

Klaus Feldmann  
Volker Schöppner  
Günter Spur

# Handbuch Fügen, Handhaben, Montieren



HANSER



# Edition | Handbuch der Fertigungstechnik

Herausgegeben

von Prof. Dr. h. c. mult. Dr.-Ing. E. h. Dr.-Ing. Günter Spur



Handbuch  
Urformen



Handbuch  
Umformen



Handbuch Spanen



Handbuch  
Wärmebehandeln  
und Beschichten



Handbuch Fügen, Handhaben,  
Montieren

Klaus Feldmann  
Volker Schöppner  
Günter Spur

# Handbuch Fügen, Handhaben, Montieren

Edition | Handbuch der Fertigungstechnik

HANSER

*Die Herausgeber:*

Prof. Dr.-Ing. Klaus Feldmann

Prof. Dr.-Ing. Volker Schöppner

Prof. Dr. h. c. mult. Dr.-Ing. E. h. Dr.-Ing. Günter Spur †

Bibliografische Information Der Deutschen Bibliothek:

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

ISBN: 978-3-446-42827-0

E-Book-ISBN: 978-3-446-43656-5

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutzgesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Alle in diesem Buch enthaltenen Verfahren bzw. Daten wurden nach bestem Wissen erstellt und mit Sorgfalt getestet. Dennoch sind Fehler nicht ganz auszuschließen. Aus diesem Grund sind die in diesem Buch enthaltenen Verfahren und Daten mit keiner Verpflichtung oder Garantie irgendeiner Art verbunden. Autor und Verlag übernehmen infolgedessen keine Verantwortung und werden keine daraus folgende oder sonstige Haftung übernehmen, die auf irgendeine Art aus der Benutzung dieser Verfahren oder Daten oder Teilen davon entsteht.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdruckes und der Vervielfältigung des Buches oder Teilen daraus, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf ohne schriftliche Einwilligung des Verlages in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder einem anderen Verfahren), auch nicht für Zwecke der Unterrichtsgestaltung – mit Ausnahme der in den §§ 53, 54 URG genannten Sonderfälle – reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

© Carl Hanser Verlag, München 2014

[www.hanser-fachbuch.de](http://www.hanser-fachbuch.de)

Lektorat: Dipl.-Ing. Volker Herzberg

Herstellung: Steffen Jörg

Satz: Christopher Hayes und Yetvart Ficiciyan, Berlin

Coverconcept: Marc Müller-Bremer, [www.rebranding.de](http://www.rebranding.de), München

Titelillustration: Frank Wohlgemuth, Hamburg

Coverrealisierung: Stephan Rönigk

Druck und Bindung: FIRMENGRUPPE APPL, aprinta druck GmbH, Wemding

Printed in Germany

# Vorwort der Bandherausgeber

Die Montage hat im Rahmen der Produktionstechnik eine herausragende Bedeutung. Mit dem Fügen der Einzelteile zu dem angestrebten Produkt wird die angestrebte Gesamtfunktion realisiert. Bei der Gestaltung der Montagesysteme liegt deshalb eine besondere Herausforderung in der qualitätsgerechten Zusammenführung der Einzelteile und Baugruppen im Rahmen unterschiedlicher Abweichungen. Die zunehmende Produktvarianz hat zudem die Anforderungen an die logistischen Lösungen für die Montage noch verstärkt. Dazu kommen im Vergleich zur vorausgehenden Teilefertigung die Planungsoptionen zwischen personellen und automatisierten Montagelösungen. Insgesamt ist der Montagebereich ein faszinierendes Technologiefeld mit vielfältigen anspruchsvollen Aufgaben bei der Gestaltung von Prozessen und Systemen.

Das vorliegende Handbuch schließt sich an die 1986 erschienene Erstauflage an. Der damalige Herausgeber, Professor Spur, hat für die Gestaltung dieses Produktionsbereiches hohe Maßstäbe gesetzt. Bis kurz vor seinem Tod hat sich Prof. Spur in bewundernswerter Weise noch intensiv mit Rat und fachlichen Diskussionen in die Bearbeitung dieses neuen Buches eingebracht.

Ziel dieses aktuellen Handbuches zu Handhaben, Fügen und Montage ist es deshalb, diesem Anspruch mit einer systematischen Darstellung zum aktuellen Stand von Technologie und Systemlösungen gerecht zu werden. Es ist bemerkenswert zu sehen, wie viele grundsätzliche Thesen zur Systemgestaltung weiterhin gelten. Entscheidende Veränderungen liegen im Einfluss der Elektronik, dies gilt sowohl für den zunehmend mechatronisch strukturierten Produktaufbau als auch den neuen Möglichkeiten der Steuerungs- und Sensortechnik bei der Gestaltung der Montagesysteme. Dazu kommen ganz neue Perspektiven der rechnergestützten Planung, Simulation und Diagnose von Montageanlagen.

Von besonderem Einfluss auf die Montagetechnik ist auch die Entwicklung der Werkstoffe. In den vergangenen Jahren hat sich insbesondere der Einsatz von thermoplastischen Kunststoffen in den Produkten überproportional erhöht. Die Werkstoffeigenschaften der Kunststoffe sind durch vielfältige Entwicklungen so stark verbessert worden, dass technische Funktionsteile mit anspruchsvollen Spezifikationen und langer Lebensdauer hergestellt werden können. Dafür ergeben sich spezifische Anforderungen an die Handhabungs- und Montagetechnik, da die Kunststoffteile zumeist eine empfindliche Oberfläche und eine begrenzte Steifigkeit haben. Insbesondere sind auch die Fügeverfahren kunststoffgerecht auszuliegen.

Die Gliederung des Buches folgt der Vorgehensweise bei der Realisierung eines Montagesystems. Nach einer Übersicht mit historischem Rückblick folgt die systematische Darstellung der maßgeblichen Fügeverfahren nach DIN 8593. Anschliessend werden die verschiedenen Handhabungsgeräte und die Lösungen zum Materialfluss vorgestellt. Es folgt die systematische Darstellung der maßgeblichen Fügeverfahren nach DIN 8593. Grundbaustein größerer Systemlösungen ist die zumeist modular strukturierte Montagezelle, die für einen definierten Montageumfang ausgelegt ist und über eine eigene Steuerung verfügt. Mit diesen Einheiten können dann relativ flexibel größere Systemlösungen gebildet werden. In der Montage werden die Konzepte stark durch die Produkte und ihre Märkte geprägt. Deshalb wird im Kapitel Systemlösungen eine Auswahl von sehr unterschiedlichen Beispielen vorgestellt. Im Vergleich zur Montage elektronischer Baugruppen ist im Bereich mechanischer Produkte der Automatisierungsgrad auch weiterhin relativ gering. Neben anspruchsvollen Roboterbeispielen wird deshalb im Handbuch an vielen Beispielen das Potential personeller Montageplätze gezeigt.

Die Realisierung dieses Handbuches zur Montagetechnik wäre ohne die engagierte Mitarbeit renommierter Fachleute aus Wissenschaft und Industrie nicht möglich gewesen. Wir danken den Autoren der einzelnen Beiträge für ihren großen Einsatz und die vertrauensvolle und kooperative Zusammenarbeit. Ein besonderer Dank gilt auch dem Carl Hanser Verlag für die hervorragende Zusammenarbeit und die sorgfältige Drucklegung.

Erlangen und Paderborn, im September 2013

Klaus Feldmann

Volker Schöppner



# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort der Bandherausgeber .....</b>	<b>V</b>
<b>Die Herausgeber .....</b>	<b>XXIII</b>
<b>Autorenverzeichnis .....</b>	<b>XXV</b>
<b>1 Einführung.....</b>	<b>1</b>
1.1 Stellenwert von Fügen, Handhaben, Montieren .....	3
1.1.1 Volkswirtschaftliche Bedeutung .....	3
1.1.2 Technologische Herausforderungen.....	5
1.1.3 Perspektiven durch Globalisierung und Produktinnovationen .....	6
1.1.4 Begriffe und Benennungen.....	8
1.2 Historische Entwicklung.....	9
1.2.1 Frühe Anwendungsbeispiele zum Fügen.....	9
1.2.2 Entwicklungen in der Automobilindustrie.....	10
1.2.3 Beispiele zur Entwicklung von Maschinen und Geräten .....	11
1.2.4 Impulse durch Robotertechnik und rechnergestützte Automatisierung .....	12
1.2.5 Entwicklungsstufen in der Elektronikmontage.....	15
1.3 Fachliche Übersicht.....	16
1.3.1 Systemtechnische Grundlagen der Prozessgestaltung .....	16
1.3.2 Produktgestaltung und Montagezellen .....	17
1.3.3 Systemlösungen und Betrieb.....	20
<b>2 Fügen .....</b>	<b>23</b>
2.1 Übersicht zum Fügen .....	27
2.1.1 Systematik der Fügeverfahren .....	27
2.1.2 Entwicklung der Prozesse .....	28
2.1.3 Bewertung und Technologieauswahl .....	28
2.1.4 Sicherung der Prozesse.....	30
2.1.5 Ziele und Strategien zur Demontage von Produkten.....	31
2.2 Fügen durch Schweißen.....	34
2.2.1 Schweißen metallischer Werkstoffe .....	34
2.2.1.1 Schweißtechnischer Markt.....	34
2.2.1.2 Definition .....	36
2.2.1.3 Schweißbarkeit.....	36
2.2.1.3.1 Schweißbeignung von Stählen .....	37
2.2.1.3.2 Schweißsicherheit.....	42
2.2.1.3.2.1 Konstruktive Gestaltung.....	42
2.2.1.3.2.2 Beanspruchungszustand.....	44
2.2.1.3.2.3 Regelwerke zur Auslegung von Schweißkonstruktionen .....	45
2.2.1.3.2.4 Anwendung von Finite-Elemente-Methoden zur Bemessung geschweißter Tragwerke.....	45
2.2.1.3.3 Schweißmöglichkeit.....	47



