

Siegfried Stitz
Walter Keller

Spritzgieß- technik

Verarbeitung – Maschine – Peripherie

2. Auflage

HANSER

Inhaltsverzeichnis

1 Spritzgießen von Thermoplasten	19
1.1 Wirtschaftliche Bedeutung des Spritzgießverfahrens	19
1.2 Einführung in den Verfahrensablauf	20
1.2.1 Plastifizieren und Dosieren	20
1.2.2 Einspritzen, Nachdrücken, Abkühlen, Entformen	21
1.2.3 Der Arbeitszyklus	22
1.2.3.1 Balkendiagramm	22
1.2.3.2 Weg-Zeit-Diagramm	22
1.2.3.3 Kreisdiagramm	23
1.3 Spritzgießsystem und Prozessvariable	26
1.3.1 Bestandteile	26
1.3.2 Definition des Prozesses	26
1.3.3 Einteilung der Prozessvariablen	26
1.3.3.1 Einstellgrößen	27
1.3.3.2 Störgrößen	29
1.3.3.3 Parameter	29
1.3.3.4 Ausgangsgrößen	29
1.3.3.5 Zielgrößen	29
1.4 Rheologische Grundlagen	30
1.4.1 Schichtmodell der Scherströmung	30
1.4.2 Basisgrößen	31
1.4.2.1 Schubspannung	31
1.4.2.2 Scher- und Deformationsgeschwindigkeit	32
1.4.3 (Scher-)Viskosität	32
1.4.3.1 Strukturviskosität	33
1.4.3.2 Einflussgrößen	33
1.4.3.3 Ermittlung des viskosen Fließverhaltens	35
1.4.4 Druckverluste und Druck	36
1.4.4.1 Hagen-Poiseuillesche Gesetze	37
1.4.4.2 Druck	37
1.5 Formmasse	38
1.5.1 Darbietungsformen	40
1.5.2 Fließfähigkeit	40
1.5.3 Thermische Beständigkeit	41
1.5.4 Wassergehalt	42
1.5.4.1 Problematik	42
1.5.4.2 Feuchtebestimmung	43
1.5.5 Einfärben	43
1.5.5.1 Grundsätzliche Möglichkeiten	43
1.5.5.2 Masterbatch	44
1.5.5.3 Wirtschaftlichkeitsaspekte der Selbsteinfärbung	44

1.5.6	Recycling im Spritzgießbetrieb	45
1.5.6.1	Verwendbarkeit von Mahlgut	45
1.5.6.2	Bestimmung der Anteile von Originalmaterial und Mahlgut	45
1.5.6.3	Einfluss des Mahlguts auf die Verarbeitung	46
1.6	Plastifizierung	46
1.6.1	Funktionen der Schnecke	46
1.6.2	Plastifiziervorgang	46
1.6.2.1	Aufschmelzvorgang	46
1.6.2.2	Strömungsformen	47
1.7	Formteilbildung	49
1.7.1	Druckverlauf in Maschine und Werkzeug	49
1.7.1.1	Druckanstieg	49
1.7.1.2	Druckabbau	52
1.7.1.3	Gemessene Druckverläufe aus der Praxis	54
1.7.1.4	Druckverlauf längs und quer zum Fließweg	58
1.7.1.5	Kenngrößen des Forminnendrucks	58
1.7.1.6	Steuerung des Druckverlaufs	59
1.7.2	Temperaturen bei der Formteilbildung	67
1.7.2.1	Temperaturerhöhung durch Reibung	68
1.7.2.2	Abkühlung durch Wärmeleitung	69
1.7.2.3	Stoffwerte	75
1.7.2.4	Temperaturen beim Füllen	77
1.7.2.5	Abkühlung der Masse nach dem Füllen	79
1.7.2.6	Entformungstemperatur	80
1.7.2.7	Werkzeugtemperatur	82
1.7.2.8	Steuerung des Massetemperaturverlaufs im Werkzeug	85
1.7.3	Veränderungen des Werkzeugvolumens	85
1.7.3.1	Werkzeugatmung	85
1.7.3.2	Folgen für Qualität und Fertigung	86
1.7.3.3	Gemessene Verformungen	87
1.7.4	Formteilbildung im p-v- ϑ -Diagramm	90
1.7.4.1	Töpfchenmodell	90
1.7.4.2	Spezifisches Volumen	91
1.7.4.3	p-v- ϑ -Diagramme	91
1.7.4.4	Alternative Beschreibungsmöglichkeiten	93
1.7.4.5	Einfluss der Abkühlgeschwindigkeit	93
1.7.4.6	p-v- ϑ -Messmethoden	95
1.7.4.7	Zustandskurve	96
1.8	Qualität der Formteile	98
1.8.1	Formteilgewicht als Maß der Verdichtung	98
1.8.2	Schwindung	98
1.8.2.1	Maßänderungsverhalten von Spritzgussteilen	99
1.8.2.2	Definitionen	99
1.8.2.3	Bedeutung der Schwindung	100
1.8.2.4	Volumenschwindung	100
1.8.2.5	Einflussgrößen	102
1.8.2.6	Von der Volumen- zur Maßschwindung	103
1.8.2.7	Komplikationen der Wirklichkeit	106
1.8.2.8	Schwindungs- und Verzugsberechnung mit Simulationsprogrammen	106
1.8.2.9	Schwindungswerte für die Werkzeugauslegung	107

