

Thomas Kirchmeier

**Methode zur Anwendung der berührungslosen
Handhabung mittels Ultraschall im
automatisierten Montageprozess**



Herbert Utz Verlag · München

Forschungsberichte IWB

Band 301

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 · 2015

ISBN 978-3-8316-4478-0

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 im Rahmen meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (*iwb*) der Technischen Universität München.

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

Bei Herrn Prof. Dr.-Ing. Jörg Franke, dem Leiter des Lehrstuhls für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, möchte ich mich für die Übernahme des Korreferats und die aufmerksame Durchsicht der Arbeit recht herzlich bedanken.

Darüber hinaus gilt mein Dank allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Instituts, die durch zahlreiche Diskussionen und vielfältige Anregungen zum Gelingen der Arbeit beigetragen haben. Insbesondere danke ich den zahlreichen Studenten und den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern aus den Servicecentern des Instituts, die durch ihre Unterstützung meine Arbeit erst ermöglicht haben.

Des Weiteren geht mein Dank an meine früheren Kollegen Andrea Acker, Jakob Kurfer, Frédéric-Felix Lacour und Tobias Zeilinger sowie an meinen guten Freund Sebastian Smykowski, die das Manuskript kritisch begutachtet und viele wertvolle Anregungen beigetragen haben.

Nicht unerwähnt bleiben soll die stete Hilfe durch eine Vielzahl von Studentinnen und Studenten, die mit Semester- und Diplomarbeiten und als wissenschaftliche Hilfskräfte die Versuchsaufbauten erstellt und viele Versuche durchgeführt haben.

Besonderer Dank gilt meinen Eltern, die mir meine Ausbildung ermöglicht und damit den Grundstein zu dieser Arbeit gelegt haben und meiner Frau Nina, die durch ihre unermüdliche Geduld mir eine ständige mentale Unterstützung und Motivation war.

München, im Juli 2013

Thomas Bernhard Kirchmeier

„Zwei Dinge sind zu unserer Arbeit nötig: Unermüdliche Ausdauer und die Bereitschaft, etwas, in das man viel Zeit und Arbeit gesteckt hat, wieder wegzuwerfen.“

Albert Einstein

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	xiii
Tabellenverzeichnis	xv
Formelzeichenverzeichnis	xvii
Begriffserklärungen	xxi
1 Einleitung	1
1.1 Von der Mikroelektronik zur Mikrosystemtechnik	1
1.2 Herstellung monolithischer Mikrosysteme	3
1.2.1 Fertigungsprozesse	3
1.2.2 Montagetechniken	6
1.2.3 Automatisierte Montagesysteme	12
1.3 Zielsetzung und Gliederung der Arbeit	14
2 Stand der Forschung und Technik	17
2.1 Überblick	17
2.2 Vergleich bauteilschonender Handhabungsprinzipien	17
2.2.1 Adhäsive Handhabungssysteme	17
2.2.2 Magnetische Handhabungssysteme	18
2.2.3 Elektrostatische Handhabungssysteme	18
2.2.4 Handhabung mittels Luftkissen	19
2.2.5 Handhabung durch den Bernoulli-Effekt	19
2.2.6 Ultraschallbasierte Handhabungssysteme	20
2.2.7 Bewertung der aufgeführten Handhabungsprinzipien	20
2.3 Überblick zur berührungslosen Handhabung mittels Ultraschall	22
2.3.1 Physikalische Grundlagen der Ultraschalllevitation . .	22
2.3.2 Produktionstechnische Anwendungsfelder	24
2.4 Auslegung ultraschallbasierter Handhabungssysteme	26
2.4.1 Prozessparameter	26
2.4.2 Auslegung des Ultraschallsystems	28
2.4.3 Strukturmechanische Auslegung der Greiffläche	32
2.4.4 Dimensionierung der Greifkräfte	33
2.5 Zusammenfassung und Ableitung des Handlungsbedarfs . .	35

3	Methode zur Anwendung der ultraschallbasierten Handhabung	37
3.1	Betrachtungsraum der Methode	37
3.2	Anforderungen an die ultraschallbasierte Montage	38
3.2.1	Technologische Anforderungen	38
3.2.2	Industrielle Anforderungen	39
3.3	Aufstellung der Methode	41
4	Modellierung der Prozesszusammenhänge	45
4.1	Vorgehen zur numerischen Auslegung der Greiferspitze	45
4.2	Prozesskraftmessungen verschiedener Greiferspitzen	47
4.2.1	Aufbau des Versuchsstandes	47
4.2.2	Voruntersuchungen	48
4.2.3	Gestaltung des Versuchsplans	50
4.2.4	Auswertung	51
4.3	Prozessmodellierung mittels Multi-Layer-Perceptron-Netz	58
4.3.1	Funktionsweise eines Multi-Layer-Perceptron-Netzes	58
4.3.2	Bewertung verschiedener Netztopologien	59
4.3.3	Aufbau und Adaption	60
4.3.4	Bewertung des Modellierungsansatzes	64
4.4	Prozessmodellierung mittels mathematischer Funktion	66
4.4.1	Identifikation der Gleichungsstruktur	66
4.4.2	Berücksichtigung der geometrischen Parameter	70
4.4.3	Bewertung der mathematischen Prozessfunktion	74
5	Adaption der Anlagentechnik und der Montageprozesse	77
5.1	Adaption der Anlagentechnik	77
5.1.1	Bereitstellung der erforderlichen Sensorik und Aktorik	77
5.1.2	Mechanische Integration des Ultraschallvakuumgreifers	80
5.1.3	Messung der relativen Greiferposition zum Bauteil	83
5.1.4	Erweiterung zum automatisierten Greiferspitzenwechsel	85
5.2	Inbetriebnahme des Ultraschallvakuumgreifers	88
5.2.1	Systemkalibrierung	88
5.2.2	Auslegung des Fügekraft- und Luftspaltreglers	91
5.3	Adaption der Montageprozesse	95
5.3.1	Gestaltung der Chip-and-Wire-Technik	95
5.3.2	Gestaltung der Flip-Chip-Technik	99
6	Technische und wirtschaftliche Bewertung	103
6.1	Bewertungsgrundlage	103
6.2	Anwendungsbeispiel Leiterplattenbestückung	103
6.2.1	Prototypischer Aufbau der Montageanlage	103
6.2.2	Erstellung des Prozessmodells	105
6.2.3	Auslegung des Kraft- und Luftspaltreglers	106
6.2.4	Durchführung und Auswertung der Beispielmontage	108

6.3 Technische Bewertung	112
6.4 Wirtschaftliche Bewertung	116
7 Zusammenfassung und Ausblick	123
7.1 Zusammenfassung	123
7.2 Ausblick	125
Literaturverzeichnis	127
A Zusätzliche Informationen zur statistischen Versuchsplanung	145
B Ergebnisse der Vermessung verschiedener Greiferspitzen	147
B.1 Ergebnisse der Voruntersuchung von Unterabschnitt 4.2.2 . .	147
B.2 Messergebnisse zu Unterabschnitt 4.2.4	148
B.3 Versuchsauswertung zu Abschnitt 4.2	152
C Ergebnisse der Prozessmodellierung	153
C.1 Messungen zur Gleichungsstruktur von Unterabschnitt 4.4.1 .	153
C.2 Adaptionsergebnisse der MPL-Netze von Abschnitt 4.3	155
C.3 Extrapolationsergebnisse der Modellierungsansätze	156

1 Einleitung

1.1 Von der Mikroelektronik zur Mikrosystemtechnik

Die Innovationen der Mikroelektronik, die von der Menschheit heutzutage als selbstverständlich wahrgenommen und verwendet werden, tragen zu zahlreichen Veränderungen in Wirtschaft, Wissenschaft und Kultur bei. So beschleunigten die entstandenen Kommunikationsmöglichkeiten den Prozess der Marktöffnungen für Waren, Dienstleistungen und Geld, womit die Globalisierung maßgeblich vorangetrieben wurde (VON PLATE 2003). Zahlreiche komplexe Modelle in Physik, Chemie und weiteren mathematischen sowie naturwissenschaftlichen Fachrichtungen sind erst seit der Erfindung der Computertechnik als Folge der Mikroelektronik möglich geworden (DRENTH 2001). HILBERT & LÓPEZ (2011) nehmen an, dass die Menschheit im Jahr 2002 erstmals mehr Informationen digital als analog speicherte. Der ehemalige Bundestagspräsident Wolfgang Thierse sieht in dieser Digitalisierung einen Wandel, der sich sowohl auf alle Technologien als auch auf fast alle menschlichen Lebensbereiche auswirkt, weshalb er von der „digitalen Revolution“ mit Beginn des 20. Jahrhunderts spricht (THIERSE 2003).

Doch die eigentliche technische Revolution begann bereits Ende der vierziger Jahre des letzten Jahrhunderts. *William Shockley* von der *Fa. Bell Laboratories* hat 1947 den Transistor (VÖLKLEIN & ZETTERER 2006) erfunden und erhielt zusammen mit *John Bardeen* und *Walter Houser Brattain* 1956 hierfür den Physiknobelpreis (HILLMER 2000). Ein Transistor ist ein elektronisches Bauelement, aufgebaut aus einem Halbleitermaterial, dessen elektrischer Widerstand durch eine angelegte Spannung gesteuert wird (MÜLLER 1991). Damit werden elektrische Signale geschaltet oder verstärkt, ohne dabei mechanische Bewegungen auszuführen, wie es beim Relais der Fall ist. In den 50er Jahren wurden die bis dahin in Computern verbauten Elektronenröhren durch Transistoren ersetzt. Die intelligente Verschaltung, gleich ob Elektronenröhre oder Transistor, in einer bistabilen Kippstufe ermöglicht die Speicherung einer Datenmenge von einem Bit über einen längeren Zeitraum (DENNHARDT 2009). Dies ist das Grundprinzip der Computertechnik. Aber erst mit der Entwicklung des integrierten Schaltkreises¹ durch Jack Kilby (*Fa. Texas Instruments*) und Robert Noyce (*Fa.*

¹engl. Integrated Circuit, Abk. IC.

1 Einleitung

Fairchild Semiconductor) 1958 wurde die Mikroelektronik geboren (JOPP 2006). Deren Erfolg beruht einerseits auf der Integration von Funktionsbausteinen bestehend aus intelligent zusammengeschalteten Transistoren, andererseits auf den kontinuierlich verbesserten Fertigungsverfahren zur Herstellung miniaturisierter mikroelektronischer Bauteile, denn erst dadurch war es möglich, den Platzbedarf und das Gewicht zu senken und gleichzeitig die Packungs- und Funktionsdichte zu erhöhen. Durch eine weitergehende Miniaturisierung der einzelnen Transistoren und deren Verschaltung werden die gerade genannten Eigenschaften eines integrierten Schaltkreises weiter optimiert und zugleich die Herstellungskosten reduziert. Folglich ist die Erhöhung der Funktionsdichte das Entwicklungsziel jedes neuen mikroelektronischen Bauteils.

Der Trend zur Miniaturisierung wurde bereits 1965 durch das Moorsche Gesetz prophezeit (KEYES 2006) und bewahrheitet sich bis heute. Das Postulat besagt eine Verdoppelung der Transistorenanzahl pro Flächeneinheit in gleichbleibenden Entwicklungsabständen. Besonders deutlich wird der Funktionszuwachs durch die Miniaturisierung am Beispiel zweier Produkte der *Fa. Intel*. Während 1971 der 4004 Mikroprozessor mit 2.300 Transistoren bei einer Baugröße von jeweils $10\ \mu\text{m}$ pro Transistor gefertigt wurde, besteht der 2008 hergestellte Intel Core-i7 Computerprozessor aus 731 Millionen Transistoren, die jeweils nur noch ein Größe von $45\ \text{nm}$ aufweisen (INTEL CORPORATION 2009). Infolge der anhaltenden Miniaturisierung sind auf dem Halbleitermarkt in den letzten 20 Jahren Wachstumsraten von durchschnittlich 16% zu verzeichnen (PUFFER 2007). Selbst die Weltwirtschaftskrise von 2008 ließ nach PETTEY & STEVENS (2011) das Wachstum des Halbleitermarkts nicht zur Stagnation kommen.

