



Inhaltsverzeichnis

Handbuch Urformen

Herausgegeben von Günter Spur
Mitherausgeber Walter Michaeli, Andreas Bührig-Polaczek

ISBN (Buch): 978-3-446-42035-9

ISBN (E-Book): 978-3-446-43406-6

Weitere Informationen oder Bestellungen unter

<http://www.hanser-fachbuch.de/978-3-446-42035-9>

sowie im Buchhandel.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort der Bandherausgeber	V
Die Herausgeber	XXV
Autorenverzeichnis	XXVII
I Urformen von Metallen	1
1 Gießen	3
1.1 Technologische und wirtschaftliche Aspekte	7
1.1.1 Einführung in die Technologie des Gießens	7
1.1.1.1 Die Bedeutung der Gießereitechnik	7
1.1.1.2 Übersicht der Form- und Gießverfahren	10
1.1.1.3 Der Gießereibetrieb im wirtschaftlichen Umfeld	12
1.1.2 Wirtschaftliche Bedeutung der Gießereiindustrie	13
1.2 Grundlagen des Gießens	17
1.2.1 Erstarrung	17
1.2.1.1 Entstehung des Gussgefüges	17
1.2.1.2 Erstarrungsmorphologie	18
1.2.2 Schmelzebehandlung	21
1.2.2.1 Kornfeinung, Impfen	21
1.2.2.2 Schmelzezusätze zur Gefügebeeinflussung	23
1.2.2.2.1 Schmelzezusätze zur Gefügebeeinflussung von Aluminium-Legierungen	23
1.2.2.2.2 Schmelzezusätze zur Gefügebeeinflussung von Gusseisen-Legierungen	24
1.2.2.3 Schmelzereinigung	25
1.2.3 Gießeigenschaften	28
1.2.3.1 Formfüllungsvermögen	28
1.2.3.2 Fließvermögen	30
1.2.3.3 Speisungsvermögen	31
1.2.3.4 Warmrissneigung	34
1.2.3.5 Gasaufnahme, Oxidationsneigung	36
1.2.4 Gieß-, Anschnitt- und Speisungstechnik	37
1.2.4.1 Gieß- und Anschnitttechnik	37
1.2.4.2 Speisungstechnik	39
1.3 Gusswerkstoffe	42
1.3.1 Eisenbasis-Gusswerkstoffe	43
1.3.1.1 Eisen-Kohlenstoff-Diagramm	44
1.3.1.1.1 Einflüsse von Kohlenstoff, Silicium und Phosphor auf die grundlegenden Erstarrungsvorgänge von Eisenbasis-Gusswerkstoffen	45
1.3.1.1.2 Einflüsse von Legierungs- und Spurenelementen auf die eutektische Erstarrung	48
1.3.1.1.3 Einflüsse von Legierungs- und Spurenelementen auf die eutektoide Umwandlung	49
1.3.1.1.4 Einfluss der Abkühlgeschwindigkeit	49
1.3.1.2 Stahlguss	51

1.3.1.3	Gusseisen mit Lamellengraphit.....	54
1.3.1.4	Gusseisen mit Kugelgraphit.....	56
1.3.1.5	Sonderwerkstoffe auf der Basis von Gusseisen mit Kugelgraphit	57
1.3.1.6	Gusseisen mit Vermiculargraphit	58
1.3.1.7	Temperguss	58
1.3.1.8	Verschleißbeständige weiße Gusseisenwerkstoffe	59
1.3.2	Nichteisen-Gusswerkstoffe.....	61
1.3.2.1	Aluminiumbasis-Gusswerkstoffe	61
1.3.2.1.1	Legierungssysteme.....	62
1.3.2.1.1.1	Das System AlSi	62
1.3.2.1.1.2	Das System AlMg	67
1.3.2.1.1.3	Das System AlCu	68
1.3.2.1.1.4	Das System AlZn	68
1.3.2.1.1.5	Das System AlLi.....	69
1.3.2.1.1.6	Einfluss der bedeutsamsten Begleitelemente auf die Eigenschaften von Aluminiumgusslegierungen.....	69
1.3.2.1.2	Einfluss des Gießverfahrens auf die Gefügebildung.....	71
1.3.2.1.3	Bezeichnungssystematik der Aluminiumgusswerkstoffe	72
1.3.2.1.4	Korrosionsverhalten von Aluminiumgusslegierungen	72
1.3.2.2	Magnesiumbasis-Gusswerkstoffe.....	75
1.3.2.3	Kupferbasis-Gusswerkstoffe	80
1.3.2.3.1	Gießverfahren	83
1.3.2.3.2	Besonderheiten.....	83
1.3.2.3.3	Produktbeispiele	85
1.3.2.4	Zinkbasis-Gusswerkstoffe	86
1.3.2.5	Zinnbasis-Gusswerkstoffe	88
1.3.2.6	Titanbasis-Gusswerkstoffe	89
1.3.2.6.1	Einsatz von Titanwerkstoffen.....	89
1.3.2.6.2	Historie von Titan und Titanlegierungen	89
1.3.2.6.3	Metallurgie des Titans.....	89
1.3.2.6.4	Titanschmelzen	91
1.3.2.6.5	Titanfeinguss	91
1.3.2.6.6	Alpha-case.....	92
1.3.2.6.7	Gussteilnachbehandlung	92
1.3.2.6.8	Thermische Nachbehandlung von Titanwerkstoffen.....	92
1.3.2.7	Nickelbasis-Gusswerkstoffe	93
1.3.2.8	Kobaltbasis-Gusswerkstoffe	95
1.3.2.9	Gusswerkstoffe für Sonderanwendungen	96
1.3.2.9.1	Implantate	96
1.3.2.9.2	Normenübersicht für Implantatwerkstoffe	96
1.3.2.9.3	Kunstguss.....	96
1.3.2.9.4	Schmuckguss.....	97
1.3.3	Verbundguss und gegossene Verbundwerkstoffe	98
1.3.3.1	Verbundguss	98
1.3.3.2	Gegossene Verbundwerkstoffe.....	99
1.3.4	Konstruieren mit Gusswerkstoffen	102
1.3.4.1	Werkstoffbedingte Einflussgrößen Wanddickenabhängigkeit und Warmrissempfindlichkeit	103
1.3.4.2	Verfahrensbedingte Einflussgrößen, Hinterschneidung, Formschrägen, Bearbeitungszugaben, Toleranzen, Eigenspannungen	106
1.3.4.3	Werkstoffkenndaten	107

