

Stefan Rainer Johann Braunreuther

**Untersuchungen zur Lasersicherheit für
Materialbearbeitungsanwendungen mit
brillanten Laserstrahlquellen**



Herbert Utz Verlag · München

Forschungsberichte IWB

Band 283

Zugl.: Diss., München, Techn. Univ., 2013

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek: Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.
Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere
die der Übersetzung, des Nachdrucks, der
Entnahme von Abbildungen, der Wiedergabe
auf fotomechanischem oder ähnlichem Wege
und der Speicherung in Datenverarbeitungs-
anlagen bleiben – auch bei nur auszugsweiser
Verwendung – vorbehalten.

Copyright © Herbert Utz Verlag GmbH · 2014

ISBN 978-3-8316-4348-6

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

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Abkürzungsverzeichnis	VII
Griechische Buchstaben	XI
Lateinische Buchstaben	XIII
1 Einleitung	1
1.1 Ausgangssituation und Motivation	1
1.2 Ziel der Arbeit	4
1.3 Aufbau der Arbeit und Vorgehensweise	4
2 Grundlagen	7
2.1 Laserstrahlung	7
2.1.1 Erzeugung	7
2.1.2 Eigenschaften und Propagation	8
2.1.3 Strahl-Stoff-Wechselwirkung	9
2.2 Laser-Materialbearbeitung	16
2.2.1 Wärmeleitungsschweißen	16
2.2.2 Tiefschweißschwelle	17
2.2.3 Tiefschweißen	19
2.2.4 Abtragen	20
2.3 Biologische Wirkung von Laserstrahlung	20
2.4 Rechtsnormen	22
2.4.1 Allgemeines	22
2.4.2 EG-Richtlinien	23
2.4.3 Nationales Recht	23
2.4.4 Berufsgenossenschaftliche Vorschriften	23
2.4.5 Normen	24
2.5 Risiko und Risikoakzeptanz	25
2.6 Risikobeurteilung	29

2.6.1	Methode der Risikobeurteilung	29
2.6.2	Grenzenbestimmung	30
2.6.3	Gefährdungsidentifikation	30
2.6.4	Risikoeinschätzung	31
2.6.5	Risikobewertung	32
2.6.6	Risikominderung	32
2.7	Stand der Forschung und Technik	34
2.7.1	Allgemeines	34
2.7.2	Technische Laserschutzmaßnahmen	35
2.7.3	Organisatorische Laserschutzmaßnahmen	41
2.7.4	Persönliche Laserschutzmaßnahmen	41
2.7.5	Laserstrahlungswirkung und -quantifizierung	42
2.8	Defizitanalyse und Handlungsbedarf	44
3	Lösungsansatz	47
3.1	Zentrales aktives Lasersicherheitskonzept	47
3.2	Wirtschaftliche Betrachtung	47
3.3	Ableitung von Betrachtungsbereichen	50
4	Charakterisierung der Streustrahlung bei Laserstrahl-Schweißprozessen	53
4.1	Zweck	53
4.2	Vorgehensweise	53
4.3	Modellbildung der Propagation von Reflexionen	54
4.3.1	Allgemeines	54
4.3.2	Beschreibung des einfallenden Laserstrahls	54
4.3.3	Leistungsverhältnisse im Brennfleck	56
4.3.4	Auswirkungen von Prozesszonengeometrien auf Reflexionen	56
4.3.5	Leistungsverhältnisse in den reflektierten Anteilen	57
4.3.6	Intensitätsverhältnisse der Reflexionen in Polarkoordinaten	58

4.3.7	Gesamtmodell zur Propagation der Streustrahlung	61
4.4	Experimentelle Untersuchung und Messung	61
4.4.1	Versuchsaufbau	61
4.4.2	Messtechnik	63
4.5	Messdaten	67
4.6	Vergleich und Bewertung	70
4.6.1	Bestimmung der Parameter	70
4.6.2	Validierung	72
4.7	Fazit	75
5	Auslegungsmethode für Hohlkammer-Schutzwände	77
5.1	Zweck	77
5.2	Vorgehensweise	77
5.3	Schutzwandbelastung durch Laserstrahlung	78
5.3.1	Strahl-Stoff-Wechselwirkung an der Schutzwand	78
5.3.2	Laserstrahlungs-Intensitätsprofil an der Schutzwand	81
5.3.3	Energieeintrag	81
5.3.4	Erwärmung	83
5.3.5	Wärmeleitung	83
5.3.6	Thermische Strahlung	83
5.3.7	Schmelzen und Verdampfen	84
5.3.8	Konvektion	84
5.3.9	Durchbrandausbildung	84
5.4	Gesamtmodell zur Schutzzeitberechnung	90
5.5	Einflüsse auf die Berechnungsergebnisse	94
5.6	Validierung der Auslegungsmethode	95
5.6.1	Experimentelle Untersuchung und empirisches Modell	95
5.6.2	Berechnung	105
5.6.3	Vergleich und Beurteilung	109

