

Ulrich Munzert

**Bahnplanungsalgorithmen für das
robotergestützte Remote-Laserstrahlschweißen**



Herbert Utz Verlag · München

Forschungsberichte IWB

Band 234

Zugl.: Diss., München, Techn. Univ., 2009

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 · 2010

ISBN 978-3-8316-0948-2

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

Geleitwort der Herausgeber

Die Produktionstechnik ist für die Weiterentwicklung unserer Industriegesellschaft von zentraler Bedeutung, denn die Leistungsfähigkeit eines Industriebetriebes hängt entscheidend von den eingesetzten Produktionsmitteln, den angewandten Produktionsverfahren und der eingeführten Produktionsorganisation ab. Erst das optimale Zusammenspiel von Mensch, Organisation und Technik erlaubt es, alle Potentiale für den Unternehmenserfolg auszuschöpfen.

Um in dem Spannungsfeld Komplexität, Kosten, Zeit und Qualität bestehen zu können, müssen Produktionsstrukturen ständig neu überdacht und weiterentwickelt werden. Dabei ist es notwendig, die Komplexität von Produkten, Produktionsabläufen und -systemen einerseits zu verringern und andererseits besser zu beherrschen.

Ziel der Forschungsarbeiten des *iwb* ist die ständige Verbesserung von Produktentwicklungs- und Planungssystemen, von Herstellverfahren sowie von Produktionsanlagen. Betriebsorganisation, Produktions- und Arbeitsstrukturen sowie Systeme zur Auftragsabwicklung werden unter besonderer Berücksichtigung mitarbeiterorientierter Anforderungen entwickelt. Die dabei notwendige Steigerung des Automatisierungsgrades darf jedoch nicht zu einer Verfestigung arbeitsteiliger Strukturen führen. Fragen der optimalen Einbindung des Menschen in den Produktentstehungsprozess spielen deshalb eine sehr wichtige Rolle.

Die im Rahmen dieser Buchreihe erscheinenden Bände stammen thematisch aus den Forschungsbereichen des *iwb*. Diese reichen von der Entwicklung von Produktionssystemen über deren Planung bis hin zu den eingesetzten Technologien in den Bereichen Fertigung und Montage. Steuerung und Betrieb von Produktionssystemen, Qualitätssicherung, Verfügbarkeit und Autonomie sind Querschnittsthemen hierfür. In den *iwb* Forschungsberichten werden neue Ergebnisse und Erkenntnisse aus der praxisnahen Forschung des *iwb* veröffentlicht. Diese Buchreihe soll dazu beitragen, den Wissenstransfer zwischen dem Hochschulbereich und dem Anwender in der Praxis zu verbessern.

Vorwort

Die vorliegende Dissertation entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (*iwb*) der Technischen Universität München.

Den beiden Leitern des Instituts, Herrn Prof. Dr.-Ing. Michael Zäh und Herrn Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart, gilt mein besonderer Dank für die wohlwollende Förderung und großzügige Unterstützung meiner Arbeit.

Bei Herrn Prof. Dr.-Ing. Jochen Pfalzgraf, dem stellvertretenden Fachbereichsleiter des Lehrstuhls für Wissensbasierte und Lernende Systeme an der Universität Salzburg, möchte ich mich sehr herzlich für die Übernahme des Korreferates und die aufmerksame Durchsicht der Arbeit bedanken. Für die Übernahme des Vorsitzes bedanke ich mich bei Herrn Prof. Dr.-Ing. Heinz Ulbrich, dem Lehrstuhlinhaber für Angewandte Mechanik am Institut für Mechatronik der Technischen Universität München.

Bei Herrn Dr.-Ing. Wolfgang Vogl möchte ich mich für die vielen konstruktiven Beiträge zu dieser Arbeit und für die Korrektur des Manuskripts bedanken. Für wertvolle technische Anregungen bedanke ich mich sehr herzlich bei Herrn Dr. Uwe Zimmermann und Herrn Dipl.-Tech. Math. Christian Sonner. Darüber hinaus möchte ich mich bei allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des *iwb* sowie bei allen Studentinnen und Studenten bedanken, die mich bei der Erstellung dieser Dissertation unterstützt haben.

Meinen Eltern, die mir diese Ausbildung ermöglicht und mich immer motiviert haben, möchte ich in besonderer Weise danken. Ihnen sei diese Arbeit gewidmet.

München im Mai 2010

Ulrich Munzert

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	I
Abbildungsverzeichnis.....	V
Formelzeichen und Abkürzungen	XI
Formelzeichen.....	XI
Abkürzungsverzeichnis.....	XIII
1 Einleitung.....	1
1.1 Laserstrahlschweißen in der industriellen Fertigung	1
1.2 Steigerung der Anlagenproduktivität durch Erhöhung der Brennweite ..	3
1.3 Problematik der zeitoptimalen Programmierung.....	4
1.4 Zielsetzung und Vorgehensweise.....	6
2 Freiheitsgrade zur Strahlpositionierung beim RLS	9
2.1 Kapitelübersicht	9
2.2 Definition des Redundanzbegriffs.....	9
2.3 Manipulatorische Freiheitsgrade zur Strahlpositionierung	10
2.3.1 Komponentenüberblick.....	10
2.3.2 Strahlpositioniersysteme roboterbasierter Remote-Anlagen	12
2.4 Dimension des Ergebnisraums beim Laserstrahlschweißen	15
2.4.1 Prozessparameter und Kenngrößen des Schweißprozesses	15
2.4.2 Abweichungen der Lage und Orientierung des Brennflecks.....	16
2.4.2.1 Vorbemerkungen	16
2.4.2.2 Translatorische Abweichungen	18
2.4.2.3 Rotatorische Abweichungen.....	23
2.5 Zusammenfassung.....	25
3 Stand der Technik zur Programmierung von Robotersystemen	27
3.1 Kapitelübersicht	27

3.2	Grundlagen der Industrierobotik.....	27
3.2.1	Definition und Bauformen von Industrierobotern.....	27
3.2.2	Steuerungstechnischer Aufbau	28
3.2.3	Lagebeschreibung von Manipulatoren	30
3.2.3.1	Koordinatensysteme und Beschreibungsräume	30
3.2.3.2	Vorwärtstransformation	31
3.2.3.3	Rückwärtstransformation	34
3.3	Programmierung von Industrierobotern.....	40
3.3.1	Ziele und Inhalte der Programmierung.....	40
3.3.2	Konventionelle Programmierung und Bewegungsoptimierung	42
3.3.3	Automatische Bahnplanung und –optimierung	44
3.3.3.1	Vorbemerkungen.....	44
3.3.3.2	Globale Bahnplanung.....	45
3.3.3.3	Lokale Bahnplanung	46
3.4	Fazit und Handlungsbedarf.....	48
4	Bahnplanungsalgorithmen für Remote-Anlagen mit Optiken fester Brennweite.....	51
4.1	Konzept der Optimierung	51
4.1.1	Vorüberlegung und Optimierungsansatz.....	51
4.1.2	Überblick zu den Teilverfahren.....	53
4.2	Datenmodelle	54
4.2.1	Modell der Schweißaufgabe.....	54
4.2.2	Modell des Schweißroboters	57
4.2.3	Werkzeugmodell.....	59
4.3	Ermittlung einer geeigneten Startlösung.....	59
4.3.1	Allgemeines	59
4.3.2	Problematik bei der Ermittlung einer Startlösung.....	59
4.3.3	Bestimmung der Bahn des TCPF	61
4.3.3.1	Einordnung und Komplexität der Fragestellung	61
4.3.3.2	Methodik zur Approximation des kürzesten TCPF- Pfades	63

4.3.3.3	Leistungsfähigkeit des Verfahrens	65
4.3.4	Zuweisung der Einstrahlwinkel	68
4.3.4.1	Vorüberlegung.....	68
4.3.4.2	Prinzip des Verfahrens	68
4.4	Verfahren zur Verkürzung und Glättung des Optikpfades	71
4.4.1	Allgemeines	71
4.4.2	Verkürzung des Optikpfades	72
4.4.2.1	Beurteilung des bisherigen Ergebnisses	72
4.4.2.2	Prinzip des Verfahrens	72
4.4.3	Glättung des Optikpfades.....	75
4.4.3.1	Beurteilung des bisherigen Ergebnisses	75
4.4.3.2	Prinzip des Verfahrens	76
4.5	Strahlorientierung und Geschwindigkeitsglättung.....	78
4.5.1	Bestimmung der Optikorientierung um die Strahlachse.....	78
4.5.1.1	Beurteilung des bisherigen Ergebnisses	78
4.5.1.2	Prinzip des Verfahrens	80
4.5.2	Anpassung der Optikgeschwindigkeit	81
4.5.2.1	Beurteilung des bisherigen Bahnverlaufs.....	81
4.5.2.2	Prinzip des Verfahrens	81
4.6	Leistungsfähigkeit der Algorithmen	85
5	Bahnplanungsalgorithmen für Anlagenkonzepte mit Zoomoptiken	89
5.1	Übertragbarkeit der Algorithmen.....	89
5.2	Konzept der Optimierung.....	90
5.2.1	Optimierungsansatz	90
5.2.2	Überblick zu den Teilverfahren	91
5.3	Generierung eines initialen Handwurzelpunktpfades	93
5.4	Bahn- und Geschwindigkeitsglättung des Handwurzelpunktpfades.....	95
5.5	Leistungsfähigkeit des Gesamtverfahrens.....	98
6	Beschreibung des Einsatzes der Algorithmen	101
6.1	Kapitelübersicht	101

6.2	Konzeption eines aufgabenorientierten Programmiersystems.....	101
6.3	Anwendungsbeispiel: Vergleich von Maschinenkonzepten	104
6.3.1	Charakterisierung des Anwendungsbeispiels	104
6.3.2	Aufgabenbeschreibung innerhalb einer 3D-Umgebung.....	106
6.3.3	Ergebnisse.....	108
6.4	Anwendungsbeispiel: Programmierung einer Remote-Anlage	110
6.4.1	Charakterisierung des Anwendungsbeispiels	110
6.4.2	Aufgabenbeschreibung am realen Bauteil.....	112
6.4.3	Ergebnisse.....	114
7	Technische und wirtschaftliche Bewertung	117
7.1	Kapitelübersicht	117
7.2	Technische Bewertung.....	117
7.3	Wirtschaftliche Bewertung	120
8	Zusammenfassung und Ausblick.....	123
9	Literaturverzeichnis	127

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Füge- und Positionierzeitanteile bei unterschiedlichen Fügeverfahren (nach PAURA 2005).....	2
Abbildung 2:	Vorteil des Remote-Laserstrahlschweißens: Höhere Versatzgeschwindigkeit bei gleichem Versatzwinkel	4
Abbildung 3:	Problematik bei der taktzeitoptimalen Programmierung von Remote-Laseranlagen. Aufgrund der manipulatorischen und prozessspezifischen Freiheitsgrade sind unendlich viele Bewegungsbahnen der Schweißoptik realisierbar. Für jede Bahn benötigt der Roboter eine bestimmte Zeit zum Durchfahren.	6
Abbildung 4:	Aufbau der Arbeit	7
Abbildung 5:	Komponenten von Remote-Laseranlagen. Hervorzuheben ist dabei die Integration der Funktionen „Strahlformung“ und „Strahlablenkung“ in der Komponente „Werkzeug“. Zusammen mit der Handhabungseinrichtung bilden sie das „Strahlpositioniersystem“ (in Anlehnung an DIN EN ISO 11145 (2006)).....	11
Abbildung 6:	Darstellung der wichtigsten roboterbasierten Strahlpositionierkonzepte für die Remote-Bearbeitung (2, 3 und 4) im Vergleich zur konventionellen Strahlführung (1). Während (2) lediglich eine größere Brennweite aufweist, verfügen die Konzepte (3) und (4) über zusätzliche Freiheitsgrade zur Strahlpositionierung.....	14
Abbildung 7:	Randbedingungen und Parameter beim Laserstrahlschweißen .	16
Abbildung 8:	Mögliche Abweichungen bei der Positionierung eines Laserstrahls (Index L) bezüglich einer Sollposition (Index S)..	17
Abbildung 9:	Wichtige Größen bei der Fokussierung von Laserstrahlung nach HERING & MARTIN (2006)	19
Abbildung 10:	Unterteilung der Einstrahlwinkel in Abhängigkeit der Vorschubrichtung in Stechwinkel, Schleppwinkel sowie positive und negative Lateralwinkel.....	23

