

Werkzeugbau in der Kunststoffverarbeitung

Bauarten, Herstellung, Betrieb
Herausgegeben von Günter Mennig

ISBN-10: 3-446-40778-2
ISBN-13: 978-3-446-40778-7

Inhaltsverzeichnis

Weitere Informationen oder Bestellungen unter
<http://www.hanser.de/978-3-446-40778-7>
sowie im Buchhandel

Inhalt

Autorenverzeichnis	V
Vorwort des Herausgebers zur 5. Auflage.....	IX
1 Werkzeuge für verschiedene Verarbeitungsverfahren	1
1.1 Spritzgießwerkzeuge	1
1.1.1 Allgemeines.....	1
1.1.2 Spritzgießprozess.....	1
1.1.3 Formteilgestaltung.....	7
1.1.4 Grundsätzlicher Werkzeugaufbau	9
1.1.5 Entformungsarten	9
1.1.5.1 Teile ohne Hinterschneidungen.....	10
1.1.5.2 Teile mit äußeren Hinterschneidungen	13
1.1.5.3 Teile mit inneren Hinterschneidungen.....	17
1.1.5.4 Teile mit Innengewinden.....	19
1.1.6 Angusstechnik	21
1.1.6.1 Angussgestaltung	21
1.1.6.2 Erstarrender Anguss, am Formteil verbleibend	23
1.1.6.3 Automatisch abgetrennter Anguss.....	26
1.1.6.4 Durchspritzbare Angusskanäle.....	29
1.1.6.5 Heißkanalwerkzeuge	31
1.1.6.6 Heißkanaldüsen.....	34
1.1.7 Entlüftung der Kavität	38
1.1.8 Temperierung.....	39
1.1.9 Sonderbauarten	42
1.1.9.1 Etagenwerkzeuge.....	42
1.1.9.2 Spritzpräge-Werkzeuge	44
1.1.9.3 Mehrkomponententechnik.....	45
1.1.9.4 Outserttechnik.....	49
1.1.9.5 Werkzeuge für Duroplaste und Elastomere.....	50
1.2 Press- und Spritzpresswerkzeuge.....	53
1.2.1 Einleitung	53
1.2.2 Presswerkzeuge.....	53
1.2.2.1 Allgemeines	53
1.2.2.2 Anforderungen	55
1.2.2.3 Aufbau eines Presswerkzeugs	56
1.2.3 Spritzpressen.....	57
1.2.3.1 Allgemeines	57
1.2.3.2 Anforderungen	57
1.2.3.3 Aufbau eines Spritzpresswerkzeugs.....	57

1.2.4	Herstellung von Presswerkzeugen	59
1.2.4.1	Spanabhebende Bearbeitung	59
1.2.5	Werkzeugkonstruktion	60
1.2.5.1	Werkzeugarten	60
1.2.5.1.1	Kleinserienwerkzeug	60
1.2.5.1.2	Testwerkzeug	60
1.2.5.1.3	Stammwerkzeug	62
1.2.5.1.4	Normalpresswerkzeug	62
1.2.5.2	Konstruktive Werkzeugausführungen	62
1.2.5.2.1	Füllraumwerkzeug	62
1.2.5.2.2	Füllraumwerkzeug mit Abquetschkanten	64
1.2.5.2.3	Mehrfachwerkzeug mit gemeinsamem Füllraum	64
1.2.5.2.4	Mehrfachwerkzeug mit Einzelfüllräumen	65
1.2.5.2.5	Werkzeug mit seitlichem Kernzug	66
1.2.5.2.6	Backenwerkzeug	66
1.2.5.2.7	Klappwerkzeug	66
1.2.5.2.8	Werkzeug mit Einlegeteilen	68
1.2.5.2.9	Abschraubwerkzeug	68
1.2.5.3	Allgemeine Gesichtspunkte	68
1.2.6	SMC-Werkzeuge	69
1.2.6.1	Einleitung	69
1.2.6.2	Werkzeugaufbau	70
1.2.6.2.1	Werkzeugführung	72
1.2.6.2.2	Auswerfereinrichtungen	73
1.2.6.2.3	Hinterschneidungen	74
1.2.6.2.4	Heizung	75
1.2.7	GMT-/LFT-Werkzeuge	76
1.2.7.1	Einleitung	76
1.2.7.2	Verfahrenstechnik	76
1.2.7.2.1	Formpressen	76
1.2.7.2.2	Fließpressen	76
1.2.7.3	Werkzeugaufbau	77
1.2.8	Praxisbeispiel	78
1.3	Werkzeuge für die Polyurethan-(PUR-)Formteilherstellung	79
1.3.1	Produkte, Verfahren, Anwendungen, Schwindung, Werkzeugträger	79
1.3.1.1	Ausgangskomponenten, Verarbeitung, Anwendungen	79
1.3.1.2	Schwindung	80
1.3.1.3	Werkzeugträger	81
1.3.2	Werkzeuge für PUR-Schaumstoffe niedriger Dichte	83
1.3.2.1	Verfahrensparameter	83
1.3.2.1.1	Reaktionstemperaturen	83
1.3.2.1.2	Werkzeuginnendrücke	85
1.3.2.2	Fülltechnik	86
1.3.2.2.1	Offene Formfüllweise	86

