

# Inhaltsverzeichnis

Vorwort .....	V
Zur 7. Auflage .....	V
<b>Die Autoren .....</b>	<b>IX</b>
<b>1 Das Spritzgießverfahren. ....</b>	<b>1</b>
1.1 Ablauf des Spritzgießprozesses .....	2
1.2 Spritzgießen von Thermoplasten .....	3
1.3 Spritzgießen vernetzender Formmassen .....	4
1.3.1 Spritzgießen von Elastomeren .....	5
1.3.2 Spritzgießen von Duroplasten .....	6
Literatur Kapitel 1 .....	6
<b>2 Formmassen für das Spritzgießen. ....</b>	<b>7</b>
2.1 Aufbau von Kunststoffen .....	7
2.2 Klassifikation von Kunststoffen aufgrund ihrer chemischen Struktur .....	8
2.2.1 Thermoplaste .....	8
2.2.1.1 Teilkristalline Thermoplaste .....	8
2.2.1.2 Amorphe Thermoplaste .....	9
2.2.2 Vernetzende Formmassen .....	11
2.2.2.1 Duroplaste .....	12
2.2.2.2 Elastomere .....	12
2.2.3 Zusatzstoffe .....	13
Literatur Kapitel 2 .....	16
<b>3 Gestalten von Bauteilen für das Spritzgießen von Thermoplasten .....</b>	<b>17</b>
3.1 Kunststoff als Konstruktionswerkstoff .....	17
3.2 Gestaltungsregeln für die fertigungs- und werkstoffgerechte Konstruktion von Spritzgießbauteilen .....	18
3.2.1 Wanddicke so dünn wie möglich auslegen .....	19
3.2.2 Gleichbleibende Wanddicken vorsehen .....	23

3.2.3	Masseanhäufungen vermeiden .....	27
3.2.4	Ecken und Kanten mit Radien versehen.....	29
3.2.5	Rippen spritzgießgerecht gestalten.....	33
3.2.6	Ebene Flächen vermeiden .....	38
3.2.7	Ausreichende Konizitäten vorsehen .....	40
3.2.8	Hinterschneidungen vermeiden .....	40
3.2.9	Keine genauere Bearbeitung als nötig .....	44
3.2.10	Das Potenzial der freien Formgebung ausschöpfen .....	46
3.2.11	Position des Angusses bei der Formgestaltung beachten.....	51
3.2.12	Kunststoff-Metall-Verbunde spannungsausgleichend gestalten ..	54
3.2.13	Löcher und Auskernungen kunststoffgerecht gestalten.....	60
3.2.14	Gewinde kunststoffgerecht gestalten .....	62
3.2.15	Formteile verfahrensgerecht optimieren .....	65
3.3	Prototypenfertigung mithilfe additiver Verfahren.....	67
	Literatur Kapitel 3 .....	69
<b>4</b>	<b>Maßänderungen, Schwindung und Verzug .....</b>	<b>71</b>
4.1	Einleitung.....	71
4.2	Definitionen zur Schwindung .....	71
4.3	Ursache der Schwindung .....	74
4.4	Ursachen des anisotropen Schwindungsverhaltens .....	75
4.5	Ursachen des Verzugs .....	77
4.6	Beeinflussung von Schwindung und Verzug durch den Prozess.....	79
4.7	Hilfsmittel zur Schwindungsvorhersage.....	82
4.8	Toleranzen für Kunststoffformteile .....	83
4.8.1	Bestimmung der Toleranzgruppe .....	83
	Literatur Kapitel 4 .....	88
<b>5</b>	<b>Das Spritzgießwerkzeug, seine Bauarten und Aufgaben .....</b>	<b>91</b>
5.1	Bezeichnungen am Spritzgießwerkzeug.....	91
5.2	Einteilung der Werkzeuge .....	91
5.3	Aufgaben des Spritzgießwerkzeugs .....	93
5.3.1	Kriterien zur Einteilung der Werkzeuge in Gruppen .....	95
5.3.2	Prinzipielle Vorgehensweise bei der Werkzeugkonstruktion.....	99
5.3.3	Bestimmung der Werkzeuggröße .....	104
5.3.3.1	Maximale Formnestzahl .....	104
5.3.3.2	Zuhaltekraft.....	105
5.3.3.3	Maximale Aufspanfläche .....	106
5.3.3.4	Erforderlicher Öffnungshub.....	106
5.3.4	Fließweg-Wanddickenverhältnis .....	107
5.4	Anordnung der Formnester in der Trennebene.....	109

