

Inhalt

1 Gestalten von Bauteilen für das Spritzgießen	1
1.1 Fertigungs- und werkstoffgerechte Gestaltung	1
1.1.1 Gestaltung von Spritzgussteilen	1
1.1.1.1 Wanddicke so dünn wie möglich auslegen	2
1.1.1.2 Gleiche Wanddicken vorsehen	9
1.1.1.3 Masseanhäufungen vermeiden	12
1.1.1.4 Ecken und Kanten mit Radien versehen	14
1.1.1.5 Rippen spritzgießgerecht gestalten	18
1.1.1.6 Ebene Flächen vermeiden	22
1.1.1.7 Ausreichende Konizitäten vorsehen	23
1.1.1.8 Hinterschneidungen vermeiden	24
1.1.1.9 Keine genauere Bearbeitung als nötig	27
1.1.1.10 Das Potential der freien Formgebung ausschöpfen	29
1.1.1.11 Position des Angusses bei der Formgestaltung beachten	32
1.1.1.12 Kunststoff-Metall-Verbunde spannungsausgleichend gestalten	36
1.1.1.13 Löcher und Auskernungen kunststoffgerecht gestalten	40
1.1.1.14 Gewinde kunststoffgerecht gestalten	42
1.1.1.15 Formteile verfahrensgerecht optimieren	44
Literatur	46
2 Das Spritzgießverfahren	49
2.1 Zyklusablauf beim Spritzgießen	49
2.1.1 Spritzgießen von Thermoplasten	51
2.1.2 Spritzgießen von vernetzenden Formmassen	52
2.1.2.1 Spritzgießen von Elastomeren	52
2.1.2.2 Spritzgießen von Duroplasten	53
2.2 Bezeichnungen am Spritzgießwerkzeug	53
2.3 Einteilung der Werkzeuge	54
2.4 Aufgaben des Spritzgießwerkzeugs	54
2.4.1 Kriterien zur Einteilung der Werkzeuge in Gruppen	55
2.4.2 Prinzipielle Vorgehensweise bei der Werkzeugkonstruktion	59
2.4.3 Bestimmung der Werkzeuggröße	65
2.4.3.1 Maximale Fachzahl	65
2.4.3.2 Zuhaltekraft	65
2.4.3.3 Maximale Aufspannfläche	66
2.4.3.4 Erforderlicher Öffnungshub	66
2.4.4 Fließweg-Wanddickenverhältnis	66

2.4.5 Bestimmung der Formnestzahl	69
2.4.5.1 Algorithmus zur Bestimmung der technisch-wirtschaftlich optimalen Formnestzahl (Werkzeug-Maschinen-Kombination)	72
2.4.5.2 Kosten für Bemustern, Rüsten und Instandhaltung	82
2.5 Anordnung der Formnester in der Trennebene	84
2.5.1 Allgemeine Forderungen	84
2.5.2 Darstellung der Lösungsmöglichkeiten	85
2.5.3 Kräftegleichgewicht des Werkzeugs beim Füllvorgang	86
2.5.4 Zahl der Trennebenen	87
Literatur	88
3 Verfahren zur Abschätzung der Werkzeugkosten	91
3.1 Allgemeines	91
3.2 Verfahren zur Werkzeugkalkulation	92
3.3 Das Prinzip der Kostenfunktion	94
3.3.1 Kalkulationsgruppe I: Formnest (3.3.1–3.3.4 auszugsweise aus)	95
3.3.2 Kalkulationsgruppe II: Grundaufbau	95
3.3.3 Kalkulationsgruppe III: Grundfunktionseinheiten	96
3.3.4 Kalkulationsgruppe IV: Sonderfunktionseinheiten	98
3.4 Das Prinzip der Kostenähnlichkeit	99
3.5 Weitere Kalkulationsansätze	102
3.5.1 Die ressourcenorientierte Prozesskostenrechnung	102
3.5.2 Das Prinzip der hierarchischen Ähnlichkeitssuche	103
3.6 Im Markt befindliche Rechenprogramme	104
Literatur	106
4 Eintritt der Schmelze ins Werkzeug, ihre Verteilung und der Füllvorgang der Kavitäten	109
4.1 Beschreibung des Angussystems	109
4.2 Prinzip und Definition verschiedener Augusskanalarten	110
4.2.1 Normale Verteilerkanäle	110
4.2.2 Heißkanäle	110
4.2.3 Kaltkanäle	111
4.3 Anforderungen an das Angussystem	111
4.4 Angussformen	113
4.5 Angussbuchse	116
4.6 Gestaltung der Verteilerkanäle	119
4.7 Gestaltung der Angussstege (Anschnitte)	124
4.7.1 Lage des Anschnittes am Spritzling	127
4.8 Verteilerkanäle für hoch gefüllte Schmelzen	131
4.9 Verteilerkanäle und Anschnitte für vernetzende Formmassen	133
4.9.1 Elastomere	133
4.9.1.1 Nacharbeitsfreies Spritzgießen	134
4.9.1.2 Einfluss der Lage des Anschnittes bei Elastomeren	134