1.8.3	Verzug	107
1.8.3.1	Definition	107
1.8.3.2	Labiler und stabiler Verzug	107
1.8.3.3	Ursachen	108
1.8.3.4	Verzugsanalyse	112
1.8.3.5	Maßnahmen zur Verringerung von Verzügen	115
1.8.4	Molekulare Orientierungen	116
1.8.4.1	Definition	116
1.8.4.2	Einfluss auf die Formteileigenschaften	116
1.8.4.3	Ziel für den Spritzgießer	116
1.8.4.4	Entstehung von Orientierungen	116
1.8.4.5	Rückstellung von Orientierungen	118
1.8.4.6	Nachweis von Orientierungen	120
1.8.4.7	Orientierungszustand im Spritzgussteil	120
1.8.4.8	Einfluss der Einstellgrößen	123
1.8.5	Orientierungen von Füll- und Verstärkungsstoffen	125
1.8.5.1	Glasfasergröße	126
1.8.5.2	Einfluss auf die Formteileigenschaften	126
1.8.5.3	Faserorientierungen im Spritzgussteil	126
1.8.5.4	Oberflächenbeschaffenheit	128
1.8.5.5	Schwindungsverhalten in Faserrichtung und quer dazu	129
1.8.5.6	Beeinflussung der Faserorientierung	129
1.8.6	Eigenspannungszustand in Spritzgussteilen	130
1.8.6.1	Definition	130
1.8.6.2	Ursachen	131
1.8.6.3	Nachweis	133
1.8.6.4	Reduzierung von Spannungen	135
1.8.7	Spannungsrisse	135
1.8.7.1	Erscheinungsbild	135
1.8.7.2	Ursachen	135
1.8.7.3	Nachweis	136
1.8.7.4	Beeinflussung	136
1.8.8	Kristallines Gefüge von Spritzgussteilen	136
1.8.8.1	Kristallinität bei Kunststoffen	136
1.8.8.2	Entstehung von kristallinem Gefüge	137
1.8.8.3	Gefügebau im Querschnitt von Spritzgussteilen	138
1.8.8.4	Bestimmung des Kristallisationsgrades	139
1.8.8.5	Einfluss der Teilkristallinität auf die Formteileigenschaften	139
1.8.8.6	Einfluss der Verarbeitungsbedingungen	140
1.8.9	Spritzfehler	141
1.9	Qualitätssicherung in der Produktion	145
1.9.1	Definitionen	145
1.9.1.1	Qualität	145
1.9.1.2	Qualitätssicherung	145
1.9.1.3	Qualitätssicherungssysteme	146
1.9.2	Statistische Prozesskontrolle (SPC)	147
1.9.2.1	Normalverteilung	147
1.9.2.2	Maschinenfähigkeit	148
1.9.2.3	Qualitätsregelkarte	149
1.9.2.4	Eingriffsgrenzen	149
1.9.2.5	Prozessfähigkeit	151