1.4	Technologie des Schmelzens und Gießens.....	112
1.4.1	Kupolofen	112
1.4.1.1	Stoff- und Energiebilanz.....	113
1.4.1.1.1	Stoffbilanz	113
1.4.1.1.2	Energiebilanz	114
1.4.1.2	Auslegung und Betrieb eines Kupolofens	115
1.4.1.2.1	Ofendaten	115
1.4.1.2.2	Schmelzleistung.....	115
1.4.1.2.3	Windmenge	116
1.4.1.2.4	Durchgasung.....	117
1.4.1.2.5	Vorwärmung	117
1.4.1.2.6	Kohlenstoffaufnahme („Aufkohlung“)	118
1.4.1.2.7	Windgeschwindigkeit in den Düsen	118
1.4.1.3	Ofensysteme und Gesamtanlagen	119
1.4.1.3.1	Kaltwindofen mit Langzeitfutter.....	119
1.4.1.3.2	Warmwindofen mit Langzeitfutter	120
1.4.1.3.3	Heißwindkupolofen mit Langzeitfutter	120
1.4.1.3.4	Heißwindkupolofen ohne Futter.....	121
1.4.1.3.5	Heißwindkupolofen im Hüttenwerk.....	121
1.4.1.3.6	Erdgasofen mit Langzeitfutter.....	122
1.4.1.3.7	Shuttle-Kupolofen	123
1.4.1.3.8	Vergleich der Betriebsdaten	123
1.4.1.4	Prozessleittechnik.....	124
1.4.1.5	Umweltschutz.....	126
1.4.1.5.1	Staubemissionen	126
1.4.1.5.2	Schwefel- und Stickoxidemissionen.....	126
1.4.1.5.3	Dioxine und Furane	126
1.4.1.5.4	CO ₂ -Emissionen.....	127
1.4.1.5.5	Beste verfügbare Techniken	128
1.4.2	Lichtbogenofen	128
1.4.2.1	Einleitung	128
1.4.2.2	Aufbau.....	129
1.4.3	Induktionsofen.....	135
1.4.3.1	Arbeitsweise und Aufbau von Induktionsofenanlagen	135
1.4.3.1.1	Arbeitsweise und Ofentypen	135
1.4.3.1.2	Gesamtaufbau.....	137
1.4.3.2	Energieversorgung.....	137
1.4.3.3	Auslegung und Gestaltung der Schaltanlage.....	140
1.4.3.4	Wirkungsgrad und Energieeffizienz	142
1.4.3.5	Prozessleittechnik.....	146
1.4.3.6	Feuerfeste Zustellung	148
1.4.3.7	Sicherheitseinrichtungen	149
1.4.3.8	Einsatzkriterien.....	151
1.4.3.8.1	Auswahl des Ofentyps	151
1.4.3.8.2	Baugrößen und Leistungsdaten	152
1.4.4	Widerstandsöfen zum Schmelzen, Warmhalten und Gießen	160
1.4.4.1	Physikalisches Wirkprinzip	160
1.4.4.2	Aufbau von Widerstandsöfen	160
1.4.4.3	Betrieb.....	163
1.4.5	Herdschmelzofen und Schachtschmelzofen	164
1.4.5.1	Verfahrensprinzip	164
1.4.5.2	Metallurgie.....	167

1.4.5.3	Ofenbetrieb.....	168
1.4.6	Schmelzetransport.....	171
1.4.7	Gießeinrichtungen und Dosiertechnik	175
1.4.7.1	Manuelles Gießen mit Gießpfannen.....	175
1.4.7.2	Automatisiertes Gießen mit Gießlöffeln	176
1.4.7.3	Automatisiertes Gießen mit beheizten Gießeinrichtungen (Gießöfen und Dosieröfen)	177
1.5	Gussteilfertigung mit verlorenen Formen.....	181
1.5.1	Modellbau.....	183
1.5.1.1	Aufbau und Konstruktion von Modellen für das Gießen	183
1.5.1.2	Modellbauwerkstoffe	186
1.5.1.3	Modellherstellung.....	189
1.5.2	Formstoffe	193
1.5.2.1	Formgrundstoffe.....	193
1.5.2.2	Formstoffbinder und -härtter.....	195
1.5.2.3	Formzusatz- und Hilfsstoffe.....	196
1.5.3	Herstellung verlorener Formen und Kerne unter Verwendung von Dauermodellen.....	197
1.5.3.1	Formverfahren mit mechanischer Verdichtung – Verdichtungsformverfahren.....	199
1.5.3.2	Formverfahren mit chemischer Härtung.....	210
1.5.3.3	Formverfahren mit physikalischer Verfestigung	221
1.5.4	Herstellung verlorener Formen mit verlorenen Modellen	224
1.5.4.1	Vollformgießen	224
1.5.4.1.1	Varianten des Vollformgießens	225
1.5.4.1.2	Das Lost Foam Verfahren	225
1.5.4.1.3	Wirtschaftliche Bedeutung des Lost Foam Verfahrens.....	228
1.5.4.2	Feingussverfahren	229
1.5.5	Rapid Prototyping mit Formstoffen	237
1.5.6	Niederdruck-Sandgießen	245
1.5.7	Formstoffregenerierung.....	248
1.6	Gussteilfertigung mit Dauerformen	252
1.6.1	Formenbau	253
1.6.1.1	Aufbau und Konstruktion von Dauerformen	253
1.6.1.2	Werkstoffe für Dauerformen und deren Wärmebehandlung.....	268
1.6.1.3	Fertigung und Oberflächen-behandlung von Dauerformen	272
1.6.1.4	Wartung von Dauerformen	272
1.6.2	Kokillengießverfahren.....	274
1.6.3	Niederdruck-Gießverfahren	288
1.6.3.1	Grundlagen und Prozessablauf.....	288
1.6.3.2	Niederdruck-Kokillenguss für Nichteisenmetalle	290
1.6.4	Druckgießen.....	297
1.6.4.1	Verfahrensprinzip	298
1.6.4.1.1	Kalt- und Warmkammerverfahren.....	298
1.6.4.1.2	Formfüllvorgang.....	305
1.6.4.1.3	Gießsysteme für das Druckgießen.....	312
1.6.4.1.4	Entlüftung der Druckgießform und Gießen mit Vakuum (Zwangsentlüftung)	314
1.6.4.2	Aufbau der Druckgießmaschinen.....	315
1.6.4.3	Anwendungsgebiete	322
1.6.4.4	Vacuralgießen	325
1.6.4.5	Thixogießen.....	326
1.6.4.6	Squeeze Casting	328
1.6.5	Schleudergießen.....	329

