

Sonja Huber

**In-situ-Legierungsbestimmung
beim Laserstrahlschweißen**



Herbert Utz Verlag · München

Forschungsberichte IWB

Band 286

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 978-3-8316-4370-7

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

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Abkürzungsverzeichnis	V
Formelzeichenverzeichnis	IX
Formelzeichen für die wissenschaftliche Arbeit.....	IX
Große lateinische Buchstaben	IX
Kleine lateinische Buchstaben	XIII
Griechische Buchstaben	XVII
Tief- und hochgestellte Zeichen.....	XIX
Formelzeichen für die Bewertung der industriellen Anwendbarkeit.....	XXIII
Große lateinische Buchstaben	XXIII
Kleine lateinische Buchstaben	XXIV
Tiefgestellte Zeichen.....	XXV
1 Einleitung.....	1
1.1 Ausgangssituation und Motivation.....	1
1.1.1 Technologisch innovative Produkte	1
1.1.2 Einfluss des Laserstrahlschweißprozesses auf das Produkt	2
1.1.3 Prozessstabilität im Labor- und im Produktionsbetrieb	4
1.2 Zielsetzung.....	5
1.3 Vorgehensweise zur Verfahrensentwicklung	6
1.3.1 Vergleich der laserinduzierten Plasmaspektroskopie (LIPS) mit dem Laserstrahlschweißen	6
1.3.2 Prinzip der In-situ-Legierungsbestimmung.....	8
1.3.3 Aufbau der Arbeit.....	11

2	Stand der Erkenntnisse	13
2.1	Allgemeines	13
2.2	Stand der Forschung	15
2.2.1	Lasertiefschweißprozess	15
2.2.2	Prozesserfassung und Indikatoren	18
2.3	Stand der Technik	20
2.3.1	Kommerziell erhältliche Systeme	20
2.3.2	Patentrecherche	22
2.4	Defizite bekannter Ansätze und Systeme	24
2.5	Handlungsfelder und Vorgehensweise	25
3	Physikalische Voraussetzungen für die In-situ-Legierungsbestimmung	27
3.1	Allgemeines	27
3.2	Charakteristische Elementlinienstrahlung	28
3.2.1	Prozessstrahlung	28
3.2.2	Metалldampfspektren	30
3.2.3	Anregungsprozess im Metалldampf	46
3.2.4	Charakterisierung des angeregten Metалldampfs	63
3.3	Prozessstrahlungsbereiche beim Lasertiefschweißprozess	64
3.3.1	Prozessstrahlung aus der Metалldampfwolke	64
3.3.2	Strahlungsaktiver Bereich der Dampfkapillare	69
3.4	Zwischenfazit	76
4	Qualifizierung der Metалldampfspektren zur In-situ-Legierungsbestimmung	77
4.1	Allgemeines	77
4.2	Qualitative In-situ-Analyse	77

4.2.1	Identifizierung der Legierungselemente.....	77
4.2.2	Elementlinien zur Gehaltsbestimmung.....	81
4.3	Quantitative In-situ-Analyse.....	85
4.3.1	Berücksichtigung von Störeinflüssen aus dem Schweißprozess.....	85
4.3.2	Einfluss eines Elementanteils auf die Linienintensität.....	88
4.3.3	Zusammenhang zwischen dem Elementanteil und dem Intensitätsverhältnis.....	90
4.4	Zwischenfazit.....	96
5	Umsetzung der In-situ-Legierungsbestimmung.....	99
5.1	Allgemeines.....	99
5.2	Schweißen von heißbrissanfälligen Aluminiumlegierungen.....	99
5.2.1	Bifokal-Hybrid-Laserstrahlschweißen.....	99
5.2.2	Materialzusammensetzung und Heißbrissneigung.....	103
5.2.3	Heißbrissneigung der Legierung EN AW-6060.....	107
5.3	In-situ-Legierungsbestimmung beim Schweißen von Aluminium.....	112
5.3.1	Empfindlichkeit der Anteilsbestimmung.....	112
5.3.2	Stabilität des Verfahrens im Schweißverlauf.....	114
5.4	Zwischenfazit.....	117
6	Bewertung der industriellen Anwendbarkeit.....	119
6.1	Allgemeines.....	119
6.2	Fallbeispiel.....	119
6.2.1	Anwender aus der Luft- und Raumfahrt.....	119
6.2.2	Nutzeneffekte durch die In-situ-Legierungsbestimmung.....	120
6.2.3	Berechnung der Anschaffungs- und Implementierungskosten.....	123

6.2.4 Zielkostenrechnung beim Systemlieferanten	124
6.3 Zwischenfazit: möglicher Produktpreis	126
7 Zusammenfassung und Ausblick	129
8 Literaturverzeichnis.....	133
9 Anhang	147
9.1 Verzeichnis betreuter Studienarbeiten	147
9.2 Genannte Firmen und Verbände	148
9.3 Begriffe und Erläuterungen.....	149
9.4 Verwendete Laserquellen.....	152
9.5 Zusammenhang zwischen Temperatur und Energie im Plasma.....	153
9.6 Herleitung der Elektronen-Energie-Dichte-Verteilung.....	153
9.7 Verwendete Elementlinien	158