1.9.2.6	Zielsetzung von SPC	151
1.9.2.7	Grenzen der Anwendbarkeit von SPC-Methoden	152
1.9.3	Spritzgießspezifische Qualitätssicherung	152
1.9.3.1	Prozessdokumentation	152
1.9.3.2	Überwachung von Prozessparametern	153
1.9.3.3	Auswahl der Überwachungsgrößen	153
1.9.3.4	Überwachungsgrenzen	156
1.10	Optimierungsstrategien	156
1.10.1	Programmierung der Einstelllogik	156
1.10.2	Thermodynamische Prozessführung	157
1.10.2.1	Prinzipien der thermodynamischen Prozessführung	157
1.10.2.2	Aufgabengrößen	157
1.10.2.3	Optimierungsmöglichkeiten	158
1.10.2.4	Reproduktion und Regelung der Formteilbildung mit Hilfe der Zustandsgrößen	158
1.10.3	Evolutionsstrategie	160
1.10.4	Statistische Verfahren	160
1.10.5	Kombinierte Verfahren	161
1.10.6	Schalenmodell	161
1.11	Sonderverfahren	162
1.11.1	Mehrkomponentenspritzgießen	162
1.11.1.1	Über- oder Aneinanderspritzen (Overmolding)	162
1.11.1.2	Spritzgießen beweglicher Teile	165
1.11.1.3	Werkstoffpaarungen	167
1.11.1.4	Sandwichspritzgießen oder Coinjektionsverfahren	168
1.11.1.5	Marmorieren	170
1.11.1.6	Biinjektion	171
1.11.2	Gegentaktpritzgießen	171
1.11.2.1	Gegentaktpritzgießen mit zwei Werkstoffen	171
1.11.2.2	Gegentaktpritzgießen mit einem Werkstoff	172
1.11.3	Fluidinjektionsverfahren	172
1.11.3.1	Gasinjektionstechnik	172
1.11.3.2	Gashinterdrucktechnik	177
1.11.3.3	Wasserinjektionstechnik	177
1.11.4	Hinterspritztechnik	178
1.11.4.1	Hinterspritzen von Kunststoff-Folien oder Papier	178
1.11.4.2	Hinterspritzen von Textilien	182
1.11.4.3	Wirtschaftlichkeit der Hinterspritztechniken	185
1.11.5	Kaskadenspritzgießen	186
1.11.6	Herstellung von Schaltungsträgern (MID)	187
1.11.7	Spritzen von Hybridteilen	188
1.11.7.1	Umspritzen von Einlegeteilen	188
1.11.7.2	Anspritzen an Einlegeteile	191
1.11.7.3	Hybride Strukturbauteile	192
1.11.8	Reduzierte Wanddicken und Mikrospritzguss	194
1.11.8.1	Dünnwandtechnik	194
1.11.8.2	Herstellung von Chipkarten	194
1.11.8.3	Spritzgießen von optischen Datenträgern	195
1.11.8.4	Abformen von Mikrostrukturen	198
1.11.8.5	Mikroformteile	200

1.11.9	Pulverspritzgießen	200
1.11.9.1	Produkte	200
1.11.9.2	Herstellverfahren	201
1.11.9.3	Materialien	202
1.11.10	Magnesiumspritzgießen	202
1.11.11	Thermoplast-Schaumguss (TSG)	203
1.11.11.1	Grundlegende Vor- und Nachteile	203
1.11.11.2	Verfahrenstechnik	204
1.11.11.3	Neue Wege	204
1.11.12	Spritzprägen	204
1.11.13	Spritzblasen	205
1.11.14	Intrusion	206
2	Spritzgießen vernetzender Polymere	207
2.1	Zur Entwicklungsgeschichte	207
2.1.1	Entwicklung der Duroplaste und ihrer Verarbeitung	207
2.1.2	Kautschukgeschichte	209
2.2	Struktur und Eigenschaften von Polymeren	209
2.3	Duroplaste	210
2.3.1	Typisierung der Formmassen	210
2.3.2	Phenolharz-Formmassen (PF)	211
2.3.3	Harnstoffharz-Formmassen (UF)	213
2.3.4	Melaminharz-Formmassen (MF)	214
2.3.5	Epoxidharz-Formmassen (EP)	214
2.3.6	Diallylphthalat-Formmassen	215
2.3.7	Feuchtpolyesterharz-Formmassen	216
2.3.8	Trockenpolyesterharz-Formmassen (GMC)	217
2.3.9	Polyimid-Formmassen	218
2.3.10	Übersicht über wichtige Materialdaten	218
2.4	Elastomere	220
2.4.1	Kautschuk	220
2.4.2	Gummi	221
2.4.3	Silikone	222
2.4.4	HTV-Silikonformmassen	223
2.4.5	Flüssigsilikonkautschuke LSR	223
2.5	Verfahrenstechnik	224
2.5.1	Grundlegende Unterschiede zum Spritzgießen von Thermoplasten	224
2.5.2	Aufbereitung der Formmassen	225
2.5.2.1	Aufbereitung von duroplastischen Formmassen	225
2.5.2.2	Aufbereitung von Kautschuk	226
2.5.3	Darbietungsformen	227
2.5.4	Fließ-/Vernetzungsverhalten	228
2.5.4.1	Viskositätsverlauf bei der Verarbeitung	228
2.5.4.2	Steuerung des Fließ-/Vernetzungsverhaltens	229
2.5.5	Temperaturführung	231
2.5.6	Besonderheiten der Plastifizierung	233
2.5.7	Einspritzphase	234
2.5.8	Nachdruck	236

