

Friedrich Johannaber
Walter Michaeli

Handbuch Spritzgießen

Mit 738 Abbildungen

2. Auflage

HANSER

Inhalt

Einleitung	7
1 Geschicht des Spritzgießens	
1.1 Historische, maschinentechnische und werkstofftechnische Aspekte der Entwicklung des Spritzgießens	10
1.1 Die industrielle Entwicklung des Spritzgießens	12
1.2.1 Die Entwicklung der Schneckeneinspritzung	20
Literatur zu Kapitel 1	29
2 Wirtschaftliche Bedeutung des Spritzgießens	
2.1 Maschinenmarkt	35
Literatur zu Kapitel 2	38
3 Werkstoffe für das Spritzgießen	
3.1 Kurzzeichen für Kunststoffe nach DIN 7728 T.1(01.88) ISO 1043-1987(E)	41
3.2 Kennzeichnung von Kunststoffen	44
3.3 Die Kunststoffe	49
3.3.1 Thermoplaste	49
3.3.2 Duroplaste	52
3.3.3 Elastomere	52
3.4 Kunststoffe zum Spritzgießen	56
3.4.1 Thermoplaste für das Spritzgießen	57
3.4.1.1 Polymerisate	68
3.4.1.1.1 Polystyrol (PS) (DIN 7741, VDI/VDE 2471)	68
3.4.1.1.2 Schlagzäh modifiziertes Polystyrol (SB) (DIN 16771)	70
3.4.1.1.3 Acrylnitril-Butadien-Styrol (ABS) (DIN 16772)	71
3.4.1.1.4 Styrol-Acrylnitril-Copolymer (SAN) (DIN 16777)	72
3.4.1.1.5 Polymethylmethacrylat (PMMA) (DIN 7745)	73
3.4.1.1.6 Polyethylen (PE) (DIN 16776)	74
3.4.1.1.7 Polypropylen (PP) (DIN 16776)	75
3.4.1.1.8 Thermoplastische Elastomere (TPE)	77
3.4.1.1.9 PP/EPDM-Elastomerblend	78
3.4.1.1.10 Polyetherblockamid (PEBA)	78
3.4.1.1.11 Thermoplastisches Polyurethan	79
3.4.1.1.12 Polyester-Blockpolymere, Polyesterelastomere (TPE-E)	79
3.4.1.1.13 Ethylen-Vinyacetat-Copolymer (EVA)	80
3.4.1.1.14 Ethylenkopolymere	80
3.4.1.1.15 Polyacetal (POM)	81
3.4.1.1.16 Polytetrafluorethylen (PTFE)	81
3.4.1.1.17 Polyvinylchlorid (PVC)	82
3.4.1.1.18 Polyvinylidenfluorid (PVDF)	83
3.4.1.2 Polykondensate	84
3.4.1.2.1 Polyamid (DIN 16773)	84
3.4.1.2.2 Polyphthalimid (PPA)	86
3.4.1.2.3 Polycarbonat (PC)	87

3.4.1.2.4	Polyethylenterephthalat (PET)	88
3.4.1.2.5	Polybutylenterephthalat (PBT)	89
3.4.1.2.6	Polyarylat (PAR)	90
3.4.1.2.7	Flüssigkristalline Polymere/LCP-Polyester	90
3.4.1.2.8	Polysulfone (PSU)	91
3.4.1.2.9	Polyarylethersulfon (PAS)	92
3.4.1.2.10	Polyphenylensulfid (PPS)	92
3.4.1.2.11	Polyaryletherketone (PEK, PEEK, PAEK)	93
3.4.1.2.12	Polyimide/Polyamidimid (PAI)	94
3.4.1.2.13	Polyetherimid (PEI)	94
3.4.1.3	Abgewandelte Naturstoffe	95
3.4.1.3.1	Celluloseester (CA, CP, CAB)	95
3.4.1.4	Polymerblends	96
3.4.1.4.1	ABS/PA-Blend	97
3.4.1.4.2	PC/ABS-Blend	97
3.4.1.4.3	PC/LCP-Blend	97
3.4.1.4.4	PC/PET-Blend	98
3.4.1.4.5	Polyphenylenether (PPE, PPE _{mod} und PS)	98
3.4.2	Duroplaste	98
3.4.2.1	Duroplastische Polykondensate für das Spritzgießen	98
3.4.2.1.1	Phenol/Formaldehyd-Kunststoffe (PF)	98
3.4.2.1.2	Harnstoff/Formaldehyd-Kunststoffe (UF)	99
3.4.2.1.3	Melamin/Formaldehyd-Kunststoffe (MF)	99
3.4.2.1.4	Ungesättigte Polyester (UP)	99
3.4.2.2	Duroplastische Polyaddukte	100
3.4.2.2.1	Epoxidharz	100
3.4.3	Silikone (LSR, Liquid Silicone Rubber)	100
3.4.4	Andere Werkstoffe zum Spritzgießen	102
3.4.4.1	Metallpulver-Spritzgießmassen	102
3.4.4.2	Keramik-Formmassen	102
3.4.4.3	Abbaubare spritzgießfähige Werkstoffe	104
3.4.4.4	Biologisch abbaubare Polymerwerkstoffe	105
3.4.4.5	Abbaubares thermoplastisches Holz	105
3.5	Modifikation der Eigenschaften von Kunststoffen	106
3.5.1	Elektrisch leitfähige Modifikation von Kunststoffen	106
3.5.2	Kunststoffgebundene Dauermagnete	108
3.5.3	Pulvermassen für das Spritzgießen von Metall- oder Keramikteilen	110
3.5.4	Zusatzstoffe für Thermoplaste (Hilfsstoffe, Füll- und Verstärkungsstoffe)	113
3.5.4.1	Hilfsstoffe	114
3.5.4.1.1	Gleitmittel, Trennmittel	114
3.5.4.1.2	Stabilisatoren	115
3.5.4.1.3	Antistatika	115
3.5.4.1.4	Antioxidantien	116
3.5.4.1.5	Flammschutzmittel	116
3.5.4.1.5	Farbmittel	116
3.5.4.2	Füllstoffe und Verstärkungsmittel	117
3.5.4.2.1	Füllstoffe (Extender-Füllstoffe)	117
3.5.4.2.2	Verstärkungsmittel	118
3.6	Werkstoffkennwerte	119
3.6.1	Kennwerte für den Vergleich von Kunststoffen	119
3.6.2	Herstellung von Probekörpern	127