4.9.2 Duroplaste.....	134
4.10 Qualitative (Füllbild) und quantitative Berechnung des Füllvorganges von Kavitäten (Simulationsmodelle)	135
4.10.1 Einleitung	135
4.10.2 Füllbild und seine Bedeutung.....	136
4.10.3 Vorbereitung einer Füllsimulation mit dem „Füllbild“.....	137
4.10.4 Theoretische Grundlagen der Füllbildermittlung	138
4.10.5 Praktische Vorgehensweise bei der graphischen „Füllbildermittlung“..	140
4.10.5.1 Zeichnen der Fließfronten	140
4.10.5.2 Leitstrahlen zur Darstellung von Schattenbereichen	141
4.10.5.3 Analyse von kritischen Füllbereichen	143
4.10.6 Quantitative Füllanalyse/Grundlage der Füllsimulationen	144
4.10.7 Analytische Auslegung von Angüssen und Angussverteilern	147
4.10.7.1 Rheologische Grundlagen.....	147
4.10.7.2 Ermittlung des viskosen Fließverhaltens unter Scherung mit Hilfe des Kapillarrheometers.....	153
4.10.7.3 Dehnviskosität.....	156
4.10.7.4 Einfache Gleichungen zur Druckverlustberechnung in Angüssen und Angussverteilern.....	157
4.11 Besondere Phänomene bei Mehrfachanschnitten	160
4.12 Auslegung von Angüssen und Angussverteilern für vernetzende Formmassen	162
4.12.1 Elastomere.....	162
4.12.1.1 Berechnung des Füllvorgangs.....	162
4.12.1.2 Einfluss der Verarbeitungseigenschaften ermittelt anhand von Verarbeitungsfenstern	163
4.12.1.3 Kritische Anmerkungen und Beispiele zum Modell des Verarbeitungsfensters	165
4.12.2 Duroplaste.....	167
4.12.2.1 Fließ-Härtungsverhalten von Duroplasten	167
Literatur	170
5 Ausführung der Angüsse	175
5.1 Stangenanguss.....	175
5.2 Band- oder Filmanguss	177
5.3 Schirmanguss	178
5.4 Ringanguss	179
5.5 Tunnelanguss	181
5.6 Abreiß-Punktanguss – Dreiplattenwerkzeug	183
5.7 Vorkammer-Punktanguss.....	185
5.8 Angussloses Anspritzen	188
5.9 Werkzeuge mit Isolierkanalverteilern	189
5.10 Temperierte Angussysteme – Heißkanal.....	193
5.10.1 Heißkanalsysteme.....	193
5.10.1.1 Wirtschaftliche Vor- und Nachteile der Heißkanal- systeme	194