5.7	Betrachtung anderer Strahlformen	112
5.8	Fazit	114
6	Zentrales aktives Sensorkonzept	115
6.1	Zweck	115
6.2	Funktionsprinzip	115
6.3	Soll-Ist-Überprüfung	116
6.3.1	Sensorprinzip	116
6.3.2	Bildauswertung	120
6.3.3	Soll-Pixelkoordinaten	122
6.3.4	Flexibilität zur Laufzeit	124
6.3.5	Überwachung der Führungskinematik	125
6.3.6	Auswertelogik	126
6.3.7	Kalibrierung	127
6.4	Funktionsprototyp und Funktionsnachweis des Sensorkonzepts	127
6.5	Sicherheitsgerichtete Auslegung	131
6.5.1	Allgemeines	131
6.5.2	Sicherheitsmaßnahmen	132
6.5.3	Sicherheitstechnische Kennzahlen	135
6.5.4	Angestrebte Sicherheitskategorie	138
6.5.5	Bewertung des Systems	139
6.6	Fazit	141
7	Zusammenfassung	143
8	Verzeichnis betreuter Studienarbeiten	145
9	Literaturverzeichnis	147
10	Firmen-, Einrichtungs- und Institutsverzeichnis	169
Anhang		173
A1	Gemessene Schutzzeiten	173
A2	Intensitäts-Mittelwertkarten	177
A3	Intensitäts-Standardabweichungskarten	183

A4	Kalorimetermesswerte	189
A5	Prozesszonengeometrien	192

1 Einleitung

1.1 Ausgangssituation und Motivation

Die wirtschaftliche Fertigung qualitativ hochwertiger Produkte erfordert leistungsfähige Bearbeitungstechnologien (BRECHER ET AL. 2009). Laseranlagen bzw. Lasерprozesse zur Materialbearbeitung werden aufgrund ihrer hervorragenden Eigenchaften, wie einer hohen Prozessgeschwindigkeit und einer präzisen Energieeinbringung, verstärkt in der industriellen Massenfertigung eingesetzt. Der technologische Fortschritt in der Laserfertigungstechnologie zeichnet sich sowohl durch stetig höhere Laserleistungen als auch durch verbesserte Strahlqualitäten aus (THIEME 2008, KESSLER 2009). Ihre Kombination wird mit der *Brillanz* ausgedrückt. Die heute bereits verfügbaren brillanten Strahlquellen ermöglichen große Arbeitsabstände und somit die Übertragung hoher Laserstrahlungsintensitäten über weite Entfernung im Freistrahl. Bei einer maximalen Laserleistung von derzeit bis zu 30 kW und bei gleichzeitiger Fokussierung der Laserstrahlung auf einige zehn bis wenige Hundert Mikrometer sind Arbeitsabstände im Bereich mehrerer Meter möglich (vgl. Abbildung 1).

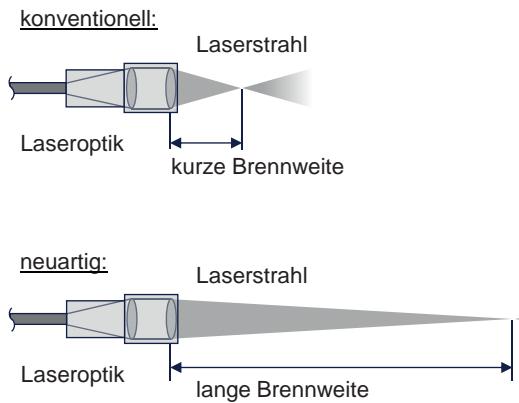


Abbildung 1: Gesteigerte Bearbeitungsreichweite durch lange Brennweiten bei brillanten Lasersystemen

Die typischen Wellenlängen der modernen Laserstrahlquellen liegen im Nahinfra-rot-Bereich. Aus diesem Grund kann ihre Laserstrahlung sehr gut mittels Lichtleit-kabeln (LLK) über weite Entfernnungen und sehr flexibel geleitet werden. Durch die Verfügbarkeit von Laserstrahlquellen mit diesen Eigenschaften lassen sich hochfle-xible Strahlpositionierungssysteme aufbauen. (THIEME 2008, ZÄH ET AL. 2008, BRAUNREUTHER 2009, ZÄH ET AL. 2009A, ZÄH ET AL. 2009B, ZÄH & BRAUNREU-THER 2010A)

Ihren Einsatzort finden die über eine Distanz operierenden, sogenannten Remote-Laser-Materialbearbeitungsanlagen zumeist in der Verarbeitung von Metallblechen. Die Spanne reicht von Dünnblechen für die Herstellung von beispielsweise Kon-sumgütern und Automobilen bis hin zu Dickblechen im Schiffs- und im Schienen-fahrzeugbau. Zunehmend Einzug erhält der Laserstrahl ebenfalls als Bearbeitungs-werkzeug in der Luftfahrzeugindustrie. (BRAUNREUTHER ET AL. 2012)

Die neuen Möglichkeiten führen, neben den produktionstechnischen Vorteilen, zu einem erhöhten Gefährdungspotential. Der Laserstrahl kann nahezu jeden Ort innerhalb einer Laseranlage, beispielsweise hervorgerufen durch einen Softwarefehler oder durch eine Fehlbedienung, fokusnah oder sogar fokussiert treffen. Die hohe Strahlungsintensität, welche ursprünglich zur Materialbearbeitung bestimmt war, kann dann eine die Anlage umhausende Schutzwand beschädigen (HEBERER 2009A, ZÄH ET AL. 2009B). Bei konventionellen Systemen, wie beispielsweise bei Flach-bettanlagen oder bei handgeführten Lasersystemen mit eingeschränkten Strahlrich-tungen oder gar ortsfest montierten Optiken, ist dieses Gefährdungspotential nicht in diesem Ausmaß vorhanden. Sicherheitstechnisch sind diese konventionellen Anlagen gut beherrschbar (vgl. Abbildung 2). Mit der steigenden Anzahl an räumi-chen Freiheitsgraden eines Laserstrahls geht meist eine Vergrößerung des Arbeits-abstands einher. Diese Kombination ist, unter den Aspekten der Lasersicherheit, kritisch zu betrachten. *Lasersicherheit* ist in diesem Zusammenhang als die Ver-meidung von laserstrahlungsbezogener Gefährdung von Menschen zu verstehen.