3.7	Datenbanken	134
3.7.1	Werkstoffdatenbanken	134
3.7.1.1	Produktinformationssysteme	135
3.7.1.2	Kommerzielle Systeme	137
3.7.2	Konstruktionsdatenbanken	139
3.7.3	Datenbanken zu speziellen Gebieten	140
3.7.3.1	Datenbanken zur Medienbeständigkeit	140
3.7.3.2	Herstellerdatenbanken	141
3.7.3.3	Patentdatenbanken	141
3.7.4	Literaturdatenbanken	141
3.8	Kennwerte zum Spritzgießen von Kunststoffen	143
3.8.1	Viskositätskennwerte	143
3.8.1.1	Lösungsviskosität	145
3.8.1.2	Melt Flow Index	146
3.8.1.3	Viskositätsfunktionen gemessen mit dem Hochdruckkapillarviskosimeter	148
3.8.1.4	Fließweg/Wanddicken-Diagramme	148
3.8.1.5	FließIndex, Füllindex, Fülldruck, Arbeitsintegral, Einspritzintegral, Einspritzarbeit	149
3.8.2	Inline-Messungen der Viskosität	158
	Literatur zu Kapitel 3	158

4 Verarbeitungsdaten

4.1	Verarbeitungsdaten für Thermoplaste	166
4.1.1	Zeiten	166
4.1.1.1	Kühlzeit	166
4.1.1.2	Einspritzzeit	168
4.1.2	Temperaturen	168
4.1.3	Druckwerte	171
4.1.4	Einspritzgeschwindigkeit	175
4.2	Verarbeitungsdaten für Duroplaste	175
4.3	Verarbeitungsdaten für Elastomere	176
4.4	Verarbeitungsdaten für sonstige Werkstoffe (Keramik, Metallpulver)	177
	Literatur zu Abschnitt 4.1 bis 4.4	178
4.5	Verarbeitungseinfluss auf das Werkstoffverhalten	179
4.5.1	Rheologisches Verhalten der Kunststoffschmelzen	179
	Literatur zu Abschnitt 4.5.1	183
4.5.2	Orientierung der Moleküle	184
4.5.2.1	Entstehung der Molekülorientierungen	184
4.5.2.2	Nachweismethoden für Molekülorientierungen	186
4.5.2.3	Einflüsse auf Orientierungen	187
	Literatur zu Abschnitt 4.5.2	189
4.5.3	Innere Spannungen	189
4.5.3.1	Bauteilversagen durch innere Spannungen	191
4.5.3.2	Bauteilprüfungen auf Spannungsrissbildung	193
	Literatur zu Abschnitt 4.5.3	195
4.5.4	Kristallinität	195
4.5.4.1	Einfluss der Kristallisation auf die Material- und Verarbeitungseigenschaften	195
4.5.4.2	Der Kristallisationsvorgang	196
4.5.4.3	Nukleierung	198
4.5.4.4	Bestimmung des Kristallisationsgrads	199

4.5.4.5	Spezielle Strukturen bei Spritzgussteilen	200
	Literatur zu Abschnitt 4.5.4	201
4.5.5	Kompressibilität von Kunststoffschmelzen	201
	Literatur zu Abschnitt 4.5.5	203
4.5.6	Kunststoffabbau beim Spritzgießen	204
4.5.6.1	Thermischer Abbau	204
4.5.6.2	Thermisch oxidativer Abbau	205
4.5.6.3	Hydrolytischer Abbau	205
4.5.6.4	Mechanischer Abbau	205
	Literatur zu Abschnitt 4.5.6	206
4.5.7	Einfluss der Verweilzeit	206
4.5.7.1	Definition der Verweilzeit	211
4.5.7.2	Ermittlung der Verweilzeit	213
4.5.7.2.1	Messtechnische In-line-Erfassung der Verweilzeit	213
4.5.7.2.2	Empirische Ermittlung der Verweilzeit	213
4.5.7.2.3	Rechnerische Ermittlung der Verweilzeit	213
4.5.7.3	Berechnung der Verweilzeit	215
	Literatur zu Abschnitt 4.5.7	216
4.6	Einfärben von Kunststoffen beim Spritzgießen	216
4.6.1	Einfärbung durch Farbkonzentrate (Batches)	226
4.6.2	Einfärbung durch Farbstoffe (Flüssigfarben, Pasten)	227
4.6.3	Einfärbung durch Pigmente	227
	Literatur zu Abschnitt 4.6	228
4.7	Zugabe von Verstärkungs- und Füllstoffen beim Spritzgießen von Thermoplasten	229
4.7.1	Einarbeiten von Fasern beim Spritzgießen	230
4.7.1.1	Trockeneinarbeitung von Fasern über den Trichter	230
4.7.1.2	Einarbeiten von Endlos-Fasern in die Schmelze beim Spritzgießen, DIF-Verfahren	231
	Literatur zu Abschnitt 4.7	232
4.8	Trocknen von Kunststoffen	233
4.8.1	Trocknungsanlagen	247
4.8.1.1	Trocknen mit Frischlufttrockner	248
4.8.1.2	Trocknen mit Umlufttrockner	248
4.8.1.3	Trocknen mit Trockenlufttrockner	250
4.8.1.4	Trocknen mit Kristallisationstrockner	255
4.8.1.5	Trocknen mit Vakuumtrockner	256
4.8.1.6	Kontinuierliche Vakuum-Kondensations-Trocknung	256
4.8.1.7	Infrarottrocknen von Kunststoffen	256
4.8.2	Bestimmung der Restfeuchte	257
4.8.2.1	Feststellen von Restfeuchte vor Produktionsbeginn	257
4.8.2.2	Feststellen von Restfeuchte am Spritzgussteil	257
4.8.2.3	Feststellen von Restfeuchte am Granulat – Plättchen-Test	258
4.8.2.4	Messverfahren zum Feststellen von Restfeuchte	258
	Literatur zu Abschnitt 4.8	259
4.9	Konditionieren von Spritzgussteilen	260
	Literatur zu Abschnitt 4.9	265
4.10	Warmlagern	265
	Literatur zu Abschnitt 4.10	268
4.11	Lagern von Kunststoffen	268
	Literatur zu Abschnitt 4.11	271
4.12	Materialeingangskontrolle	271