5.4.1	Allgemeine Forderungen .....	109
5.4.2	Darstellung der Lösungsmöglichkeiten .....	110
5.4.3	Kräftegleichgewicht des Werkzeugs beim Füllvorgang .....	110
5.4.4	Zahl der Trennebenen .....	112
5.4.4.1	Konstruktive Lösungsmöglichkeiten.....	113
Literatur Kapitel 5 .....		113
<b>6</b>	<b>Verfahren zur Abschätzung der Werkzeugkosten.....</b>	<b>115</b>
6.1	Allgemeines.....	115
6.2	Verfahren zur Werkzeugkalkulation.....	116
6.3	Das Prinzip der Kostenfunktion .....	118
6.3.1	Kalkulationsgruppe I: Formnest (3.3.1–3.3.4 auszugsweise aus [6.9]) .....	119
6.3.2	Kalkulationsgruppe II: Grundaufbau .....	119
6.3.3	Kalkulationsgruppe III: Grundfunktionseinheiten .....	121
6.3.4	Kalkulationsgruppe IV: Sonderfunktionseinheiten.....	122
6.4	Das Prinzip der Kostenähnlichkeit .....	123
6.5	Weitere Kalkulationsansätze .....	126
6.5.1	Die ressourcenorientierte Prozesskostenrechnung.....	126
6.5.2	Das Prinzip der hierarchischen Ähnlichkeitssuche .....	127
6.6	Aktuelle Rechenprogramme .....	128
Literatur Kapitel 6 .....		130
<b>7</b>	<b>Eintritt der Schmelze in das Werkzeug, ihre Verteilung und der Füllvorgang der Kavitäten .....</b>	<b>133</b>
7.1	Beschreibung des Angussystems .....	133
7.2	Prinzip und Definition verschiedener Angusskanalarten .....	134
7.2.1	Normale Verteilerkanäle .....	134
7.2.2	Heißkanäle.....	135
7.2.3	Kaltkanäle .....	135
7.3	Anforderungen an das Angussystem .....	136
7.4	Angussformen .....	137
7.5	Angussbuchse .....	139
7.6	Gestaltung der Verteilerkanäle .....	142
7.7	Gestaltung der Angussstege (Anschnitte) .....	145
7.7.1	Lage des Anschnittes am Formteil .....	149
7.8	Verteilerkanäle für hochgefüllte Schmelzen .....	154
7.9	Verteilerkanäle und Anschnitte für vernetzende Formmassen .....	156
7.9.1	Elastomere.....	156
7.9.2	Duroplaste .....	157
7.10	Rheologische Werkzeugauslegung .....	157

7.10.1	Rheologische Grundlagen [7.39] .....	159
7.10.1.1	Ermittlung des viskosen Fließverhaltens unter Scherung mit Hilfe des Kapillarrheometers .....	168
7.10.1.2	Dehnviskosität .....	172
7.10.1.3	Gleichungen zur Druckverlustberechnung in Angüssen und Angussverteilern .....	173
7.11	Auslegung von Angüssen und Angussverteilern für vernetzende Formmassen .....	176
7.11.1	Elastomere .....	176
7.11.1.1	Berechnung des Füllvorgangs .....	176
7.11.1.2	Einfluss der Verarbeitungseigenschaften ermittelt anhand von Verarbeitungsfenstern .....	177
7.11.1.3	Kritische Anmerkungen und Beispiele zum Modell des Verarbeitungsfensters .....	179
7.11.2	Duroplaste .....	181
	Literatur Kapitel 7 .....	184
<b>8</b>	<b>Ausführung der Angüsse .....</b>	<b>187</b>
8.1	Stangenanguss .....	187
8.2	Band- oder Filmanguss .....	189
8.3	Schirmanguss .....	191
8.4	Ringanguss .....	193
8.5	Tunnelanguss .....	195
8.6	Abreiß-Punktanguss – Dreiplattenwerkzeug .....	197
8.7	Vorkammer-Punktanguss .....	200
8.8	Angussloses Anspritzen .....	204
8.9	Werkzeuge mit Isolierkanalverteilern [8.15] .....	204
8.10	Temperierte Angussysteme – Heißkanal [8.16] .....	208
8.10.1	Heißkanalsysteme .....	208
8.10.1.1	Wirtschaftliche Vor- und Nachteile der Heißkanalsysteme .....	210
8.10.1.2	Heißkanäle für verschiedene Anwendungen und neue Möglichkeiten .....	211
8.10.1.3	Aufbau und Bestandteile eines Heißkanalsystems ..	212
8.10.1.3.1	Außen- und Innenbeheizte Systeme .....	214
8.10.1.4	Angussbuchse .....	217
8.10.1.5	Schmelzefilter .....	218
8.10.1.6	Verteilerblöcke .....	219
8.10.1.7	Verteilerbalken .....	220
8.10.1.8	Heißkanaldüsen (Anspritzdüsen, Anschnittdüsen) ..	222
8.10.1.9	Daten zur Auslegung von Heißkanalverteilern .....	225