1 Einleitung

1.1 Ausgangssituation und Motivation

1.1.1 Technologisch innovative Produkte

Nach PORTER (1999) erlaubt die Strategie der Differenzierung einem Unternehmen seinen Produkten einen außergewöhnlich hohen Wert zu geben, durch den auf dem Markt ein hoher Preis erzielt werden kann. Dies wird durch technische Produktneuheiten und Produktmerkmale wie Qualität und innovative Funktionen erreicht. Eine Studie des Fraunhofer-Instituts für System- und Innovationsforschung (ISI) ergänzt die Aussage von PORTER (1999) über die Konkurrenzfähigkeit deutscher Unternehmen und deren Produkte um Aspekte der Produktion. Die Studie zeigt das Potential zur Differenzierung über technologisch führende Betriebsmittel und Methoden auf, die eine leistungsfähige Produktion von Produkten höchster Qualität gewährleisten können (SCHIRRMESTER et al. 2003). Zusammen mit den von PORTER (1999) genannten Produkteigenschaften ergeben sich damit die Voraussetzungen, um technologisch innovative Produkte auf den Markt bringen zu können (Abbildung 1).

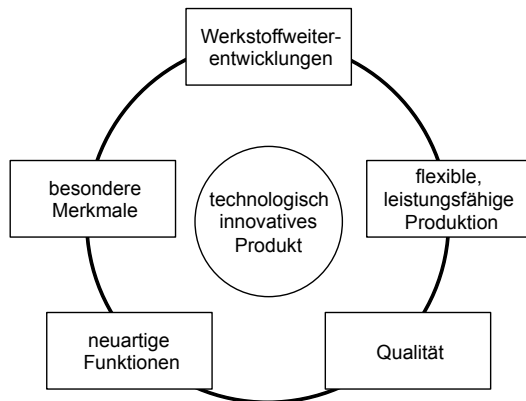


Abbildung 1: Einflüsse auf die Umsetzung eines technologisch innovativen Produkts

Technische Innovationen in einem Produkt hängen zu zwei Drittel von den verwendeten Materialien und deren Eigenschaften ab. Zentrale Themen in der produzierenden Industrie sind deshalb Werkstoffweiterentwicklungen und die Verarbeitung der neuen Werkstoffe (PRESSE- UND INFORMATIONSAMT DER BUNDESREGIERUNG 2008). Aufgrund der

Wichtigkeit dieser Thematik identifizierte die europäische Technologieplattform EuMAT (2006) folgende Schwerpunkte für die fortschrittliche Produktgestaltung:

- Entwicklung neuer Werkstoffgruppen,
- Umsetzung hybrider Materialsysteme und
- Weiter- und Neuentwicklung von Fertigungsverfahren.

Die in der Prozesskette einer Produktion weiterzuverarbeitenden neuen Werkstoffe sind hinsichtlich einer hohen Materialfestigkeit bei geringer Dichte und minimalen Materialkosten ausgelegt (PFEIFFER 2010). Der Schritt hin zum industriellen Einsatz eines Werkstoffs wird erst durch innovative oder an die Materialeigenschaften angepasste Fertigungsverfahren für dessen Weiterverarbeitung ermöglicht. Fertigungsverfahren, wie z. B. ein Schweißprozess, bestimmen die Umsetzbarkeit eines technologisch ausgereiften Produkts und dessen Qualität maßgeblich (JOVANOVIC 2006). Unterstützt wird diese Aussage durch die vom Deutschen Verband für Schweißen und verwandte Verfahren e. V. herausgegebene Roadmap zu Forschungsfeldern im Bereich des Schweißens (GILLNER 2001). In dieser wird als wichtigster Fortschritt das Schweißen nicht-schweißgeeigneter und artungleicher Werkstoffe gesehen. Durch den Schweißprozess wird die Schweißnaht ein wesentliches Produktmerkmal, welches über die Haltbarkeit und die Festigkeiten des Produktes entscheidet. Die Leistungsfähigkeit des Schweißprozesses bestimmt die Nahtqualität und damit die Einsatzmöglichkeiten des Produkts. Die Nahtqualität kann durch die Erforschung der Wirkzusammenhänge zwischen Prozessvariablen und Qualitätskriterien der Schweißnaht gesteigert werden. Die in der Arbeit verwendeten Begriffe zum Schweißen entsprechen den Normen DIN 32532 (2009), DIN 8528-1 (1973) und DIN 1319 (1995). Die Beschreibung der Sachverhalte zum Laserstrahlschweißen erfolgt unter Berücksichtigung der Norm DIN 32532 (2009), welche die Begriffe für Prozesse und Geräte definiert.

1.1.2 Einfluss des Laserstrahlschweißprozesses auf das Produkt

Das Schweißverfahren mit dem am stärksten gewachsenen Einsatz in den vergangenen zehn Jahren ist nach RIEDEL (2004) das Laserstrahlschweißen. Die Gründe für den vermehrten Einsatz gegenüber konventionellen Schmelzschweißverfahren sind die geringere Wärmeeinbringung in die Werkstücke, die entstehenden schlanken Nähte, die gute Automatisierbarkeit und die höhere Prozessgeschwindigkeit. Trotz dieser prozessbedingten Vorteile hat die entstehende Schweißnaht einen bedeutenden und nicht immer positiven Einfluss auf die Leistungsfähigkeit des Produktes. Der Schweißprozess wirkt sich über die Werkstoffe und die Naht unmittelbar auf das Produkt aus.