5.10.1.2	Heißkanäle für verschiedene Anwendungen und neue Möglichkeiten	195
5.10.1.3	Aufbau und Bestandteile eines Heißkanalsystems	196
5.10.1.4	Heißkanaldüsen (Anspritzdüsen, Anschnittdüsen)	206
5.10.1.5	Daten zur Auslegung von Heißkanalverteilern	211
5.10.1.6	Beheizung von Heißkanalsystemen	214
5.10.2	Kaltkanäle	218
5.10.2.1	Kaltkanalsysteme für Elastomer-Spritzgießwerkzeuge	218
5.10.2.2	Kaltkanalwerkzeuge für Duroplaste	224
Literatur	226
6	Entlüften der Werkzeuge	229
6.1	Passive Entlüftung	229
6.2	Aktive Entlüftung	239
6.3	Entlüften beim Gasgegendruckspritzgießen	241
Literatur	243
7	Die thermische Auslegung	245
7.1	Kühlzeit (Temperierzeit)	246
7.2	Temperaturleitfähigkeit verschiedener Formmassen	249
7.2.1	Die Temperaturleitfähigkeit duroplastischer Formmassen	251
7.3	Kühlzeitermittlung bei Thermoplasten	251
7.3.1	Kühlzeit bei asymmetrischen Wandtemperaturen	252
7.3.2	Kühlzeit bei anderen Geometrien	253
7.4	Die Wärmeströme und die Temperierleistung	256
7.4.1	Wärmeströme	256
7.4.1.1	Thermoplaste	256
7.4.1.2	Vernetzende Formmassen	261
7.5	Analytische thermische Berechnung anhand des spezifischen Wärmestroms (globale Auslegung)	264
7.5.1	Berechnungsablauf	265
7.5.1.1	Kühlzeitberechnung	268
7.5.1.2	Wärmestrombilanz	268
7.5.1.3	Temperiermitteldurchsatz	271
7.5.1.4	Temperierkanaldurchmesser	272
7.5.1.5	Lage der Temperierkanäle	276
7.5.1.6	Auslegung des Temperierkreislaufes	279
7.5.2	Beispiel für die Auslegung von Temperierkanälen	281
7.6	Numerische Berechnung zur thermischen Formteilauslegung	285
7.6.1	Zweidimensionale Berechnung	286
7.6.2	Dreidimensionale Berechnung	286
7.6.3	Einfache Abschätzung der unterschiedlichen Wärmeströme an kritischen Stellen	287
7.7	Praktische Ausführung der Kühlkanäle	289
7.7.1	Temperiersysteme für Kerne und rotationssymmetrische Formteile	289
7.7.2	Temperiersysteme für flächige Formteile	294

7.7.3	Abdichten der Temperiersysteme	298
7.7.4	Konturnahe Temperierung	299
7.7.5	Empirische Praxis zur Kompensation des Verzugs aus Wärmestromdifferenzen in Ecken bei thermoplastischen Formteilen.	300
7.7.5.1	Änderung der Eckengeometrie.	300
7.7.5.2	Partielle Anpassung der Wärmeströme	301
7.8	Berechnung der Heizung von Werkzeugen für vernetzende Werkstoffe	301
7.9	Thermische Auslegung von Werkzeugen für vernetzende Kunststoffe	302
7.9.1	Wärmehaushalt.	302
7.9.2	Temperaturverteilung.	306
7.10	Praktische Ausführung der elektrischen Beheizung von Duroplastwerkzeugen	307
7.11	Temperiergeräte für Spritzgieß- und Presswerkzeuge	309
7.11.1	Aufgabe, Prinzip, Einteilung	309
7.11.2	Kontinuierlich arbeitende Anlagen	309
7.11.2.1	Durchflusstemperierung.	309
7.11.2.2	Temperiergeräte mit eigenem Kreislauf.	309
7.11.2.3	Diskontinuierlich arbeitende Temperieranlagen (Impulskühlung)	312
7.11.2.4	Diskontinuierlich mit alternativ wechselnder Temperatur arbeitende Temperieranlagen (sogenannte variotherme Temperierung)	313
7.11.3	Regelung	315
7.11.3.1	Regelungarten	315
7.11.4	Gerätebestimmung.	318
7.11.5	Wartung, Reinigung	319
Literatur		320
8	Maßänderungen, Schwindung und Verzug.	325
8.1	Einleitung	325
8.2	Definitionen zur Schwindung	325
8.3	Toleranzen für Kunststoffformteile	327
8.4	Ursache der Schwindung	332
8.5	Ursachen des anisotropen Schwindungsverhaltens	334
8.6	Ursachen des Verzugs	337
8.7	Beeinflussung von Schwindung und Verzug durch den Prozess	338
8.8	Hilfsmittel zur Schwindungsvorhersage	341
Literatur		342
9	Mechanische Auslegung von Spritzgießwerkzeugen	343
9.1	Die Werkzeugverformung	343
9.2	Analyse und Bewertung der Verformungen	343
9.2.1	Bewertung der einwirkenden Kräfte	344
9.3	Grundlagen zur Beschreibung der Deformationen	345
9.3.1	Einfache Rechnung zur Abschätzung der Spaltbildung	346