2.2.1.3.4	Vorbereitungen zum Schweißen.....	48
2.2.1.3.5	Durchführung des Schweißens.....	51
2.2.1.3.6	Nachbehandlung von Schweißnähten .....	56
2.2.1.3.7	Anwendung numerischer Simulationen für die Prozessanalyse beim Schweißen.....	56
2.2.1.4	Einteilung der Schweißverfahren.....	57
2.2.1.4.1	Lichtbogenschweißen.....	59
2.2.1.4.2	Plasmaschweißen.....	68
2.2.1.4.3	Reibschweißen.....	70
2.2.1.4.4	Widerstandsschweißen .....	73
2.2.1.4.4.1	Buckelschweißen.....	76
2.2.1.4.5	Ultraschallschweißen .....	76
2.2.2	Laserstrahlschweißen.....	81
2.2.2.1	Laser - Grundlagen.....	81
2.2.2.2	Strahl-Stoff-Wechselwirkung.....	82
2.2.2.3	Strategien des Laserstrahlschweißens .....	84
2.2.2.3.1	Kontinuierliches Laserstrahlschweißen .....	85
2.2.2.3.2	Gepulstes Laserstrahlschweißen.....	85
2.2.2.4	Anwendung des Laserstrahlschweißens .....	86
2.2.2.5	Fehler beim Laserstrahlschweißen .....	88
2.2.3	Kunststoffschweißen .....	90
2.2.3.1	Schweißverfahren .....	90
2.2.3.2	Wärmekontaktschweißverfahren .....	90
2.2.3.2.1	Heizelementschweißen .....	90
2.2.3.2.2	Maschinentchnik.....	93
2.2.3.2.3	Wärmekontaktschweißen .....	94
2.2.3.2.4	Wärmeimpulsschweißen.....	94
2.2.3.3	Schweißen durch Bewegung .....	95
2.2.3.3.1	Ultraschallschweißen .....	95
2.2.3.3.2	Vibrationsschweißen .....	97
2.2.3.4	Erwärmung im elektromagnetischen Feld.....	98
2.2.3.5	Erwärmen mit Hilfe von Strahlung .....	98
2.2.3.5.1	Strahlung.....	98
2.2.3.5.2	Durchstrahlschweißen .....	100
2.3	Fügen durch Löten.....	103
2.3.1	Grundlagen .....	103
2.3.1.1	Definition.....	103
2.3.1.2	Einteilung der Lötverfahren .....	103
2.3.1.3	Lötbarkeit .....	103
2.3.1.4	Benetzung.....	104
2.3.1.5	Oberflächenvorbehandlung zum Löten .....	105
2.3.2	Hart- und Hochtemperaturlöten .....	106
2.3.2.1	Flussmittel .....	106
2.3.2.2	Lote .....	107
2.3.2.3	Grundwerkstoffe .....	108
2.3.2.4	Verfahren zum Hart- und Hochtemperaturlöten .....	108
2.3.2.5	Hartlöten ausgewählter Werkstoffe.....	109
2.3.2.6	Hochtemperaturlöten .....	111
2.3.2.7	Lötfehler .....	117
2.3.3	Weichlöten.....	118
2.3.3.1	Werkstoffe/Lote.....	118
2.3.3.2	Weichlötverfahren.....	118

2.3.3.3	Weichlöten unter Ausnutzung von Größeneffekten.....	119
2.3.4	Laserstrahllöten.....	122
2.3.4.1	Grundlagen .....	122
2.3.4.2	Laserstrahlweichlöten .....	122
2.3.4.2.1	Strahlquellen für das Laserstrahlweichlöten.....	122
2.3.4.2.2	Einzelpunktlöten .....	123
2.3.4.2.3	Simultanes Löten.....	124
2.3.4.2.4	Quasi-simultanes Löten.....	125
2.3.4.2.5	Löten in der Durchstrahltechnik oder durch Erwärmung des gesamten Bauelements .....	125
2.3.4.2.6	Laserdroplet-Löten .....	126
2.3.4.3	Laserstrahlhartlöten .....	126
2.3.4.3.1	Strahlquellen für das Laserstrahlhartlöten.....	126
2.3.4.3.2	Laserstrahlhartlöten in der Einstrahltechnik .....	127
2.3.4.3.3	Laserstrahlhartlöten in der Mehrstrahltechnik.....	127
2.3.4.4	Prozessüberwachung beim Laserstrahllöten.....	127
2.3.4.4.1	Prozessüberwachung beim Laserstrahlhartlöten .....	127
2.3.4.4.2	Prozessüberwachung beim Laserstrahllöten in der Elektronikproduktion .....	129
2.4	Fügen durch Kleben .....	131
2.4.1	Einleitung.....	131
2.4.2	Grundlagen der Klebtechnik .....	131
2.4.2.1	Adhäsion.....	131
2.4.2.2	Kohäsion.....	132
2.4.2.3	Benetzung.....	132
2.4.3	Klebtechnische Eigenschaften von Fügepartikeln .....	134
2.4.4	Oberflächenbehandlung.....	136
2.4.5	Klebstoffe.....	138
2.4.5.1	Physikalisch abbindende Klebstoffe .....	138
2.4.5.2	Chemisch reagierende Klebstoffe.....	139
2.4.6	Eigenschaften von Klebverbindungen .....	139
2.4.7	Prüfung von Klebverbindungen.....	140
2.4.8	Auslegung von Klebverbindungen .....	141
2.4.9	Verarbeitung von Klebstoffen .....	141
2.4.10	Industrielle Anwendungen .....	142
2.5	Fügen durch Schrauben .....	144
2.5.1	Grundlagen .....	144
2.5.2	Anzugsverfahren.....	147
2.5.3	Schraubwerkzeuge.....	150
2.5.3.1	Bauformen .....	150
2.5.3.2	Antriebe.....	151
2.5.3.3	Steuerungen.....	151
2.5.3.4	Sensorik und Messtechnik .....	153
2.5.4	Planung von Schraubstationen .....	154
2.5.5	Schraubstationen .....	155
2.5.6	Montagegerechte Produktgestaltung.....	157
2.5.7	Schraubtechnik in Kunststoffen .....	161
2.5.7.1	Aufgaben und Zuverlässigkeit von Schraubverbindungen .....	161
2.5.7.2	Verfahren zur Herstellung von Schraubverbindungen in Kunststoffbauteilen.....	161
2.5.7.3	Direktverschraubungen .....	161
2.5.7.3.1	Verfahren.....	161
2.5.7.3.2	Montage/Einschraubvorgang.....	162

2.5.7.3.3	Konstruktionsempfehlung.....	163
2.5.7.3.4	Wesentliche Einflussgrößen auf die Verbindungseigenschaften.....	163
2.5.7.3.5	Entwicklung von Gewindegeometrien für Kunststoffe .....	165
2.5.7.3.6	Anwendungsbeispiele .....	166
2.5.7.3.7	Direktverschraubung an Zusatzelementen für dünnwandige Bauteile.....	166
2.5.7.3.8	Montage von Zusatzelementen für dünnwandige Bauteile .....	167
2.5.7.4	Schraubverbindungen mit Gewindeeinsätzen .....	168
2.5.7.4.1	Mould-in-Verfahren.....	168
2.5.7.4.2	Ultraschall- und Warmeinbetten.....	168
2.5.7.4.3	Gewindeschneiden und -furchen.....	169
2.5.7.4.4	Kalteinpressen.....	169
2.5.7.4.5	Drahtgewindeeinsätze.....	169
2.5.7.5	Verbindungen mit Kunststoffschrauben .....	169
2.6	Mechanisches Fügen von Dünoblech: Clinchen, Nieten, Funktionselemente .....	171
2.6.1	Grundlagen .....	171
2.6.2	Clinchen.....	172
2.6.2.1	Verfahrensbeschreibung und Varianten.....	172
2.6.2.2	Qualitätsrelevante Kenngrößen .....	173
2.6.2.3	Anwendungen.....	175
2.6.2.4	Geräte und Systeme .....	175
2.6.3	Nieten.....	176
2.6.3.1	Vollnieten .....	176
2.6.3.1.1	Verfahrensbeschreibung und Varianten.....	176
2.6.3.1.2	Qualitätsrelevante Kenngrößen .....	177
2.6.3.1.3	Anwendungen.....	177
2.6.3.1.4	Geräte und Systeme .....	177
2.6.3.2	Stanznieten .....	177
2.6.3.2.1	Verfahrensbeschreibung und Varianten.....	177
2.6.3.2.2	Qualitätsrelevante Kenngrößen .....	178
2.6.3.2.3	Anwendungen.....	178
2.6.3.2.4	Geräte und Systeme .....	180
2.6.3.3	Blindnieten.....	180
2.6.3.3.1	Verfahrensbeschreibung und Varianten.....	180
2.6.3.3.2	Qualitätsrelevante Kenngrößen .....	182
2.6.3.3.3	Anwendungen.....	183
2.6.3.3.4	Geräte und Systeme .....	183
2.6.3.4	SchlieBringbolzen .....	184
2.6.3.4.1	Verfahrensbeschreibung und -varianten.....	184
2.6.3.4.2	Qualitätsrelevante Kenngrößen .....	184
2.6.3.4.3	Anwendungen .....	185
2.6.3.4.4	Geräte und Systeme .....	186
2.6.4	Funktionselemente .....	186
2.6.4.1	Blindnietelemente.....	186
2.6.4.1.1	Verfahrensbeschreibung und Varianten.....	186
2.6.4.1.2	Qualitätsrelevante Kenngrößen .....	186
2.6.4.1.3	Anwendungen .....	187
2.6.4.1.4	Geräte und Systeme .....	188
2.6.4.2	Einpress-, Niet- und Stanzelemente .....	188
2.6.4.2.1	Verfahrensbeschreibung und Varianten.....	189
2.6.4.2.2	Qualitätsrelevante Kenngrößen .....	189
2.6.4.2.3	Anwendungen .....	191

