

Inhalt

Teil I Werkzeuge für verschiedene Verarbeitungsverfahren

Einführung (<i>G. Mennig</i>)	3
1 Spritzgießwerkzeuge (<i>E. Lindner</i>)	6
1.1 Allgemeines	6
1.1.1 Spritzgießprozeß	6
1.1.2 Formteilmgestaltung	7
1.2 Grundsätzlicher Werkzeugaufbau	8
1.3 Entformungsarten	8
1.3.1 Teile ohne Hinterschneidungen	9
1.3.2 Teile mit äußeren Hinterschneidungen	9
1.3.3 Teile mit inneren Hinterschneidungen	11
1.3.3.1 Mechanisches Entformen	11
1.3.3.2 Zwangsweises Entformen	11
1.3.3.3 Teile mit Innengewinden	13
1.3.3.3.1 Ausschraubantrieb durch Werkzeugbewegung	13
1.3.3.3.2 Ausschraubantrieb durch Motor	16
1.3.3.4 Entformen mit Ausschmelzkernen (Schmelzkerntechnik)	16
1.4 Der Anguß	18
1.4.1 Erstarrende Angüsse	18
1.4.1.1 Anguß bleibt am Formteil und wird nachträglich abgetrennt	18
1.4.1.1.1 Kegelanguß	18
1.4.1.1.2 Schirmanguß	18
1.4.1.1.3 Ringanguß	19
1.4.1.1.4 Bandanguß	19
1.4.1.1.5 Mehrfachanguß mit Punktanschnitt	19
1.4.1.2 Formteile und Angüsse werden beim Entformen voneinander getrennt	21
1.4.1.2.1 Tunnelanguß mit Punktanschnitt	21
1.4.1.2.2 Gebogener Tunnelanguß	21
1.4.1.2.3 Abreiß-Punktanguß (Dreiplattenwerkzeug)	22
1.4.2 Nichterstarrende Angüsse (Heißkanäle)	23
1.4.2.1 Selbstisolierende Verteiler	23
1.4.2.2 Beheizte Heißkanäle und Heißkanaldüsen	24
1.4.2.2.1 Innenbeheizter Heißkanal	24
1.4.2.2.2 Außenbeheizte Heißkanäle	25
1.5 Formentlüftung	28
1.5.1 Entlüftungskanäle	28
1.5.2 Umlaufende Entlüftung	29
1.5.3 Lamellenpakete	29
1.5.4 Poröse Metallstopfen	29
1.6 Kühlung (Temperierung)	30
1.7 Abstreif- und Auswerfeinrichtungen	32
1.7.1 Auswerfstifte	33
1.7.2 Abstreifplatten	33

1.7.3	Abstreifen von der Düsenseite	34
1.7.4	Kombinierte Auswerfer	35
1.8	Werkzeugführung und -zentrierung	36
1.9	Etagenwerkzeuge	38
1.10	Werkzeuge für Duroplaste und Elastomere	39
1.10.1	Werkzeuge für Duroplaste	39
1.10.2	Werkzeuge für Elastomere	41
1.11	Sonderbauarten von Spritzgießwerkzeugen	41
1.11.1	Spritzprägen	41
1.11.2	Werkzeuge für die Mehrfarben(2K-)technik	41
1.11.3	Werkzeuge für treibmittelhaltige Thermoplaste (TSG)	42
1.11.4	Werkzeuge zum Aufspritzen von Kunststoffteilen auf Blechplatten (Outserttechnik)	42
	Literatur zu Kapitel 1	43
2	Preß- und Spritzpreßwerkzeuge (G. Holder, N. Jenniges)	44
2.1	Preßwerkzeuge	44
2.1.1	Allgemeines	44
2.1.2	Anforderungen	45
2.1.3	Aufbau eines Preßwerkzeugs	46
2.2	Spritzpreßwerkzeuge	47
2.2.1	Allgemeines	47
2.2.2	Anforderungen	47
2.2.3	Aufbau eines Spritzpreßwerkzeugs	48
2.3	Herstellung eines Preßwerkzeugs	49
2.3.1	Spanabhebende Bearbeitung	49
2.3.2	Senkverfahren	50
2.3.3	Nachsenken	50
2.4	Werkzeugart	50
2.4.1	Kleinserienwerkzeug	50
2.4.2	Testwerkzeug	51
2.4.3	Stammwerkzeug	52
2.4.4	Normalpreßwerkzeug	52
2.5	Werkzeugkonstruktion	53
2.5.1	Füllraumwerkzeug	53
2.5.2	Füllraumwerkzeug mit Abquetschkanten	54
2.5.3	Mehrfachwerkzeug mit gemeinsamem Füllraum	54
2.5.4	Mehrfachwerkzeug mit Einzelfüllräumen	55
2.5.5	Werkzeug mit seitlichem Kernzug	55
2.5.6	Backenwerkzeug	56
2.5.7	Klappwerkzeug	56
2.5.8	Werkzeug mit Einlegeteilen	57
2.5.9	Abschraubwerkzeug	57
2.5.10	Allgemeine Gesichtspunkte	57
2.6	SMC-Werkzeuge	59
2.6.1	Einleitung	59
2.6.2	Werkzeuge	60
2.6.2.1	Aufbau	60
2.6.2.2	Werkzeugführung	61
2.6.2.3	Auswurfteinrichtung	62
2.6.2.4	Hinterschneidungen	62
2.6.2.5	Heizung	63