1.6.5.1	Das Schleudergieß-Verfahren (echter Schleuderguss).....	329
1.6.5.1.1	Prinzip und Verfahren.....	329
1.6.5.1.2	Gießprozess.....	330
1.6.5.1.3	Erstarrung.....	331
1.6.5.1.4	Schleudergieß-Formen.....	332
1.6.5.1.5	Formbeschichtung.....	332
1.6.5.1.6	Eigenschaften des Schleudergieß-Verfahrens.....	332
1.6.5.1.7	Anwendungen und Produkte.....	333
1.6.5.2	Das Schleuderformgieß-Verfahren (halber Schleuderguss).....	333
1.6.5.2.1	Prinzip und Verfahren.....	333
1.6.5.2.2	Gießprozess.....	333
1.6.5.2.3	Formen.....	333
1.6.5.2.4	Eigenschaften des Schleuderformgießverfahrens.....	333
1.6.5.2.5	Anwendungen und Produkte.....	334
1.6.5.3	Zentrifugieren (unechter Schleuderguss).....	334
1.6.5.3.1	Prinzip und Verfahren.....	334
1.6.5.3.2	Gießprozess.....	334
1.6.5.3.3	Formen.....	334
1.6.5.3.4	Eigenschaften, Anwendungen und Produkte.....	334
1.6.6	Stranggießen.....	335
1.6.6.1	Geschichte und Stand des Stranggießens.....	336
1.6.6.2	Stranggießen von Stahl.....	337
1.6.6.2.1	Stranggießen von Stahl mit oszillierender Kokille.....	338
1.6.6.2.2	Sonderformen von Stahlstranggießanlagen.....	339
1.6.6.3	Stranggießen von Gusseisen.....	340
1.6.6.4	Stranggießen von Aluminium.....	341
1.6.6.4.1	Horizontalguss.....	341
1.6.6.4.2	Vertikalguss von Walzbarren.....	342
1.6.6.4.3	Vertikalguss von Rundbarren.....	345
1.6.6.4.4	Dünnbandgießen.....	346
1.6.6.5	Strangguss von Kupfer.....	346
1.7	Gussnachbearbeitung und Fertigstellung der Gussteile zum Versand.....	348
1.7.1	Entformen, Entsanden, Entzundern.....	348
1.7.2	Trennen von Anschnitt- und Speisersystem.....	352
1.7.3	Entgraten der Gussteile.....	355
1.7.4	Gussfehlerausbesserung.....	356
1.7.5	Wärmebehandeln und Beschichten.....	358
1.8	Qualitätssicherung und Simulation.....	362
1.8.1	Simulation: Der Blick in die Zukunft.....	363
1.8.2	Physikalische Grundlagen des Gießens.....	363
1.8.2.1	Modelle und Physik: vereinfachte Abbilder der Realität.....	363
1.8.2.2	Die Methoden.....	366
1.8.3	Prozessbeschreibung.....	367
1.8.3.1	Die Basis des Verfahrens - Formfüllung und Erstarrung.....	367
1.8.3.2	Simulation in der Arbeitsvorbereitung - Speisung und Porositäten.....	369
1.8.3.3	Spannungen und Verzug.....	370
1.8.3.4	Die Vielfalt von Gusswerkstoffen.....	373
1.8.4	Anforderungen des Prozesses.....	375
1.8.4.1	Beispiel Dauerformverfahren.....	375
1.8.4.2	Kein Gussteil ohne Form - Sandsimulation.....	376

1.8.4.3	Die Prozesskette.....	377
1.8.5	Gießtechnische Optimierung.....	378
1.8.6	Entwicklungs- und Optimierungswerkzeug Simulation.....	380
1.8.6.1	Potenziale der Integration in die Prozess-Entwicklungskette.....	380
1.8.6.2	Einsparpotenziale durch Simulation.....	382
1.8.7	Voraussetzungen für erfolgreiche Nutzung.....	382
1.8.7.1	Hardware.....	382
1.8.7.2	Unverzichtbare Voraussetzungen: Daten.....	384
1.8.7.3	Simulation im gesamten Unternehmen.....	384
1.9	Produktplanung und Kalkulation in der Gießerei.....	388
1.9.1	Bedeutung der Arbeits- und Ressourcenplanung im ERP/PPS-System.....	388
1.9.2	Gießereitypische Anforderungen an die Produktplanung.....	389
1.9.3	Angebotskalkulation, Auftragsvorkalkulation.....	392
1.9.4	Planungssystematik in einem gießereitypischen MES/PPS-System.....	397
1.9.5	Rückmeldungen und Nachkalkulation im integrierten System.....	398
2	Pulvermetallurgie.....	399
2.1	Bedeutung der Pulvermetallurgie und Einteilung der Werkstoffe.....	401
2.2	Herstellung der Sinterpulver.....	405
2.3	Eigenschaften der Sinterpulver.....	407
2.3.1	Physikalische Eigenschaften.....	407
2.3.1.1	Spezifische Oberfläche.....	408
2.3.1.2	Teilchengröße und Teilchengrößenverteilung.....	408
2.3.1.3	Teilchenform.....	408
2.3.1.4	Härte.....	408
2.3.2	Technologische Eigenschaften.....	409
2.4	Formgebung und Sinterung.....	410
2.4.1	Möglichkeiten der Formgebung.....	410
2.4.1.1	Schüttsinterung (Gravity Sintering).....	410
2.4.1.2	Axiale Presstechnik.....	411
2.4.1.3	Warmpresstechnik (Warm Compaction).....	414
2.4.1.4	Kaltisostatische Presstechnik.....	415
2.4.1.5	Heißisostatisches Verdichten (Hot isostatic pressing - HIP).....	415
2.4.1.6	Pulvermetallurgisches Spritzgießen (Metal Injection Molding).....	415
2.4.1.7	Pulverwalzen.....	417
2.4.1.8	Schlickergießen.....	417
2.4.2	Verfahren der Sinterung.....	417
2.4.2.1	Phänomenologie der Sintertechnik.....	417
2.4.2.2	Sinteratmosphären.....	418
2.4.2.3	Anlagen für den Sinterprozess.....	418
2.4.3	Verfahren unter Anwendung von Druck und Temperatur.....	419
2.4.3.1	Pulverschmieden.....	419
2.4.3.2	Heißisostatisches Pressen.....	420
2.4.3.3	Strangpressen.....	420
2.4.3.4	Sprühkompaktieren.....	420
2.4.3.5	Hochgeschwindigkeitsverdichten.....	420
2.4.4	Nachbearbeitung der Formkörper.....	420