Positionierungsart	Translation		Translation und Rotation
	Optik fest (0 DOF)	Optik fliegend (≤ 3 DOF)	3D-Optik (4 - 6 DOF)
Flexibilität/ Positionierung des Brennflecks	Werkstück bewegt	Werkstück ruhend	Werkstück bewegt
	Werkstück ruhend	Werkstück bewegt	Werkstück ruhend
Gefährdungspotenzial	gering	mittel	hoch
Erläuterung	Brennfleckposition und Laserstrahlorientierung konstant	Brennfleckposition variabel, Laserstrahlorientierung eingeschränkt	flexible Brennfleckposition im Raum

Abbildung 2: Sicherheitstechnische Einordnung verschiedener Applikationsarten von Laserstrahlanlagen (in Anlehnung an STEEN 2003)

Bei der Konzeption von Remote-Laser-Materialbearbeitungsanlagen mit großen Bearbeitungsreichweiten wird die Thematik der Lasersicherheit zu einer Kernfrage. Die wesentliche Lasersicherheitsmaßnahme bei Lasersystemen in der Materialbearbeitung ist, wie in der BGFE (2007) und der Normengruppe DIN EN 60825 ff. vorgeschrieben, eine Umhausung. Sie soll den Anlagenbediener und Dritte vor der Laserstrahlung der Anlage schützen.

Konventionelle Umhausungen sind, vor allem aufgrund der heute möglichen hohen Strahlungsintensitäten auf den Schutzwänden, an der Grenze ihrer Leistungsfähigkeit. Sie halten bei fokussierter Bestrahlung meist gerade noch für wenige Sekunden stand (BRAUNREUTHER 2009, ZÄH ET AL. 2009A). In dieser Zeitspanne muss der Anlagenbediener den Not-Halt der Anlage einleiten, ansonsten tritt die Laserstrahlung aus. Durch die hohe Strahlungsintensität und die Wellenlänge im Nahinfrarot-Bereich ist in einem solchen Fall, in der Regel bis in Abstände von mehreren Kilometern, eine akute Erblindungs- bzw. Verletzungsgefahr gegeben (BGFE 2007, BGETF 2009). Die geforderte Umhausung bietet dann keinen adäquaten Schutz. In Bezug auf einen Fehlerfall mit fokussierter Bestrahlung täuscht sie gar eine nicht vorhandene Sicherheit vor, da der Mensch die Wand nicht passieren, die Strahlung diese Barriere jedoch leicht überwinden kann.

Der eingangs erwähnte Trend der steigenden Laseranlagenanzahlen in der Laser-Materialbearbeitung (THIEME 2008, KESSLER 2009) führt auch zu einer stetig größer werdenden Zahl von gefährdeten Personen. Diese gilt es durch präventive Sicherheitsmaßnahmen zu schützen.

Die immer größer werdenden Arbeitsräume durch die wachsenden Arbeitsabstände ziehen einen überproportionalen Zuwachs der Umhausungsoberfläche nach sich. Hohe Laserstrahlungsintensitäten benötigen große Wandstärken. Daraus ergibt sich ein hoher Materialeinsatz für die Schutzwände. Die folglich resultierenden Kosten bewegen Unternehmen in der Regel dazu, die Sicherheitsvorkehrungen nicht adäquat auszuführen.

Aus diesen Problemstellungen ergibt sich ein Handlungsbedarf, damit moderne Laser-Materialbearbeitungsanlagen mit brillanten Laserstrahlquellen sicher in der industriellen Fertigung eingesetzt werden können.

1.2 Ziel der Arbeit

Das übergeordnete Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, ein technisches Sicherheitskonzept und zugehörige Auslegungsmethoden für die laserstrahlungsspezifische Gefahr brillanter Laserstrahlquellen und zugehöriger Anlagen zur Verfügung zu stellen. Dies bedeutet eine neuartige Technologie auszuarbeiten, damit die gefährbringende Strahlung niemals auf Menschen treffen kann. Eine wesentliche Randbedingung ist dabei die geforderte Wirtschaftlichkeit. Das neue Sicherheitskonzept soll nicht zu Mehrkosten im Vergleich zu konventionellen Lösungen führen. Inwieweit hier neue Technologien, der bereits vorhandene Stand der Technik oder die Kombination dieser untereinander Verwendung finden, muss dem Anwender nach einer entsprechenden Opportunitätsbeurteilung überlassen bleiben. Daher ist ein sekundäres Ziel, die Lasersicherheit auch bei bereits beherrschbaren Systemen zu steigern bzw. zu helfen, sie gezielter herzustellen. Allgemeine, nicht laserstrahlungsspezifische Gefahren, wie beispielsweise die elektrische oder die thermische Einwirkung auf Menschen, werden in dieser Arbeit dagegen nicht berücksichtigt.

