

Klaus Feldmann
Volker Schöppner
Günter Spur

Handbuch Fügen, Handhaben, Montieren

Edition | Handbuch der Fertigungstechnik

HANSER

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	
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	16
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	40
2.2.1.3.5	Durchführung des Schweißens	51
2.2.1.3.6	Nachbehandlung von Schweißnähten	50
2.2.1.3.7	Anwendung numerischer Simulationen für die Prozessanalyse beim Schweißen	51
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	73
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	161
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	168
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	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 <u>techn</u> ischen 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	Haltesystem344
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 Intra-logistik	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 Beschlügen 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	734
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	74(r
5.6.2.3.4	Kundenvorabnahme	746j
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 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
- 6.3.2.4 Mitarbeiterorientierung
- 6.3.2.5 Transparenz – Kommunikation und Information.
- 6.3.2.6 Dokumentation und Traceability
- 6.3.3 Traceability-Systeme
- 6.3.3.1 Anforderungen an Traceability-Systeme
- 6.3.3.2 Aufbau von Traceability-Systemen
- 6.3.3.3 Einführung von Traceability-Systemen
- 6.3.4 Technologien der Datenerfassung für Traceability
- 6.3.4.1 Auto-Identifikation-Verfahren
- 6.3.4.2 Barcode und andere optische Codierungen I
- 6.3.4.3 RFID
- 6.3.4.4 Barcode oder RFID – Ein Vergleich
- 6.3.5 Anwendungsbeispiele von Traceability-Systemen

- 6.4 Diagnose und Verfügbarkeit..
- 6.4.1 Ziele technischer Diagnose
- 6.4.1.1 Messverfahren in der Diagnose
- 6.4.1.2 Das Diagnosemodell
- 6.4.1.3 Trendanalyse
- 6.4.2 Kennzahlen
- 6.4.2.1 MTBF und MTRR
- 6.4.2.2 Verfügbarkeit und Maschinenfähigkeit
- 6.4.2.3 Nutzungsgrad und OEE
- 6.4.2.4 Qualität und First Pass Yield
- 6.4.3 Entwicklung von Diagnosesystemen
- 6.4.3.1 Beispiel Elektronikfertigung
- 6.4.3.2 Beispiel Pastendruck
- 6.4.3.3 Anforderungen an die Diagnosesoftware
- 6.4.3.4 Realisierung einer Diagnosesoftware
- 6.4.3.5 Optimierungspotenziale für den Schablonen ss.
- 6.4.3.6 Ergebnisse
- 6.4.3.7 Automatisierte Montagesysteme
- 6.4.3.8 Wirtschaftlichkeit von Diagnosesystemen....
- 6.4.3.9 Web-basierte Diagnose
- 6.4.3.10 Praktische Umsetzung

- 6.5 Wirtschaftlichkeit
- 6.5.1 Einleitung
- 6.5.2 Aufwand und Kostenerfassung
- 6.5.2.1 Begriffsdefinition und Einteilung von Kosten
- 6.5.2.2 Komplexitätskosten in der Montage
- 6.5.2.3 Flexibilitätskosten
- 6.5.2.4 Logistikkosten
- 6.5.3 Ertrag und Nutzenerfassung
- 6.5.4 Wirtschaftlichkeitsanalysen.
- 6.5.4.1 Statische Modelle
- 6.5.4.2 Dynamische Modelle
- 6.5.4.3 Wirtschaftlichkeitsentscheidungen unter Unsicherheit