2.6.3	Praxisbeispiel	64
2.7	GMT-Werkzeuge	65
2.7.1	Verfahrenstechnik	65
2.7.2	Werkzeugaufbau	66
2.7.3	Praxisbeispiel	67
3	Werkzeuge für die Polyurethan-(PUR-)Formteilherstellung (U. Knipp)	69
3.1	Verfahren und Produkte	69
3.1.1	Ausgangsmaterial und Verarbeitung	69
3.1.2	Schwindmaß	69
3.1.3	Werkzeugträger	70
3.2	Werkzeuge für PUR-Schaumstoffe niedriger Dichte	71
3.2.1	Verfahrensparameter	71
3.2.1.1	Reaktionstemperaturen	71
3.2.1.2	Werkzeuginnendrucke	72
3.2.2	Fülltechnik	73
3.2.2.1	Geöffnetes Werkzeug	73
3.2.2.2	Geschlossenes Werkzeug	73
3.2.3	Entlüftungstechnik	74
3.2.4	Werkzeugaufbau	75
3.2.4.1	Werkzeugzuhaltung	76
3.2.4.2	Schließ- und Öffnungsmechanismen	77
3.2.4.3	Entformungshilfen	77
3.2.4.4	Fixierung von Einlegeteilen	77
3.2.5	Werkzeuge für weiche PUR-Schaumstoffe	78
3.2.5.1	KFZ-Polster	78
3.2.5.2	Hinterschäumen von Sitzbezügen	79
3.2.6	Werkzeuge für halbharte PUR-Schaumstoffe	80
3.2.7	Werkzeuge für harte PUR-Schaumstoffe	82
3.3	Werkzeuge für PUR-Integralschaumstoffe	84
3.3.1	Verfahrensspezifische Einflüsse auf die Werkzeugauslegung	84
3.3.1.1	Temperierung	84
3.3.1.2	Dichtkanten	85
3.3.1.3	Auswerfer	85
3.3.1.4	Kernzüge/Schieber	85
3.3.2	Angußtechnik	85
3.3.3	Entlüftung	88
3.3.4	Werkzeuge für weiche PUR-Integralschaumstoffe	89
3.3.5	Werkzeuge für halbharte PUR-Integralschaumstoffe	90
3.3.6	Werkzeuge für harte PUR-Integralschaumstoffe	92
3.4	Werkzeuge für mikroporöse PUR-(RIM-)Formteile	93
3.4.1	Werkzeuge für weiche mikroporöse PUR-(RIM-)Formteile	94
3.4.2	Werkzeuge für zähnharte mikroporöse PUR-(RIM-)Formteile	94
3.4.3	Werkzeuge für harte mikroporöse PUR-(RIM-)Formteile	96
3.5	Werkzeuge für PUR-Gießsysteme	96
	Literatur zu Kapitel 3	96
4	Blaswerkzeuge (O. Eiselen)	98
4.1	Verfahrensbeschreibung	98
4.1.1	Unterschiedliche Blasverfahren	98
4.1.2	Technologie des Extrusionsblasformens	99

4.1.2.1	Kontinuierliche Schlauchbildung	99
4.1.2.2	Intermittierende Schlauchbildung	100
4.1.2.3	Die Schlauchbildung	101
4.1.2.4	Unterschiedliche Anblasverfahren	103
4.2	Extrusionsblasformen	103
4.2.1	Formaufbau	103
4.2.1.1	Prototyp-Formen in Gießharzaufbau	104
4.2.1.2	Prototyp-Formen mit Metalloberfläche und Gießharzhinterfütterung	104
4.2.1.3	Gegossene Prototyp-Formen aus Metallguß	104
4.2.1.4	Produktionsformen	105
4.2.2	Gestaltungsrichtlinien	106
4.2.2.1	Blasformführung	106
4.2.2.2	Schneidkanten	107
4.2.2.3	Formabstützung	108
4.2.2.4	Formentlüftung	108
4.2.3	Blasformkühlung	109
4.2.4	Blasformzubehör	111
4.2.5	Prozeßintegrierte Folgeverfahren	112
4.2.5.1	Nachkühlen mit einer Nachkühlform	112
4.2.5.2	Komplettbearbeitung in der Blasmaßchine	112
4.3	Spritzblas- und Tauchblasformen	114
4.4	Rechnereinsatz beim Blasformen	116
	Literatur zu Kapitel 4	117
5	Warmform-Werkzeuge (G. Kühne)	118
5.1	Formverfahren	118
5.1.1	Vakuumformen	118
5.1.2	Warmformen mit Streckhelfer	120
5.1.3	Negativ-Überkopfformen	121
5.1.4	Positiv-Formverfahren	121
5.1.5	Überdruckformung	123
5.2	Warmformwerkzeuge	123
5.2.1	Negativ-Formwerkzeuge	126
5.2.2	Geteilte Negativ-Werkzeuge	127
5.2.3	Positiv-Werkzeuge	130
5.2.4	Positiv-Werkzeuge mit Streckrahmen	131
5.2.5	Streckhelfer	134
5.2.6	Werkzeuge für Verpackungsmaschinen	136
5.2.7	Werkzeuge für Formautomaten	137
5.2.8	Werkzeuge für Schnellform-Automaten	139
6	Rotationsform- und Slush-Werkzeuge (R. Hentrich, A. Schmidt)	144
6.1	Verfahrensbeschreibung	144
6.2	Anforderungen an die Werkzeuge	144
6.3	Werkzeugherstellung	145
6.3.1	Blechwerkzeuge	145
6.3.2	Leichtmetall-Werkzeuge	147
6.3.3	Galvanoformen	148
6.3.4	Halterungen und Verschlüsse	152
6.3.5	Allgemeines	153