4.12.1	Rieselfähigkeit (DIN 53492)	273
4.12.2	Schüttdichte (DIN 53466)	275
4.12.3	Schüttwinkel	275
4.12.4	Stopfdichte (DIN 53467)	275
4.12.5	Korngröße, Korngrößenverteilung und Kornform.	276
	Literatur zu Abschnitt 4.12	276
5	Spritzgießverfahren	
5.1	Begriffe und Kurzzeichen	279
5.1.1	Kurzzeichenverzeichnis der Methoden und Verfahren, Institutionen.	279
5.1.2	Begriffe des Spritzgießens nach DIN 24450.	285
5.1.3	Prozessgrößen	297
5.1.4	Begriffe und erklärende Beschreibung zum Recycling	299
5.2	Prozessverlauf	300
5.2.1	Drücke beim Spritzgießen.	314
5.2.1.1	Hydraulikdruck	314
5.2.1.2	Staudruck	317
5.2.1.3	Druck vor der Schneckenspitze	318
5.2.1.3.1	Einspritzdruck/Einspritzen	318
5.2.1.3.2	Kompressionsdruck	323
5.2.1.4	Werkzeuginnendruck	323
5.2.1.5	Umschalten von Einspritz- auf Nachdruck	326
5.2.1.6	Nachdruck/Nachdruckphase	331
5.2.1.6.1	Nachdruckerzeugung mit dem Einspritzkolben	332
5.2.1.6.2	Externe Nachdruckerzeugung	333
5.2.2	Druckübertragungsverhalten.	337
5.3	Temperaturen beim Spritzgießen	337
5.3.1	Öltemperatur	338
5.3.2	Zylindertemperatur	339
5.3.3	Massetemperatur	340
5.3.4	Werkzeugtemperatur	341
5.3.5	Heißkanaltemperatur	343
5.3.6	Nachtemperierte Temperatur	343
5.3.7	Zwischentemperatur (-temperierung)	344
5.3.8	Temperatur (Warmlagerung) von Einlegeteilen	344
	Literatur zu Abschnitt 5.1 bis 5.3	344
5.4	Verarbeitungshinweise	346
5.4.1	Spritzgießen von Elastomeren	346
5.4.1.1	Verarbeitungsfehler bei Elastomeren	352
5.4.2	Spritzgießen von Duroplasten	355
	Literatur zu Abschnitt 5.4	357
5.5	Pulverspritzgießen von Sinterbauteilen aus Metall oder Keramik	358
	Literatur zu Abschnitt 5.5	363
5.6	Verarbeitungsfehler/Beseitigung	363
5.6.1	Oberflächenfehler	363
5.6.2	Grate an Spritzgussteilen	366
5.6.2.1	Gratbildung	366
5.6.2.2	Gratvermeidung/Gratbeseitigung	366
5.6.2.3	Schwimmhäute	367
5.6.2.4	Bindenahrt	367
5.6.2.5	Kaskadenspritzgießen	367
5.6.2.6	Thermische Verfahren	368

5.6.2.7	Durchströmen der Bindenahrt	368
5.6.3	Lunker	369
5.6.4	Spannungsrisse	369
5.7	Expertensysteme	370
	Literatur zu Abschnitt 5.6 bis 5.7	371
5.8	Verarbeitungseinfluss auf Formteileigenschaften	371
5.8.1	Kühlzeit (Siegelpunkt)	374
5.8.4	Maßhaltigkeit	378
5.8.5	Gewicht	382
5.8.6	Glasfaserbruch/-orientierung	385
5.8.7	Schwindung/Nachschwindung (DIN16901)	389
5.8.8	Verarbeitungsfenster	394
	Literatur zu Abschnitt 5.8	394
6	Sonderverfahren der Spritzgießtechnologie	
6.1	Sonderverfahren des Thermoplast-Spritzgießens	406
6.1.1	Dünnwandtechnik	406
6.1.2	Dünnstwandtechnik	409
	Literatur zu Abschnitt 6.1	409
6.2	Spritzgießverfahren unter Anwendung niedriger Drücke und Zuhaltekräfte	410
6.2.1	Niederdruckspritzgießen (ND-SG)	412
6.2.2	Spritzgießen mit drehender Schnecke	415
6.2.3	Fließguss-(Intrusions)verfahren	415
6.2.4	Spritzprägen	417
6.2.5	Gasaußendrucktechnik (GAT) (siehe Abschnitt 6.3.2)	427
6.2.6	Kaskadenspritzgießen	427
6.2.7	Niederdruckverfahren für Recyclate	428
6.3	Hochdruckspritzgießen	429
	Literatur zu Abschnitt 6.2 bis 6.3	432
6.4	Gas- oder Fluidunterstütztes Spritzgießen	434
6.4.1	Gas-Injektion-Technik (GIT), auch Gasinnendruck-Technik (GID)	436
6.4.1.1	Cinpresverfahren	443
6.4.1.2	Airmouldverfahren	445
6.4.1.3	Gasmeltverfahren	446
6.4.1.4	Airpressverfahren	448
6.4.1.5	Gasinjektionstechnik (GIT): Untersuchungen der Abhängigkeit der Restwanddicke von Polymer und Füllstoff	448
6.4.1.5.1	Grundlagen zur Ausbildung der Restwanddicke	448
6.4.1.5.2	Praktische Untersuchungen	450
6.4.1.5.3	Einfluss von Talcum, Kreide und Glaskugeln auf die Restwanddicken bei Polypropylen	451
6.4.1.5.4	Einfluss des Kurzglasfasergehalts auf die Restwanddicken bei Polyamid	452
6.4.1.6	GIT-S (GIT-Schäumtechnik)	453
6.4.1.7	HELGA-Verfahren	454
6.4.1.8	Structural-Web-Verfahren	455
6.4.1.9	Der Gaskanal als Funktionshohlraum	455
6.4.1.10	Gasinjektionstechnik beim Flüssigsilikon-Spritzgießen	458
6.4.1.11	GIT beim Keramikspritzgießen	462
6.4.1.12	Wasserinjektionstechnik (WIT)	463
6.4.2	Gasaußendrucktechnik (GAT)	469
	Literatur zu Abschnitt 6.4.1 bis 6.4.2	472