Abbildung 11: Penetrations- und Schweißnahttiefe beim Laserstrahlschweißen (nach GRUPP et al. 2003).....	24
Abbildung 12: Redundanzgrade verschiedener Remote-Anlagenkonzepte	26
Abbildung 13: Aufbau und Funktionsweise von Industrierobotersteuerungen	29
Abbildung 14: Betrachtungsräume und wichtige Koordinatensysteme von Manipulatoren. Bei der gezeigten Sechs-Achs-Knickarm-Roboterkinematik werden die Achsen A1-A3 (rechts) als Hauptachsen bezeichnet. Die Achsen A4-A6 bilden eine Zentralhand, deren Rotationsachsen sich in einem Punkt schneiden (Handwurzelpunkt).....	30
Abbildung 15: Ermittlung der DH-Parameter für einen Beispielmanipulator...	32
Abbildung 16: Achskonfigurationen für gegebene Positionen und Arbeitsraum eines Manipulators mit drei Gelenken.....	35
Abbildung 17: Abgrenzung der Begriffe Aufgaben-, Pfad- und Trajektorienplanung anhand eines Beispiels. Alle drei Teilbereiche bilden zusammen die Aufgaben der Roboterprogrammierung.	41
Abbildung 18: Taktzeitverbesserung durch Verkürzung und Glättung des Bewegungspfades zwischen zwei Punkten A und B bei Werkzeugen mit kleinen Abmessungen	43
Abbildung 19: Veranschaulichung der Grundidee zur Bestimmung von taktzeitoptimalen Roboterbahnen für das RLS mit Optiken fester Brennweite. Durch Verkürzung und Glättung des Pfades des Optikscherpunktes wird eine hauptachsengestützte Vorpositionierung in Verbindung mit einer schnellen Versatzbewegung durch die Handachsen angestrebt.....	52
Abbildung 20: Teilschritte zur Optimierung von Roboterbewegungsbahnen für Remote-Anlagen mit Optiken fester Brennweite.....	53
Abbildung 21: Konventionen und Beschreibungsformen zur Aufgabenmodellierung	55

Abbildung 22: Dreidimensionale Darstellung gültiger Einstrahlwinkelbereiche für einen Schweißpunkt. Die Ausrichtung erfolgt anhand des Aufgabenframes. Die sphärische Oberfläche des Schweißkegels repräsentiert den Raum möglicher Aufenthaltsorte des Schweißoptikschwerpunkts.....	56
Abbildung 23: Datenmodell einer Schweißaufgabe	57
Abbildung 24: Datenstruktur zur Beschreibung eines Roboters.....	58
Abbildung 25: Datenstruktur zur Beschreibung einer Schweißoptik mit Festbrennweite	59
Abbildung 26: Beispiel eines TSP mit drei abzufahrenden Orten. Im linken Beispiel werden die Orte als Punkte interpretiert. Dieser Fall wird auch als symmetrisches TSP bezeichnet. Für dieses Beispiel existieren 6 mögliche Kombinationen. Im rechten Beispiel werden die abzufahrenden Orte als Schweißnähte dargestellt, die beliebig in die eine oder andere Richtung geschweißt werden können. In diesem Fall ergeben sich bereits 48 Kombinationsmöglichkeiten. Er wird als asymmetrisches TSP bezeichnet.	62
Abbildung 27: Methodik zur Berechnung einer möglichst kurzen Bahn des TCPF für eine Schweißaufgabe	63
Abbildung 28: Reduktion der Gesamtlänge des Hamiltonkreises in Abhängigkeit der Zahl der Suchläufe des Verfahrens für ein Schweißbeispiel mit 34 Schweißnähten. Die drei Bilder zeigen eine zufällig gewählte Startreihenfolge (links), die gefundene Reihenfolge nach 400 Durchläufen (Mitte) und nach 2000 Durchläufen (rechts). Die Berechnungszeit bis zum Abbruch bei 2000 Iterationen betrug dabei 4,5 s.....	66
Abbildung 29: Vergleichende Untersuchung zur Bestimmung der Güte der k-Opt-Heuristik (Nähte als Punkte abstrahiert)	67
Abbildung 30: Vergleichende Untersuchung zur Bestimmung der Güte des Gesamtverfahrens	67

Abbildung 31: Verfahren zur Ermittlung aller gültigen Frames für alle Stützpunkte der Nahtelemente.....	69
Abbildung 32: Ermittlung gültiger Einstrahlwinkel zur Generierung des initialen Optikpfades. Für jeden Schweißkegel werden Punktmuster generiert, die auf ihre Erreichbarkeit hin überprüft werden. Im linken Bild sind gültige Positionen der Schweißoptik als Kreise markiert. Daraus wird eine als Startposition der Optik bestimmt (ausgefüllter Kreis). Durch das Verbinden aller derart bestimmten Punkte in der durch die TCPF-Bahn vorgegebenen Reihenfolge ist die Startlösung der Optikscherpunktsbahn definiert (rechts).	70
Abbildung 33: Verfahren zur iterativen Verkürzung der Optikscherpunktsbahn	73
Abbildung 34: Wirkungsweise des Teilverfahrens zur Verkürzung des Optikpfades.....	75
Abbildung 35: Iterativen Glättung der Optikbahn mit dem Prinzip des „Gummibandes“	77
Abbildung 36: Wirkungsweise des Teilverfahrens zur Glättung des Optikpfades anhand eines Beispiels mit 34 Schweißnähten....	78
Abbildung 37: Roboterposen unter Beibehaltung des Einstrahlwinkels	79
Abbildung 38: Verfahren zur Bestimmung der Orientierung der Optik in Strahlrichtung	80
Abbildung 39: Geschwindigkeit des Werkzeugs über dem Bauteil bei einer Schweiß- und bei einer Versatzbewegung. Ein ungünstiges Verhältnis (links) resultiert in einem hohen Geschwindigkeitssprung der Hauptachsen. Durch geeignete Anpassung der Stützpunkte (rechts) kann eine gleichmäßigere Verteilung erreicht werden.	82
Abbildung 40: Geschwindigkeitsverlauf der Roboterachsen für ein Schweißbeispiel mit 4 Nähten mit und ohne Anpassung der Optikgeschwindigkeiten	84

Abbildung 41:	Leistungsfähigkeit der entwickelten Teilverfahren; die verwendeten Schweißmuster sind in Abbildung 32 (12 Nähte) und in Abbildung 36 (34 Nähte) visualisiert.	85
Abbildung 42:	Verläufe aller Roboterachswinkel für ein Beispiel mit 34 Schweißnähten (siehe Abbildung 41) nach der Anwendung des jeweiligen Optimierungsschrittes	86
Abbildung 43:	Datenstruktur zur Beschreibung einer Laserschweißoptik mit zusätzlichem Freiheitsgrad zur Fokuspositionierung in Strahlrichtung.....	89
Abbildung 44:	Teilschritte zur Optimierung von Roboterbewegungsbahnen für Remote-Anlagen mit Zoomoptiken.....	92
Abbildung 45:	Zweistufiges Verfahren zur Ermittlung einer initialen Handwurzelpunktbahn	94
Abbildung 46:	Prinzip zur Ermittlung einer initialen Handwurzelpunktbahn für die gegebenen Optikscherpunkte	95
Abbildung 47:	Wirkungsweise des Teilverfahrens zur Glättung des Handwurzelpunktpfades, illustriert an einem Beispiel mit 34 Schweißnähten	96
Abbildung 48:	Geschwindigkeitsverlauf der Roboterachsen für ein Beispiel mit 4 Nähten (Achse 4 ohne Bewegungsanteile). Im Vergleich zum RLS mit Festoptiken (siehe Abbildung 40) kann die Geschwindigkeit der Hauptachsen deutlich effektiver geglättet werden. Das Verfahren erreicht für dieses Beispiel eine Taktzeiteinsparung von 220 ms (4,5%). ...	97
Abbildung 49:	Erreichbare Taktzeiten für die verschiedenen Anlagen- und Optimierungskonzepte für zwei Schweißbeispiele.....	99
Abbildung 50:	Einsatz der Optimierungsalgorithmen innerhalb eines aufgabenorientierten Programmiersystems.....	103
Abbildung 51:	3D-Modelle der wichtigsten Komponenten der projektierten Remote-Laserstrahlschweißanlage	105
Abbildung 52:	Charakteristik der Schweißaufgabe und der beiden projektierten Maschinenkonfigurationen	106

Abbildung 53: Erweiterung der Robotersimulationsumgebung Robcad durch ein Modul zur aufgabenorientierten Programmierung von Remote-Schweißaufgaben	107
Abbildung 54: Anpassung des Einstrahlwinkelbereichs aufgrund von Abschattungen durch die Spannvorrichtung	108
Abbildung 55: Ergebnisse des Einsatzes der Optimierungsalgorithmen und des aufgabenorientierten Programmiersystems für das Anwendungsbeispiel.....	109
Abbildung 56: Verwendete Anlagentechnik (Quelle: RIPPL 2008).....	111
Abbildung 57: Charakteristik der beiden Schweißaufgaben und der verwendeten Remote-Anlage	111
Abbildung 58: Komponenten und Funktionsweise des interaktiven Programmiersystems (nach ZAEH & VOGL 2006)	112
Abbildung 59: Kalibrierung des intuitiven Eingabesystems (links) und Definition von Schweißnähten am realen Bauteil (rechts).....	113
Abbildung 60: Aufwände und Ergebnisse zur Programmierung des Anwendungsbeispiels (jeweils separat für jedes Bauteil)	114
Abbildung 61: Wirtschaftliche Bewertung des Einsatzes von Optimierungsalgorithmen beim RLS.....	121

1 Einleitung

1.1 Laserstrahlschweißen in der industriellen Fertigung

In der industriellen Produktion hat sich die Lasertechnik als ein wichtiges Werkzeug in vielen Bereichen der Fertigung etabliert. Nach MAYER (2007) konnte die Branche der optischen Technologien durch die Erschließung neuer Anwendungsbereiche durchschnittliche jährliche Zuwachsraten von 13,5% in den letzten 10 Jahren und ein Marktvolumen für Lasersysteme von 6,1 Mrd. Euro im Jahr 2006 für sich verbuchen. Dies entspricht einem Zuwachs von 27% im Vergleich zum Jahr 2005. Zu Recht wird die Lasertechnik daher auch als Wachstums- und Schlüsseltechnologie bezeichnet (SCHMITZ 2004, KRAUS 2005).