2.4.4.1	Kalibrieren	420
2.4.4.2	Entgraten	421
2.4.4.3	Spanende Bearbeitung	421
2.4.4.4	Infiltration und Imprägnation	422
2.4.4.5	Metallische Überzüge.....	423
2.4.4.6	Beschichtungen aus der Gasphase	423
2.4.4.7	Randschichtverfestigung	423
2.4.4.8	Oberflächenumschmelzen	424
2.4.4.9	Wärmebehandlung	424
2.4.5	Fügen von Sinterisen und Sinterstahl	424
2.5	Eigenschaften von Sinterwerkstoffen	425
2.5.1	Ausbildung der Werkstoffeigenschaften	425
2.5.2	Ausbildung der Oberfläche.....	426
2.5.3	Erzielbare Toleranzen.....	427
2.5.4	Härte von porösen Werkstoffen	428
2.5.5	Festigkeitseigenschaften.....	429
2.6	Beispielhafte Anwendungen von Sinterwerkstoffen	434
2.6.1	Sinterfilter	434
2.6.2	Sintergleitlager.....	435
2.6.3	Axial gepresste Formteile	436
2.6.3.1	Niedriglegierte Werkstoffe.....	436
2.6.3.2	Weichmagnetische Werkstoffe	440
2.6.3.3	Soft Magnetics Composites (SMC)	440
2.6.4	Friktionswerkstoffe.....	441
2.6.5	MIM-Bauteile	442
2.6.5.1	Niedriglegierte FeNiCr-Stähle.....	442
2.6.5.2	Säure- und laugenbeständiger Stahl	443
2.6.5.3	Hitzebeständiger Stahl	444
2.6.5.4	Verschleißbeständiger Stahl.....	444
2.6.5.5	Weichmagnetischer FeSi-Werkstoff.....	445
2.6.5.6	Hochwarmfeste Ni-Basislegierung	445
2.6.5.7	Hartmetalle	445
2.6.5.8	Zweikomponentenbauteile	446
2.7	Zusammenfassung und Ausblick	446
II	Urformen von Kunststoffen	449
1	Einführung in die Urformtechnik von Kunststoffen.....	451
1.1	Einleitung.....	453
1.2	Aufbau der Kunststoffe	453
1.2.1	Makromolekularer Aufbau der Kunststoffe	454
1.2.2	Herstellung von Polymeren	454
1.2.2.1	Polymerisation.....	454
1.2.2.2	Polyaddition	456
1.2.2.3	Polykondensation.....	456
1.2.3	Bindungskräfte in Polymeren	457

1.3	Einteilung der Kunststoffe.....	458
1.3.1	Thermoplaste	459
1.3.1.1	Grundsätzliche Eigenschaften thermoplastischer Kunststoffe	459
1.3.1.2	Unterteilung nach Morphologie bzw. Ordnungszustand	462
1.3.1.2.1	Amorphe Thermoplaste.....	462
1.3.1.2.2	Teilkristalline Thermoplaste.....	463
1.3.1.3	Unterteilung nach Leistungs- bzw. Preisklassen	465
1.3.1.3.1	Standard-Thermoplaste	467
1.3.1.3.2	Technische Thermoplaste.....	467
1.3.1.3.3	Hochleistungskunststoffe	467
1.3.2	Elastomere und Duroplaste	468
1.3.2.1	Elastomere.....	468
1.3.2.1.1	Begriffe	468
1.3.2.1.2	Eigenschaften der Elastomere.....	468
1.3.2.1.3	Einteilung der Kautschuke	469
1.3.2.1.4	Aufbau von Elastomermischungen.....	470
1.3.2.2	Duroplaste	471
1.3.3	Copolymere und Polymerge mische.....	472
1.3.3.1	Strukturen von Copolymeren.....	472
1.3.3.2	Kinetik der Copolymerisation	473
1.3.3.3	Beispiele für Copolymere.....	473
1.3.3.3.1	PE/PP-Copolymere	474
1.3.3.3.2	Styrolcopolymere	474
1.3.3.3.3	Flüssigkristalline Kunststoffe	474
1.3.3.3.4	Thermoplastische Elastomere	475
1.3.3.4	Arten von Polymerge mischen	475
1.3.3.5	Beispiele für Polymerge mische.....	476
1.3.4	Additive und Zuschlagstoffe.....	476
1.3.4.1	Zuschlagstoffe.....	476
1.3.4.1.1	Gleitmittel	476
1.3.4.1.2	Stabilisatoren.....	477
1.3.4.1.3	Antistatika.....	477
1.3.4.1.4	Flammschutzmittel	477
1.3.4.1.5	Farbmittel.....	477
1.3.4.1.6	Weichmacher	477
1.3.4.1.7	Haftvermittler	478
1.3.4.1.8	Treibmittel.....	478
1.3.4.1.9	Duftstoffe.....	478
1.3.4.1.10	Nukleierungsmittel	478
1.3.4.2	Füll- und Verstärkungsstoffe.....	480
1.3.4.2.1	Kugelförmige Füllstoffe.....	480
1.3.4.2.2	Plättchenförmige Füllstoffe	480
1.3.4.2.3	Faserartige Füllstoffe.....	480
1.4	Verarbeitungsrelevante Werkstoffeigenschaften.....	480
1.4.1	Fließigenschaften von Kunststoffschmelzen	480
1.4.1.1	Fließverhalten.....	481
1.4.1.2	Viskoelastische Eigenschaften.....	483
1.4.1.3	Orientierungen	484
1.4.1.4	Messung rheologischer Eigenschaften	484
1.4.1.4.1	MFR-Messgerät	485
1.4.1.4.2	Hochdruckkapillarrheometer.....	485

1.4.1.4.3	Rotationsrheometer	487
1.4.2	Abkühlung aus der Schmelze und Entstehung von inneren Strukturen	488
1.4.2.1	Struktur und innere Eigenschaften	488
1.4.2.2	Das Verformungsverhalten fester Kunststoffe	490
2	Aufbereitungstechnik	493
2.1	Kunststoff-Aufbereitung	495
2.1.1	Compoundieren	496
2.1.2	Rezepturbestandteile	496
2.2	Mischen und Dosieren	497
2.2.1	Feststoffmischer	498
2.2.1.1	Schwerkraftmischer	498
2.2.1.2	Schubmischer	498
2.2.1.3	Fluidmischer	498
2.2.2	Dosieraggregate	498
2.2.2.1	Volumetrische Dosieraggregate	498
2.2.2.2	Gravimetrische Dosieraggregate	500
2.3	Extruder	502
2.3.1	Allgemeiner Aufbau	502
2.3.2	Antriebsmotoren	503
2.3.2.1	Auswahlkriterien, IP-Schutzklassen	503
2.3.2.2	Gleichstromantriebe	504
2.3.2.3	Drehstromantriebe	505
2.3.3	Sicherheitskupplung	506
2.3.4	Getriebe	507
2.3.4.1	Verzahnungen	507
2.3.4.2	Lagerung	507
2.3.4.3	Ölschmieranlage	508
2.3.4.4	Schmierstoffe	508
2.3.4.5	Getriebebauart	508
2.3.4.5.1	Getriebe mit einer Abtriebswelle	509
2.3.4.5.2	Getriebe mit zwei oder mehreren Abtriebswellen	509
2.3.5	Schneckenwellenkupplung	511
2.3.6	Verfahrensteil des Extruders	511
2.3.6.1	Schneckenzyylinder und Schneckenwellen	512
2.3.6.1.1	Temperierung	512
2.3.6.1.2	Verschleißverhalten, Werkstoffe	512
2.3.7	Verfahrenszonen	514
2.3.7.1	Einzugs- und Feststoff-Förderzone	515
2.3.7.2	Aufschmelzzone	516
2.3.7.3	Misch- und Homogenisierzone	516
2.3.7.3.1	Dispersives Mischen	516
2.3.7.3.2	Distributives Mischen	517
2.3.7.4	Entgasungszone	519
2.3.7.4.1	Entgasungsmechanismus	519
2.3.7.4.2	Entgasungsdome	519
2.3.7.4.3	Vakuumanlagen	519
2.3.7.4.4	Standard-Entgasung	520
2.3.7.4.5	Flash-Entgasung	520