1.3 Aufbau der Arbeit und Vorgehensweise

Zum besseren Verständnis des Kerns der Arbeit werden im folgenden Kapitel ausgewählte Grundlagen dargestellt. Es wird zunächst auf das zentrale Element bei der Laserstrahl-Materialbearbeitung, die Laserstrahlung selbst, sowie deren Erzeugung und deren Eigenschaften eingegangen. Die physikalischen Vorgänge beim Auftreffen der Strahlung auf Materie, d. h. die Reflexion, die Transmission, die Absorption und der nachgeschaltete Wärmetransport, sind essentiell. Sie machen eine Materialbearbeitung durch Laserstrahlung erst möglich. Im positiven Fall kann damit ein

Werkstück bearbeitet, beispielsweise geschweißt, werden. Im negativen Fall hingegen erfolgt eine Beschädigung der Anlagenumhausung. Ein Strahlungsdurchbruch kann dabei die Folge sein. Die physikalischen Effekte an der Schutzwand sind dabei dieselben wie auf dem Werkstück. Aus diesen Gründen sind die Laserregime, das Wärmeleitungs- und das Tiefschweißen sowie das Laserstrahlabtragen, näher zu beleuchten. Anschließend wird die biologische Wirkung von Laserstrahlung erläutert. Sie ist der Grund für die Notwendigkeit von Sicherheitstechnik an Laseranlagen. Diese Notwendigkeit ist überdies in Rechtsnormen verankert. Die Wichtigsten, d. h. diejenigen, die die Laserstrahlung betreffen, werden vorgestellt. Die konkrete Ausgestaltung und die Güte der Sicherheitstechnik werden über das akzeptierte Restrisiko bestimmt. Es werden Methoden geschildert, dieses zu bestimmen und daraus wiederum die geforderte Sicherheit zu definieren. Die Rechtsnormen schreiben – nicht nur für Laseranlagen – eine Risikobeurteilung zur systematischen und umfassenden Herstellung der geforderten Sicherheit vor. Da diese im Schadensfall juristisch beurteilt wird, wird das zugehörige normativ definierte Erstellungsschema erläutert. Eine weitere wesentliche Grundlage für die Arbeit stellt der Stand der Technik und der Forschung dar. Die Schwerpunkte liegen hier auf den Möglichkeiten, die Laserstrahlung mittels passiven Opfermaterialien abzuschirmen, durch Sensoren in einer Umhausung einen Fehlerfall zu detektieren und daraufhin die Anlage abzuschalten, wie auch auf medizinischen Aspekten. Bisherige Arbeiten werden diskutiert und das Defizit gegenüber dem Ziel dieser Arbeit herausgestellt.

Im Anschluss an die Grundlagen wird in Kapitel 3 der Handlungsbedarf in Bezug auf die Sicherheit an hochbrillanten Laseranlagen hergeleitet. Es wird ein unter wirtschaftlichen und technischen Gesichtspunkten zu erststellendes, zentrales aktives Lasersicherheitskonzept benötigt. Hierfür sind ein neues Sensorkonzept samt Auslegungsrichtlinien und ein Schutzzeitmodell für die dazu verwendeten passiven Hohlkammerschutzwände nötig. Da von Laserschweißprozessen auch immer intensive Streustrahlung ausgeht, wird auch ein Modell zu deren Charakterisierung und Quantifizierung benötigt.

Die Kapitel 4 bis 6 bilden den Kern der Arbeit. Es werden die drei im Handlungsbedarf genannten Themen bearbeitet. In Kapitel 4 wird das Modell zur Charakterisierung der Propagation von Streustrahlung bei Laserprozessen, in Kapitel 5 die Auslegungsmethode für passive Hohlammer-Schutzwände und in Kapitel 6 das zentrale aktive Sensorkonzept dargestellt.

In Kapitel 7 werden die Erkenntnisse der Arbeit zusammengefasst. Die im Rahmen dieser Arbeit entstandenen und eingeflossenen Studienarbeiten sind in Kapitel 8

1 Einleitung

gelistet, während in Kapitel 9 die verwendete Literatur angegeben ist. Abschließend sind im Anhang der Arbeit die zugrundeliegenden Messergebnisse dokumentiert, soweit dies nicht im Hauptteil geschehen ist.

