



Inhaltsverzeichnis

Handbuch Fügen, Handhaben, Montieren

ISBN (Buch): 978-3-446-42827-0

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

Weitere Informationen oder Bestellungen unter

<http://www.hanser-fachbuch.de/978-3-446-42827-0>

sowie im Buchhandel.

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 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 gewindeförmende 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 – Materialflusststeuerung.....	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 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
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
5.4.1.1.2	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
6	Betrieb	809
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