2.3.7.4.6	Rest-Entgasung.....	520
2.3.7.4.7	Entgasen mit Schleppmitteln	521
2.3.7.5	Austragszone	522
2.4	Austragsteile.....	523
2.4.1	Zahnradpumpen	523
2.4.2	Schmelzefilter	525
2.4.3	Granuliertvorrichtungen	527
2.4.3.1	Kaltabschlagverfahren	527
2.4.3.1.1	Stranggranulierung	527
2.4.3.1.2	Unterwasserstranggranulierung	528
2.4.3.2	Heißabschlagverfahren	528
2.4.3.2.1	Messerwalzengranulierung.....	528
2.4.3.2.2	Exzentrische Granulierung.....	529
2.4.3.2.3	Zentrische Granulierung.....	529
2.5	Granulatnachbehandlung	532
2.6	Extruderbauarten.....	533
2.6.1	Einschneckenextruder	534
2.6.1.1	Standardbauform.....	534
2.6.1.2	Ko-Kneter.....	536
2.6.2	Dicht kämmende Doppelschneckenextruder.....	537
2.6.2.1	Gegenläufige Doppelschneckenextruder	537
2.6.2.2	Gleichläufige Doppelschneckenextruder	538
2.6.3	Gegenläufige, tangierende Doppelschneckenmischer	540
2.6.4	Mehrschneckenextruder.....	542
2.6.4.1	Planetwalzenextruder	542
2.6.4.2	Ringextruder.....	543
2.6.5	Vergleich der Extrudersysteme.....	544
2.6.6	Extruderauslegung	544
2.7	Verfahrensbeispiele.....	545
2.7.1	Polyolefine.....	545
2.7.2	Technische Kunststoffe.....	546
2.7.3	Pulverlacke und Toner	546
2.7.4	Temperatur- und scherempfindliche Produkte.....	548
2.7.5	Reaktives Aufbereiten	548
2.7.6	Chemische Produkte.....	549
2.7.7	Lebensmitteltechnik.....	549
3	Extrusion.....	553
3.1	Einschneckenextruder	555
3.1.1	Allgemeines	555
3.1.2	Spezifikation der Randbedingungen und Anforderungen des Extruders	558
3.1.3	Prozesse im Plastifizierextruder.....	560
3.1.3.1	Feststoffförderung.....	560
3.1.3.2	Aufschmelzen	562
3.1.3.3	Schmelzeförderung.....	563
3.1.3.4	Mischen/Homogenisieren (Scher- und Mischteile).....	564
3.1.3.5	Zusammenfassende Betrachtung (Verläufe über der Schneckenlänge).....	566
3.1.4	Bauarten von Extrudern und ihre Betriebskennlinien.....	567

3.1.4.1	Glattrohrextruder	567
3.1.4.2	Nutbuchsenextruder.....	567
3.1.4.3	Entgasungsextruder	568
3.1.4.4	Schmelzeextruder	569
3.1.4.5	Schnelllaufende Extruder	570
3.1.4.6	Baureihen	570
3.1.5	Extrusionsmaschinenbau	573
3.1.5.1	Zylinderbaugruppe	573
3.1.5.2	Schnecke.....	573
3.1.5.3	Antriebsstrang.....	573
3.1.5.4	Gestell	574
3.1.5.5	Sensorik, Steuerung und Regelung.....	574
3.1.6	Extrusionssysteme.....	575
3.1.6.1	Zusammenschaltung mit Filtern und Pumpen.....	575
3.1.6.2	Coextruder in Mehrkomponentenanlagen.....	575
3.2	Schmelzefiltration.....	576
3.2.1	Filtrationsgrundlagen.....	576
3.2.2	Aufbau des Filtermediums.....	576
3.2.3	Filtrationssysteme	578
3.2.4	Entwicklung der Bolzensiebwechsler	578
3.2.5	Weitere kontinuierliche Schmelzefilter am Markt.....	581
3.2.6	Zahnradpumpe	582
3.3	Verfahrenstechnische Auslegung von Extrusionswerkzeugen.....	585
3.3.1	Rheologische Auslegung, Simulation, Grundlagen von Mehrschichtströmungen	585
3.3.2	Werkzeuge mit kreisförmigem Austrittsquerschnitt.....	590
3.3.3	Werkzeuge mit ebenem Schlitzquerschnitt	592
3.3.3.1	Bauformen von Breitschlitzwerkzeugen	592
3.3.3.2	Herstellung von Mehrschichtverbunden mit Hilfe von Coextrusionswerkzeugen	594
3.3.3.2.1	Mehrkanalwerkzeuge.....	594
3.3.3.2.2	Adapterwerkzeuge.....	594
3.3.4	Werkzeuge mit kreisringspaltförmigem Austrittsquerschnitt.....	595
3.3.4.1	Stegdornhalter	595
3.3.4.2	Pinolenkopf.....	595
3.3.4.3	Wendelverteiler	596
3.3.4.4	Siebkorbwerkzeug	596
3.3.5	Werkzeuge mit beliebigen Austrittsquerschnitten.....	597
3.3.6	Temperierung.....	599
3.3.6.1	Bauformen und Verwendung.....	599
3.3.6.1.1	Elektrisch beheizte Werkzeuge.....	599
3.3.6.1.2	Flüssigtemperierte Werkzeuge	600
3.3.7	Mechanische Auslegung	600
3.3.7.1	Mechanische Auslegung eines Breitschlitzverteilers.....	601
3.3.7.2	Mechanische Auslegung eines Radialwendelverteilers.....	601
3.4	Verfahrens- und Anlagentechnik zur Herstellung von Extrusionsprodukten.....	602
3.4.1	Rohrextrusion	602
3.4.1.1	Einleitung	602
3.4.1.2	Eingesetzte Kunststoffe	602
3.4.1.2.1	Polyvinylchlorid (PVC)	602
3.4.1.2.2	Polyolefine	603
3.4.1.2.3	Weitere Rohrwerkstoffe	603