Eines der wichtigsten Einsatzgebiete der Lasertechnik in der Fertigung ist neben dem Schneiden, dem Gravieren oder der Mikrobearbeitung das Verschweißen von Bauteilen mittels Laserstrahlung. Der Begriff „Laserstrahlschweißen“ charakterisiert ein Fügeverfahren, bei dem durch das lokale Aufschmelzen und die anschließende Abkühlung eine unlösbare Verbindung zwischen den Fügepartnern erzeugt wird. Die Erwärmung entsteht dabei durch die Absorption gebündelter elektromagnetischer Strahlung bei deren Auftreffen auf und beim Eindringen in das Werkstück. Entsprechend wird das Verfahren der Kategorie „*Schmelz-Verbindungsschweißen durch Strahl*“ nach der Einteilung in der DIN 8593-6 (1985) zugeordnet.

Das Laserstrahlschweißen zeichnet sich durch eine hohe Flexibilität, eine hohe Prozessgeschwindigkeit und durch herausragende Schweißnahteigenschaften bei gleichzeitig geringem Wärmeeintrag aus (DILTNEY 2005, S. 182). Dadurch konnte sich dieses Verfahren einen festen Platz in wichtigen Branchen, wie dem Fahrzeug- und Anlagenbau sowie in der Elektronikfertigung und Feinwerktechnik, sichern (OTTO & HOHENSTEIN 2007). In der Automobilindustrie wurde das Potential der Lasertechnik zur Substitution des Widerstandspunktschweißens im Karosseriebau erkannt. Die Widerstandsschweißpunkte werden dabei durch kurze lasergeschweißte Nahtelemente (so genannte Steppnähte) ersetzt. Dadurch kann der Wärmeeintrag und damit der thermisch induzierte Bauteilverzug im Vergleich zu langen, durchgezogenen Schweißnähten gering gehalten werden. Steppnähte weisen im Bezug auf die Bruch- und Dauerfestigkeit Vorteile gegenüber Punktschweißungen auf, wodurch die Steifigkeit von Karosseriestrukturen verbessert werden kann (EMMELMANN 2005).

Wie das in der Abbildung 1 veranschaulichte Ergebnis einer Studie der Volkswagen AG zeigt, bietet das Laserstrahlschweißen neben den genannten prozessspezifischen Vorteilen ein Einsparungspotential bezüglich der Taktzeit¹ von bis zu 50% im Vergleich zu Alternativverfahren. Die Einsparung ergibt sich zum einen aus der kürzeren Zeit pro Fügevorgang, zum anderen aus der Reduktion der Zeit zur Positionierung des Werkzeuges zwischen zwei Fügestellen. Die Verkürzung der Positionierzeit resultiert daraus, dass beim Laserstrahlschweißen nur eine einseitige Zugänglichkeit zum Werkstück gegeben sein muss. Dadurch entfallen das langwierige Umfahren des Bauteils und das Einfädeln des Werkzeugs, wie es beim Punktschweißen oder dem Clinchen notwendig ist. Welches Potential die Lasertechnik dadurch allein für die Automobilindustrie bietet, wird deutlich, wenn man sich vor Augen führt, dass jedes der jährlich weltweit produzierten 55 Millionen Fahrzeuge mit durchschnittlich 3000 Widerstandsschweißpunkten gefertigt wird (EMMELMANN 1999).

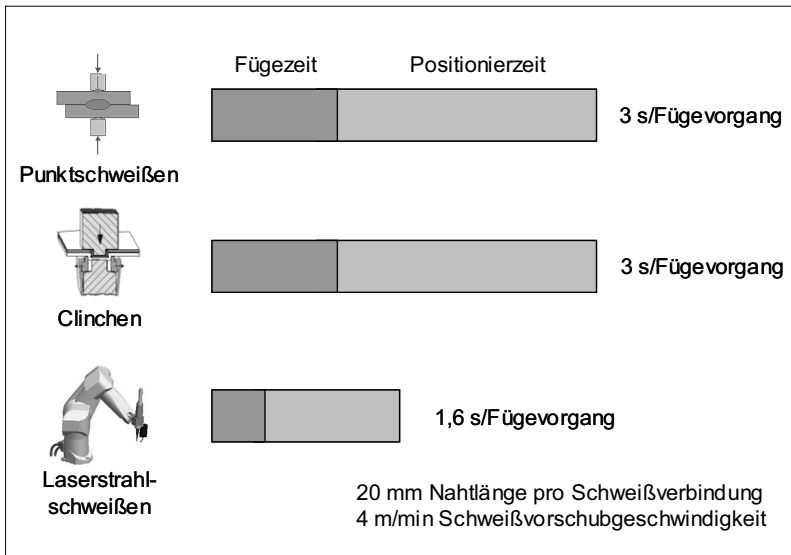


Abbildung 1: Füge- und Positionierzeitanteile bei unterschiedlichen Fügeverfahren (nach PAURA 2005)

¹ Die Taktzeit - auch Arbeitstakt oder Takt genannt - ist die Zeit, in der jeweils eine Mengeneinheit fertiggestellt wird (nach REFA 1985, S. 282).

Trotz dieser enormen Vorteile konnte das Laserstrahlschweißen sein volles Potential zur Substitution von langsameren Alternativverfahren noch nicht ausschöpfen. Der Hauptgrund dafür ist in der bislang nicht durchgängig ausreichenden Wirtschaftlichkeit von Laserschweißanlagen zu suchen. Nach EMMELMANN (1999) liegen die Investitionskosten für robotergeführte Laserstrahlschweißsysteme um den Faktor 10 bis 100 höher, als bei vergleichbaren Widerstandspunktschweißanlagen. Bis zu 60% der Investitionskosten entfallen dabei allein auf die Strahlquelle (THUMM 2005).

1.2 Steigerung der Anlagenproduktivität durch Erhöhung der Brennweite

Ein Ansatz zur Steigerung der Produktivität von Laseranlagen ist die weitere Reduzierung der Positionierzeitanteile durch die Erhöhung der Brennweite des fokussierten Laserstrahls. Ermöglicht werden lange Arbeitsabstände durch eine hohe Qualität des Laserstrahls. Neue Strahlquellenkonzepte, wie beispielsweise der Faser- oder der Scheibenlaser, erzeugen Strahlung, die aufgrund der verbesserten Strahlqualität in einer Entfernung von bis zu 1000 mm bei hinreichend kleinem Brennfleckdurchmesser fokussiert werden kann. Dies ist notwendig, um eine ausreichend hohe Leistungsdichte zum Aufschmelzen des Werkstoffes im Brennfleck zu gewährleisten.

Der Vorteil von langen Brennweiten ist, dass eine Auslenkung des Laserstrahls zu einer deutlich größeren Versatzbewegung des Brennflecks führt (siehe Abbildung 2). Da die Auslenkungsgeschwindigkeit von dem eingesetzten Handhabungssystem limitiert wird, kann die mögliche Versatzgeschwindigkeit beim Sprung des Brennflecks zwischen zwei Schweißnähten durch lange Brennweiten deutlich erhöht werden (KIRCHHOFF & EMMELMANN 2007). Ein weiterer positiver Effekt bei der Verwendung von langen Brennweiten ist die Minimierung von Verunreinigungen der Schweißoptik durch Spritzer.

Dieser Technik, die auch als **Remote²-Laserstrahlschweißen** (RLS) bezeichnet wird, bescheinigen Anwender aus der Automobilindustrie ein enormes Potential zur Produktivitätssteigerung für das industrielle Fügen (HAMMER & BROCKMANN 2006, HORNIG 2002). Das Kunstwort „*Remote-Laserstrahlschweißen*“ charakterisiert dabei die Verwendung von Schweißanla-

² Remote: engl. für weit.

gen, die über Brennweiten von mehr als 300 mm verfügen (HAMMER & BROCKMANN 2006, THOMY et al. 2004). Bei Verwendung von Brennweiten unter 300 mm wird vom konventionellen Laserstrahlschweißen gesprochen.

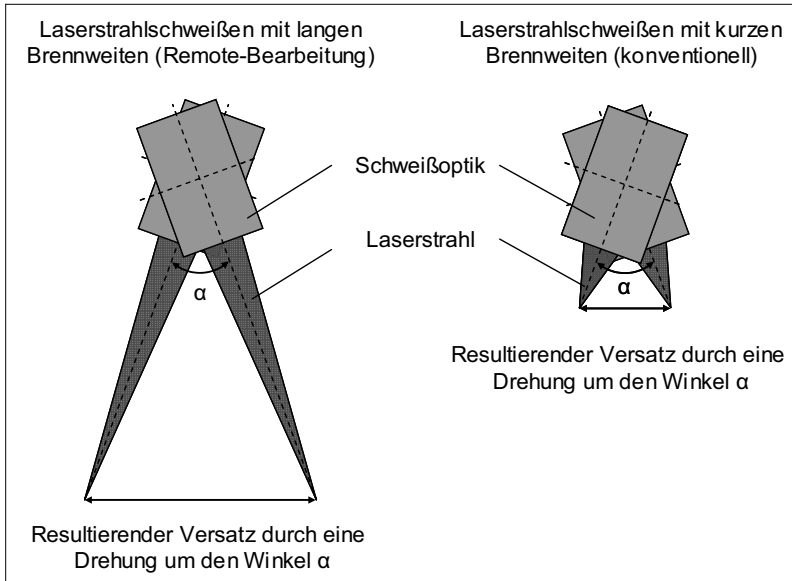


Abbildung 2: Vorteil des Remote-Laserstrahlschweißens: Höhere Versatzgeschwindigkeit bei gleichem Versatzwinkel

1.3 Problematik der zeitoptimalen Programmierung

Die Positionierung von Laserstrahlung erfolgt für 3D-Anwendungen üblicherweise durch einen Industrieroboter, der eine Schweißoptik relativ zum Bauteil bewegt. Industrieroboter verfügen im Regelfall über sechs einstellbare Achsen, die eine freie Positionierung der Lage und Orientierung des Brennflecks im Raum ermöglichen. Schweißoptiken für die Remote-Bearbeitung besitzen meist zusätzliche Mechanismen zur Strahlablenkung. Beispielsweise werden zur Verbesserung der 3D-Fähigkeit von Remote-Anlagen Optiken eingesetzt, die eine variable Einstellung der Brennweite ermöglichen. Damit verfügen Remote-Laseranlagen in der Regel über mehr als sechs manipulatorische Freiheitsgrade zur Strahlpositionierung. Weitere Freiheitsgrade zur Positionierung des Laserstrahls resultieren aus der Toleranz des Schweißprozesses gegenüber Lage- und

Orientierungsvariationen. Beispielsweise können hochwertige Fügeverbindungen auch bei Einfallrichtungen der Laserstrahlung erzeugt werden, die nicht senkrecht zur Bauteiloberfläche liegen (OEFELE et al. 2008, KLING 2004).

Die Positionierung der Laserstrahlung am Bauteil kann somit durch eine Vielzahl an Freiheitsgraden realisiert werden, die sich sowohl aus der manipulatorischen Kette der Remote-Anlage als auch aus dem Schweißprozess ergeben. Damit ist die Zuordnung zwischen einer Nahtposition und den notwendigen Gelenkwinkelstellungen des Schweißroboters nicht eindeutig. Vielmehr existiert für eine gegebene Schweißnahtlage ein unendlich großer Lösungsraum zur Positionierung der Schweißoptik relativ zum Bauteil. Im Allgemeinen ist dieser Umstand für die Programmierung einer einzelnen Schweißnaht als sehr positiv zu bewerten, da sehr leicht **eine** gültige Roboterpose gefunden werden kann. Problematisch ist allerdings die Programmierung von komplexen Schweißaufgaben, bei denen die Taktzeit und damit die Zeit zur Positionierung des Brennflecks zwischen zwei Nahtelementen möglichst gering gehalten werden muss.

