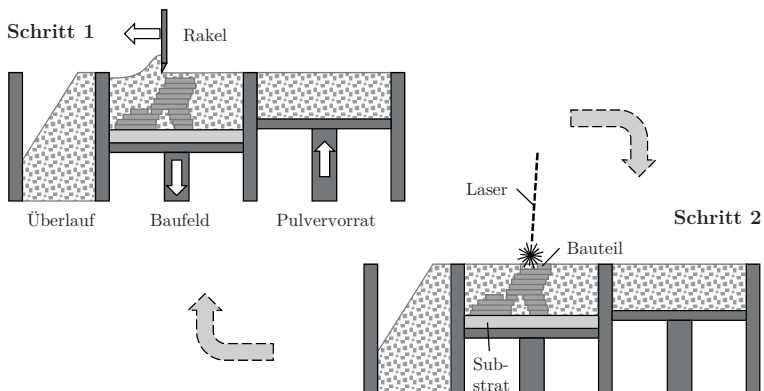


Abbildung 1.1: Verfahrensprinzip des pulverbettbasierten Laserstrahlschmelzens

Neben den zuvor genannten, vielfältigen Potenzialen dieser Technologie, sind eine Reihe von Einschränkungen und Herausforderungen zu beachten, die die Ausgangssituation charakterisieren. Es bestehen nur wenige Kenntnisse über werkstoffkundliche Zusammenhänge – neue Materialien müssen daher anlagenspezifisch mit hohem Aufwand qualifiziert werden (EISEN 2009; KRUTH 2007; MEIER & HABERLAND 2008). Des Weiteren beschränkt sich die Materi-

alvielfalt im Metallbereich vornehmlich auf Stähle, Nickelbasis- und Titanlegierungen sowie Aluminium (GEBHARDT 2007). Aus ökonomischer Sicht ist der Energieaufwand pro Materialeinheit teilweise höher als bei der konventionellen Fertigung (WOHLERS 2012). Aufgrund der Gefährdungspotenziale der Ausgangsmaterialien (Pulverwerkstoffe) sind zudem besondere Maßnahmen hinsichtlich Arbeitsschutz notwendig. Zuletzt erfordert die erreichbare Oberflächenqualität und Maßhaltigkeit in vielen Anwendungen eine zusätzliche Nachbearbeitung (SEHRT 2010), was Kosten und Durchlaufzeiten erhöht.

Das SLM-Verfahren ist durch eine Vielzahl an Einflussgrößen gekennzeichnet (REHME & EMMELMANN 2005), die zu einer hohen Streuung der resultierenden Bauteileigenschaften führen (vgl. Abschnitt 2.2). Die Prozessrobustheit wird durch die verwendete Anlagentechnik und durch den nutzer- bzw. bauteilspezifischen *Pre-Process* beeinflusst. So können sich maschinenspezifische Charakteristika ebenso auf die Bauteilqualität (z. B. Form- und Maßgenauigkeit) auswirken (ESCHEY et al. 2011), wie die nutzerbedingte Orientierung, Positionierung und Stützstrukturauslegung im Bauraum (HOEREN & WITT 2012). Eine zentrale Herausforderung ist darüber hinaus in dem Langzeitverhalten additiv gefertigter Komponenten gegeben. Dieses muss, aufgrund veränderter Gefüge- und Oberflächeneigenschaften im Vergleich zu konventionell gefertigten Komponenten, aufwendig qualifiziert werden (LEUDERS et al. 2014).

Die genannten Potenziale und Hürden sind im Besonderen am Beispiel der Luftfahrtindustrie zu erkennen. Während eine hohe Nachfrage nach neuen Bauweisen und optimierten Produkten vorherrscht, muss nach VALLÉS (2014) noch immer viel Aufwand für die Validierung und Prüfung der Anwendungen bzw. Bauteile investiert werden, um die strengen Anforderungen zu erfüllen (LYONS 2012). Dieser Sachverhalt stellt die wesentliche Motivation für die vorliegende Arbeit dar.

1.3 Handlungsbedarf und Zielsetzung

Die dargestellte Ausgangssituation zeigt einen Handlungsbedarf in mehreren Bereichen auf. Zum einen ist eine Steigerung des Prozessverständnisses notwendig, um die Auswirkungen der Vielzahl an Prozessparametern weiter zu durchdringen, den Prozess zu verbessern und die Prozessrobustheit zu erhöhen. Ausschusskosten, deren Ursache auf Prozessunregelmäßigkeiten zurückzuführen sind, gilt es zu reduzieren, um einen weiteren Schritt in Richtung First-Time-Right-Fertigung¹ machen zu können.

Zum anderen muss die frühzeitige Erkennung fehlerhafter Bauteile verbessert und der Aufwand für die nachgeschaltete Qualitätssicherung reduziert werden.

¹Fehlerfreie, qualitätskonforme Fertigung im ersten Anlauf

Handlungsbedarf herrscht zudem bei der Dokumentation und Nachvollziehbarkeit der Prozessergebnisse, da die Zusicherung regulärer Prozessbedingungen zukünftig selbst für Standardanwendungen von wachsender Bedeutung sein wird (WIESEMANN 2004) und die Akzeptanz bzw. Marktdurchdringung erhöhen kann. Der Einsatz von Methoden der Online-Überwachung (vgl. Abschnitt 2.5) kann in diesen Zusammenhängen einen Beitrag zur Deckung des Handlungsbedarfs leisten.