Zu gewünschten Produkteigenschaften zählen neben besonderen Merkmalen (z. B. Masse, Design) auch die erweiterten Funktionsfähigkeiten, die durch einen belastungs-

gerechten Werkstoffeinsatz ermöglicht werden. Letztere müssen unter späteren Betriebsbedingungen erhalten bleiben. Nach FAHRENWALDT & SCHULER (2011) ist der Zusammenhang zwischen der Schweißeignung eines Werkstoffs und der fertigungs-technischen Bearbeitung mit einem Schweißprozess über die konstruktionsbedingte Schweißsicherheit gegeben. Das Schweißtechnische Dreieck beschreibt in der DIN 8528-1 (1973) die Schweißbarkeit einer Schweißaufgabe. Der Werkstoff und die Schweißsicherheit sind demzufolge über die Schweißeignung und die aus dem Schweißprozess resultierenden physikalischen Nahteigenschaften miteinander gekoppelt (Abbildung 2).

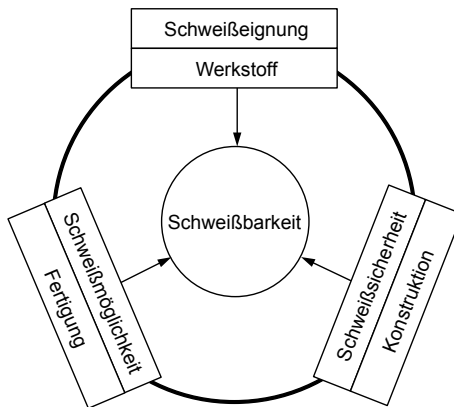


Abbildung 2: Schweißtechnisches Dreieck nach DIN 8528-1 (1973)

Dabei wirken sich die chemische Zusammensetzung und die metallurgischen Merkmale in einem hohem Maße auf diese aus (DILTHEY 2005). Die Elemente in der Naht bestimmen zusammen mit den beim Schweißen induzierten Spannungen das Verhalten des Schmelzbads, das sich ausbildende Gefüge und damit die späteren Nahteigenschaften (Abbildung 3). Die Legierungselemente der Fügepartner und Zusatzwerkstoffe beeinflussen die Belastbarkeit der Naht maßgeblich. Aus der Praxis sind für Stahl, Nickelbasislegierungen, Aluminiumlegierungen und Mischverbindungen Beispiele für den Zusammenhang zwischen den Elementen und der Belastbarkeit bekannt (WOLF 2006, ESKIN & KATGERMAN 2007). Werkstoffe oder Werkstoffkombinationen, die sich nur innerhalb eines sehr begrenzten Bereichs einzelner Elementanteile schweißen lassen, heißen deshalb auch *nicht-schweißgeeignete* Werkstoffe oder Werkstoffkombinationen. Aluminiumlegierungen neigen bspw. bei bestimmten Silizium- bzw. Magnesiumanteilen zur Ausbildung von Rissen (PUMPHREY & LYONS 1948), welche zu einer Verminderung der Festigkeitswerte führen. Bei Stahl ist dagegen bekannt, dass z. B. Aluminium-, Chrom-, Nickel- und Siliziumanteile sowohl die Zugfestigkeit als auch die

Härte der Naht steigern können (SCHAEFFLER 1949, BYSTRAM 1961). Geschweißte Mischverbindungen besitzen in der Fügezone intermetallische Phasen, deren Eigenschaften von den Elementen in der Schmelze abhängig sind. Die Zusammensetzung der intermetallischen Phasen wirkt sich auf die Beständigkeit und die Festigkeit der Verbindung aus.

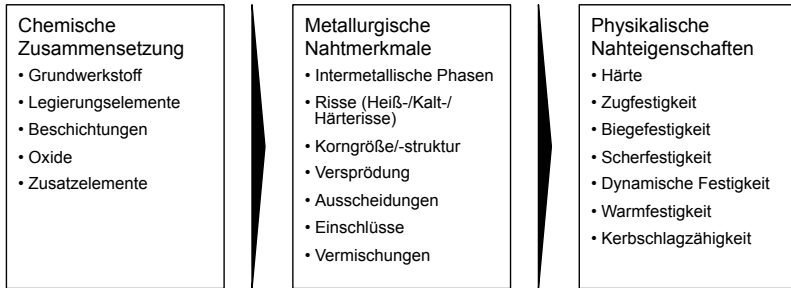


Abbildung 3: Einfluss der Nahtzusammensetzung auf die physikalischen Eigenschaften

Die Verbindung erreicht dabei kaum die Festigkeit des schwächsten Fügepartnerwerkstoffs (MAI & SPOWAGE 2004). Anhand der genannten Beispiele zeigt sich, dass die Elementzusammensetzung des Schmelzbads die Schweißnahteigenschaften stark beeinflusst. Eine kontinuierliche Prozessüberwachung der Zusammensetzung ist somit der konsequente Schritt zur Führung des Schweißprozesses innerhalb seiner Prozessgrenzen.

1.1.3 Prozessstabilität im Labor- und im Produktionsbetrieb

Die verschiedenen Verfahrensweisen (Abbildung 4) der online arbeitenden Systeme zur Prozessfassung dienen sowohl dem besseren Prozessverständnis als auch der Prozessüberwachung/-regelung. Im letzteren Fall unterstützen sie die Qualitätssicherung von laserbasierten Fertigungsprozessen (WIESEMANN 2004). Beide Funktionsweisen (Überwachung und Regelung) können mit Hilfe ähnlicher Systeme realisiert werden und unterscheiden sich lediglich im Automatisierungs- und Detaillierungsgrad der Auswertung. Die Entwicklung eines Prozessüberwachungssystems für die Fertigung vollzieht sich meist evolutionär, beginnend bei einem Beobachtungssystem zur Untersuchung von physikalischen Prozessabläufen im Laborumfeld. Die komplexeste Weiterentwicklung ist ein Verfahren zur Prozessregelung, das aktiv in den laufenden Prozess eingreift.

