

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einführung</b>	<b>1</b>
1.1	Einordnung der Fertigungstechnik, Begriffe und Grundlagen	1
1.2	Auswahl der Fertigungsverfahren	8
	Literatur	9
<b>2</b>	<b>Urformen</b>	<b>11</b>
2.1	Einführung	11
2.2	Urformen von Metallen aus dem flüssigen Zustand	12
2.2.1	Grundbegriffe, Verfahrensübersicht	12
2.2.2	Metallkundliche Grundlagen des Gießens von Metallen	16
2.2.2.1	Entstehung des Gussgefüges	16
2.2.2.2	Gusswerkstoffe	21
2.2.2.3	Gießeigenschaften der Gusswerkstoffe	23
2.2.2.4	Gussfehler	24
2.2.3	Ausgewählte Gießverfahren	25
2.2.3.1	Gießen mit verlorenen Formen und Dauermodellen	25
2.2.3.2	Gießen mit verlorenen Formen und verlorenen Modellen	34
2.2.3.3	Gießen mit Dauerformen	37
2.3	Urformen aus dem körnigen oder pulverförmigen Zustand	42
2.3.1	Grundlagen	42
2.3.2	Pulverherstellung	44
2.3.3	Verarbeitung von Pulvern zu Formkörpern – Formgebung und Verdichten	47
2.3.4	Sintern	50
2.3.5	Weiterbearbeitung und Nachbehandlung	52

2.4	Urformen aus dem plastischen Zustand – Urformen von Kunststoffen	53
2.4.1	Grundlagen	53
2.4.2	Verfahren zum Urformen von Kunststoffen	54
2.4.2.1	Pressen	54
2.4.2.2	Spritzgießen	58
2.4.2.3	Extrudieren	66
2.4.2.4	Schäumen, Rotationsformen, Blasformen	67
2.4.3	Pulverspritzgießen-Metal Injection Moulding MIM und Powder Injection Moulding PIM	69
2.5	Urformen aus dem ionisierten Zustand – Galvanoformung	71
2.5.1	Einführung und Grundlagen	71
2.5.2	Einflussgrößen auf die galvanische Abscheidung von Metallen	76
2.5.3	Technologie der Galvanoformung	81
2.6	Generative Fertigungsverfahren – Rapid Manufacturing	84
2.6.1	Einführung und Grundlagen	84
2.6.2	Ausgewählte generative Fertigungsverfahren	86
2.6.2.1	Stereolithographie SL	86
2.6.2.2	Laser-Sintern LS	90
2.6.2.3	Fused Deposition Modeling FDM bzw. Fused Layer Modeling FLM	95
2.6.2.4	3D-Printing	97
2.6.2.5	Laser chemical vapor deposition LCVD	98
	Literatur	99
<b>3</b>	<b>Umformen</b>	103
3.1	Grundlagen	103
3.2	Ausgewählte Umformverfahren	111
3.2.1	Druckumformen	111
3.2.2	Zug-Druck-Umformen	116
3.2.3	Biegeumformen	121
3.2.3.1	Einteilung der Biegeverfahren	121
3.2.3.2	Theorie des Biegens	122
	Literatur	124
<b>4</b>	<b>Trennen</b>	127
4.1	Einführung	127
4.2	Zerteilen	128
4.2.1	Schneiden von Blech – Grundlagen	128
4.2.2	Feinschneiden	132
4.3	Wasserstrahlschneiden	133
4.3.1	Einführung	133
4.3.2	Der Abtragprozess	136