1.3.2.2.2	Geschlossene Formfüllweise	86
1.3.2.3	Entlüftungstechnik	87
1.3.2.4	Werkzeugaufbau	89
1.3.2.4.1	Werkzeugzuhaltungen	91
1.3.2.4.2	Schließ- und Öffnungsmechanismen, Entformungshilfen	92
1.3.2.4.3	Fixierung von Einlegeteilen	93
1.3.2.5	Werkzeuge für weiche PUR-Schaumstoffe [7, 8]	94
1.3.2.6	Werkzeuge für halbharte PUR-Schaumstoffe	96
1.3.2.7	Werkzeuge für harte PUR-Schaumstoffe	97
1.3.3	Werkzeuge für PUR-Integralschaumstoffe	100
1.3.3.1	Verfahrensspezifische Einflüsse auf die Werkzeugauslegung ..	100
1.3.3.1.1	Temperierung	100
1.3.3.1.2	Dichtkanten, Auswerfer, Kernzüge/Schieber	101
1.3.3.2	Angusstechnik	102
1.3.3.3	Entlüftung	104
1.3.3.4	Werkzeuge für weiche PUR-Integralschaumstoffe	105
1.3.3.5	Werkzeuge für halbharte PUR-Integralschaumstoffe	106
1.3.3.6	Werkzeuge für harte PUR-Integralschaumstoffe	107
1.3.4	Werkzeuge für mikroporöse PUR-(RIM-)Formteile	108
1.3.4.1	Werkzeuge für weiche, mikroporöse PUR-(RIM-)Formteile ..	108
1.3.4.2	Werkzeuge für zähnharte, mikroporöse PUR-(RIM-)Formteile	109
1.3.4.3	Werkzeuge für harte, mikroporöse PUR-(RIM-)Formteile ...	110
1.3.5	Werkzeuge für PUR-Gießsysteme	111
1.4	Blaswerkzeuge	113
1.4.1	Verfahrensbeschreibung	113
1.4.1.1	Unterschiedliche Blasverfahren	113
1.4.1.2	Technologie des Extrusionsblasformens	114
1.4.1.2.1	Kontinuierliche Schlauchbildung	114
1.4.1.2.2	Intermittierende Schlauchbildung	115
1.4.1.2.3	Die Schlauchbildung	117
1.4.1.2.4	Unterschiedliche Anblasverfahren	118
1.4.1.2.5	Sonderverfahren	120
1.4.2	Extrusionsblaswerkzeuge	121
1.4.2.1	Werkzeugaufbau	121
1.4.2.1.1	Prototyp-Werkzeuge in Gießharzbau	121
1.4.2.1.2	Prototyp Werkzeuge mit Metalloberfläche und Gießharzhinterfütterung	121
1.4.2.1.3	Gegossene Prototyp-Werkzeuge aus Metallguss ...	121
1.4.2.1.4	Gefräste Prototyp-Werkzeuge	122
1.4.2.1.5	Produktionswerkzeuge	122
1.4.2.2	Gestaltungsrichtlinien	125
1.4.2.2.1	Blasformführung	125
1.4.2.2.2	Schneidkanten	125

	1.4.2.2.3	Formabstützung	127
	1.4.2.2.4	Formentlüftung	127
	1.4.2.3	Blasformkühlung	128
	1.4.2.4	Blasformzubehör	131
	1.4.2.5	Prozessintegrierte Folgeverfahren	132
	1.4.2.5.1	Nachkühlen mit einer Nachkühlform	132
	1.4.2.5.2	Komplettbearbeitung in der Blasma- schine	133
	1.4.3	Spritzblas- und Tauchblasformen	135
	1.4.4	Rechnereinsatz im Blaswerkzeugbau	135
1.5		Warmformwerkzeuge	140
	1.5.1	Allgemeines	140
	1.5.2	Ablauf im Warmumformen	141
	1.5.3	Das Formwerkzeug und die Formteile	141
	1.5.4	Positiv- oder Negativformung?	142
	1.5.5	Gestaltungsrichtlinien für Warmformwerkzeuge	143
	1.5.5.1	Werkstoffwahl	143
	1.5.5.2	Verarbeitungsschwindung	146
	1.5.5.3	Entformungsschrägen	146
	1.5.5.4	Radien	147
	1.5.5.5	Oberflächenrauheit	149
	1.5.5.6	Vorstreckstempel	149
	1.5.5.7	Abluftgestaltung	152
	1.5.5.8	Hohlräume	154
	1.5.5.9	Vermeidung von Eckenfalten an Positivformwerkzeugen	154
	1.5.5.10	Vakuumverlust bei falscher Gestaltung von Form- enunterbauten	155
	1.5.5.11	Hinweise für die Temperierung von Warmformwerkzeugen ..	156
	1.5.6	Aufbauten von Warmformwerkzeugen	156
	1.5.6.1	Vakuumformen auf einer Plattenmaschine	157
	1.5.6.2	Druckluftformen mit Form-Stanzwerkzeug mit Scher- schnitt	158
	1.5.6.3	Druckluftformen mit Form-Stanzwerkzeug mit Messer- schnitt	159
1.6		Rotations- und Slushwerkzeuge	160
	1.6.1	Verfahrensbeschreibung	160
	1.6.2	Festigkeit eines rotierten Kunststoffproduktes	160
	1.6.3	Anforderungen an die Werkzeuge	161
	1.6.4	Nomenklatur Rotationsformwerkzeuge	162
	1.6.5	Werkzeugarten	163
	1.6.5.1	Prototypen-Rotationswerkzeuge	163
	1.6.5.2	Stahlblech-Rotationswerkzeuge	164
	1.6.5.3	Aluminium-Rotationswerkzeuge	165
	1.6.5.4	Galvanoformen	167
	1.6.6	Werkzeugaufbau	170