8.10.1.9.1	Verteilerbalken	225
8.10.1.9.2	Düsenauslegung	227
8.10.1.9.3	Hinweise zum Betrieb von Heißkanälen	228
8.10.1.10	Elemente zur Beheizung von Heißkanalsystemen	228
8.10.1.10.1	Beheizung von Düsen	228
8.10.1.10.2	Beheizung von Verteilern	229
8.10.1.10.3	Ermittlung der Heizleistung	231
8.10.1.10.4	Temperaturregelung in Heißkanälen	231
8.10.1.10.5	Anordnung der Temperaturfühler	232
8.10.2	Kaltkanäle	233
8.10.2.1	Kaltkanalsysteme für Elastomer-Spritzgießwerkzeuge	234
8.10.2.2	Kaltkanalwerkzeuge für Duroplaste	240
Literatur Kapitel 8		242
<b>9</b>	<b>Entlüften der Werkzeuge</b>	<b>247</b>
9.1	Passive Entlüftung	249
9.2	Aktive Entlüftung	258
9.3	Entlüften beim Gasgegendruckspritzgießen	260
Literatur Kapitel 9		262
<b>10</b>	<b>Die thermische Auslegung</b>	<b>265</b>
10.1	Kühlzeit (Temperierzeit)	266
10.2	Kühlzeitermittlung bei Thermoplasten	270
10.2.1	Kühlzeit bei asymmetrischen Wandtemperaturen	271
10.2.2	Kühlzeit bei anderen Geometrien	272
10.3	Temperaturleitfähigkeit verschiedener Formmassen	276
10.3.1	Die Temperaturleitfähigkeit duroplastischer Formmassen	277
10.4	Die Wärmeströme und die Temperierleistung	278
10.4.1	Thermoplaste	278
10.4.2	Vernetzende Formmassen [10.14]	283
10.5	Analytische thermische Berechnung anhand des spezifischen Wärmestroms (globale Auslegung)	286
10.5.1	Berechnungsablauf	286
10.5.1.1	Kühlzeitberechnung	290
10.5.1.2	Wärmestrombilanz	290
10.5.1.3	Temperiermitteldurchsatz	294
10.5.1.4	Temperierkanaldurchmesser	294
10.5.1.5	Lage der Temperierkanäle	299
10.5.1.6	Auslegung des Temperierkreislaufes	302
10.5.1.6.1	Temperiermitteldurchsatz	302

10.5.1.6.2	Berechnung des Druckbedarfs und der Pumpleistung.....	303
10.5.2	Beispiel für die Auslegung von Temperierkanälen [10.25] ....	304
10.6	Berechnung der Heizleistung von Werkzeugen für vernetzende Werkstoffe .....	309
10.7	Thermische Auslegung von Werkzeugen für vernetzende Kunststoffe [10.29] .....	309
10.7.1	Wärmehaushalt.....	309
10.7.2	Temperaturverteilung.....	314
10.8	Einfache Abschätzung der unterschiedlichen Wärmeströme an kritischen Stellen .....	315
10.9	Numerische Berechnung zur thermischen Auslegung.....	317
10.9.1	Thermische Formteilsimulation .....	318
10.9.2	Simulation von Temperierkanälen .....	321
10.9.3	Simulation von Heizelementen .....	323
10.9.4	Simulation von Werkzeugelementen .....	324
	Literatur Kapitel 10 .....	325
<b>11</b>	<b>Temperierkonzepte.....</b>	<b>329</b>
11.1	Praktische Ausführung der Kühlkanäle.....	329
11.1.1	Temperiersysteme für Kerne und rotationsymmetrische Formteile .....	329
11.1.2	Temperiersysteme für flächige Formteile.....	336
11.1.3	Abdichten der Temperiersysteme .....	340
11.1.4	Konturnahe Temperierung.....	341
11.1.5	Empirische Praxis zur Kompensation des Verzugs aus Wärmestromdifferenzen in Ecken bei thermoplastischen Formteilen .....	342
11.1.5.1	Änderung der Eckengeometrie .....	342
11.1.5.2	Partielle Anpassung der Wärmeströme .....	343
11.2	Praktische Ausführung der elektrischen Beheizung von Duroplastwerkzeugen .....	344
11.3	Temperiergeräte für Spritzgieß- und Presswerkzeuge .....	345
11.3.1	Aufgabe, Prinzip, Einteilung .....	345
11.3.2	Kontinuierlich arbeitende Anlagen.....	346
11.3.2.1	Durchflusstemperierung .....	346
11.3.2.2	Temperiergeräte mit eigenem Kreislauf. ....	346
11.3.2.3	Diskontinuierlich arbeitende Temperieranlagen (Impulskühlung) .....	348
11.3.2.4	Diskontinuierlich mit alternativ wechselnder Temperatur arbeitende Temperieranlagen (sogenannte variotherme Temperierung).....	350