2.6.4.2.4	Geräte und Systeme.....	191
2.6.4.3	Loch- und gewindeformende Schrauben.....	192
2.6.4.3.1	Verfahrensbeschreibung und Varianten.....	192
2.6.4.3.2	Qualitätsrelevante Kenngrößen.....	193
2.6.4.3.3	Anwendungen.....	194
2.6.4.3.4	Geräte und Systeme.....	194
2.7	Wickeltechnik.....	197
2.7.1	Aufbau von Spulen.....	198
2.7.2	Kern.....	198
2.7.2.1	Kerne aus Elektroblech.....	199
2.7.2.2	Ferrit- und Pulverkerne.....	202
2.7.3	Spulenkörper.....	203
2.7.4	Kupferlackdraht.....	204
2.7.5	Wicklung.....	207
2.7.6	Fertigungsverfahren für Wicklungen.....	209
2.7.6.1	Linearwickeln.....	210
2.7.6.2	Flyerwickeln.....	213
2.7.6.3	Ringkernwickeln.....	213
2.7.6.4	Nadelwickeln.....	214
2.7.6.5	Systemlösungen für die Fertigung wickeltechnischer Produkte.....	215
2.7.7	Isolation.....	216
2.7.8	Anschlusstechnik.....	217
2.7.8.1	Weich- und Hartlöten.....	217
2.7.8.2	Widerstandsschweißen.....	217
2.7.8.3	Ultraschallschweißen.....	218
2.7.8.4	Laserstrahlschweißen.....	218
2.7.8.5	WIG-Schweißen.....	218
2.7.8.6	Form- und kraftschlüssige Kontaktierungselemente.....	219
2.8	Sonstige Fügeverfahren.....	222
2.8.1	Einleitung.....	222
2.8.2	Fügen durch Zusammensetzen.....	222
2.8.3	Fügen durch Füllen.....	225
2.8.4	Fügen durch Anpressen/Einpressen.....	225
2.8.5	Fügen durch Urformen.....	233
2.8.6	Fügen durch Umformen.....	233
2.8.7	Schnappverbindungen.....	241
2.8.7.1	Einleitung.....	241
2.8.7.2	Ausführungsarten.....	242
2.8.7.2.1	Biegeschnapparmverbindungen.....	242
2.8.7.2.2	Torsionsschnappverbindungen.....	243
2.8.7.2.3	Ringschnapp- und Kugelgelenkverbindungen.....	243
2.8.7.2.4	Ringartige Schnappverbindungen.....	245
2.8.7.2.5	Alternative Möglichkeiten - Klipse.....	245
2.8.7.3	Grundlagen des Werkstoffverhaltens für Schnappverbindungen.....	246
2.8.7.4	Berechnungen für Schnappverbindungen.....	247
2.8.7.4.1	Schnapphaken.....	247
2.8.7.4.2	Torsionsschnapphaken.....	251
2.8.7.4.3	Ringschnappverbindung.....	253
2.8.7.4.4	Kugelgelenkverbindung.....	255
2.8.7.5	Dimensionierung von Schnappverbindungen mittels Software.....	256

2.9	Fügen in der Elektronik .....	258
2.9.1	Komponenten elektronischer Baugruppen .....	258
2.9.1.1	Einführung .....	258
2.9.1.2	Technologische Herausforderungen .....	258
2.9.1.3	Substrattechnologie .....	260
2.9.1.4	Bauelementtechnologie .....	262
2.9.1.5	Verbindungsmedien .....	265
2.9.2	Fügen bedrahteter Bauelemente .....	269
2.9.2.1	Bestücken bedrahteter Bauelemente .....	270
2.9.2.2	Lötverfahren für bedrahtete Bauelemente .....	270
2.9.2.3	Sonderverfahren für die Kontaktierung bedrahteter Bauelemente .....	272
2.9.3	Fügeprozesse der Oberflächenmontagetechnologie .....	273
2.9.3.1	Prozesse zum Medienauftrag .....	273
2.9.3.2	Bauelementbestückung .....	278
2.9.3.3	Löttechnologien für die Oberflächenmontage .....	280
2.9.3.4	Bond-Technologie .....	285
2.9.3.5	Fügen elektrooptischer Komponenten .....	287
2.9.4	Prozess- und Qualitätskontrolle .....	288
2.9.4.1	Möglichkeiten der Inspektion .....	288
2.9.4.2	Ausgewählte Fehlerbilder .....	289
2.9.4.3	Nacharbeit in der Elektronikproduktion .....	290
2.9.4.4	Ganzheitliche Strategie zur Qualitätssicherung .....	291
2.10	Fügen räumlicher elektronischer Schaltungsträger (3D-MID) .....	294
2.10.1	Übersicht zum Fügen strukturierter MID .....	294
2.10.1.1	Geometrische Klassifizierung räumlicher Schaltungsträger .....	294
2.10.1.2	Prozessketten zur Schaltungsträgerherstellung .....	295
2.10.1.3	Anforderung an die 3D-Montage .....	297
2.10.2	Medienauftrag .....	297
2.10.2.1	Verbindungsmedien .....	297
2.10.2.2	Schablonendruck .....	299
2.10.2.3	Dispensen .....	299
2.10.3	Bauelemente-Montage .....	299
2.10.3.1	Kartesische Systeme .....	300
2.10.3.2	Roboterlösung .....	301
2.10.3.3	Automatisierter Werkstückträger .....	302
2.10.4	Verbindungstechnik .....	303
2.10.4.1	Löten .....	303
2.10.4.2	Leitkleben .....	303
2.10.4.3	Drahtbonden .....	304
2.10.4.4	Einpresstechnik .....	304
2.10.4.5	Mechanismen zum Schutz vor externen Einflüssen .....	305
2.10.4.6	Qualität und Zuverlässigkeit von MID .....	305
<b>3</b>	<b>Handhaben und Materialfluss .....</b>	<b>307</b>
3.1	Übersicht zu Handhaben .....	309
3.1.1	Einfluss der Teilebereitstellung auf die Montage .....	309
3.1.2	Komponenten der Handhabungssysteme .....	310
3.1.3	Komponenten des Materialflusses zur Montage .....	312
3.1.4	Sicherung der technischen und logistischen Qualität .....	313

3.2	Industrieroboter und Handhabungsgeräte.....	316
3.2.1	Einleitung.....	316
3.2.2	Grundlagen Roboter.....	317
3.2.2.1	Definitionen .....	317
3.2.2.1.1	Definition „Industrieroboter“ .....	317
3.2.2.1.2	Definition „Autonomes Fahrzeug und mobiler Roboterarm“ .....	318
3.2.2.1.3	Definition „Freiheitsgrad“ .....	318
3.2.2.1.4	Definition „Bewegungsachse“ .....	318
3.2.2.1.5	Definition „Koordinatensysteme“ .....	318
3.2.2.2	Kinematik.....	319
3.2.2.2.1	Zwei-Arm-Roboter .....	321
3.2.2.2.2	Parallele Roboter .....	321
3.2.2.3	Steuerung, Regelung und Programmierung .....	323
3.2.2.3.1	Modellierung der Kinematik .....	323
3.2.2.3.2	Dynamik und Regelung.....	325
3.2.2.3.3	Steuerung .....	326
3.2.2.3.4	Programmierung .....	327
3.2.2.4	Sensoren .....	328
3.2.2.5	Aktoren .....	328
3.2.3	Mensch-Maschine-Kooperation .....	329
3.2.3.1	Balancer.....	329
3.2.3.2	Kobot .....	330
3.2.3.3	Assistenzroboter .....	330
3.2.4	Anwendungsbeispiele und Technologieentwicklungen.....	331
3.2.4.1	Intuitive Mensch-Roboter-Interaktion .....	331
3.2.4.2	„Griff in die Kiste“ für die Maschinenbestückung.....	333
3.2.4.3	PowerMate: Kraftunterstützung bei der Montage.....	333
3.2.4.4	Fünf-Minuten-Programmierung von Schweißzellen .....	335
3.3	Greifer.....	337
3.3.1	Ziel des vorliegenden Kapitels .....	337
3.3.2	Definition und Bedeutung der Greiftechnik.....	337
3.3.3	Zur Geschichte.....	338
3.3.4	Ordnungssysteme der Greiftechnik .....	338
3.3.5	Wesentliche Funktionseinheiten eines Greifmoduls .....	339
3.3.5.1	Flansch.....	339
3.3.5.2	Greifergehäuse .....	340
3.3.5.3	Antrieb.....	341
3.3.5.4	Kinematik bzw. Abtrieb.....	342
3.3.5.5	Haltesystem .....	344
3.3.6	Auswahl des richtigen Greifers.....	345
3.3.6.1	Greifgutabhängige Kriterien bewerten.....	345
3.3.6.2	Greifgutunabhängige Kriterien bewerten .....	346
3.3.6.3	Reguläre Handhabungskräfte ermitteln.....	347
3.3.6.4	Ausnahmebelastungen betrachten.....	349
3.3.6.5	Prozesskräfte betrachten .....	350
3.3.6.6	Notwendige und zulässige Greifkraft ermitteln.....	350
3.3.6.7	Greifer auswählen.....	351
3.3.7	Adaptivität als zukünftiger Erfolgsfaktor in der Handhabung.....	351
3.3.7.1	Adaptivität in der Handhabung.....	351
3.3.7.2	Industrielle Greifhand als Adaptivitätsfaktor.....	354
3.3.7.3	Adaptives Greifen am Beispiel der Intralogistik .....	354