6.4.3.1	Das klassische TSG-Verfahren	476
6.4.3.2	Varianten des Thermoplastschaumspritzgießens	479
6.4.3.2.1	Variotherm-Verfahren bei TSG	479
6.4.3.2.2	Schaumspritzgießen mit Tauchkantenwerkzeugen.	479
6.4.3.2.3	Gasgegendruck-Verfahren.	480
6.4.3.2.4	Afinaplast-Verfahren	480
6.4.3.2.5	Direktbegasungsverfahren.	482
Literatur zu Abschnitt 6.4.3		487
6.5	Verbinden mehrerer Komponenten beim Spritzgießen.	488
6.5.1	Inserttechnik	491
6.5.2	Outserttechnik.	494
6.5.3	Bandspritzgießen/Endlosspritzgießen	498
6.5.4	Metallumformung im Spritzgießwerkzeug und anschließendes Umspritzen.	499
6.5.5	Kunststoff-Metall-Hybridspritzgießen	499
6.5.6	Mehrkunststoffspritzgießen (MK-SG)/Mehrkomponentenspritzgießen	505
6.5.6.1	2K-Verbundspritzgießen/Zweifarbenspritzgießen (2F-SG), Overmoulding	506
6.5.6.2	Dreifarbenspritzgießen/3K-Verbund-Spritzgießen/ Mehrfarbenspritzgießen.	509
6.5.6.3	Indexplattenverfahren	511
6.5.6.4	Transfer Robot Technologie	512
6.5.6.5	Verbundfestigkeiten beim Mehrkomponentenspritzgießen	514
6.5.6.6	Bewegliche Verbunde durch Spritzgießen	523
6.5.6.6.1	Montagespritzgießen	523
6.5.6.6.2	Ein-Komponenten-Montagespritzgießen.	523
6.5.6.7	Spritzgießen mit zweischichtigem Aufbau durch Doppelnadeltechnik	524
6.5.6.8	Mehrschichtkörper aus extrudiertem Innenliner und spritzgegossenem Mantel	524
6.5.6.9	Mehrschichtspritzgießen zur Beschleunigung des Abkühlvorgangs	527
6.5.7	Mehrkomponentenspritzgießen/Sandwichspritzgießen	527
6.5.7.1	2K-(Sandwich)Spritzgießen	527
6.5.7.2	Sandwichspritzgießen mit 2K-Plattensystem.	533
6.5.7.3	Mehrschichtspritzgießen von Vorformlingen für das Streckblasen	535
6.5.7.4	Sandwichverfahren mit einer Spritzeinheit	536
6.5.7.4.1	Addmix-Verfahren	536
6.5.7.4.2	Monosandwichspritzgießen/Der Monosandwich-Prozess – Zweifarbenspritzgießen mit einer Monosandwicheinheit	538
6.5.7.4.3	3K-Spritzgießen.	540
6.5.7.5	Intervalltechnik	541
6.5.7.6	Marmorierverfahren.	543
6.5.7.7	GIPT-Methode (Granular Injected Paint Technology).	545
6.5.7.8	3D-MID (Moulded Interconnect Devices).	545
Literatur zu Abschnitt 6.5.1 bis 6.5.7		548
6.5.8	Spritzgießen mit ins Werkzeug eingebrachten und hinterspritzten Substraten, Hinterspritztechnik (HST)	555
6.5.8.1	In-Mould-Dekoration beim Spritzgießen/Film-Dekoration (IMD-Verfahren)	559
6.5.8.2	In-Mould-Labeling	562
6.5.8.3	HST von Folien oder IMFD-Verfahren (In-Mould-Film-Decoration)	563

6.5.8.4	IMD-3D/F-Technik	569
6.5.8.5	Folienverformung im Spritzgießwerkzeug	573
6.5.8.5.1	Thermoformen im Spritzgießwerkzeug	573
6.5.8.5.2	HPF-Verfahren	574
6.5.8.5.3	Lack-Hinterspritzen (SFC, Surface Finishing Compression)	575
6.5.8.6	HST von Textilien (IMTD, In-Mould-Textile-Decoration)	576
6.5.8.7	Verstärken von spritzgegossenen Formteilen durch endlosfaserverstärkte thermoplastische Prepregs	581
6.5.8.8	Hinterpresstechnik (HPT)	585
	Literatur zu Abschnitt 6.5.8	587
6.5.9	Weitere Oberflächenveredelungsverfahren	589
	Literatur zu Abschnitt 6.5.9	590
6.6	Spritzgießen mit oszillierender Schmelze	591
6.6.1	Gegentaktspritzgießen (GTS)	592
6.6.2	Multi-Live Feed Injection Moulding (MLFM)	597
6.6.3	Gegentakt/COM-Prozess	599
6.6.4	SCORIM-Verfahren, SCORTEC-Verfahren	599
6.6.5	Wechselseitiger Nachdruck	600
6.6.6	Spritzgießen mit pulsierendem Nachdruck	601
	Literatur zu Abschnitt 6.6	601
6.7	Verfahren mit verlorenen Kernen	602
6.7.1	Schmelzkerntechnik (SKT)	605
6.7.2	Lösekerntechnik (LKT)	617
6.7.3	Mehrshalenspritzgießen/Halbschalentechnik (MS-SG)	618
6.7.4	Spritzgießen mit rotierendem Kern (Injection Spin Process)	621
	Literatur zu Abschnitt 6.7	621
6.8	Spritzgießen von Mikrostrukturen/Mikrospritzgießen	623
	Literatur zu Abschnitt 6.8	628
6.9	Verfahren mit veränderlicher Werkzeugtemperatur	629
6.9.1	Variothermverfahren	629
6.9.2	Cryomold-Verfahren	631
	Literatur zu Abschnitt 6.9	631
6.10	Spritzgießen von Hohlkörpern	632
6.10.1	Blasspritzgießen	632
	Literatur zu Abschnitt 6.10.1	632
6.10.2	Spritzblasen/Spritzstreckblasformen	632
	Literatur zu Abschnitt 6.10.2	634
6.10.3	Mehrschichtkörper aus extrudiertem Innenliner und spritzgegossenem Mantel	634
6.10.4	Mehrschichtspritzgießen von Vorformlingen für das Streckblasen	634
6.11	Spritzgießen mit Doppelwerkzeugen in Hintereinanderanordnung	635
6.11.1	Tandem-Spritzgießverfahren (TSV)	635
6.11.2	Stack-Mould-Technik	637
6.11.3	Index-Platten-Technik	637
	Literatur zu Abschnitt 6.10 und 6.11	637
6.12	Einarbeitung von Fasern beim Spritzgießen	638
6.13	Sonderverfahren des Elastomer-Spritzgießens	638
6.13.1	Flüssigsilikonspritzgießen (LSR-Spritzgießen oder LIM)	638
6.13.2	Injection-Transfer-Moulding (ITM)	640
	Literatur zu Abschnitt 6.13	641
6.14	Sonderverfahren des Duroplast-Spritzgießens	643
6.14.1	Spritzgießen von Polyester-Formmassen	643