3.4.1.3	Rohrtypen	604
3.4.1.3.1	Einschichtige Rohre	604
3.4.1.3.2	Mehrschichtige Rohre	604
3.4.1.3.3	Faserverstärkte Rohre	605
3.4.1.3.4	Großrohre	605
3.4.1.3.5	Ummantelte Stahlrohre.....	605
3.4.1.3.6	Bewässerungsrohre	605
3.4.1.4	Herstellverfahren für Rohre	605
3.4.1.4.1	Materialbeschickung	606
3.4.1.4.2	Extruder	606
3.4.1.4.3	Rohrwerkzeuge	607
3.4.1.4.4	Nachfolgeeinheiten	608
3.4.1.5	Ausblick	610
3.4.2	Proflextrusion.....	610
3.4.2.1	Profile.....	610
3.4.2.2	Extrusionsprozess und Extrusionsverfahren	611
3.4.2.3	Extrusionswerkzeuge.....	612
3.4.2.3.1	Extrusionsdüse	612
3.4.2.3.2	Bauarten	612
3.4.2.3.3	Konstruktive Auslegung und Simulation	613
3.4.2.4	Kalibrierwerkzeug	614
3.4.2.4.1	Bauarten	614
3.4.2.4.2	Konstruktive Auslegung und Simulation	615
3.4.2.5	Post-CoExtrusion.....	616
3.4.2.6	Composite-Extrusion	617
3.4.2.7	Extrusionsanlagen	618
3.4.2.7.1	Vakuumkalibriertisch.....	618
3.4.2.7.2	Profilraupenabzug.....	618
3.4.2.7.3	Profilcutter	619
3.4.2.7.4	Zusatzeinrichtungen.....	619
3.4.3	Folienextrusion.....	620
3.4.3.1	Gießfolienextrusion	620
3.4.3.1.1	Grundlagen der Gießfolienextrusion.....	620
3.4.3.1.2	Anlagen- und Verfahrenstechnik zur Herstellung von Gießfolien	620
3.4.3.1.3	Anlagensteuerung und Automation	623
3.4.3.1.4	Eigenschaften, Anwendungen und Einsatzgebiete von Gießfolien	623
3.4.3.2	Glättwerkverfahren zur Herstellung von Flachfolien und Platten	626
3.4.3.2.1	Aufbau einer Folien- oder Platten-Extrusionsanlage mit Glättwerk	626
3.4.3.2.2	Bauformen von Glättwerken.....	627
3.4.3.2.3	Aufgaben des Glättwerks	627
3.4.3.2.4	Besonderheiten einer Flachfolienanlage	628
3.4.3.2.5	Besonderheiten einer Plattenanlage	629
3.4.3.3	Herstellung kalandrierter Folien	629
3.4.3.4	Blasfolienextrusion	632
3.4.3.4.1	Einleitung.....	632
3.4.3.4.2	Rohstoffe.....	633
3.4.3.4.3	Anwendungen.....	633
3.4.3.4.4	Extruder.....	635
3.4.3.4.5	Blaskopf.....	635
3.4.3.4.6	Schlauchbildungszone.....	636
3.4.3.4.7	Abzug.....	638

3.4.3.4.8	Automation.....	638
3.4.3.4.9	Sonderbauformen.....	638
3.4.3.5	Extrusion von Schaumfolien und -platten	640
3.4.3.5.1	Eigenschaften von Schaumkunststoffen	640
3.4.3.5.2	Verfahren zur Herstellung von extrudierten Schäumen.....	640
3.4.3.5.3	Anlagentechnik zur Herstellung physikalisch getriebener Schäume	641
3.4.3.5.4	Werkzeugkonzepte bei der Schaumextrusion	643
3.4.3.6	Folienrecktechnologie	646
3.4.3.6.1	Einleitung.....	646
3.4.3.6.2	Biaxiale Folienrekanlagen	648
3.4.3.6.3	Folientypen und Einsatzgebiete.....	656
3.4.3.6.4	Trends für verstreckte Folien	660
3.4.3.7	Wicklertechnologie	662
3.4.3.7.1	Wickelverfahren	662
3.4.3.7.2	Maschinentechnik.....	663
3.4.3.7.3	Prozessführung und Wickeldefekte	664
3.4.4	Extrusionsblasformen	667
3.4.4.1	Anwendungsbereiche für blasgeformte Hohlkörper	667
3.4.4.2	Prozessablauf beim Extrusionsblasformen.....	668
3.4.4.3	Kunststoffe für das Extrusionsblasformen.....	669
3.4.4.4	Maschinentechnik.....	670
3.4.4.4.1	Grundsätzlicher Aufbau einer Blasformmaschine.....	670
3.4.4.4.2	Schlauchköpfe	670
3.4.4.4.3	Kontinuierliche/diskontinuierliche Extrusion	672
3.4.4.4.4	Wanddickensteuerung.....	673
3.4.4.4.5	Schließeinheiten.....	674
3.4.4.4.6	Einzel-/Mehrfach-Kopf Anlagen	676
3.4.4.4.7	Ein-/Doppelstationen-Maschinen.....	676
3.4.4.5	Spezielle Verfahrensvarianten.....	677
3.4.4.5.1	Mehrschicht-(Multilayer)/Coextrusionsblasformen.....	677
3.4.4.5.2	3-D-Blasformen	678
3.4.4.5.3	Blasformen von faserverstärkten Thermoplasten.....	681
3.4.4.5.4	Blow Fill Seal-Verfahren.....	681
3.4.5	Kautschukextrusion.....	683
3.4.5.1	Einführung.....	683
3.4.5.2	Bauarten	684
3.4.5.2.1	Prinzipieller Aufbau	684
3.4.5.2.2	Warmfütterextruder.....	685
3.4.5.2.3	Kaltgummi-Stiftextruder.....	686
3.4.5.2.4	Kaltgummi-Entgasungsextruder.....	688
3.4.5.2.5	Zahnradpumpe	689
3.4.5.2.6	Sonderbauarten	689
3.4.5.3	Extrusionsköpfe und -werkzeuge	689
3.4.5.4	Betriebsverhalten bei der Kautschukextrusion.....	691
3.4.5.4.1	Leistungsgrenzen	691
3.4.5.4.2	Einflussgrößen.....	692
3.4.5.5	Extrusionslinien	693
3.4.5.5.1	Extrusionslinien zur diskontinuierlichen Produktherstellung	694
3.4.5.5.2	Extrusionslinien zur kontinuierlichen Produktherstellung.....	694
3.4.5.5.3	Peripherieeinrichtungen.....	696

