

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

**Automatisierte Bahnplanung  
für Industrieroboter und Scanneroptiken  
bei der Remote-Laserstrahlbearbeitung**

**Jens Steffen Hatwig**

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

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

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Michael F. Zäh  
Prüfer der Dissertation: 1. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart  
2. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Darius Burschka

Die Dissertation wurde am 14.11.2013 bei der Technischen Universität  
München eingereicht und durch die Fakultät für Maschinenwesen am  
18.03.2014 angenommen.

Jens Hatwig

**Automatisierte Bahnplanung  
für Industrieroboter und Scanneroptiken  
bei der Remote-Laserstrahlbearbeitung**



Herbert Utz Verlag · München

## **Forschungsberichte IWB**

Band 289

Zugl.: Diss., München, Techn. Univ., 2014

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 · 2014

ISBN 978-3-8316-4405-6

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>V</b>
<b>Symbolverzeichnis</b>	<b>IX</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Laserstrahlfertigungsverfahren am Standort Deutschland	2
1.2 Überblick über Industrieroboter . . . . .	3
1.3 Motivation . . . . .	4
1.4 Aufbau der Arbeit . . . . .	6
<b>2 Grundlagen und Stand der Technik</b>	<b>7</b>
2.1 Laserstrahlprozesse . . . . .	7
2.1.1 Einordnung von Laserstrahlprozessen anhand von Laserstrahlpositionierkonzepten . . . . .	8
2.1.2 Das Laserstrahlschweißen . . . . .	11
2.1.2.1 Laserstrahlschweißen mit kurzen Brenn- weiten . . . . .	14
2.1.2.2 Remote-Laserstrahlschweißen . . . . .	14
2.1.2.3 Remote-Laserstrahl-Wobbelschweißen . . . . .	16
2.1.3 Das Laserstrahlschneiden . . . . .	18
2.1.3.1 Laserstrahlschneiden mit kurzen Brenn- weiten . . . . .	18
2.1.3.2 Remote-Laserstrahl-Schmelzdruck- schneiden . . . . .	19
2.1.3.3 Remote-Laserstrahl-Abtragsschneiden . . . . .	20
2.2 Laserstrahlquelle und -führung . . . . .	22
2.3 Vergleich der Laserstrahlprozesse . . . . .	26
2.4 Flexible Fertigungszellen mit mehreren Prozessen . . . . .	28
2.5 Lasersicherheit . . . . .	30
2.6 Systeme zur Laserstrahlfokussierung . . . . .	31

# Inhaltsverzeichnis

---

2.7	Industrieroboter . . . . .	35
2.7.1	Begriffe und Grundlagen . . . . .	35
2.7.2	Kinematisch redundante Systeme . . . . .	38
2.7.3	Programmierarten . . . . .	40
2.7.3.1	Aufgabenorientiertes Programmieren . . . . .	42
2.7.3.2	Automatisierte Programmierung . . . . .	44
2.8	Reihenfolgeoptimierung von Schweißnähten und Schnittkanten . . . . .	45
2.9	Bahnplanungsmethoden bei der robotergeführten Laser- strahlbearbeitung . . . . .	46
2.9.1	Sensorgeführte Laserstrahlbearbeitung . . . . .	47
2.9.2	Laserstrahlbearbeitung mit kurzen Brennweiten . . . . .	48
2.9.3	Remote-Laserstrahlbearbeitung . . . . .	48
2.9.3.1	Scannerlose Bearbeitung . . . . .	49
2.9.3.2	Point&Shoot Bearbeitung . . . . .	50
2.9.3.3	Fliegende Bearbeitung mit Scanneroptiken . . . . .	50
<b>3</b>	<b>Ausgangssituation und Zielbeschreibung</b>	<b>51</b>
3.1	Ausgangssituation . . . . .	51
3.2	Handlungsbedarf . . . . .	53
3.3	Zielbeschreibung . . . . .	53
3.4	Vorgehensweise . . . . .	54
<b>4</b>	<b>Programmiersystem für die robotergeführte Remote- Laserstrahlbearbeitung</b>	<b>57</b>
4.1	Phase 1: Erstellen der Aufgabendefinition . . . . .	59
4.1.1	Beschreibung des Umweltmodells . . . . .	59
4.1.1.1	Die Fertigungszelle . . . . .	60
4.1.1.2	Die Spannvorrichtung . . . . .	61
4.1.1.3	Die Handhabungskinematik . . . . .	62
4.1.1.4	Die Scanneroptik . . . . .	64
4.1.2	Beschreibung des Aufgabenmodells . . . . .	65
4.1.2.1	Geometrie-Informationen . . . . .	66
4.1.2.2	Prozess-Informationen . . . . .	68
4.2	Phase 2: Verarbeitung der Aufgabendefinition . . . . .	69
4.3	Phase 3: Ausgabe der Roboter- und Scannerbahnen . . . . .	69
4.3.1	Simulation . . . . .	69
4.3.2	Fertigung . . . . .	70
4.3.3	Offline-Nachteachen . . . . .	71

4.4	Beispielhafte Versuchsaufgabenstellung . . . . .	72
4.4.1	Beschreibung eines Versuchsbauteils . . . . .	73
4.4.2	Beschreibung einer Fertigungszelle . . . . .	74
<b>5</b>	<b>Bahnplanung für die robotergeführte Remote-Laserstrahlbearbeitung</b>	<b>77</b>
5.1	Schritt 1: Analyse der Aufgabe . . . . .	77
5.1.1	Verarbeitung des Aufgabenmodells . . . . .	77
5.1.2	Berechnung der Aufgabenumkreise . . . . .	81
5.1.3	Zusammenfassung und Anwendung von Schritt 1 . . . . .	83
5.2	Schritt 2: Auswahl der Systemkomponenten . . . . .	83
5.2.1	Relativbewegung zwischen Werkstück und Scanneroptik . . . . .	84
5.2.2	Wahl der Handhabungskinematik . . . . .	87
5.2.3	Reihenfolgeoptimierung . . . . .	87
5.2.4	Zusammenfassung und Anwendung von Schritt 2 . . . . .	89
5.3	Schritt 3: Berechnung der Bahn der Handhabungskinematik . . . . .	90
5.3.1	Bahnen beim RAC . . . . .	90
5.3.1.1	Vorwärtsplanung . . . . .	91
5.3.1.2	Rückwärtsplanung . . . . .	96
5.3.1.3	Längenoptimierung . . . . .	97
5.3.1.4	Geschwindigkeitsoptimierung . . . . .	98
5.3.1.5	Finalisierung der Bahn der Handhabungskinematik . . . . .	100
5.3.1.6	Anpassung der Bahnen auf 3D-Aufgabenteile . . . . .	100
5.3.2	Bahnen beim RFC und RLW . . . . .	101
5.3.2.1	Skalierung . . . . .	102
5.3.2.2	Filterung mittels Tiefpass . . . . .	104
5.3.2.3	Bahninterpolation . . . . .	105
5.3.2.4	Geschwindigkeitsberechnung . . . . .	105
5.3.2.5	Iterative Bahnoptimierung . . . . .	106
5.3.2.6	Anpassung der Bahnen auf 3D-Aufgabenteile . . . . .	107
5.3.2.7	Ableich mit der realen Bahn . . . . .	108
5.3.3	Zusammenfassung und Anwendung von Schritt 3 . . . . .	109
5.4	Schritt 4: Berechnung der Bahnen für die Scanneroptik . . . . .	110
5.4.1	Scannerbahn für das RAC . . . . .	111
5.4.2	Scannerbahn für das RFC und RLW . . . . .	111