Aus den Fertigungsverfahren der Mikroelektronik entstand zu Beginn der 80er Jahre im letzten Jahrhundert die Idee, auch mikromechanische Komponenten zu erzeugen (PETERSEN 2003). Die Kombination der Mikroelektronik und -mechanik ermöglichte die Herstellung erster Mikrosensoren, wie einen Beschleunigungssensor. Damit wurde der Grundstein der Mikrosystemtechnik gelegt, die nach DIN 32564 TEIL 1 wie folgt definiert ist:

Definition (*Mikrosystem*)

Ein Mikrosystem ist eine miniaturisierte Einheit, welche durch hybride oder monolithische Integration mehrere Mikrokomponenten und/oder Funktionseinheiten enthält.

Wie die vorangegangene Definition verdeutlicht, wird bei der Mikrosystemtechnik zwischen monolithischen und hybriden Systemen unterschieden. Nach MENZ ET AL. (2005) wird ein monolithisches Mikrosystem vollständig aus einem Material, z. B. Silizium, gefertigt (vgl. Unterabschnitt 1.2.1). Bei hybriden Mikrosystemen werden die einzelnen Komponenten getrennt und meist aus unterschiedlichen Werkstoffen hergestellt und in einer abschließenden Monta-

1.2 Herstellung monolithischer Mikrosysteme

ge auf einem gemeinsamen Bauteilträger zu einem System zusammengebaut. Nach HILLERINGMANN (2006) ist dadurch die Kombination verschiedener Teilmikrosysteme zu einem Gesamtsystem möglich, mit dem auch optische und fluidische Funktionen realisiert werden können. Aufgrund dieser vielfältigen Gestaltungsmöglichkeiten von Mikrosystemen sieht LUKAS (2009) die Potentiale der Mikrosystemtechnik noch lange nicht erschöpft. Genau diese Gestaltungsfreiheiten können aber auch als Nachteil hybrider Mikrosysteme gesehen werden, da für deren Herstellung oftmals spezialisierte Montageprozesse erforderlich sind (HÖHN 2001). Die Entwicklungskosten wirtschaftlicher und automatisierter Montageprozesse hybrider Mikrosysteme können nach HESSELBACH ET AL. (2003) bis zu 80% der gesamten Produktionskosten betragen. Folglich wird die manuelle Montage bevorzugt zur Herstellung hybrider Mikrosysteme eingesetzt (FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SYSTEM- UND INNOVATIONSFORSCHUNG 2006; HESSELBACH ET AL. 2006). Für die Massenproduktion ist die manuelle Montageform allerdings wirtschaftlich nicht mehr rentabel. Eine Pressemitteilung des Bundesministeriums für Bildung und Forschung sieht die Massenproduktion mikrosystemtechnischer Produkte allerdings als Voraussetzung für die Generierung weiterer Märkte, denn bislang wird die Entwicklung und Anwendung der Mikrosystemtechnik durch die Mobilfunk- und Automobiltechnik getragen (BMBF & VDE 2007). GERLACH & DÖTZEL (2006) sehen ausschließlich die Fertigung monolithischer Bauteile als Mittel für eine kostengünstige Massenproduktion von Mikrosystemen. Nach NEIL (2005) werden monolithische Bauteile zunehmend ohne Gehäuse auf einer Funktionsbaugruppe verbaut. Der Fokus der vorliegenden Dissertation richtet sich daher auf die automatisierte Montage von monolithischen Mikrosystemen² und von Bauteilen der Mikroelektronik auf einem Bauteilträger, wie einer Leiterplatte oder einem Chipgehäuse. Für die Herleitung der produktionstechnischen Herausforderungen wird im folgenden Abschnitt die Herstellung monolithischer Mikrosysteme erläutert.

1.2 Herstellung monolithischer Mikrosysteme

1.2.1 Fertigungsprozesse

Da die Herstellung monolithischer Mikrosysteme aus den Techniken der Mikroelektronik stammt, werden anhand der Fertigung von integrierten Schaltkreisen die prinzipiellen Prozessschritte erläutert. Die Herstellung einer integrierten Schaltung umfasst bis zu 400 Einzelschritte (WIDMANN ET AL. 1996). Diese

²In der vorliegenden Arbeit wird ein monolithisches Mikrosystem, dass in ein Chipgehäuse oder auf eine Leiterplatte montiert ist, nicht als ein hybrides Mikrosystem betrachtet. Dies entspricht der Definition nach MENZ ET AL. (2005), nach der ein hybrides Mikrosystem aus mindestens zwei Mikrokomponenten besteht.

1 Einleitung

lassen sich grob in die Waferherstellung und die Planartechnik (engl. Front-End) einteilen. Mit der Montagetechnik (engl. Back-End) werden anschließend in Unterabschnitt 1.2.2 die Vereinzelnung, die Handhabung und die Kontaktierverfahren der Bauteile betrachtet. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit ist der verallgemeinerte Begriff des Bauteils gleichbedeutend mit integriertem Schaltkreis, Chip oder Die³.

Als Basismaterial für integrierte Schaltungen eignet sich Silizium. Reines Silizium besitzt mit einem spezifischen Widerstand von $1,2 \cdot 10^7 \Omega m$ Eigenschaften eines elektrischen Isolators (KUCHLING 2004). Durch die gezielte Einbringung von Fremdatomen, die eine Verunreinigung des Siliziums darstellen, wird der elektrische Widerstand von Silizium verändert. Damit der Widerstand möglichst genau definiert werden kann, wird das Ausgangsmaterial in einer nahezu perfekten Kristallqualität mit einem Fremdatomanteil von 10^{-9} (1 Fremdatom bei 10 Milliarden Siliziumatomen) benötigt. Das Verfahren zur Einbringung von Fremdatomen wird Dotierung genannt. Dabei wird zwischen einer n- und p-Dotierung unterschieden. Um eine n-Dotierung zu erhalten, wird in das Siliziumkristall entweder Phosphor (P), Arsen (As) oder Antimon (Sb) eingebracht. Diese Elemente, auch Donatoren genannt, geben bei Energiezufuhr ein fünftes Valenzelektron ab. Die Bindung zu den benachbarten Siliziumatomen bleibt dabei erhalten, denn Silizium besitzt nur vier Bindungselektronen (LINDNER ET AL. 1999). Das freie Elektron kann sich daher ungehindert im Halbleiter bewegen, womit der Stromfluß bei deutlich geringerem Widerstand ermöglicht wird. Im Gegensatz zu den Donatoren führt die Integration von Akzeptoren im Siliziumkristall zu einer Bindungslücke. Elemente wie Aluminium (Al), Bor (B), Gallium (Ga) oder Indium (In) besitzen nur drei Bindungselektronen. Die entstehende Bindungslücke wird durch benachbarte Bindungselektronen ausgeglichen. Da dieser Ausgleichsprozess nie abgeschlossen ist, bewegt sich die Lücke frei im Kristallgitter und ermöglicht ebenfalls den Stromfluß (LINDNER ET AL. 1999).

Um große Siliziumeinkristalle zu züchten, gibt es zwei Verfahren, das Czochralski-Verfahren sowie das Zonenschmelzverfahren (VÖLKLEIN & ZETTERER 2006). Beim Czochralski-Verfahren wird ein Kristallkeim aus Silizium mit einer bestimmten kristallographischen Orientierung in eine Schmelze gleichen Materials getaucht. Unter Rotation wird der Kristallkeim, der an einem Metallstab befestigt ist, langsam aus der Schmelze herausgezogen. Dabei rekristallisiert das flüssige Silizium zu einem Einkristall. Nach EVERS ET AL. (2003) werden 95% der Weltproduktion an einkristallinem Silizium durch das Czochralski-Verfahren hergestellt. Die Grunddotierung kann durch

³Plural „Dies“ oder „Dice“. Nach DIN 32564 TEIL 2 wird „Die“ definiert als *aus einem Wafer vereinzelt* Bauteil mit mechanischen, fluidischen, elektronischen, optischen und/oder opto-elektronischen Funktionen.

1.2 Herstellung monolithischer Mikrosysteme

Beimischung der jeweiligen Fremdatome dem aufgeschmolzenen Silizium beim Czochralski- sowie beim Zonenschmelzverfahren bereits mitgegeben werden.

Das Ergebnis aus den Schmelzverfahren ist ein Siliziumstab mit einem definierten Durchmesser von 150 mm, 200 mm oder 300 mm. Nach Überprüfung der Kristallorientierung und der Dotierung werden die zylinderförmigen Einkristalle zu dünnen Scheiben geschnitten, den sogenannten Wafern, die abschließend geläppt und poliert werden. Die Wafer dienen in den weiteren Schritten, der Planartechnik (HILLERINGMANN 2008), als Substrat für die Herstellung einer integrierten Schaltung. Diese beinhalten eine Reihe von aufeinanderfolgenden technologischen Einzelprozessen, mit der die gewünschte Struktur der elektronischen Schaltung geschaffen wird. Nach FISCHER ET AL. (2007) können die wesentlichen Prozessschritte entsprechend der Abbildung 1.1 graphisch erläutert werden.

Abbildung 1.1: Schematische Darstellung der Prozessschritte in der Planartechnik, nach FISCHER ET AL. (2007).

Im ersten Schritt wird der vordotierte Wafer Sauerstoff (O_2) ausgesetzt, womit sich an dessen Oberfläche eine dünne Oxidschicht (SiO_2) bildet. Siliziumdioxid ist elektrisch isolierend und wird als Isolationsschicht in MOSFETs⁴ (MÜLLER

⁴ engl. metal oxide semiconductor field-effect transistor, Metall-Oxid-Halbleiter-Feldeffekttransistor

1 Einleitung

1991) verwendet. Im zweiten Schritt wird eine dünne Resistsschicht, meist eine Art Fotolack, gleichmäßig auf der Siliziumdioxidoberfläche aufgebracht. Über eine strukturierte Fotomaske werden im dritten Schritt nur bestimmte Stellen des Wafers mit UV-Licht bestrahlt. Dadurch ändert sich an diesen Stellen die Löslichkeit des Resists. Anschließend wird im vierten Schritt der Resist entwickelt. Die unbelichteten Flächen widerstehen dem chemischen Abtragungsprozess im fünften Schritt. Der restliche Resist wird danach ebenfalls chemisch entfernt. Im siebten Schritt werden die herausgeätzten Siliziumdioxidflächen mit einer zum Substrat gegensätzlichen Dotierung versehen. Hierzu gibt es zwei unterschiedliche Ansätze, die Diffusion und die Ionenimplantation (RUGE & MADER 1991). Damit wird der für alle Halbleiterelemente wichtige pn-Übergang zwischen n- und p-dotiertem Silizium erzeugt. Zum Schluss werden die einzelnen pn-Übergänge beispielsweise mit Aluminiumbrücken zu Funktionseinheiten verbunden. Zur weiteren Strukturierung bzw. zur Erzeugung der Verbindungsbrücken werden die zuvor beschriebenen Prozessschritte mehrfach wiederholt. Je kleiner die Strukturen auf dem Wafer erzeugt werden, desto mehr Bauteile können parallel im selben Fertigungsprozess hergestellt werden. Aus diesem Grund ist die Halbleiterindustrie an einer ständigen Verfeinerung des Lithographieprozesses (VÖLKLEIN & ZETTERER 2006) interessiert. Dadurch wird die Miniaturisierung maßgeblich vorangetrieben.