11.3.3	Regelung .....	352
11.3.3.1	Regelungsarten .....	352
11.3.3.1.1	Regelung der Mediumtemperatur .....	352
11.3.3.1.2	Regelung der Werkzeugtemperatur.....	353
11.3.3.1.3	Kaskadenregelung.....	353
11.3.4	Auswahl eines geeigneten Temperiergeräts.....	355
11.3.5	Wartung, Reinigung .....	357
Literatur Kapitel 11 .....		358
<b>12</b>	<b>Mechanische Auslegung von Spritzgießwerkzeugen .....</b>	<b>363</b>
12.1	Die Werkzeugverformung .....	363
12.2	Analyse und Bewertung der Verformungen.....	364
12.3	Grundlagen zur Beschreibung der Deformationen .....	366
12.3.1	Einfache Rechnung zur Abschätzung der Spaltbildung .....	367
12.3.2	Genauere Rechnung zur Abschätzung der Spaltbildung und Verhinderung von Schwimmhäuten und Graten .....	368
12.4	Das Überlagerungsverfahren.....	370
12.4.1	Zusammengeschaltete Federn als Ersatzelemente .....	371
12.4.1.1	Parallelschaltung von Elementen .....	372
12.4.1.2	Reihenschaltung von Elementen .....	372
12.5	Ermittlung der Werkzeugwanddicken und ihrer Verformungen.....	373
12.5.1	Darstellung der einzelnen Belastungsarten und Verformungen .....	374
12.5.2	Dimensionierung kreiszylindrischer Formnester .....	375
12.5.3	Dimensionierung von nicht-runden Werkzeugkonturen.....	376
12.5.4	Dimensionierung der Werkzeugplatten .....	378
12.6	Vorgehen bei der Dimensionierung einer Werkzeugwand unter Forminnendruck .....	379
12.7	Verformung von Backenwerkzeugen unter Forminnendruck (auch gültig für Schieberwerkzeuge) .....	380
12.8	Vorbereitungen der Verformungsrechnungen .....	387
12.8.1	Vereinfachungen der Geometrie .....	389
12.8.2	Hinweise zur Wahl der Randbedingungen.....	390
12.9	Rechenbeispiele.....	393
12.10	Identifizierung kritischer Formteilbereiche und deren Auslegung im Rahmen eines Virtual Prototyping .....	403
12.11	Versatz von Kernen und Einlegeteilen .....	407
12.11.1	Versatz von Kernen.....	407
12.11.1.1	Abschätzung des maximalen Kernversatzes .....	407
12.11.1.2	Kernversatz am runden Kern mit Punktanschnitt seitlich am Fuß (starre Einspannung).....	408

12.11.1.3	Kernversatz am runden Kern mit Schirmanguss (starre Einspannung) . . . . .	411
12.11.1.4	Kernversatz bei verschiedenen Anguss- und Anschnittformen (starre Einspannung) . . . . .	416
12.11.1.5	Numerische Berechnung des Kernversatzes . . . . .	418
12.11.2	Versatz von Einlegeteilen . . . . .	419
12.11.2.1	Analytische Berechnung der Verformung von Metalleinlegeteilen am Beispiel zylindrischer Walzenkörper [12.19] . . . . .	419
12.11.2.2	Numerische Berechnung der Verformung von Einlegeteilen . . . . .	422
12.11.3	Konstruktionsbeispiele für die Kerneinspannung und für die Zentrierung tiefer Werkzeuge . . . . .	423
12.12	Weitere Belastungen . . . . .	425
12.12.1	Die Abschätzung der zusätzlich auftretenden Belastungen . . . . .	425
	Literatur Kapitel 12 . . . . .	426
<b>13</b>	<b>Zentrierung, Führung und Handling der Werkzeuge . . . . .</b>	<b>429</b>
13.1	Aufgabe der Führung und Zentrierung . . . . .	429
13.2	Zentrierung des Werkzeugs auf der Schließenheit . . . . .	430
13.3	Innere Führung und Zentrierung . . . . .	431
13.4	Führung und Zentrierung bei großen Werkzeugen . . . . .	439
	Literatur Kapitel 13 . . . . .	442
<b>14</b>	<b>Werkzeugwechsel- und Spannsysteme . . . . .</b>	<b>445</b>
14.1	Werkzeugwechselsysteme . . . . .	445
14.2	Manuell-mechanisch-arbeitende Werkzeugwechselsysteme . . . . .	447
14.3	Hydraulisch arbeitende Spannsysteme . . . . .	453
14.3.1	Adaptive Spannsysteme . . . . .	453
14.3.2	Integrierte Spannsysteme . . . . .	455
14.4	Magnetsysteme zum Spannen von Spritzgießwerkzeugen . . . . .	457
14.5	Automatische Kupplungssysteme für Energietransport und Sensorik . . . . .	460
14.6	Auswerferkupplungssysteme . . . . .	463
14.7	Transportmittel für den Werkzeugwechsel . . . . .	464
	Literatur Kapitel 14 . . . . .	468
<b>15</b>	<b>Entformen gespritzter Teile . . . . .</b>	<b>469</b>
15.1	Übersicht über Entformungsarten . . . . .	469
15.2	Auslegung des Entformungssystems – Entformungskräfte und Öffnungskräfte [15.5] . . . . .	470
15.2.1	Allgemeines . . . . .	470