Da bereits für eine einzelne Nahtposition unendlich viele Optikpositionen eingestellt werden können, ergeben sich für mehrere Nahtelemente auch unendlich viele mögliche Bewegungsbahnen der Schweißoptik. Dies verdeutlicht Abbildung 3 anhand eines einfachen Schweißbeispiels, bei dem der Einstrahlwinkel und die Brennweite der Laserstrahlung innerhalb gewisser Grenzen variabel einstellbar sind. Für jede gewählte Lösung beansprucht der Schweißroboter eine bestimmte Zeit zum Abfahren der Bewegungsbahn.

Die Programmierung von Remote-Anlagen stellt heute den Anwender vor eine enorme Herausforderung. Zwar ist es, wie oben erläutert, aufgrund des unendlich großen Lösungsraums relativ einfach, **eine** Bewegungsbahn zu programmieren. Dies garantiert allerdings nicht, die Verschweißung in der kleinsten möglichen Zeit herzustellen. Zur Verbesserung der Taktzeit stehen heute lediglich sehr eingeschränkte Methoden zur Verfügung. Diese basieren im Wesentlichen darauf, Bewegungsbahnen durch die manuelle Modifikation von einzelnen Stützpunkten sukzessive zu verbessern. Für komplexe industrielle Schweißaufgaben, die üblicherweise aus 50 und mehr Schweißnähten bestehen, sind diese konventionellen Programmiermethoden jedoch ungeeignet und garantieren nicht die Ermittlung von zeitoptimalen Bewegungsbahnen.

Im industriellen Umfeld, welches fast ausschließlich durch manuelle Roboterprogrammierung mit konventionellen Methoden gekennzeichnet ist, besteht daher

ein enormer Bedarf, die Planung und Optimierung einer Roboterbewegung für das RLS soweit wie möglich zu automatisieren. Dazu sind Berechnungsalgorithmen notwendig, die zeitoptimale Bewegungsbahnen ermitteln können.

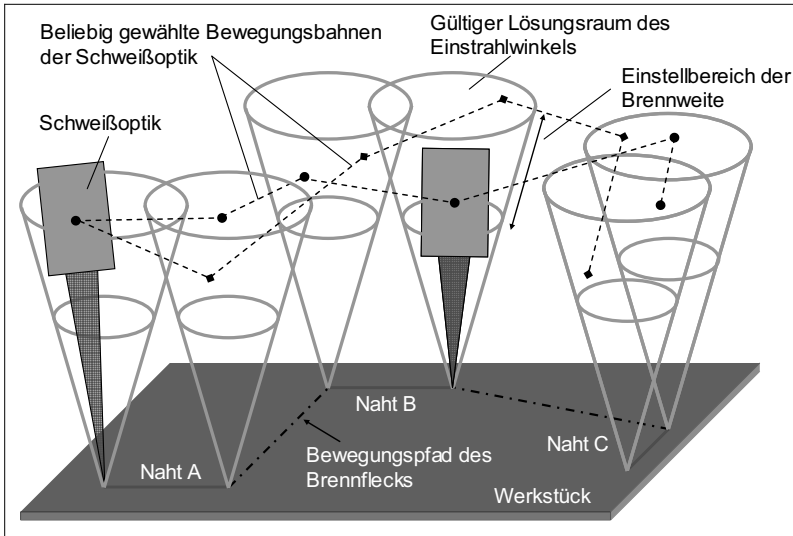


Abbildung 3: Problematik bei der taktzeitoptimalen Programmierung von Remote-Laseranlagen. Aufgrund der manipulatorischen und prozessspezifischen Freiheitsgrade sind unendlich viele Bewegungsbahnen der Schweißoptik realisierbar. Für jede Bahn benötigt der Roboter eine bestimmte Zeit zum Durchfahren.

1.4 Zielsetzung und Vorgehensweise

Um das volle Potential der Remote-Technologie auszuschöpfen, sind effiziente Methoden zur taktzeitoptimalen Programmierung von Remote-Anlagen notwendig. Diese Arbeit setzt sich zum Ziel, Algorithmen zu entwickeln und zu testen, die innerhalb der manipulatorischen und prozessspezifischen Freiheitsgrade Roboterbewegungsbahnen ermitteln, die möglichst kleine Zeitanteile für die Versatzbewegung des Schweißroboters zwischen den Nahtelementen beanspruchen. Dabei werden Berechnungsmethoden für roboterbasierte Schweißanlagen, die über Optikwerkzeuge mit festen und variablen Brennweiten verfügen, betrachtet.

Die Vorgehensweise, um die Zielsetzung der Arbeit zu erreichen, gliedert sich in drei Hauptabschnitte. Die Abbildung 4 zeigt den Aufbau der Arbeit.

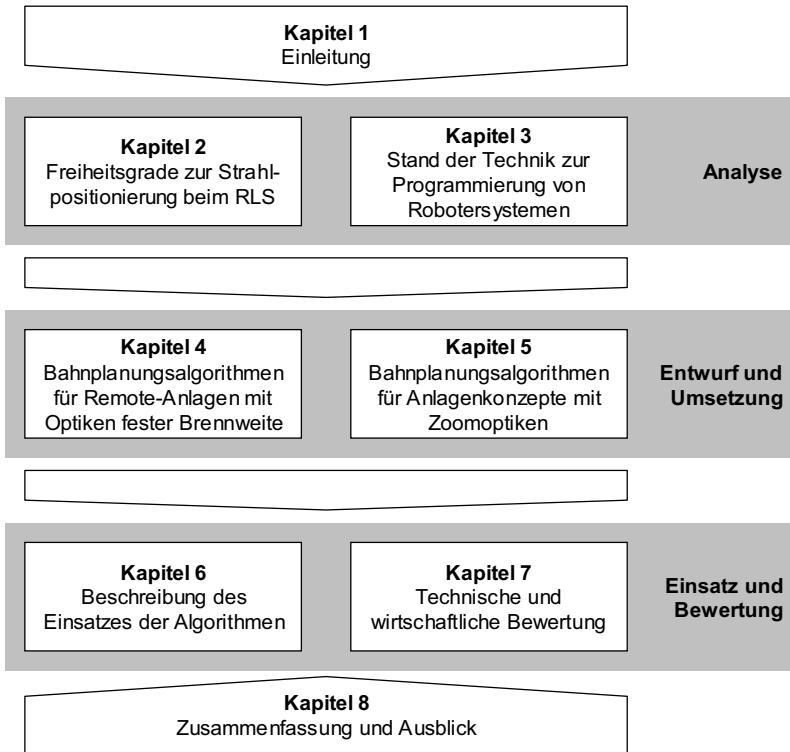


Abbildung 4: Aufbau der Arbeit

Der erste Hauptabschnitt bildet die Analysephase dieser Arbeit. Dabei erfolgt im **Kapitel 2** zunächst die Identifikation der Freiheitsgrade zur Strahlpositionierung beim RLS, die zur Bewegungsoptimierung herangezogen werden können. Es werden dabei sowohl existierende Anlagenklassen als auch der Schweißprozess selbst beleuchtet. Darauf aufbauend werden im **Kapitel 3** die heute bekannten Methoden zur taktzeitoptimalen Programmierung von Robotersystemen untersucht. Das Kapitel beinhaltet neben den wichtigsten Grundlagen zur Robotik eine Analyse heute vorhandener Bahnplanungsansätze. Anhand der Ergebnisse dieses Abschnittes wird die Ableitung des Handlungsbedarfs für diese Arbeit vorgenommen.

Der zweite Hauptabschnitt beinhaltet den Entwurf und die Implementierung von Optimierungsalgorithmen. Das **Kapitel 4** behandelt Anlagenklassen, die über eine feste Optikkbrennweite verfügen. Der Ansatz zur Taktzeitreduktion ist dabei die Glättung der Schwerpunktbahn der Schweißoptik. Das **Kapitel 5** analysiert, inwieweit die entwickelten Berechnungsmethoden auf Anlagen mit variabler Optikkbrennweite übertragbar sind. Es werden modifizierte Algorithmen vorgestellt, die zum Ziel haben, eine Taktzeitoptimierung dieser Anlagenklasse durch die Glättung der Handwurzelpunktbeugung des Roboters zu erreichen.

Der dritte Abschnitt beschreibt mögliche Einsatzmethoden der Algorithmen und ermittelt die Leistungsfähigkeit der entwickelten Systeme. Dabei wird im **Kapitel 6** eine aufgabenorientierte Programmierumgebung vorgestellt, die den Einsatz der Berechnungsalgorithmen sowohl für die Anlagenplanung als auch für die operative Anlagenprogrammierung ermöglicht. Anhand zweier Beispiele werden Vergleiche zu den heute bekannten konventionellen Programmiermethoden gezogen. Diese Daten bilden die Grundlage für eine technische und wirtschaftliche Bewertung der Lösungsansätze in **Kapitel 7**.

Den Abschluss der Arbeit bilden die Zusammenfassung der gewonnen Erkenntnisse und der Ausblick in **Kapitel 8**.

iwb Forschungsberichte Band 1–121

Herausgeber: Prof. Dr.-Ing. J. Milberg und Prof. Dr.-Ing. G. Reinhart, Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften der Technischen Universität München

Band 1–121 erschienen im Springer Verlag, Berlin, Heidelberg und sind im Erscheinungsjahr und den folgenden drei Kalenderjahren erhältlich im Buchhandel oder durch Lange & Springer, Otto-Suhr-Allee 26–28, 10585 Berlin