## Inhaltsverzeichnis

---

5.4.3	Zusammenfassung und Anwendung von Schritt 4	116
5.5	Schritt 5: Steuerungstechnische Umsetzung . . . . .	116
5.5.1	Lasersicherheitsaspekte . . . . .	117
5.5.2	Postprozessoren . . . . .	118
5.5.3	Zusammenfassung und Anwendung von Schritt 5	118
<b>6</b>	<b>Technische und wirtschaftliche Betrachtung</b>	<b>119</b>
6.1	Technische Betrachtung . . . . .	119
6.1.1	Funktionsmuster 1: Ebenes Blech/Abgasanlagen- dichtungen . . . . .	119
6.1.2	Funktionsmuster 2: FVK-Strukturbauteil . . . . .	124
6.1.3	Funktionsmuster 3: Wärmetauscher . . . . .	126
6.2	Wirtschaftliche Betrachtung des Funktionsmusters 3 . .	132
6.3	Technische und wirtschaftliche Bewertung . . . . .	137
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>139</b>
7.1	Zusammenfassung . . . . .	139
7.2	Ausblick . . . . .	141
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>143</b>
	<b>Verzeichnis betreuter Studienarbeiten</b>	<b>165</b>

# 1 Einleitung

Das Laserstrahlschweißen<sup>1</sup> und das Laserstrahlschneiden haben sich in vielen Industriezweigen als wirtschaftliche Fertigungsverfahren etabliert (HÜGEL & GRAF 2009). Beide Verfahren werden kontinuierlich weiterentwickelt, um den steigenden Anforderungen an die Qualität der Bearbeitung und an die Produktivität zu genügen. Vor allem die Automobil-Industrie setzt auf neue Laserstrahlverfahren, wie das Remote-Laserstrahlschweißen<sup>2</sup> (Remote Laser Welding, RLW), um die Taktzeiten zu verbessern (HAVRILLA ET AL. 2011). Neben dem RLW bietet auch das Remote-Laserstrahl-Abtragsschneiden (Remote Laser Ablation Cutting, RAC) große Potenziale, die Fertigungszeiten zu verkürzen (LÜTKE 2011). Durch den großen Abstand zwischen der laserstrahlformenden Optik und dem Werkstück können bei Remote-Verfahren die Laserstrahlpositionierzeiten, die unproduktiven Nebenzeiten, deutlich verringert werden (MUNZERT 2010). Weitere Vorteile beider Verfahren sind die hohen Prozessgeschwindigkeiten und die gute Qualität der Schweißnähte bzw. der Schnittkanten bei beliebigen Bearbeitungsmustern (DIN 1011-6 2006). Um diese Vorteile zu nutzen, ist es erforderlich, den Laserstrahl zielgenau durch eine Handhabungskinematik auf dem Werkstück zu positionieren. Die vorliegende Dissertation befasst sich daher mit der automatisierten Bahnplanung für Kombinationen von Handhabungskinematiken wie Industrieroboter oder Portalanlagen mit laserstrahlformenden Scanneroptiken, welche gegenwärtig in vielen Applikationen bei der Remote-Laserstrahlbearbeitung eingesetzt werden.

Anhand des industriellen Einsatzes von Laserstrahlfertigungsverfahren in Deutschland und eines Überblicks über Industrieroboter wird in diesem Kapitel die Motivation für die vorliegende Dissertation hergeleitet.

---

<sup>1</sup>Die Abkürzung *Laser* steht für „Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation“. Dies entspricht der „Lichtverstärkung durch stimulierte Emission“; ein von Albert Einstein 1916 postuliertes Prinzip (EINSTEIN 1916).

<sup>2</sup>Das Wort *Remote* stammt aus dem Englischen und steht für *fern*, *abseits*.



### 1.1 Laserstrahlfertigungsverfahren am Standort Deutschland

Eine treibende Kraft beim Einsatz von neuen Laserstrahlfertigungsverfahren in Deutschland ist die Automobil-Industrie. Die weltweit erste von Laserstrahlquellen betriebene Schweißanlage wurde in den 1980er Jahren bei der VW AG aufgebaut (FISCHER 2010). Seitdem hat sich der Einsatz von Laserstrahlung in der Fertigung stark ausgebreitet und ist durch zahlreiche Veröffentlichungen von nahezu allen Automobil-Herstellern und deren Zulieferer belegt (BAUR 2009; BECKER ET AL. 2008; BERGMANN 2009a; ELSNER 2008; HAMMER & BROCKMANN 2006; HAVRILLA ET AL. 2011). Die Flexibilität des Werkzeugs *Laserstrahl* macht diese Technologie in vielen anderen Anwendungsgebieten, wie zum Beispiel dem Schiffsbau (GRUPP 2006) und dem Pipelinebau (GOOK ET AL. 2009), unverzichtbar.

Viele dieser industriellen Anwendungen basieren auf den Ergebnissen von Forschungsprojekten. Eine stetige Verbesserung der Laserstrahlquellen hat den Fokus dieser Projekte von den Grundlagen der Laserstrahlerzeugung und seiner Formung auf die Materialbearbeitung erweitert (BACHMANN 2010). Durch die intensive Forschung im Bereich der Lasertechnik und speziell bei den Laserstrahlfertigungsverfahren in Deutschland stehen der Industrie immer wieder neue Laserstrahlprozesse, wie das RAC (LÜTKE 2011), sowie flexible Fertigungszellen mit mehreren Prozessen (MUSIOL ET AL. 2012) zur Verfügung, um die Produktivität und die Qualität zu steigern.

In diesen Fertigungszellen können Industrieroboter als Handhabungsmechanismen zur Positionierung der laserstrahlformenden Optiken eingesetzt werden. Eine Remote-Laserstrahlanlage, bestehend aus einem Industrieroboter und einer Scanneroptik, ist zusammen mit Momentaufnahmen beim RAC in Abbildung 1.1 dargestellt. Die freie und hochgenaue Ausrichtung der Scanneroptik im Arbeitsraum von modernen Industrierobotern schafft reproduzierbare Versuchsbedingungen und gewährleistet in der Großserienproduktion eine konstante Qualität der gefertigten Werkstücke. Der Industrieroboter kann damit in vielen Anwendungen ein zentrales Element bei der Laserstrahlbearbeitung darstellen.