3.5	Grundlagen der Mess- und Regelungstechnik für Extrusionsanlagen.....	697
3.5.1	Grundlagen und Herausforderungen.....	697
3.5.2	Mess- und Automatisierungselemente entlang der Prozesskette	697
3.5.2.1	Materialzufuhr und Dosierung	697
3.5.2.1.1	Materialzufuhr.....	697
3.5.2.1.2	Gravimetrische Dosierung.....	698
3.5.2.1.3	Batchdosierung.....	698
3.5.2.1.4	Volumetrische Dosierung.....	698
3.5.2.2	Mess- und Regelungsgrößen am Extruder	699
3.5.2.2.1	Extruderzylinder und Extruderschnecke	699
3.5.2.2.2	Siebe.....	699
3.5.2.2.3	Schmelzepumpe	699
3.5.2.2.4	Flansche, Rohrverbindungen, Feedblock	700
3.5.2.3	Mess- und Regelungsgrößen an der Düse	700
3.5.2.3.1	Temperaturregelung und Druckmessung	700
3.5.2.4	Kühlung, Kalibrierung, Produktentnahme	700
3.5.3	Messen und Regeln der Qualitätseigenschaften	700
3.5.3.1	Dickenmessung	700
3.5.3.2	Dickenregelung in Extrusionsrichtung	701
3.5.3.3	Dickenregelung quer zur Extrusionsrichtung (Dickenverteilung)	701
3.5.3.3.1	Flachfolie	701
3.5.3.3.2	Blasfolie	702
3.5.3.3.3	Rohre, Kabelummantelung, Profilextrusion	702
3.5.3.3.4	Blasformdüse	702
3.5.3.4	Weitere Qualitätsmerkmale	702
3.5.4	Aufbau eines Automatisierungssystems	703
3.5.5	Entwicklungstendenzen.....	703
4	Spritzgießen	705
4.1	Wirtschaftliche Bedeutung	709
4.2	Der Spritzgießzyklus.....	711
4.2.1	Verfahrensablauf.....	711
4.2.2	Dosierphase.....	712
4.2.3	Einspritzphase.....	712
4.2.4	Nachdruckphase.....	716
4.2.5	Kühlphase.....	717
4.3	Produktentwicklung beim Spritzgießen	717
4.3.1	Erstellen der Anforderungsliste.....	718
4.3.2	Machbarkeitsstudie	718
4.3.3	Erstellen des Projektplans	719
4.3.4	Produktgestaltung/Aufgaben der Entwicklungsteams	719
4.3.5	Werkstoffauswahl	719
4.3.6	Konstruktion/Rapid Prototyping	721
4.3.6.1	Mechanische Auslegung/Dimensionierung	721
4.3.6.2	Rheologische Auslegung	722
4.3.7	Werkzeugauslegung	723
4.3.8	Erprobung	723

4.4	Maschinentchnik.....	724
4.4.1	Einführung.....	724
4.4.2	Plastifizier- und Einspritzeinheit.....	725
4.4.2.1	Trichter	725
4.4.2.2	Schneckensysteme.....	726
4.4.2.3	Rückstromsperre (RSP)	732
4.4.2.4	Maschinendüse.....	732
4.4.2.5	Zylinderbeheizung.....	733
4.4.2.6	Schneckenantrieb	735
4.4.2.6.1	Rotatorischer Schneckenantrieb.....	735
4.4.2.6.2	Translatorischer Schneckenantrieb.....	737
4.4.3	Antriebssysteme von Spritzgießmaschinen	739
4.4.4	Schließeinheiten.....	743
4.4.4.1	Schließeinheiten mit mechanischer Zuhaltung.....	744
4.4.4.2	Schließeinheiten mit hydraulischer Zuhaltung.....	746
4.5	Spritzgießwerkzeugtechnik.....	751
4.5.1	Aufgaben des Spritzgießwerkzeugs.....	752
4.5.2	Funktionskomplexe von Spritzgießwerkzeugen.....	752
4.5.2.1	Angusssystem.....	752
4.5.2.2	Kavität zur Ausformung der Schmelze	757
4.5.2.3	Temperiersystem.....	757
4.5.2.4	Entformungssystem.....	761
4.5.2.5	Nebenfunktionen: Führung und Zentrierung, Maschinen- und Kraftaufnahme, Bewegungsübertragung	764
4.5.3	Einteilung und Klassifikation von Spritzgießwerkzeugen	766
4.5.3.1	Unterscheidung nach Anzahl der Trennebenen.....	766
4.5.3.2	Unterscheidung nach Art der Entformung.....	767
4.5.3.3	Unterscheidung nach Art der Angusstemperierung	767
4.5.3.4	Unterscheidung nach Art der Kraftaufnahme	768
4.5.4	Integrierte Bauteil- und Werkzeugkalkulation	768
4.5.4.1	Einflussfaktoren, Stellgrößen für die Bauteilkosten.....	769
4.5.4.2	Einflussfaktoren, Stellgrößen für die Werkzeugkosten	770
4.5.4.3	Kalkulationsverfahren für die Ermittlung von Werkzeugkosten.....	770
4.5.4.3.1	Empirische Verfahren.....	771
4.5.4.3.2	Das Prinzip der Kostenfunktion.....	771
4.5.4.3.3	Das Prinzip der Kostenähnlichkeit.....	772
4.5.4.3.4	Ressourcenorientierte Prozesskosten-Rechnung.....	772
4.5.4.3.5	Unterstützung der Werkzeugkalkulation durch spezialisierte Software	772
4.5.5	Sonderwerkzeuge	773
4.5.5.1	Mehrkavitätenwerkzeuge	773
4.5.5.2	Familienwerkzeuge.....	774
4.5.5.3	Etagenwerkzeuge	774
4.5.5.4	Etagenwendetechnik	776
4.5.5.5	Tandemwerkzeuge	777
4.6	Prozessverlauf der Formteilbildung beim Spritzgießen	779
4.6.1	Prozessphasen	779
4.6.1.1	Einspritzphase.....	779
4.6.1.2	Umschaltphase	782

4.6.1.3	Nachdruckphase.....	782
4.6.1.4	Abkühlphase.....	784
4.6.2	Zusammenhang zwischen Verarbeitung und der Struktur-Eigenschaftsbeziehung.....	786
4.6.2.1	Orientierungen.....	787
4.6.2.2	Schwindung und Verzug.....	790
4.6.2.3	Kristallisation.....	794
4.6.2.4	Eigenspannungen.....	797
4.6.2.5	Weitere Prozesseinflüsse auf die inneren Eigenschaften.....	799
4.6.2.6	Fazit.....	799
4.6.3	Prozessüberwachung beim Spritzgießen.....	800
4.6.3.1	SPC.....	800
4.6.3.2	Prozessüberwachung mit Maschinenkennzahlen.....	800
4.6.3.3	Prozessüberwachung mit Sensoren im Werkzeug.....	800
4.6.3.4	Qualitätsüberwachung mit Prozessmodellen.....	802
4.6.3.5	Prozesssteuerung und -regelung mit Sensoren im Werkzeug.....	803
4.6.4	Typische Fehler beim Spritzgießen – Ursachen und Strategien zur Beseitigung.....	803
4.6.4.1	Einführung.....	803
4.6.4.2	Grundlagen.....	804
4.6.4.3	Vorgehensweise zur Fehler-identifizierung und Fehlerdiagnose.....	804
4.7	Automation in der Spritzgießverarbeitung.....	811
4.7.1	Einführung.....	811
4.7.2	Produkt- und Werkzeuggestaltung.....	811
4.7.2.1	Produktgestaltung.....	811
4.7.2.2	Werkzeuggestaltung.....	811
4.7.2.3	Werkzeugwechsel.....	812
4.7.3	Handling.....	813
4.7.3.1	Roboterwahl.....	813
4.7.3.2	Freiheitsgrad und Arbeitsraum.....	813
4.7.3.3	Antriebe.....	813
4.7.3.4	Roboterarten.....	813
4.7.3.5	Greifer.....	815
4.7.4	Effiziente Fertigungszellen.....	816
4.7.5	Vorbearbeitung.....	817
4.7.6	Nachbearbeitung.....	817
4.7.7	Prüftechnik.....	818
4.7.8	Verpacken und Transportieren.....	819
4.7.9	Interaktion.....	819
4.7.9.1	Ergonomie.....	819
4.7.9.2	Schnittstellen nach Euromap.....	819
4.7.9.3	Steuerung.....	819
4.7.10	Entscheidungshilfen zur Auswahl der optimalen Automation.....	820
4.7.11	Anwendungsbeispiele.....	821
4.8	Sonderverfahren des Spritzgießens.....	824
4.8.1	Mehrkomponenten-Spritzgießen.....	824
4.8.1.1	Additionsverfahren.....	824
4.8.1.2	Serielle Verfahren.....	825
4.8.1.3	Simultane Verfahren.....	827
4.8.1.4	Sequenzverfahren.....	829
4.8.1.5	Sandwich-Spritzgießen.....	829