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 | 25 Rationelle Nutzung der Simulationstechnik - Entwicklungstrends und Praxisbeispiele
152 Seiten · ISBN 3-931327-25-6 |
| 2 Integriertes Produktmodell - Von der Idee zum fertigen Produkt
82 Seiten · ISBN 3-931327-02-7 | 26 Alternative Dichtungssysteme - Konzepte zur Dichtungsmontage und zum Dichtmittelauftrag
110 Seiten · ISBN 3-931327-26-4 |
| 3 Konstruktion von Werkzeugmaschinen - Berechnung, Simulation und Optimierung
110 Seiten · ISBN 3-931327-03-5 | 27 Rapid Prototyping - Mit neuen Technologien schnell vom Entwurf zum Serienprodukt
111 Seiten · ISBN 3-931327-27-2 |
| 4 Simulation - Einsatzmöglichkeiten und Erfahrungsberichte
134 Seiten · ISBN 3-931327-04-3 | 28 Rapid Tooling - Mit neuen Technologien schnell vom Entwurf zum Serienprodukt
154 Seiten · ISBN 3-931327-28-0 |
| 5 Optimierung der Kooperation in der Produktentwicklung
95 Seiten · ISBN 3-931327-05-1 | 29 Installationstechnik an Werkzeugmaschinen - Abschlußseminar
156 Seiten · ISBN 3-931327-29-9 |
| 6 Materialbearbeitung mit Laser - von der Planung zur Anwendung
86 Seiten · ISBN 3-931327-76-0 | 30 Nicht erschienen - wird nicht erscheinen |
| 7 Dynamisches Verhalten von Werkzeugmaschinen
80 Seiten · ISBN 3-931327-77-9 | 31 Engineering Data Management (EDM) - Erfahrungsberichte und Trends
183 Seiten · ISBN 3-931327-31-0 |
| 8 Qualitätsmanagement - der Weg ist das Ziel
130 Seiten · ISBN 3-931327-78-7 | 32 Nicht erschienen - wird nicht erscheinen |
| 9 Installationstechnik an Werkzeugmaschinen - Analysen und Konzepte
120 Seiten · ISBN 3-931327-79-5 | 33 3D-CAD - Mehr als nur eine dritte Dimension
181 Seiten · ISBN 3-931327-33-7 |
| 10 3D-Simulation - Schneller, sicherer und kostengünstiger zum Ziel
90 Seiten · ISBN 3-931327-10-8 | 34 Laser in der Produktion - Technologische Randbedingungen für den wirtschaftlichen Einsatz
102 Seiten · ISBN 3-931327-34-5 |
| 11 Unternehmensorganisation - Schlüssel für eine effiziente Produktion
110 Seiten · ISBN 3-931327-11-6 | 35 Ablaufsimulation - Anlagen effizient und sicher planen und betreiben
129 Seiten · ISBN 3-931327-35-3 |
| 12 Autonome Produktionsysteme
100 Seiten · ISBN 3-931327-12-4 | 36 Moderne Methoden zur Montageplanung - Schlüssel für eine effiziente Produktion
124 Seiten · ISBN 3-931327-36-1 |
| 13 Planung von Montageanlagen
130 Seiten · ISBN 3-931327-13-2 | 37 Wettbewerbsfaktor Verfügbarkeit - Produktivitätsteigerung durch technische und organisatorische Ansätze
95 Seiten · ISBN 3-931327-37-X |
| 14 Nicht erschienen - wird nicht erscheinen | 38 Rapid Prototyping - Effizienter Einsatz von Modellen in der Produktentwicklung
128 Seiten · ISBN 3-931327-38-8 |
| 15 Flexible fluide Kleb/Dichtstoffe - Dosierung und Prozeßgestaltung
80 Seiten · ISBN 3-931327-15-9 | 39 Rapid Tooling - Neue Strategien für den Werkzeug- und Formenbau
130 Seiten · ISBN 3-931327-39-6 |
| 16 Time to Market - Von der Idee zum Produktionsstart
80 Seiten · ISBN 3-931327-16-7 | 40 Erfolgreich kooperieren in der produzierenden Industrie - Flexibler und schneller mit modernen Kooperationen
160 Seiten · ISBN 3-931327-40-X |
| 17 Industrierakamik in Forschung und Praxis - Probleme, Analysen und Lösungen
80 Seiten · ISBN 3-931327-17-5 | 41 Innovative Entwicklung von Produktionsmaschinen
146 Seiten · ISBN 3-89675-041-0 |
| 18 Das Unternehmen im Internet - Chancen für produzierende Unternehmen
165 Seiten · ISBN 3-931327-18-3 | 42 Stückzahlflexible Montagesysteme
139 Seiten · ISBN 3-89675-042-9 |
| 19 Leittechnik und Informationslogistik - mehr Transparenz in der Fertigung
85 Seiten · ISBN 3-931327-19-1 | 43 Produktivität und Verfügbarkeit ...durch Kooperation steigern
120 Seiten · ISBN 3-89675-043-7 |
| 20 Dezentrale Steuerungen in Produktionsanlagen - Plug & Play - Vereinfachung von Entwicklung und Inbetriebnahme
105 Seiten · ISBN 3-931327-20-5 | 44 Automatisierte Mikromontage - Handhaben und Positionieren von Mikrobauteilen
125 Seiten · ISBN 3-89675-044-5 |
| 21 Rapid Prototyping - Rapid Tooling - Schnell zu funktionalen Prototypen
95 Seiten · ISBN 3-931327-21-3 | 45 Produzieren in Netzwerken - Lösungsansätze, Methoden, Praxisbeispiele
173 Seiten · ISBN 3-89675-045-3 |
| 22 Mikrotechnik für die Produktion - Greifbare Produkte und Anwendungspotentiale
95 Seiten · ISBN 3-931327-22-1 | 46 Virtuelle Produktion - Ablaufsimulation
108 Seiten · ISBN 3-89675-046-1 |
| 24 EDM Engineering Data Management
195 Seiten · ISBN 3-931327-24-8 | |