## 1.2 Überblick über Industrieroboter

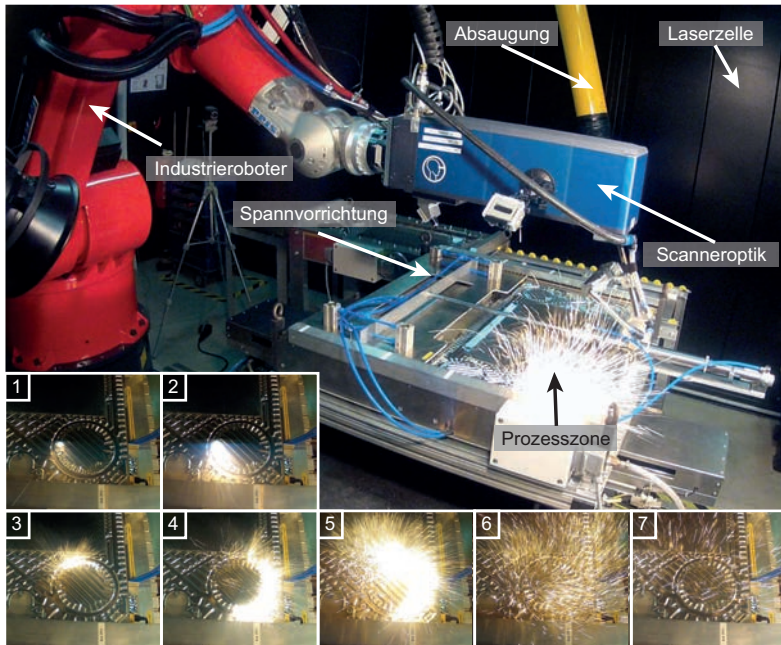


Abbildung 1.1: Versuchsaufbau bei der Remote-Laserstrahlbearbeitung mit einer beispielhaften Fertigungssequenz einer Belichtung der Schnittkante beim RAC mit sieben Momentaufnahmen

## 1.2 Überblick über Industrieroboter

Der Mensch überträgt seit Jahrhunderten schwere körperliche Arbeit an Maschinen. Dieser Automatisierungsgedanke hat immer flexiblere Systeme hervorgebracht, welche seit 1960 mit dem ersten Auftreten von Industrierobotern versuchen, den Menschen, bzw. dessen Körperteile wie seinen Arm, direkt nachzubilden (CRAIG 1988). Das Wort *Roboter* stammt vom tschechischen Wort *Robot* ab und bedeutet *Lehmarbeiter*. Es wurde bereits 1921 im Rahmen eines Theaterstücks eingeführt (CAPEK 1921). Ein Roboter ist in DIN 8373 (1996) definiert als ein System mit mindestens drei programmierbaren Achsen. Roboter werden derzeit für nahezu

## 1 Einleitung

---

jeglichen industriellen Einsatz produziert und der Begriff *Industrieroboter* bezeichnet häufig Vertikal-Knickarm-Roboter mit sechs Achsen, wie in Abbildung 1.1 dargestellt. Sie zeichnen sich durch eine große Flexibilität aus, da sie mit sechs frei programmierbaren Achsen Positionen in ihrem 3D-Arbeitsraum mit definierten Orientierungen anfahren können.

Seit dem ersten Auftreten von Industrierobotern hat sich ihre Qualität stark verbessert. Lagen die Genauigkeiten der ersten Roboter noch bei mehreren Zentimetern bei geringen Nutzlasten (WEBER 2002), können heutzutage hochgenaue Roboter Nutzlasten bis zu 60 kg mit einer Wiederholgenauigkeit von 50  $\mu\text{m}$  positionieren (KUKA ROBOTER GMBH 2012). Zudem hat sich das Spektrum an Robotersystemen von der Mikromontage (Tragkraft von wenigen Gramm) bis in den Schwerlastbereich (Tragkraft von über einer Tonne (FANUC ROBOTICS GMBH 2013)) erweitert (WEBER 2002).

Hochgenaue Roboter bieten somit die Möglichkeit, weitere Kinematiken, wie zum Beispiel laserstrahlformende Scanneroptiken, über Werkstücken zu positionieren, um die Laserstrahlprozesse im gesamten Arbeitsraum des Roboters auszuführen.

### 1.3 Motivation

Durch die berührungslöse sowie kräfte- und verschleißfreie Wirkungsweise besitzt die Laserstrahlbearbeitung ein großes Potenzial, um automatisiert in der Produktion eingesetzt zu werden. Da sich eine Laserstrahlquelle zur Realisierung verschiedener Prozesse (Schweißen, Schneiden, Markieren, usw.) eignet (MUSIOL ET AL. 2012; PETRING ET AL. 2005; SCHNEIDER ET AL. 2005; ULRICH 2006), kann eine Laserstrahlfertigungszelle sehr flexibel in der Kleinserienproduktion zur Anwendung kommen, da Rüstzeitanteile zum Wechsel von Hardware-Komponenten zur Laserstrahlformung sowie -positionierung entfallen und somit keine wertvolle Produktionszeit verloren geht. Die hohen Prozessgeschwindigkeiten von bis zu 150 mm/s (9 m/min) beim Schweißen und bis zu 8000 mm/s (480 m/min) beim RAC dünner Metallfolien bieten zudem eine gute Möglichkeit, die Taktzeit bei der Großserienproduktion erheblich zu reduzieren. Die hohen Bearbeitungsgeschwindigkeiten beim RAC werden gegenwärtig ausschließlich mit Scanneroptiken erreicht. Sie

realisieren Versatzbewegungen des Laserstrahlfokus auf dem Werkstück mit Hilfe von bewegten Spiegeln mit bis zu 20 000 mm/s (1200 m/min), bei Wiederholgenauigkeiten, die kleiner als 5  $\mu\text{m}$  sind (ARGES GMBH 2012). Nebenzeiten, während derer der Laserstrahl ausgeschaltet ist und die Spiegel von einer Schweißnaht oder Schnittkante zur nächsten ausgerichtet werden, sind damit vernachlässigbar klein. Scanneroptiken besitzen aber meist nur ein kleines Bearbeitungsfeld von bis zu  $400 \times 400 \text{ mm}^2$ . Um das Bearbeitungsfeld von Scanneroptiken zu erweitern, können diese an Industrieroboter montiert werden (vgl. Abbildung 1.1).

Die Hersteller von Scanneroptiken und Industrierobotern stellen meist intuitive Benutzerschnittstellen für die manuelle Programmierung ihrer Systeme zur Verfügung. Sofern die Scanneroptik den Laserstrahl ablenkt, während sie vom Roboter positioniert wird, liegt eine kombinierte Bewegung von zwei unterschiedlichen Systemen vor. In diesem Fall wird von einer *fliegenden* bzw. von einer *on-the-fly* Bewegung gesprochen. Bei der fliegenden Bewegung ist eine automatisierte Programmierung unerlässlich, da die Scanneroptik sonst programmiert werden müsste, während sich der Roboter bewegt. Für den Einsatz des RLW gibt es Speziallösungen mit Benutzerschnittstellen für die Programmierung beider Hardware-Komponenten. Diese im industriellen Einsatz etablierten Systeme benötigen allerdings zusätzliche Hardware (BECKER ET AL. 2008; VOGL & MUNZERT 2012), sind nur für eine eingeschränkte Auswahl an Systemen einsetzbar und eignen sich aufgrund eines zu langsamen Datenaustausches zwischen den unterschiedlichen Systemen (BECKER ET AL. 2008) nicht für das RAC.

Um das RAC oder Prozesskombinationen (RAC und RLW) in der industriellen Fertigung einzusetzen, bedarf es Programmiersysteme mit automatisierten Bahnplanungsmethoden, welche die Vorteile von Industrierobotern und Scanneroptiken verwenden, um Werkstücke mit einer möglichst kurzen Taktzeit zu bearbeiten. Bisher stehen keine Bahnplanungsmethoden zur Verfügung, um Systeme von unterschiedlichen Industrierobotern und Scanneroptiken für das RAC sowie Prozesskombinationen intuitiv, schnell und flexibel zu programmieren.

Die Motivation zur Erstellung der vorliegenden Dissertation ist es, Methoden für den Einsatz von RAC oder Prozesskombinationen zu entwickeln, um diesen neuen Prozess im industriellen Umfeld einsetzen zu können.