6.14.2	BMC-Sonderverfahren	644
6.14.2.1	DMC-Verfahren (Dough Moulding Compound)	644
6.14.2.2	ZMC-Verfahren	644
6.14.2.3	NMC-Verfahren (Nodular Moulding Compound)	645
Literatur zu Abschnitt 6.14		646
6.15	Pulverspritzgießen (PIM)	646
6.15.1	Spritzgießen von Metall- oder Keramikteilen	646
6.15.2	Spritzgießen von Magnesium-Thixomoldingverfahren	650
Literatur zu Abschnitt 6.15		656
7	Die Spritzgießmaschine	
7.1	Maschinenauswahl beim Einkauf	662
	Literatur zu Abschnitt 7.1	681
7.2	Spritzeinheit	681
7.2.1	Aggregatführung	684
	Literatur zu Abschnitt 7.2 bis 7.2.1	690
7.2.2	Spritzgießzylinder	690
7.2.2.1	Maschinentrichter	691
7.2.2.2	Metallabscheidung	692
7.2.2.2.1	Trichtermagnete	692
7.2.2.2.2	Metallabscheider mit Metallsuchspule	693
7.2.2.2.3	Metallextraktoren mit Zykロンabscheidung	695
7.2.2.2.4	Metallabscheider für Spritzgussteile	695
7.2.3	Zylindereinfüllöffnung	695
7.2.4	Zylinderkopf	696
	Literatur zu Abschnitt 7.2.2 bis 7.2.4	697
7.3	Rotatorischer Schneckenantrieb	698
7.3.1	Hydromotorischer Schneckenantrieb	700
7.3.2	Elektromechanischer Schneckenantrieb	700
7.3.3	Schnecken- und Zylinderwechsel	701
7.3.4	Einspritzdruck, maschinenseitig	702
7.3.5	Schneckendrehmoment	706
7.3.6	Schneckendrehzahl/Schneckenumfangsgeschwindigkeit	707
7.3.7	Dosierweg	710
7.3.8	Verweilzeitgerechte Schneckengeometrie	718
	Literatur zu Abschnitt 7.3	720
7.4	Schnecken	721
7.4.1	Auslegungsansätze für normale Dreizonen-Schnecken	724
7.4.2	Standardschnecken für die Thermoplastverarbeitung	730
	Literatur zu Abschnitt 7.4.1 bis 7.4.2	732
7.4.3	Berechnungsmethoden für Spritzgießplastifiziereinheiten	733
7.4.3.1	Modellgesetze für Spritzgießplastifiziereinheiten	734
7.4.3.2	Prozessbeschreibende mathematisch-physikalische Modelle	736
7.4.3.3	Druck-Durchsatzverhalten	738
7.4.3.4	Aufschmelzverlauf	739
7.4.3.5	Temperaturentwicklung	740
7.4.3.6	Verweilzeit	741
7.4.3.7	Schneckenantriebsleistung	743
	Literatur zu Abschnitt 7.4.3	744
7.4.4	Sonderschnecken für Thermoplaste	744
7.4.4.1	Gangtiefenveränderung	745
7.4.4.2	Marmorierschnecken/Kolbeneinheiten für Marmorier-Spritzgießen	745

7.4.4.3	Hochleistungsschnecken	747
7.4.4.3.1	Verlängerte Dreizonen-Schnecken	749
7.4.4.3.2	Scher-Mischteilschnecken	749
7.4.4.3.3	Barriere-Schnecken	750
7.4.4.3.4	Mehrgängige Schnecken	751
7.4.4.4	Zylinder (Schnecke) mit Einzugshilfe	751
7.4.4.5	Unterdosiereinrichtung für Schnecken	751
7.4.4.6	Schnecken für PVC-hart	752
7.4.4.7	Entgasungsschnecken	753
7.4.4.8	Vorplastifizierschnecken	756
7.4.4.9	Plastifizier- und Einspritzelemente für Mikrospritzgießen	757
Literatur zu Abschnitt 7.4.4	758	
7.4.5	Schnecken für Duroplastverarbeitung	759
Literatur zu Abschnitt 7.4.5	762	
7.4.6	Elastomerschnecken	762
7.4.7	Sonstige Plastifizierelemente	763
Literatur zu Abschnitt 7.4.7	764	
7.4.8	Schnekkentemperierung	764
7.4.9	Schneckenspitzen	764
7.4.10	Rückströmsperren (RSP)	765
Literatur zu Abschnitt 7.4.10	771	
7.4.11	Reinigung der Plastifiziereinheit (Schneckenreinigung)	771
7.4.11.1	Zylinderreinigung	772
7.4.11.2	Schneckenreinigung durch Extrusionsbetrieb und Abpumpen	772
7.4.11.3	Reinigung mit Zusatzmitteln	773
7.4.11.4	Mechanische Schneckenreinigung	774
7.4.11.5	Was bei der Schnecken- und Zylinderreinigung unbedingt zu vermeiden ist	776
Literatur zu Abschnitt 7.4.11	776	
7.5	Verschleißschutz beim Spritzgießen	777
7.5.1	Die Verschleißproblematik beim Spritzgießen	779
7.5.2	Ursachen für Verschleiß	781
7.5.3	Verschleißschutzmaßnahmen	787
7.5.3.1	Richtige Werkstoffauswahl für Plastifiziereinheiten	787
7.5.3.2	Konstruktive Maßnahmen zur Verschleißminderung	792
7.5.4	Verschleißschutz durch sorgsamen Umgang	792
7.5.5	Verschleißschutz durch Reparatur	795
7.5.6	Wirtschaftlichkeit des Verschleißschutzes	795
7.5.7	Verschleißschutz an Spritzgießwerkzeugen	797
Literatur zu Abschnitt 7.5	800	
7.6	Düse	802
7.6.1	Offene Düse	804
7.6.2	Verschlussdüse	804
7.6.2.1	Thermische Verschlussdüse	805
7.6.2.2	Mechanisch öffnende Verschlussdüse	805
7.6.2.3	Durch den Einspritzdruck öffnende Düsen	809
7.6.2.4	Düsen für Direktanspritzung	812
7.6.2.5	Koaxiale Nadeldüsen	812
7.6.2.6	Schrägdüse	812
7.6.2.7	Luftdruckbetätigtes Verschlussdüse	813
7.6.3	Düse mit Schmelzefilter	813
7.6.3.1	Düsen mit eingebauten Filterpatronen	814