- 1 *Streifinger, E.*
Beitrag zur Sicherung der Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit moderner Fertigungsmittel
1986 · 72 Abb. · 167 Seiten · ISBN 3-540-16391-3
- 2 *Fuchsberger, A.*
Untersuchung der spanenden Bearbeitung von Knochen
1986 · 90 Abb. · 175 Seiten · ISBN 3-540-16392-1
- 3 *Maier, C.*
Montageautomatisierung am Beispiel des Schraubens mit Industrierobotern
1986 · 77 Abb. · 144 Seiten · ISBN 3-540-16393-X
- 4 *Summer, H.*
Modell zur Berechnung verzweigter Antriebsstrukturen
1986 · 74 Abb. · 197 Seiten · ISBN 3-540-16394-8
- 5 *Simon, W.*
Elektrische Vorschubantriebe an NC-Systemen
1986 · 141 Abb. · 198 Seiten · ISBN 3-540-16693-9
- 6 *Büchs, S.*
Analytische Untersuchungen zur Technologie der Kugelbearbeitung
1986 · 74 Abb. · 173 Seiten · ISBN 3-540-16694-7
- 7 *Hunzinger, I.*
Schneiderdierte Oberflächen
1986 · 79 Abb. · 162 Seiten · ISBN 3-540-16695-5
- 8 *Pilland, U.*
Echtzeit-Kollisionsschutz an NC-Drehmaschinen
1986 · 54 Abb. · 127 Seiten · ISBN 3-540-17274-2
- 9 *Barthelmeß, P.*
Montagegerechtes Konstruieren durch die Integration von Produkt- und Montageprozeßgestaltung
1987 · 70 Abb. · 144 Seiten · ISBN 3-540-18120-2
- 10 *Reithofer, N.*
Nutzungssicherung von flexibel automatisierten Produktionsanlagen
1987 · 84 Abb. · 176 Seiten · ISBN 3-540-18440-6
- 11 *Diess, H.*
Rechnerunterstützte Entwicklung flexibel automatisierter Montageprozesse
1988 · 56 Abb. · 144 Seiten · ISBN 3-540-18799-5
- 12 *Reinhart, G.*
Flexible Automatisierung der Konstruktion und Fertigung elektrischer Leitungssätze
1988 · 112 Abb. · 197 Seiten · ISBN 3-540-19003-1
- 13 *Bürstner, H.*
Investitionsentscheidung in der rechnerintegrierten Produktion
1988 · 74 Abb. · 190 Seiten · ISBN 3-540-19099-6
- 14 *Groha, A.*
Universelles Zellenrechnerkonzept für flexible Fertigungssysteme
1988 · 74 Abb. · 153 Seiten · ISBN 3-540-19182-8
- 15 *Riese, K.*
Klippsmontage mit Industrierobotern
1988 · 92 Abb. · 150 Seiten · ISBN 3-540-19183-6
- 16 *Lutz, P.*
Leitsysteme für rechnerintegrierte Auftragsabwicklung
1988 · 44 Abb. · 144 Seiten · ISBN 3-540-19260-3
- 17 *Klippel, C.*
Mobiler Roboter im Materialfluß eines flexiblen Fertigungssystems
1988 · 86 Abb. · 164 Seiten · ISBN 3-540-50468-0
- 18 *Rascher, R.*
Experimentelle Untersuchungen zur Technologie der Kugelherstellung
1989 · 110 Abb. · 200 Seiten · ISBN 3-540-51301-9
- 19 *Heusler, H.-J.*
Rechnerunterstützte Planung flexibler Montage-systeme
1989 · 43 Abb. · 154 Seiten · ISBN 3-540-51723-5
- 20 *Kirchknopf, P.*
Ermittlung modaler Parameter aus Übertragungsfrequenzgängen
1989 · 57 Abb. · 157 Seiten · ISBN 3-540-51724-3
- 21 *Saverer, Ch.*
Beitrag für ein Zerspanprozeßmodell Metallbandsägen
1990 · 89 Abb. · 166 Seiten · ISBN 3-540-51868-1
- 22 *Karstedt, K.*
Positionsbestimmung von Objekten in der Montage- und Fertigungsautomatisierung
1990 · 92 Abb. · 157 Seiten · ISBN 3-540-51879-7
- 23 *Peiker, St.*
Entwicklung eines integrierten NC-Planungssystems
1990 · 66 Abb. · 180 Seiten · ISBN 3-540-51880-0
- 24 *Schugmann, R.*
Nachgiebige Werkzeugaufhängungen für die automatische Montage
1990 · 71 Abb. · 155 Seiten · ISBN 3-540-52138-0
- 25 *Witbe, P.*
Simulation als Werkzeug in der Handhabungstechnik
1990 · 125 Abb. · 178 Seiten · ISBN 3-540-52231-X
- 26 *Eibelshäuser, P.*
Rechnerunterstützte experimentelle Modalanalyse mittels gestufter Sinusanregung
1990 · 79 Abb. · 156 Seiten · ISBN 3-540-52451-7
- 27 *Prasch, J.*
Computerunterstützte Planung von chirurgischen Eingriffen in der Orthopädie
1990 · 113 Abb. · 164 Seiten · ISBN 3-540-52543-2

- 28 *Teich, K.*
Prozesskommunikation und Rechnerverbund in der Produktion
1990 · 52 Abb. · 158 Seiten · ISBN 3-540-52764-8
- 29 *Pfrang, W.*
Rechnergestützte und graphische Planung manueller und teilautomatisierter Arbeitsplätze
1990 · 59 Abb. · 153 Seiten · ISBN 3-540-52829-6
- 30 *Tauber, A.*
Modellbildung kinematischer Strukturen als Komponente der Montageplanung
1990 · 93 Abb. · 190 Seiten · ISBN 3-540-52911-X
- 31 *Jäger, A.*
Systematische Planung komplexer Produktionssysteme
1991 · 75 Abb. · 148 Seiten · ISBN 3-540-53021-5
- 32 *Hartberger, H.*
Wissensbasierte Simulation komplexer Produktionssysteme
1991 · 58 Abb. · 154 Seiten · ISBN 3-540-53326-5
- 33 *Tuzcek, H.*
Inspektion von Karosserieteilen auf Risse und Einschnürungen mittels Methoden der Bildverarbeitung
1992 · 125 Abb. · 179 Seiten · ISBN 3-540-53965-4
- 34 *Fischbacher, J.*
Planungsstrategien zur störungstechnischen Optimierung von Reinraum-Fertigungsgeräten
1991 · 60 Abb. · 166 Seiten · ISBN 3-540-54027-X
- 35 *Moser, O.*
3D-Echtzeitkollisionsschutz für Drehmaschinen
1991 · 66 Abb. · 177 Seiten · ISBN 3-540-54078-8
- 36 *Naber, H.*
Aufbau und Einsatz eines mobilen Roboters mit unabhängiger Lokomotions- und Manipulationskomponente
1991 · 85 Abb. · 139 Seiten · ISBN 3-540-54216-7
- 37 *Kupec, Th.*
Wissensbasiertes Leitsystem zur Steuerung flexibler Fertigungsanlagen
1991 · 68 Abb. · 150 Seiten · ISBN 3-540-54260-4
- 38 *Maulhardt, U.*
Dynamisches Verhalten von Kreissägen
1991 · 109 Abb. · 159 Seiten · ISBN 3-540-54365-1
- 39 *Götz, R.*
Strukturierte Planung flexibel automatisierter Montagesysteme für flächige Bauteile
1991 · 86 Abb. · 201 Seiten · ISBN 3-540-54401-1
- 40 *Koepfer, Th.*
3D-grafisch-interaktive Arbeitsplanung - ein Ansatz zur Aufhebung der Arbeitsteilung
1991 · 74 Abb. · 126 Seiten · ISBN 3-540-54436-4
- 41 *Schmidt, M.*
Konzeption und Einsatzplanung flexibel automatisierter Montagesysteme
1992 · 108 Abb. · 168 Seiten · ISBN 3-540-55025-9
- 42 *Burger, C.*
Produktionsregelung mit entscheidungsunterstützenden Informationssystemen
1992 · 94 Abb. · 186 Seiten · ISBN 3-540-55187-5
- 43 *Hoßmann, J.*
Methodik zur Planung der automatischen Montage von nicht formstabilen Bauteilen
1992 · 73 Abb. · 168 Seiten · ISBN 3-540-5520-0
- 44 *Petry, M.*
Systematik zur Entwicklung eines modularen Programmabkaskens für robotergeführte Klebprozesse
1992 · 106 Abb. · 139 Seiten · ISBN 3-540-55374-6
- 45 *Schönecker, W.*
Integrierte Diagnose in Produktionszellen
1992 · 87 Abb. · 159 Seiten · ISBN 3-540-55375-4
- 46 *Bick, W.*
Systematische Planung hybrider Montagesysteme unter Berücksichtigung der Ermittlung des optimalen Automatisierungsgrades
1992 · 70 Abb. · 156 Seiten · ISBN 3-540-55377-0
- 47 *Gebauer, L.*
Prozuntersuchungen zur automatisierten Montage von optischen Linsen
1992 · 84 Abb. · 150 Seiten · ISBN 3-540-55378-9
- 48 *Schröder, N.*
Erstellung eines 3D-Simulationssystems zur Reduzierung von Rüstzeiten bei der NC-Bearbeitung
1992 · 103 Abb. · 161 Seiten · ISBN 3-540-55431-9
- 49 *Wisbacher, J.*
Methoden zur rationellen Automatisierung der Montage von Schnellbefestigungselementen
1992 · 77 Abb. · 176 Seiten · ISBN 3-540-55512-9
- 50 *Garnich, F.*
Laserbearbeitung mit Robotern
1992 · 110 Abb. · 184 Seiten · ISBN 3-540-55513-7
- 51 *Eubert, P.*
Digitale Zustandsregelung elektrischer Vorschubantriebe
1992 · 89 Abb. · 159 Seiten · ISBN 3-540-44441-2
- 52 *Glaas, W.*
Rechnerintegrierte Kabelsatzfertigung
1992 · 67 Abb. · 140 Seiten · ISBN 3-540-55749-0
- 53 *Helm, H.J.*
Ein Verfahren zur On-Line Fehlererkennung und Diagnose
1992 · 60 Abb. · 153 Seiten · ISBN 3-540-55750-4
- 54 *Lang, Ch.*
Wissensbasierte Unterstützung der Verfügbarkeitsplanung
1992 · 75 Abb. · 150 Seiten · ISBN 3-540-55751-2
- 55 *Schuster, G.*
Rechnergestütztes Planungssystem für die flexibel automatisierte Montage
1992 · 67 Abb. · 135 Seiten · ISBN 3-540-55830-6
- 56 *Bamm, H.*
Ein Ziel- und Kennzahlensystem zum Investitionscontrolling komplexer Produktionssysteme
1992 · 87 Abb. · 195 Seiten · ISBN 3-540-55964-7
- 57 *Wendt, A.*
Qualitätssicherung in flexibel automatisierten Montagesystemen
1992 · 74 Abb. · 179 Seiten · ISBN 3-540-56044-0
- 58 *Hansmaier, H.*
Rechnergestütztes Verfahren zur Geräuschminderung
1993 · 67 Abb. · 156 Seiten · ISBN 3-540-56053-2
- 59 *Dilling, U.*
Planung von Fertigungssystemen unterstützt durch Wirtschaftssimulationen
1993 · 72 Abb. · 146 Seiten · ISBN 3-540-56307-5