15.2.2	Möglichkeiten zur Bestimmung der Entformungskräfte . . . . .	474
15.2.2.1	Haftreibungskoeffizienten zur Ermittlung von Entformungs- und Öffnungskräften . . . . .	474
15.2.2.2	Rechnerische Abschätzmethode für zylindrische Hülsen . . . . .	476
15.2.2.3	Rechteckige Hülsen . . . . .	480
15.2.2.4	Konische Hülsen . . . . .	480
15.2.2.5	Zusammenstellung verschiedener Grundfälle . . . . .	481
15.2.3	Entformungskraft für komplexe Formteile am Beispiel eines Lüfterrades . . . . .	484
15.2.4	Numerische Berechnung von Entformungsvorgängen (bei Elastomerformteilen) . . . . .	488
15.2.5	Abschätzung der Öffnungskräfte . . . . .	492
15.2.5.1	Zustandsverlauf im p-v-T-Diagramm bei unterschiedlichen Werkzeugsteifigkeiten . . . . .	493
15.2.5.2	Mittlere Öffnungskräfte . . . . .	493
15.2.5.3	Gesamte Öffnungskraft . . . . .	493
15.3	Auswerferarten . . . . .	494
15.3.1	Gestaltung und Dimensionierung von Auswerferstiften . . . . .	494
15.3.2	Angriffsorte von Stiften und anderen Entformungselementen . . . . .	498
15.3.3	Aufnahme der Auswerferstifte in den Auswerferplatten . . . . .	503
15.4	Betätigung und Betätigungsmittel für das Auswerfen . . . . .	505
15.4.1	Betätigungsarten und Wahl des Angriffsortes . . . . .	505
15.4.2	Betätigungsmittel . . . . .	505
15.5	Besondere Auswerfersysteme . . . . .	510
15.5.1	Doppeletagenauswurf (zweifacher Auswerferweg) . . . . .	510
15.5.2	Gemischtes Auswerfen . . . . .	512
15.5.3	Dreiplattenwerkzeug . . . . .	513
15.5.3.1	Unterteilung der Auswerferbewegung durch Zuganker . . . . .	514
15.5.3.2	Unterteilung der Auswerferbewegung durch einen Klinkenzug . . . . .	514
15.5.3.3	Entformen auf der Düsenseite . . . . .	516
15.6	Auswerferrückzug . . . . .	516
15.7	Entformen von Formteilen mit Hinterschneidungen . . . . .	518
15.7.1	Entformen von Formteilen mit Hinterschneidungen durch Abschieben . . . . .	519
15.7.2	Zulässige Hinterschnitthöhe am Beispiel von Schnappverbindungen . . . . .	520
15.8	Entformen von Gewinden . . . . .	522
15.8.1	Entformen von Formteilen mit Innengewinde . . . . .	522

15.8.1.1	Abstreiferwerkzeuge	522
15.8.1.2	Zusammenklappende Kerne	523
15.8.1.3	Werkzeuge mit Wechselkernen	525
15.8.2	Abschraubwerkzeuge	525
15.8.3	Entformen von Formteilen mit Außengewinde	533
15.9	Hinterschneidungen in nicht rotationssymmetrischen Formteilen	534
15.9.1	Innere Hinterschneidungen	534
15.9.2	Äußere Hinterschneidungen	534
15.9.2.1	Schieberwerkzeuge	536
15.9.2.2	Backenwerkzeuge	543
15.9.3	Werkzeuge mit Kernzügen	548
	Literatur Kapitel 15	550
<b>16</b>	<b>Rechnerunterstützte Werkzeugauslegung und CAD-Einsatz in der Werkzeugkonstruktion</b>	<b>553</b>
16.1	CAD-Einsatz in der Werkzeugkonstruktion	553
16.1.1	Einleitung	553
16.1.1.1	Assoziativität, Parametrik/Varimetrik, Feature-Verarbeitung, Datenformate	554
16.1.2	CAD-Anwendung im Werkzeugbau	556
16.1.2.1	Geometrieerzeugung/Modellierung	556
16.1.3	Integrierte Funktionalitäten für den Werkzeugbau	560
16.1.3.1	Anwendungsspezifische Funktionserweiterung	563
16.1.3.2	Möglichkeiten des Concurrent-Engineering durch CAD-Einsatz	563
16.2	Spritzgießsimulation	566
16.2.1	Vorteile der Spritzgießsimulation während der Entwicklungsphase	567
16.2.2	Reduktion der Kosten durch den Einsatz von Simulationstechniken	568
16.2.3	Erstellung einer Spritzgießsimulation	570
16.2.4	Auslegung des Angussystems	573
16.2.5	Schwindungs- und Verzugsberechnung	575
16.2.6	Simulation von Spritzgießsondervverfahren	575
16.2.7	Optimierte Spritzgießsimulation	579
	Literatur Kapitel 16	581
<b>17</b>	<b>Spezielle Werkzeuge zur Steigerung der Wirtschaftlichkeit</b>	<b>583</b>
17.1	Familienwerkzeuge	583
17.2	Etagenwerkzeuge	585
17.2.1	Etagenwendetechnik – Würfeltechnik	590