7.6.3.2	Filterdüse mit Nadelverschluss	816
7.6.3.3	Schmelzefilter-Düsen mit Reinigungssystem	817
7.6.4	Düsen mit statischem Mischer	820
7.6.5	Beheizung von Düsen	822
7.6.5.1	Außen beheizte Düsen.	822
7.6.5.2	Innen beheizte Düsen	822
7.6.6	Verschleißschutz der Düsen (siehe auch Abschnitt 7.5.4)	823
	Literatur zu Abschnitt 7.6	824
7.7	Zubehör zur Einspritzeinheit	825
	Literatur zu Abschnitt 7.7	827
7.8	Schließeinheit.	827
7.8.1	Mechanische Zuhaltung.	843
7.8.1.1	Bewegungsablauf beim Schließen und Öffnen	845
7.8.2	Hydraulische Zuhaltung	848
7.8.3	Säulenlose Schließeinheit	850
7.8.4	Zweiplatten-Schließeinheit	860
7.8.5	Schließkraft und Zuhaltkraft.	864
	Literatur zu Abschnitt 7.8.1 bis 7.8.5.	869
7.8.6	Zubehör zur Schließeinheit.	870
7.8.6.1	Auswerfersysteme.	871
7.8.6.2	Säulenziehvorrichtung	873
7.8.6.3	Spannvorrichtung	874
7.8.6.4	Ausschraubvorrichtung	875
7.8.6.5	Werkzeugsicherung.	875
7.8.6.6	Magnetische Werkzeugaufspannung	876
7.8.6.7	Standardausrüstungen und -funktionen der Schließeinheit	878
	Literatur zu Abschnitt 7.8.6.	881
7.9	Antriebseinheit	883
7.9.1	Betriebsarten.	887
7.9.1.1	Hydromechanischer Antrieb (elektro-hydraulischer Antrieb).	887
7.9.2	Pumpenantriebe	893
7.9.2.1	Konstantpumpenantrieb	893
7.9.2.2	Regelpumpenantrieb	896
7.9.2.3	Druckspeicherantrieb.	901
7.9.2.4	Elemente hydromechanischer Antriebe	904
7.9.2.4.1	Hydropumpen	904
7.9.4.2.2	Hydromotoren.	909
7.9.2.4.3	Stellglieder.	915
7.9.2.4.3.1	Stromventile	916
7.9.2.4.3.2	Druckventile	918
7.9.2.4.3.3	Digitale Stellelemente	919
7.9.3	Hybridantriebe	919
7.9.4	Elektromechanischer Antrieb.	920
7.9.4.1	Elemente elektromechanischer Antriebe	925
7.9.4.1.1	Regelbare E-Motoren	925
7.9.4.1.2	Geschlossene Regelkreise über Resolver	927
7.9.4.1.3	Mechanische Getriebe für elektromechanische Antriebe	928
7.9.4.1.4	Sensorik	931
	Literatur zu Abschnitt 7.9	934
7.10	Energieverbrauch	936
7.10.1	Energieverbrauch und Wirkungsgrad hydromechanischer Spritzgießmaschinen	938

7.10.2	Energieverbrauch und Wirkungsgrad elektromechanischer Antriebe ..	939
7.10.3	Umrüstung von Spritzgießmaschinen auf geringeren Energieverbrauch ..	940
Literatur zu Abschnitt 7.10 bis 7.10.3	941	
7.10.4	Exemplarstreuung	941
Literatur zu Abschnitt 7.10.4	943	
7.10.5	Schallemission bei Spritzgießmaschinen	943
7.10.5.1	Geräuschenwicklung	943
7.10.5.2	Geräuschdämpfung der Hydraulik	945
7.10.6	Wartungshinweise	946
7.10.6.1	Maschinenpflege/Hydraulikpflege	946
7.10.6.2	Wartungshinweise für Temperiersystem im Werkzeug und am Zylinder	951
7.10.7	Sicherheitstechnische Erfordernisse, Sicherheitstechnische Maßnahmen	951
7.10.8	Unfallverhütungsvorschriften	952
Literatur zu Abschnitt 7.10.5 bis 7.10.8	954	
7.11	Mess-, Steuer- und Regeleinheit	954
7.11.1	Begriffsbestimmung	954
7.11.1.1	Messen und Überwachen	955
7.11.1.2	Steuern	956
7.11.1.3	Regeln	957
7.11.2	Temperaturmessung	958
7.11.2.1	Wandtemperatur	958
7.11.2.2	Messung der Massetemperatur	962
7.11.2.3	Massetemperaturen in Spritzgießwerkzeugen	964
7.11.2.4	Messung der Lichtdurchlässigkeit bei teilkristallinen Kunststoffen im Werkzeug	965
7.11.3	Temperaturregelung	965
7.11.4	Druckmessung	969
7.11.4.1	Druckmessung in der Hydraulik	969
7.11.4.2	Druckmessung im Schneckenvorraum	970
7.11.4.3	Werkzeugdrücke beim Spritzgießen	971
7.11.4.4	Messung der Säulendehnung	972
7.11.4.5	Visuelle Überwachung der Entformung	973
7.11.5	Prozessführung beim Spritzgießen	974
7.11.5.1	Ziele der Prozessführung	974
7.11.5.2	Steuerung der Füll- und Nachdruckphase	978
7.11.5.3	Ablaufsteuerung durch elektrische oder elektronische Zeitglieder und zentraler Einstellung	979
7.11.5.4	Steuerung mit zentraler Einstellung und mit digitalen Strom- und Druckventilen	981
7.11.5.5	Regelung der Füll- und Nachdruckphase	981
7.11.6	Optimierungsstrategien	982
7.11.6.1	Optimierung der Nachdruckphase nach dem pVT-Diagramm	983
7.11.6.2	pmT-Regelung	984
7.11.6.3	Fließzahl-Regelung	985
7.11.6.4	Integrierte Regelung der Einspritz- und Nachdruckphase	985
7.11.6.5	Hill-Climbing-Verfahren	985
7.11.6.6	Gradientenverfahren	986
7.11.6.7	Reine Zufallssuche	986
7.11.6.8	Evolutionsstrategie	986
7.11.6.9	Fuzzy-Technik	987