- 60 *Strohmayr, R.*
Rechnergestützte Auswahl und Konfiguration von Zubringeinrichtungen
1993 · 80 Abb. · 152 Seiten · ISBN 3-540-56652-X
- 61 *Glas, J.*
Standardisierter Aufbau anwendungsspezifischer Zellenrechnersoftware
1993 · 80 Abb. · 145 Seiten · ISBN 3-540-56689-5
- 62 *Stetter, R.*
Rechnergestützte Simulationwerkzeuge zur Effizienzsteigerung des Industrierobereinsatzes
1994 · 91 Abb. · 146 Seiten · ISBN 3-540-56889-1
- 63 *Dirndorfer, A.*
Robotersysteme zur förderbandsynchronen Montage
1993 · 76 Abb. · 144 Seiten · ISBN 3-540-57031-4
- 64 *Wiedemann, M.*
Simulation des Schwingungsverhaltens spanender Werkzeugmaschinen
1993 · 81 Abb. · 137 Seiten · ISBN 3-540-57177-9
- 65 *Woenckhaus, Ch.*
Rechnergestütztes System zur automatisierten 3D-Layoutoptimierung
1994 · 81 Abb. · 140 Seiten · ISBN 3-540-57284-8
- 66 *Kummelsteiner, G.*
3D-Bewegungssimulation als integratives Hilfsmittel zur Planung manueller Montagesysteme
1994 · 62 Abb. · 146 Seiten · ISBN 3-540-57535-9
- 67 *Kugelmann, F.*
Einsatz nachgiebiger Elemente zur wirtschaftlichen Automatisierung von Produktionssystemen
1993 · 76 Abb. · 144 Seiten · ISBN 3-540-57549-9
- 68 *Schwarz, H.*
Simulationsgestützte CAD/CAM-Kopplung für die 3D-Laserbearbeitung mit integrierter Sensorik
1994 · 96 Abb. · 148 Seiten · ISBN 3-540-57577-4
- 69 *Viethen, U.*
Systematik zum Prüfen in flexiblen Fertigungssystemen
1994 · 70 Abb. · 142 Seiten · ISBN 3-540-57794-7
- 70 *Seehuber, M.*
Automatische Inbetriebnahme geschwindigkeitsadaptiver Zustandsregler
1994 · 72 Abb. · 155 Seiten · ISBN 3-540-57896-X
- 71 *Amann, W.*
Eine Simulationsumgebung für Planung und Betrieb von Produktionssystemen
1994 · 71 Abb. · 129 Seiten · ISBN 3-540-57924-9
- 72 *Schöpf, M.*
Rechnergestütztes Projektinformations- und Koordinationssystem für das Fertigungsvorfeld
1997 · 63 Abb. · 130 Seiten · ISBN 3-540-58052-2
- 73 *Welling, A.*
Effizienter Einsatz bildgebender Sensoren zur Flexibilisierung automatisierter Handhabungsvorgänge
1994 · 66 Abb. · 139 Seiten · ISBN 3-540-580-0
- 74 *Zetlmayer, H.*
Verfahren zur simulationsgestützten Produktionsregelung in der Einzel- und Kleinserienproduktion
1994 · 62 Abb. · 143 Seiten · ISBN 3-540-58134-0
- 75 *Lindl, M.*
Auftragsleittechnik für Konstruktion und Arbeitsplanung
1994 · 66 Abb. · 147 Seiten · ISBN 3-540-58221-5
- 76 *Zipper, B.*
Das integrierte Betriebsmittelwesen · Baustein einer flexiblen Fertigung
1994 · 64 Abb. · 147 Seiten · ISBN 3-540-58222-3
- 77 *Rath, P.*
Programmierung und Simulation von Zellenabläufen in der Arbeitsvorbereitung
1995 · 51 Abb. · 130 Seiten · ISBN 3-540-58223-1
- 78 *Engel, A.*
Strömungstechnische Optimierung von Produktionssystemen durch Simulation
1994 · 69 Abb. · 160 Seiten · ISBN 3-540-58258-4
- 79 *Zah, M. F.*
Dynamisches Prozeßmodell Kreissägen
1995 · 95 Abb. · 186 Seiten · ISBN 3-540-58624-5
- 80 *Zwanner, N.*
Technologisches Prozeßmodell für die Kugelschleifbearbeitung
1995 · 65 Abb. · 150 Seiten · ISBN 3-540-58634-2
- 81 *Romanow, P.*
Konstruktionsbegleitende Kalkulation von Werkzeugmaschinen
1995 · 66 Abb. · 151 Seiten · ISBN 3-540-58771-3
- 82 *Kahlenberg, R.*
Integrierte Qualitätssicherung in flexiblen Fertigungszellen
1995 · 71 Abb. · 136 Seiten · ISBN 3-540-58772-1
- 83 *Huber, A.*
Arbeitsfolgenplanung mehrstufiger Prozesse in der Hartbearbeitung
1995 · 87 Abb. · 152 Seiten · ISBN 3-540-58773-X
- 84 *Birkel, G.*
Aufwandsminimierter Wissenserwerb für die Diagnose in flexiblen Produktionssystemen
1995 · 64 Abb. · 137 Seiten · ISBN 3-540-58869-8
- 85 *Simon, D.*
Fertigungsregelung durch zielgrößenorientierte Planung und logistisches Störungsmanagement
1995 · 77 Abb. · 132 Seiten · ISBN 3-540-58942-2
- 86 *Nedeljkovic-Groha, V.*
Systematische Planung anwendungsspezifischer Materialflußsteuerungen
1995 · 94 Abb. · 188 Seiten · ISBN 3-540-58953-8
- 87 *Rackland, M.*
Flexibilisierung der automatischen Teilbereitstellung in Montageanlagen
1995 · 83 Abb. · 168 Seiten · ISBN 3-540-58999-6
- 88 *Linner, St.*
Konzept einer integrierten Produktentwicklung
1995 · 67 Abb. · 168 Seiten · ISBN 3-540-59016-1
- 89 *Eder, Th.*
Integrierte Planung von Informationssystemen für rechnergestützte Produktionssysteme
1995 · 62 Abb. · 150 Seiten · ISBN 3-540-59084-6
- 90 *Deutsche, U.*
Prozeßorientierte Organisation der Auftragsentwicklung in mittelständischen Unternehmen
1995 · 80 Abb. · 188 Seiten · ISBN 3-540-59337-3
- 91 *Dieterle, A.*
Recyclingintegrierte Produktentwicklung
1995 · 68 Abb. · 146 Seiten · ISBN 3-540-60120-1

- 92 *Hechl, Chr.*
Personalorientierte Montageplanung für komplexe und variantenreiche Produkte
1995 · 73 Abb. · 158 Seiten · ISBN 3-540-60325-5
- 93 *Albertz, F.*
Dynamikgerechter Entwurf von Werkzeugmaschinen - Gestellstrukturen
1995 · 83 Abb. · 156 Seiten · ISBN 3-540-60608-8
- 94 *Trunzer, W.*
Strategien zur On-Line Bahnplanung bei Robotern mit 3D-Konturfolgesensoren
1996 · 101 Abb. · 164 Seiten · ISBN 3-540-60961-X
- 95 *Fichtmüller, N.*
Rationalisierung durch flexible, hybride Montagesysteme
1996 · 83 Abb. · 145 Seiten · ISBN 3-540-60960-1
- 96 *Trucks, V.*
Rechnergestützte Beurteilung von Getriebestrukturen in Werkzeugmaschinen
1996 · 64 Abb. · 141 Seiten · ISBN 3-540-60599-8
- 97 *Schäffer, G.*
Systematische Integration adaptiver Produktionssysteme
1996 · 71 Abb. · 170 Seiten · ISBN 3-540-60958-X
- 98 *Koch, M. R.*
Autonome Fertigungszellen - Gestaltung, Steuerung und integrierte Störungsbehandlung
1996 · 67 Abb. · 138 Seiten · ISBN 3-540-61104-5
- 99 *Moctezuma de la Barrera, J.L.*
Ein durchgängiges System zur computer- und rechnergestützten Chirurgie
1996 · 99 Abb. · 175 Seiten · ISBN 3-540-61145-2
- 100 *Geuer, A.*
Einsatzpotential des Rapid Prototyping in der Produktentwicklung
1996 · 84 Abb. · 154 Seiten · ISBN 3-540-61495-8
- 101 *Ebner, C.*
Ganzheitliches Verfügbarkeits- und Qualitätsmanagement unter Verwendung von Felddaten
1996 · 67 Abb. · 132 Seiten · ISBN 3-540-61678-0
- 102 *Pischelsrieder, K.*
Steuerung autonomer mobiler Roboter in der Produktion
1996 · 74 Abb. · 171 Seiten · ISBN 3-540-61714-0
- 103 *Kähler, R.*
Disposition und Materialbereitstellung bei komplexen variantenreichen Kleinprodukten
1997 · 62 Abb. · 177 Seiten · ISBN 3-540-62024-9
- 104 *Feldmann, Ch.*
Eine Methode für die integrierte rechnergestützte Montageplanung
1997 · 71 Abb. · 163 Seiten · ISBN 3-540-62059-1
- 105 *Lehmann, H.*
Integrierte Materialfluß- und Layoutplanung durch Kopplung von CAD- und Ablaufsimulationssystem
1997 · 96 Abb. · 191 Seiten · ISBN 3-540-62202-0
- 106 *Wagner, M.*
Steuerungintegrierte Fehlerbehandlung für maschinennahe Abläufe
1997 · 94 Abb. · 164 Seiten · ISBN 3-540-62656-5
- 107 *Lorenzen, J.*
Simulationsgestützte Kostenanalyse in produktorientierten Fertigungsstrukturen
1997 · 63 Abb. · 129 Seiten · ISBN 3-540-62794-4
- 108 *Krönert, U.*
Systematik für die rechnergestützte Ähnlichkeitsuche und Standardisierung
1997 · 53 Abb. · 127 Seiten · ISBN 3-540-63338-3
- 109 *Pfersdorf, I.*
Entwicklung eines systematischen Vorgehens zur Organisation des industriellen Service
1997 · 74 Abb. · 172 Seiten · ISBN 3-540-63615-3
- 110 *Kuba, R.*
Informations- und kommunikationstechnische Integration von Menschen in der Produktion
1997 · 77 Abb. · 155 Seiten · ISBN 3-540-63642-0
- 111 *Kaiser, J.*
Vernetztes Gestalten von Produkt und Produktionsprozess mit Produktmodellen
1997 · 67 Abb. · 139 Seiten · ISBN 3-540-63999-3
- 112 *Geyer, M.*
Flexibles Planungssystem zur Berücksichtigung ergonomischer Aspekte bei der Produkt- und Arbeitssystemgestaltung
1997 · 85 Abb. · 154 Seiten · ISBN 3-540-64195-5
- 113 *Martin, C.*
Produktionsregelung - ein modularer, modellbasierter Ansatz
1998 · 73 Abb. · 162 Seiten · ISBN 3-540-64401-6
- 114 *Löffler, Th.*
Akustische Überwachung automatisierter Fügeprozesse
1998 · 85 Abb. · 136 Seiten · ISBN 3-540-64511-X
- 115 *Lindnermaier, R.*
Qualitätsorientierte Entwicklung von Montagesystemen
1998 · 84 Abb. · 164 Seiten · ISBN 3-540-64686-8
- 116 *Koehler, J.*
Präzeorientierte Teamstrukturen in Betrieben mit Großserienfertigung
1998 · 75 Abb. · 185 Seiten · ISBN 3-540-65037-7
- 117 *Schuller, R. W.*
Leitfäden zum automatisierten Auftrag von hochviskosen Dichtmassen
1999 · 76 Abb. · 162 Seiten · ISBN 3-540-65320-1
- 118 *Debuschewitz, M.*
Integrierte Methodik und Werkzeuge zur herstellungsorientierten Produktentwicklung
1999 · 104 Abb. · 169 Seiten · ISBN 3-540-65350-3
- 119 *Bauer, L.*
Strategien zur rechnergestützten Offline-Programmierung von 3D-Laseranlagen
1999 · 98 Abb. · 145 Seiten · ISBN 3-540-65382-1
- 120 *Pfob, E.*
Modellgestützte Arbeitsplanung bei Fertigungsmaschinen
1999 · 69 Abb. · 154 Seiten · ISBN 3-540-65525-5
- 121 *Spitznagel, J.*
Erfahrungsgleitetete Planung von Laseranlagen
1999 · 63 Abb. · 156 Seiten · ISBN 3-540-65896-3

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@utz.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 ins 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 Kleb/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 Dichtungs montage und zum Dichtmittelauftrag**
110 Seiten · ISBN 3-931327-26-4
- 27 **Rapid Prototyping - Mit neuen Technologien schnell vom Entwurf zum Serienprodukt**
111 Seiten · ISBN 3-931327-27-2
- 28 **Rapid Tooling - Mit neuen Technologien schnell vom Entwurf zum Serienprodukt**
154 Seiten · ISBN 3-931327-28-0
- 29 **Installationstechnik an Werkzeugmaschinen - Abschlußseminar**
156 Seiten · ISBN 3-931327-29-9
- 30 **Nicht erschienen – wird nicht erscheinen**
- 31 **Engineering Data Management (EDM) - Erfahrungsberichte und Trends**
183 Seiten · ISBN 3-931327-31-0
- 32 **Nicht erschienen – wird nicht erscheinen**
- 33 **3D-CAD - Mehr als nur eine dritte Dimension**
181 Seiten · ISBN 3-931327-33-7
- 34 **Laser in der Produktion - Technologische Randbedingungen für den wirtschaftlichen Einsatz**
102 Seiten · ISBN 3-931327-34-5
- 35 **Ablaufsimulation - Anlagen effizient und sicher planen und betreiben**
129 Seiten · ISBN 3-931327-35-3
- 36 **Moderne Methoden zur Montageplanung - Schlüssel für eine effiziente Produktion**
124 Seiten · ISBN 3-931327-36-1
- 37 **Wettbewerbsfaktor Verfügbarkeit - Produktivitätssteigerung durch technische und organisatorische Ansätze**
95 Seiten · ISBN 3-931327-37-X
- 38 **Rapid Prototyping - Effizienter Einsatz von Modellen in der Produktentwicklung**
128 Seiten · ISBN 3-931327-38-8
- 39 **Rapid Tooling - Neue Strategien für den Werkzeug- und Formenbau**
130 Seiten · ISBN 3-931327-39-6
- 40 **Erfolgreich kooperieren in der produzierenden Industrie - Flexibler und schneller mit modernen Kooperationen**
160 Seiten · ISBN 3-931327-40-X
- 41 **Innovative Entwicklung von Produktionsmaschinen**
146 Seiten · ISBN 3-89675-041-0
- 42 **Stückzahlflexible Montagesysteme**
139 Seiten · ISBN 3-89675-042-9
- 43 **Produktivität und Verfügbarkeit - ...durch Kooperation steigern**
120 Seiten · ISBN 3-89675-043-7
- 44 **Automatisierte Mikromontage - Handhaben und Positionieren von Mikrobautteilen**
125 Seiten · ISBN 3-89675-044-5
- 45 **Produzieren in Netzwerken - Lösungsansätze, Methoden, Praxisbeispiele**
173 Seiten · ISBN 3-89675-045-3
- 46 **Virtuelle Produktion - Ablaufsimulation**
108 Seiten · ISBN 3-89675-046-1

