

Inhaltsverzeichnis

Vorwort der Bandherausgeber V

Die Herausgeber XXIII

Autorenverzeichnis XXV

1	Einführung	1
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
2	Fügen	23
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 Wärmeinbetten.....	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	Schließringbolzen.....	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
3	Handhaben und Materialfluss	307
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 – Materialflusssteuerung.....	428
3.6.6	Materialflussoptimierung durch Prozessoptimierung	431
4	Montagezellen.....	433
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 Fügestellen	449
4.2.4.1	Reduzieren der Fügestellen	449
4.2.4.2	Vereinheitlichen der Fügestellen.....	449
4.2.4.3	Vereinfachen der Fügestellen.....	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
5	Systemlösungen.....	589
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 ⁴	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
5.4.1.2	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 Haushalts-geschirrspülern 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	Montagetechnologie.....	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	Rüstopptimierung von Bestückssystemen	788
5.8.5.1	Motivation, Ansätze zur Rüstopptimierung	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
6	Betrieb	809
6.1	Übersicht zu Betrieb	811
6.1.1	Bedeutung schneller Systemeinführung	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