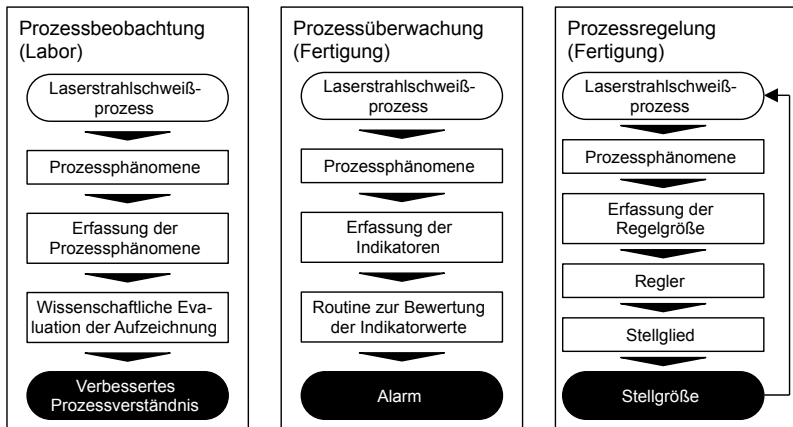


Abbildung 4: Zielsetzungen bei der online arbeitenden Prozessfassung nach WIESEMANN (2004)

Der unscharfen Definition des Begriffes Qualität folgend, bedarf sie der objektiven Bewertung durch quantifizierbare, messbare Merkmale, sog. Indikatoren. Ohne Messen und Prüfen sind Aussagen zur Qualität und damit auch deren Sicherung nicht umsetzbar (GROOVER 2008). Als Indikator wird dabei eine im Prozess messbare Größe verstanden, welche als statistisch verwertbares Anzeichen für einen eingetretenen Fehlerzustand dienen kann. Zum Beispiel können dies Größenverhältnisse, Strahlungsintensitäten oder auch akustische Signale sein.

1.2 Zielsetzung

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Erforschung der im Laserstrahlschweißprozess entstehenden Prozessstrahlung und die Entwicklung eines darauf basierenden Prozessüberwachungsverfahrens. Dieses soll das Schweißen von nicht-schmelzschweißgeeigneten Werkstoffen oder Werkstoffkombinationen innerhalb eines eng gefassten Prozessfensters ermöglichen. Hierfür sind geeignete Indikatoren, welche einen Zusammenhang zwischen der Prozessstrahlung und dem geschweißten Werkstoff nachweisen, zu ermitteln. Dies kann durch die qualitative und quantitative In-situ-Analyse (aus dem lat. *in-situ*: direkt vor Ort) der Metalldampfbzusammensetzung während des Laserstrahlschweißprozesses erreicht werden. Eine Online-Prozessüberwachung soll das Schweißergebnis auf die Zusammensetzung der Naht und damit ggf. verbundene Nahtfehler überprüfen. Das daraus resultierende Prozessüberwachungsverfahren wird als *In-situ-Legierungsbestimmung* bezeichnet. Bei Schweißprozessen mit marktüblichen Dioden-

und Festkörperlasern soll mit Hilfe der Prozessüberwachung die Nahtzusammensetzung erfasst und ausgewertet werden können. Anhand der Analyseergebnisse ist die Möglichkeit zu überprüfen, Rückschlüsse über die Eigenschaften im Nahtverlauf und elementanteilsbedingte Nahtfehler zu ziehen. Für eine spätere Prozessregelung sind zudem Aussagen über die Sensitivität und Stabilität zu ermitteln. Ein solches Verfahren erweitert den aktuellen Stand der Technik und soll in dieser Arbeit durch Methoden der optischen Emissionsspektrometrie (OES) umgesetzt werden. Zu den Verfahren der OES gehört die laserinduzierte Plasmaspektroskopie (LIPS), welche Analogien zum Laserstrahlschweißprozess besitzt und aus diesem Grund in dieser Arbeit näher wissenschaftlich betrachtet wird. Die Forschungsarbeiten werden an Schweißproblemstellungen, welche sich aus dem von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) finanzierten Sonderforschungsbereich Transregio 10 (SFB/TR10) – Integration von Umformen, Trennen und Fügen für die flexible Fertigung von leichten Tragwerkstrukturen – ergeben, verifiziert, d. h. es wird auf diese Weise der Nachweis bezüglich der zugrundeliegenden Theorie und der Funktion erbracht.