### 1.4 Aufbau der Arbeit

Nach der Darlegung der Motivation zur Anfertigung dieser Dissertation wird im Kapitel 2 der zugehörige Stand der Technik der robotergeführten Laserstrahlbearbeitung beschrieben. Dabei wird auf die zu betrachteten Prozesse, das Laserstrahlschweißen und -schneiden sowie auf die Anforderungen der Laserstrahlpositionierung bei diesen Prozessen eingegangen. Ein Vergleich der Laserstrahlprozesse zeigt dann die erforderliche Systemtechnik auf, um verschiedene Prozesse in einer Laserstrahlfertigungszelle zur Anwendung zu bringen. Aufbauend auf dem Prozesswissen wird für das RAC die derzeit einzig mögliche Laserstrahlquelle, der Grundmode-Faserlaser, vorgestellt. Anschließend werden vorhandene laserstrahlformende Optiken und Industrieroboter aufgezeigt, mit deren Hilfe der Laserstrahl auf dem Werkstück positioniert wird. Eine Beschreibung zur Verfügung stehender Bahnplanungsmethoden für die Laserstrahlbearbeitung bei unterschiedlichen Prozessen schließt den Stand der Technik ab.

Basierend auf einer Diskussion des Stands der Technik in Kapitel 3 werden im Handlungsbedarf fehlende Bahnplanungswerkzeuge für das RAC unter Verwendung standardisierter Komponenten, wie Laserstrahlquelle, Scanneroptik und Industrieroboter identifiziert. Aus dem Handlungsbedarf wird danach die Zielbeschreibung und die Vorgehensweise abgeleitet. Das Ziel der vorliegenden Dissertation ist die Erweiterung des Stands der Technik und vorhandener Programmiersysteme mit einer Bahnplanungsmethode, um den neuen Laserstrahlprozess RAC sowie Prozesskombinationen im industriellen Umfeld anzuwenden.

In Kapitel 4 wird ein Programmiersystem vorgestellt, welches auf dem Stand der Technik aufbaut und vorhandene Benutzerschnittstellen verwendet, um die Anwenderprogramme für die Remote-Laserstrahlanlage im Rahmen einer aufgabenorientierten Programmierung zu erstellen. Die Beschreibung der im Programmiersystem benötigten automatisiert ablaufenden Bahnplanungsmethode für das RAC und das RLW erfolgt in Kapitel 5, welches den Hauptteil dieser Arbeit darstellt. Eine Validierung an drei unterschiedlichen Funktionsmustern mit einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zeigt im sechsten Kapitel dieser Dissertation den Nutzen für eine industrielle Anwendung. Im abschließenden Kapitel 7 wird nach einer Zusammenfassung ein kurzer Ausblick auf weiterführende Forschungsansätze gegeben.

# Seminarberichte IWB

herausgegeben von Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart und Prof. Dr.-Ing. Michael Zäh,  
Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften der Technischen Universität München

Seminarberichte IWB sind erhältlich im Buchhandel oder beim  
Herbert Utz Verlag, München, Fax 089-277791-01, info@utzverlag.de, www.utzverlag.de

- 1 **Innovative Montagesysteme - Anlagengestaltung, -bewertung und -überwachung**  
115 Seiten - ISBN 3-931327-01-9
- 2 **Integriertes Produktmodell - Von der Idee zum fertigen Produkt**  
82 Seiten - ISBN 3-931327-02-7
- 3 **Konstruktion von Werkzeugmaschinen - Berechnung, Simulation und Optimierung**  
110 Seiten - ISBN 3-931327-03-5
- 4 **Simulation - Einsatzmöglichkeiten und Erfahrungsberichte**  
134 Seiten - ISBN 3-931327-04-3
- 5 **Optimierung der Kooperation in der Produktentwicklung**  
95 Seiten - ISBN 3-931327-05-1
- 6 **Materialbearbeitung mit Laser - von der Planung zur Anwendung**  
86 Seiten - ISBN 3-931327-06-0
- 7 **Dynamisches Verhalten von Werkzeugmaschinen**  
80 Seiten - ISBN 3-931327-77-9
- 8 **Qualitätsmanagement - der Weg ist das Ziel**  
130 Seiten - ISBN 3-931327-78-7
- 9 **Installationstechnik an Werkzeugmaschinen - Analysen und Konzepte**  
120 Seiten - ISBN 3-931327-79-5
- 10 **3D-Simulation - Schneller, sicherer und kostengünstiger zum Ziel**  
90 Seiten - ISBN 3-931327-10-8
- 11 **Unternehmensorganisation - Schlüssel für eine effiziente Produktion**  
110 Seiten - ISBN 3-931327-11-6
- 12 **Autonome Produktionssysteme**  
100 Seiten - ISBN 3-931327-12-4
- 13 **Planung von Montageanlagen**  
130 Seiten - ISBN 3-931327-13-2
- 14 **Nicht erschienen – wird nicht erscheinen**
- 15 **Flexible fluide Leih/Dichtstoffe - Dosierung und Prozeßgestaltung**  
80 Seiten - ISBN 3-931327-15-9
- 16 **Time to Market - Von der Idee zum Produktionsstart**  
80 Seiten - ISBN 3-931327-16-7
- 17 **Industriekeramik in Forschung und Praxis - Probleme, Analysen und Lösungen**  
80 Seiten - ISBN 3-931327-17-5
- 18 **Das Unternehmen im Internet - Chancen für produzierende Unternehmen**  
165 Seiten - ISBN 3-931327-18-3
- 19 **Leittechnik und Informationslogistik - mehr Transparenz in der Fertigung**  
85 Seiten - ISBN 3-931327-19-1
- 20 **Dezentrale Steuerungen in Produktionsanlagen – Plug & Play – Vereinfachung von Entwicklung und Inbetriebnahme**  
105 Seiten - ISBN 3-931327-20-5
- 21 **Rapid Prototyping - Rapid Tooling - Schnell zu funktionalen Prototypen**  
95 Seiten - ISBN 3-931327-21-3
- 22 **Mikrotechnik für die Produktion - Greifbare Produkte und Anwendungspotentiale**  
95 Seiten - ISBN 3-931327-22-1
- 24 **EDM Engineering Data Management**  
195 Seiten - ISBN 3-931327-24-8
- 25 **Rationelle Nutzung der Simulationstechnik - Entwicklungstrends und Praxisbeispiele**  
152 Seiten - ISBN 3-931327-25-6
- 26 **Alternative Dichtungssysteme - Konzepte zur Dichtungsmontage und zum Dichtmittelauftrag**  
110 Seiten - ISBN 3-931327-26-4
- 27 **Rapid Prototyping - Mit neuen Technologien schnell vom Entwurf zum Serienprodukt**  
111 Seiten - ISBN 3-931327-27-2
- 28 **Rapid Tooling - Mit neuen Technologien schnell vom Entwurf zum Serienprodukt**  
154 Seiten - ISBN 3-931327-28-0
- 29 **Installationstechnik an Werkzeugmaschinen - Abschlußseminar**  
156 Seiten - ISBN 3-931327-29-9
- 30 **Nicht erschienen – wird nicht erscheinen**
- 31 **Engineering Data Management (EDM) - Erfahrungsberichte und Trends**  
183 Seiten - ISBN 3-931327-31-0
- 32 **Nicht erschienen – wird nicht erscheinen**
- 33 **3D-CAD - Mehr als nur eine dritte Dimension**  
181 Seiten - ISBN 3-931327-33-7
- 34 **Laser in der Produktion - Technologische Randbedingungen für den wirtschaftlichen Einsatz**  
102 Seiten - ISBN 3-931327-34-5
- 35 **Ablaufsimulation - Anlagen effizient und sicher planen und betreiben**  
129 Seiten - ISBN 3-931327-35-3
- 36 **Moderne Methoden zur Montageplanung - Schlüssel für eine effiziente Produktion**  
124 Seiten - ISBN 3-931327-36-1
- 37 **Wettbewerbsfaktor Verfügbarkeit - Produktivitätssteigerung durch technische und organisatorische Ansätze**  
95 Seiten - ISBN 3-931327-37-X
- 38 **Rapid Prototyping - Effizienter Einsatz von Modellen in der Produktentwicklung**  
128 Seiten - ISBN 3-931327-38-8
- 39 **Rapid Tooling - Neue Strategien für den Werkzeug- und Formenbau**  
130 Seiten - ISBN 3-931327-39-6
- 40 **Erfolgreich kooperieren in der produzierenden Industrie - Flexibler und schneller mit modernen Kooperationen**  
160 Seiten - ISBN 3-931327-40-X
- 41 **Innovative Entwicklung von Produktionsmaschinen**  
146 Seiten - ISBN 3-89675-041-0
- 42 **Stückzahlflexible Montagesysteme**  
139 Seiten - ISBN 3-89675-042-9
- 43 **Produktivität und Verfügbarkeit - ...durch Kooperation steigern**  
120 Seiten - ISBN 3-89675-043-7
- 44 **Automatisierte Mikromontage - Handhaben und Positionieren von Mikrobautteilen**  
125 Seiten - ISBN 3-89675-044-5
- 45 **Produzieren in Netzwerken - Lösungsansätze, Methoden, Praxisbeispiele**  
173 Seiten - ISBN 3-89675-045-3
- 46 **Virtuelle Produktion - Ablaufsimulation**  
108 Seiten - ISBN 3-89675-046-1