17.2.2	Etagenwendetechnik – Quader mit umlaufenden Kavitäten . . .	594
17.3	Werkzeuge mit modular umsetzbaren Kavitäten. . . . .	595
17.3.1	Paternoster-Werkzeuge. . . . .	595
17.3.2	Shuttle-Molding. . . . .	597
17.4	Tandemwerkzeuge . . . . .	599
17.4.1	Tandemwendetechnik. . . . .	603
17.5	Injection-Transfer-Molding-Werkzeuge (ITM) . . . . .	604
17.5.1	Werkzeuge für das ITM-Verfahren in der Elastomerverarbeitung. . . . .	604
17.5.2	Werkzeuge für das ITM-Verfahren in der Thermoplastverarbeitung. . . . .	608
	Literatur Kapitel 17 . . . . .	609
<b>18</b>	<b>Werkzeuge für Spritzgießsonderverfahren . . . . .</b>	<b>613</b>
18.1	Mehrkomponenten-Spritzgießen. . . . .	613
18.1.1	Additionsverfahren. . . . .	613
18.1.2	Sequenzverfahren. . . . .	620
18.1.2.1	Intervall-Spritzgießen. . . . .	621
18.1.2.2	Sandwich-Spritzgießen. . . . .	621
18.2	Fluidinjektionstechnik . . . . .	626
18.2.1	Verfahrensvarianten. . . . .	626
18.2.2	Verfahrenstechnische Aspekte . . . . .	627
18.2.3	Injektortechnologie. . . . .	630
18.2.4	Injektoren für die Gasinjektionstechnik. . . . .	630
18.2.5	Injektoren für die Wasserinjektionstechnik. . . . .	631
18.2.5.1	Selbstbetätigte Injektoren. . . . .	633
18.2.5.2	Fremdbetätigte Injektoren . . . . .	634
18.2.5.3	Ziehende und stechende Injektoren . . . . .	635
18.2.5.4	Axial- und Radialinjektoren. . . . .	636
18.2.5.5	Generelle Gestaltungshinweise für WIT-Injektoren. .637	
18.2.6	Designrichtlinien für Bauteile und Werkzeuge bei der FIT . . . .	638
18.2.6.1	Stabförmige FIT-Formteile . . . . .	638
18.2.6.2	Flächige Formteile mit Rippen. . . . .	641
18.2.6.3	Formteile mit dickwandigen Bereichen . . . . .	643
18.2.6.4	Mehrkavitätenwerkzeuge . . . . .	644
18.2.6.5	Gestaltung von Nebenkavitäten. . . . .	645
18.3	Thermoplast-Schaumspritzgießen. . . . .	646
18.3.1	Formteilmgestaltung . . . . .	648
18.3.1.1	Wanddicken, Wanddickensprünge . . . . .	648
18.3.1.2	Rippen, Dome, Schnapphaken . . . . .	651
18.3.1.3	Fließhindernisse . . . . .	653

18.3.2	Angussystem .....	654
18.3.2.1	Balancierung des Angussystems .....	654
18.3.2.2	Angussbuchse .....	655
18.3.2.3	Anschnittarten .....	656
18.3.2.4	Lage der Anspritzpunkte .....	658
18.3.3	Temperierung beim Schaumspritzgießen .....	659
18.3.4	Entlüftung (vgl. Kapitel 9) .....	661
18.3.5	Werkzeugmaterialien beim Schaumspritzgießen .....	662
18.3.6	Möglichkeiten zur Verbesserung der Oberflächenqualität beim Schaumspritzgießen .....	662
18.3.6.1	„Atmendes“ Werkzeug .....	662
18.3.6.2	Gasgegendruckverfahren .....	665
18.3.6.3	Werkzeuginnendrücker beim Schaumspritzgießen ..	668
18.3.6.4	Verwendung von Oberflächenstrukturierungen ...	669
18.3.6.5	Verwendung von Beschichtungen im Werkzeug ...	669
18.3.6.6	Variotherme Temperierung .....	670
18.4	Spritzprägen .....	672
18.4.1	Verfahrensvarianten .....	673
18.4.2	Werkzeugtechnik für das Spritzprägen .....	676
18.4.3	Anwendungsgebiete, Vor- und Nachteile des Spritzprägens ...	677
18.5	Hinterspritzen .....	679
18.5.1	Einleitung .....	679
18.5.2	Einstufige Dekorationsverfahren .....	680
18.5.2.1	Textilhinterspritztechnik/Textilmelttechnik .....	680
18.5.2.2	In-Mold-Labeling (IML) .....	680
18.5.2.3	In-Mold-Decoration (IMD) .....	681
18.5.2.4	In-Mold-Decoration/Insert-Molding/Insert-Molding- Decoration .....	681
18.5.2.5	Folienhinterspritztechnik (FHST)/In-Mold-Surfacing Technik (ISF)/Paintless-Film-Molding/In-Mold- Decoration (IMD-3D/F) .....	681
18.5.2.6	In-Mold Coating (IMC)/In-Mold-Painting (IMP) ...	685
18.5.2.7	Mehrfarbenspritzgießen/In-Lay-Technik .....	685
18.5.2.8	Kombinierter Tiefzieh- und Hinterspritzprozesses ..	686
18.5.3	Werkzeugtechnik .....	687
18.6	Spritzgießen von Mikroformteilen [18.182] .....	693
18.6.1	Werkzeugtechnik und Prozessführung .....	695
18.6.2	Herstellungsverfahren für Mikrokavitäten .....	698
18.7	Flüssigsilikonverarbeitung [18.199] .....	699
18.7.1	Maschinen- und Anlagentechnik für die LSR-Verarbeitung ...	699
18.7.2	Werkzeugtechnik .....	701