9.3.2	Genauere Rechnung zur Abschätzung der Spaltbildung und Verhinderung von Schwimmhäuten und Graten	347
9.4	Das Überlagerungsverfahren	349
9.4.1	Zusammengeschaltete Federn als Ersatzelemente	350
9.4.1.1	Parallelschaltung von Elementen	351
9.4.1.2	Reihenschaltung von Elementen	351
9.5	Ermittlung der Werkzeugwanddicken und ihrer Verformungen	352
9.5.1	Darstellung der einzelnen Belastungsarten und Verformungen	353
9.5.2	Dimensionierung kreiszylindrischer Formnester	354
9.5.3	Dimensionierung von nichtrunden Werkzeugkonturen	356
9.5.4	Dimensionierung der Werkzeugplatten	357
9.6	Vorgehen bei der Dimensionierung einer Werkzeugwand unter Forminnendruck	358
9.7	Verformung von Backen und Schiebern unter dem Forminnendruck	359
9.7.1	Backenwerkzeuge	359
9.8	Vorbereitungen der Verformungsrechnungen	366
9.8.1	Vereinfachungen der Geometrie	369
9.8.2	Hinweise zur Wahl der Randbedingungen	370
9.9	Rechenbeispiele	372
9.10	Identifizierung kritischer Formteilbereiche und deren Auslegung im Rahmen eines Virtual Prototyping	382
9.11	Versatz von Kernen und Einlegeteilen	384
9.11.1	Abschätzung des maximalen Kernversatzes	384
9.11.2	Kernversatz am runden Kern mit Punktanschnitt seitlich am Fuß (starre Einspannung)	386
9.11.3	Kernversatz am runden Kern mit Schirmanguss (starre Einspannung)	388
9.11.4	Kernversatz bei verschiedenen Anguss- und Anschnittformen (starre Einspannung)	392
9.11.5	Versatz von Einlegeteilen	394
9.11.5.1	Analytische Berechnung der Verformung von Metalleinlegeteilen am Beispiel zylindrischer Walzenkörper	394
9.11.6	Konstruktionsbeispiele für die Kerneinspannung und für die Zentrierung tiefer Werkzeuge	397
9.12	Weitere Belastungen	399
9.12.1	Die Abschätzung der zusätzlich auftretenden Belastungen	399
	Literatur	400
10	Zentrierung, Führung und Handling der Werkzeuge	403
10.1	Aufgabe der Führung und Zentrierung	403
10.2	Zentrierung des Werkzeugs auf der Schließeinheit	403
10.3	Innere Führung und Zentrierung	404
10.4	Führung und Zentrierung bei großen Werkzeugen	410
10.5	Werkzeugwechsel- und Spannsysteme	414
10.5.1	Werkzeugwechselsysteme, allgemein	414
10.5.2	Manuell-mechanisch-arbeitende Werkzeugwechselsysteme	415

10.5.3 Hydraulisch-arbeitende Spannsysteme	419
10.5.3.1 Adaptive Spannsysteme	419
10.5.3.2 Integrierte Spannsysteme	421
10.5.4 Magnetsysteme zum Spannen von Spritzgießwerkzeugen	423
10.6 Automatische Kupplungssysteme für Energietransport und Sensorik	426
10.7 Auswerferkupplungssysteme	428
10.8 Transportmittel für den Werkzeugwechsel	429
Literatur	432
11 Entformen gespritzter Teile	435
11.1 Übersicht über Entformungsarten	435
11.2 Auslegung des Entformungssystems – Entformungskräfte und Öffnungs- kräfte	435
11.2.1 Allgemeines	435
11.2.2 Möglichkeiten zur Bestimmung der Entformungskräfte	441
11.2.2.1 Haftreibungskoeffizienten zur Ermittlung von Entformungs- und Öffnungskräften	441
11.2.2.2 Rechnerische Abschätzmethoden für zylindrische Hülsen	443
11.2.2.3 Rechteckige Hülsen	446
11.2.2.4 Konische Hülsen	447
11.2.2.5 Zusammenstellung verschiedener Grundfälle	448
11.2.3 Entformungskraft für komplexe Formteile am Beispiel eines Lüfterrades	451
11.2.4 Numerische Berechnung von Entformungsvorgängen (bei Elastomerformteilen)	454
11.2.5 Abschätzung der Öffnungskräfte	459
11.2.5.1 Zustandsverlauf im p-v-T-Diagramm bei unterschiedlichen Werkzeugsteifigkeiten	459
11.2.5.2 Mittlere Öffnungskräfte	460
11.2.5.3 Gesamte Öffnungskraft	460
11.3 Auswerferarten	460
11.3.1 Gestaltung und Dimensionierung von Auswerferstiften	460
11.3.2 Angriffsorte von Stiften und anderen Entformungselementen	463
11.3.3 Aufnahme der Auswerferstifte in den Auswerferplatten	468
11.4 Betätigung und Betätigungsmitte für das Auswerfen	470
11.4.1 Betätigungsarten und Wahl des Angriffsortes	470
11.4.2 Betätigungsmitte	471
11.5 Besondere Auswerfersysteme	475
11.5.1 Doppeletagenauswurf (zweifacher Auswerferweg)	475
11.5.2 Gemischtes Auswerfen	478
11.5.3 Dreiplattenwerkzeug	478
11.5.3.1 Unterteilung der Auswerferbewegung durch Zuganker	479
11.5.3.2 Unterteilung der Auswerferbewegung durch einen Klinkenzug	479
11.5.3.3 Entformen auf der Düsenseite	481
11.6 Auswerferrückzug	481