7.11.7	Anwendung von Rechnern beim Spritzgießen.....	988
7.11.7.1	Rechnergeführte automatische Spritzgießanlage.....	991
	Literatur zu Abschnitt 7.11	994
8	Bauarten von Spritzgießmaschinen	
8.1	Kolbenspritzgießmaschinen	1001
8.1.1	Kolbenspritzgießmaschinen mit Vorplastifizierung	1002
8.1.1.1	Kolbenspritzgießmaschinen mit Kolbenvorplastifizierung	1003
8.1.1.2	Kolbenspritzgießmaschinen mit Schneckenvorplastifizierung und Kolbeneinspritzung.....	1004
8.1.1.3	Schneckenvorplastifizierung mit Kolbendosierung (-akkumulierung) und Kolbeneinspritzung.....	1007
8.1.1.4	Kleinspritzgießmaschinen und Mikrospritzgießmaschinen	1008
8.2	Spritzgießmaschinen zur Verarbeitung von Polyester-Formmassen (BMC, DMC, TMC, ZMC, NMC, LP/LS-BMC-Spritzgießen)	1022
8.3	Mehrkomponenten-Spritzgießmaschinen.....	1024
8.3.1	Mehrkomponentenspritzgießmaschinen in Horizontalbauweise	1026
8.3.2	Mehrkomponentenspritzgießmaschinen in Vertikalausbauweise	1027
8.3.3	Sandwich(Zweikomponenten)-spritzgießmaschinen	1028
8.4	Einrichtungen für die Gasinjektionstechnik	1028
8.5	Mehrstationenmaschinen	1031
8.5.1	Maschinen mit mehreren Werkzeugstationen	1031
8.5.2	Tandem-Spritzgießverfahren (TSV).....	1034
8.5.3	Zwei-Platten-Spritzgießmaschinen mit gegenüberliegenden Spritzeinheiten	1037
8.5.4	Twinnmaschine	1039
8.5.5	Index-Spritzgießmaschine	1039
8.6	Spritzgießmaschinen mit Aufbereitungsfunktionen	1040
8.6.1	Compoundier-Spritzgießmaschine	1041
8.6.2	Maschinen und Vorrichtung zum Einzug langer Fasern.....	1042
8.7	Spritzgießmaschinen für die Verarbeitung von Elastomeren	1043
8.7.1	Spritzgießmaschinen für die Kautschukverarbeitung	1043
8.7.2	LSR-Spritzgießmaschinen	1046
8.8	Sonstige Sonderbauarten	1050
8.8.1	Spritzgießmaschinen für Keramikverarbeitung	1050
8.8.2	Sonderbauarten ohne Marktbedeutung	1050
	Literatur zu Abschnitt 8	1051
9	Baugrößen, Leistungsdaten	
9.1	Baugrößen	1057
9.2	Leistungsdaten.....	1061
9.2.1	Leistungsdaten der Spritzeinheit (Hubvolumen, Arbeitsvermögen, Einspritzdruck, Einspritzstrom, verfügbare Einspritzleistung, Plastifizierstrom).....	1063
9.2.2	Leistungsdaten der Schließeinheit	1082
9.3	Allgemeine Leistungsdaten	1086
	Literatur zu Abschnitt 9	1089
10	Produktentwicklung	
10.1	Methodische Produktentwicklung.....	1091
10.1.1	Erstellung eines Pflichtenhefts	1092
10.1.2	Machbarkeitsstudie.....	1093
10.1.3	Erstellen des Projektplans.....	1094

10.1.4	Produktgestaltung/Aufgaben der Entwicklungsteams	1094
10.1.5	Werkstoffauswahl	1094
10.1.5.1	Werkstoffauswahl am Beispiel eines Pumpengehäuses	1095
10.1.5.2	Konstruktion/Rapid Prototyping	1095
10.1.6	Mechanische Auslegung/Dimensionierung	1096
10.1.7	Rheologische Auslegung	1097
10.1.8	Werkzeugauslegung	1098
10.1.9	Erprobung	1098
10.1.10	Kostenkalkulation	1098
10.2	Fertigungsgerechte Formteilgestaltung	1099
	Literatur zu Abschnitt 10	1103