1.3 Vorgehensweise zur Verfahrensentwicklung

1.3.1 Vergleich der laserinduzierten Plasmaspektroskopie (LIPS) mit dem Laserstrahlschweißen

Um das Verfahren der In-situ-Legierungsbestimmung für das Laserstrahlschweißen entwickeln zu können, wurde neben den Methoden der LIPS eine ähnliche zum Teil auch baugleiche Systemtechnik wie für die LIPS eingesetzt. Die LIPS ist ein berührungsloses Verfahren zur chemischen Analyse von Stoffgemischen. Nach OHNESORGE (2008) ermöglicht sie eine schnelle und kostengünstige Bestimmung der chemischen Zusammensetzung des zu analysierenden Probenmaterials. Eine aufwendige Probenpräparation ist hierbei nicht notwendig. Die Nachweisempfindlichkeit ist hoch, bei vergleichsweise geringen apparativen und finanziellen Aufwänden gegenüber anderen chemischen Analyseverfahren. Die LIPS erlaubt mehrere Elemente im Stoffgemisch gleichzeitig nachzuweisen und deren Anteile zu bestimmen. Dieses Merkmal ist auch als Multi-Elementanalyse bekannt. Das Verfahren eignet sich zur Analyse fester, flüssiger und gasförmiger Stoffgemische. LIPS-Systeme gibt es in verschiedenen Ausführungen. Sie sind sowohl in Form aufwendiger, hochempfindlicher Laborsysteme als auch in Form von mobilen, tragbaren, weniger empfindlichen Geräten auf dem Markt erhältlich. Für die LIPS an Feststoffen wird ein gepulster, meist gütegeschalteter Festkörperlaser auf die zu untersuchende Probe fokussiert. Dabei wirkt auf das Material Strahlung in Form von Einfach- oder Mehrfachpulsen hoher Intensität. Der vom Feststoff absorbierte

Strahlungsanteil führt lokal zur Verdampfung einer kleinen Materialmenge, zur Ionisation und zur elektronischen Anregung der verdampften Atome und Ionen. Dieser Phasenstatus wird als Mikroplasma bezeichnet. Am Ende des Laserpulses setzen Abregungsprozesse im Plasma in Form von Elektronenübergängen ein. Während des Übergangs in den elektronischen Grundzustand emittieren die angeregten Atome und Ionen eine Linienstrahlung, welche charakteristisch für die enthaltenen Elemente im Plasma bzw. im abgetragenen und verdampften Materialvolumen ist. Die emittierte Strahlung aus dem Plasma wird über optische Elemente (z. B. optischer Messkopf und Lichtleitkabel) einem Spektrometer zugeführt. Dort wird sie spektral zerlegt und auf ein strahlungsempfindliches und wellenlängensensitives Element geleitet. Durch die Selektion der elementspezifischen Linienstrahlung und deren Intensität wird eine qualitative und quantitative Auswertung der Materialzusammensetzung möglich. Die wellenlängenabhängige Strahlungsintensität wird in einem bestimmten Spektralbereich oder an diskreten Punkten im Spektrum vermessen, digitalisiert und in einem Rechner ausgewertet. Ein laborübliches LIPS-System besteht aus einem hochauflösenden Spektrometer und einer Probenkammer, welche ggf. mit Argon als Inertgas gespült wird (Abbildung 5).

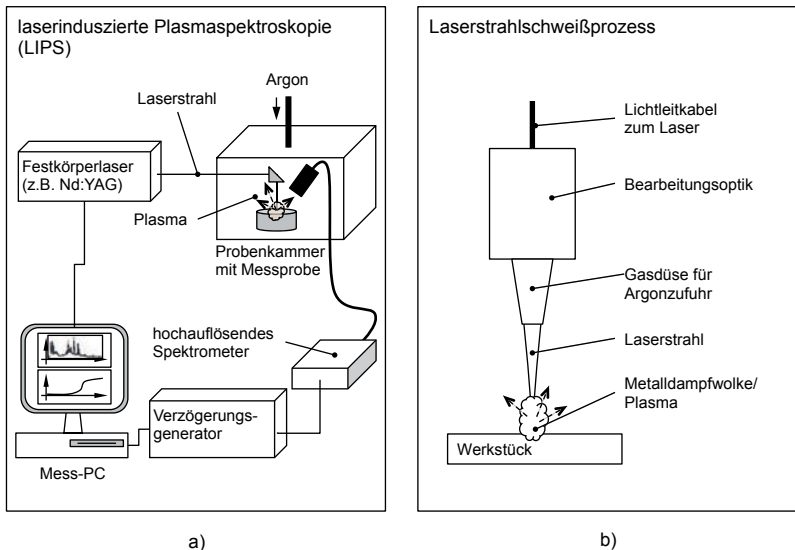


Abbildung 5: a) Laserinduzierte Plasmaspektroskopie in Form eines Laborsystems (nach CREMERS & RADZIEMSKI 2006); b) Laserstrahlschweißprozess;

Bei einem LIPS-System dient der Laser als Energiequelle, um das Probenmaterial lokal zu verdampfen. Aufgrund der hohen Strahlungsintensität eines gepulsten Lasersystems kommt es kaum zu einer Schmelzbadausbildung, sondern gleich zur Sublimation des Materials. Die hohe Intensität ist notwendig, um auch schwer anzuregende Elemente im Dampf anzuregen (Cremers & Radziemski 2006). Dem gegenüber steht der Einsatz von Festkörperlaser zum Schweißen von Werkstücken aus verschiedensten Materialien. Zum Schweißen werden sowohl gepulste als auch nicht gepulste Systeme verwendet, je nach benötigter Intensität. Hierfür wird die Laserstrahlung über ein Lichtleitkabel in eine Bearbeitungsoptik geführt und durch diese auf die Werkstückoberflächen fokussiert (Abbildung 5a). Die Ausbildung einer Schmelze ist beim Schweißprozess essentiell. Zum Schutz vor Oxidation wird das Schmelzbad mit Schutzgas, meist in Form eines Argonstroms, geschützt. Das Gas gelangt über eine an der Bearbeitungsoptik angebrachte Gasdüse in die Prozesszone. Neben der Schmelzbadausbildung kommt es beim Schweißen auch zu einer teilweisen Verdampfung des aufgeschmolzenen Materials und zu einer Anregung und Ionisation des Dampfes. Die Folge der hohen Temperaturen im Schweißprozess und der Abregungsprozesse im Materialdampf ist eine Prozessstrahlung, welche anteilig eine *charakteristische Linienstrahlung* enthält.