6.4	Werkzeuge für Slush-Moulding-Verfahren	154
6.5	Ausblick	156
7	Werkzeuge für thermoplastische Schaumstoffteile (J. F. Jegelka)	157
7.1	Thermoplastische Partikelschaumstoffe	157
7.1.1	Treibmittelhaltige Partikelschaumstoffe	157
7.1.2	Partikelschaumstoffe ohne Treibmittel	157
7.2	Konventionelle Formteilherstellung	161
7.2.1	Füllen der Werkzeuge	161
7.2.2	Ausschäumen	162
7.2.3	Kühlen	164
7.2.4	Entformen	165
7.3	Sonderverfahren zur Herstellung von Formteilen aus PS-E	165
7.3.1	Transfertechnik	165
7.3.2	Verfahren mit nicht verdüsten Werkzeugen	166
7.4	Werkzeugaufbau	168
7.4.1	Allgemeines	168
7.4.2	Anforderungen an Werkstoffe und Werkzeugherstellung	169
7.4.3	Zubehörteile für Werkzeuge	170
7.4.4	Werkzeugbeispiele	172
7.5	Blockformen für PS-E	175
7.5.1	Allgemeines	175
7.5.2	Konstruktive Ausführung	177
	Literatur zu Kapitel 7	177
8	Werkzeuge für die Vakuum-Autoklav-Technik (W. Pönitzsch)	178
8.1	Allgemeines	178
8.2	Prepreg-Niederdruck-Autoklavtechnik	179
8.3	Werkzeuge für die „Weichkern“-Technik	180
8.3.1	Urkörper	180
8.3.2	Formmulde	180
8.3.3	Bauteilsimulat	181
8.3.4	Elastische Matte	182
8.3.5	Bauteilherstellung	182
8.4	Werkzeuge für die „Hartkern“-Technik	185
8.4.1	Werkzeugaufbau und Materialien	185
8.4.2	Bauteilherstellung	185
8.5	Bauteilprüfung	187
8.6	Automatisierungsmöglichkeiten	188
9	Prototyp- und Kleinserien-Werkzeuge (K. Reimann)	189
9.1	Einleitung	189
9.2	Die Anfertigung von Modellen	189
9.2.1	Herstellung von Modellen aus Feststoffen	190
9.2.2	Herstellung von Modellen in Werkzeugen	191
9.2.3	Modellherstellung ohne Werkzeug mittels Rapid Prototyping	192
9.3	Werkzeuge zur Herstellung von Prototypteilen aus Polyurethansystemen	193
9.3.1	Werkzeuge für das Vakuumgießen	193
9.3.1.1	Gießharztypen	193
9.3.1.2	Flexible Werkzeuge für das Vakuumgießen	194

9.3.1.3	Herstellung flexibler Werkzeuge ab Modell in einem Guß . . .	194
9.3.1.4	Anfertigung der Werkzeuge ab Modell in Stufen	195
9.3.1.5	Maßgenauigkeit und Haltbarkeit flexibler Werkzeuge	195
9.3.2	Werkzeuge für das maschinelle Gießen von Prototypteilen aus Polyurethan	196
9.3.2.1	Polyurethan-Gießmassen	196
9.3.2.2	Aufbau der Werkzeuge	196
9.3.2.3	Anforderungen an Prototyp-Werkzeuge	198
9.3.2.4	Prototyp-Werkzeuge für flexible PUR-Schaumstoffe	198
9.3.2.5	Prototyp-Werkzeuge für PUR-RIM-Systeme	199
9.3.2.6	Aufbau von Prototyp-Werkzeugen aus Kunstharz mit Metallträgergestell	200
9.4	Prototyp-Werkzeuge für die Thermoformung	201
9.4.1	Anforderungen an Prototyp-Werkzeuge	201
9.4.2	Herstellung der Werkzeuge aus Gießharz	201
9.4.3	Herstellung der Werkzeuge aus Laminierharz/Glasfasergeweben . . .	202
9.4.4	Herstellung der Werkzeuge mittels CNC-Fräsen	203
9.5	Prototyp-Werkzeuge für Spritzguß	203
9.5.1	Anforderungen an Prototyp-Werkzeuge	203
9.5.2	Werkzeugaufbau in Kunstharz/Metall – Verbundbauweise	203
9.6	Schlußbetrachtung	204