- 47 Virtuelle Produktion - Prozeß- und Produktsimulation  
131 Seiten - ISBN 3-89675-047-X
- 48 Sicherheitstechnik an Werkzeugmaschinen  
106 Seiten - ISBN 3-89675-048-8
- 49 Rapid Prototyping - Methoden für die reaktionsfähige Produktentwicklung  
150 Seiten - ISBN 3-89675-049-6
- 50 Rapid Manufacturing - Methoden für die reaktionsfähige Produktion  
121 Seiten - ISBN 3-89675-050-X
- 51 Flexibles Kleben und Dichten - Produkt- & Prozeßgestaltung, Mischverbindungen, Qualitätskontrolle  
137 Seiten - ISBN 3-89675-051-8
- 52 Rapid Manufacturing - Schnelle Herstellung von Klein- und Prototypenserien  
124 Seiten - ISBN 3-89675-052-6
- 53 Mischverbindungen - Werkstoffwahl, Verfahrensauswahl, Umsetzung  
107 Seiten - ISBN 3-89675-054-2
- 54 Virtuelle Produktion - Integrierte Prozess- und Produktsimulation  
133 Seiten - ISBN 3-89675-054-2
- 55 e-Business in der Produktion - Organisationskonzepte, IT-Lösungen, Praxisbeispiele  
150 Seiten - ISBN 3-89675-055-0
- 56 Virtuelle Produktion - Ablaufsimulation als planungsbegleitendes Werkzeug  
150 Seiten - ISBN 3-89675-056-9
- 57 Virtuelle Produktion - Datenintegration und Benutzerschnittstellen  
150 Seiten - ISBN 3-89675-057-7
- 58 Rapid Manufacturing - Schnelle Herstellung qualitativ hochwertiger Bauteile oder Kleinserien  
169 Seiten - ISBN 3-89675-058-7
- 59 Automatisierte Mikromontage - Werkzeuge und Fügetechnologien für die Mikrosystemtechnik  
114 Seiten - ISBN 3-89675-059-3
- 60 Mechatronische Produktionssysteme - Genauigkeit gezielt entwickeln  
131 Seiten - ISBN 3-89675-060-7
- 61 Nicht erschienen - wird nicht erscheinen
- 62 Rapid Technologien - Anspruch - Realität - Technologien  
100 Seiten - ISBN 3-89675-062-3
- 63 Fabrikplanung 2002 - Visionen - Umsetzung - Werkzeuge  
124 Seiten - ISBN 3-89675-063-1
- 64 Mischverbindungen - Einsatz und Innovationspotenzial  
143 Seiten - ISBN 3-89675-064-X
- 65 Fabrikplanung 2003 - Basis für Wachstum - Erfahrungen Werkzeuge Visionen  
136 Seiten - ISBN 3-89675-065-8
- 66 Mit Rapid Technologien zum Aufschwung - Neue Rapid Technologien und Verfahren, Neue Qualitäten, Neue Möglichkeiten, Neue Anwendungsfelder  
185 Seiten - ISBN 3-89675-066-6
- 67 Mechatronische Produktionssysteme - Die Virtuelle Werkzeugmaschine: Mechatronisches Entwicklungsvorgehen, Integrierte Modellbildung, Applikationsfelder  
148 Seiten - ISBN 3-89675-067-4
- 68 Virtuelle Produktion - Nutzenpotenziale im Lebenszyklus der Fabrik  
139 Seiten - ISBN 3-89675-068-2
- 69 Kooperationsmanagement in der Produktion - Visionen und Methoden zur Kooperation - Geschäftsmodelle und Rechtsformen für die Kooperation - Kooperation entlang der Wertschöpfungskette  
134 Seiten - ISBN 3-98675-069-0
- 70 Mechatronik - Strukturndynamik von Werkzeugmaschinen  
161 Seiten - ISBN 3-89675-070-4
- 71 Klebtechnik - Zerstörungsfreie Qualitätssicherung beim fl xibel automatisierten Kleben und Dichten  
ISBN 3-89675-071-2 - vergriffen
- 72 Fabrikplanung 2004 Erfolgsfaktor im Wettbewerb - Erfahrungen - Werkzeuge - Visionen  
ISBN 3-89675-072-0 - vergriffen
- 73 Rapid Manufacturing Vom Prototyp zur Produktion - Erwartungen - Erfahrungen - Entwicklungen  
179 Seiten - ISBN 3-89675-073-9
- 74 Virtuelle Produktionssystemplanung - Virtuelle Inbetriebnahme und Digitale Fabrik  
133 Seiten - ISBN 3-89675-074-7
- 75 Nicht erschienen - wird nicht erscheinen
- 76 Berührungslose Handhabung - Vom Wafer zur Glaslinse, von der Kapsel zur aseptischen Ampulle  
95 Seiten - ISBN 3-89675-076-3
- 77 ERP-Systeme - Einführung in die betriebliche Praxis - Erfahrungen, Best Practices, Visionen  
153 Seiten - ISBN 3-89675-077-7
- 78 Mechatronik - Trends in der interdisziplinären Entwicklung von Werkzeugmaschinen  
155 Seiten - ISBN 3-89675-078-X
- 79 Produktionsmanagement  
267 Seiten - ISBN 3-89675-079-8
- 80 Rapid Manufacturing - Fertigungsverfahren für alle Ansprüche  
154 Seiten - ISBN 3-89675-080-1
- 81 Rapid Manufacturing - Heutige Trends - Zukünftige Anwendungsfelder  
172 Seiten - ISBN 3-89675-081-X
- 82 Produktionsmanagement - Herausforderung Variantenmanagement  
100 Seiten - ISBN 3-89675-082-8
- 83 Mechatronik - Optimierungspotenzial der Werkzeugmaschine nutzen  
160 Seiten - ISBN 3-89675-083-6
- 84 Virtuelle Inbetriebnahme - Von der Kür zur Pfl ic t ?  
104 Seiten - ISBN 978-3-89675-084-6
- 85 3D-Erfahrungsforum - Innovation im Werkzeug- und Formenbau  
375 Seiten - ISBN 978-3-89675-085-3
- 86 Rapid Manufacturing - Erfolgreich produzieren durch innovative Fertigung  
162 Seiten - ISBN 978-3-89675-086-0
- 87 Produktionsmanagement - Schlang im Mittelstand  
102 Seiten - ISBN 978-3-89675-087-7
- 88 Mechatronik - Vorsprung durch Simulation  
134 Seiten - ISBN 978-3-89675-088-4
- 89 RFID in der Produktion - Wertschöpfung effiz i t gestalten  
122 Seiten - ISBN 978-3-89675-089-1
- 90 Rapid Manufacturing und Digitale Fabrik - Durch Innovation schnell und fl xibel am Markt  
100 Seiten - ISBN 978-3-89675-090-7
- 91 Robotik in der Kleinserienproduktion - Die Zukunft der Automatisierungstechnik  
ISBN 978-3-89675-091-4
- 92 Rapid Manufacturing - Ressourceneffizienz d ch generative Fertigung im Werkzeug- und Formenbau  
ISBN 978-3-89675-092-1
- 93 Handhabungstechnik - Innovative Greiftechnik für komplexe Handhabungsaufgaben  
136 Seiten - ISBN 978-3-89675-093-8
- 94 iwB Seminarreihe 2009 Themengruppe Werkzeugmaschinen  
245 Seiten - ISBN 978-3-89675-094-5
- 95 Zuführtechnik - Herausforderung der automatisierten Montage!  
111 Seiten - ISBN 978-3-89675-095-2
- 96 Risikobewertung bei Entscheidungen im Produktionsumfeld - Seminar »Risiko und Chance«  
151 Seiten - ISBN 978-3-89675-096-9
- 97 Seminar Rapid Manufacturing 2010 - Innovative Einsatzmöglichkeiten durch neue Werkstoffe bei Schichtbauverfahren  
180 Seiten - ISBN 978-3-89675-097-6