Bei einem Vergleich der zugrundeliegenden Prozesse bei der LIPS und beim Laserstrahlschweißen fallen Gemeinsamkeiten auf. In beiden Fällen dient ein Laser als Energiequelle, es wird ein Inertgas verwendet, es kommt zur lokalen Verdampfung kleiner Materialmengen und es entsteht eine Prozessstrahlung. Die vorliegende Arbeit widmet sich deshalb der Untersuchung der Prozessstrahlung aus dem Laserstrahlschweißprozess und der Ermittlung des Nutzens der enthaltenen elementspezifischen Informationen für eine Prozessüberwachung in Form der In-situ-Legierungsbestimmung, ähnlich dem LIPS-Verfahren. Die Übertragbarkeit der Methoden aus der LIPS auf die In-situ-Legierungsbestimmung ist hierbei maßgeblich.

1.3.2 Prinzip der In-situ-Legierungsbestimmung

Für die In-situ-Legierungsbestimmung beim Laserstrahlschweißen wird die Schweißanlage, bestehend aus einem Lasersystem mit Bearbeitungsoptik, einem Roboter und einer speicherprogrammierbaren Steuerung (SPS), durch die Messtechnik eines LIPS-Systems ergänzt. Hierfür ist ein Spektrometer inklusive Lichtleitkabel und Messkopf notwendig. Der Messkopf wird so positioniert, dass dieser die Prozessstrahlung erfassen kann. Die Steuerung des Aufzeichnungsbeginns und des Aufzeichnungsendes erfolgt dabei über die SPS der Schweißanlage. Zur Auswertung wird ein Mess-PC und eine Auswertesoftware benötigt (vgl. Abbildung 6). Mit Hilfe des Messsystems wird überprüft, ob im Prozess die Schmelzbadzusammensetzung ermittelt werden kann.

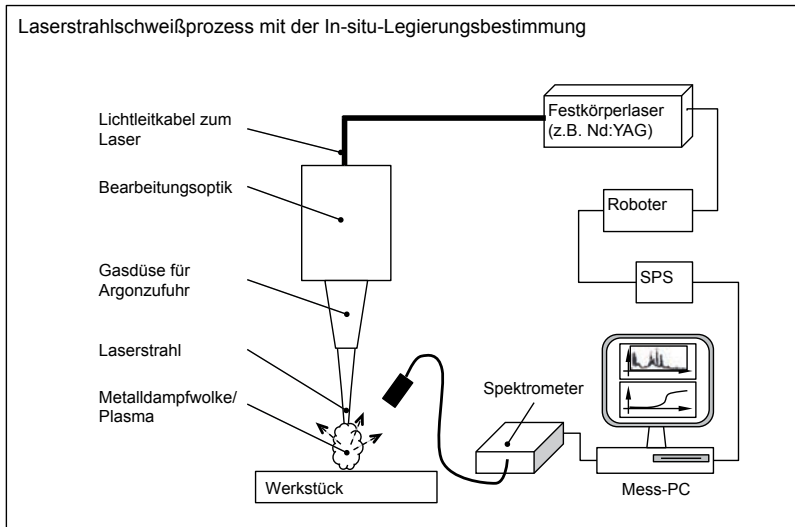


Abbildung 6: Laserstrahlschweißprozess, ergänzt durch die LIPS-Messtechnik

Die Eigenschaften einer Legierung werden durch die Art und den Gehalt der beigefügten Legierungselemente beeinflusst. Mit dem Verfahrenskonzept zur In-situ-Legierungsbestimmung können die Elemente und die Elementanteile im Schmelzbad während des Schweißprozesses bestimmt werden. Anhand der Informationen über die Schmelzbadzusammensetzung lässt sich im Prozess ein Über- oder Unterschreiten von vorgegebenen Elementanteilen ermitteln. Bei der Erstarrung der Schmelze können so Nahtigenschaften, wie z. B. Nahtfehler, prognostiziert werden. Für die Vermeidung einer qualitativ schlechten Naht kann dann ggf. mit einer geeigneten Zusatzwerkstoffzufuhr in den Prozess eingegriffen und das Schmelzbad auflegiert werden.

Um die In-situ-Legierungsbestimmung realisieren zu können, muss es eine zusammenhängende Wirkungskette vom Schweißprozess bis zum Erfassungsprozess geben (vgl. Abbildung 7). Die Wirkungskette spiegelt den Zusammenhang zwischen dem Aufschmelzen der Legierung, der Materialverdampfung im Wechselwirkungsbereich des Laserstrahls, dem Anregungsprozess des verdampften Materials und der Analyse des *Metall dampfspektrums* wider. Die Legierung im Wechselwirkungsbereich besteht aus den Elementen in den Fügepartnern und denen der verwendeten Schweißzusätze. Für die Bestimmung der qualitativen und quantitativen Zusammensetzung sind die elementabhängige Materialverdampfung und die Ausbildung des Niedertemperaturplasmas in Form eines *angeregten Metall dampfs* ausschlaggebend, da nur ein verdampftes Element angeregt und dessen Emissionsspektrum erfasst werden kann.