Nach erfolgter Herstellung der integrierten Schaltkreise muss die Dicke des Wafers noch mechanisch oder chemisch reduziert werden. Durch die Dickenreduktion des Wafers wird der Wärmeabtransport des einzelnen Bauteils verbessert. Zur Verringerung der Waferdicke haben sich das Schleifen, das Läppen und das Ätzen etabliert (HILLERINGMANN 2008). Abschließend ist eine Zerteilung des Wafers in einzelne Bauteile notwendig. Während die Herstellung der integrierten Schaltkreise parallelisiert auf einem Wafer erfolgt, ist für die weitergehende sequenzielle Montage eine Vereinzelung der Bauteile unumgänglich (HÖHN 2001). Hierzu müssen die im Verbund erstellten Bauteile voneinander getrennt werden. Dabei wird der Wafer mit der unstrukturierten Seite auf eine Folie, dem Blue-Tape oder dem UV-Tape, aufgeklebt. Die Trennung zu einzelnen Bauteilen findet durch Ritzen und Brechen, Lasertrennen oder Trennsägen des Wafers statt. Die dabei entstehenden Trennlinien wurden bereits im Lithographieprozess berücksichtigt. Durch die klebende Folie behalten alle Bauteile nach der Zerteilung des Wafers ihren Ordnungszustand und werden erst zur Montage durch Ablösung von der Folie aus dem Verbund herausgenommen.

1.2.2 Montagetechniken

Während die Montage nach VDI (1983) als *der Zusammenbau von Teilen und/oder (Teile-) Gruppen zu Erzeugnissen oder zu (Teile-) Gruppen höherer Erzeugnisebenen zu verstehen ist*, wird unter der Mikromontage nach DIN 32564 TEIL 2 *der*

1.2 Herstellung monolithischer Mikrosysteme

Zusammenbau mikrotechnischer Bauteile, der Aufbau von Mikrokomponenten auf Montageflächen oder deren Einbau in Gehäuse, einschließlich elektrischer Kontaktierung und Erstellung sonstiger Anschlüsse, verstanden. Auch wenn im allgemeinen Sprachgebrauch mit der Mikromontage oftmals der Zusammenbau hybrider Mikrosysteme adressiert wird, fallen monolithische Mikrosysteme und mikroelektronische Bauteile ebenfalls unter die Definition der DIN 32564 TEIL 2. Denn auch diese Bauteile sind zu vereinzeln, auf einem Träger zu montieren und anschließend sind die Anschlusspads von Bauteil und Träger zu kontaktieren. Nach VÖLKLEIN & ZETTERER (2006) kommen als Bauteilträger entweder metallische Systemträger, Keramiken, Kunststoffe, Gläser, Siliziumwafer oder auch Leiterplatten zum Einsatz. Die Verbindung zwischen Bauteil und Träger erfolgt dabei durch Kleben, Löten oder Legieren. Die in ein Kunststoff- oder Keramikgehäuse verpackten Bauteile werden als SMD⁵-Bauteile bezeichnet. Dagegen werden Bauteile, die auf eine Leiterplatte ohne Gehäuse aufgebracht werden, als Bare-Die⁶ betitelt (VÖLKLEIN & ZETTERER 2006). Der Vorteil von Bare-Dice im Gegensatz zu gehäusten Bauteilen liegt nach HILLERINGMANN (2008) im Entfall von etlichen Handhabungsschritten und der Reduktion des Flächenbedarfs auf dem Träger und der damit verbundenen Kosteneinsparung. Weiterhin werden die mechanischen und elektrischen Eigenschaften des Bauteils verbessert.

In der Halbleiterindustrie und der Mikrosystemtechnik werden zwei Arten von Kontaktierungstechniken unterschieden (HSU & CLATTERBAUGH 2003). Bei der ersten Kontaktierungsart wird die unstrukturierte Seite auf dem Bauteilträger montiert (face-up bonding). Bei der zweiten Kontaktierungsart wird dagegen die strukturierte Bauteilseite auf dem Bauteilträger befestigt (face-down bonding). Beim face-down bonding kommt die sogenannte Flip-Chip-Technik zum Einsatz, die auch in der Mikrosystemtechnik Einzug gehalten hat (JACOB 2002), während beim face-up bonding das Chip-and-Wire-Verfahren eingesetzt wird. Bevor die beiden Techniken aber näher erläutert werden, wird zuvor die Bauteilvereinzlung und die derzeitige Greiftechnik kurz dargestellt.

Bauteilvereinzlung: Nach der Zerteilung des Wafers in einzelne Bauteile am Ende der Waferherstellung liegen diese in einer durch den Trennschnitt genau definierten Größe und Lage auf der selbstklebenden Folie (UV- oder Blue-Tape) vor. Für die nachfolgende Montage müssen die Bauteile von der Folie durch die Aufhebung der Adhäsionskraft gelöst werden. Eine der bekanntesten Methoden hierfür ist die *needle ejection* durch einen *Die Ejector* gemäß der PATENTSCHRIFT US 4990051 A. Bei diesem Verfahren heben eine oder mehrere dünne Nadeln die

⁵ engl. surface-mounted-device; oberflächenmontierbare Bauteile, die mittels lotfähiger Anschlussflächen direkt auf eine Leiterplatte gelötet werden können.

⁶ dt. Nacktchip; bezeichnet den Verbau des Bauteils auf einem Bauteilträger ohne schützendem Gehäuse.

Folienunterseite und damit ein einzelnes Bauteil an (HERBST & MARTE 2005). Abbildung 1.4 veranschaulicht diese Bauteilvereinzelung. Zusätzlich zum Anheben des Bauteils wird der Folienkontakt zum Bauteil, an den Stellen, an denen keine Nadel angesetzt ist, durch ein angelegtes Vakuum im *Die Ejector* reduziert. Der Kontakt zwischen Adhäsivfolie und Bauteil beschränkt sich damit nur auf die Fläche der Nadelspitze(n), womit ein leichtes Anheben des Bauteils durch das Handhabungssystem möglich ist. Neben dem Prinzip der *needle ejection* können die Bauteile von der Folie auch anderweitig entnommen werden. Durch Wirkmedien, die auf den Klebstoff der Adhäsivfolie aufgetragen werden, oder durch UV-Bestrahlung kann eine Reduktion der Klebekraft ebenfalls erfolgen. Jedoch benötigt der Einsatz von Wirkmedien oder UV-Bestrahlung eine Einwirkzeit, die den Vereinzelungsprozess im Vergleich zum *Die Ejector* verlangsamt und folglich verteuert.

Greiftechnik: Für das automatisierte Greifen elektronischer oder monolithischer Bauteile werden in der Industrie überwiegend Unterdruckgreifer eingesetzt (NIENHAUS 1999). Aufgrund der hohen Flexibilität, der weitestgehenden Bauteilgeometrie- und Materialunabhängigkeit und des einfachen Funktionsprinzips sind Unterdruckgreifer die erste Wahl für Handhabungsaufgaben der Mikromontage. Weiterhin können auch gewölbte und poröse Objekte gegriffen und montiert werden, wenn sie eine ebene Greiffläche besitzen. Derartige Greifsysteme auf Basis des taktilen, fluidischen Greifprinzips werden zahlreich in der Literatur diskutiert (ANSEL ET AL. 2002; GRUTZECK & KIESEWETTER 2002; POPOVIC ET AL. 2002; NIENHAUS 1999; HENSCHKE 1994). Unterdruckgreifer unterscheiden sich anhand der geometrischen Form des Kopfes, des eingesetzten Werkstoffs sowie den daraus resultierenden Einsatzgebieten. Vier unterschiedliche Unterdruckgreifer, die in der automatisierten Bauteilmontage eingesetzt werden, sind in Abbildung 1.2 dargestellt (HEINZ 2011). Abbildung 1.2 a zeigt einen Saugglockengreifer, der Bauteile durch eine Bohrung mit angelegtem Unterdruck anzieht und an definierten Positionen an der Bauteiloberfläche durch Abstandshalter auf Distanz hält. Somit wird eine Berührung empfindlicher Bauteiloberflächen vermieden. Aus dem gleichen Grund gibt es auch den Die-Collet (Abbildung 1.2 b). Dieser Greifer verfügt über schräge, bauteilspezifische Dichtflächen, die der Oberflächenschonung des Bauteils dienen und nur an der Außenkante ansetzen. Die Bauform des Greifers übt zusätzlich eine selbstzentrierende Wirkung auf das Bauteil aus. Infolge der Greifgeometrie entsteht allerdings der sogenannte Bestückschatten⁷ (SCHILP 2007), da die Abmessungen des Greifers über die des Bauteils hinausragen. Folglich muss dieser Bereich

⁷In der DIN 61188 TEIL 5-1 fällt der Bestückschatten unter den Begriff der Bauteilflächenbearbeitungszone und beschreibt eine Flächenzugabe zur Bauteilfläche, die durch die Anforderungen einer fehlerfreien Montage entsteht.

sowohl bei der Bauteilaufnahme als auch bei der Bauteilablage freigehalten werden, um Beschädigungen des Die-Collet oder der umliegenden Bauteile zu vermeiden. Die Pipette (Abbildung 1.2 c) ist der bekannteste Unterdruckgreifer. Ihr Einsatz ist nur möglich, wenn die Berührung der Bauteiloberfläche keine Beschädigungen zur Folge hat, wie beispielsweise bei gehäusten Bauteilen. Das Greifen mit dem Saugnapf (Abbildung 1.2 d), an dessen Kopfseite sich eine elastische Gummilippe befindet, funktioniert zwar problemlos, jedoch ist die Bauteilpositionierung durch die entstehende Beweglichkeit sehr ungenau (BÜTTGENBACH & HOXHOLD 2008).

Abbildung 1.2: Unterschiedliche Ausführungen des Unterdruckgreifers (p_U : Unterdruck), nach HEINZ (2011).

Chip-and-Wire-Technik: Bei dieser Technik werden die Bauteile vom Wafer genommen und auf einen Träger gesetzt. Durch Kleben, Löten oder Legieren werden die Bauteile fest mit dem Träger verbunden. Die elektrischen Verbindungen zwischen dem Bauteil und den Anschluss pads des Bauteilträgers werden bei der Chip-and-Wire-Technik sequenziell durch das Einzeldrahtverfahren (Drahtbonding) hergestellt (HILLERINGMANN 2008). Die verschiedenen Methoden des Einzeldrahtverfahrens unterscheiden sich in der Art der Energiezufuhr zur Herstellung der Verbindung. Während beim Thermokompressionsverfahren die Verbindung durch Wärme und Druck hergestellt wird, handelt es sich beim Ultraschallbonds um ein Reibschweißverfahren, bei dem die elektrische Kontaktierung durch Druck und Reibungswärme erzeugt wird (KIENINGER 2005). Das Thermosonicverfahren stellt eine Kombination aus dem Thermokompressions- und Ultraschallverfahren dar. Beispielhaft für die Chip-and-Wire-Technik sei hier das Thermokompressionsverfahren in Abbildung 1.3 veranschaulicht. Zuerst wird der Bonddraht, ein Aluminium- oder Golddraht, am Ende der Keramik-Kapillare aufgeschmolzen und es bildet sich eine Kugel. Diese wird auf die zu kontaktierende Bauteilfläche gesetzt. Der Bauteilträger inklusive Bauteil wurde zuvor auf etwa 300°C erwärmt. Nach dem Aufsetzen der geschmolzenen Kugel

Abbildung 1.3: Schematische Darstellung der Chip-and-Wire-Technik anhand des Thermokompressionsverfahrens.

auf die Anschlussfläche des Bauteils verformt sich diese zu einem Nagelkopf und haftet. Anschließend wird die Keramik-Kapillare in einer bogenförmigen Bewegung zum entsprechenden Kontakt (Pin) des Bauteilträgers geführt. An diesem erfolgt ebenfalls der zuvor beschriebene Schweißvorgang. Zum Schluss wird der übrige Bonddraht abgerissen.