Teil II Werkzeugwerkstoffe

Einführung (<i>G. Mennig</i>)	206
10 Stähle (<i>K. Rasche</i>)	209
10.1 Stahlauswahl	209
10.1.1 Nitrierstähle	210
10.1.2 Einsatzstähle	210
10.1.3 Vergütete Stähle	213
10.1.4 Durchhärtende Stähle	214
10.1.5 Korrosionsbeständige Stähle	215
10.1.6 Martensitaushärtbare Formenstähle	217
10.1.7 Hartstoff-Legierungen	218
10.1.8 Zusatzwerkzeuge für den Werkzeugbau	219
10.2 Werkzeuge aus Stahlguß	221
10.3 Physikalische Eigenschaften	222
10.4 Werkzeugherstellung	223
10.4.1 Elektroerosive Bearbeitung	223
10.4.2 Polieren	225
11 Aluminiumlegierungen (<i>P. Diemat</i>)	226
11.1 Einleitung	226
11.2 Formenwerkstoffe	227
11.2.1 Gußwerkstoffe	228
11.2.2 Knetwerkstoffe	228
11.2.3 Mechanische Eigenschaften und Konstruktionshinweise	229
11.2.4 Korrosion	231

11.2.5	Oberflächenbehandlung und -beschichtung	232
11.3	Herstellung von Al-Werkzeugen	233
11.3.1	Zerspanen	233
11.3.2	Schweißen	234
11.3.3	Gießen	235
11.4	Anwendungsmöglichkeiten	236
	Literatur zu Kapitel 11	238
12	Bronzen (H. Merten)	239
12.1	Eigenschaften	239
12.1.1	Ausreichend hohe Festigkeit (Härte)	239
12.1.2	Hohe Wärmeleitfähigkeit	241
12.1.3	Hohe Werkzeug-Standzeiten	242
12.1.4	Hohe Wärme-Eindringfähigkeit	243
12.1.5	Gute Verformbarkeit	244
12.2	Mechanische Bearbeitung	244
12.2.1	Fräsen	245
12.2.2	Drehen	245
12.2.3	Bohren	246
12.2.4	Aufreiben	247
12.2.5	Gewindebohren	248
12.2.6	Schleifen	249
12.2.7	Kühlen	249
12.3	Gießen	249
12.4	Oberflächen	250
12.4.1	Oberflächenqualitäten	250
12.4.2	Oberflächenreaktionen	250
12.4.3	Oberflächenveredelung	250
12.5	Andere Verfahren	251
12.5.1	Funkenerosive Bearbeitung	251
12.5.2	Fotomechanische Strukturierung	251
12.5.3	Reparaturen, Korrekturen	251
12.6	Zusammenfassung	253
	Literatur zu Kapitel 12	253
13	Zinklegierungen (H. Merten)	254
13.1	Verwendung im Werkzeugbau, Allgemeines	254
13.2	Zinklegierungen im Bau von Nullserien-Werkzeugen	254
13.3	Zinklegierungen für Klein- und Vorserien	256
13.4	Zinklegierungen für Serien-Werkzeuge	256
13.5	Bearbeiten von Zinklegierungen	257
13.5.1	Konventionelle Bearbeitung	257
13.5.1.1	Fräsen	257
13.5.1.2	Drehen	258
13.5.1.3	Bohren	258
13.5.1.4	Gewindebohren	258
13.5.1.5	Reiben	258
13.5.2	Formung durch Gießen	259
13.6	Oberflächenveredelung	259
13.7	Oberflächenstrukturierung	260
13.8	Temperieren	260

13.9	Reparaturen	260
	Literatur zu Kapitel 13	260
14	Werkstoffe im Prototyp-Werkzeugbau (K. Reimann)	261
14.1	Systematik der Werkstoffe	261
14.1.1	Natürliche Werkstoffe	261
14.1.2	Metallische Werkstoffe	261
14.1.3	Synthetische Werkstoffe	261
14.2	Nichtmetallische Werkstoffe	262
14.2.1	Epoxidharze	262
14.2.1.1	Ausgangsstoffe und Vernetzungsreaktionen	262
14.2.1.2	Verarbeitung flüssiger Epoxidharzmassen	262
14.2.2	Polyurethansysteme	264
14.2.2.1	Aufbau der Polyurethane und deren Vernetzung	264
14.2.2.2	Verarbeitung von Polyurethan-Gießmassen	265
14.2.3	Silikonkautschuk-Gießmassen	265
14.2.3.1	Aufbau der RTV-2K-Silikonkautschukmassen	266
14.2.3.2	Vernetzung durch Kondensationsreaktion	266
14.2.3.3	Vernetzung durch Additionsreaktion	266
14.2.3.4	Mechanische Eigenschaften vernetzter Silikon- kautschuke	267
14.2.3.5	Verarbeitung von Silikonkautschuk-Massen	267
14.2.3.6	Modellvorbehandlung	268
14.2.4	Holzwerkstoffe	268
14.2.5	Gipswerkstoffe	268
14.3	Metallische Werkstoffe	269
14.3.1	Aluminium	269
14.3.2	Feinzinklegierungen	270