4.3.3	Die Schneidparameter . . . . .	137
4.4	Spanen . . . . .	140
4.4.1	Einführung . . . . .	140
4.4.2	Grundlagen des Spanens . . . . .	141
4.4.2.1	Kinematische und geometrische Grundlagen . . . . .	141
4.4.2.2	Kräfte und Leistungen beim Spanen . . . . .	145
4.4.2.3	Spanbildung . . . . .	148
4.4.2.4	Schneidstoffe und ihre Anwendung . . . . .	152
4.4.2.5	Werkzeugverschleiß und Standgrößen . . . . .	161
4.4.2.6	Standbegriffe und Standgrößenberechnung . . . . .	166
4.4.3	Ausgewählte Verfahren des Spanens mit geometrisch bestimmter Schneide . . . . .	169
4.4.3.1	Drehen . . . . .	169
4.4.3.2	Bohren, Senken, Reiben . . . . .	172
4.4.3.3	Fräsen . . . . .	176
4.4.3.4	Räumen . . . . .	181
4.4.4	Ausgewählte Verfahren des Spanens mit geometrisch unbestimmter Schneide . . . . .	183
4.4.4.1	Einführung . . . . .	183
4.4.4.2	Schleifen . . . . .	183
4.4.4.3	Honen . . . . .	191
4.4.4.4	Läppen . . . . .	194
4.4.5	Spanen mit Ultraschallunterstützung . . . . .	198
4.4.6	Hochgeschwindigkeitszerspanung – High Speed Cutting HSC . . . . .	201
4.5	Abtragen . . . . .	203
4.5.1	Einführung und Überblick . . . . .	203
4.5.2	Ätzen . . . . .	205
4.5.2.1	Einführung und Überblick . . . . .	205
4.5.2.2	Technologischer Ablauf . . . . .	212
4.5.3	Thermisches Abtragen – Funkenerosion . . . . .	215
4.5.3.1	Einführung . . . . .	215
4.5.3.2	Der Erosionsprozess . . . . .	216
4.5.3.3	Einflussgrößen auf den Erosionsprozess . . . . .	220
4.5.3.4	Anwendung . . . . .	226
	Literatur . . . . .	228
5	<b>Fügen</b> . . . . .	233
5.1	Einführung . . . . .	233
5.2	Fügen durch An- und Einpressen . . . . .	237
5.2.1	Einführung . . . . .	237
5.2.2	Fügen durch Keilen und Stiften . . . . .	238
5.2.3	Fügen durch Längs- und Querpressen . . . . .	239

5.2.4	Fügen durch Schrauben . . . . .	242
5.3	Fügen durch Umformen . . . . .	244
5.3.1	Einführung . . . . .	244
5.3.2	Falzen . . . . .	244
5.3.3	Nieten . . . . .	245
5.3.4	Durchsetzfügen – Clinchen . . . . .	249
5.3.5	Crimpen . . . . .	250
5.4	Fügen durch Stoffverbinden . . . . .	251
5.4.1	Grundlagen . . . . .	251
5.4.2	Kleben . . . . .	256
5.4.2.1	Einführung . . . . .	256
5.4.2.2	Klebstoffe . . . . .	258
5.4.2.3	Technologie des Klebens . . . . .	264
5.4.2.4	Leitkleben . . . . .	273
5.4.3	Löten . . . . .	275
5.4.3.1	Einführung und Grundlagen . . . . .	275
5.4.3.2	Flussmittel und Schutzgase . . . . .	280
5.4.3.3	Lotwerkstoffe und Lotpasten . . . . .	283
5.4.3.4	Ausgewählte Lötverfahren . . . . .	286
5.4.3.5	Löttechnologie . . . . .	297
5.4.3.6	Lötfehler . . . . .	299
5.4.4	Schweißen . . . . .	302
5.4.4.1	Einführung . . . . .	302
5.4.4.2	Schmelzschweißen . . . . .	304
5.4.4.2.1	Grundlagen . . . . .	304
5.4.4.2.2	Ausgewählte Schmelzschweißverfahren . . . . .	306
5.4.4.3	Pressschweißen . . . . .	312
5.4.4.3.1	Einleitung . . . . .	312
5.4.4.3.2	Widerstandsschweißen . . . . .	312
5.4.4.3.3	Ultraschallschweißen . . . . .	318
5.4.4.3.4	Diffusionsschweißen . . . . .	320
5.4.4.3.5	Kaltpressschweißen . . . . .	321
5.4.4.3.6	Rührreibschweißen . . . . .	322
Literatur	. . . . .	324
<b>6</b>	<b>Beschichten . . . . .</b>	<b>331</b>
6.1	Einführung . . . . .	331
6.2	Beschichten aus dem ionisierten Zustand . . . . .	332
6.2.1	Einführung . . . . .	332
6.2.2	Elektrolytisches Abscheiden . . . . .	332
6.2.3	Chemisches Abscheiden . . . . .	335
6.3	Beschichten aus dem flüssigen Zustand . . . . .	336