2.5.9	Heiz-/Kühlzeit	236
2.5.10	Forminnendruckverlauf bei reagierenden Formmassen	238
2.5.11	Entlüften/Evakuieren der Werkzeuge	239
2.5.12	Spritzprägen von Duroplasten	240
2.5.13	Feuchtpolyesterverarbeitung	242
2.5.14	Faserorientierungen, Schwindung und Verzug bei Duroplasten	243
2.5.15	Typische Verarbeitungsprobleme bei Duroplasten und Gegenmaßnahmen ...	245
2.6	Herstellverfahren für Gummiformteilen	247
3	Die Thermoplast-Spritzgießmaschine	249
3.1	Geschichtliches	249
3.2	Zur wirtschaftlichen Bedeutung	250
3.2.1	Markt	250
3.2.2	Angebot	250
3.3	Normen	251
3.3.1	EUROMAP	251
3.3.2	Andere Normen	252
3.3.3	Klassifizierung der Maschinen	252
3.4	Maschinenaufbau	253
3.5	Plastifizier- und Spritzaggregat	254
3.6	Massezylinder	255
3.6.1	Beheizung des Massezylinders	255
3.6.2	Temperaturmessung	256
3.6.3	Einzugstasche	257
3.6.4	Zylinderkopf	257
3.6.5	Düsen	257
3.6.5.1	Offene Düse	258
3.6.5.2	Verschlussdüsen	258
3.6.6	Sonderdüsen	260
3.6.7	Ankoppelung der Düse an das Werkzeug	261
3.6.8	Beheizung und Messeinrichtung	262
3.7	Schnecken und Zubehör	262
3.7.1	Standardschnecke	263
3.7.2	Schnecken für spezielle Thermoplaste	265
3.7.3	Barriereschnecken	266
3.7.4	Entgasungsschnecken	267
3.7.5	Schneckenspitzen	267
3.7.6	Rückströmsperren	268
3.8	Schneckenantrieb	269
3.8.1	Ausführungsformen	269
3.8.2	Axialantrieb	270
3.8.3	Rotatorischer Schneckenantrieb	270
3.8.3.1	Elektromotorischer Schneckenantrieb	271
3.8.3.2	Hydromotorischer Schneckenantrieb	271
3.9	Führung und Betätigung des Aggregats	272