1.6.6.1	Verschließen und Verspannen der Formen	170
1.6.6.2	Werkzeugwandstärke und Zentrierung	171
1.6.6.3	Werkzeugoberflächen und -änderungen	172
1.6.7	Werkzeugperipherie	173
1.6.7.1	Werkzeugentlüftung.....	173
1.6.7.2	Nicht permanente Trennmittel	173
1.6.7.3	Werkzeugbeschichtungen (Permanente Trennbeschichtung) .	173
1.6.7.4	Gewinde	174
1.6.7.5	Sonstige Einlegeteile.....	174
1.6.8	Nachbearbeitung von rotierten Kunststoffprodukten	174
1.6.8.1	Öffnungen	174
1.6.8.2	Dekoration von Kunststoffteilen	175
1.6.9	Galvanoformen für das Slush-Molding-Verfahren.....	175
1.7	Werkzeuge für thermoplastische Partikelschaumstoffe	181
1.7.1	Thermoplastische Partikelschaumstoffe	181
1.7.2	Konventionelle Formteilherstellung.....	184
1.7.2.1	Verfahrensbeschreibung	184
1.7.2.1.1	Füllen.....	185
1.7.2.1.2	Expandieren und Verschweißen	186
1.7.2.1.3	Kühlen und Stabilisieren	188
1.7.2.1.4	Entformen.....	189
1.7.2.2	Sonderverfahren	190
1.7.2.2.1	Verfahren mit nicht verdüsten Werkzeugen.....	190
1.7.2.2.2	LTH- (Low Temperature Horizontal) Verfahren...	190
1.7.2.2.3	Transfertechnik	191
1.7.2.2.4	Mehrfach-Dichte-Verfahren	191
1.7.3	Werkzeugaufbau	192
1.7.3.1	Grundlegende Anforderungen an die Werkzeug- konstruktion	192
1.7.3.2	Werkzeugwerkstoffe	195
1.7.3.3	Werkzeugausrüstung	195
1.7.3.4	Spezielle Werkzeugbauformen	198
1.7.3.4.1	Monoblock-Werkzeuge	198
1.7.3.4.2	Werkzeuge mit verstellbaren Wänden (stufenweise oder kontinuierlich) für Isolierplatten und kleinere Blöcke.....	198
1.7.3.4.3	Werkzeuge für Dünnwandtechnik.....	199
1.7.4	Blockformen.....	199
1.7.4.1	Verfahrensbeschreibung	199
1.7.4.2	Konstruktive Ausführung	201
1.8	Werkzeuge für Faser-Kunststoff-Verbund-Bauteile mit kontinuierlicher Faserverstärkung.....	202
1.8.1	Allgemeines.....	202
1.8.2	Werkzeuge für die Vakuum-Autoklav-Technik	203

1.8.2.1	Allgemeines	203
1.8.2.2	Prepreg-Niederdruck-Autoklavtechnik	203
1.8.2.3	Werkzeuge für die „Weichkern“-Technik	204
1.8.2.3.1	Urkörper	204
1.8.2.3.2	Formmulde	205
1.8.2.3.3	Bauteilsimulat.	206
1.8.2.3.4	Elastische Matte	206
1.8.2.3.5	Bauteilherstellung	207
1.8.2.4	Werkzeuge für die „Hartkern“-Technik	209
1.8.2.4.1	Werkzeugaufbau und Materialien	209
1.8.2.4.2	Bauteilherstellung	209
1.8.2.5	Werkzeuge für das automatisierte Tapelegen	210
1.8.3	Kontinuierlich faserverstärkte Thermoplaste.	211
1.8.3.1	Allgemeines und Prozessgrundlagen.	211
1.8.3.2	Werkzeuge für die Halbzeugfertigung	211
1.8.3.2.1	Allgemeines und Prozessgrundlagen.	211
1.8.3.2.2	Werkzeuge für ebene Plattenhalbzeuge.	212
1.8.3.2.3	Werkzeuge für Profile	214
1.8.3.3	Werkzeuge für die Umformtechnik (Thermoformen)	215
1.8.3.3.1	Allgemeines und Prozessgrundlagen.	215
1.8.3.3.2	Werkzeuge für das Stempelumformen	216
1.8.3.3.3	Werkzeuge für die Diaphragmatechnik.	219
1.8.3.3.4	Werkzeuge für Sandwichbauteile	220
1.8.3.3.5	Werkzeuge zur Prozessschrittintegration	221
1.8.3.4	Werkzeuge für die Schweißtechnik	222
1.8.4	Werkzeuge für die Harzinjektionstechnik.	223
1.8.4.1	Allgemeines und Prozessgrundlagen.	223
1.8.4.2	Werkzeuge für die Preformtechnik	224
1.8.4.2.1	Binder-Umformtechnik – Werkzeuge	225
1.8.4.2.2	Nähtechnik – Werkzeuge	226
1.8.4.3	Werkzeuge für vakuumunterstützte Verfahren	229
1.8.4.3.1	Werkzeuge mit einer festen und einer flexiblen Werkzeughälfte.	229
1.8.4.3.2	Werkzeuge mit zwei festen Werkzeughälften	232
1.8.4.4	Werkzeuge für druckunterstützte Verfahren	234
1.8.4.5	Werkzeuge für Hohlkörperbauteile.	236
1.8.5	Werkzeuge für die Wickeltechnik	239
1.8.5.1	Allgemeines und Prozessgrundlagen.	239
1.8.5.2	Werkzeuge für rotationssymmetrische Bauteile	240
1.9	Werkzeuge für die Elastomerverarbeitung	242
1.9.1	Pressverfahren (Compression Molding – CM)	243
1.9.2	Transferpressverfahren (Transfer Molding – TM)	245
1.9.3	Spritzgießverfahren (Injection Molding – IM)	247
1.9.4	Weitere Verfahren	251