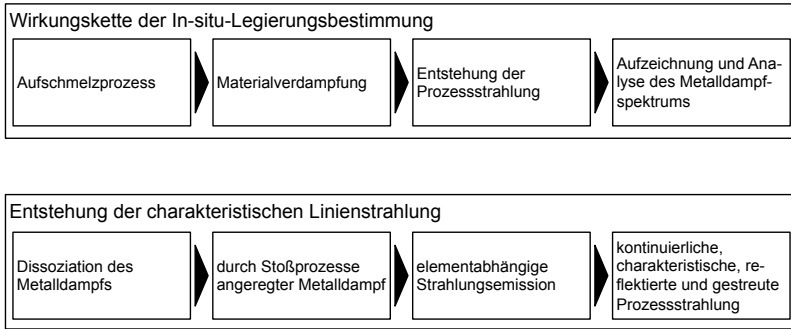


Abbildung 7: Wirkungskette für die In-situ-Legierungsbestimmung

Die Wirkungskette umfasst die aufeinanderfolgenden Vorgänge für die Ausbildung eines elementabhängigen Emissionsspektrums. Sie ist unabhängig von ihrer Anwendung und gilt entsprechend bei anderen plasmaausbildenden Schweißprozessen und der LIPS. Die In-situ-Legierungsbestimmung beim Laserschweißprozess lässt sich aufgrund der Wirkungskette wie in Abbildung 8 umsetzen.

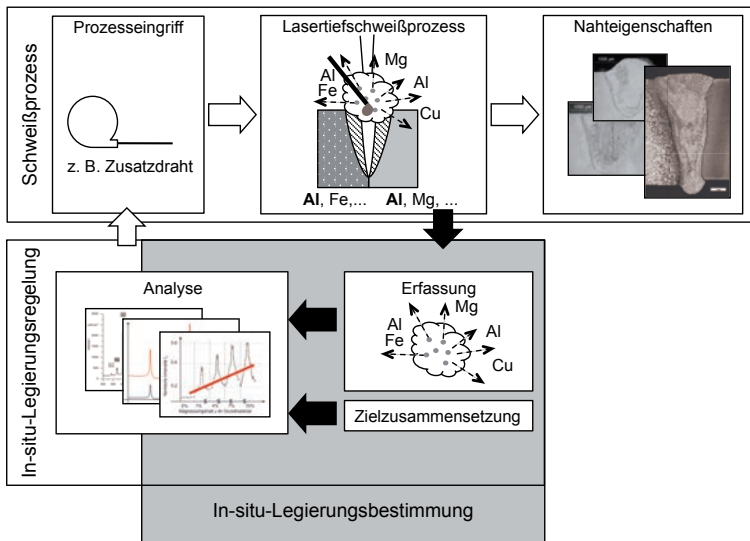


Abbildung 8: Unterscheidung zwischen In-situ-Legierungsbestimmung und In-situ-Legierungsregelung

Das Verfahren zeichnet die Prozessstrahlung im Prozess entlang der Schweißnaht auf und wertet diese qualitativ und quantitativ aus. Die Zusammensetzung im Schmelzbad kann ggf. durch einen Prozesseingriff, wie z. B. mittels Zuführung von Zusatzdraht, manipuliert werden. Der Eingriff beeinflusst die Nahteigenschaften und die im Metall-dampfspektrum zu identifizierenden Elementlinienintensitäten. Anhand Letzterer kann mit Hilfe der In-situ-Legierungsbestimmung die Zuführungsmenge ortsensitiv analysiert werden (Abbildung 9).

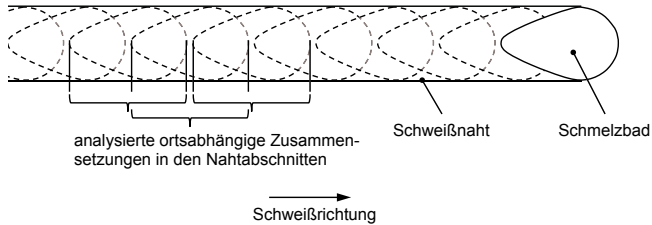


Abbildung 9: In-situ-Legierungsbestimmung der Elementanteile im Schweißprozess

Prinzipiell besteht so die Möglichkeit für eine element- und anteilsabhängige Prozessregelung durch die Ermittlung einer geeigneten Stellgröße, welche den Prozesseingriff steuert. Zusammen mit der In-situ-Legierungsbestimmung ist eine In-situ-Legierungsregelung möglich. Es wird bewusst zwischen Legierungsbestimmung im Schmelzbad und Legierungsregelung der Schmelzbadzusammensetzung unterschieden. Für die Umsetzung einer Regelung ist ein Echtzeitsystem zur Erfassung, zur Auswertung und zur Berechnung der Stellgröße notwendig. Die dafür benötigten grundlegenden Auswertemethoden werden im Rahmen dieser Arbeit bereitgestellt. Der Abgleich mit der Zielzusammensetzung erfolgte für die hier vorgestellten Ergebnisse manuell nach Abschluss des jeweiligen Schweiß- und Analyseprozesses.