3.4	Ordnungsgeräte.....	357
3.4.1	Schwingförderer.....	357
3.4.1.1	Grundlagen der Schwingfördertechnik .....	357
3.4.1.2	Konventionelle und kompensierende Systeme .....	360
3.4.1.3	Alternativantriebssystem Piezo.....	362
3.4.1.4	Funktionselemente von Zuführeinrichtungen .....	363
3.4.1.5	Ansteuerung von Schwingförderern.....	365
3.4.1.6	Einflussfaktoren beim Betrieb von Schwingförderern.....	366
3.4.2	Plattenhubförderer.....	367
3.4.3	Entwirrgeräte.....	368
3.4.3.1	Wendelfördererbasierte Entwirrgeräte.....	368
3.4.3.2	Trommelentwirrer.....	369
3.4.3.3	Blasentwirrer.....	370
3.4.4	Ausblick.....	370
3.5	Systemlösungen .....	372
3.5.1	Systemlösungen für die spanende Fertigung .....	373
3.5.1.1	Schnittstellen an Bearbeitungssystemen .....	374
3.5.1.2	Anforderungen an die Handhabung von Werkzeugen .....	375
3.5.1.3	Anforderungen an die Handhabung von Bauteilen .....	376
3.5.1.4	Anforderungen an den Informationstransfer .....	377
3.5.2	Handhabung von Drehteilen .....	378
3.5.2.1	Werkstückhandhabung .....	379
3.5.2.2	Spannmittelwechselsysteme.....	379
3.5.2.2.1	Stangenlademagazine.....	379
3.5.2.2.2	Werkstückabholeinrichtung .....	380
3.5.2.2.3	Anbaugeräte .....	381
3.5.2.2.4	Vertikaldrehmaschine .....	381
3.5.2.2.5	Industrieroboter .....	381
3.5.2.3	Beispiel: Hochautomatisierte flexible Drehzelle .....	382
3.5.2.4	Werkzeughandhabung an Drehmaschinen .....	383
3.5.3	Handhabung von Frästeilen .....	383
3.5.3.1	Werkstückwechselsysteme.....	384
3.5.3.2	Palettenwechselsysteme.....	384
3.5.3.3	Nullpunktspannsysteme mit und ohne Automatisierung .....	385
3.5.3.4	Werkzeugwechselsysteme.....	386
3.5.3.5	Beispiel: Flexibles Fertigungssystem mit automatischer Werkstück- und Werkzeughandhabung.....	387
3.5.4	Handhabung von Blechteilen .....	389
3.5.4.1	Anforderungen und spezifische Probleme.....	389
3.5.4.2	Formänderung durch den Prozess.....	389
3.5.4.3	Spezifische Greifer für Blechteile.....	389
3.5.4.4	Typische Magazinierlösungen .....	390
3.5.4.5	Beispielhafte Systemlösungen .....	391
3.5.5	Handhabung von Kunststoffteilen.....	397
3.5.5.1	Materialhandling.....	397
3.5.5.1.1	Materiallagerung.....	397
3.5.5.1.2	Förderung.....	399
3.5.5.1.3	Dosierung .....	403
3.5.5.1.4	Trocknung .....	410
3.5.5.2	Entnahme aus Spritzgießmaschinen.....	414
3.5.5.2.1	Einführung .....	414

3.5.5.2.2	Roboterarten .....	414
3.5.5.2.3	Greifer .....	416
3.5.5.2.4	Steuerung .....	417
3.5.5.2.5	Entscheidungshilfen zur Roboterwahl .....	419
3.6	Materialfluss zur Montage.....	420
3.6.1	Einleitung .....	420
3.6.2	Anforderungen durch die Montage an den Materialfluss .....	420
3.6.2.1	Serienproduktion .....	420
3.6.2.2	Variantenreiche flexible Kleinserienproduktion.....	420
3.6.3	Transporthilfsmittel und Kommissionierung .....	421
3.6.4	Technische Lösungen für den Materialfluss in der Montage .....	421
3.6.4.1	Materialflussanalyse.....	422
3.6.4.2	Materialbereitstellung in der Montage.....	423
3.6.4.3	Werkstückträgersysteme/Transfersysteme .....	425
3.6.4.4	Fahrerlose Transportsysteme.....	426
3.6.4.5	Elektrohängebahnsysteme .....	427
3.6.5	Material- und Informationsfluss – Materialflusststeuerung.....	428
3.6.6	Materialflussoptimierung durch Prozessoptimierung .....	431
<b>4</b>	<b>Montagezellen.....</b>	<b>433</b>
4.1	Übersicht zu Montagezellen.....	435
4.1.1	Wechselwirkungen von Produktstruktur und Montagekonzept.....	435
4.1.2	Flexibilität und Automatisierung .....	436
4.1.2.1	Optimierung manueller Montageplätze.....	437
4.1.2.2	Automatisierte Montage mit Festtaktmaschinen .....	438
4.1.2.3	Automatisierte Montage mit Industrierobotern .....	439
4.1.2.4	Automatisierte Montage mit modularen, flexiblen Einheiten.....	440
4.1.3	Kooperative Montagekonzepte.....	441
4.1.4	Rechnergestützter Entwurf von Montagezellen .....	442
4.1.5	Rechnereinsatz zur ergonomischen Optimierung .....	443
4.2	Montagegerechte Produktgestaltung.....	446
4.2.1	Einführung in die montagegerechte Produktgestaltung.....	446
4.2.2	Aufbau des Kapitels .....	446
4.2.3	Bestimmung der bestgeeigneten Baustruktur .....	447
4.2.3.1	Integral-, Differenzial- und Verbundbaustruktur .....	447
4.2.3.2	Gliedern der Montageoperationen.....	448
4.2.3.3	Reduzieren der Montageoperationen.....	448
4.2.3.4	Vereinheitlichen und Vereinfachen der Montageoperationen .....	449
4.2.4	Montagegerechte Gestaltung der Fügstellen .....	449
4.2.4.1	Reduzieren der Fügstellen .....	449
4.2.4.2	Vereinheitlichen der Fügstellen.....	449
4.2.4.3	Vereinfachen der Fügstellen.....	450
4.2.5	Montagegerechte Gestaltung der Fügeteile .....	451
4.2.6	Produktstrukturierung durch Modularisierung.....	452
4.2.6.1	Baureihen .....	452
4.2.6.2	Baukästen.....	453
4.2.7	Funktions- und montagegerechtes Toleranzkonzept.....	458
4.2.7.1	Bauweisen .....	459
4.2.7.2	Arten der Montage nach Automatisierungsgrad.....	459
4.2.7.3	Möglichkeiten des Toleranzausgleichs .....	459



4.2.7.4	Bezugssysteme zur Festlegung der Freiheitsgrade .....	460
4.2.7.5	Arten von Ausrichtkonzepten in der Montage .....	460
4.2.7.6	Gestaltungsrichtlinien für ein montagegerechtes Toleranzkonzept .....	461
4.2.8	Methoden zur Bewertung der Montagegerechtheit .....	462
4.2.8.1	DFMA-Methode (Design for Manufacture and Assembly) .....	462
4.2.8.2	Montageerweiterte ABC-Analyse .....	463
4.2.8.3	Lucas DFA-Methode .....	463
4.2.8.4	DfX-Leitlinienkatalog des Fraunhofer-Instituts für Produktionstechnik und Automatisierung.....	463
4.2.8.5	AEM-Methode (Assemblability Evaluation Method).....	463
4.3	Rechnergestützter Entwurf von Montagezellen.....	465
4.3.1	Planungssystematik und Aufbau des Kapitels .....	465
4.3.1.1	Übergreifende Datennutzung zur Bewertung von Montagesystemen.....	466
4.3.1.2	Simulationseinsatz und Wirtschaftlichkeitsbetrachtung .....	468
4.3.2	Rechnerunterstützung zur montagegerechten Produktgestaltung.....	471
4.3.3	Rechnergestützter Entwurf automatisierter Montagezellen .....	472
4.3.3.1	Kinematiksimulation .....	473
4.3.3.2	Rechnergestützter Entwurf von Betriebsmitteln am Beispiel der Greifergestaltung.....	474
4.3.4	Rechnergestützter Entwurf manueller Montagezellen .....	475
4.3.4.1	Ergonomiesimulation .....	475
4.3.4.2	Rechnergestützte Verfahren zur Zeitermittlung .....	477
4.3.5	Materialflussgestaltung .....	478
4.3.6	Ausblick.....	481
4.4	Manuelle und hybride Montagesysteme .....	483
4.4.1	Einleitung Manuell - Hybrid.....	483
4.4.2	Primär-Sekundär-Analyse .....	483
4.4.2.1	Definition des Wirkungsgrades .....	483
4.4.2.2	Anwendungsbereich.....	484
4.4.2.3	Grundanalyse.....	485
4.4.2.4	Feinanalyse .....	485
4.4.2.5	Anwendung Beispiel Feinanalyse.....	487
4.4.3	Auswahlkriterien .....	489
4.4.3.1	Planungsvorgaben .....	489
4.4.3.2	Planungsablauf.....	489
4.4.4	Ergonomische Gestaltung manueller Montagearbeitsplätze .....	491
4.4.4.1	Teilebereitstellung .....	493
4.4.4.2	Leistungsgewandelte Mitarbeiter/innen .....	493
4.4.5	Montageablaufprinzipien.....	494
4.4.5.1	Stückweise Montage.....	494
4.4.5.2	Satzweise Montage.....	495
4.4.6	Einzelplatzmontage .....	496
4.4.6.1	Einleitung .....	496
4.4.6.2	Werkbankmontage.....	498
4.4.6.3	One-Piece-Flow-System .....	499
4.4.6.4	Arbeitsplatzgestaltung für satzweisen Montageablauf.....	499
4.4.6.5	Vergleich der Wirtschaftlichkeit.....	502
4.4.7	Manuelle Fließmontage.....	502
4.4.7.1	Austaktung.....	502
4.4.7.2	Systemgestaltung .....	503