Flip-Chip-Technik: Die derzeit höchstintegrierte Aufbautechnologie für Halbleiterkomponenten in der Mikroelektronik und der Mikrosystemtechnik ist die Flip-Chip-Technik (HÖHN 2001), deren Vorgang in Abbildung 1.4 schematisch dargestellt wird. Nach REICHL (1998) wurde diese Technik von der *Fa. IBM* unter dem Namen C4 (controlled collapse chip connection) eingeführt und in den vergangenen Jahren stets weiterentwickelt. Auf die daraus entstandenen unterschiedlichen Flip-Chip-Verfahren soll an dieser Stelle nicht näher eingegangen werden, da jedes Verfahren anwendungsspezifische Stärken besitzt und im Hinblick auf Handhabungstechnik keine Differenzierungsmerkmale aufweist. Im Grundprinzip sind die Verfahren identisch, die Bauteile werden mit der im Lithographieprozess strukturierten Seite zum Bauteilträger hin gedreht (*face-down bonding*) (JACOB 2002). Der elektrische Kontakt wird dabei durch Lotkugeln, den sogenannten Lotbumps oder Bumps, zwischen dem Bauteilträger und dem Bauteil realisiert. Diese $30\ \mu\text{m} - 80\ \mu\text{m}$ hohen Lotbumps werden in einem der Montage vorausgehenden Schritt auf der Waferoberseite oder auf dem Bauteilträger aufgebracht (HILLERINGMANN 2008). Nach der Bauteilvereinzelung vom Wafer nimmt ein Greifsystem das bereitgestellte Bauteil auf, dreht es um 180° und übergibt das Bauteil an eine zweite Handhabungseinrichtung. Diese setzt das Bauteil auf den Bauteilträger. Anschließend erfolgt im Durchlaufofen (Reflow-Ofen) die elektrische Kontaktierung durch Aufschmelzen der Lotbumps.

Neue Ansätze zur Bauteilhandhabung: Der Miniaturisierungstrend geht allerdings mit einer stetigen Verkleinerung der geometrischen Bauteilabmessungen

Abbildung 1.4: Schematische Darstellung der Flip-Chip-Technik

gen einher. Gerade dünne Bauteile von weniger als $75\ \mu\text{m}$ Dicke neigen bei der taktilen Handhabung zum durchbrechen (FRANZKOWIAK ET AL. 2005B). Weiterhin kann die Funktion oberflächenstrukturierter Bauteile, wie Oberflächenwellenfilter, durch eine Berührung beeinträchtigt werden. Nach ABELE & REINHART (2011) führt der Miniaturisierungstrend daher zur Notwendigkeit neuer Greifsysteme, um die Montage auch weiterhin prozesssicher und mit höchster Genauigkeit zu ermöglichen. Denn unabhängig von der verwendeten Kontaktierungstechnik (Flip-Chip- oder Chip-and-Wire-Technik) ist jedes Bauteil aus dem Waferverbund aufzunehmen und an einen Zielort zu fügen. Die Handhabungstechnik ist dabei das kritische Element in der Montage.

Aufgrund der zunehmenden Bauteilempfindlichkeit werden auf dem Gebiet der Produktionstechnik seit gut zehn Jahren unterschiedliche Ansätze für eine schonendere Handhabung erforscht. Dabei werden verschiedene physikalische Prinzipien zur nichttaktilen Kraftübertragung betrachtet und in Laboraufbauten realisiert. Als besonders viel versprechende Technologie wird die berührungslose Handhabung mittels Ultraschall (FRANZKOWIAK ET AL. 2005B; BAUR ET AL. 2007; SCHILP 2007; REINHART ET AL. 2008; HEINZ 2011) angesehen. Bei dieser Technologie wird im Nahfeld vor einer im Ultraschallbereich schwingenden Fläche ein Luftkissen erzeugt, auf dem ein flächiges Bauteil schweben kann. Der Ultraschall wirkt als abstoßende Kraft auf das Bauteil. Wird die schwingende Fläche im Weiteren mit Unterdruckdüsen versehen, kann zusätzlich eine anziehende Unterdruckkraft auf das Bauteil aufgetragen werden. Durch die Kombination der abstoßenden Ultraschallkraft und der anziehenden Unterdruckkraft wird

ein berührungsloses Greifen des Bauteils ermöglicht. Die Vorteile der ultraschallbasierten Handhabungstechnik liegen nach SCHILP (2007) in der schonenden Bauteilmanipulation und der Vermeidung eines Bestückschattens. Bislang wird diese Handhabungstechnik aber noch nicht in der automatisierten Montage von monolithischen Bauteilen eingesetzt und ist lediglich im Forschungsbereich zu finden.

1.2.3 Automatisierte Montagesysteme

Da im Gegensatz zur parallelisierten Fertigung der Bauteile im Lithographieprozess deren Montage immer sequenziell erfolgen muss (ANSEL ET AL. 2002), ist die automatisierte Mikromontage ein entscheidender Faktor für die breite technische Nutzung und kostengünstige Herstellung von Mikrosystemen (TUMMALA 2001). Besonders unter dem Gesichtspunkt, dass die erforderlichen Montageprozesse einen hohen Prozentsatz der gesamten Produktionskosten verursachen (DILTHEY & BRANDENBURG 2005), ist ein effizienter Montageablauf mit geringen Taktzeiten (STANZL 2008) unumgänglich. Die hierfür eingesetzten Anlagen sind sogenannte Pick-and-Place Automaten oder Bestückautomaten (HÖHN 2001), in denen die zuvor beschriebenen unterschiedlichen Montagetechniken realisiert sind. Hochleistungsbestückautomaten der *Fa. Siemens AG* erreichen eine Bestückleistung von über 100.000 Bauteilen in der Stunde (OSWALD 2007).

Den Kern dieser vollautomatisierten Systeme bildet dabei beispielsweise ein Portalroboter mit vier Freiheitsgraden zur räumlichen Positionierung und zur Ausrichtung der Bauteile in der Ebene. Im Arbeitsraum des Roboters sind neben der Zuführ- und Vereinzlungseinheit auch die Bauteilträger, auf denen die Bauteile montiert werden, untergebracht. Zur Erhöhung der Positioniergenauigkeit werden Pick-and-Place Automaten mit zusätzlichen Positionserkennungssensoren sowie einer digitalen Bildverarbeitung ergänzt. Durch die Verwendung zweier Kamerasysteme ist die lagegenaue Erkennung der Bauteile, der Bauteilträger und des Handhabungswerkzeuges möglich. Etwaige Lagetoleranzen werden damit erkannt und kompensiert. Die *Fa. Siemens AG* erreicht bei ihren Bestückautomaten eine Genauigkeit der platzierten Bauteile von $55 \mu\text{m}$ bei 3σ (STANZL 2008). Der Prozessablauf eines Bestückautomaten mit der Anwendung zweier Kamerasysteme wird schematisch durch die Abbildung 1.5 wiedergegeben.

Im ersten Schritt wird eine grobe Bauteilpose mittels der am Portalroboter befindlichen Kamera genau vermessen. Dieser Schritt entfällt, wenn die Bauteilposition bekannt ist und kleinere Aufnahmetoleranzen akzeptiert werden. Im zweiten Schritt wird das Bauteil durch das Greifsystem, beispielsweise einen Saugglockengreifer, aufgenommen. Hierbei ist neben den Ebenenkoordinaten x und y zusätzlich noch die Höhenposition z des Bauteils zu bestimmen. Diese

Abbildung 1.5: Schematische Darstellung der Prozessschritte eines Bestückautomaten mit zwei Kamerasystemen zur Optimierung der Platziergenauigkeit.

variiert im gesamten Arbeitsraum aufgrund unterschiedlicher Höhenniveaus, verschiedener Bauteil- und Bauteilträgerdicken und abwechselnder geometrischer Längen des Greifsystems. Zur Detektion der tatsächlichen Höhenposition wird ein integriertes, direktes Wegmesssystem verwendet. Die Zielposition des Greifers wird stets so gewählt, dass die Achsbewegung zu einer Kollision führt. Sobald der Greifer die Oberfläche berührt, steigt der Motorstrom, der eine direkte Proportionalität zur Anpresskraft des Greifers aufweist, an (vgl. Abbildung 1.5 Positionsregler der z-Achse). Überschreitet der gemessene Motorstrom einen prozessabhängigen Schwellwert, wird die Bewegung der Greiferachse, unabhängig von der angesteuerten Zielposition, gestoppt. Über das direkte Wegmesssystem an der Greiferachse ist die tatsächliche Höhenposition bekannt. Anschließend an den Höhenpositionierungsvorgang erfolgt die Aktivierung des Unterdrucks und das Bauteil ist gegriffen. Im dritten Schritt wird die Orientierung und Position des gegriffenen Bauteils am Greifer mit Hilfe einer ortsfesten Kamera ermittelt. Eventuelle Abweichungen zwischen der Greifer- und Bauteillage werden bei der Bauteilablage zur Erhöhung der Bestückgenauigkeit berücksichtigt. Die entstehenden Abweichungen sind das Resultat der summierten Ungenauigkeiten bestehend aus dem Versatz des Greifers zum Bauteilmittelpunkt bei dessen Aufnahme und der Kalibrierung der Anlage. Im vierten Schritt wird die

Ablageposition vermessen. Hierzu wird die Lage des Koordinatenursprungs des Bauteilträgers über drei auf dem Träger befindliche Vermessungsmarken im Arbeitsraum bestimmt. Aus diesen Informationen werden die Maschinenkoordinaten jeder Ablageposition und -orientierung aller Bauteile berechnet. Dieser Schritt ist nur zum Bestückanfang jedes neuen Bauteilträgers erforderlich. Im letzten Schritt erfolgt die lagekorrigierte Bauteilablage ebenfalls über die kraftgeregelte Achsenbewegung des Greifers, über die zusätzlich eine definierte Fügekraft aufgebracht wird.

1.3 Zielsetzung und Gliederung der Arbeit

Der vorangegangene Abschnitt gibt einen kurzen Überblick über die Herstellung monolithischer Bauteile von der Fertigung bis hin zur automatisierten Montage. Daraus werden die folgenden technologischen Trends abgeleitet:

1. Auch zukünftig werden die Märkte für Produkte der Mikrosystemtechnik und der Mikroelektronik weiter wachsen und tragen somit zur Stärkung der Wirtschaft bei.
2. Diese Entwicklung wird vor allem durch die Miniaturisierung forciert, die auch den Kundenwünschen nach höherer Funktionsdichte und geringerem Leistungsverbrauch entgegenkommt.
3. Infolge der kontinuierlichen Bauteilverkleinerung steigen aber gleichzeitig die Anforderungen an das Handhabungssystem, um weiterhin eine beschädigungsfreie Montage mit geringen Ausschußraten zu gewährleisten.