11.7 Entformen von Formteilen mit Hinterschneidungen	486
11.7.1 Entformen von Formteilen mit Hinterschneidungen durch Abschieben	487
11.7.2 Zulässige Hinterschnithöhe am Beispiel von Schnappverbindungen	487
11.8 Entformen von Gewinden	490
11.8.1 Entformen von Formteilen mit Innengewinde	490
11.8.1.1 Abstreiferwerkzeuge	490
11.8.1.2 Zusammenklappende Kerne	490
11.8.1.3 Werkzeuge mit Wechselkernen	492
11.8.2 Abschraubwerkzeuge	493
11.8.2.1 Halbautomatisch arbeitende Abschraubwerkzeuge	493
11.8.2.2 Vollautomatisch arbeitende Abschraubwerkzeuge	493
11.8.3 Entformen von Formteilen mit Außengewinde	500
11.9 Hinterschneidungen in nicht rotationssymmetrischen Formteilen	501
11.9.1 Innere Hinterschneidungen	501
11.9.2 Äußere Hinterschneidungen	501
11.9.2.1 Schieberwerkzeuge	502
11.9.2.2 Backenwerkzeuge	510
11.9.3 Werkzeuge mit Kernzügen	514
Literatur	515
12 Rechnerunterstützte Werkzeugauslegung und CAD-Einsatz in der Werkzeugkonstruktion	519
12.1 Einleitung	519
12.1.1 Die Füllbildmethode zeigte den Weg	519
12.1.2 Geometrieaufbereitung als Schlüssel zum Erfolg	520
12.1.3 Komplexe Algorithmen sind beherrschbar	521
12.1.4 Simulationstechniken noch zu wenig genutzt	521
12.1.5 Einfacher und kostengünstiger	523
12.1.6 Technologische Möglichkeiten – Nutzen der Spritzgießsimulation ..	524
12.1.7 Balancierung von Verteilersystemen	527
12.1.8 Mehrkomponentenspritzgießen und Umspritzen von Einlegeteilen ..	528
12.1.9 Sandwich Injection Molding	530
12.1.10 Gas- (GIT) und Wasserinjektionstechnik (WIT)	531
12.1.11 Folien- und Stoffhinterspritzprägen	535
12.1.12 Kaskmetisches Einspritzen	535
12.1.13 Simulation und Optimierung der Kühlung	535
12.1.14 Schwindungs- und Verzugskompensation	539
12.1.15 Die nächsten Schritte sind vorgezeichnet	540
12.2 CAD-Einsatz in der Werkzeugkonstruktion	541
12.2.1 Einleitung	541
12.2.1.1 Assoziativität, Parametrik/Varimetrik, Feature – Verarbeitung, Datenformate	541
12.2.2 CAD-Anwendung im Werkzeugbau	543
12.2.2.1 Geometrieerzeugung/Modellierung	543