11 Werkzeugbau

11.1	Entformung	1105
11.2	Auswerferkraft, Entformkraft	1106
11.3	Fachzahl	1108
11.4	Fertigungsgerechte Werkzeugauslegung	1111
11.5	Werkzeugauslegung	1112
11.5.1	Mechanische Auslegung	1112
11.6	Rheologische Auslegung	1116
11.6.1	Fließwege	1116
11.6.2	Angusslage, Angussgestaltung, Balancierung	1120
11.7	Thermische Auslegung	1123
11.7.1	Kühlsysteme	1123
11.7.1.1	Bestimmung der Kühlzeit	1124
11.7.1.2	Homogene Abkühlung	1126
11.7.1.3	Auslegung der Kühlung an kritischen Formteilpartien	1127
11.7.1.4	Vorgehensweise einer thermischen Werkzeugauslegung	1128
11.7.2	Heizsysteme	1128
11.8	Angussysteme	1129
11.8.1	Mitentformte Angüsse	1129
11.8.1.1	Angussbuchse	1129
11.8.1.2	Anguss- und Verteilerkanäle	1131
11.8.1.3	Anschritte	1131
11.8.1.3.1	Punktanguss	1132
11.8.1.3.2	Stangenanguss	1132
11.8.1.3.3	Band- oder Filanguss	1133
11.8.1.3.4	Schirmanguss	1134
11.8.1.3.5	Ringanguss	1135
11.8.2	Selbstabtrennende Angussysteme	1135
11.8.2.1	Tunnelanguss	1135
11.8.2.2	Abreiß-Punktanguss-Dreiplattenwerkzeug	1136
11.8.3	Spritzgießen ohne Angussverlust	1137
11.8.3.1	Angussloses Spritzgießen	1137
11.8.3.2	Vorkammer-Punktanguss	1138
11.8.3.3	Isolierverteiler	1138
11.8.3.4	Anspritzen durch den Auswerfer	1139
11.8.4	Heißkanalsysteme	1140
11.8.5	Kaltkanalsysteme für vernetzende Kunststoffe	1143
11.8.5.1	Kaltkanalsysteme für Elastomer-Spritzgießwerkzeuge	1143
11.8.5.2	Kaltkanalwerkzeuge für Duroplaste	1144
11.8.5.3	Wärmeleitrohre im Schmelzeleitsystem	1145

11.8.6	Werkzeugoberfläche	1146
11.8.6.1	Thermische Behandlung	1147
11.8.6.2	Thermochemische Behandlung	1147
11.8.6.3	Elektrochemische Behandlung	1147
11.8.6.4	Gasphasenabscheidung	1148
11.8.6.5	Hochglanzpolieren	1149
11.8.6.6	Narbung	1149
11.8.6.7	Glanz	1149
11.9	Sonderwerkzeuge	1151
11.10	Das Evakuieren von Werkzeugen	1153
11.11	Prototypwerkzeugbau	1156
11.11.1	Abformverfahren von Positivmodellen	1157
11.11.1.1	Harzabgießen	1157
11.11.1.2	Metallspritzen	1158
11.11.1.3	Dirktherstellen von Werkzeugschalen	1159
11.11.2	Rapid-Prototyping	1160
11.11.2.1	Stereolithographie	1160
11.11.2.2	Laser-Sintern	1161
11.11.2.3	Feingießen	1162
	Literatur zu Kapitel 11	1163
12	Zyklusanalyse	
12.1	Kühl-/Heizzeitermittlung	1168
12.2	Pausenzeit	1172
12.3	Zykluszeit	1172
	Literatur zu Kapitel 12	1173
13	Fertigungsvorbereitung	
13.1	Materialbereitstellung	1175
13.2	Rüstvorgang	1177
13.3	Werkzeugwechsel	1179
13.4	Handhabungskopfwechsel	1183
13.5	Werkzeugreinigung	1184
13.6	Fabrikplanung	1186
	Literatur zu Kapitel 13	1187
14	Spritzgießfertigung	
14.1	Anfahrvorgang	1190
14.2	Qualitätssicherung beim Spritzgießen, Fertigungsüberwachung	1190
14.2.1	Qualitätssicherung in der Produktion	1191
14.2.2	Wareneingangsprüfung	1195
14.2.3	Abnahme-/Annahmeprüfung	1195
14.3	Reproduzierverhalten	1196
14.4	Materialwechsel	1197
14.5	Flexible Fertigung/optimierte Fertigungsverfahren	1198
14.6	Qualitätsmanagement und Zertifizierung	1199
14.6.1	Aufbau und Implementierung eines QM-Systems	1200
14.6.2	Zertifizierung	1202
	Literatur zu Kapitel 14	1205
15	Peripheriegeräte/Automations-zubehör	
	Literatur zu Abschnitt 15	1210
15.1	Temperiertechnologie	1210
15.1.1	Wärmetausch beim Spritzgießen	1214

15.1.2	Auslegung des Wärmetauschsystems im Werkzeug	1215
15.1.2.1	Temperierkanallage.....	1215
15.1.2.2	Konturgenaue Anpassung der Temperierkanäle	1218
15.1.2.3	Kühlkanallänge/Druckverlust	1220
15.1.2.4	Einfluss des Werkzeugwerkstoffs auf den Wärmeaustausch.....	1222
15.1.3	Wassermanagement.....	1223
15.1.4	Vorsorge am Temperiersystem	1224
15.1.5	Temperiergeräte.....	1226
15.1.6	Die Wahl des Temperiermediums.....	1229
15.1.6.1	Funktionsprinzip von Temperiergeräten	1231
15.1.6.2	Reduzieren der Druckverluste durch Parallelschaltung	1237
15.1.7	Die Pumpe in Temperiergeräten.....	1238
15.1.8	Überwachen der Temperierwirkung.....	1239
15.1.9	Wärmerückgewinnung	1239
	Literatur zu Abschnitt 15.1	1241
15.2	Beschickungsgeräte	1243
	Literatur zu Abschnitt 15.2	1244
15.3	Entnahmegeräte.....	1244
	Literatur zu Abschnitt 15.3	1245
15.4	Einfärbegeräte	1246
15.5	Metallsuchgeräte/Metallausscheider	1246
15.6	Reinraumtechnik	1246
	Literatur zu Abschnitt 15.6	1255
15.7	Schneidmühlen.....	1255
	Literatur zu Abschnitt 15.7	1259
16	Recycling für das Spritzgießen	
16.1	Innerbetriebliches Recycling	1262
16.1.1	Thermoplaste	1262
16.1.2	Duroplaste und Elastomere.....	1264
16.2	Qualitätssicherung bei Recyclingmaterial	1264
16.3	Maschinentechnik für Recyclingaufgaben	1265
	Literatur zu Kapitel 16.....	1266
	Anhang	1269
	Register.....	1275