6.4	Beschichten aus dem gas- oder dampfförmigen Zustand – Dünnschichttechnologie . . . . .	337
6.4.1	Einführung . . . . .	337
6.4.2	Technologie ausgewählter PVD-Verfahren . . . . .	339
6.4.2.1	Überblick . . . . .	339
6.4.2.2	Substrate und Substratreinigung . . . . .	339
6.4.2.3	Teilchenerzeugung . . . . .	341
6.4.2.3.1	Aufdampfen . . . . .	341
6.4.2.3.2	Sputtern . . . . .	346
6.4.2.4	Schichtbildung und -wachstum . . . . .	350
6.4.3	Dünnschichtschaltung . . . . .	353
6.5	Beschichten aus dem pastenförmigen Zustand – Dickschichttechnologie . . . . .	354
6.5.1	Einführung . . . . .	354
6.5.2	Substrate und Substratreinigung . . . . .	357
6.5.3	Dickschichtpasten . . . . .	359
6.5.3.1	Einführung . . . . .	359
6.5.3.2	Leitpasten . . . . .	359
6.5.3.3	Widerstandspasten . . . . .	360
6.5.3.4	Dielektrische Pasten . . . . .	361
6.5.3.5	Sonderpasten . . . . .	363
6.5.4	Pastenaufbringung und Strukturierung . . . . .	364
6.5.4.1	Einführung . . . . .	364
6.5.4.2	Siebdruck . . . . .	364
6.5.4.3	Schablonendruck . . . . .	370
6.5.5	Trocknen und Einbrennen der Pasten . . . . .	372
Literatur	. . . . .	374
<b>7</b>	<b>Leiterplattentechnologie . . . . .</b>	<b>377</b>
7.1	Einführung . . . . .	377
7.2	Leiterplattenbasismaterialien . . . . .	380
7.3	Technologische Arbeitsschritte bei der Leiterplattenherstellung . . . . .	384
7.3.1	Einführung . . . . .	384
7.3.2	Herstellung des Originalleiterbildes der Druckvorlage . . . . .	385
7.3.3	Herstellung des Originalfilms (Originaldia) und des Arbeitsfilms (Arbeitsdia) . . . . .	387
7.3.4	Mechanische Bearbeitungsverfahren der Leiterplatten . . . . .	389
7.3.5	Oberflächenvorbehandlung der Leiterplatte . . . . .	392
7.3.6	Aufbau des Leiterbildes auf der Leiterplatte . . . . .	394
7.3.7	Oberflächenbeschichtung von Metallen auf der Leiterplatte . . . . .	396
7.3.8	Ätzen . . . . .	400