12.2.3 Integrierte Funktionalitäten für den Werkzeugbau.....	548
12.2.3.1 Anwendungsspezifische Funktionserweiterung	551
12.2.3.2 Möglichkeiten des Concurrent Engineering durch CAD-Einsatz	553
Literatur	555
13 Spezielle Werkzeuge zur Steigerung der Wirtschaftlichkeit.....	559
13.1 Familienwerkzeuge	559
13.2 Etagenwerkzeuge.....	560
13.2.1 Etagenwendetechnik – Würfeltechnik	566
13.3 Tandemwerkzeuge	568
13.3.1 Tandemwendetechnik.....	571
13.4 Injection Transfer Molding-Werkzeuge (ITM)	573
13.4.1 Werkzeuge für das ITM-Verfahren in der Elastomerverarbeitung.....	573
13.4.2 Werkzeuge für das ITM-Verfahren in der Thermoplast- verarbeitung	576
Literatur	578
14 Werkzeuge für Spritzgießsonderverfahren.....	581
14.1 Mehrkomponenten-Spritzgießen	581
14.1.1 Additionsverfahren.....	581
14.1.2 Sequenzverfahren	586
14.1.2.1 Intervall-Spritzgießen	587
14.1.2.2 Sandwich-Spritzgießen	587
14.2 Fluidinjektionstechnik	590
14.2.1 Verfahrensvarianten	590
14.2.2 Verfahrenstechnische Aspekte	592
14.2.3 Injektortechnologie	594
14.2.4 Injektoren für die Gasinjektionstechnik	594
14.2.5 Injektoren für die Wasserinjektionstechnik	595
14.2.5.1 Selbst betätige Injektoren	596
14.2.5.2 Fremd betätige Injektoren.....	597
14.2.5.3 Ziehende und stechende Injektoren	598
14.2.5.4 Axial- und Radialinjektoren.....	599
14.2.5.5 Generelle Gestaltungshinweise für WIT-Injektoren	600
14.2.6 Designrichtlinien für Bauteile und Werkzeuge bei der GIT/WIT	601
14.2.6.1 Stabförmige FIT-Formteile.....	601
14.2.6.2 Flächige Formteile mit Rippen.....	604
14.2.6.3 Formteile mit dickwandigen Bereichen.....	606
14.2.6.4 Mehrkavitätenwerkzeuge	606
14.2.6.5 Gestaltung von Nebenkavitäten	607
14.3 Schmelzkerntechnik	609
14.3.1 Werkzeuge für Formteile in Schmelzkerntechnik	609
14.3.2 Werkzeuge für das Umspritzen der Schmelzkerne	611
14.3.2.1 Anbindung des Formteils	613
14.3.2.2 Thermische Besonderheiten beim Umspritzen.....	613

14.3.2.3 Kernversatz.....	618
14.3.2.4 Entlüftung	619
14.3.3 Werkzeuge für die Herstellung der Schmelzkerne.....	619
14.3.3.1 Kernwerkstoff.....	620
14.3.3.2 Aufbau eines Gießwerkzeuges	620
14.3.3.3 Angussysteme.....	622
14.3.3.4 Werkstoffliche Anforderungen an das Kerngießwerkzeug	622
14.3.3.5 Entformen gegossener Schmelzkerne	623
14.4 Thermoplast-Schaumspritzgießen.....	623
14.4.1 Formteilgestaltung	624
14.4.1.1 Wanddicken, Wanddickensprünge.....	624
14.4.1.2 Rippen, Dome, Schnapphaken.....	626
14.4.1.3 Fließhindernisse.....	628
14.4.2 Angussystem	629
14.4.2.1 Balancierung des Angussystems	629
14.4.2.2 Angussbuchse	630
14.4.2.3 Anschnittarten	631
14.4.2.4 Lage der Anspritzen	633
14.4.3 Temperierung beim Schaumspritzgießen.....	634
14.4.4 Entlüftung	635
14.4.5 Werkzeugmaterialien beim Schaumspritzgießen	635
14.4.6 Möglichkeiten zur Verbesserung der Oberflächenqualität beim Schaumspritzgießen	636
14.4.6.1 „Atmendes“ Werkzeug	636
14.4.6.2 Gasgegendruckverfahren	639
14.4.6.3 Werkzeuginnendrücke beim Schaumspritzgießen	641
14.4.6.4 Verwendung von Oberflächenstrukturierungen	642
14.4.6.5 Verwendung von Beschichtungen im Werkzeug	642
14.5 Spritzprägen	643
14.5.1 Verfahrensvarianten	643
14.5.2 Anwendungsgebiete, Vor- und Nachteile des Spritzprägens	646
14.6 Hinterspritzen	648
14.6.1 Einleitung	648
14.6.2 Einstufige Dekorationsverfahren	649
14.6.2.1 Textilhinterspritztechnik/Textilmelttechnik	650
14.6.2.2 In-Mold Labeling (IML)	650
14.6.2.3 In-Mold Decoration (IMD)	650
14.6.2.4 In-Mold Decoration/Insert-Molding/Insert-Molding-Decoration	651
14.6.2.5 Folienhinterspritztechnik (FHST)/In-mold Surfacing Technik (ISF)/Paintless Film Molding/In-mold Decoration (IMD-3D/F)	651
14.6.2.6 In-Mold Coating (IMC)/In-Mold Painting (IMP)	654
14.6.2.7 Mehrfarbenspritzgießen/In-Lay-Technik	654
14.6.3 Werkzeugtechnik	655
14.7 Spritzgießen von Mikrostrukturen	661