Teil III Herstellungs- und Bearbeitungsverfahren

Einführung (G. Mennig)	272
15 CIM – Computer Aided Manufacturing bei der spanabhebenden Fertigung (A. Klotzbücher)	275
15.1 Werkzeugfertigung im Wandel	275
15.1.1 Bisherige Werkzeugfertigung	275
15.1.2 Zukünftige Werkzeugfertigung	275
15.2 Werkzeugfertigung über CIM	278
15.2.1 Rechnereinsatz bei der spanabhebenden Fertigung eines Spritzgieß-Serienwerkzeugs	278
15.2.1.1 CAD-Artikelkonstruktion	279
15.2.1.2 Kommunikation unter EDV-Systemen – Schnittstelle	280
15.2.1.2.1 Direktkoppler-Schnittstelle	281
15.2.1.2.2 Systemneutrale Schnittstelle	281
15.2.1.3 Software	282
15.2.1.4 CAD-Werkzeugkonstruktion	284
15.2.2 Datenaufbereitung zur spanabhebenden Fertigung	284
15.2.3 Bearbeitungsprozeß	285

15.2.4	Vorteile der CAM-Bearbeitung	285
15.2.5	Grenzen der CAM-Anwendung in der Praxis	286
15.2.6	Qualitäts-Anforderung, QS-Nachweis – CAQ	287
15.3	Verwirklichung von CIM im Unternehmen – Praxisbeispiel über 15 Jahre	288
15.4	Werkzeugfertigung über CIM – Praxisbeispiel	290
15.5	Ausblick CIM	294
	Literatur zu Kapitel 15	296
16	Funkenerosion im Werkzeugbau (B. M. Schumacher)	297
16.1	Physikalischer und technischer Charakter der Funkenerosion	297
16.1.1	Anwendungsmerkmale	297
16.1.2	Physikalische Vorgänge	298
16.1.3	Technologische Besonderheiten	301
16.2	Gestaltungsmerkmale und Funktionen an Erodier-Anlagen	306
16.2.1	Anlage-Bauformen für welche Aufgaben?	307
16.2.2	Anlage-Baugruppen	308
16.3	Die Arbeitsvorbereitung zum Erodieren	309
16.3.1	Gliederung in Aufgaben-Teilbereiche	309
16.3.2	Programmierv Verfahren zu geometrischen Abläufen	309
16.3.3	Technologische Planung	310
16.3.4	Abwicklungs-/Qualitäts-Planung und Überwachung	311
16.4	Anwendungskategorien und organisatorische Integration	312
16.4.1	Typische Anwendungsbeispiele	313
16.4.2	Erodierprozeß-Design mit Auswirkung auf mehrere Produktions-Phasen	318
16.4.3	Organisatorische Integration in modernen Betriebs-Strukturen	320
	Literatur zu Kapitel 16	321
17	Galvanische gefertigte Einsätze und Werkzeuge (R. Hentrich)	322
17.1	Allgemeines	322
17.2	Verfahrensbeschreibung	322
17.3	Galvanowerkstoffe	324
17.4	Modellwerkstoffe und Modellgestaltung	325
17.5	Mechanische Endbearbeitung von Spritzgießgalvanoform-Einsätzen	327
17.6	Wirtschaftlichkeit und Standzeit	328
17.7	Galvanoformwerkzeuge für die verschiedenen Kunststoff- verarbeitungsverfahren	331
17.7.1	Werkzeuge für die Verarbeitung von PUR-Schaum	331
17.7.2	Laminierformen für die Flugzeugindustrie	332
17.7.3	Galvanowerkzeuge für die GFK-Verarbeitung	333
17.7.4	Prototyp- und Nullserienwerkzeuge	335
17.7.5	Kupferelektroden für die funkenerosive Bearbeitung	335
17.8	Formen aus technisch porösem Nickel (TPN)	336
18	Einsenken (W. Fettes)	338
18.1	Das Verfahren und seine Vorteile	338
18.2	Verfahrensbeschreibung	338
18.3	Die Elemente des Einsenkens	339
18.3.1	Der Einsenkstempel (Pfaffe)	339
18.3.2	Stempelformen	339