1.9.4.1	Verfahrenskombinationen.....	251
1.9.4.2	Angusssysteme.....	252
1.9.5	Werkzeugbau	255
1.9.5.1	Werkzeugarten.....	256
1.9.5.2	Werkzeugentstehung	256
1.10	Mikrospritzgießwerkzeuge	259
1.10.1	Allgemeines.....	259
1.10.1.1	Spritzgießprozess	259
1.10.1.2	Formteilgestaltung	259
1.10.1.2.1	Zusammenarbeit mit Kunden.....	260
1.10.1.3	Materialien für Spritzgussteile	261
1.10.2	Konstruktion	261
1.10.2.1	Das Mikro-Spritzgießwerkzeug	261
1.10.2.1.1	Anguss	263
1.10.2.1.2	Entformung und Auswerfen	264
1.10.2.1.3	Entlüftung.....	264
1.10.2.1.4	Werkzeugführung und Werkzeugzentrierung	265
1.10.2.1.5	Temperierung und Kühlung	266
1.10.2.2	Sonderverfahren und Alternative Prozesse	266
1.10.2.2.1	Variotherm	266
1.10.2.2.2	Einlegetechnik	267
1.10.2.2.3	Mehrkomponenten und Montagespritzgießen	267
1.10.2.2.4	Spritzprägen	268
1.10.2.2.5	Heißprägen	269
1.10.2.3	Umfeld und fortführende Prozesse	269
1.10.3	Fertigung.....	270
1.10.3.1	Aufbau.....	270
1.10.3.1.1	Materialien für Aufbauten	270
1.10.3.1.2	Normteile	270
1.10.3.2	Formgebende Teile	271
1.10.3.2.1	Materialien für Formteile.....	271
1.10.4	Fertigungstechnologien	271
1.10.4.1	Allgemein	271
1.10.4.1.1	Mechanische Fertigungstechnologien.....	272
1.10.4.1.2	Alternative Herstellungsverfahren	276
1.10.4.1.3	Oberflächenbearbeitung und Veredelung	277
1.10.4.1.4	Qualitätssicherung.....	278
1.10.5	Spritzgießmaschine.....	279
1.10.6	Werkzeuginstandhaltung	279
1.10.7	Ausblick.....	280
1.11	Prototyp-, Klein- und Vorserienwerkzeuge.....	281
1.11.1	Einleitung	281
1.11.2	Indirektes Prototype Tooling.....	281
1.11.2.1	Vakuummuss Polyurethan (PU) über Silikonformen.....	281