14.7.1 Werkzeugtechnik und Prozessführung	661
14.7.2 Herstellungsverfahren für Mikrokavitäten	665
14.8 Flüssigsilikonverarbeitung	666
14.8.1 Maschinen- und Anlagentechnik für die LSR-Verarbeitung	666
14.8.2 Werkzeugtechnik	667
Literatur	670
15 Messen in Spritzgießwerkzeugen	681
15.1 Werkzeuginnendrucksensoren	681
15.1.1 Positionierung von Werkzeuginnendrucksensoren	682
15.1.2 Sensoren zur Messung des Werkzeuginnendrucks	682
15.1.2.1 Direkt messende Werkzeuginnendrucksensoren	684
15.1.2.2 Indirekt messende Werkzeuginnendrucksensoren	689
15.2 Temperatursensoren	690
15.3 Prozessoptimierung mit Werkzeuginnendrucksensoren	692
15.4 Produktions-/Qualitätsüberwachung und Qualitätsdokumentation mit Sensoren	694
15.4.1 Online-Qualitätsüberwachung auf der Basis von Prozessgrößen	694
15.4.2 Online-Qualitätsüberwachung auf Basis von Qualitätsmodellen	695
15.5 Black Box zur Erfassung von Betriebsdaten	696
15.6 Messtechnik beim Einfahren und zur praktischen Überprüfung von Spritzgießwerkzeugen im Betrieb	698
15.6.1 Einsatz der IR-Thermographie	699
15.6.1.1 Grundlagen	699
15.6.1.2 Anwendungen der Thermographie bei Spritzgieß- werkzeugen	699
15.6.1.3 Ist-Analysen an Werkzeugen und Produktionsprozessen	700
15.6.1.4 Werkzeugwandtemperatur / Formteiloberflächentemperatur	700
15.6.1.5 Ermittlung der realistischen Kühlzeit, Zykluszeit und Stückkosten	700
15.6.1.6 Unterschiedliche Werkzeugwandtemperaturen im Prozess	701
15.6.2 IR-Thermographie: Möglichkeiten, Anwendung, Nutzen	701
15.6.2.1 Möglichkeiten	701
15.6.2.2 Thermographie der Formteile	702
15.6.2.3 Thermographie an Werkzeugen	702
15.6.3 Beispiele	703
15.6.3.1 Verstopfte Kühlbohrungen	703
15.6.3.2 Thermographie an Heißkanal-Systemen	703
15.6.4 Die häufigsten Temperierfehler bei der Werkzeugauslegung	703
15.6.4.1 Optimierungsbeispiel Stossfänger	706
Literatur	709
16 Maßnahmen zum Beseitigen von Verarbeitungsfehlern beim Spritzgießen	711
Literatur	725