Bestehende Lösungsansätze können die Anforderungen nach einer beschädigungsfreien Handhabung aber nur bedingt erfüllen (HEINZ 2011). Für sensible, oberflächenstrukturierte Bauteile können der Die-Collet, der Saugglockengreifer oder der Saugnapf verwendet werden, allerdings mit unterschiedlichen Nachteilen. Im Falle des Saugnapfes führt die elastische Gummilippe zu einer ungenauen Bauteilpositionierung (BÜTTGENBACH & HOXHOLD 2008). Der Einsatz eines Saugglockengreifers erfordert eine gleichmäßige Verteilung von Abstandshaltern auf der Bauteiloberfläche. Eine einseitige Anordnung der Abstandshalter führt zu einem Kippen des Bauteils. Das Bauprinzip des Die-Collet bedingt einen Bestückschatten, der sowohl auf dem Wafer als auch auf der Montagefläche eine bestimmte Fläche unbenutzbar macht (SCHILP 2007). Eine generelle Bauteilbeschädigung durch die taktile Handhabung besonders im Hinblick auf die Bauteildurchbiegung kann nicht ausgeschlossen werden.

Insofern ergeben sich zwei grundsätzliche Problemstellungen bei der Anwendung konventioneller Handhabungstechniken:

1. das Risiko der Bauteilbeschädigung und

2. die Inkaufnahme eines Bestückschattens bei der Verwendung des Die-Collet.

Die Lösung liegt in der Verwendung einer neuen Handhabungstechnologie, die sowohl eine schonende Montage mikroelektronischer und monolithischer Bauteile ermöglicht als auch einen Bestückschatten vermeidet. Die schonende Handhabung dient zur Verringerung der Ausschussraten empfindlicher Bauteile im Vergleich zur taktilen Handhabung. Eine Vermeidung des Bestückschattens erhöht die Flächenausnutzung des Wafers und des Bauteilträgers und verringert damit die Produktionskosten. Als besonders viel versprechende Technologie wird die berührungslose Handhabung mittels Ultraschall (FRANZKOWIAK ET AL. 2005B; BAUR ET AL. 2007; SCHILP 2007; REINHART ET AL. 2008; HEINZ 2011) erforscht, die den beiden genannten Anforderungen gerecht wird. Folglich wird die Anwendung der ultraschallbasierten Handhabungstechnologie im Montageprozess monolithischer Mikrosysteme in einem automatisierten Montagesystem angestrebt. Aus diesem Grund werden die Ziele der vorliegenden Arbeit wie folgt definiert:

Zielsetzung

- *Erstellung einer Gestaltungssystematik zur effizienten Auslegung des ultraschallbasierten Handhabungssystems für unterschiedliche Bauteile.*
- *Integration der Handhabungstechnologie mittels Ultraschall in die bestehende Anlagentechnik.*
- *Inbetriebnahme, Kalibrierung und Parametrisierung des automatisierten Montagesystems mit ultraschallbasierter Handhabungstechnik.*
- *Adaption der bestehenden Kontaktierungstechnik zur Durchführung einer schonenden Montage sensibler Bauteile.*

Dabei werden nur die Aspekte der Montage betrachtet, die durch die Einführung der neuen Handhabungstechnologie beeinflusst werden. Dies betrifft vor allem den Handhabungs- und den Fügeprozess. Alle weiteren Tätigkeiten der Montage werden im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht berücksichtigt.

Um das gestellte Ziel zu erreichen, werden in **Kapitel 2**, Stand der Forschung und Technik, zu Beginn unterschiedliche Handhabungstechnologien betrachtet, die ebenfalls die Anforderung einer schonenden Bauteilmanipulation erfüllen. Anhand verschiedener Kriterien erfolgt eine Gegenüberstellung dieser Handhabungstechnologien und daraus die Erläuterung der Vorteile der berührungslosen Handhabung mittels Ultraschall. Diese Technologie wird anschließend näher betrachtet und hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit im automatisierten Montage-

1 Einleitung

prozess monolithischer und mikroelektronischer Bauteile diskutiert und der Handlungsbedarf abgeleitet.

In **Kapitel 3** wird eine Methode zur schrittweisen Anwendung der Technologie im Montageprozess und in einer automatisierten Montageanlage vorgestellt.

In **Kapitel 4** werden die Voraussetzungen für eine reproduzierbare Bauteilmannipulation erarbeitet. Hierzu wird zuerst in umfangreichen experimentellen Versuchen das grundsätzliche Systemverhalten untersucht. Anschließend wird aus diesen Erkenntnissen ein Prozessmodell erstellt. Dieses bildet die Grundlage für die spätere Regelung der Handhabungsparameter.

In **Kapitel 5** wird der Fokus auf die Integration der neuen Handhabungstechnologie in den automatisierten Montageprozess gelegt. Die sich daraus ergebenden Anpassungsmaßnahmen bilden die Voraussetzung für die Anwendbarkeit der Handhabungstechnologie im industriellen Umfeld.

In **Kapitel 6** werden die erarbeiteten Ergebnisse anhand einer beispielhaften Umsetzung demonstriert. Basierend auf dem dargestellten Anwendungsfall wird der Einsatz der ultraschallbasierten Handhabungstechnologie im Montageprozess monolithischer Bauteile technisch und wirtschaftlich bewertet.

Kapitel 7 fasst abschließend die erreichten Ergebnisse zusammen und diskutiert die Ansatzpunkte weiterer Arbeiten.

Seminarberichte IWB

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

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

- 1 **Innovative Montagesysteme - Anlagengestaltung, -bewertung und -überwachung**
115 Seiten - ISBN 3-931327-01-9
- 2 **Integriertes Produktmodell - Von der Idee zum fertigen Produkt**
82 Seiten - ISBN 3-931327-02-7
- 3 **Konstruktion von Werkzeugmaschinen - Berechnung, Simulation und Optimierung**
110 Seiten - ISBN 3-931327-03-5
- 4 **Simulation - Einsatzmöglichkeiten und Erfahrungsberichte**
134 Seiten - ISBN 3-931327-04-3
- 5 **Optimierung der Kooperation in der Produktentwicklung**
95 Seiten - ISBN 3-931327-05-1
- 6 **Materialbearbeitung mit Laser - von der Planung zur Anwendung**
86 Seiten - ISBN 3-931327-06-0
- 7 **Dynamisches Verhalten von Werkzeugmaschinen**
80 Seiten - ISBN 3-931327-77-9
- 8 **Qualitätsmanagement - der Weg ist das Ziel**
130 Seiten - ISBN 3-931327-78-7
- 9 **Installationstechnik an Werkzeugmaschinen - Analysen und Konzepte**
120 Seiten - ISBN 3-931327-79-5
- 10 **3D-Simulation - Schneller, sicherer und kostengünstiger zum Ziel**
90 Seiten - ISBN 3-931327-10-8
- 11 **Unternehmensorganisation - Schlüssel für eine effiziente Produktion**
110 Seiten - ISBN 3-931327-11-6
- 12 **Autonome Produktionssysteme**
100 Seiten - ISBN 3-931327-12-4
- 13 **Planung von Montageanlagen**
130 Seiten - ISBN 3-931327-13-2
- 14 **Nicht erschienen – wird nicht erscheinen**
- 15 **Flexible fluide 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 Dichtungsmontage und zum Dichtmittelauftrag**
110 Seiten - ISBN 3-931327-26-4
- 27 **Rapid Prototyping - Mit neuen Technologien schnell vom Entwurf zum Serienprodukt**
111 Seiten - ISBN 3-931327-27-2
- 28 **Rapid Tooling - Mit neuen Technologien schnell vom Entwurf zum Serienprodukt**
154 Seiten - ISBN 3-931327-28-0
- 29 **Installationstechnik an Werkzeugmaschinen - Abschlussseminar**
156 Seiten - ISBN 3-931327-29-9
- 30 **Nicht erschienen – wird nicht erscheinen**
- 31 **Engineering Data Management (EDM) - Erfahrungsberichte und Trends**
183 Seiten - ISBN 3-931327-31-0
- 32 **Nicht erschienen – wird nicht erscheinen**
- 33 **3D-CAD - Mehr als nur eine dritte Dimension**
181 Seiten - ISBN 3-931327-33-7
- 34 **Laser in der Produktion - Technologische Randbedingungen für den wirtschaftlichen Einsatz**
102 Seiten - ISBN 3-931327-34-5
- 35 **Ablaufsimulation - Anlagen effizient und sicher planen und betreiben**
129 Seiten - ISBN 3-931327-35-3
- 36 **Moderne Methoden zur Montageplanung - Schlüssel für eine effiziente Produktion**
124 Seiten - ISBN 3-931327-36-1
- 37 **Wettbewerbsfaktor Verfügbarkeit - Produktivitätssteigerung durch technische und organisatorische Ansätze**
95 Seiten - ISBN 3-931327-37-X
- 38 **Rapid Prototyping - Effizienter Einsatz von Modellen in der Produktentwicklung**
128 Seiten - ISBN 3-931327-38-8
- 39 **Rapid Tooling - Neue Strategien für den Werkzeug- und Formenbau**
130 Seiten - ISBN 3-931327-39-6
- 40 **Erfolgreich kooperieren in der produzierenden Industrie - Flexibel 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 3-98675-069-0
- 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 Kapsel zur aseptischen Ampulle
95 Seiten - ISBN 3-89675-076-3
- 77 ERP-Systeme - Einführung in die betriebliche Praxis - Erfahrungen, Best Practices, Visionen
153 Seiten - ISBN 3-89675-077-7
- 78 Mechatronik - Trends in der interdisziplinären Entwicklung von Werkzeugmaschinen
155 Seiten - ISBN 3-89675-078-X
- 79 Produktionsmanagement
267 Seiten - ISBN 3-89675-079-8
- 80 Rapid Manufacturing - Fertigungsverfahren für alle Ansprüche
154 Seiten - ISBN 3-89675-080-1
- 81 Rapid Manufacturing - Heutige Trends - Zukünftige Anwendungsfelder
172 Seiten - ISBN 3-89675-081-X
- 82 Produktionsmanagement - Herausforderung Variantenmanagement
100 Seiten - ISBN 3-89675-082-8
- 83 Mechatronik - Optimierungspotenzial der Werkzeugmaschine nutzen
160 Seiten - ISBN 3-89675-083-6
- 84 Virtuelle Inbetriebnahme - Von der Kür zur Pflicht?
104 Seiten - ISBN 978-3-89675-084-6
- 85 3D-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 effizient gestalten
122 Seiten - ISBN 978-3-89675-089-1
- 90 Rapid Manufacturing und Digitale Fabrik - Durch Innovation schnell und flexibel am Markt
100 Seiten - ISBN 978-3-89675-090-7
- 91 Robotik in der Kleinserienproduktion - Die Zukunft der Automatisierungstechnik
ISBN 978-3-89675-091-4
- 92 Rapid Manufacturing - Ressourceneffizienz durch generative Fertigung im Werkzeug- und Formenbau
ISBN 978-3-89675-092-1
- 93 Handhabungstechnik - Innovative Greiftechnik für komplexe Handhabungsaufgaben
136 Seiten - ISBN 978-3-89675-093-8
- 94 iwv 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 Band 1–121

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

Band 1–121 sind im Springer Verlag, Berlin, Heidelberg erschienen.