1.11.2.1.1	Verfahren Vakuumguss PU	281
1.11.2.1.2	Herstellung von Silikonformen PU	284
1.11.2.2	Vakuumguss Polyamid (PA) über Silikonformen.....	285
1.11.2.3	Kunsthartzwerkzeuge.....	288
1.11.2.3.1	Polyurethanguss mit Kunsthartzwerkzeugen	288
1.11.2.3.2	Herstellung der Kunsthartzwerkzeuge	288
1.11.2.4	Herstellung von Kunsthartzwerkzeugen für Spritzguss	291
1.11.2.5	Werkzeuge über Generative Fertigungsverfahren am Beispiel der LaserCUSING®-Technik.....	293
1.11.2.6	Aluminiumwerkzeuge	295
1.11.2.6.1	Herstellung von Aluminiumwerkzeugen	296
1.11.2.6.2	Aluminiumwerkzeuge mit LaserCUSING®- Losteilen	296
1.11.2.6.3	Werkstoffe Aluminium.....	297
2	Werkzeugkonstruktion	301
2.1	Konstruktionsablauf	301
2.1.1	Einführung	301
2.1.1.1	Spritzgießwerkzeuge.....	303
2.1.1.2	Phasen der Werkzeugkonstruktion.....	303
2.1.1.3	Vom Angebot zur Konstruktion.....	306
2.1.1.4	Der Konstruktionsablauf bei den Spritzgießwerkzeugen	317
2.1.2	Simulation für den Spritzgießwerkzeugbau.....	322
2.1.2.1	Allgemeines	322
2.1.2.2	Die Modellarten	324
2.1.2.3	Das Füllbild	327
2.1.2.4	Schwindung und Verzug	327
2.1.2.5	Thermische Auslegung.....	328
2.1.2.6	Zusammenfassung	330
2.2	Normung und Normalien.....	331
2.2.1	Normung für Spritzgieß- und Heißkanalwerkzeuge	331
2.2.2	Normalien im Formenbau.....	334
2.2.2.1	Formaufbauten	334
2.2.2.2	Normalisierte Führungselemente im Formenbau	340
2.2.2.3	Normalien für das Entformen	341
2.2.2.4	Temperieren.....	344
2.3	Heiß- und Kaltkanaltechnik.....	347
2.3.1	Vorteile beim Einsatz von Heißkanaltechnik.....	347
2.3.2	Auslegung von Heißkanalsystemen und Heißen Seiten.....	349
2.3.3	Anwendungsbereiche und Beispiele.....	351
2.3.3.1	Heißkanallösungen für Verpackungsteile, Verschlüsse und sonstige Polyolefinanwendungen.....	351
2.3.3.2	Heißkanallösungen für technische Bauteile.....	354
2.3.3.3	Heißkanallösungen für Klein- und Kleinstspritzgussteile	357

2.3.3.4	Heißkanallösungen mit Mehrfachanbindung über eine Düse, Multidüsen	358
2.3.3.5	Heißkanallösungen mit Nadelverschluss	359
2.3.4	Heißkanal-Verteilersysteme, verdrahtete Systeme und Heiße Seiten ...	366
2.3.5	Heißkanal-Regeltechnik	368
2.3.6	Kaltkanalsysteme	370
2.3.6.1	Wirkungsweise und Vorteile	370
2.3.6.2	Verarbeitbare Materialien	372
2.3.6.3	Werkzeugtechnik	373
2.3.6.4	Entformen	374
2.3.6.5	Werkzeugtemperierung	374
2.4	Temperierung von Spritzgießwerkzeugen	375
2.4.1	Aufgaben und Ziele der Werkzeugtemperierung	376
2.4.2	Einfluss der Verarbeitungstemperaturen auf die Kühl-/Zykluszeit ...	377
2.4.3	Werkzeugwandtemperatur	378
2.4.4	Einfluss der Temperierung auf die Formteileigenschaften	380
2.4.5	Anforderungen an das Temperiersystem	381
2.4.6	Temperierkanäle	381
2.4.7	Fließprinzip	383
2.4.7.1	Reihen- bzw. Serientemperierung	383
2.4.7.2	Paralleltemperierung	384
2.4.8	Praktische Ausführungen konventioneller Temperiermöglichkeiten ...	385
2.4.8.1	Flächige Temperierung	385
2.4.8.2	Temperierung von Formteilecken	386
2.4.8.3	Kerntemperierung	387
2.4.8.3.1	Temperierrohr	387
2.4.8.3.2	Trennblech (Umlenksteg)	387
2.4.8.3.3	Spiralkern	388
2.4.8.3.4	Wärmeleitpatrone (Heat pipe)	388
2.4.8.4	Weitere konventionelle Temperiermöglichkeiten	390
2.4.8.4.1	Umlaufende Einsatztemperierung	390
2.4.8.4.2	Einsätze aus anderen Werkstoffen	390
2.4.9	Neue Temperiertechnologien	391
2.4.9.1	Konturabhängige Temperierung	391
2.4.9.1.1	Vakuumlöttechnik	391
2.4.9.1.2	Selektives Lasersintern	391
2.4.9.2	CO ₂ -Temperierung	392
2.4.9.2.1	CO ₂ -Temperierung mit Sintermaterial	394
2.4.9.2.2	CO ₂ -Temperierung mit konventionellem Stahl ...	395
2.4.9.3	Dynamische Temperierung	395
2.4.10	Thermische Werkzeugauslegung	398
2.4.11	Lage des Temperaturfühlers im Werkzeug für externe Temperatur- regelung	400
2.5	Innovative Werkzeugtechnologien	403