18.8	Spritzgießen von überlangen und endlosen Bauteilen . . . . .	704
18.8.1	Prozessführung . . . . .	705
18.8.2	Werkzeugtechnik für das Exjection-Verfahren . . . . .	707
	Literatur Kapitel 18 . . . . .	709
<b>19</b>	<b>Messen in Spritzgießwerkzeugen . . . . .</b>	<b>723</b>
19.1	Werkzeuginnendrucksensoren . . . . .	724
19.1.1	Positionierung von Werkzeuginnendrucksensoren . . . . .	724
19.1.2	Sensoren zur Messung des Werkzeuginnendrucks . . . . .	725
19.1.2.1	Direkt messende Werkzeuginnendrucksensoren . . . . .	726
19.1.2.2	Indirekt messende Werkzeuginnendrucksensoren . . . . .	732
19.2	Temperatursensoren . . . . .	734
19.2.1	Temperatursensoren mit Schmelzekontakt . . . . .	734
19.2.1.1	Kontakttemperatursensoren . . . . .	735
19.2.1.2	IR-Sensoren . . . . .	736
19.3	Prozessoptimierung mit Werkzeuginnendrucksensoren . . . . .	737
19.4	Produktions-/Qualitätsüberwachung und Qualitätsdokumentation mit Sensoren . . . . .	742
19.4.1	Online-Qualitätsüberwachung auf der Basis von Prozessgrößen . . . . .	743
19.4.2	Online-Qualitätsüberwachung auf Basis von Qualitätsmodellen . . . . .	744
19.5	Eingebettete Datenerfassungs- und Diagnosesysteme in Spritzgießwerkzeugen . . . . .	745
19.6	Messtechnik beim Einfahren und zur praktischen Überprüfung von Spritzgießwerkzeugen im Betrieb [19.36] . . . . .	747
19.7	Einsatz der IR-Thermografie [19.36]. . . . .	749
19.7.1	Grundlagen . . . . .	749
19.7.2	Anwendungen der Thermografie bei Spritzgießwerkzeugen . . . . .	749
19.7.3	Ist-Analysen an Werkzeugen und Produktionsprozessen . . . . .	750
19.7.4	Werkzeugwandtemperatur/Formteilerflächentemperatur . . . . .	751
19.7.5	Einsatzmöglichkeiten von IR-Thermografie . . . . .	752
19.7.5.1	Thermografie der Formteile . . . . .	752
19.7.5.2	Thermografie an Werkzeugen . . . . .	753
19.7.6	Erkennung von Temperierfehler an Werkzeugen mittels IR-Thermografie . . . . .	753
19.7.6.1	Thermografie an Heißkanal-Systemen . . . . .	755
19.7.6.2	Verstopfte Kühlbohrungen . . . . .	756
19.7.7	Optimierungsbeispiel Stoßfänger . . . . .	756
	Literatur Kapitel 19 . . . . .	760

<b>20</b>	<b>Maßnahmen zur Beseitigung von Verarbeitungsfehlern beim Spritzgießen</b> .....	<b>765</b>
	Literatur Kapitel 20 .....	779
<b>21</b>	<b>Instandhaltung von Spritzgießwerkzeugen</b> .....	<b>781</b>
21.1	Instandhaltung .....	781
21.2	Vorgehensweise zur planmäßigen Werkzeug-Instandhaltung .....	783
21.2.1	Datenerfassung .....	783
21.2.2	Lagerung der Werkzeuge .....	785
21.2.3	Anforderungen an das Werkzeuglager .....	786
21.3	Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten .....	787
21.3.1	Pflege und Wartung der Werkzeugoberflächen .....	788
21.3.1.1	Wischen, Bürsten und Polieren .....	788
21.3.1.2	Reinigen durch Strahlen .....	789
21.3.1.2.1	Trocken-Nassdampf- oder Heißwassersprühstrahler .....	790
21.3.1.2.2	Organische Strahlmittel .....	790
21.3.1.2.3	Reinigen mit Trockeneis .....	790
21.3.1.2.4	Reinigen mit Laser .....	791
21.3.2	Reinigen mit Ultraschall .....	792
21.4	Pflege und Wartung der Temperiersysteme .....	793
21.5	Pflege und Wartung des Heiz- und Regelsystems .....	794
21.6	Pflege und Wartung des Angussystems .....	795
21.7	Pflege und Wartung von Gleitführungen .....	795
21.8	Pflegemaßnahmen vor der Einlagerung .....	796
21.9	Reparaturen und Änderungen an Spritzgießwerkzeugen .....	796
21.9.1	Mechanische Nacharbeit und Austausch von Teilen oder Baugruppen .....	797
21.9.2	Einsetzen oder Einlöten von Stiften oder Kernen .....	799
21.9.3	Reparaturen und Änderungen durch Materialauftrag .....	800
21.9.3.1	Laserstrahlschweißen .....	801
21.9.3.2	Elektrische Schweißverfahren .....	803
21.9.3.3	Werkzeugreparaturen mit „Plastik-Stahl“ .....	805
	Literatur Kapitel 21 .....	805
<b>22</b>	<b>Standardisierung – Werkzeugnormalien</b> .....	<b>809</b>
	Literatur Kapitel 22 .....	824
<b>23</b>	<b>Werkstoffe und Beschichtungen für den Werkzeugbau</b> .....	<b>825</b>
23.1	Stähle .....	826
23.2	Nichteisenmetallische Werkstoffe .....	829
23.2.1	Kupferlegierungen .....	829

