

Andreas Bührig-Polaczek
Walter Michaeli
Günter Spur

Handbuch Urformen

Edition | Handbuch der Fertigungstechnik

HANSER

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 Gießeeigenschaften.....	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 -härter.....	195
1.5.2.3	Formzusatz- und Hilfsstoffe.....	196
1.5.3	Herstellung verllorener 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 verllorener 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 Sintereisen 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 Polymergemische.....	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 Polymergemischen.....	475
1.3.3.5	Beispiele für Polymergemische.....	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	Fließeigenschaften 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	Glattrohretruder	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	Rohrextusion	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	Profilextrusion.....	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 Folienreckanlagen	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	Schließenheiten.....	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	Maschinentechnik.....	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	Angussystem.....	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	Maschinentchnik.....	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