- 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 Industrieroboter
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, J.: Schneiderodierte 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 Leitungszäse
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.: Klipsmontage 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 Montagesysteme
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 Sauerer, 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 Wrba, P.: Simulation als Werkzeug in der Handhabungstechnik
1990 · 125 Abb. · 178 Seiten · ISBN 3-540-52231-X
- 26 Eibelhäuser, 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 Pfang, 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 stömungstechnischen 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 3-540-54076-8
- 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 automatisierten 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.: **Prozßuntersuchungen zur automatisierten Montage von optischen Linsen**
1992 - 84 Abb. - 150 Seiten - ISBN 3-540-55378-9
- 48 Schrüfer, 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 Bomm, 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 Zubringeeinrichtungen**
1993 - 80 Abb. - 152 Seiten - ISBN 3-540-56652-X
- 61 Glas, J.: **Standardisierter Aufbau anwendungsspezifischer Zellenrechnersoftware**
1993 - 80 Abb. - 145 Seiten - ISBN 3-540-56890-5
- 62 Stetter, R.: **Rechnergestützte Simulationswerkzeuge 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 Kummesteiner, 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 Wiethen, 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 Projektförderungs- 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 Zetmayer, H.: **Verfahren zur simulationsgestützten Produktionsregelung in der Einzel- und Kleinstserienproduktion**
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 Raith, 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 Zäh, M. F.: Dynamisches Prozessmodell Kreissägen
1995 - 95 Abb. - 186 Seiten - ISBN 3-540-58624-5
- 80 Zwanzger, 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 Produktionszellen
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 Materialflussteuerungen
1995 - 94 Abb. - 188 Seiten - ISBN 3-540-58953-8
- 87 Rockland, 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 Deutschle, U.: Prozeborientierte 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 Pischelstrieder, K.: Steuerung autonomer mobiler Roboter in der Produktion
1996 - 74 Abb. - 171 Seiten - ISBN 3-540-61714-0
- 103 Köhler, 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 Ablaufsimulationssystemen
1997 - 96 Abb. - 191 Seiten - ISBN 3-540-62202-0
- 106 Wagner, M.: Steuerungsintegrierte 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 Lindermaier, R.: Qualitätsorientierte Entwurf in der Produktion
1998 - 84 Abb. - 164 Seiten - ISBN 3-540-64686-8
- 116 Koehrer, J.: Prozeborientierte 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 Pfof, E.: Modellgestützte Arbeitsplanung bei Fertigungsmaschinen
1999 - 69 Abb. - 154 Seiten - ISBN 3-540-65525-5
- 121 Spitznagel, J.: Erfahrungsgeleitete Planung von Laseranlagen
1999 - 63 Abb. - 156 Seiten - ISBN 3-540-65896-3

Forschungsberichte IWB ab Band 122

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

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

- 122 *Burghard Schneider*: Prozesskettenorientierte Bereitstellung nicht formstabiler Bauteile
183 Seiten - ISBN 978-3-89675-559-9
- 123 *Bernold Goldstein*: Modellgestützte Geschäftsprozessgestaltung in der Produktentwicklung
170 Seiten - ISBN 978-3-89675-546-9
- 124 *Helmut E. Mößner*: Methode zur simulationsbasierten Regelung zeitvarianter Produktionssysteme
164 Seiten - ISBN 978-3-89675-585-8
- 125 *Ralf-Gunter Gräser*: Ein Verfahren zur Kompensation temperaturinduzierter Verformungen an Industrierobotern
167 Seiten - ISBN 978-3-89675-603-9
- 126 *Hans-Jürgen Trossin*: Nutzung der Ähnlichkeitstheorie zur Modellbildung in der Produktionstechnik
162 Seiten - ISBN 978-3-89675-614-5
- 127 *Doris Kugelmann*: Aufgabenorientierte Offline-Programmierung von Industrierobotern
168 Seiten - ISBN 978-3-89675-615-2
- 128 *Rolf Diesch*: Steigerung der organisatorischen Verfügbarkeit von Fertigungszellen
160 Seiten - ISBN 978-3-89675-618-3
- 129 *Werner E. Lulay*: Hybrid-hierarchische Simulationsmodelle zur Koordination teilautonomer Produktionsstrukturen
190 Seiten - ISBN 978-3-89675-620-6
- 130 *Otto Murr*: Adaptive Planung und Steuerung von integrierten Entwicklungs- und Planungsprozessen
178 Seiten - ISBN 978-3-89675-636-7
- 131 *Michael Macht*: Ein Vorgehensmodell für den Einsatz von Rapid Prototyping
170 Seiten - ISBN 978-3-89675-638-1
- 132 *Bruno H. Mehler*: Aufbau virtueller Fabriken aus dezentralen Partnerverbänden
152 Seiten - ISBN 978-3-89675-645-9
- 133 *Knut Heltmann*: Sichere Prognosen für die Produktionsptimierung mittels stochastischer Modelle
146 Seiten - ISBN 978-3-89675-675-6
- 134 *Stefan Blessing*: Gestaltung der Materialfußsteuerung in dynamischen Produktionsstrukturen
160 Seiten - ISBN 978-3-89675-690-9
- 135 *Can Abay*: Numerische Optimierung multivariater mehrstufiger Prozesse am Beispiel der Hartbearbeitung von Industriekeramik
159 Seiten - ISBN 978-3-89675-697-8
- 136 *Stefan Brandner*: Integriertes Produktdaten- und Prozeßmanagement in virtuellen Fabriken
172 Seiten - ISBN 978-3-89675-715-9
- 137 *Arnd G. Hirschberg*: Verbindung der Produkt- und Funktionsorientierung in der Fertigung
165 Seiten - ISBN 978-3-89675-729-6
- 138 *Alexandra Reek*: Strategien zur Fokusspositionierung beim Laserstrahlschweißen
193 Seiten - ISBN 978-3-89675-730-2
- 139 *Khalid-Alexander Sabbah*: Methodische Entwicklung störungstoleranter Steuerungen
148 Seiten - ISBN 978-3-89675-739-5
- 140 *Klaus U. Schilffebacher*: Konfiguration virtueller Wertschöpfungsketten in dynamischen, heterarchischen Kompetenznetzwerken
187 Seiten - ISBN 978-3-89675-754-8
- 141 *Andreas Sprengel*: Integrierte Kostenkalkulationsverfahren für die Werkzeugmaschinenentwicklung
144 Seiten - ISBN 978-3-89675-757-9
- 142 *Andreas Gallasch*: Informationstechnische Architektur zur Unterstützung des Wandels in der Produktion
150 Seiten - ISBN 978-3-89675-781-4
- 143 *Ralf Cuiper*: Durchgängige rechnergestützte Planung und Steuerung von automatisierten Montagevorgängen
174 Seiten - ISBN 978-3-89675-783-8
- 144 *Christian Schneider*: Strukturmechanische Berechnungen in der Werkzeugmaschinenkonstruktion
180 Seiten - ISBN 978-3-89675-789-0
- 145 *Christian Jonas*: Konzept einer durchgängigen, rechnergestützten Planung von Montageanlagen
183 Seiten - ISBN 978-3-89675-870-5
- 146 *Ulrich Willnecker*: Gestaltung und Planung leistungsorientierter manueller Fließmontagen
194 Seiten - ISBN 978-3-89675-891-0
- 147 *Christof Lehner*: Beschreibung des Nd:YAG-Laserstrahlschweißprozesses von Magnesiumdruckguss
205 Seiten - ISBN 978-3-8316-0004-5
- 148 *Frank Rick*: Simulationsgestützte Gestaltung von Produkt und Prozess am Beispiel Laserstrahlschweißen
145 Seiten - ISBN 978-3-8316-0008-3
- 149 *Michael Höhn*: Sensorgeführte Montage hybrider Mikrosysteme
185 Seiten - ISBN 978-3-8316-0012-0