18.3.3	Matrizenwerkstoffe	340
18.3.4	Schmierung beim Einsenken	340
18.3.5	Einsenktiefe	340
18.4	Einsenkpresse	341
18.4.1	Standardausführung	341
18.4.2	Mechanisierte Einsenkpresse	341
18.4.3	Auswahl der Einsenkpressegröße	343
18.5	Der Einsenkvorgang	343
18.6	Wirtschaftlichkeit	344
	Literatur zu Kapitel 18	344
19	Poliertechnik im Formenbau (C. Steiner)	345
19.1	Allgemeines	345
19.2	Definitionen zum Begriff Oberflächenrauheit	345
19.3	Systematik in der Poliertechnik	346
19.4	Werkstoffeinfluß auf das Polierverhalten	347
19.5	Poliertechniken	347
19.5.1	Flächenvorbereitende Einebnungstechniken	348
19.5.2	Läppen	349
19.5.3	Polierläppen	352
19.5.4	Polieren	353
19.6	Ultraschalltechnik	354
19.7	Funkenerosion / Glanzerodieren	354
19.8	Arbeitsplatzanforderungen	355
20	Oberflächenstrukturierung (H.-W. Wiederoder)	356
20.1	Die fotochemische Ätztechnik	356
20.1.1	Einführung	356
20.1.2	Warum strukturieren?	356
20.1.3	Von der Strukturvorlage zum Film	357
20.2	Anforderungen an Formoberfläche und Konstruktion	358
20.2.1	Werkstoffe und Materialauswahl	358
20.2.1.1	Stahl	358
20.2.1.2	Aluminium	358
20.2.1.3	Weitere Materialien	359
20.2.1.4	Warmbehandlung und Oberflächenveredlung	359
20.2.2	Konizität, Freiflächen, Oberflächenvorbereitung	359
20.2.3	Bearbeitungsverfahren und Reparaturtechnik	360
20.2.4	Konturänderungen durch Schweißen von Einsätzen	362
20.2.5	Konturänderungen durch Einschrumpfen von Einsätzen	364
20.2.6	Gefügeverfestigungen, Faserverlauf, Streifigkeit	365
20.2.7	Ätztest	366
20.3	Bearbeitungsablauf	367
20.3.1	Vorbereitende Arbeiten	367
20.3.2	Ätzen	369
20.3.3	Ausführungsarten und Kombinationsätzungen	369
20.3.4	Grenzen der Bearbeitungstechnik	370
20.4	Auftragsdurchführung	370
20.4.1	Planung und Konstruktion	370
20.4.2	Angebote	371
20.4.3	Schlußbemerkung	371

21	Oberflächenveredelung von Werkzeugwerkstoffen (A. Oldewurtel)	372
21.1	Einleitung	372
21.2	Wärmebehandlung	372
21.2.1	Einsatzstähle	372
21.2.2	Durhhärtende Stähle	373
21.2.3	Vergütete Stähle	378
21.2.4	Nitrierstähle	378
21.2.5	Martensitaushärtbare Werkstoffe	378
21.2.6	Verzug und Maßänderung	379
21.2.7	Hinweise für eine erfolgreiche Wärmebehandlung	381
21.2.7.1	Abkühlung	381
21.2.7.2	Scharfkantige Übergänge	381
21.2.7.3	Schlagzahlen	381
21.2.7.4	Falsche Wärmebehandlungstemperaturen	382
21.2.7.5	Anlaßbehandlung	382
21.3	Nitrieren	382
21.3.1	Gasnitrieren	384
21.3.2	Badnitrieren	385
21.3.3	Plasmanitrieren	386
21.3.4	Verzug und Härte	387
21.4	Hartverchromen	388
21.5	Vernickeln	391
21.6	Borieren	392
21.7	CVD-Schichten	394
21.8	PVD-Schichten	397
21.9	Auswahl geeigneter Verfahren	398
	Literatur zu Kapitel 21	399

22	Herstellung von Werkzeugen aus Leichtmetall- und Bronzeß (H. Merten)	401
22.1	Abwägung	401
22.2	Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen	402
22.2.1	Herstellzeiten und -kosten	402
22.2.2	Produktionstechnische Verbesserungen durch NE-Metalle	403
22.2.3	Optimierung	404
22.3	Technische Probleme bei gegossenen Formen	404
22.3.1	Toleranzen	404
22.3.2	Oberflächenqualität und -behandlung gegossener NE-Metalle	405
22.3.3	Oberflächenveredelung	406
22.3.4	Temperiersysteme	406
22.4	Gießverfahren	407
22.4.1	Sandguß	407
22.4.2	Keramikguß	409
22.5	Vergossene Metalle	410
	Literatur zu Kapitel 22	410

23	Metallspritzen mit niedrig- und hochschmelzenden Legierungen (K. Träger)	411
23.1	Prinzip des Metallspritzens	411
23.1.1	Niedrigschmelzendes System	411