3.10	Andere Spritz- und Plastifiziereinheiten	273
3.10.1	Kolbenplastifizieraggregat	273
3.10.2	Schneckenvorplastifizierung mit Kolbeneinspritzung	273
3.11	Leistungsdaten der Spritzaggregate	274
3.11.1	Hubvolumen, Schussgewicht	274
3.11.2	Einspritzleistung	275
3.11.3	Einspritzstrom	275
3.11.4	Plastifizierstrom	276
3.11.5	Plastifizierleistung	276
3.12	Verschleiß	276
3.12.1	Abrasiver Verschleiß	276
3.12.2	Adhäsiiver Verschleiß	277
3.12.3	Kavitation	277
3.12.4	Korrosion	277
3.12.5	„Fressen“	277
3.12.6	Verschleißschutz	277
3.13	Schließenheit	278
3.13.1	Funktionen	278
3.13.2	Mechanische Zuhaltung (formschlüssige Verriegelung)	279
3.13.2.1	Kinematik	279
3.13.2.2	Bauarten	280
3.13.2.3	Schließ- und Zuhaltekraft bei mechanischen Schließenheiten	283
3.13.3	Hydraulische Schließenheiten	284
3.13.3.1	Vollhydraulische Schließenheiten	284
3.13.3.2	Schließ- und Zuhaltekraft bei hydraulischen Schließenheiten	285
3.13.3.3	Hydraulische Schließenheit mit mechanischer Verriegelung	286
3.13.4	Zwei-Plattenschließenheit	286
3.13.4.1	Prinzip	286
3.13.4.2	Bauarten	287
3.13.5	Holmlose Schließenheiten	289
3.13.5.1	C-Rahmen	290
3.13.5.2	H-Rahmen	291
3.13.6	Verformungsverhalten von Aufspannplatten	292
3.13.7	Führungen	292
3.13.8	Vergleich der Schließsysteme	293
3.13.8.1	Schließ- und Zuhaltekraft	293
3.13.8.2	Trockenlaufzeiten	293
3.13.8.3	Krafteinleitung und Plattenverformungen	293
3.13.8.4	Gesamtvergleich	294
3.13.9	Werkzeugsicherung	295
3.13.10	Auswerfer	295
3.14	Maschinenständer	295
3.14.1	Aufgaben des Ständers	295
3.14.2	Ausführung	296
3.15	Sicherheitseinrichtungen	296
3.15.1	Notwendigkeit	296
3.15.2	Verschaltungen	297
3.15.3	Steuerungstechnische und hydraulische Sicherheitseinrichtungen	297

3.16	Hydraulische Antriebe	298
3.16.1	Grundlagen	298
3.16.1.1	Hydraulikkreislauf	298
3.16.1.2	Sinnbilder für hydraulische Bauelemente und Schaltpläne	300
3.16.2	Elemente der Hydraulik	302
3.16.2.1	Hydropumpen und -motoren	302
3.16.2.2	Hydrozylinder (Linearmotor)	305
3.16.2.3	Sperrventile	306
3.16.2.4	Druckventile	307
3.16.2.5	Stromventile	309
3.16.2.6	Wegeventile	310
3.16.2.7	Proportionalventile	311
3.16.2.8	Servoventile	313
3.16.2.9	Hydrospeicher	313
3.16.2.10	Verkettung	314
3.16.2.11	Ölversorgungssystem	314
3.16.3	Prinzipielle Steuer-, Regelkonzepte für Druck- und Volumenstrom	315
3.16.4	Hydraulische Verbraucher einer Spritzgießmaschine	318
3.16.5	Antriebssysteme mit zentraler Druck- und Mengensteuerung	318
3.16.5.1	Einkreisssysteme	318
3.16.5.2	Zweikreisssysteme	320
3.16.6	Dezentrale Druck- und Mengensteuerung	321
3.17	Elektrische Direktantriebe	322
3.17.1	Servomotoren	323
3.17.2	Umsetzung der Drehbewegung in translatorische Bewegungen	323
3.17.3	Antriebseinheiten einer vollelektrischen Spritzgießmaschine	325
3.17.3.1	Schneckenrotation	325
3.17.3.2	Bewegung des Spritzaggregats	325
3.17.3.3	Einspritzen	326
3.17.3.4	Schließeinheit	326
3.17.3.5	Auswerfer	327
3.17.3.6	Kernzüge	327
3.17.4	Vergleich mit hydraulischen Antrieben	327
3.17.4.1	Vorteile	327
3.17.4.2	Nachteile	328
3.18	Hybridantriebe	328
3.19	Zum Energieverbrauch von Spritzgießmaschinen	329
3.19.1	Energieverbrauch während des Zyklus	329
3.19.2	Aufteilung der installierten Leistung	330
3.19.3	Spezifischer Energieverbrauch	331
3.19.4	Energiekosten	331
3.19.4.1	Einflussgrößen	331
3.19.4.2	Preis der kWh	332
3.19.5	Anteil an den Fertigungskosten	332
3.19.6	Energieverbrauchsmessung	333
3.20	Die Maschinensteuerung	334
3.20.1	Aufgaben der Maschinensteuerung	334
3.20.2	Steuerungshardware	334