7.3.9	Oberflächenschutz, Lötstopplack, organische Kupferpassivierung OSP, Leitlacke, Wärmeleitpasten und Servicedruck . . . . .	401
7.4	Herstellungsverfahren für Leiterplatten . . . . .	403
7.4.1	Einführung . . . . .	403
7.4.2	Subtraktivverfahren . . . . .	404
7.4.3	Additivverfahren . . . . .	410
7.4.4	Kombinierte Subtraktiv-/Additiv-Verfahren; Semiadditiv-Technik . . . . .	413
7.5	Flexible und starr-flexible Leiterplatten . . . . .	413
7.6	Multilayer . . . . .	416
7.7	Fehler bei der Herstellung von Leiterplatten . . . . .	419
7.8	Dreidimensionale spritzgegossene Leiterplatten – MID . . . . .	421
7.8.1	Einführung . . . . .	421
7.8.2	Verfahren mit Einkomponenten-Spritzgießen . . . . .	422
7.8.3	MID-Verfahren mit Zweikomponenten-Spritzguss . . . . .	429
	Literatur . . . . .	432
<b>8</b>	<b>Bestückungstechnologie . . . . .</b>	<b>437</b>
8.1	Einführung und Überblick . . . . .	437
8.2	Durchsteckmontage – THT . . . . .	440
8.3	Oberflächenmontage – Surface Mount Technology SMT . . . . .	441
8.3.1	Einführung . . . . .	441
8.3.2	Überblick über oberflächenmontierbare Bauelemente – Surface Mount Device SMD . . . . .	442
8.3.3	SMD-Bestückungsverfahren . . . . .	444
8.4	Chip-Montage und COB . . . . .	447
8.4.1	Einführung . . . . .	447
8.4.2	Drahtkontaktierung – Chip and wire . . . . .	449
8.4.3	Tape Automated Bonding – TAB . . . . .	455
8.4.4	Flip-Chip-Technologie – FC . . . . .	456
8.5	Entwicklungsrichtungen der Bauelemente-Bestückung . . . . .	459
	Literatur . . . . .	460
<b>9</b>	<b>Lasermaterialbearbeitung . . . . .</b>	<b>463</b>
9.1	Einführung . . . . .	463
9.2	Einflussgrößen auf die Lasermaterialbearbeitung . . . . .	468
9.2.1	Laserstrahlquellen . . . . .	468
9.2.2	Laserparameter . . . . .	471
9.2.3	Werkstoffparameter . . . . .	473
9.2.4	Bauteilbezogene Größen . . . . .	474
9.2.5	Bewegungseinrichtungen . . . . .	474

9.3	Lasertrennen . . . . .	474
9.3.1	Verfahrensprinzip . . . . .	474
9.3.2	Einflussgrößen auf die Schnittqualität . . . . .	477
9.3.3	Anwendungen . . . . .	478
9.4	Fügen mit Laser . . . . .	480
9.4.1	Laserlöten . . . . .	480
9.4.2	Laserstrahlschweißen . . . . .	481
9.4.2.1	Verfahrensprinzip . . . . .	481
9.4.2.2	Einflussgrößen . . . . .	483
9.4.2.3	Anwendung . . . . .	485
9.5	Abtragen mit Laser . . . . .	489
9.5.1	Bohren und definierter Materialabtrag . . . . .	489
9.5.2	Beschriften und Markieren . . . . .	493
9.5.3	Ritzen und Trimmen . . . . .	496
9.6	Laserrandschichtbehandlung . . . . .	496
	Literatur . . . . .	500
<b>10</b>	<b>Fertigungsverfahren der Mikrostrukturtechnik . . . . .</b>	<b>503</b>
10.1	Einführung und Überblick . . . . .	503
10.2	Verfahren auf der Basis der Technologien der Feinwerktechnik . . . . .	505
10.2.1	Ultrapräzisionszerspanung . . . . .	505
10.2.2	Mikrospritzgießen . . . . .	509
10.2.3	Mikroheißprägen . . . . .	511
10.2.4	Mikrofunkenerosion . . . . .	516
10.2.5	Mikrostereolithographie und Mikrolasersintern . . . . .	518
10.2.6	Mikrolaserbearbeitung . . . . .	520
10.3	Verfahren auf der Basis der Halbleitertechnologien . . . . .	521
10.3.1	Grundlagen . . . . .	521
10.3.2	Bulk-Mikromechanik . . . . .	525
10.3.3	Oberflächenmikromechanik . . . . .	528
10.3.4	LIGA-Technologie . . . . .	529
10.3.5	3D UV-Mikroformung . . . . .	534
	Literatur . . . . .	535
	<b>Verzeichnis der Bildquellen . . . . .</b>	<b>539</b>
	<b>Sachwortverzeichnis . . . . .</b>	<b>541</b>