4.4.7.2.1	Fließmontage mit manueller Förderungen des Montageobjektes und stückweisem Montageablauf.....	503
4.4.7.2.2	Fließmontage mit mechanischer Förderung des Montageobjektes und stückweisem Montageablauf.....	504
4.4.7.2.3	Fließmontage mit manueller Förderung des Montageobjektes und satzweisem Montageablauf .....	505
4.4.7.2.4	Taktfreie Fließmontage nach dem Prinzip „One Piece Flow“ .....	506
4.4.7.3	Prozessabsicherung in der manuellen Montage .....	508
4.4.8	Hybride Montagesysteme .....	509
4.4.8.1	Hybride Einzelmontageplätze .....	509
4.4.8.2	Hybride Fließmontagezellen mit satzweisem Montageablauf .....	510
4.4.9	Wandlungsfähige, hybride Montagesysteme.....	511
4.4.10	Bordnetzmontage .....	514
4.4.10.1	Einleitung.....	514
4.4.10.2	Physisches Bordnetz.....	514
4.4.10.2.1	Die Funktion des Kabelbaumes .....	515
4.4.10.2.2	Bestandteile von Kabelsätzen.....	516
4.4.10.2.3	Entwicklung von Kabelsätzen.....	520
4.4.10.3	Produktion.....	521
4.4.10.3.1	Fertigungstechniken bei der Montage von Kabelsätzen.....	521
4.4.10.3.2	Erstellung von Arbeitsplänen (Arbeitsvorbereitung).....	522
4.4.10.3.3	Planung der Prozesse .....	522
4.4.10.3.4	Gestaltung von Arbeitsstationen .....	523
4.4.10.3.5	Bereitstellen der Komponenten .....	523
4.4.10.4	Qualitätssicherung.....	524
4.4.10.5	Kennzeichnung und Versand .....	524
4.4.10.6	Zusammenfassung und Ausblick .....	525
4.5	Roboter basierte Montagezellen .....	526
4.5.1	Systemintegration für die Automatisierung .....	526
4.5.1.1	Übersicht über die Roboterzellen .....	526
4.5.1.2	Realisierung Roboter basierter Montagezellen .....	528
4.5.1.2.1	Beispiel 1: Schweißen von Katalysator-Komponenten mit dem CMT Verfahren .....	529
4.5.1.2.2	Beispiel 2: Photovoltaik-Modulmontage - Montage der elektrischen Anschlussdosen und Tapestation .....	531
4.5.1.3	Kooperierende Roboter für Montageaufgaben .....	534
4.5.2	Nachgiebige Robotersysteme für die Montage .....	544
4.5.2.1	Nachgiebigkeit in der klassischen Robotik.....	544
4.5.2.2	Nachgiebig geregelte Systeme .....	546
4.5.2.3	Eigenschaften eines nachgiebig geregelten Systems .....	548
4.5.2.4	Anwendungen der LBR-Technik .....	550
4.5.2.5	Einsatz nachgiebiger Robotersysteme im realen Prozess .....	552
4.5.3	Innovative Automation der Montage mit Industrierobotern .....	557
4.5.3.1	Das Geräteprogramm für die Montage .....	557
4.5.3.2	Roboter basiertes Montagesystem für Steckverbinder .....	558
4.5.3.3	Hochsensible Montage von Gasgeneratoren für Airbags.....	560
4.5.3.4	Roboterbasierte Montage von Beschlägen und Schließern.....	562
4.6	Modularisierte Zellen mit Wiederverwendbarkeit .....	564
4.6.1	Anforderungen an Produktionsanlagen und Unternehmen.....	564
4.6.2	Zielgerichtete Vorgehens-weisen der Unternehmen .....	564

4.6.3	Modularität getakteter Anlagen.....	566
4.6.3.1	Prozessmodulare Anlagen für mechatronische Geräte und feinwerktechnische Produkte ...	566
4.6.3.2	Modulare Anlagen für größere Aggregate am Beispiel eines Antriebs- und Getriebeprüfstandes .....	571
4.6.4	Modularität kontinuierlicher Produktionsanlagen .....	573
4.6.4.1	Kontinuierliche Produktionsanlagen der Pharma- und Medizintechnik.....	573
4.6.4.2	Modularität kontinuierlich laufender Produktionsanlagen zur Fertigung von Produkten für Erzeugung, Speicherung und Leitung von elektrischer Energie .....	574
4.6.4.3	Modulare, kontinuierliche Produktionsanlagen zur Herstellung elektrischer Leiter.....	578
4.6.4.4	Inline-Oberflächentechnik.....	581
4.6.4.5	Montage der einzelnen Leiter zu einem Leiterbündel durch Verseilen und Flechten .....	581
4.6.4.6	Modularer Elektromaschinenbau und Steuerungstechnik.....	585
4.6.5	Unternehmensweite Standardisierung und Wissensmanagement im Unternehmen.....	586
4.6.6	Zukünftige Produktionsanlagen .....	587
<b>5</b>	<b>Systemlösungen.....</b>	<b>589</b>
5.1	Übersicht zu Montagesystemen .....	591
5.1.1	Planungsgrundlagen.....	591
5.1.2	Technische Planungsmittel.....	593
5.1.3	Alternative Systemlösungen .....	595
5.1.4	Perspektiven rechnerintegrierter Montagesysteme.....	598
5.1.5	Beispiele aktueller Systemlösungen .....	600
5.2	Planung und Steuerung von Montageanlagen.....	602
5.2.1	Planung von Montageanlagen.....	602
5.2.1.1	Grundlagen für die Optimierung in der Montage .....	602
5.2.1.2	Systematische Planung .....	603
5.2.1.3	Softwareunterstützung.....	606
5.2.1.4	Simulationsstudien .....	607
5.2.1.4.1	Vorgehensweise bei Simulationsstudien zur Planung von Montageanlagen .....	607
5.2.1.4.2	Modellerstellung .....	608
5.2.1.4.3	Datenbereitstellung .....	610
5.2.1.4.4	Durchführung von Experimenten und statistische Auswertung.....	612
5.2.1.4.5	Ableitung von Optimierungsschritten .....	614
5.2.1.4.6	Praktischer Einsatz der Simulation in der Montage.....	615
5.2.1.5	Übergang zur Digitalen Fabrik .....	617
5.2.2	Planung, Projektierung und Programmierung der Automatisierungstechnik .....	622
5.2.2.1	Komponenten der Automatisierungstechnik.....	622
5.2.2.2	Rechnerunterstützte Planung und Projektierung der elektrischen und fluidtechnischen Komponenten .....	630
5.2.2.3	Projektierung der Automatisierungskomponenten.....	632
5.2.2.4	Programmierung der Automatisierungskomponenten .....	634
5.2.3	Inbetriebnahme.....	637
5.2.4	Betrieb von Montageanlagen.....	639
5.3	Planung und Realisierung eines Montagesystems für Schaltgeräte.....	645
5.3.1	Kurzbeschreibung des behandelten Systems.....	645
5.3.2	Anforderungen und Randbedingungen der bestehenden Umgebung .....	645
5.3.2.1	Produkt .....	645
5.3.2.2	Produktionsumgebung.....	646
5.3.3	Materialversorgungssystem ARRIBA <sup>4</sup> .....	647

5.3.3.1	Basiselemente.....	647
5.3.3.2	Systemsimulation.....	648
5.3.3.3	Einbettung des Systems.....	650
5.3.3.4	Steuerungsprozesse.....	650
5.3.3.5	Systemabsicherung.....	651
5.3.3.6	Umsetzung.....	651
5.3.4	Endmontagelinie.....	652
5.3.4.1	Konzepterstellung.....	652
5.3.4.2	Lastenheft-/Pflichtenheftvorgaben.....	652
5.3.4.3	Prozessüberwachung, Qualitätssicherung.....	658
5.3.4.4	Umsetzung.....	658
5.3.5	Erfahrungen aus dem Projekt.....	659
5.4	Montage von Großgeräten.....	660
5.4.1	Montage medizinischer Großgeräte.....	660
5.4.1.1	Einleitung.....	660
5.4.1.1.1	Qualitätsanforderungen.....	660
5.4.1.1.2	Schnittstelle Entwicklung - Fertigung.....	663
5.4.1.2.1	Produktentwicklung und -einführung.....	663
5.4.1.2.2	Änderungsmanagement.....	666
5.4.1.3	Montageprozess.....	667
5.4.1.3.1	Prozessdesign.....	667
5.4.1.3.2	Prozessrahmen.....	668
5.4.1.3.3	Prozesssteuerung.....	672
5.4.1.3.4	Systematische Prozessverbesserung.....	678
5.4.1.4	Ausblick.....	681
5.4.1.4.1	Produkt und Prozessgestaltung.....	681
5.4.1.4.2	Globales Fertigungskonzept.....	682
5.4.2	Montage von Haushaltsgeschirrspülern bei Miele.....	684
5.4.2.1	Rahmenbedingungen und Herausforderungen.....	684
5.4.2.2	Aufbau und Funktion eines Haushaltsgeschirrspülers.....	685
5.4.2.3	Die Prozesskette in der Fertigung und Montage.....	686
5.4.2.4	Organisatorische Erfolgsfaktoren.....	687
5.4.2.5	Technologische Erfolgsfaktoren.....	689
5.4.2.6	Zusammenfassung.....	693
5.5	Montage von Pkw.....	694
5.5.1	Montagestrukturen bei der Pkw-Produktion.....	694
5.5.1.1	Manufakturfertigung.....	695
5.5.1.2	Montage bei kleinen Stückzahlen.....	696
5.5.1.3	Montage in der Großserie.....	697
5.5.1.4	Grundlagen der Montageplanung.....	697
5.5.2	Montage in der Automobilindustrie - Grundprinzipien.....	699
5.5.2.1	Karosseriemontage.....	700
5.5.2.2	Strategie: Montagekonzept. Hauptmontageband versus Vormontageband.....	702
5.5.2.3	Elektrik und Elektronik in der Montage.....	702
5.5.2.4	Montage der Ausstattungskomponenten.....	708
5.5.3	Montagetechologie.....	714
5.5.3.1	Automatisierung, Flexibilität und Sensorik.....	714
5.5.3.2	Montage Interieur.....	716
5.5.3.3	Automatisierung in der Montage.....	718
5.5.4	Inbetriebnahme und Auditierung.....	722