2.5.1	Beschichtungstechnik – Designoberflächen durch kombinierte Oberflächen- und Schichttechnologien	403
2.5.2	Temperiertechnik – Induktive Erwärmung von Spritzgießwerkzeugen.	409
2.5.3	Vakuumentchnik – Alternative Möglichkeiten, Optimierung von Oberflächen	413
2.5.4	Werkzeugtechnik – Flexible Dichtelemente zum grat- und beschädigungsfreien Umspritzen von Einlegeteilen	416
3	Werkstoffe für den Werkzeugbau	419
3.1	Kunststoffformenstähle	419
3.1.1	Einleitung	419
3.1.2	Stahlherstellungs- und -verarbeitungsprozesse	421
3.1.2.1	Stahlherstellung	421
3.1.2.2	Wärmebehandlung	423
3.1.2.3	Mechanische Bearbeitung	424
3.1.2.4	Oberflächenbearbeitung	425
3.1.2.5	Qualitätssicherung	426
3.1.3	Übersicht der Kunststoffformenstähle	426
3.1.3.1	Vorvergütete Kunststoffformenstähle	432
3.1.3.2	Durchhärtende Kunststoffformenstähle	434
3.1.3.3	Korrosionsbeständige Kunststoffformenstähle	435
3.1.3.4	Kunststoffformenstähle für Einsatzhärtung	437
3.1.3.5	Aushärtbare Kunststoffformenstähle	438
3.1.3.6	Nitrierstähle	439
3.1.4	Schlussbemerkung	439
3.2	Aluminiumlegierungen	440
3.2.1	Einleitung	440
3.2.2	Formenwerkstoffe	441
3.2.2.1	Gusswerkstoffe	442
3.2.2.2	Knetwerkstoffe	442
3.2.2.3	Mechanische Eigenschaften und Konstruktionshinweise	444
3.2.2.4	Korrosion	446
3.2.2.5	Reibungs- und Verschleißbeständigkeit	447
3.2.3	Herstellung von Aluminium-Werkzeugen	449
3.2.3.1	Abtragende Verfahren	449
3.2.3.1.1	Zerspanen	449
3.2.3.1.2	Schleifen	452
3.2.3.1.3	Funken- und Drahterodieren	452
3.2.3.1.4	Ätzen	452
3.2.3.2	Schweißen	453
3.2.3.3	Gießen	455
3.2.4	Anwendungen	456
3.3	Kupferlegierungen – Nichteisenmetalle	458
3.3.1	Eigenschaften	459

3.3.1.1	Festigkeitseigenschaften.....	459
3.3.1.2	Thermische Eigenschaften	460
3.3.2	Bearbeitbarkeit	462
3.3.2.1	Drehen.....	462
3.3.2.2	Fräsen	463
3.3.2.3	Bohren.....	464
3.3.2.4	Gewindeschneiden	465
3.3.2.5	Reiben	465
3.3.2.6	Erodieren	465
3.3.2.7	Schweißen.....	466
3.3.3	Oberflächen	467
3.3.3.1	Polieren.....	467
3.3.3.2	Beschichtung	468
3.3.3.3	Strukturieren	468
3.3.4	Zusammenfassung.....	469
4	Herstellungs- und Bearbeitungsverfahren	471
4.1	Werkzeugfertigung.....	471
4.1.1	Einleitung	471
4.1.2	Design	471
4.1.2.1	Entwicklung.....	471
4.1.2.2	Visualisierung	471
4.1.2.3	Cubing-Modell	472
4.1.2.4	Stereolithographie.....	472
4.1.3	Datenmodell.....	474
4.1.3.1	Datenrückführung	474
4.1.3.2	Fertigstellung Artikeldaten	474
4.1.4	Datenübergabe Formenbau.....	475
4.1.4.1	Überprüfung Datenqualität	475
4.1.4.2	Machbarkeitsuntersuchungen	475
4.1.5	Rückmeldung/Kommunikation	476
4.1.6	Konstruktion	477
4.1.6.1	Systemumgebung	477
4.1.6.2	Freigaben	478
4.1.7	Programmieren	480
4.1.7.1	Software	480
4.1.7.2	Strategien	482
4.1.7.3	Wahl der Maschinen.....	482
4.1.8	Zerspanen	483
4.1.8.1	Werkzeugausstattung.....	483
4.1.8.2	Mannlosbetrieb.....	484
4.1.8.3	Freigaben	484
4.1.9	Maßkontrolle	485
4.1.10	Bohren/Tieflochbohren	485

4.1.11	Erodieren	486
4.1.12	Oberflächen-Finishen	487
4.1.13	Montagen	487
4.1.14	Ausproben	489
4.1.15	Optimierungsprozess und Fertigstellung	489
4.2	Funkenerosion	490
4.2.1	Einleitung	490
4.2.2	Physikalische Vorgänge	492
4.2.3	Toleranzen und Eckdaten	494
4.2.4	Senkerodieren	494
4.2.5	Drahterodieren	497
4.2.6	Kombinierte und Sonderverfahren	500
4.3	Galvanisch gefertigte Einsätze und Werkzeuge	502
4.3.1	Allgemeines	502
4.3.2	Verfahrensbeschreibung	502
4.3.3	Galvanowerkstoffe	504
4.3.4	Modellwerkstoffe und Modellgestaltung	505
4.3.5	Halterungen und Verschlüsse	507
4.3.6	Endbearbeitung und Einbau von Spritzgieß-Galvanoformeinsätzen	509
4.3.7	Wirtschaftlichkeit und Standzeit	510
4.3.8	Galvanoformwerkzeuge für weitere Kunststoff-Verarbeitungsverfahren	513
4.3.8.1	Werkzeuge für die Verarbeitung von PUR-Schaum	514
4.3.8.2	PUR-Spraywerkzeuge	515
4.3.8.3	Laminierformen für die Luftfahrtindustrie	516
4.3.9	Negativ-Prägetiefziehverfahren (Inmould Graining)	519
4.4	Poliertechnik im Formenbau	521
4.4.1	Allgemeines	521
4.4.2	Definition zum Begriff Oberflächenrauigkeit	521
4.4.3	Systematik in der Poliertechnik	522
4.4.4	Polierverhalten beeinflussende Faktoren	524
4.4.5	Poliertechniken	524
4.4.5.1	Zur Feinstbearbeitung (Polieren) flächenvorbereitende Einebnungstechniken	524
4.4.5.2	Läppen	527
4.4.5.3	Polierläppen	530
4.4.5.4	Polieren	531
4.4.6	Ultraschalltechnik	532
4.4.7	Funkenerosion/Glanzerodieren	533
4.5	Wärmebehandlungs- und Oberflächenveredelungstechniken	534
4.5.1	Einleitung	534
4.5.2	Wärmebehandlungen von Kunststoffformenstählen	534
4.5.2.1	Vorvergütete Kunststoffformenstähle	535
4.5.2.2	Durchhärtende Stähle	536