- 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 - Werkstoffauswahl, 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 Produktionsysteme - Genauigkeit gezielt entwickeln
131 Seiten · ISBN 3-89675-060-7
- 61 Nicht erscheinen – 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 Produktionsysteme - Die Virtuelle Werkzeugmaschine: Mechatronisches Entwicklungsvergehen, 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 3-89675-069-0
- 70 Mechatronik - Strukturodynamik von Werkzeugmaschinen
161 Seiten · ISBN 3-89675-070-4
- 71 Klebtechnik - Zerstörungsfreie Qualitätssicherung beim flexibel 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 Pflicht?
104 Seiten · ISBN 978-3-89675-084-6
- 85 3D-Erfahrungsförderung - 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 - Schlanke 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 effizient gestalten
122 Seiten · ISBN 978-3-89675-089-1
- 90 Rapid Manufacturing und Digitale Fabrik - Durch Innovation schnell und flexibel 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 durch 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 Simulationsystem für das Strahlschmelzen
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 Lebensmittelkette
ISBN 978-3-8316-4192-5
- 105 Werkzeugmaschinen: Leichter schwer zerspanen! - Herausforderungen und Lösungen für die Zerspanung von Hochleistungswerkstoffen
210 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, www.utzverlag.de

- 122 *Burghard Schneider*: Prozesskettenorientierte Bereitstellung nicht formstabiler Bauteile
183 Seiten · ISBN 978-3-89675-559-9
- 123 *Bernd Goldstein*: Modellgestützte Geschäftsprozeßgestaltung in der Produktentwicklung
170 Seiten · ISBN 978-3-89675-546-9
- 124 *Helmut E. Mößner*: Methode zur simulationsbasierten Regelung zeitvarianter Produktionsysteme
164 Seiten · ISBN 978-3-89675-585-8
- 125 *Ralf-Gunter Gräser*: Ein Verfahren zur Kompensation temperaturinduzierter Verformungen an Industrierobotern
167 Seiten · ISBN 978-3-89675-603-9
- 126 *Hans-Jürgen Trossin*: Nutzung der Ähnlichkeitstheorie zur Modellbildung in der Produktionstechnik
162 Seiten · ISBN 978-3-89675-614-5
- 127 *Doris Kugelman*: Aufgabenorientierte Offline-Programmierung von Industrierobotern
168 Seiten · ISBN 978-3-89675-615-2
- 128 *Rolf Diesch*: Steigerung der organisatorischen Verfügbarkeit von Fertigungszellen
160 Seiten · ISBN 978-3-89675-618-3
- 129 *Werner E. Lulay*: Hybrid-hierarchische Simulationsmodelle zur 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 Partnerverbünden
152 Seiten · ISBN 978-3-89675-645-9
- 133 *Knut Heitmann*: Sichere Prognosen für die Produktionsoptimierung mittels stochastischer Modelle
146 Seiten · ISBN 978-3-89675-675-6
- 134 *Stefan Blessing*: Gestaltung der Materialflußsteuerung in dynamischen Produktionsstrukturen
160 Seiten · ISBN 978-3-89675-690-9
- 135 *Can Abay*: Numerische Optimierung multivariater mehrstufiger Prozesse am Beispiel der Hartbearbeitung von Industrierakemik
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 Laserstrahl schweißen
193 Seiten · ISBN 978-3-89675-730-2
- 139 *Khalid-Alexander Sabah*: Methodische Entwicklung störungstoleranter Steuerungen
148 Seiten · ISBN 978-3-89675-739-5
- 140 *Klaus U. Schliffenbacher*: 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 978-3-89675-789-8
- 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-Laserstrahlenschweißprozesses von Magnesiumumdruckguss
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 Bügel*: Prozessanalyse an spanenden Werkzeugmaschinen mit digital geregelter 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 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 Laserstrahlenschweißens für den Einsatz in der Fertigungsplanung
162 Seiten · ISBN 978-3-8316-0094-6
- 159 *Stefan Grunwald*: Methode zur Anwendung der flexiblen integrierten Produktentwicklung und Montageplanung
216 Seiten · ISBN 978-3-8316-0095-3
- 160 *Josef Gartner*: Qualitätssicherung bei der automatisierten Applikation hochviskoser Dichtungen
165 Seiten · ISBN 978-3-8316-0096-0
- 161 *Wolfgang Zeller*: Gesamtheitliches Sicherheitskonzept für die Antriebs- und Steuerungstechnik bei Werkzeugmaschinen
192 Seiten · ISBN 978-3-8316-0100-4
- 162 *Michael Loferer*: Rechnergestützte Gestaltung von Montagesystemen
178 Seiten · ISBN 978-3-8316-0118-9
- 163 *Jörg Fährer*: Ganzheitliche Optimierung des indirekten Metall-Lasersinterprozesses
176 Seiten · ISBN 978-3-8316-0124-0
- 164 *Jürgen Höppner*: Verfahren zur berührungslosen Handhabung mittels leistungsfester Schallwandler
144 Seiten · ISBN 978-3-8316-0125-7
- 165 *Hubert Götte*: Entwicklung eines Assistenzrobotersystems für die Knieendoprothetik
258 Seiten · ISBN 978-3-8316-0126-4
- 166 *Martin Weissenberger*: Optimierung der Bewegungsdynamik von Werkzeugmaschinen im rechnergestützten Entwicklungsprozess
210 Seiten · ISBN 978-3-8316-0138-7
- 167 *Dirk Jacob*: Verfahren zur Positionierung unterseitenstrukturierter Bauelemente in der Mikrosystemtechnik
200 Seiten · ISBN 978-3-8316-0142-4
- 168 *Ulrich Roßgodeyer*: System zur effizienten Layout- und Prozessplanung von hybriden Montageanlagen
175 Seiten · ISBN 978-3-8316-0154-7
- 169 *Robert Klingel*: Anziehverfahren für hochfeste Schraubenverbindungen auf Basis akustischer Emissionen
164 Seiten · ISBN 978-3-8316-0174-5
- 170 *Paul 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 telepräsentierer Montagesysteme
158 Seiten · ISBN 978-3-8316-0215-5
- 176 *Wolff Broser*: Methode zur Definition und Bewertung von Anwendungsfeldern für Kompetenznetzwerke
224 Seiten · ISBN 978-3-8316-0217-9
- 177 *Frank Breitinger*: Ein ganzheitliches Konzept zum Einsatz des indirekten Metall-Lasersinterns für das Druckgießen
156 Seiten · ISBN 978-3-8316-0227-8
- 178 *Johann von Pieverling*: Ein Vorgehensmodell zur Auswahl von Konturfertigungsverfahren für das Rapid Tooling
163 Seiten · ISBN 978-3-8316-0230-8
- 179 *Thomas Baudisch*: Simulationsumgebung zur Auslegung der Bewegungsdynamik des mechatronischen Systems Werkzeugmaschine
190 Seiten · ISBN 978-3-8316-0249-0
- 180 *Heinrich Schieferstein*: Experimentelle Analyse des menschlichen Kausystems
132 Seiten · ISBN 978-3-8316-0251-3
- 181 *Joachim Berlk*: Methodik zur strukturierten Auswahl von Auftragsabwicklungsystmen
244 Seiten · ISBN 978-3-8316-0258-2
- 182 *Christian Meierlohr*: Konzept zur rechnergestützten Integration von Produktions- und Gebäudeplanung in der Fabrikgestaltung
181 Seiten · ISBN 978-3-8316-0292-6
- 183 *Volker Weber*: Dynamisches Kostenmanagement in kompetenzorientierten Unternehmensnetzwerken
230 Seiten · ISBN 978-3-8316-0330-5
- 184 *Thomas Bongardt*: Methode zur Kompensation betriebsabhängiger Einflüsse auf die Absolutgenauigkeit von Industrierobotern
170 Seiten · ISBN 978-3-8316-0332-9