5.6	Montage von Maschinen und Anlagen .....	724
5.6.1	Montage von Druckmaschinen .....	724
5.6.1.1	Das Unternehmen Heidelberger Druckmaschinen AG .....	724
5.6.1.2	HEIDELBERG Produktionssystem – Ganzheitliches Arbeiten mit System .....	725
5.6.1.3	Die Systemmontage .....	727
5.6.2	Montage von Werkzeugmaschinen .....	734
5.6.2.1	Wesentliche Komponenten einer Werkzeugmaschine .....	734
5.6.2.1.1	Gestell .....	735
5.6.2.1.2	Vorschubachsen .....	735
5.6.2.1.3	Hauptspindel.....	736
5.6.2.1.4	Steuerung und Schaltschrank.....	736
5.6.2.1.5	Peripherieeinrichtungen und Nebenaggregate .....	737
5.6.2.2	Montagegerechte Bauweise von Werkzeugmaschinen .....	737
5.6.2.2.1	Erläuterung der Strategie der modularen Bauweise .....	738
5.6.2.2.2	Vor- und Nachteile einer modularen Baukastenstruktur.....	738
5.6.2.2.3	Beispiel eines modularen Baukastensystems.....	739
5.6.2.3	Wertschöpfungsprozesse und Montageablauf .....	740
5.6.2.3.1	Vormontage .....	740
5.6.2.3.2	Endmontage .....	743
5.6.2.3.3	Kalibrierung und Inbetriebnahme.....	746
5.6.2.3.4	Kundenvorabnahme.....	746
5.6.2.3.5	Demontage und Transport .....	747
5.6.2.3.6	Außenmontage beim Kunden.....	747
5.6.2.3.7	Ausgewählte Produktionsansätze.....	747
5.6.2.4	Abschluss und Fazit.....	749
5.7	Prozesse und Technologien für den Elektromaschinenbau .....	751
5.7.1	Applikationen für elektrische Maschinen und deren Anforderungen.....	752
5.7.2	Konstruktionsprinzipien elektrischer Maschinen.....	752
5.7.3	Werkstoffe und Komponenten für Elektromotoren.....	755
5.7.4	Prozesse für die Komponentenfertigung.....	757
5.7.5	Prozesse für die Fertigung von Magnetkörpern.....	759
5.7.6	Prozesse zur Einbringung des Isolationssystems.....	760
5.7.7	Prozesse und Systeme für die Spulenfertigung.....	761
5.7.8	Setzen der Wicklungen .....	764
5.7.9	Kontaktieren elektrischer Wicklungen.....	765
5.7.10	Formen und Bandagieren der Wickelköpfe.....	767
5.7.11	Montage von Dauermagneten .....	767
5.7.12	Imprägnierverfahren .....	769
5.8	Montagesysteme in der Elektronik .....	770
5.8.1	Systemlösungen zur Elektronikproduktion .....	770
5.8.1.1	Varianten elektronischer Baugruppen.....	770
5.8.1.2	Alternative Prozessketten.....	771
5.8.1.3	Spezifische Fügetechnologien.....	771
5.8.2	Maschinen und Systeme der Elektronikproduktion .....	772
5.8.2.1	Einführung .....	772
5.8.2.2	Maschinen und Systeme für Oberflächenmontage.....	772
5.8.2.3	Maschinen und Systeme für Bare-Die-Packaging-Prozesse .....	776
5.8.2.4	Endmontagesysteme.....	779
5.8.2.5	Optische und elektrische Prüfsysteme .....	780
5.8.3	Linienplanung in der Elektronikproduktion.....	783

5.8.3.1	Klassische Linienkonzepte .....	783
5.8.3.2	Bewertungskriterien für Linienkonzepte .....	784
5.8.3.3	Realisierung von Lean Production in der Elektronikproduktion.....	785
5.8.4	Exemplarische Systemlösungen .....	786
5.8.5	Rüsto Optimierung von Bestückssystemen.....	788
5.8.5.1	Motivation, Ansätze zur Rüsto Optimierung .....	788
5.8.5.2	Umsetzung - das 4-Schichten-Modell .....	790
5.8.6	Prozessoptimierung in der Elektronikproduktion .....	792
5.8.6.1	Zielgröße der Prozessoptimierung .....	792
5.8.6.2	Systematische Prozessoptimierung mit Six Sigma.....	794
5.8.6.3	Fallstudie zur Prozessoptimierung .....	795
5.9	Systembeispiele zu Molded Interconnect Devices MID.....	799
5.9.1	MID-relevante Branchen und Applikationsfelder.....	799
5.9.2	Serienapplikationen.....	800
5.9.2.1	Drucksensor für ESP-Bremsregelsysteme .....	800
5.9.2.2	Strömungssensor für Volumenstromregler in der Klimatechnik .....	801
5.9.2.3	Beleuchtungsmodul für ein Kamera-Sicherheitssystem.....	802
5.9.2.4	Mehrfunktionale Kombischalter für den Motorradlenker .....	803
5.9.2.5	Sonnensensor zur Klimasteuerung im Automobil.....	804
5.9.3	Planung und Entwicklung von MID-Lösungen .....	805
5.9.3.1	Integrative Entwicklung von MID .....	805
5.9.3.2	Design räumlicher Schaltungsträger.....	805
5.9.3.3	Zusammenarbeit in der Forschungsvereinigung 3-D MID.....	806
<b>6</b>	<b>Betrieb</b> .....	<b>809</b>
6.1	Übersicht zu Betrieb.....	811
6.1.1	Bedeutung schneller System Einführung .....	811
6.1.2	Konzepte zum sicheren Betrieb .....	812
6.1.3	Qualitätssicherung.....	815
6.2	Inbetriebnahme von Montageanlagen .....	817
6.2.1	Grundlagen .....	817
6.2.2	Produktionsanlauf.....	818
6.2.2.1	Ziele im Produktionsanlauf .....	820
6.2.2.2	Anlaufstrategien.....	821
6.2.2.3	Störeinflüsse im Produktionsanlauf.....	822
6.2.3	Inbetriebnahme komplexer Montageanlagen.....	823
6.2.3.1	Handlungsfelder der Inbetriebnahme .....	824
6.2.3.2	Virtuelle Inbetriebnahme .....	826
6.2.4	Projektmanagement in der Inbetriebnahme.....	828
6.2.4.1	Grundlagen des Projektmanagements.....	829
6.2.4.2	Projektcontrolling in der Inbetriebnahme .....	830
6.3	Qualitätssicherung und Traceability in der Montage .....	834
6.3.1	Qualitätssicherung im Wandel der Zeit .....	834
6.3.1.1	Sicherung der Produktqualität.....	834
6.3.1.2	Sicherung der Prozessqualität .....	835
6.3.1.3	Ganzheitliche Sichtweise der Qualität - TQM .....	836
6.3.2	Maximen des Qualitätsmanagements.....	837
6.3.2.1	Kundenzufriedenheit.....	837
6.3.2.2	Sicherheit und Gesetze.....	837

6.3.2.3	Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit .....	838
6.3.2.4	Mitarbeiterorientierung .....	839
6.3.2.5	Transparenz – Kommunikation und Information.....	839
6.3.2.6	Dokumentation und Traceability .....	840
6.3.3	Traceability-Systeme.....	840
6.3.3.1	Anforderungen an Traceability-Systeme .....	844
6.3.3.2	Aufbau von Traceability-Systemen .....	845
6.3.3.3	Einführung von Traceability-Systemen .....	847
6.3.4	Technologien der Datenerfassung für Traceability .....	847
6.3.4.1	Auto-Identifikation-Verfahren .....	848
6.3.4.2	Barcode und andere optische Codierungen .....	849
6.3.4.3	RFID .....	851
6.3.4.4	Barcode oder RFID – Ein Vergleich.....	852
6.3.5	Anwendungsbeispiele von Traceability-Systemen .....	852
6.4	Diagnose und Verfügbarkeit.....	857
6.4.1	Ziele technischer Diagnose.....	858
6.4.1.1	Messverfahren in der Diagnose .....	858
6.4.1.2	Das Diagnosemodell .....	859
6.4.1.3	Trendanalyse.....	860
6.4.2	Kennzahlen .....	860
6.4.2.1	MTBF und MTTR .....	860
6.4.2.2	Verfügbarkeit und Maschinenfähigkeit.....	861
6.4.2.3	Nutzungsgrad und OEE.....	861
6.4.2.4	Qualität und First Pass Yield.....	862
6.4.3	Entwicklung von Diagnosesystemen .....	862
6.4.3.1	Beispiel Elektronikfertigung .....	862
6.4.3.2	Beispiel Pastendruck .....	866
6.4.3.3	Anforderungen an die Diagnosesoftware .....	868
6.4.3.4	Realisierung einer Diagnosesoftware .....	869
6.4.3.5	Optimierungspotenziale für den Schablonendruckprozess .....	870
6.4.3.6	Ergebnisse .....	871
6.4.3.7	Automatisierte Montagesysteme .....	871
6.4.3.8	Wirtschaftlichkeit von Diagnosesystemen.....	873
6.4.3.9	Web-basierte Diagnose .....	874
6.4.3.10	Praktische Umsetzung .....	875
6.5	Wirtschaftlichkeit .....	876
6.5.1	Einleitung.....	876
6.5.2	Aufwand und Kostenerfassung.....	876
6.5.2.1	Begriffsdefinition und Einteilung von Kosten .....	876
6.5.2.2	Komplexitätskosten in der Montage .....	878
6.5.2.3	Flexibilitätskosten.....	879
6.5.2.4	Logistikkosten .....	882
6.5.3	Ertrag und Nutzenerfassung .....	884
6.5.4	Wirtschaftlichkeitsanalysen.....	884
6.5.4.1	Statische Modelle .....	885
6.5.4.2	Dynamische Modelle .....	886
6.5.4.3	Wirtschaftlichkeitsentscheidungen unter Unsicherheit.....	886