- 47 **Virtuelle Produktion · Prozeß- und Produktsimulation**
131 Seiten · ISBN 3-89675-047-X
- 48 **Sicherheitstechnik an Werkzeugmaschinen**
106 Seiten · ISBN 3-89675-048-8
- 49 **Rapid Prototyping · Methoden für die reaktionsfähige Produktentwicklung**
150 Seiten · ISBN 3-89675-049-6
- 50 **Rapid Manufacturing · Methoden für die reaktionsfähige Produktion**
121 Seiten · ISBN 3-89675-050-X
- 51 **Flexibles Kleben und Dichten · Produkt- & Prozeßgestaltung, Mischverbindungen, Qualitätskontrolle**
137 Seiten · ISBN 3-89675-051-8
- 52 **Rapid Manufacturing · Schnelle Herstellung von Klein- und Prototypenserien**
124 Seiten · ISBN 3-89675-052-6
- 53 **Mischverbindungen · 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 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 3-89675-069-0
- 70 **Mechatronik · Strukturndynamik 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 Kapselfel 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-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 · Schlank 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

Forschungsberichte iw b

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

Forschungsberichte iw b ab Band 122 sind erhältlich im Buchhandel oder beim
Herbert Utz Verlag, München, Fax 089-277791-01, info@utz.de

- 122 Schneider, Burghard
Prozesskettenorientierte Bereitstellung nicht formstabiler Bauteile
1999 · 183 Seiten · 98 Abb. · 14 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-559-5
- 123 Goldstein, Bernd
Modellgestützte Geschäftsprozeßgestaltung in der Produktentwicklung
1999 · 170 Seiten · 65 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-546-3
- 124 Mößmer, Helmut E.
Methode zur simulationsbasierten Regelung zeitvarianter Produktionssysteme
1999 · 164 Seiten · 67 Abb. · 5 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-585-4
- 125 Gräser, Ralf-Gunter
Ein Verfahren zur Kompensation temperaturinduzierter Verformungen an Industrierobotern
1999 · 167 Seiten · 63 Abb. · 5 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-603-6
- 126 Trossin, Hans-Jürgen
Nutzung der Ähnlichkeitstheorie zur Modellbildung in der Produktionstechnik
1999 · 162 Seiten · 75 Abb. · 11 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-614-1
- 127 Kugelmann, Doris
Aufgabenorientierte Offline-Programmierung von Industrierobotern
1999 · 168 Seiten · 68 Abb. · 2 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-615-X
- 128 Diesch, Rolf
Steigerung der organisatorischen Verfügbarkeit von Fertigungszellen
1999 · 160 Seiten · 69 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-618-4
- 129 Lulay, Werner E.
Hybrid-hierarchische Simulationsmodelle zur Koordination teilautonomer Produktionsstrukturen
1999 · 182 Seiten · 51 Abb. · 14 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-620-6
- 130 Murr, Otto
Adaptive Planung und Steuerung von integrierten Entwicklungs- und Planungsprozessen
1999 · 178 Seiten · 85 Abb. · 3 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-636-2
- 131 Macht, Michael
Ein Vorgehensmodell für den Einsatz von Rapid Prototyping
1999 · 170 Seiten · 87 Abb. · 5 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-638-9
- 132 Mehler, Bruno H.
Aufbau virtueller Fabriken aus dezentralen Partnerverbänden
1999 · 152 Seiten · 44 Abb. · 27 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-645-1
- 133 Heitmann, Knut
Sichere Prognosen für die Produktionsoptimierung mittels stochastischer Modelle
1999 · 146 Seiten · 60 Abb. · 13 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-675-3
- 134 Blessing, Stefan
Gestaltung der Materialflußsteuerung in dynamischen Produktionsstrukturen
1999 · 160 Seiten · 67 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-690-7
- 135 Abay, Can
Numerische Optimierung multivariater mehrstufiger Prozesse am Beispiel der Hartbearbeitung von Industriekeramik
2000 · 159 Seiten · 46 Abb. · 5 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-697-4

- 136 Brandner, Stefan
Integriertes Produktdaten- und Prozeßmanagement in virtuellen Fabriken
2000 · 172 Seiten · 61 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-715-6
- 137 Hirschberg, Arnd G.
Verbindung der Produkt- und Funktionsorientierung in der Fertigung
2000 · 165 Seiten · 49 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-729-6
- 138 Reek, Alexandra
Strategien zur Fokuspositionierung beim Laserstrahlschweißen
2000 · 193 Seiten · 103 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-730-X
- 139 Sabbah, Khalid-Alexander
Methodische Entwicklung störungstoleranter Steuerungen
2000 · 148 Seiten · 75 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-739-3
- 140 Schliffenbacher, Klaus U.
Konfiguration virtueller Wertschöpfungsketten in dynamischen, heterarchischen Kompetenznetzwerken
2000 · 187 Seiten · 70 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-754-7
- 141 Sprengel, Andreas
Integrierte Kostenkalkulationsverfahren für die Werkzeugmaschinenentwicklung
2000 · 144 Seiten · 55 Abb. · 6 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-757-1
- 142 Gallasch, Andreas
Informationstechnische Architektur zur Unterstützung des Wandels in der Produktion
2000 · 150 Seiten · 69 Abb. · 6 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-781-4
- 143 Cuiper, Ralf
Durchgängige rechnergestützte Planung und Steuerung von automatisierten Montagevorgängen
2000 · 168 Seiten · 75 Abb. · 3 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-783-0
- 144 Schneider, Christian
Strukturmechanische Berechnungen in der Werkzeugmaschinenkonstruktion
2000 · 180 Seiten · 66 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-789-X
- 145 Jonas, Christian
Konzept einer durchgängigen, rechnergestützten Planung von Montageanlagen
2000 · 183 Seiten · 82 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-870-5
- 146 Willnecker, Ulrich
Gestaltung und Planung leistungsorientierter manueller Fließmontagen
2001 · 175 Seiten · 67 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-891-8
- 147 Lehner, Christof
Beschreibung des Nd:Yag-Laserstrahlschweißprozesses von Magnesiumdruckguss
2001 · 205 Seiten · 94 Abb. · 24 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0004-X
- 148 Rick, Frank
Simulationsgestützte Gestaltung von Produkt und Prozess am Beispiel Laserstrahlschweißen
2001 · 145 Seiten · 57 Abb. · 2 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0008-2
- 149 Höhn, Michael
Sensorgeführte Montage hybrider Mikrosysteme
2001 · 171 Seiten · 74 Abb. · 7 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0012-0
- 150 Böhl, Jörn
Wissensmanagement im Klein- und mittelständischen Unternehmen der Einzel- und Kleinserienfertigung
2001 · 179 Seiten · 88 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0020-1
- 151 Bürgel, Robert
Prozessanalyse an spanenden Werkzeugmaschinen mit digital geregelten Antrieben
2001 · 185 Seiten · 60 Abb. · 10 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0021-X
- 152 Stephan Dürrschmidt
Planung und Betrieb wandlungsfähiger Logistiksysteme in der variantenreichen Serienproduktion
2001 · 914 Seiten · 61 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0023-6
- 153 Bernhard Eich
Methode zur prozesskettenorientierten Planung der Teilebereitstellung
2001 · 132 Seiten · 48 Abb. · 6 Tabellen · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0028-7

- 154 Wolfgang Rudorfer
Eine Methode zur Qualifizierung von produzierenden Unternehmen für Kompetenznetzwerke
 2001 · 207 Seiten · 89 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0037-6
- 155 Hans Meier
Verteilte kooperative Steuerung maschinennaher Abläufe
 2001 · 162 Seiten · 85 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0044-9
- 156 Gerhard Nowak
Informationstechnische Integration des industriellen Service in das Unternehmen
 2001 · 203 Seiten · 95 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0055-4
- 157 Martin Werner
Simulationsgestützte Reorganisation von Produktions- und Logistikprozessen
 2001 · 191 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0058-9
- 158 Bernhard Lenz
Finite Elemente-Modellierung des Laserstrahlschweißens für den Einsatz in der Fertigungsplanung
 2001 · 150 Seiten · 47 Abb. · 5 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0094-5
- 159 Stefan Grunwald
Methode zur Anwendung der flexiblen integrierten Produktentwicklung und Montageplanung
 2002 · 206 Seiten · 80 Abb. · 25 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0095-3
- 160 Josef Gartner
Qualitätssicherung bei der automatisierten Applikation hochviskoser Dichtungen
 2002 · 165 Seiten · 74 Abb. · 21 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0096-1
- 161 Wolfgang Zeller
Gesamtheitliches Sicherheitskonzept für die Antriebs- und Steuerungstechnik bei Werkzeugmaschinen
 2002 · 192 Seiten · 54 Abb. · 15 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0100-3
- 162 Michael Loferer
Rechnergestützte Gestaltung von Montagesystemen
 2002 · 178 Seiten · 80 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0118-6
- 163 Jörg Fahrer
Ganzeitliche Optimierung des indirekten Metall-Lasersinterprozesses
 2002 · 176 Seiten · 69 Abb. · 13 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0124-0
- 164 Jürgen Höppner
Verfahren zur berührungslosen Handhabung mittels leistungsstarker Schallwandler
 2002 · 132 Seiten · 24 Abb. · 3 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0125-9
- 165 Hubert Götte
Entwicklung eines Assistenzrobotersystems für die Knieendoprothetik
 2002 · 258 Seiten · 123 Abb. · 5 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0126-7
- 166 Martin Weißberger
Optimierung der Bewegungsdynamik von Werkzeugmaschinen im rechnergestützten Entwicklungsprozess
 2002 · 210 Seiten · 86 Abb. · 2 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0138-0
- 167 Dirk Jacob
Verfahren zur Positionierung unterseitenstrukturierter Bauelemente in der Mikrosystemtechnik
 2002 · 200 Seiten · 82 Abb. · 24 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0142-9
- 168 Ulrich Roßgoderer
System zur effizienten Layout- und Prozessplanung von hybriden Montageanlagen
 2002 · 175 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0154-2
- 169 Robert Klingel
Anziehverfahren für hochfeste Schraubverbindungen auf Basis akustischer Emissionen
 2002 · 164 Seiten · 89 Abb. · 27 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0174-7
- 170 Paul Jens Peter Ross
Bestimmung des wirtschaftlichen Automatisierungsgrades von Montageprozessen in der frühen Phase der Montageplanung
 2002 · 144 Seiten · 38 Abb. · 38 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0191-7
- 171 Stefan von Praun
Toleranzanalyse nachgiebiger Baugruppen im Produktentstehungsprozess
 2002 · 250 Seiten · 62 Abb. · 7 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0202-6