- 185 *Tim Angerer*: Effizienzsteigerung in der automatisierten Montage durch aktive Nutzung mechatronischer Produktkomponenten
180 Seiten · ISBN 978-3-8316-0336-7
- 186 *Alexander Krüger*: Planung und Kapazitätsabstimmung stückzahlflexibler Montagesysteme
197 Seiten · ISBN 978-3-8316-0371-8
- 187 *Matthias Meindl*: Beitrag zur Entwicklung generativer Fertigungsverfahren für das Rapid Manufacturing
236 Seiten · ISBN 978-3-8316-0465-4
- 188 *Thomas Fusch*: Betriebsbegleitende Prozessplanung in der Montage mit Hilfe der Virtuellen Produktion am Beispiel der Automobilindustrie
190 Seiten · ISBN 978-3-8316-0467-8
- 189 *Thomas Mosandl*: Qualitätssteigerung bei automatisiertem Klebstoffauftrag durch den Einsatz optischer Konturfolgesysteme
182 Seiten · ISBN 978-3-8316-0471-5
- 190 *Christian Patron*: Konzept für den Einsatz von Augmented Reality in der Montageplanung
150 Seiten · ISBN 978-3-8316-0474-6
- 191 *Robert Cisek*: Planung und Bewertung von Rekonfigurationsprozessen in Produktionsystemen
200 Seiten · ISBN 978-3-8316-0475-3
- 192 *Florian Auer*: Methode zur Simulation des Laserstrahl schweißens unter Berücksichtigung der Ergebnisse vorangegangener Umformsimulationen
160 Seiten · ISBN 978-3-8316-0485-2
- 193 *Carsten Selke*: Entwicklung von Methoden zur automatischen Simulationsmodellgenerierung
137 Seiten · ISBN 978-3-8316-0495-1
- 194 *Markus Seefried*: Simulation des Prozessschrittes der Wärmebehandlung beim Indirekten-Metall-Lasersintern
216 Seiten · ISBN 978-3-8316-0503-3
- 195 *Wolfgang Wagner*: Fabrikplanung für die standortübergreifende Kostensenkung bei marktnaher Produktion
208 Seiten · ISBN 978-3-8316-0586-6
- 196 *Christopher Ulrich*: Erhöhung des Nutzungsgrades von Laserstrahlquellen durch Mehrfach-Anwendungen
192 Seiten · ISBN 978-3-8316-0590-3
- 197 *Johann Härtl*: Prozessgaseinfluss beim Schweißen mit Hochleistungsdiodenlasern
148 Seiten · ISBN 978-3-8316-0611-5
- 198 *Bernd Hartmann*: Die Bestimmung des Personalbedarfs für den Materialfluss in Abhängigkeit von Produktionsfläche und -menge
208 Seiten · ISBN 978-3-8316-0615-3
- 199 *Michael Schilp*: Auslegung und Gestaltung von Werkzeugen zum berührungslosen Greifen kleiner Bauteile in der Mikromontage
180 Seiten · ISBN 978-3-8316-0631-3
- 200 *Florian Manfred Grätz*: Teilautomatische Generierung von Stromlauf- und Fluidplänen für mechatronische Systeme
192 Seiten · ISBN 978-3-8316-0643-6
- 201 *Dieter Einerle*: 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 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 Schlickenrieder*: Methodik zur Prozessoptimierung beim automatisierten elastischen Kleben großflächiger Bauteile
204 Seiten · ISBN 978-3-8316-0776-1
- 212 *Niklas Möller*: Bestimmung der Wirtschaftlichkeit wandlungsfähiger Produktionsysteme
260 Seiten · ISBN 978-3-8316-0778-5
- 213 *Daniel Stiel*: Simulation des dynamischen Verhaltens von Werkzeugmaschinen während Verfahrerbewegungen
226 Seiten · ISBN 978-3-8316-0779-2
- 214 *Dirk Ansorge*: Auftragsabwicklung in heterogenen Produktionsstrukturen mit spezifischen Planungsfreiraumern
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 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 telepräseste 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 Elektronenstrahlintern
200 Seiten · ISBN 978-3-8316-0841-6
- 224 *Mark Harfenseller*: Eine Methodik zur Entwicklung und Herstellung von Radiumtargets
198 Seiten · ISBN 978-3-8316-0849-2
- 225 *Jochen Werner*: Methode zur roboterbasierten förderbandsynchronen Fließmontage am Beispiel der Automobilindustrie
210 Seiten · ISBN 978-3-8316-0857-7
- 226 *Florian Hagemann*: Ein formflexibles Werkzeug für das Rapid Tooling beim Spritzgießen
244 Seiten · ISBN 978-3-8316-0861-4