# Die Herausgeber

## *Gesamtherausgeber*

### *Prof. Dr. h. c. mult. Dr.-Ing. E. h. Dr.-Ing. Günter Spur*

Professor Günter Spur, geboren am 28. Oktober 1928 in Braunschweig, verstorben am 19. September 2013 in Kopenhagen, war emeritierter Professor der Technischen Universität Berlin. Nach seinem Studium an der Technischen Hochschule Braunschweig und mehrjähriger Tätigkeit als Assistent und Oberingenieur am Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik wirkte er mehrere Jahre in leitender Funktion bei der Gildemeister AG, Bielefeld. Ab 1965 leitete Professor Spur über Jahrzehnte das Institut für Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb der TU Berlin sowie das Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik. In der Zeit von 1991 bis 1996 war er Gründungsrektor der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus. Professor Spur hat bedeutende Beiträge zur Produktionswissenschaft geleistet – vor allem auf den Gebieten der Werkzeugmaschinen und der Fertigungstechnik, des Fabrikbetriebes sowie der rechner-integrierten Produktion und Automatisierung. Über 1.000 Zeitschriften- und Buchveröffentlichungen sowie zahlreiche Vorträge im In- und Ausland sind Bestandteil seiner Forschungsarbeiten. Günter Spur war Mitglied in zahlreichen wissenschaftlichen Institutionen und Akademien. Seine Verdienste als Wissenschaftler und Hochschullehrer wurden auch international durch hohe Auszeichnungen und Ehrungen gewürdigt.

## *Bandherausgeber*

### *Prof. Dr.-Ing. Klaus Feldmann*

Prof. Klaus Feldmann, 1943 in Göttingen geboren, studierte Maschinenbau an der Technischen Universität Berlin, wo er 1974 promovierte. Nach verschiedenen leitenden Tätigkeiten bei der Siemens AG in Erlangen und Amberg wurde er 1982 als Professor auf den neugegründeten Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik (FAPS) an der Universität Erlangen-Nürnberg berufen. Als Forschungsschwerpunkte wurden die Planung und der Betrieb von rechnergestützten Systemen in Montage und Elektronikproduktion entwickelt. Diesen Lehrstuhl mit zwei Standorten, in Nürnberg und Erlangen, leitete er bis 2009. Während dieser Zeit war Prof. Feldmann Sprecher zahlreicher Forschungsverbände und seit der Gründung 1992 bis 2010 Vorsitzender der Forschungsvereinigung Räumliche Elektronische Baugruppen 3-D MID e. V. Er ist weiterhin Mitglied der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Produktionstechnik e. V. (WGP), der Internationalen Akademie für Produktionstechnik (CIRP) und der Deutschen Akademie der Technikwissenschaften (acatech).

### *Prof. Dr.-Ing. Volker Schöppner*

Prof. Volker Schöppner, 1964 in Gütersloh geboren, studierte, promovierte und habilitierte im Bereich Maschinenbau der Universität Paderborn mit dem Schwerpunkt Kunststoffverarbeitung. Nach einer Tätigkeit bei einem deutschen Extrusionsmaschinenbauunternehmen war er einige Jahre bei der Hella KgaA, einem großen Automobilzulieferer mit dem Schwerpunkt Fahrzeugbeleuchtung. Dort war er zuletzt verantwortlich für die Produktionstechnologie. 2007 wurde Professor Schöppner an der Universität Paderborn auf die Professur „Kunststoffverarbeitung“ berufen, die am Institut für Leichtbau mit Hybrid-systemen in der Fakultät Maschinenbau angesiedelt ist. Schwerpunkte seiner Tätigkeit sind das Schweißen und das Extrudieren thermoplastischer Kunststoffe. Er ist Mitglied der PPS (Polymer Processing Society), des WAK (Wissenschaftlicher Arbeitskreis der Universitätsprofessoren der Kunststofftechnik) und leitet die Kommission XVI „Polymer Joining and Adhesive Technology“ des IIW (International Institute of Welding).





## Autorenverzeichnis

*Dipl.-Ing. Gökhan Akkasoglu*, Lehrstuhl Qualitätsmanagement und Fertigungsmesstechnik QFM, Universität Erlangen-Nürnberg

*Dipl.-Ing. (FH) Florian Albert*, Technologiebrokerage, blz Bayerisches Laserzentrum GmbH, Erlangen

*Dr.-Ing. Karl Andermahr*, Geschäftsführer der Axelius Automation GmbH, Lippstadt

*Dr. Ing. Gunter Beitinger*, Siemens AG, Industry Sector, Head of Manufacturing I DT LD P MF, Guadalajara, Mexico

*Prof. Dr.-Ing. habil. Jean Pierre Bergmann*, Inhaber der Professur Fertigungstechnik, Technische Universität Ilmenau

*Peter Biersack*, Leiter der Fertigungs- und Prüfplanung im Gerätewerk Amberg, Siemens AG, Amberg

*Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Blöchl*, Hochschule für angewandte Wissenschaften Amberg-Weiden, Amberg

*Dipl.-Ing. Klaus Bott*, Geschäftsführer, Afag GmbH, Amberg

*Prof. Dr.-Ing. Thomas Brinkmann*, Leiter des Fachgebietes Produktentwicklung mit Kunststoffen inkl. Simulationstechniken, Hochschule Rosenheim

*Dipl.-Ing. Matthias Brossog*, Wissenschaftlicher Mitarbeiter, Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik FAPS, Universität Erlangen-Nürnberg

*Prof. Dr.-Ing. Carsten Bye*, Fachbereich Werkstoff- und Fertigungstechnik, Private Fachhochschule für Wirtschaft und Technik, Diepholz

*Henner Cnyrim*, Leiter Central Electronic Plants CEP / Member of the Automotive Board, Continental Automotive GmbH, Regensburg

*Dr.-Ing. Adrian Dietlmaier*, Lehrstuhl Qualitätsmanagement und Fertigungsmesstechnik QFM, Universität Erlangen-Nürnberg

*Prof. Dr.-Ing. Klaus Dilger*, Leiter des Instituts für Füge- und Schweißtechnik, Technische Universität Braunschweig

*Dr.-Ing. Andreas Dobroschke*, Projektleiter Bayerisches Technologiezentrum für elektrische Antriebstechnik – E|Drive-Center, Universität Erlangen-Nürnberg

*Dr.-Ing. Dipl.-Wirt.Ing. Sebastian Döring*, technischer Assistent der Werkleitung im Werk Bielefeld, Miele & Cie. KG

*Dr.-Ing. Manfred Dresselhaus*, Koordinator Forschungs- und Verbundprojekte, Reis GmbH & Co KG Maschinenfabrik, Obernburg

*Dipl. W.-Ing. (FH) Tobias Ebeling*, Heidelberger Druckmaschinen AG, Wiesloch

*Grit Feistkorn*, Leitung Marketing, ProTec Polymer Processing GmbH, Bensheim

*Prof. i.R. Dr.-Ing. Klaus Feldmann*, ehemaliger Inhaber des Lehrstuhls für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik FAPS, Universität Erlangen-Nürnberg

*Dr. Robert Feuerstein*, Leiter CEP Manufacturing Technology, Continental Automotive GmbH, Regensburg

*Dipl.-Inf. Christian Fischer*, Wissenschaftlicher Mitarbeiter, Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik FAPS, Universität Erlangen-Nürnberg

*Prof. Dr.-Ing. Jürgen Fleischer*, Institutsleiter, wbk Institut für Produktionstechnik am Karlsruher Institut für Technologie KIT

*Prof. Dr.-Ing. Jörg Franke*, Inhaber des Lehrstuhls für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik FAPS, Universität Erlangen-Nürnberg

*Dipl.-Ing. Thomas Frädrieh*, Wissenschaftlicher Mitarbeiter, Institut für Fabrikanlagen und Logistik, Leibniz Universität Hannover

*Dr.-Ing. Anton Friedl*, Leiter der Abteilung System Architecture and Platforms, Industry Sector, Siemens AG, Nürnberg

*Dipl.-Ing. Johannes Gebhardt*, Wissenschaftlicher Mitarbeiter, wbk Institut für Produktionstechnik am Karlsruher Institut für Technologie KIT

*Rudolf Gietl*, Leiter Produktionsnetzwerk im Business Segment Control Components und *Werkleiter Gerätewerk Amberg*, Siemens AG, Amberg

*Dipl.-Ing.(FH) Walter Glück*, Leoni Bordnetz-Systeme GmbH, Kitzingen

*Dr.-Ing. Christian Goth*, Strategic Technology Manager, Harting AG Mitronics

*Dipl.-Ing. Martin Hägele*, Fraunhofer IPA/ISW, Universität Stuttgart

*Felix Hempel*, Siemens AG, Forchheim,

*Metin Begecarslan*, Siemens AG, Kemnath

*Dipl.-Ing. Heiko Hennrich*, wissenschaftlicher Mitarbeiter, wbk Institut für Produktionstechnik am Karlsruher Institut für Technologie KIT