- 98 Handhabungstechnik · Der Schlüssel für eine automatisierte Herstellung von Composite-Bauteilen  
260 Seiten · ISBN 978-3-89675-098-3
- 99 Abschlussveranstaltung SimuSint 2010 · Modulares Simulationssystem für das Strahlenschmelzen  
270 Seiten · ISBN 978-3-89675-099-0
- 100 Additive Fertigung: Innovative Lösungen zur Steigerung der Bauteilqualität bei additiven Fertigungsverfahren  
200 Seiten · ISBN 978-3-8316-4114-7
- 101 Mechatronische Simulation in der industriellen Anwendung  
91 Seiten · ISBN 978-3-8316-4149-9
- 102 Wissensmanagement in produzierenden Unternehmen  
ISBN 978-3-8316-4169-7
- 103 Additive Fertigung: Bauteil- und Prozessauslegung für die wirtschaftliche Fertigung  
ISBN 978-3-8316-4188-8
- 104 Ressourceneffizienz in der ebensmittelkette  
ISBN 978-3-8316-4192-5
- 105 Werkzeugmaschinen: Leichter schwer zerspanen! · Herausforderungen und Lösungen für die Zerspanung von Hochleistungswerkstoffen  
120 Seiten · ISBN 978-3-8316-4217-5
- 106 Batterieproduktion – Vom Rohstoff bis zum Hochvoltspeicher  
108 Seiten · ISBN 978-3-8316-4221-2
- 107 Batterieproduktion – Vom Rohstoff bis zum Hochvoltspeicher  
150 Seiten · ISBN 978-3-8316-4249-6

## Forschungsberichte IWB

herausgegeben von Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart und Prof. Dr.-Ing. Michael Zäh,  
Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften der Technischen Universität München

Band 1–121, herausgegeben von Prof. Dr.-Ing. J. Milberg und Prof. Dr.-Ing. G. Reinhart, sind im Springer Verlag,  
Berlin, Heidelberg erschienen

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 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 Offlin-Programmierung von Industrierobotern  
168 Seiten · ISBN 978-3-89675-615-2
- 128 *Ralf 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 Heitmann*: Sichere Prognosen für die Produktionsptimierung mittels stochastischer Modelle  
146 Seiten · ISBN 978-3-89675-675-6
- 134 *Stefan Blessing*: Gestaltung der Materialflüßs euerung in dynamischen Produktionsstrukturen  
160 Seiten · ISBN 978-3-89675-690-9
- 135 *Can Abay*: Numerische Optimierung multivariater mehrstufiger Prozesse am Beispiel der Hartbearbeitung von Industriekeramik  
159 Seiten · ISBN 978-3-89675-697-8
- 136 *Stefan Brandner*: Integriertes Produktdaten- und Prozeßmanagement in virtuellen Fabriken  
172 Seiten · ISBN 978-3-89675-715-9
- 137 *Arnd G. Hirschberg*: Verbindung der Produkt- und Funktionsorientierung in der Fertigung  
165 Seiten · ISBN 978-3-89675-729-6
- 138 *Alexandra Reek*: Strategien zur Fokuspositionierung beim Laserstrahlschweißen  
193 Seiten · ISBN 978-3-89675-730-2
- 139 *Khalid-Alexander Sabbah*: Methodische Entwicklung störungstoleranter Steuerungen  
148 Seiten · ISBN 978-3-89675-739-5
- 140 *Klaus U. Schiffenbacher*: Konfiguration virtueller Wertschöpfungsketten in dynamischen, heterarchischen Kompetenznetzwerken  
187 Seiten · ISBN 978-3-89675-754-8
- 141 *Andreas Sprenzel*: Integrierte Kostenkalkulationsverfahren für die Werkzeugmaschinenentwicklung  
144 Seiten · ISBN 978-3-89675-757-9