- 150 **Jörn Böhl:** Wissensmanagement im Klein- und mittelständischen Unternehmen der Einzel- und Kleinserienfertigung
190 Seiten - ISBN 978-3-8316-0020-5
- 151 **Robert Bürgel:** Prozessanalyse an spanenden Werkzeugmaschinen mit digital geregelten Antrieben
185 Seiten - ISBN 978-3-8316-0021-2
- 152 **Stephan Dürrschmidt:** Planung und Betrieb wandlungsfähiger Logistiksysteme in der variantenreichen Serienproduktion
194 Seiten - ISBN 978-3-8316-0023-6
- 153 **Bernhard Eich:** Methode zur prozesskettenorientierten Planung der Teilebereitstellung
136 Seiten - ISBN 978-3-8316-0028-1
- 154 **Wolfgang Rudarfer:** Eine Methode zur Qualifizierung von produzierenden Unternehmen für Kompetenznetzwerke
207 Seiten - ISBN 978-3-8316-0037-3
- 155 **Hans Meier:** Verteilte kooperative Steuerung maschinenaher Abläufe
166 Seiten - ISBN 978-3-8316-0044-1
- 156 **Gerhard Nowak:** Informationstechnische Integration des industriellen Service in das Unternehmen
208 Seiten - ISBN 978-3-8316-0055-7
- 157 **Martin Werner:** Simulationsgestützte Reorganisation von Produktions- und Logistikprozessen
191 Seiten - ISBN 978-3-8316-0058-8
- 158 **Bernhard Lenz:** Finite Elemente-Modellierung des Laserstrahlweißens für den Einsatz in der Fertigungsplanung
162 Seiten - ISBN 978-3-8316-0094-6
- 159 **Stefan Grunwald:** Methode zur Anwendung der flexiblen integrierten Produktentwicklung und Montageplanung
216 Seiten - ISBN 978-3-8316-0095-3
- 160 **Josef Gartner:** Qualitätssicherung bei der automatisierten Applikation hochviskoser Dichtungen
165 Seiten - ISBN 978-3-8316-0096-0
- 161 **Wolfgang Zeller:** Gesamtheitliches Sicherheitskonzept für die Antriebs- und Steuerungstechnik bei Werkzeugmaschinen
192 Seiten - ISBN 978-3-8316-0100-4
- 162 **Michael Loferer:** Rechnergestützte Gestaltung von Montagesystemen
178 Seiten - ISBN 978-3-8316-0118-9
- 163 **Jörg Führer:** Ganzheitliche Optimierung des indirekten Metall-Lasersinterprozesses
176 Seiten - ISBN 978-3-8316-0124-0
- 164 **Jürgen Höppner:** Verfahren zur berührungslosen Handhabung mittels leistungsstarker Schallwandler
144 Seiten - ISBN 978-3-8316-0125-7
- 165 **Hubert Götte:** Entwicklung eines Assistenzrobotersystems für die Knieendoprothetik
258 Seiten - ISBN 978-3-8316-0126-4
- 166 **Martin Weißenberger:** Optimierung der Bewegungsdynamik von Werkzeugmaschinen im rechnergestützten Entwicklungsprozess
210 Seiten - ISBN 978-3-8316-0138-7
- 167 **Dirk Jacob:** Verfahren zur Positionierung unterseitenstrukturierter Bauelemente in der Mikrosystemtechnik
200 Seiten - ISBN 978-3-8316-0142-4
- 168 **Ulrich Raßgoderer:** System zur effizienten Layout- und Prozessplanung von hybriden Montageanlagen
175 Seiten - ISBN 978-3-8316-0154-7
- 169 **Robert Klingel:** Anziehverfahren für hochfeste Schraubenverbindungen auf Basis akustischer Emissionen
164 Seiten - ISBN 978-3-8316-0174-5
- 170 **Paul Jens Peter Ross:** Bestimmung des wirtschaftlichen Automatisierungsgrades von Montageprozessen in der frühen Phase der Montageplanung
144 Seiten - ISBN 978-3-8316-0191-2
- 171 **Stefan von Praun:** Toleranzanalyse nachgiebiger Baugruppen im Produktentstehungsprozess
252 Seiten - ISBN 978-3-8316-0202-5
- 172 **Florian von der Hagen:** Gestaltung kurzfristiger und unternehmensübergreifender Engineering-Kooperationen
220 Seiten - ISBN 978-3-8316-0208-7
- 173 **Oliver Kramer:** Methode zur Optimierung der Wertschöpfungskette mittelständischer Betriebe
212 Seiten - ISBN 978-3-8316-0211-7
- 174 **Winfried Dohmen:** Interdisziplinäre Methoden für die integrierte Entwicklung komplexer mechatronischer Systeme
200 Seiten - ISBN 978-3-8316-0214-8
- 175 **Oliver Anton:** Ein Beitrag zur Entwicklung telepräsenster Montagesysteme
158 Seiten - ISBN 978-3-8316-0215-5
- 176 **Welf Broser:** Methode zur Definition und Bewertung von Anwendungsfeldern für Kompetenznetzwerke
224 Seiten - ISBN 978-3-8316-0217-9
- 177 **Frank Breitinge:** Ein ganzheitliches Konzept zum Einsatz des indirekten Metall-Lasersinterens für das Druckgießen
156 Seiten - ISBN 978-3-8316-0227-8
- 178 **Johann von Pieveling:** Ein Vorgehensmodell zur Auswahl von Konturfertigungsverfahren für das Rapid Tooling
163 Seiten - ISBN 978-3-8316-0230-8
- 179 **Thomas Baudisch:** Simulationsumgebung zur Auslegung der Bewegungsdynamik des mechatronischen Systems Werkzeugmaschine
190 Seiten - ISBN 978-3-8316-0249-0
- 180 **Heinrich Schieferstein:** Experimentelle Analyse des menschlichen Kaustems
132 Seiten - ISBN 978-3-8316-0251-3
- 181 **Joachim Berlak:** Methodik zur strukturierten Auswahl von Auftragsabwicklungssystemen
244 Seiten - ISBN 978-3-8316-0258-2
- 182 **Christian Meierloh:** Konzept zur rechnergestützten Integration von Produktions- und Gebäudeplanung in der Fabrikgestaltung
181 Seiten - ISBN 978-3-8316-0292-6
- 183 **Volker Weber:** Dynamisches Kostenmanagement in kompetenzzentrierten Unternehmensnetzwerken
230 Seiten - ISBN 978-3-8316-0330-5
- 184 **Thomas Bongardt:** Methode zur Kompensation betriebsabhängiger Einflüsse auf die Absolutgenauigkeit von Industrierobotern
170 Seiten - ISBN 978-3-8316-0332-9
- 185 **Tim Angerer:** Effizienzsteigerung in der automatisierten Montage durch aktive Nutzung mechatronischer Produktkomponenten
180 Seiten - ISBN 978-3-8316-0336-7
- 186 **Alexander Krüger:** Planung und Kapazitätsabstimmung stückzahlflexibler Montagesysteme
197 Seiten - ISBN 978-3-8316-0371-8
- 187 **Matthias Meindl:** Beitrag zur Entwicklung generativer Fertigungsverfahren für das Rapid Manufacturing
236 Seiten - ISBN 978-3-8316-0465-4
- 188 **Thomas Fusch:** Betriebsbegleitende Prozessplanung in der Montage mit Hilfe der Virtuellen Produktion am Beispiel der Automobilindustrie
190 Seiten - ISBN 978-3-8316-0467-8
- 189 **Thomas Mosandl:** Qualitätssteigerung bei automatisiertem Klebstoffauftrag durch den Einsatz optischer Konturfolgesysteme
182 Seiten - ISBN 978-3-8316-0471-5
- 190 **Christian Patron:** Konzept für den Einsatz von Augmented Reality in der Montageplanung
150 Seiten - ISBN 978-3-8316-0474-6
- 191 **Robert Cisek:** Planung und Bewertung von Rekonfigurationsprozessen in 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:** Prozessgasfluss beim Schweißen mit Hochleistungsdiodenlasern
148 Seiten - ISBN 978-3-8316-0611-5
- 198 **Bernd Hartmann:** Die Bestimmung des Personalbedarfs für den Materialfluss in Abhängigkeit von Produktionsfläche und -menge
208 Seiten - ISBN 978-3-8316-0615-3
- 199 **Michael Schilp:** Auslegung und Gestaltung von Werkzeugen zum berührungslosen Greifen kleiner Bauteile in der Mikromontage
180 Seiten - ISBN 978-3-8316-0631-3
- 200 **Florian Manfred Grätz:** Teilautomatische Generierung von Stromlauf- und Fluidplänen für mechatronische Systeme
192 Seiten - ISBN 978-3-8316-0643-6
- 201 **Dieter Eireiner:** Prozessmodelle zur statischen Auslegung von Anlagen für das Friction Stir Welding
214 Seiten - ISBN 978-3-8316-0650-4
- 202 **Gerhard Volkwein:** Konzept zur effizienten Bereitstellung von Steuerungsfunktionalität für die NC-Simulation
192 Seiten - ISBN 978-3-8316-0663-9
- 203 **Sven Roeren:** Komplexitätsvariable Einflussgrößen für die bauteilbezogene Struktursimulation thermischer Fertigungsprozesse
224 Seiten - ISBN 978-3-8316-0680-1
- 204 **Henning Rudolf:** Wissensbasierte Montageplanung in der Digitalen Fabrik am Beispiel der Automobilindustrie
200 Seiten - ISBN 978-3-8316-0697-9
- 205 **Stella Clarke-Griebisch:** Overcoming the Network Problem in Telepresence Systems with Prediction and Inertia
150 Seiten - ISBN 978-3-8316-0701-3
- 206 **Michael Ehrenstraßer:** Sensoreinsatz in der telepräsen- ten Mikromontage
180 Seiten - ISBN 978-3-8316-0743-3
- 207 **Rainer Schack:** Methodik zur bewertungsorientierten Skalierung der Digitalen Fabrik
260 Seiten - ISBN 978-3-8316-0748-8
- 208 **Wolfgang Sudhoff:** Methodik zur Bewertung standortübergreifender Mobilität in der Produktion
300 Seiten - ISBN 978-3-8316-0749-5
- 209 **Stefan Müller:** Methodik für die entwicklungs- und planungsbegleitende Generierung und Bewertung von Produktionsalternativen
260 Seiten - ISBN 978-3-8316-0750-1
- 210 **Ulrich Kohler:** Methodik zur kontinuierlichen und kostenorientierten Planung produktionstechnischer Systeme
246 Seiten - ISBN 978-3-8316-0753-2
- 211 **Klaus Schlickerrieder:** Methodik zur Prozessoptimierung beim automatisierten elastischen Kleben großflächiger Bauteile
204 Seiten - ISBN 978-3-8316-0776-1
- 212 **Niklas Müller:** Bestimmung der Wirtschaftlichkeit wandlungsfähiger Produktionssysteme
260 Seiten - ISBN 978-3-8316-0778-5
- 213 **Daniel Siedl:** Simulation des dynamischen Verhaltens von Werkzeugmaschinen während Verfahrenbewegungen
226 Seiten - ISBN 978-3-8316-0779-2
- 214 **Dirk Ansorge:** Auftragsabwicklung in heterogenen Produktionsstrukturen mit spezifischen Planungsfreiräumen
150 Seiten - ISBN 978-3-8316-0785-3
- 215 **Georg Würnsch:** Methoden für die virtuelle Inbetriebnahme automatisierter Produktionssysteme
238 Seiten - ISBN 978-3-8316-0795-2
- 216 **Thomas Oertli:** Strukturmechanische Berechnung und Regelungssimulation von Werkzeugmaschinen mit elektromechanischen Vorschubantrieben
194 Seiten - ISBN 978-3-8316-0798-3
- 217 **Bernd Petzold:** Entwicklung eines Operatorarbeitsplatzes für die telepräsen- te Mikromontage
234 Seiten - ISBN 978-3-8316-0805-8
- 218 **Lucas Papadakis:** Simulation of the Structural Effects of Welded Frame Assemblies in Manufacturing Process Chains
260 Seiten - ISBN 978-3-8316-0813-3
- 219 **Mathias Mörtl:** Ressourcenplanung in der variantenreichen Fertigung
228 Seiten - ISBN 978-3-8316-0820-1
- 220 **Sebastian Weig:** Konzept eines integrierten Risikomanagements für die Ablauf- und Strukturgestaltung in Fabrikplanungsprojekten
252 Seiten - ISBN 978-3-8316-0823-2
- 221 **Tobias Hornfeck:** Laserstrahlbiegen komplexer Aluminiumstrukturen für Anwendungen in der Luftfahrtindustrie
150 Seiten - ISBN 978-3-8316-0826-3
- 222 **Hans Egermeier:** Entwicklung eines Virtual-Reality-Systems für die Montagesimulation mit kraftrückkoppelnden Handschuhen
230 Seiten - ISBN 978-3-8316-0833-1
- 223 **Matthäus Sigl:** Ein Beitrag zur Entwicklung des Elektronenstrahlstahns
200 Seiten - ISBN 978-3-8316-0841-6
- 224 **Mark Harfensteller:** Eine Methodik zur Entwicklung und Herstellung von Radiumtargets
198 Seiten - ISBN 978-3-8316-0849-2
- 225 **Jochen Werner:** Methode zur roboterbasieren förderbandsynchronen Fließmontage am Beispiel der Automobilindustrie
210 Seiten - ISBN 978-3-8316-0857-7
- 226 **Florian Hagemann:** Ein formflexibles Werkzeug für das Rapid Tooling beim Spritzgießen
244 Seiten - ISBN 978-3-8316-0861-4
- 227 **Haitham Rashidy:** Knowledge-based quality control in manufacturing processes with application to the automotive industry
226 Seiten - ISBN 978-3-8316-0862-1
- 228 **Wolfgang Vogl:** Eine interaktive räumliche Benutzerschnittstelle für die Programmierung von Industrierobotern
248 Seiten - ISBN 978-3-8316-0869-0
- 229 **Sonia Schedl:** Integration von Anforderungsmanagement in den mechatronischen Entwicklungsprozess
176 Seiten - ISBN 978-3-8316-0874-4
- 230 **Andreas Trautmann:** Bifocal Hybrid Laser Welding - A Technology for Welding of Aluminium and Zinc-Coated Steels
314 Seiten - ISBN 978-3-8316-0876-8
- 231 **Patrick Neise:** Managing Quality and Delivery Reliability of Suppliers by Using Incentives and Simulation Models
226 Seiten - ISBN 978-3-8316-0878-2
- 232 **Christian Habicht:** Einsatz und Auslegung zeitenfensterbasierter Planungssysteme in unterbetrieblichen Wertschöpfungsketten
204 Seiten - ISBN 978-3-8316-0891-1
- 233 **Michael Spitzweg:** Methode und Konzept für den Einsatz eines physikalischen Modells in der Entwicklung von Produktionsanlagen
180 Seiten - ISBN 978-3-8316-0931-4