*Dr. Ludwig Herbst*, Siemens AG, Healthcare Sector, stellv. Leiter der Abteilung Innovation & Business Development der Business Unit H CP CV, Erlangen

*Dipl.-Ing. Ralf Högel*, Industrie Kommunikation Högel, Stadtbergen

*Dr. Rüdiger Holzmann*, Leiter Manufacturing Technology, BU Sensors & Actuators, Continental Automotive GmbH, Regensburg

*Helmut Humm*, Obmann Mechanisches Fügen für Kunststoffe der DVS AG 4.11; EJOT Verbindungstechnik, Obermichelbach-Rothenberg

*Dr. Stefan Junker*, Baumüller Nürnberg GmbH

*Christopher Kästle*, Wissenschaftlicher Mitarbeiter, Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik FAPS, Universität Erlangen-Nürnberg

*Dipl.-Ing Johannes Kohl*, Wissenschaftlicher Mitarbeiter, Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik FAPS, Universität Erlangen-Nürnberg

*Roland Köppel*, Siemens AG, Healthcare Sector, CEO der Business Unit H CP CV, Erlangen

*Dr. Ingo Kriebitzsch*, BMW AG, München

*Dipl.-Wirt.-Ing. Christian Krüger*, Wissenschaftlicher Mitarbeiter, Institut für Fabrikanlagen und Logistik, Leibniz Universität Hannover

*Franz Kunz*, Siemens AG, Erlangen

*Dr.-Ing. Johannes Kurth*, Leiter Forschung und Vorentwicklung, KUKA Laboratories GmbH, Augsburg

*Dr. Georg Liedl*, KME – Geschäftsführer, Kompetenzzentrum Mittelstand GmbH, München

*Edwin Lotter*, Geschäftsführer, LP-Montagetechnik GmbH, Erlangen

*Prof. Dr.-Ing. habil. Klaus-Jürgen Matthes*, Institut für Fertigungstechnik/Schweißtechnik (IFS), Technische Universität Chemnitz

*Prof. i. R. Dr.-Ing. Harald Meerkamm*, ehemaliger Inhaber des Lehrstuhls für Konstruktionstechnik, Universität Erlangen Nürnberg

*Dipl.-Inf. Jochen Merhof*, Wissenschaftlicher Mitarbeiter, Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik FAPS, Universität Erlangen-Nürnberg –

*M. Eng Dipl.-Ing (FH) Izudin Mešan*, Leiter Entwicklung Zuführtechnik, Afag GmbH, Amberg

*Dipl.-Inf. Markus Michl*, Wissenschaftlicher Mitarbeiter, Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik FAPS, Universität Erlangen-Nürnberg

*Thomas Mörtel*, Schuler Automation GmbH & Co. KG, Heßdorf

*Dipl.-Ing.(FH) Toni Müller*, Leoni Bordnetz-Systeme GmbH, Kitzingen

*Dr.-Ing. Joachim Natrop*, Geschäftsführer der KLN Ultraschall AG, Heppenheim

*Dipl.-Ing. Martin Naumann*, Gruppenleiter, Fraunhofer IPA, Stuttgart

*Dr.-Ing. Friedrich W. Nolting*, Geschäftsführender Gesellschafter diplan GmbH, Erlangen

*Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Nyhuis*, Leiter des Instituts für Fabrikanlagen und Logistik, Leibniz Universität Hannover

*Dipl.-Ing. Michael Pfeffer*, Wissenschaftlicher Mitarbeiter, Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik FAPS, Universität Erlangen-Nürnberg

*Dr.-Ing. Rolf Pfeiffer*, Geschäftsführender Gesellschafter DEPRAG SCHULZ GMBH u. CO., Amberg

*Dipl.-Ing. (FH) MBA Matthias Poguntke*, SCHUNK GmbH & Co. KG, Lauffen am Neckar

*Prof. em. Dr.-Ing. Helmut Potente*, Kunststofftechnik Paderborn, Universität Paderborn

*Dr.-Ing. Andreas Pott*, Gruppenleiter, Fraunhofer IPA, Stuttgart

*Dipl.-Ing Christina Ramer*, Wissenschaftliche Mitarbeiterin, Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik FAPS, Universität Erlangen-Nürnberg

*Dr.-Ing. Hubert Reinisch*, Leiter Entwicklung und Konstruktion, Maschinenfabrik NIEHOFF GmbH & Co. KG, Schwabach

*Dipl.-Ing. Sebastian Reitelshöfer*, Wissenschaftlicher Mitarbeiter, Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik FAPS, Universität Erlangen-Nürnberg

*Michael Rettig*, Produkt Manager, ProTec Polymer Processing GmbH, Bensheim

*Doz. Dr.-Ing. habil. Erhardt Richter*, Institut für Fertigungstechnik/Schweißtechnik, Technische Universität Chemnitz

*Dr.-Ing. Michael Rösch*, Lohr am Main

*Dipl.-Ing. Franziska Schäfer*, Wissenschaftliche Mitarbeiterin, Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik FAPS, Universität Erlangen-Nürnberg

*Dipl.-Ing. (FH) Matthias Schaffeld*, Leiter der Abteilung Produktionstechnologie im Werk Bielefeld, Miele & Cie. KG

*Dr.-Ing. Wolfgang Schlögl*, Leiter Digital Engineering, Siemens AG, Industry Automation Division, Nürnberg

*Dr. K. Schlüter*, Geschäftsführender Gesellschafter diplan GmbH, Erlangen

*Prof. Dr.-Ing. Michael Schmidt*, Ordinarius Lehrstuhl für Photonische Technologien, Universität Erlangen-Nürnberg; Geschäftsführung, blz Bayerisches Laserzentrum GmbH, Erlangen

*Dipl.-Ing. Volker Schmirgel*, Forschung und Vorentwicklung, KUKA Laboratories GmbH, Augsburg

*Dr. Sebastian Schöning*, Geschäftsführer, MAG IAS GmbH, Göppingen

*Prof. Dr.-Ing. Volker Schöppner*, Kunststofftechnik Paderborn, Universität Paderborn

*Dr.-Ing. Florian Schübler*, Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik FAPS, Universität Erlangen-Nürnberg

*Prof. Dr.-Ing. Michael Steber*, Fakultät Maschinenbau und Automobiltechnik, Hochschule für angewandte Wissenschaften Coburg

*Dr. Peter Strattner*, Siemens AG, Erlangen

*Dipl.-Ing. Robert Süß-Wolf*, Nürnberg

*Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. mult. Alexander Verl*, Institutsleiter, Fraunhofer IPA / ISW Universität Stuttgart

*Dipl.-Ing. (FH) Bernd Vierneusel*, Wissenschaftlicher Assistent, Lehrstuhl für Konstruktionstechnik, Universität Erlangen Nürnberg

*Rainer Vockentanz*, ehemals Leiter Entwicklung und Konstruktion, Maschinenfabrik NIEHOFF GmbH & Co. KG, Schwabach

*Dipl.-Ing. Ralf Voß*, Wissenschaftlicher Mitarbeiter, Lehrstuhl für Konstruktionstechnik, Universität Erlangen Nürnberg

*Dipl.-Ing. oec. Carsten Wagner*, Wissenschaftlicher Mitarbeiter, Institut für Fabrikanlagen und Logistik, Leibniz Universität Hannover

*Dipl.-Ing. Michael Walter*, Wissenschaftlicher Assistent, Lehrstuhl für Konstruktionstechnik, Universität Erlangen Nürnberg

*Prof. Dr.-Ing. Sandro Wartzack*, Inhaber des Lehrstuhls für Konstruktionstechnik, Universität Erlangen Nürnberg

*Dr. Reinhardt Weber*, Siemens AG, Erlangen

*Prof. Dr.-Ing. Prof. h. c. mult. Dr.-Ing. E. h. Dr. h. c. mult. Albert Weckenmann*, Lehrstuhl Qualitätsmanagement und Fertigungsmesstechnik QFM, Universität Erlangen-Nürnberg

*Dipl. Ing. Karl-Ulrich Wege*, Heidelberger Druckmaschinen AG, Wiesloch

*Dipl.-Ing. (FH) Markus Weigl*, Wissenschaftlicher Mitarbeiter, blz Bayerisches Laserzentrum GmbH, Erlangen

*Prof. Dr.-Ing. habil. Johannes Wilden*, Inhaber der Professur Funktionswerkstoffe und Beschichtungen, Hochschule Niederrhein

*Dr.-Ing. Hans Wobbe*, Geschäftsführer von Wobbe - Bürkle - Partner, Geretsried

*Dr.-Ing. Richard Zunke*, Advanced Technology Solutions, KUKA Systems GmbH, Augsburg

# Einführung

Klaus Feldmann

<b>1.1 Stellenwert von Fügen, Handhaben, Montieren.....</b>	<b>3</b>
1.1.1 Volkswirtschaftliche Bedeutung.....	3
1.1.2 Technologische Herausforderungen .....	5
1.1.3 Perspektiven durch Globalisierung und Produktinnovationen.....	6
1.1.4 Begriffe und Benennungen.....	8
<b>1.2 Historische Entwicklung .....</b>	<b>9</b>
1.2.1 Frühe Anwendungsbeispiele zum Fügen .....	9
1.2.2 Entwicklungen in der Automobilindustrie.....	10
1.2.3 Beispiele zur Entwicklung von Maschinen und Geräten.....	11
1.2.4 Impulse durch Robotertechnik und rechnergestützte Automatisierung .....	12
1.2.5 Entwicklungsstufen in der Elektronikmontage .....	15
<b>1.3 Fachliche Übersicht .....</b>	<b>16</b>
1.3.1 Systemtechnische Grundlagen der Prozessgestaltung..	16
1.3.2 Produktgestaltung und Montagezellen .....	17
1.3.3 Systemlösungen und Betrieb .....	20