- 142 **Andreas Gallasch:** Informationstechnische Architektur zur Unterstützung des Wandels in der Produktion  
150 Seiten - ISBN 978-3-89675-781-4
- 143 **Ralf Cuiper:** Durchgängige rechnergestützte Planung und Steuerung von automatisierten Montagevorgängen  
174 Seiten - ISBN 978-3-89675-783-8
- 144 **Christian Schneider:** Strukturmechanische Berechnungen in der Werkzeugmaschinenkonstruktion  
180 Seiten - ISBN 978-3-89675-789-0
- 145 **Christian Jonas:** Konzept einer durchgängigen, rechnergestützten Planung von Montageanlagen  
183 Seiten - ISBN 978-3-89675-870-5
- 146 **Ulrich Willnecker:** Gestaltung und Planung leistungsorientierter manueller Fließmontagen  
194 Seiten - ISBN 978-3-89675-891-0
- 147 **Christof Lehmer:** 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 Teilbereitstellung  
136 Seiten - ISBN 978-3-8316-0028-1
- 154 **Wolfgang Rudorfer:** Eine Methode zur Qualifizierung von produzierenden Unternehmen für Kompetenznetzwerke  
207 Seiten - ISBN 978-3-8316-0037-3
- 155 **Hans Meier:** Verteilte kooperative Steuerung maschinennaher Abläufe  
166 Seiten - ISBN 978-3-8316-0044-1
- 156 **Gerhard Nowak:** Informationstechnische Integration des industriellen Service in das Unternehmen  
208 Seiten - ISBN 978-3-8316-0055-7
- 157 **Martin Werner:** Simulationsgestützte Reorganisation von Produktions- und Logistikprozessen  
191 Seiten - ISBN 978-3-8316-0058-8
- 158 **Bernhard Lenz:** Finite Elemente-Modellierung des Laserstrahlschweißens für den Einsatz in der Fertigungsplanung  
162 Seiten - ISBN 978-3-8316-0094-6
- 159 **Stefan Grunwald:** Methode zur Anwendung der flexiblen integrierten Produktentwicklung und Montageplanung  
216 Seiten - ISBN 978-3-8316-0095-3
- 160 **Josef Gartner:** Qualitätssicherung bei der automatisierten Applikation hochviskoser Dichtungen  
165 Seiten - ISBN 978-3-8316-0096-0
- 161 **Wolfgang Zeller:** Gesamtheitliches Sicherheitskonzept für die Antriebs- und Steuerungstechnik bei Werkzeugmaschinen  
192 Seiten - ISBN 978-3-8316-0100-4
- 162 **Michael Loferer:** Rechnergestützte Gestaltung von Montagesystemen  
178 Seiten - ISBN 978-3-8316-0118-9
- 163 **Jörg Lahrs:** 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 Roggeder:** System zur effizienten Layout- und Prozessplanung von hybriden Montageanlagen  
175 Seiten - ISBN 978-3-8316-0154-7
- 169 **Robert Klingel:** Anziehverfahren für hochfeste Schraubverbindungen 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 978-3-8316-0208-7
- 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 telepräzenter 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 Breitingner:** 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 **Jochim 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 absolute Genauigkeit von Industrierobotern  
170 Seiten - ISBN 978-3-8316-0332-9

- 185 **Tim Angerer:** Effizienz eigerung in der automatisierten Montage durch aktive Nutzung mechatronischer Produktkomponenten  
180 Seiten - ISBN 978-3-8316-0336-7
- 186 **Alexander Krüger:** Planung und Kapazitätsabstimmung stückzahlfl xibler 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 Klebstoffau trag durch den Einsatz optischer Konturfolgssysteme  
182 Seiten - ISBN 978-3-8316-0471-5
- 190 **Christian Patran:** 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 Rekonfigu ationsprozessen in Produktionssystemen  
200 Seiten - ISBN 978-3-8316-0475-3
- 192 **Florian Auer:** Methode zur Simulation des Laserstrahlsschweißens 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 chweißen mit Hochleistungsdiodenlasern  
148 Seiten - ISBN 978-3-8316-0611-5
- 198 **Bernd Hartmann:** Die Bestimmung des Personalbedarfs für den Materialfluss in bhängigkeit von Produktionsfläche und -meng  
208 Seiten - ISBN 978-3-8316-0615-3
- 199 **Michael Schlip:** 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 effizii ten Bereitstellung von Steuerungsfunktionalität für die NC-Simulation  
192 Seiten - ISBN 978-3-8316-0668-9
- 203 **Sven Roeren:** Komplexitätsvariable Einflussg ößen 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-Griech:** Overcoming the Network Problem in Telepresence Systems with Prediction and Inertia  
150 Seiten - ISBN 978-3-8316-0701-3
- 206 **Michael Ehrenstraßer:** Sensoreinsatz in der telepräsenten Mikromontage  
180 Seiten - ISBN 978-3-8316-0743-3
- 207 **Rainer Schack:** Methodik zur bewertungsorientierten Skalierung der Digitalen Fabrik  
260 Seiten - ISBN 978-3-8316-0748-8
- 208 **Wolfgang Sudhoff:** Methodik zur Bewertung standortübergreifender Mobilität in der Produktion  
300 Seiten - ISBN 978-3-8316-0749-5
- 209 **Stefan Müller:** Methodik für die entwicklungs- und planungsbegleitende Generierung und Bewertung von Produktionsalternativen  
260 Seiten - ISBN 978-3-8316-0750-1
- 210 **Ulrich Kohler:** Methodik zur kontinuierlichen und kostenorientierten Planung produktionstechnischer Systeme  
246 Seiten - ISBN 978-3-8316-0753-2
- 211 **Klaus Schlickentrieder:** Methodik zur Prozessoptimierung beim automatisierten elastischen Kleben großflächiger auteile  
204 Seiten - ISBN 978-3-8316-0776-1
- 212 **Niklas Möller:** Bestimmung der Wirtschaftlichkeit wandlungsfähiger Produktionssysteme  
260 Seiten - ISBN 978-3-8316-0778-5
- 213 **Daniel Siedl:** Simulation des dynamischen Verhaltens von Werkzeugmaschinen während Verfahrenbewegungen  
226 Seiten - ISBN 978-3-8316-0779-2
- 214 **Dirk Ansoerg:** Auftragsabwicklung in heterogenen Produktionsstrukturen mit spezifischen Planungsf eiräumen  
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 Oerth:** Strukturmehranalyse 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 **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:** Laserstrahlbigen 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 Elektronenstrahlinterns  
200 Seiten - ISBN 978-3-8316-0841-6
- 224 **Mark Harfensteller:** Eine Methodik zur Entwicklung und Herstellung von Radiumtargets  
198 Seiten - ISBN 978-3-8316-0849-2
- 225 **Jochen Werner:** Methode zur roboterbasierten förderbandsynchronen Fließmontage am Beispiel der Automobilindustrie  
210 Seiten - ISBN 978-3-8316-0857-7
- 226 **Florian Hagemann:** Ein formfl xibles 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 überbetrieblichen Wertschöpfungsketten  
204 Seiten - ISBN 978-3-8316-0891-1
- 233 **Michael Spitzweg:** Methode und Konzept für den Einsatz eines physikalischen Modells in der Entwicklung von Produktionsanlagen  
180 Seiten - ISBN 978-3-8316-0931-4
- 234 **Ulrich Munzert:** Bahnplanungsalgorithmen für das robotergestützte Remote-Laserstrahlschweißen  
176 Seiten - ISBN 978-3-8316-0948-2
- 235 **Georg Völlner:** Rührreibschweißen mit Schwerlast-Industrierobotern  
232 Seiten - ISBN 978-3-8316-0955-0
- 236 **Nils Müller:** Modell für die Beherrschung und Reduktion von Nachfrageschwankungen  
286 Seiten - ISBN 978-3-8316-0992-5
- 237 **Franz Decker:** Unternehmensspezifische Strukturierung der Produktion als permanente Aufgabe  
180 Seiten - ISBN 978-3-8316-0996-3
- 238 **Christian Lau:** Methodik für eine selbstoptimierende Produktionssteuerung  
204 Seiten - ISBN 978-3-8316-4012-6
- 239 **Sharif Rimpau:** Wissensbasierte Risikobewertung in der Angebotskalkulation für hochgradig individualisierte Produkte  
268 Seiten - ISBN 978-3-8316-4015-7
- 240 **Michael Loy:** Modulare Vibrationswendelförderer zur flexiblen Teilezuführung  
190 Seiten - ISBN 978-3-8316-4027-0
- 241 **Andreas Eursch:** Konzept eines immersiven Assistenzsystems mit Augmented Reality zur Unterstützung manueller Aktivitäten in radioaktiven Produktionsumgebungen  
226 Seiten - ISBN 978-3-8316-4029-4
- 242 **Florian Schwarz:** Simulation der Wechselwirkungen zwischen Prozess und Struktur bei der Drehbearbeitung  
282 Seiten - ISBN 978-3-8316-4030-0
- 243 **Martin Georg Prasch:** Integration leistungsgewandelter Mitarbeiter in die variantenreiche Serienmontage  
261 Seiten - ISBN 978-3-8316-4033-1
- 244 **Johannes Schlip:** 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  
230 Seiten - ISBN 978-3-8316-4128-4
- 253 **Paul Gebhard:** Dynamisches Verhalten von Werkzeugmaschinen bei Anwendung für das Rührreibschweißen  
220 Seiten - ISBN 978-3-8316-4129-1
- 254 **Michael Heinz:** Modellunterstützte Auslegung berührungsloser Ultraschallgreifsysteme für die Mikrosystemtechnik  
302 Seiten - ISBN 978-3-8316-4147-5
- 255 **Pascal Krebs:** Bewertung vernetzter Produktionsstandorte unter Berücksichtigung multidimensionaler Unsicherheiten  
244 Seiten - ISBN 978-3-8316-4156-7
- 256 **Gerhard Straßer:** Greiftechnologie für die automatisierte Handhabung von technischen Textilien in der Faserverbundfertigung  
290 Seiten - ISBN 978-3-8316-4161-1
- 257 **Frédéric-Felix Lacour:** Modellbildung für die physikbasierte Virtuelle Inbetriebnahme materialfluss intensiver 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 **Sharif Zaidan:** A Work-Piece Based Approach for Programming Cooperating Industrial Robots  
212 Seiten - ISBN 978-3-8316-4175-8
- 260 **Hendrik Schellmann:** Bewertung kundenspezifischer Mengenvariabilität im Wertschöpfungsnetz  
224 Seiten - ISBN 978-3-8316-4189-5
- 261 **Marwan Radi:** Workspace scaling and haptic feedback for industrial telepresence and teleaction systems with heavy-duty teleoperators  
172 Seiten - ISBN 978-3-8316-4195-6
- 262 **Markus Ruhstorfer:** Rührreibschweißen von Rohren  
206 Seiten - ISBN 978-3-8316-4197-0
- 263 **Rüdiger Daub:** Erhöhung der Nahttiefe beim Laserstrahl-Wärmeleitungsschweißen von Stählen  
182 Seiten - ISBN 978-3-8316-4199-4
- 264 **Michael Ott:** Multimaterialverarbeitung bei der additiven strahl- und pulverbettbasierten Fertigung  
220 Seiten - ISBN 978-3-8316-4201-4
- 265 **Martin Ostgathe:** System zur produktbasierten Steuerung von Abläufen in der auftragsbezogenen Fertigung und Montage  
278 Seiten - ISBN 978-3-8316-4206-9
- 266 **Imke Nora Kellner:** Materialsysteme für das pulverbettbasierte 3D-Drucken  
208 Seiten - ISBN 978-3-8316-4223-6
- 267 **Florian Oefele:** Remote-Laserstrahlschweißen mit brillanten Laserstrahlquellen  
238 Seiten - ISBN 978-3-8316-4224-3
- 268 **Claudia Anna Ehinger:** Automatisierte Montage von Faserverbund-Vorformlingen  
252 Seiten - ISBN 978-3-8316-4233-5