3.20.2.1	Zentraleinheit	335
3.20.2.2	Temperaturregler	336
3.20.2.3	Geschwindigkeits- und Druckregler	336
3.20.2.4	Eingangsbaugruppen	336
3.20.2.5	Ausgangsbaugruppen	336
3.20.2.6	Messwertverstärker und Wandlerbaugruppen	337
3.20.2.7	Sensoren	337
3.20.2.8	Schnittstellen	338
3.20.3	Software	338
3.20.3.1	Steuerungssoftware	338
3.20.3.2	Bedienungsrechnersoftware	339
3.20.4	Regler	340
3.20.5	Prozessregelsysteme	340
3.21	Bauarten von Spritzgießmaschinen	341
3.21.1	Arbeitsstellungen von Spritzgießmaschinen	341
3.21.2	Vertikalmaschinen	341
3.21.3	Mehrkomponentenspritzgießmaschinen	343
3.21.4	Mikrospritzgießmaschinen	343
4	Maschinen für die Verarbeitung vernetzender Formmassen	347
4.1	Duroplastspritzgießmaschinen	347
4.1.1	Unterschiede von Duroplast- gegenüber Thermoplastspritzgießmaschinen	347
4.1.2	Einzughilfen	349
4.1.3	Spritzaggregat	350
4.1.4	Schließeinheit	352
4.1.5	Entformungshilfen und Werkzeugreinigungsgeräte	353
4.1.6	Steuerung	354
4.1.7	Verschleiß an Spritzgießmaschinen	355
4.1.7.1	Verschleißzonen	355
4.1.7.2	Verschleißmindernde Maßnahmen	356
4.1.7.3	Verschleißende Wirkung von Duroplastformmassen	356
4.1.8	Spritzgießmaschinen für die Verarbeitung von Feuchtpolyester	357
4.1.8.1	Schließeinheit von DMC-Maschinen	357
4.1.8.2	DMC-Spritzaggregate	357
4.2	Maschinen für die Kautschukverarbeitung	360
4.2.1	Plastifizier- und Einspritzaggregat	361
4.2.2	Besonderheiten der Schließeinheiten	363
4.3	Spritzgießmaschinen für Flüssigsilikonkautschuke	363
4.4	Einrichtungen zur Entfernung von Graten und Angüssen	364
5	Peripheriegeräte – Automation	367
5.1	Geräte im Überblick	369
5.2	Materialversorgung	369
5.2.1	Gebinde und Lagerung	369
5.2.2	Trockner	369
5.2.3	Fördersysteme	371

5.2.4	Dosierer, Mischer, Einfärbegeräte	373
5.2.5	Angussrecycling	373
5.2.6	Metallabscheider	375
5.3	Formteilhandling	376
5.3.1	Manuelle Entnahme	376
5.3.2	Fallentnahme/Schüttguthandhabung	376
5.3.2.1	Pufferung	378
5.3.2.2	Vereinzeln und Ausrichten	378
5.3.3	Kontrollierter Fall	378
5.3.4	Handhabungsgeräte und Industrieroboter	379
5.3.4.1	Freiheitsgrade und Achsenbezeichnung	379
5.3.4.2	Bauarten	380
5.3.4.3	Gerätebeispiele	382
5.3.4.4	Spezifikation von Handlinggeräten	383
5.4	Angusshandling	384
5.5	Betriebsmittel	384
5.5.1	Werkzeuge	384
5.5.2	Werkzeugwechselsysteme	384
5.5.2.1	Konventioneller Rüstvorgang	386
5.5.2.2	Schnellspannvorrichtungen	386
5.5.2.3	Kupplungen	389
5.5.2.4	Werkzeugschnellwechselsysteme	390
5.5.3	Zubehör zur Werkzeugsicherung	392
5.5.4	Temperiergeräte	392
5.5.4.1	Direkte Wasserkühlung	393
5.5.4.2	Heiz-/Kühlgeräte	395
5.5.4.3	Betriebswasser-Kühlsysteme	397
5.5.4.4	Heißkanalregler	398
5.5.5	Geräte für die Qualitätssicherung	398
5.5.6	Reinräume	399
5.5.6.1	Reinraumklassen	399
5.5.6.2	Reinraumgeräte	399
5.5.7	Trockenluftgeräte	401
5.6	Automatische Produktionsanlagen	401
5.6.1	Flexible Fertigungszellen	401
5.6.2	Flexible Fertigungssysteme	403
5.7	Informationsver- und -entsorgung	403
5.7.1	Versorgung mit Einstelldaten	404
5.7.2	Betriebsdatenerfassung (BDE)	405
5.7.3	On-line-Qualitätsüberwachung	406
5.7.4	Computerintegrierte Fertigung (CIM)	406
6	Einführung in die Werkzeugtechnik	409
6.1	Bezeichnungen	409
6.2	Funktion	410