4.5.2.3	Korrosionsbeständige Stähle.....	543
4.5.2.4	Einsatzstähle.....	543
4.5.2.5	Nitrierstähle.....	543
4.5.2.6	Martensitaushärtbare Formenstähle.....	544
4.5.2.7	Allgemeine Hinweise zur Wärmebehandlung.....	544
4.5.3	Oberflächenveredelung.....	546
4.5.3.1	Thermische Verfahren.....	547
4.5.3.1.1	Flammhärten.....	549
4.5.3.1.2	Laserhärten.....	549
4.5.3.2	Thermochemische Verfahren.....	550
4.5.3.2.1	Einsatzhärten.....	550
4.5.3.2.2	Nitrieren.....	552
4.5.3.2.3	Gasnitrieren.....	553
4.5.3.2.4	Plasmanitrieren.....	554
4.5.3.2.5	Borieren.....	555
4.5.3.3	Elektrochemische Verfahren.....	555
4.5.3.3.1	Hartverchromen.....	556
4.5.3.3.2	Vernickeln.....	558
4.5.3.4	Chemische und physikalische Verfahren.....	560
4.5.3.4.1	CVD-Beschichtung.....	560
4.5.3.4.2	PACVD-Beschichtung.....	561
4.5.3.4.3	PVD-Beschichtung.....	561
4.5.3.5	Vergleich und Auswahl der Oberflächenbehandlungs- verfahren.....	564
4.6	Oberflächenstrukturierung.....	567
4.6.1	Die Fotochemische Ätztechnik.....	567
4.6.1.1	Einführung.....	567
4.6.1.2	Warum Strukturieren?.....	568
4.6.1.3	Von der Strukturvorlage zum Film.....	568
4.6.2	Anforderungen an Formoberfläche und Konstruktion.....	569
4.6.2.1	Werkstoffe und Materialauswahl.....	571
4.6.2.1.1	Stahl.....	571
4.6.2.1.2	Aluminium und weitere Materialien.....	571
4.6.2.1.3	Wärmebehandlung und Oberflächenveredelung ..	572
4.6.2.1.4	Narbtiefen und Toleranzen.....	572
4.6.2.1.5	Der Glanzgrad im Werkzeug und am Spritzteil. . .	573
4.6.2.2	Bearbeitungsverfahren und Reparaturtechnik.....	574
4.6.2.3	Entformschrägen, Freiflächen, Oberflächenvorbereitung. . . .	575
4.6.2.4	Konturänderungen durch Schweißen von Einsätzen.....	575
4.6.2.5	Konturänderungen durch Einschrumpfen von Einsätzen . . .	577
4.6.2.6	Gefügeverfestigung, Faserverlauf, Zeiligkeit.....	578
4.6.2.7	Ätztest.....	579
4.6.3	Besondere Bearbeitungen.....	579
4.6.3.1	Ausführungsarten und Kombinationsätzungen.....	579