1.3.3 Aufbau der Arbeit

Abbildung 10 zeigt den Aufbau der Arbeit und spiegelt das Vorgehen wider, welches zur Erarbeitung des Verfahrens der In-situ-Legierungsbestimmung gewählt wurde. Zunächst wird im Anschluss an die Einleitung (Kapitel 1) in Kapitel 2 (S. 13 ff.) der Stand von Prozessüberwachungssystemen für Schweißprozesse in der Forschung und in der Industrie erörtert. Es wird auf die zugrundeliegenden Indikatoren, Analyseverfahren und Anwendungsgebiete der Systeme eingegangen. Zudem werden die Defizite bestehender Auswertemethoden, Verfahren und umgesetzter Systeme betrachtet und Handlungsfelder für die weitere Erforschung und Entwicklung aufgezeigt. In Kapitel 3 (S. 27 ff.) wird der Nachweis für die Existenz der charakteristischen Prozessstrahlung

aus einem Niedertemperaturplasma beim Schweißen mit Festkörper- und Diodenlasern geführt und der Lasertiefschweißprozess hinsichtlich dieser Strahlung analysiert. Das Auftreten der Prozessstrahlung ist die physikalische Voraussetzung für die darauf folgenden Arbeiten. Die Ergebnisse werden im Anschluss in Bezug auf deren Anwendbarkeit zur Prozessüberwachung im Rahmen einer In-situ-Legierungsbestimmung diskutiert. Aufbauend darauf werden Aspekte zur Nutzung der Informationen aus der Prozessstrahlung für diese Form der Prozessüberwachung veranschaulicht und deren physikalische Zusammenhänge modelliert und erläutert.

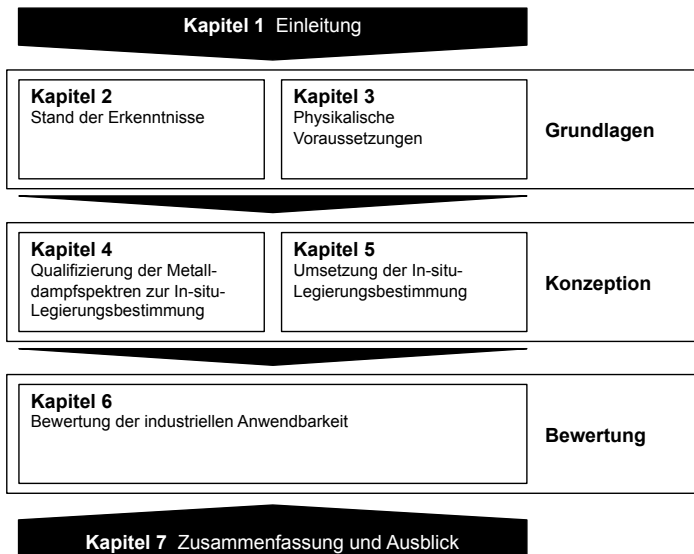


Abbildung 10: Aufbau der Arbeit

Die Grundlagen für die qualitative und quantitative Analyse der Legierungszusammensetzung durch Auswertung der Prozessstrahlung werden in Kapitel 4 (S. 77 ff.) erarbeitet. Kapitel 5 (S. 99 ff.) umfasst die Konzeptionierung und die Umsetzung einer optischen Schweißprozessüberwachung für das Bifokal-Hybrid-Laserstrahlschweißen von Aluminium. Hierfür werden die Sensitivität in Form von Kennlinien und die Stabilität im Schweißverlauf ermittelt und bewertet. Die Erkenntnisse bilden die Grundlage für eine Bewertung in Kapitel 6 (S. 119 ff.). Es erfolgt eine wirtschaftliche Beurteilung des erzielbaren Nutzens aus Systemlieferanten- und Anwendersicht anhand von Fallbeispielen. Das Kapitel 7 (S. 129 ff.) schließt die Arbeit mit einer Zusammenfassung ab und gibt einen Ausblick auf zukünftige Forschungsarbeiten und Anwendungsfelder.

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 3-931327-07-9
- 8 Qualitätsmanagement - der Weg ist das Ziel
130 Seiten - ISBN 3-931327-08-7
- 9 Installationstechnik an Werkzeugmaschinen - Analysen und Konzepte
120 Seiten - ISBN 3-931327-09-5
- 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 - Produktivitätsteigerung 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 Mikrobauteilen
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 Lebensmittelkette
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, 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 Materialflussesuerung 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 Fährer:** Ganzheitliche Optimierung des indirekten Metall-Lasersinterprozesses
176 Seiten - ISBN 978-3-8316-0124-0
- 164 **Jürgen Höppner:** Verfahren zur berührungslosen Handhabung mittels leistungsstarker Schallwandler
144 Seiten - ISBN 978-3-8316-0125-7
- 165 **Hubert Götte:** Entwicklung eines Assistenzrobotersystems für die Knieendoprothetik
258 Seiten - ISBN 978-3-8316-0126-4
- 166 **Martin Weissenberger:** Optimierung der Bewegungsdynamik von Werkzeugmaschinen im rechnergestützten Entwicklungsprozess
210 Seiten - ISBN 978-3-8316-0138-7
- 167 **Dirk Jacob:** Verfahren zur Positionierung unterseitenstrukturierter Bauelemente in der Mikrosystemtechnik
200 Seiten - ISBN 978-3-8316-0142-4
- 168 **Ulrich Roggleder:** System zur effizienten Layout- und Prozessplanung von hybriden Montageanlagen
175 Seiten - ISBN 978-3-8316-0154-7
- 169 **Robert Klingel:** Anziehfverfahren 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 978-3-8316-0202-5
- 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 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 Meierlohn:** 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 effizien 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 Schlickeneder:** 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 Oerl:** Strukturmehranalytische 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:** 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 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 **Shenfr Christoph 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 materialflusstensiver 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 **Shenfr 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 Ostagthe:** 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
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
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