- 227 *Haitham Rashidy*: Knowledge-based quality control in manufacturing processes with application to the automotive industry
226 Seiten · ISBN 978-3-8316-0862-1
- 228 *Wolfgang Vogl*: Eine interaktive räumliche Benutzerschnittstelle für die Programmierung von Industrierobotern
248 Seiten · ISBN 978-3-8316-0874-4
- 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 978-3-8316-0878-8
- 231 *Patrick Neise*: Managing Quality and Delivery Reliability of Suppliers by Using Incentives and Simulation Models
226 Seiten · ISBN 978-3-8316-0878-2
- 232 *Christian Habicht*: Einsatz und Auslegung zeitfensterbasierter Planungssysteme in überbetrieblichen Wertschöpfungsketten
204 Seiten · ISBN 978-3-8316-0891-1
- 233 *Michael Spitzweg*: 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*: Bahnanpassalgorithmen für das robotergestützte Remote-Laserstrahlschweißen
176 Seiten · ISBN 978-3-8316-0948-2
- 235 *Georg Völlner*: Röhreleinschweißen 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*: Modularer 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 Schipf*: Adaptive Montagesysteme für hybride Mikrosysteme unter Einsatz von Telepräzisenz
192 Seiten · ISBN 978-3-8316-4063-8
- 245 *Stefan Lutzmann*: Beitrag zur Prozessbeherrschung des Elektronenstrahlenschmelzens
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 berührungsloser 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 Presswerkzeugen 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 Röhreleinschweißen
220 Seiten · ISBN 978-3-8316-4129-1
- 254 *Michael Heinz*: Modellunterstützte Auslegung berührungsloser Ultraschallgreifsysteme für die Mikrosystemtechnik
302 Seiten · ISBN 978-3-8316-4147-5
- 255 *Pascal Krebs*: Bewertung vernetzter Produktionsstandorte unter Berücksichtigung multidimensionaler Unsicherheiten
244 Seiten · ISBN 978-3-8316-4156-7
- 256 *Gerhard Straßer*: Greiftechnologie für die automatisierte Handhabung von technischen Textilien in der Faserverbundfertigung
290 Seiten · ISBN 978-3-8316-4161-1
- 257 *Frédéric-Felix Lacour*: Modellbildung für die physikbasierte Virtuelle Inbetriebnahme materialflusintensiver Produktionsanlagen
222 Seiten · ISBN 978-3-8316-4162-8
- 258 *Thomas Hensel*: Modellbasierter Entwicklungsprozess für Automatisierungslösungen
184 Seiten · ISBN 978-3-8316-4167-3
- 259 *Sherif Zaidan*: A Work-Piece Based Approach for Programming Cooperating Industrial Robots
212 Seiten · ISBN 978-3-8316-4175-8
- 260 *Hendrik Schellmann*: Bewertung kundenspezifischer Mengenflexibilität im Wertschöpfungsnetz
224 Seiten · ISBN 978-3-8316-4189-5
- 261 *Marwan 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 *Marcus Ruhstorfer*: Röhreleinschweißen 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-Laserstrahlabschweißen 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 Schwunggrad-Reibschweißen 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 Escher*: Maschinenspezifische Erhöhung der Prozessfähigkeit in der additiven Fertigung
216 Seiten · ISBN 978-3-8316-4270-0
- 275 *Florian Aull*: Modell zur Ableitung effizienter Implementierungsstrategien für Lean-Production-Methoden
270 Seiten · ISBN 978-3-8316-4283-0
- 276 *Marcus 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 leistungsgewandelter 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
208 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
142 Seiten · ISBN 978-3-8316-4348-6