Die Zielsetzung dieser Arbeit besteht in der frühzeitigen Erkennung von Prozessfehlern und -unregelmäßigkeiten auf Basis eines gesteigerten Prozessverständnisses. Durch den Einsatz einer Online-Überwachung sollen Abweichungen quantifiziert und bewertet werden können, um eine Vergleichbarkeit additiv gefertigter Bauteile hinsichtlich diverser Qualitätskriterien zu schaffen.

Beim SLM handelt es sich um einen thermischen Prozess und der Wärmehaushalt wird durch eine Vielzahl an prozessspezifischen Einflüssen bestimmt. Durch die Analyse des zyklischen Aufheiz- und Abkühlverhaltens während der Verfestigung einer Schicht sollen Qualitätsindikatoren auf unterschiedlichen Betrachtungsebenen abgeleitet werden. Die Überwachung aller Einzelschichten bietet dann eine Möglichkeit zur durchgängigen Qualitätssicherung. Im Mittelpunkt dieser Arbeit steht dabei die orts aufgelöste Temperaturmessung durch Thermografie.

- 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 *Bernd 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 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 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 Fährer:** Ganzheitliche Optimierung des indirekten Metall-Lasersinterprozesses
176 Seiten - ISBN 978-3-8316-0124-0
- 164 **Jürgen Höppner:** Verfahren zur berührungslosen Handhabung mittels leistungsstarker Schallwandler
144 Seiten - ISBN 978-3-8316-0125-7
- 165 **Hubert Götte:** Entwicklung eines Assistenzrobotersystems für die Knieendoprothetik
258 Seiten - ISBN 978-3-8316-0126-4
- 166 **Martin Weissenberger:** Optimierung der Bewegungsdynamik von Werkzeugmaschinen im rechnergestützten Entwicklungsprozess
210 Seiten - ISBN 978-3-8316-0138-7
- 167 **Dirk Jacob:** Verfahren zur Positionierung unterseitenstrukturierter Bauelemente in der Mikrosystemtechnik
200 Seiten - ISBN 978-3-8316-0142-4
- 168 **Ulrich 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 telepräseanter 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-Lasersinterens 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 Konturfolgssysteme
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 978-3-8316-0668-9
- 203 **Sven Roeren:** Komplexitätsvariable Einflussgrößen für die bauteilbezogene Struktursimulation thermischer Fertigungsprozesse
224 Seiten - ISBN 978-3-8316-0680-1
- 204 **Henning Rudolf:** Wissensbasierte Montageplanung in der Digitalen Fabrik am Beispiel der Automobilindustrie
200 Seiten - ISBN 978-3-8316-0697-9
- 205 **Stella Clarke-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 Schlickenrieder:** 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 Sigl:** 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 Straber:** 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 Schwinggrad-Reißschweißen durch modellbasierte Regelungsverfahren
220 Seiten - ISBN 978-3-8316-4245-8
- 272 **William Brice Tekou Moutchihio:** A New Programming Approach for Robot-based Flexible Inspection systems
232 Seiten - ISBN 978-3-8316-4247-2
- 273 **Matthias Wabel:** 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 Schleifhärtens
128 Seiten - ISBN 978-3-8316-4448-3
- 296 **Rüdiger Spillner:** Einsatz und Planung von Roboterassistenz zur Berücksichtigung von Leistungswandlungen in der Produktion
286 Seiten - ISBN 978-3-8316-4450-6
- 297 **Daniel Schmid:** Rührreibschweißen von Aluminiumlegierungen mit Stählen für die Automobilindustrie
300 Seiten - ISBN 978-3-8316-4452-0
- 298 **Florian Karl:** Bedarfsermittlung und Planung von Rekonfigurationen an Betriebsmitteln
222 Seiten - ISBN 978-3-8316-4458-2
- 299 **Philipp Ronald Engelhardt:** System für die RFID-gestützte situationsbasierte Produktionssteuerung in der auftragsbezogenen Fertigung und Montage
246 Seiten - ISBN 978-3-8316-4472-8
- 300 **Markus Graßl:** Bewertung der Energieflexibilität in der Produktion
202 Seiten - ISBN 978-3-8316-4476-6
- 301 **Thomas Kirchmeier:** Methode zur Anwendung der berührungslosen Handhabung mittels Ultraschall im automatisierten Montageprozess
196 Seiten - ISBN 978-3-8316-4478-0
- 302 **Oliver Rösch:** Steigerung der Arbeitsgenauigkeit bei der Fräsbearbeitung metallischer Werkstoffe mit Industrierobotern
214 Seiten - ISBN 978-3-8316-4486-5
- 303 **Christoph Sieben:** Entwicklung eines Prognosemodells zur prozessbegleitenden Beurteilung der Montagequalität von Kolben dichtungen
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 Musial:** 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 Schweißerguss und Schweißergussspannungen
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:** Prognosefähige 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 Krauss:** Qualitätssicherung beim Laserstrahlschmelzen durch schichtweise thermografische In-Process-Überwachung
304 Seiten - ISBN 978-3-8316-4628-9