4.6.3.2	Grenzen der Bearbeitungstechnik	579
4.6.3.3	Neue Techniken	580
4.6.4	Auftragsdurchführung	581
4.6.4.1	Angebote	581
4.6.4.2	Angaben zu Narbbereichen und zum Werkzeug	581
4.6.4.3	Schlussbemerkung	582
4.7	Rapid Prototyping im Werkzeugbau	582
4.7.1	Rapid Tooling	582
4.7.2	Grundlagen der Generativen Fertigungsverfahren	583
4.7.2.1	Verfahrensprinzip	583
4.7.2.2	Datenfluss und Datenformate	584
4.7.2.3	Eigenschaften generativ gefertigter Bauteile	585
4.7.2.4	Definitionen zum Rapid Tooling	586
4.7.3	Generative Verfahren für den Werkzeugbau	587
4.7.3.1	Polymerisation – Stereolithographie	588
4.7.3.2	Sintern und Schmelzen	590
4.7.3.3	Schicht-Laminat-Verfahren	592
4.7.3.4	Extrusionsverfahren	594
4.7.3.5	3D-Drucken/3D-Printing	596
4.7.4	Maschinen für den Generativen Werkzeugbau	597
4.7.5	Beispiele	599
4.7.5.1	Prototype Tooling	599
4.7.5.2	Direct Tooling	599
4.7.6	Abgrenzungen zu nicht generativen Fertigungsverfahren	603
4.7.7	Namen und Links	605
5	Bestellung und Betrieb von Werkzeugen	607
5.1	Werkzeuge in der Angebotsphase	607
5.1.1	Einleitung	607
5.1.2	Projektierung von Werkzeugen	608
5.1.2.1	Abstimmungsprozess Bauteil – Werkzeug	608
5.1.2.2	Auslegung des Werkzeugs unter Betrachtung des Produktlebenszyklus	609
5.1.2.3	Checklisten zur Werkzeugspezifikation	611
5.1.3	Kostenrechnung im Werkzeugbau	613
5.1.3.1	Unterschiedliche Methoden der Kostenrechnung	613
5.1.3.2	Vereinfachte Kostenermittlung in der Angebots- und Projektierungsphase	613
5.1.3.2.1	Schätzwertmethodik	613
5.1.3.2.2	Referenzwertmethodik	615
5.1.3.2.3	Kostenelementemethodik/Variablenkalkulation	616
5.1.3.2.4	Detaillkalkulationen/Nachkalkulationen	618
5.1.4	Zusammenfassung	620
5.2	Formenrecht und Gewährleistung	621

5.2.1	Einleitung	621
5.2.2	Vertragsgrundlagen	622
5.2.3	Die Gestaltung des Formenrechts	623
5.2.3.1	Werkseigene Formen	623
5.2.3.2	Kundengebundene Formen	623
5.2.3.3	Bestellereigene Formen	625
5.2.3.4	Beigestellte Formen	626
5.2.4	Praktische Hinweise	627
5.2.5	Steuerliche Aspekte	628
5.2.5.1	Bilanzierung von Formen	628
5.2.5.2	Wirtschaftliches Eigentum i. S. d. § 39 Abgabenordnung (AO)	629
5.2.5.3	Zuordnung zum Anlage- oder Umlaufvermögen	631
5.2.5.4	Bewertung	631
5.2.6	Europäischer und internationaler Rechtsrahmen	632
5.3	Einrichten, Steuern und Regeln von Werkzeugen	634
5.3.1	Voraussetzungen zur effektiven Qualitätssicherung	634
5.3.2	Werkzeugsensorik im Überblick	634
5.3.2.1	Werkzeuginnendruck-Sensoren	635
5.3.2.2	Das Messprinzip	635
5.3.2.3	Werkzeugwandtemperatur-Sensoren	637
5.3.2.4	Sensorposition	637
5.3.2.5	Schnellkupplungen	638
5.3.3	Messdatenerfassung und Elektronik	639
5.3.4	Einrichten und Optimieren	640
5.3.4.1	Der Werkzeuginnendruck	640
5.3.4.2	Die Bedeutung der Werkzeugwandtemperatur-Kurve	643
5.3.4.3	Die Umschaltung auf Nachdruck	644
5.3.5	Die Prozessüberwachung	645
5.3.6	Fabrikweite Vernetzung und Überwachung	647
5.3.7	Echtzeit-Steuerungen im Spritzgießprozess	648
5.3.8	Die Regelung des Spritzgießprozesses	649
5.3.9	Ausblick	652
5.4	Verschleiß an Spritzgießwerkzeugen	653
5.4.1	Einleitung	653
5.4.2	Tribologische Grundlagen	653
5.4.3	Abrasionsverschleiß	657
5.4.3.1	Schadensformen an Werkzeugen und Heißkanälen und dadurch hervorgerufene Formteilfehler	658
5.4.3.2	Abhilfemaßnahmen	660
5.4.4	Korrosionsverschleiß	661
5.4.4.1	Ursachen und Schadensformen an Werkzeugen und dadurch hervorgerufene Formteilfehler	662
5.4.4.2	Abhilfemaßnahmen	662

5.4.5	Reibverschleiß an Werkzeugelementen	664
5.4.5.1	Schadensformen an Werkzeugelementen	665
5.4.5.2	Abhilfemaßnahmen	665
5.4.6	Ausblick und Entwicklungstrends	669
5.5	Wartung, Lagerung Instandhaltung	673
5.5.1	Allgemeines	673
5.5.2	Wartung, Abnutzungsvorrat, Härte	674
5.5.3	Inspektion	674
5.5.3.1	Zeitpunkt	674
5.5.3.2	Inspektionsplan	674
5.5.4	Instandsetzung	676
5.5.4.1	Verschleiß	676
5.5.4.2	Leckagen	677
5.5.4.3	Bruch	678
5.5.4.4	Instandsetzungsmaßnahmen	678
5.5.5	Optimierung	678
5.5.6	Lagerung	680
5.5.6.1	Konservierung	682
5.5.6.2	Lagerort	682
5.5.6.3	Werkzeugkennzeichnung	683
5.5.6.4	Lagerumfang	685
5.5.7	Wartungs- und Instandhaltungskosten	685
Sachwortverzeichnis		687