6.3	Anguss	410
6.3.1	Bezeichnungen	411
6.3.2	Anforderungen	411
6.3.3	Angussarten	412
6.3.3.1	Angüsse mit großflächigen Anschnitten	412
6.3.3.2	Angüsse mit punktförmigen Anschnitten	413
6.3.3.3	Nach der Temperierung benannte Angüsse	414
6.4	Entlüftung	416
6.4.1	Gestaltungsmöglichkeiten von Entlüftungen	416
6.4.2	Evakuierung	417
6.5	Temperierung	417
6.5.1	Anforderungen an die Werkzeugtemperierung	417
6.5.2	Wärmebilanz	417
6.5.3	Wärmeübergang zum Temperiermedium	419
6.5.4	Temperierkanäle	420
6.5.4.1	Grundsätzliche Fertigungsmöglichkeiten	420
6.5.4.2	Temperierkanäle in Platten	420
6.5.4.3	Temperierkanäle in Kernen	420
6.5.4.4	Temperierkanäle um Gesenke	421
6.5.4.5	Schaltung von Temperierkreisläufen	422
6.5.4.6	Dichtungen	422
6.5.4.7	Anschlüsse und Zuführungen	422
6.6	Entformung	423
6.6.1	Auswerferarten	424
6.6.1.1	Auswerferstifte	424
6.6.1.2	Abstreifelemente	425
6.6.1.3	Luftauswerfer	425
6.6.1.4	Betätigung von Auswerfern	425
6.6.2	Entformung äußerer Hinterschneidungen	426
6.6.2.1	Außenschieber	426
6.6.2.2	Backen	427
6.6.3	Entformung innerer Hinterschneidungen	428
6.6.3.1	Innenschieber	428
6.6.3.2	Ausschraubwerkzeuge	430
6.7	Führungen und Zentrierungen	430
7	Wirtschaftlichkeit und Kostenrechnen	433
7.1	Festlegung des Produktionskonzepts	435
7.1.1	Werkzeugkonzept	435
7.1.1.1	Kavitätenzahl	435
7.1.1.2	Qualitätsstandard	435
7.1.1.3	Angussystem	436
7.1.2	Definition der Spritzgießmaschine	436
7.1.2.1	Bestimmung der minimalen Schließkraft	436
7.1.2.2	Mindestgröße von Spritzaggregat und Schnecke	439
7.1.2.3	Maschinenantrieb	440
7.1.3	Abschätzung der Zykluszeit	441
7.1.3.1	Schließen und Öffnen des Werkzeugs	442

7.1.3.2	Einspritzen	443
7.1.3.3	Kühlzeit inkl. Nachdruckzeit	443
7.1.3.4	Nachdruck- und Plastifizierzeit	444
7.1.3.5	Auswerfen	445
7.1.3.6	Teilentnahme („Pause“)	446
7.2	Abschätzung der Rohmaterial- und Investitionskosten	446
7.2.1	Rohmaterialkosten	446
7.2.2	Beschaffungskosten für Spritzgießmaschine und Peripherie	447
7.2.3	Werkzeugkosten	447
7.3	Kostenkalkulation	448
7.3.1	Methoden der Kostenrechnung	448
7.3.2	Zuschlagskalkulation	448
7.3.2.1	Materialkosten pro Los	449
7.3.2.2	Direkte Maschinenkosten pro Los	449
7.3.2.3	Direkte Lohnkosten pro Los	450
7.3.2.4	Fertigungsgemeinkosten	450
7.3.2.5	Werkzeugkosten pro Los	450
7.3.2.6	Herstellkosten	451
7.3.2.7	Selbstkosten	451
7.3.2.8	Netto-Verkaufspreis pro Stück	451
7.4	Möglichkeiten der Kostenreduktion	452
	Literaturverzeichnis	455
	Stichwortverzeichnis	461