23.2.2	Zink und dessen Legierungen . . . . .	831
23.2.3	Aluminiumlegierungen . . . . .	832
23.2.4	Zinn-Wismut-Legierungen . . . . .	835
23.2.5	Keramische Werkstoffe . . . . .	836
23.3	Galvanisch abgeschiedene Werkstoffe . . . . .	836
23.4	Oberflächenbehandlung von Stählen für Spritzgießwerkzeuge . . . . .	837
23.4.1	Generelle Hinweise . . . . .	837
23.4.2	Thermische Behandlungsverfahren . . . . .	839
23.4.3	Thermochemische Behandlungsverfahren . . . . .	839
23.4.3.1	Einsatzhärten . . . . .	839
23.4.3.2	Nitrieren . . . . .	841
23.4.3.3	Borieren . . . . .	842
23.4.4	Elektrochemische Behandlungsverfahren . . . . .	842
23.4.4.1	Hartverchromen . . . . .	843
23.4.4.2	Vernickeln . . . . .	843
23.4.5	Beschichten bei niedrigen Drücken . . . . .	844
23.4.5.1	Chemische Gasphasenabscheidung, CVD-Verfahren . . . . .	845
23.4.5.2	Physikalische Gasphasenabscheidung, PVD-Verfahren . . . . .	846
23.4.6	Laserstrahloberflächenbehandlung (LOB) . . . . .	849
23.4.6.1	Laserstrahlhärten und -umschmelzen . . . . .	850
23.4.6.2	Laserstrahllegieren, -dispergieren und -beschichten . . . . .	851
23.4.7	Lamcoat-Beschichtung . . . . .	851
	Literatur Kapitel 23 . . . . .	852
<b>24</b>	<b>Fertigungsverfahren für Spritzgießwerkzeuge . . . . .</b>	<b>857</b>
24.1	Spanende Bearbeitungsverfahren . . . . .	860
24.1.1	Zerspanung mit definierter Schneide . . . . .	860
24.1.1.1	Drehen . . . . .	860
24.1.1.2	Bohren . . . . .	861
24.1.1.3	Fräsen . . . . .	861
24.1.1.3.1	Konventionelle Fräsbearbeitung . . . . .	862
24.1.1.3.2	HSC-Fräsen . . . . .	863
24.1.1.3.3	Hartfräsen . . . . .	864
24.1.1.3.4	Fünfbearbeitung . . . . .	865
24.1.1.4	Verfahrensabgrenzung . . . . .	865
24.1.2	Zerspanung mit undefinierter Schneide . . . . .	866
24.1.2.1	Flachschleifen . . . . .	866
24.1.2.2	Koordinatenschleifen . . . . .	867
24.1.2.3	Strahlhäpchen . . . . .	867

24.1.2.4	Druckfließläppen.....	867
24.2	Abtragende Fertigungsverfahren .....	868
24.2.1	Funkenerosives Abtragen (EDM, Electric-Discharge-Machining)	868
24.2.1.1	Funkenerosives Senken .....	868
24.2.1.2	Funkenerosives Schneiden mit Drahtelektroden... ..	872
24.2.2	Abtragen durch elektrochemische Auflösung (ECM, Electric-Chemical-Machining) .....	873
24.2.2.1	Elektrochemisches Polieren.....	873
24.2.2.2	Elektrochemisches Ätzen.....	874
24.3	Polieren .....	877
24.3.1	Theorien zum Materialabtrag bei der Politur.....	877
24.3.2	Maschinensysteme .....	878
24.3.3	Aufbau und Zusammensetzung der Werkzeuge .....	879
24.3.3.1	Poliermittelträger .....	879
24.3.3.2	Poliermittel.....	880
24.4	Laser-Carving .....	881
24.5	Additive Fertigung für Spritzgießwerkzeuge.....	884
24.5.1	Einleitung .....	884
24.5.2	Direkte additive Fertigung.....	887
24.5.2.1	Stereolithographie.....	889
24.5.2.2	Poly-Jet-Verfahren für duroplastische Werkzeugeinsätze.....	890
24.5.2.3	Schmelzeschichten/Fused-Layer-Modeling.....	891
24.5.2.4	Selektives Lasersintern von Metallen.....	893
24.5.2.5	Selektives Laserschmelzen von Stählen und Metallen .....	895
24.5.2.6	Nachbearbeitung von additiv gefertigten Bauteilen .....	902
24.6	Hybride Fertigungsstrategien .....	902
24.7	Herstellung von Spritzgießformen und Formeinsätzen durch Gießen ..	904
24.7.1	Gießen in verlorenen Formen mit Dauermodellen .....	907
24.7.1.1	Sandgießen.....	907
24.7.1.2	Maskenformverfahren .....	909
24.7.1.3	Shaw-Verfahren .....	911
24.7.2	Gießen in verlorenen Formen mit verlorenen Modellen.....	911
24.7.2.1	Feingießen .....	911
24.7.2.2	Vollformgießen .....	913
24.7.2.3	Verfahren in Dauerformen.....	914
24.7.2.4	Kokillengießen.....	915
24.7.2.5	Druckgießen.....	915
24.7.2.6	Harzabgießen.....	917
24.7.2.7	Vakuumgießen.....	917

24.7.2.8	Metallspritzen .....	918
24.7.2.9	Galvanoformen .....	919
24.7.3	Wahl des Gießverfahrens beim Werkzeugbau .....	922
24.8	Einsenken .....	923
Literatur Kapitel 24 .....		927
<b>Stichwortverzeichnis .....</b>		<b>935</b>