- 269 **Tobias Zeilinger:** Laserbasierte Bauteillagebestimmung bei der Montage optischer Mikrokomponenten  
220 Seiten - ISBN 978-3-8316-4234-2
- 270 **Stefan Krug:** Automatische Konfiguration von Robotersystemen (Plug&Produce)  
208 Seiten - ISBN 978-3-8316-4243-4
- 271 **Marc Lotz:** Erhöhung der Fertigungsgenauigkeit beim Schweißnahtschweißen durch modellbasierte Regelungsverfahren  
220 Seiten - ISBN 978-3-8316-4245-8
- 272 **William Brice Tekouo Moutchiho:** A New Programming Approach for Robot-based Flexible Inspection systems  
232 Seiten - ISBN 978-3-8316-4247-2
- 273 **Matthias Waibel:** Aktive Zusatzsysteme zur Schwingungsreduktion an Werkzeugmaschinen  
158 Seiten - ISBN 978-3-8316-4250-2
- 274 **Christian Eschey:** Maschinenspezifische Erhöhung der Prozessfähigkeit in der additiven Fertigung  
216 Seiten - ISBN 978-3-8316-4270-0
- 275 **Florian Aull:** Modell zur Ableitung effizienter Implementierungsstrategien für Lean-Production-Methoden  
270 Seiten - ISBN 978-3-8316-4283-0
- 276 **Marcus Hennauer:** Entwicklungsbegleitende Prognose der mechatronischen Eigenschaften von Werkzeugmaschinen  
214 Seiten - ISBN 978-3-8316-4306-6
- 277 **Alexander Götzfried:** Analyse und Vergleich fertigungstechnischer Prozessketten für Flugzeugtriebwerks-Rotoren  
220 Seiten - ISBN 978-3-8316-4310-3
- 278 **Saskia Reinhardt:** Bewertung der Ressourceneffizienz in der Fertigung  
232 Seiten - ISBN 978-3-8316-4317-2
- 279 **Fabian J. Meling:** Methodik für die Rekombination von Anlagentechnik  
192 Seiten - ISBN 978-3-8316-4319-6
- 280 **Jörg Egbers:** Identifikation und Adaption von Arbeitsplätzen für leistungsgewandelte Mitarbeiter entlang des Montageplanungsprozesses  
192 Seiten - ISBN 978-3-8316-4328-8
- 281 **Max von Bredow:** Methode zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit und des Risikos unternehmensübergreifender Wertschöpfungskonfigurationen in der Automobilindustrie  
204 Seiten - ISBN 978-3-8316-4337-0
- 282 **Tobias Philipp:** RFID-gestützte Produktionssteuerungsverfahren für die Herstellung von Bauteilen aus Faserverbundkunststoffen  
142 Seiten - ISBN 978-3-8316-4346-2
- 283 **Stefan Rainer Johann Braunreuther:** Untersuchungen zur Lasersicherheit für Materialbearbeitungsanwendungen mit brillanten Laserstrahlquellen  
232 Seiten - ISBN 978-3-8316-4348-6
- 284 **Johannes Pohl:** Adaption von Produktionsstrukturen unter Berücksichtigung von Lebenszyklen  
202 Seiten - ISBN 978-3-8316-4358-5
- 285 **Mathey Wiesbeck:** Struktur zur Repräsentation von Montagesequenzen für die situationsorientierte Werkerführung  
194 Seiten - ISBN 978-3-8316-4369-1
- 286 **Sonja Huber:** In-situ-Legierungsbestimmung beim Laserstrahlschweißen  
206 Seiten - ISBN 978-3-8316-4370-7
- 287 **Robert Wiedenmann:** Prozessmodell und Systemtechnik für das lasterunterstützte 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 spannenden Werkzeugmaschinen  
198 Seiten - ISBN 978-3-8316-4408-7