- 234 **Ulrich Munzert:** Bahnplanungsalgorithmen für das robotergestützte Remote-Laserstrahlschweißen
176 Seiten - ISBN 978-3-8316-0948-2
- 235 **Georg Völlner:** Rührreißschweißen mit Schwerlast-Industrierobotern
232 Seiten - ISBN 978-3-8316-0955-0
- 236 **Nils Müller:** Modell für die Beherrschung und Reduktion von Nachfrageschwankungen
286 Seiten - ISBN 978-3-8316-0992-5
- 237 **Franz Decker:** Unternehmensspezifische Strukturierung der Produktion als permanente Aufgabe
180 Seiten - ISBN 978-3-8316-0996-3
- 238 **Christian Lau:** Methodik für eine selbstoptimierende Produktionssteuerung
204 Seiten - ISBN 978-3-8316-4012-6
- 239 **Christoph Rimpau:** Wissensbasierte Risikobewertung in der Angebotskalkulation für hochgradig individualisierte Produkte
268 Seiten - ISBN 978-3-8316-4015-7
- 240 **Michael Loy:** Modulare Vibrationswendelförderer für flexiblen Teilleistungsanforderungen
190 Seiten - ISBN 978-3-8316-4027-0
- 241 **Andreas Eursch:** Konzept eines immersiven Assistenzsystems mit Augmented Reality zur Unterstützung manueller Aktivitäten in radioaktiven Produktionsumgebungen
226 Seiten - ISBN 978-3-8316-4029-4
- 242 **Florian Schwarz:** Simulation der Wechselwirkungen zwischen Prozess und Struktur bei der Drehbearbeitung
282 Seiten - ISBN 978-3-8316-4030-0
- 243 **Martin Georg Prasch:** Integration leistungsgewandelter Mitarbeiter in die variantenreiche Serienmontage
261 Seiten - ISBN 978-3-8316-4033-1
- 244 **Johannes Schilp:** Adaptive Montagesysteme für hybride Mikrosysteme unter Einsatz von Telepräsenz
192 Seiten - ISBN 978-3-8316-4063-8
- 245 **Stefan Lutzmann:** Beitrag zur Prozessbeherrschung des Elektronenstrahlschmelzens
242 Seiten - ISBN 978-3-8316-4070-6
- 246 **Gregor Branner:** Modellierung transientscher Effekte in der Struktursimulation von Schichtbauverfahren
230 Seiten - ISBN 978-3-8316-4071-3
- 247 **Josef Ludwig Zimmermann:** Eine Methodik zur Gestaltung berührungslos arbeitender Handhabungssysteme
186 Seiten - ISBN 978-3-8316-4091-1
- 248 **Clemens Pörnbacher:** Modellgetriebene Entwicklung der Steuerungssoftware automatisierter Fertigungssysteme
280 Seiten - ISBN 978-3-8316-4108-6
- 249 **Alexander Lindworsky:** Teilautomatische Generierung von Simulationsmodellen für den entwicklungsbegleitenden Steuerungstest
294 Seiten - ISBN 978-3-8316-4125-3
- 250 **Michael Mauderer:** Ein Beitrag zur Planung und Entwicklung von rekonfigurierbaren mechatronischen Systemen – am Beispiel von starren Fertigungssystemen
220 Seiten - ISBN 978-3-8316-4126-0
- 251 **Roland Mark:** Qualitätsbewertung und -regelung für die Fertigung von Karosserieteilen in Presswerken auf Basis Neuronaler Netze
228 Seiten - ISBN 978-3-8316-4127-7
- 252 **Florian Reichl:** Methode zum Management der Kooperation von Fabrik- und Technologieplanung
224 Seiten - ISBN 978-3-8316-4128-4
- 253 **Paul Gebhard:** Dynamisches Verhalten von Werkzeugmaschinen bei Anwendung für das Rührreißschweißen
220 Seiten - ISBN 978-3-8316-4129-1
- 254 **Michael Heinz:** Modellunterstützte Auslegung berührungsloser Ultraschallgreifsysteme für die Mikrosystemtechnik
302 Seiten - ISBN 978-3-8316-4147-5
- 255 **Pascal Krebs:** Bewertung vernetzter Produktionsstandorte unter Berücksichtigung multidimensionaler Unsicherheiten
244 Seiten - ISBN 978-3-8316-4156-7
- 256 **Gerhard Straßer:** Greiftechnologie für die automatisierte Handhabung von technischen Textilien in der Faserverbundfertigung
290 Seiten - ISBN 978-3-8316-4161-1
- 257 **Frédéric-Felix Lacour:** Modellbildung für die physikbasierte Virtuelle Inbetriebnahme materialflusintensiver Produktionsanlagen
222 Seiten - ISBN 978-3-8316-4162-8
- 258 **Thomas Hensel:** Modellbasierter Entwicklungsprozess für Automatisierungslösungen
184 Seiten - ISBN 978-3-8316-4167-3
- 259 **Sherif Zaidan:** A Work-Piece Based Approach for Programming Cooperating Industrial Robots
212 Seiten - ISBN 978-3-8316-4175-8
- 260 **Hendrik Schellmann:** Bewertung kundenspezifischer Mengenflexibilität im Wertschöpfungsnetz
224 Seiten - ISBN 978-3-8316-4189-5
- 261 **Marwan Rad:** Workspace scaling and haptic feedback for industrial telepresence and teleaction systems with heavy-duty teleoperators
172 Seiten - ISBN 978-3-8316-4195-6
- 262 **Markus Ruhstorfer:** Rührreißschweißen von Rohren
206 Seiten - ISBN 978-3-8316-4197-0
- 263 **Rüdiger Daub:** Erhöhung der Nahttiefe beim Laserstrahl-Wärmelitungsschweißen von Stählen
182 Seiten - ISBN 978-3-8316-4199-4
- 264 **Michael Ott:** Multimaterialverarbeitung bei der additiven strahl- und pulverbettbasierten Fertigung
220 Seiten - ISBN 978-3-8316-4201-4
- 265 **Martin Ostgathe:** System zur produktbasierten Steuerung von Abläufen in der auftragsbezogenen Fertigung und Montage
278 Seiten - ISBN 978-3-8316-4206-9
- 266 **Imke Nora Kellner:** Materialsysteme für das pulverbettbasierte 3D-Drucken
208 Seiten - ISBN 978-3-8316-4223-6
- 267 **Florian Oefele:** Remote-Laserstrahlschweißen mit brillanten Laserstrahlquellen
238 Seiten - ISBN 978-3-8316-4224-3
- 268 **Claudia Anna Ehinger:** Automatisierte Montage von Faserverbund-Vorformlingen
252 Seiten - ISBN 978-3-8316-4233-5
- 269 **Tobias Zeilinger:** Laserbasierte 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 **Marz Lotz:** Erhöhung der Fertigungsgenauigkeit beim Schwungrad-Reißschweißen durch modellbasierte Regelungsverfahren
220 Seiten - ISBN 978-3-8316-4245-8
- 272 **William Brice Tekouo Moutchiho:** A New Programming Approach for Robot-based Flexible Inspection systems
232 Seiten - ISBN 978-3-8316-4247-2
- 273 **Matthias Waibel:** Aktive Zusatzsysteme zur Schwingungsreduktion an Werkzeugmaschinen
158 Seiten - ISBN 978-3-8316-4250-2
- 274 **Christian Eschey:** Maschinenspezifische Erhöhung der Prozessfähigkeit in der additiven Fertigung
216 Seiten - ISBN 978-3-8316-4270-0
- 275 **Florian Aull:** Modell zur Ableitung effizienter Implementierungsstrategien für Lean-Production-Methoden
270 Seiten - ISBN 978-3-8316-4283-0
- 276 **Marcus Hennauer:** Entwicklungsbegleitende Prognose der mechatronischen Eigenschaften von Werkzeugmaschinen
214 Seiten - ISBN 978-3-8316-4306-6

- 277 **Alexander Götzfried:** Analyse und Vergleich fertigungstechnischer Prozessketten für Flugzeugtriebwerks-Rotoren
220 Seiten - ISBN 978-3-8316-4310-3
- 278 **Saskia Reinhardt:** Bewertung der Ressourceneffizienz in der Fertigung
232 Seiten - ISBN 978-3-8316-4317-2
- 279 **Fabian J. Meling:** Methodik für die Rekombination von Anlagentechnik
192 Seiten - ISBN 978-3-8316-4319-6
- 280 **Jörg Egbers:** Identifikation und Adaption von Arbeitsplätzen für leistungsgewandelte Mitarbeiter entlang des Montageplanungsprozesses
192 Seiten - ISBN 978-3-8316-4328-8
- 281 **Max von Bredow:** Methode zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit und des Risikos unternehmensübergreifender Wertschöpfungskonfigurationen in der Automobilindustrie
204 Seiten - ISBN 978-3-8316-4337-0
- 282 **Tobias Philipp:** RFID-gestützte Produktionssteuerungsverfahren für die Herstellung von Bauteilen aus Faserverbundkunststoffen
142 Seiten - ISBN 978-3-8316-4346-2
- 283 **Stefan Rainer Johann Braunreuther:** Untersuchungen zur Lasersicherheit für Materialbearbeitungsanwendungen mit brillanten Laserstrahlquellen
232 Seiten - ISBN 978-3-8316-4348-6
- 284 **Johannes Pohl:** Adaption von Produktionsstrukturen unter Berücksichtigung von Lebenszyklen
202 Seiten - ISBN 978-3-8316-4358-5
- 285 **Mathy Wiesbeck:** Struktur zur Repräsentation von Montagesequenzen für die situationsorientierte Werkerführung
194 Seiten - ISBN 978-3-8316-4369-1
- 286 **Sonja Huber:** In-situ-Legierungsbestimmung beim Laserstrahlschweißen
206 Seiten - ISBN 978-3-8316-4370-7
- 287 **Robert Wiedenmann:** Prozessmodell und Systemtechnik für das laserunterstützte Fräsen
220 Seiten - ISBN 978-3-8316-4384-4
- 288 **Thomas Irenhauser:** Bewertung der Wirtschaftlichkeit von RFID im Wertschöpfungsnetz
242 Seiten - ISBN 978-3-8316-4404-9
- 289 **Jens Hatwig:** Automatisierte Bahnplanung für Industrieroboter und Scanneroptiken bei der Remote-Laserstrahlbearbeitung
196 Seiten - ISBN 978-3-8316-4405-6
- 290 **Matthias Baur:** Aktives Dämpfungssystem zur Ratterunterdrückung an spanenden Werkzeugmaschinen
210 Seiten - ISBN 978-3-8316-4408-7
- 291 **Alexander Schober:** Eine Methode zur Wärmequellenkalibrierung in der Schweißstruktursimulation
198 Seiten - ISBN 978-3-8316-4415-5
- 292 **Matthias Glonegger:** Berücksichtigung menschlicher Leistungsschwankungen bei der Planung von Variantenfließmontagesystemen
214 Seiten - ISBN 978-3-8316-4419-3
- 293 **Markus Kahmert:** Scanstrategien zur verbesserten Prozessführung beim Elektronenstrahlschmelzen (EBM)
228 Seiten - ISBN 978-3-8316-4416-2
- 294 **Sebastian Schindler:** Strategische Planung von Technologieketten für die Produktion
220 Seiten - ISBN 978-3-8316-4434-6
- 295 **Tobias Föckerer:** Methode zur rechnergestützten Prozessgestaltung des Schleifhärtens
128 Seiten - ISBN 978-3-8316-4448-3
- 296 **Rüdiger Spillner:** Einsatz und Planung von Roboterassistenz zur Berücksichtigung von Leistungswandlungen in der Produktion
286 Seiten - ISBN 978-3-8316-4450-6
- 297 **Daniel Schmid:** Rührreißschweißen von Aluminiumlegierungen mit Stählen für die Automobilindustrie
300 Seiten - ISBN 978-3-8316-4452-0
- 298 **Florian Karl:** Bedarfsermittlung und Planung von Rekonfigurationen an Betriebsmitteln
222 Seiten - ISBN 978-3-8316-4458-2
- 299 **Philipp Ronald Engelhardt:** System für die RFID-gestützte situationsbasierte Produktionssteuerung in der auftragsbezogenen Fertigung und Montage
246 Seiten - ISBN 978-3-8316-4472-8
- 300 **Markus Graßl:** Bewertung der Energieflexibilität in der Produktion
202 Seiten - ISBN 978-3-8316-4476-6
- 301 **Thomas Kirchmeier:** Methode zur Anwendung der berührungslosen Handhabung mittels Ultraschall im automatisierten Montageprozess
196 Seiten - ISBN 978-3-8316-4478-0