23.1.2	Spritztechnik	412
23.1.3	Hochschmelzendes System	412
23.1.4	Absaugung	413
23.2	MCP-Legierungen	413
23.3	Anwendungsbereiche	414
23.4	Herstellen von Werkzeugen und Formen	417
23.5	Kosten	418
24	Selektives Auftragen von Metallen für Reparatur und Schutz von Werkzeugen (<i>M. Rubinstein</i>)	420
24.1	Allgemeines	420
24.2	Das Selectron-Verfahren	420
24.3	Verwendungsgebiete in der Kunststoffindustrie	422
24.3.1	Verarbeiten halogenhaltiger Kunststoffe	422
24.3.2	Reparaturen	423
24.3.3	Korrosionsschutz	424
24.3.4	Markieren	424
24.3.5	Wieder-auf-Maß-Bringen von Kernstiften oder Buchsen	425
24.4	Verschiedene Anwendungen	425
24.4.1	Spritzgießwerkzeuge	425
24.4.2	Bedrucken und Kalandrieren	425
24.4.3	Maschinenwartung	426
24.5	Einige Sonderfragen	427
	Literatur zu Kapitel 24	427
 Teil IV Verschiedenes		
	Einführung (<i>G. Mennig</i>)	430
25	Rechnergestützte Auslegung von Teilen und Werkzeugen (<i>H. Bogensperger</i>)	432
25.1	Einleitung	432
25.1.1	Geschichtliche Entwicklung	432
25.1.2	Anbieter von Software	432
25.2	Werkstofftechnische Grundlagen	433
25.2.1	Rheologische Kennwerte	433
25.2.2	Thermische Kennwerte	433
25.2.3	Kennwerte für Schwindung und Verzug	434
25.3	Berechnungsmethoden	435
25.3.1	Rheologische Berechnung	435
25.3.1.1	Eindimensionale Strömungsberechnung	435
25.3.1.2	Zweidimensionale Strömungsberechnung (Finite-Elemente-Methode)	436
25.3.2	Thermische Berechnung	440
25.3.2.1	Grobauslegung	440
25.3.2.2	Dreidimensionale Temperierungsberechnung	440
25.3.3	Schwindungs- und Verzugsberechnung	441
25.3.4	Mechanische Berechnung von Spritzgießwerkzeugen	442
25.3.5	Andere Verfahren	442

25.4	Erzeugung des Geometriemodells	443
25.4.1	Modellieren im Berechnungsprogramm	443
25.4.2	Modellieren mit CAD-Programmen	444
25.4.3	Ausleiten eines Berechnungsmodells	444
	25.4.3.1 Spezielle Schnittstellen	444
	25.4.3.2 Neutrale Schnittstellen	444
	25.4.3.3 Übergabe von FE-Netzen	444
25.5	Einführung von Berechnungsprogrammen	445
25.5.1	Anforderungen an die Software	445
25.5.2	Anforderungen an die Hardware	445
25.5.3	Anforderungen an das Personal	446
25.5.4	Integration in den Produktentstehungsprozeß	446
25.5.5	Wirtschaftliche Vorteile	446
25.5.6	Erfahrungen mit dem Einsatz von Berechnungsprogrammen	447
25.6	Schlußbetrachtung	447
	Literatur zu Kapitel 25	448

26 Werkzeug-Normalien (O. Heuel) 449

26.1	Allgemeines	449
26.1.1	Entwicklung des Normaliengedankens	449
26.1.2	DIN/ISO-Normen für Werkzeuge und Normalien	451
26.2	Normalien für den Werkzeugaufbau	451
26.2.1	Stammwerkzeuge	453
26.2.2	Baukastenelemente	453
26.2.3	Backenwerkzeuge	453
26.2.4	Einsatzbaukastensystem	454
26.2.5	Führungssysteme	455
26.2.6	Wartungsfreie Führungselemente	457
26.2.7	Zentrierelemente	458
26.2.8	Stützsäulen	459
26.2.9	Wechselformen	459
26.2.10	Normalien mit Zusatzarbeiten	460
26.2.11	Werkstoffe für Normalien	460
26.3	Normalien für den Angußbereich	463
26.3.1	Angießbuchsen	463
26.3.2	Pneumatikdüsen	466
26.3.3	Beheizte Düsen	467
26.3.4	Heißkanalsysteme	468
26.3.5	Nadelventile	469
26.3.6	Schmelze-Filtereinsätze	470
26.3.7	Kaltkanalsysteme	470
26.4	Normalien zum Entformen	471
26.4.1	Auswerfer: Stifte und Hülsen	471
26.4.2	Getriebeteile	473
26.4.3	Fallkerne	474
26.4.4	Klinkenzüge / Mitnehmer	474
26.4.5	Rückdruck-/Rückzugseinheit	477
26.4.6	Zweistufenauswerfer	478
26.4.7	Verriegelungszylinder	479
26.4.8	Belüftungsventil	480
26.5	Normalien zur Beheizung/Temperierung	480

26.5.1	Elektrische Heizelemente	480
26.5.2	Thermofühler	482
26.5.3	Kernkühlungen und Kühlstifte	482
26.5.4	Verschlußstopfen und Dichtelemente	483
26.5.5	Anschlußarmaturen	484
26.5.6	Wärmeisolerplatten	484
26.6	Normalien zur Druckmessung	485
26.6.1	Direkte Druckaufnehmer	485
26.6.2	Indirekte Druckaufnehmer (Kraftaufnehmer)	486
26.7	CAD-Normalienanwendungen	487
26.7.1	Möglichkeiten der Normalien-Software	487
26.7.2	Rechnergestützte Anguß-Auswahl	489
26.7.3	Stücklisten-/Bestellsystem mit Preisen	489
26.8	Normalien für sonstige Anwendungsbereiche	490
26.8.1	Markierungs-Stempel	490
26.8.2	Kernstifte	491
26.8.3	Federnde Druckstücke	491
26.8.4	Auflagebolzen	492
26.8.5	Schiebermechanik	492
26.8.6	Federn im Formenbau	493
26.8.7	Sonstige Teile	493
26.9	Normalien zwischen Form und Maschine	494
26.9.1	Spannsysteme für Formen	494
26.9.2	Auswerfer-Anschlüsse	495
26.9.3	Elektrische Anschlüsse	496
26.9.4	Anschlüsse für flüssige/gasförmige Medien	497
26.9.5	Werkzeug-Sicherungen	498
26.9.6	Transporthilfen für Formen	499
26.10	Normalien-Hersteller / Bezugsquellen für den Formenbau	500
26.10.1	Herstellung und Vertrieb von Normalien-Technologie	500
26.10.2	Hersteller von Normalien, teilweise mit eigenem Vertrieb	500
26.10.2.1	Formenbau-Normalien mit Zusatzarbeiten	500
26.10.2.2	DIN/ISO-Normteile für den Formenbau	500
26.10.2.3	Heißkanäle / Heißkanal-Düsen	500
26.10.2.4	Elektrische Heizelemente	501
26.10.2.5	Elektrische Regelgeräte	501
26.10.2.6	Temperiereinrichtungen/-Armaturen	501
26.10.2.7	Druckmessung	501
26.10.2.8	Werkzeug-Wechselsysteme	501
	Literatur zu Kapitel 26	502