4.8.2	Fluidinjektionstechnik	833
4.8.2.1	Gasinjektionstechnik.....	836
4.8.2.2	Wasserinjektionstechnik	837
4.8.2.3	Gasaußendrucktechnik	838
4.8.3	Schaumspritzgießen	840
4.8.3.1	Einteilung verschiedener Schaumtypen.....	840
4.8.3.2	Eigenschaften von Schäumen	840
4.8.3.3	Treibmittelarten.....	840
4.8.3.4	Mechanismen der Schaumbildung	842
4.8.3.5	Verfahren zum Schaumspritzgießen	842
4.8.3.6	Schäumverfahren zum Erzeugen guter Oberflächen.....	844
4.8.4	Mikrospritzgießen.....	847
4.8.4.1	Werkzeugtechnik	847
4.8.4.2	Fertigungsverfahren für mikrostrukturierte Kavitäten	849
4.8.4.3	Maschinentechnik.....	849
4.8.5	Hinterspritztechnik	852
4.8.5.1	Übersicht über die Verfahren.....	854
4.8.5.2	Maschinentechnik für das Hinterspritzen	857
4.8.5.3	Werkzeugtechnik für die Hinterspritztechnik.....	857
4.8.5.4	Automatisierung der Hinterspritztechnik.....	858
4.8.6	Spritzprägen	859
4.8.6.1	Einführung.....	859
4.8.6.2	Schließprägen.....	861
4.8.6.3	Schließprägen mit Masseausdrücken.....	861
4.8.6.4	Expansionsprägen (Atmungsprägen)	861
4.8.6.5	Zweistufiges Expansionsprägen	861
4.8.6.6	Keil-Prägen.....	862
4.8.6.7	Spritzprägeprozess - Besonderheiten im pVT-Diagramm	862
4.8.7	Transfer Moulding (Spritzpressen)	864
4.8.8	Injection Transfer Moulding	868
4.8.8.1	Injection Transfer Moulding in der Elastomerverarbeitung.....	868
4.8.8.2	Injection Transfer Moulding in der Thermoplastverarbeitung	870
4.8.9	Schmelzkerntechnik.....	872
4.8.9.1	Einleitung.....	872
4.8.9.2	Verarbeitungsverfahren mit „verlorenen Kernen“	872
4.8.9.3	Verfahrensbeschreibung.....	873
4.8.10	Insert-/Outserttechnik	877
4.8.10.1	Inserttechnik.....	877
4.8.10.2	Outserttechnik	879
4.8.11	Hybridtechnik.....	883
4.8.11.1	Funktionsprinzip.....	883
4.8.11.2	Materialauswahl.....	883
4.8.11.3	Konstruktion	884
4.8.11.4	Fertigungsprozess.....	885
4.8.11.5	Anwendungen.....	886
4.8.12	Pulverspritzgießen.....	887
4.8.12.1	Vorteile und Anwendungsgebiete des Pulverspritzgießens	887
4.8.12.2	Das Pulverspritzgießverfahren	887
4.8.12.3	Optimierung der Bauteilgeometrie für den Pulverspritzguss.....	888
4.8.12.4	Toleranzen vom PIM-Bauteilen.....	888

5	Rotationsformen	891
5.1	Einführung	893
5.2	Grundlagen	893
5.3	Werkstoffe für das Rotationsformen	894
5.4	Maschinentechnik.....	894
5.5	Werkzeuge und Bauteilauslegung	896
5.5.1	Werkzeuge.....	896
5.5.2	Bauteilauslegung.....	896
5.5.3	Verfahrensvarianten.....	897
5.6	Wirtschaftlichkeit und Vergleich mit anderen Verfahren	898
6	Pressen	899
6.1	Pressen von Elastomeren.....	901
6.1.1	Die Presse.....	901
6.1.2	Die Werkzeuge.....	902
6.1.3	Verfahrensablauf.....	902
6.1.4	Vor- und Nachteile des Pressverfahrens.....	903
6.2	Pressen von faserverstärkten Kunststoffen	903
6.2.1	Maschinen- und Werkzeugtechnik.....	903
6.2.2	Fließpressen von SMC.....	904
6.2.3	Fließpressen von thermoplastischen Werkstoffen.....	906
7	Herstellung von Formteilen aus PUR	909
7.1	Werkstoff nach Maß durch Chemie und Verarbeitung.....	911
7.2	Grundlagen der PUR-Verfahrenstechnik.....	911
7.2.1	Verfahren zur Dosierung und Vermischung von PUR-Rohstoffen	912
7.2.2	Nukleierung und Treibmittel.....	916
7.3	Anlagentechnik RIM und Reaktionsgießen	918
7.3.1	Formgebungswerkzeug.....	918
7.3.2	Transporteinrichtungen	918
7.4	Anwendungstechniken	920
7.4.1	Gießen von PUR-Formteilen.....	920
7.4.1.1	Gießen von PUR-Elastomeren.....	920
7.4.1.2	Gießen von massiven oder geschäumten Formteilen.....	920
7.4.2	RIM-Technik als Sonderform des Reaktionsgießens	921
7.4.2.1	Verarbeitungstechnik	921
7.4.2.2	RIM-Werkstoffe.....	922
7.4.2.3	RRIM: Herstellung verstärkter RIM-Formteile	922
7.4.2.4	Typische Anwendungen.....	922
7.4.3	Herstellung langfaser-verstärkter PUR-Bauteile	922
7.4.3.1.	Structural Reaction Injection Moulding (S-RIM) Verfahren.....	922
7.4.3.2	S-RIM-Sandwichbauteile	923
7.4.3.3	Faserverstärkte Bauteile hergestellt im Sprühverfahren	923
7.4.4	Herstellung von PUR-Kühlmöbeln.....	924