- 172 Florian von der Hagen
Gestaltung kurzfristiger und unternehmensübergreifender Engineering-Kooperationen
 2002 · 220 Seiten · 104 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0208-5
- 173 Oliver Kramer
Methode zur Optimierung der Wertschöpfungskette mittelständischer Betriebe
 2002 · 212 Seiten · 84 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0211-5
- 174 Winfried Dohmen
Interdisziplinäre Methoden für die integrierte Entwicklung komplexer mechatronischer Systeme
 2002 · 200 Seiten · 67 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0214-X
- 175 Oliver Anton
Ein Beitrag zur Entwicklung telepräsenster Montagesysteme
 2002 · 158 Seiten · 85 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0215-8
- 176 Welf Broser
Methode zur Definition und Bewertung von Anwendungsfeldern für Kompetenznetzwerke
 2002 · 224 Seiten · 122 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0217-4
- 177 Frank Breitingner
Ein ganzheitliches Konzept zum Einsatz des indirekten Metall-Lasersinterns für das Druckgießen
 2003 · 156 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0227-1
- 178 Johann von Pieverling
Ein Vorgehensmodell zur Auswahl von Konturfertigungsverfahren für das Rapid Tooling
 2003 · 163 Seiten · 88 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0230-1
- 179 Thomas Baudisch
Simulationsumgebung zur Auslegung der Bewegungsdynamik des mechatronischen Systems Werkzeugmaschine
 2003 · 190 Seiten · 67 Abb. · 8 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0249-2
- 180 Heinrich Schieferstein
Experimentelle Analyse des menschlichen Kausystems
 2003 · 132 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0251-4
- 181 Joachim Berlak
Methodik zur strukturierten Auswahl von Auftragsabwicklungssystemen
 2003 · 244 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0258-1
- 182 Christian Meierlohr
Konzept zur rechnergestützten Integration von Produktions- und Gebäudeplanung in der Fabrikgestaltung
 2003 · 181 Seiten · 84 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0292-1
- 183 Volker Weber
Dynamisches Kostenmanagement in kompetenzzentrierten Unternehmensnetzwerken
 2004 · 210 Seiten · 64 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0330-8
- 184 Thomas Bongardt
Methode zur Kompensation betriebsabhängiger Einflüsse auf die Absolutgenauigkeit von Industrierobotern
 2004 · 170 Seiten · 40 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0332-4
- 185 Tim Angerer
Effizienzsteigerung in der automatisierten Montage durch aktive Nutzung mechatronischer Produktkomponenten
 2004 · 180 Seiten · 67 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0336-7
- 186 Alexander Krüger
Planung und Kapazitätsabstimmung stückzahlflexibler Montagesysteme
 2004 · 197 Seiten · 83 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0371-5
- 187 Matthias Meindl
Beitrag zur Entwicklung generativer Fertigungsverfahren für das Rapid Manufacturing
 2005 · 222 Seiten · 97 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0465-7
- 188 Thomas Fusch
Betriebsbegleitende Prozessplanung in der Montage mit Hilfe der Virtuellen Produktion am Beispiel der Automobilindustrie
 2005 · 190 Seiten · 99 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0467-3

- 189 Thomas Mosandl
Qualitätssteigerung bei automatisiertem Klebstoffauftrag durch den Einsatz optischer Konturfolgesysteme
2005 · 182 Seiten · 58 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0471-1
- 190 Christian Patron
Konzept für den Einsatz von Augmented Reality in der Montageplanung
2005 · 150 Seiten · 61 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0474-6
- 191 Robert Cisek
Planung und Bewertung von Rekonfigurationsprozessen in Produktionssystemen
2005 · 200 Seiten · 64 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0475-4
- 192 Florian Auer
Methode zur Simulation des Laserstrahlschweißens unter Berücksichtigung der Ergebnisse vorangegangener Umformsimulationen
2005 · 160 Seiten · 65 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0485-1
- 193 Carsten Selke
Entwicklung von Methoden zur automatischen Simulationsmodellgenerierung
2005 · 137 Seiten · 53 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0495-9
- 194 Markus Seefried
Simulation des Prozessschrittes der Wärmebehandlung beim Indirekten-Metall-Lasersintern
2005 · 216 Seiten · 82 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0503-3
- 195 Wolfgang Wagner
Fabrikplanung für die standortübergreifende Kostensenkung bei marktnaher Produktion
2006 · 208 Seiten · 43 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0586-6
- 196 Christopher Ulrich
Erhöhung des Nutzungsgrades von Laserstrahlquellen durch Mehrfach-Anwendungen
2006 · 178 Seiten · 74 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0590-4
- 197 Johann Härtl
Prozessgaseinfluss beim Schweißen mit Hochleistungsdiodenlasern
2006 · 140 Seiten · 55 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0611-0
- 198 Bernd Hartmann
Die Bestimmung des Personalbedarfs für den Materialfluss in Abhängigkeit von Produktionsfläche und -menge
2006 · 208 Seiten · 105 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0615-3
- 199 Michael Schilp
Auslegung und Gestaltung von Werkzeugen zum berührungslosen Greifen kleiner Bauteile in der Mikromontage
2006 · 130 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0631-5
- 200 Florian Manfred Grätz
Teilautomatische Generierung von Stromlauf- und Fluidplänen für mechatronische Systeme
2006 · 192 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0643-9
- 201 Dieter Eireiner
Prozessmodelle zur statischen Auslegung von Anlagen für das Friction Stir Welding
2006 · 214 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0650-1
- 202 Gerhard Volkwein
Konzept zur effizienten Bereitstellung von Steuerungsfunktionalität für die NC-Simulation
2007 · 192 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0668-9
- 203 Sven Roeren
Komplexitätsvariable Einflussgrößen für die bauteilbezogene Struktursimulation thermischer Fertigungsprozesse
2007 · 224 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0680-1
- 204 Henning Rudolf
Wissensbasierte Montageplanung in der Digitalen Fabrik am Beispiel der Automobilindustrie
2007 · 200 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0697-9
- 205 Stella Clarke-Griebsch
Overcoming the Network Problem in Telepresence Systems with Prediction and Inertia
2007 · 150 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0701-3
- 206 Michael Ehrenstraßer
Sensoreinsatz in der telepräsenten Mikromontage
2008 · 160 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0743-3

- 207 Rainer Schack
Methodik zur bewertungsorientierten Skalierung der Digitalen Fabrik
 2008 · 248 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0748-8
- 208 Wolfgang Sudhoff
Methodik zur Bewertung standortübergreifender Mobilität in der Produktion
 2008 · 276 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0749-5
- 209 Stefan Müller
Methodik für die entwicklungs- und planungsbegleitende Generierung und Bewertung von Produktionsalternativen
 2008 · 240 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0750-1
- 210 Ulrich Kohler
Methodik zur kontinuierlichen und kostenorientierten Planung produktionstechnischer Systeme
 2008 · 232 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0753-2
- 211 Klaus Schlickerrieder
Methodik zur Prozessoptimierung beim automatisierten elastischen Kleben großflächiger Bauteile
 2008 · 204 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0776-1
- 212 Niklas Möller
Bestimmung der Wirtschaftlichkeit wandlungsfähiger Produktionssysteme
 2008 · 260 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0778-5
- 213 Daniel Siedl
Simulation des dynamischen Verhaltens von Werkzeugmaschinen während Verfabrbewegungen
 2008 · 200 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0779-2
- 214 Dirk Ansorge
Auftragsabwicklung in heterogenen Produktionsstrukturen mit spezifischen Planungsfreiräumen
 2008 · 146 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0785-3
- 215 Georg Wünsch
Methoden für die virtuelle Inbetriebnahme automatisierter Produktionssysteme
 2008 · 224 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0795-2
- 216 Thomas Oertli
Strukturmechanische Berechnung und Regelungssimulation von Werkzeugmaschinen mit elektromechanischen Vorschubantrieben
 2008 · 194 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0798-3
- 217 Bernd Petzold
Entwicklung eines Operatorarbeitsplatzes für die telepräsenste Mikromontage
 2008 · 234 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0805-8
- 218 Loucas Papadakis
Simulation of the Structural Effects of Welded Frame Assemblies in Manufacturing Process Chains
 2008 · 260 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0813-3
- 219 Mathias Mörtl
Ressourcenplanung in der variantenreichen Fertigung
 2008 · 210 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0820-1
- 220 Sebastian Weig
Konzept eines integrierten Risikomanagements für die Ablauf- und Strukturgestaltung in Fabrikplanungsprojekten
 2008 · 232 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0823-2
- 221 Tobias Hornfeck
Laserstrahlbiegen komplexer Aluminiumstrukturen für Anwendungen in der Luftfahrtindustrie
 2008 · 150 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0826-3
- 222 Hans Egermeier
Entwicklung eines Virtual-Reality-Systems für die Montagesimulation mit kraftrückkoppelnden Handschuhen
 2008 · 210 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0833-1
- 223 Matthäus Sigl
Ein Beitrag zur Entwicklung des Elektronenstrahlsinterns
 2008 · 185 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0841-6

- 224 Mark Harfensteller
Eine Methodik zur Entwicklung und Herstellung von Radiumtargets
 2009 · 196 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0849-8
- 225 Jochen Werner
Methode zur roboterbasierten förderbandsynchronen Fließmontage am Beispiel der Automobilindustrie
 2009 · 210 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0857-7
- 226 Florian Hagemann
Ein formflexibles Werkzeug für das Rapid Tooling beim Spritzgießen
 2009 · 226 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0861-4
- 227 Haitham Rashidy
Knowledge-based quality control in manufacturing processes with application to the automotive industry
 2009 · 212 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0862-1
- 228 Wolfgang Vogl
Eine interaktive räumliche Benutzerschnittstelle für die Programmierung von Industrierobotern
 2009 · 200 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0869-0
- 229 Sonja Schedl
Integration von Anforderungsmanagement in den mechatronischen Entwicklungsprozess
 2009 · 160 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0874-4
- 230 Andreas Trautmann
Bifocal Hybrid Laser Welding – A Technology for Welding of Aluminium and Zinc-Coated Steels
 2009 · 268 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0876-8
- 231 Patrick Neise
Managing Quality and Delivery Reliability of Suppliers by Using Incentives and Simulation Models
 2009 · 224 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0878-2
- 232 Christian Habicht
Einsatz und Auslegung zeitfensterbasierter Planungssysteme in überbetrieblichen Wertschöpfungsketten
 2009 · 200 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0891-1
- 233 Michael Spitzweg
Methode und Konzept für den Einsatz eines physikalischen Modells in der Entwicklung von Produktionsanlagen
 2009 · 180 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0931-4
- 234 Ulrich Munzert
Bahnplanungsalgorithmen für das robotergestützte Remote-Laserstrahlsschweißen
 2010 · 176 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0948-2
- 235 Georg Völlner
Rührreißschweißen mit Schwerlast-Industrierobotern
 2010 · 230 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · 978-3-8316-0955-0
- 236 Nils Müller
Modell für die Beherrschung und Reduktion von Nachfrageschwankungen
 2010 · 270 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · 978-3-8316-0992-5
- 237 Franz Decker
Unternehmensspezifische Strukturierung der Produktion als permanente Aufgabe
 2010 · 180 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · 978-3-8316-0996-3