27	Werkzeuginstandhaltung – Wartung, Inspektion, Instandsetzung und Lagerung (U. Thiesen)	503
27.1	Allgemeines	503
27.1.1	Begriffe	504
27.1.2	Instandhaltungskosten	504
27.2	Wartung und Inspektion	506
27.2.1	Reinigung	506
27.2.1.1	Reinigung von Konturen	507
27.2.1.2	Reinigung von Schiebern	508
27.2.1.3	Reinigung von Auswerfern	508

27.2.2	Schmierung	508
27.2.2.1	Schmierung von Führungen und Kernzügen	508
27.2.2.2	Schmierung der Auswerferei	509
27.2.3	Konservierung	510
27.2.4	Produktionsvorbereitung	510
27.2.4.1	Visuelle Kontrolle	510
27.2.4.2	Temperierung auf Funktion prüfen	510
27.2.4.3	Heißkanal, Produktionsdatum, Einsätze	511
27.3	Instandsetzung	512
27.3.1	Beschädigungen der Dichtflächen	512
27.3.2	Ausplatzungen, genarbte Flächen	512
27.3.3	Heißkanalsysteme	513
27.3.4	Auswerferei	513
27.3.5	Temperierung	514
27.3.6	Werkzeugbegleitkarte	514
27.4	Lagerung	515
	Literatur zu Kapitel 27	515
28	Formenrecht und Gewährleistung (J. ten Hagen)	516
28.1	Einleitung	516
28.2	Die Gestaltungen des Formenrechts	516
28.2.1	Werkseigene Formen („eigene Formen“)	517
28.2.2	Kundengebundene Formen („eigene Formen“)	517
28.2.3	Bestellereigene Formen („fremde Formen“)	519
28.2.4	Beigestellte Formen („fremde Formen“)	520
28.3	Zusammenfassende praktische Hinweise	521
28.4	Formenbau und Überlassungsverträge	522
28.5	Allgemeine Geschäftsbedingungen des Bestellers – Möglichkeiten und Grenzen	523
28.6	Europäische Harmonisierung	523
29	Werkzeuge in der Angebotsphase (H. Wilden, N. Kaspers)	524
29.1	Einleitung	524
29.2	Marketing in der Angebotsphase	524
29.2.1	Eingruppierung der eigenen Firmen und der Kunden	524
29.2.2	Eigenanalyse	525
29.2.3	Auswirkung des Marketings auf die Angebotsphase	526
29.3	Notwendige Kundenangaben	526
29.3.1	Unterschiedliche Anfragepakete	526
29.3.2	Kostenrelevante Angaben	527
29.4	Herstellbarkeitsbewertung	527
29.4.1	Kunststoffgerechte Konstruktion	527
29.4.2	Fehlermöglichkeits- und Einflußanalyse (FMEA)	528
29.5	Ermittlung der Fertigungsparameter	529
29.5.1	Teilegeometrie	529
29.5.2	Zykluszeit des Spritzgießprozesses	529
29.5.3	Bestimmung der Fachzahl	533
29.5.4	Schließkraft und Schußvolumen einer Spritzgießmaschine	533
29.6	Bestimmung des Werkzeugkonzepts	535
29.6.1	Einteilung von Werkzeugen	535
29.6.2	Einflüsse auf das Werkzeugkonzept	535

29.6.3	Kostenermittlung	537
29.6.4	Methode der Kostenabschätzung	537
29.7	Aufgliederung der Herstellkosten	538
29.7.1	Konstruktionskosten	538
29.7.2	Werkzeugkosten	538
29.7.3	Kosten der Arbeitsgänge im Formenbau	540
29.8	Vertragsunterlagen	541
29.8.1	Notwendige Unterlagen	541
29.8.2	Genehmigungszeichnung	541
29.8.3	Problemfälle	542
29.9	Zusammenfassung	543
	Literatur zu Kapitel 29	543
30	Checklisten für Werkzeugbestellungen (O. Heuel)	544
	Literatur zu Kapitel 30	545
	Sachwortverzeichnis	559