17 Instandhaltung von Spritzgießwerkzeugen	727
17.1 Instandhaltung	727
17.2 Vorgehensweise zur planmäßigen Werkzeug-Instandhaltung	729
17.2.1 Datenerfassung	729
17.2.2 Datenauswertung und Schwachstellenanalyse	731
17.3 Lagerung der Werkzeuge und Anforderungen an das Werkzeuglager	733
17.3.1 Lagerung der Werkzeuge	733
17.3.2 Anforderungen an das Werkzeuglager	734
17.4 Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten	735
17.4.1 Wartungsvorrichtungen	735
17.4.2 Pflege und Wartung der Werkzeugoberflächen	736
17.4.2.1 Wischen, Bürsten und Polieren	737
17.4.2.2 Reinigen durch Strahlen	737
17.4.3 Reinigen mit Ultraschall	740
17.5 Pflege und Wartung der Temperiersysteme	741
17.6 Pflege und Wartung des Heiz- und Regelsystems	742
17.7 Pflege und Wartung des Angussystems	742
17.8 Pflege und Wartung von Gleitführungen	743
17.9 Pflegemaßnahmen vor der Einlagerung	743
17.10 Reparaturen und Änderungen an Spritzgießwerkzeugen	743
17.10.1 Mechanische Nacharbeit und Austausch von Teilen oder Baugruppen	745
17.10.2 Einsetzen oder Einlöten von Stiften oder Kernen	746
17.10.3 Reparaturen und Änderungen durch Materialauftrag	747
17.10.3.1 Laserstrahlschweißen	748
17.10.3.2 Elektrische Schweißverfahren	751
17.10.3.3 Werkzeugreparaturen mit „Plastik-Stahl“	752
Literatur	753
18 Werkstoffe und Beschichtungen für den Werkzeugbau	757
18.1 Stähle	758
18.1.1 Genereller Überblick	758
18.1.2 Einsatzstähle	763
18.1.3 Nitrierstähle	763
18.1.4 Durchhärtende Stähle	768
18.1.5 Vergütete Stähle	769
18.1.6 Martensitisch aushärtende Stähle	770
18.1.7 Hartstofflegierungen	770
18.1.8 Korrosionsbeständige Stähle	771
18.1.9 Umschmelz-Stähle	772
18.2 Gusswerkstoffe	773
18.3 Nichteisenmetallische Werkstoffe	775
18.3.1 Kupferlegierungen	775
18.3.2 Zink und dessen Legierungen	777
18.3.3 Aluminiumlegierungen	777
18.3.4 Zinn-Wismut-Legierungen	782

18.4 Galvanisch abgeschiedene Werkstoffe	782
18.5 Oberflächenbehandlung von Stählen für Spritzgießwerkzeuge	784
18.5.1 Generelle Hinweise	784
18.5.2 Thermische Behandlungsverfahren	785
18.5.3 Thermochemische Behandlungsverfahren	785
18.5.3.1 Einsatzhärten	786
18.5.3.2 Nitrieren	787
18.5.3.3 Borieren	788
18.5.4 Elektrochemische Behandlungsverfahren	788
18.5.4.1 Hartverchromen	789
18.5.4.2 Vernickeln	789
18.5.5 Beschichten bei niedrigen Drücken	790
18.5.5.1 Chemische Gasphasenabscheidung, CVD-Verfahren	791
18.5.5.2 Physikalische Gasphasenabscheidung, PVD-Verfahren	792
15.5.6 Laserstrahloberflächenbehandlung (LOB)	795
18.5.6.1 Laserstrahlhärten und -umschmelzen	797
18.5.6.2 Laserstrahllegieren, -dispergieren und -beschichten	798
18.5.7 Elektronenstrahlhärten und -polieren	798
18.5.8 Lamcoat-Beschichtung	799
Literatur	799
19 Fertigungsverfahren für Spritzgießwerkzeuge	805
19.1 Herstellung metallischer Spritzgussformen und Formeinsätze durch Gießen	806
19.1.1 Gießverfahren und Gusslegierungen	806
19.1.1.1 Gießen in verlorenen Formen mit Dauermodellen	807
19.1.1.2 Verfahren in verlorenen Formen mit verlorenen Modellen	810
19.1.1.3 Verfahren in Dauerformen	814
19.1.2 Wahl des Gießverfahrens beim Werkzeugbau	815
19.2 Rapid Tooling für Spritzgießwerkzeuge	816
19.2.1 Einleitung	816
19.2.2 Rapid Tooling	817
19.2.3 Direktes Rapid Tooling	818
19.2.3.1 Stereolithographieverfahren mit Harzen, Pasten und Pulvern	818
19.2.3.2 Sintern von Metallen	819
19.2.3.3 Laserschmelzen von Stählen und Metallen	821
19.2.3.4 Rapid Tooling LOM (<u>Laminated Object Manufacturing</u>)	827
19.2.4 Indirektes Rapid Tooling über mehrstufige Prozessketten	828
19.2.4.1 Prozessketten über ein Positivmodell	829
19.2.4.2 Prozessketten über ein Negativmodell	834
19.2.5 Ausblick	836
19.3 Einsenken	837
19.4 Spanende Bearbeitungsverfahren	840
19.4.1 Zerspanung mit definierter Schneide	840
19.4.1.1 Drehen	840

19.4.1.2	Bohren	841
19.4.1.3	Fräsen	841
19.4.1.4	Verfahrensabgrenzung.	845
19.4.2	Zerspanung mit undefinierter Schneide.	845
19.4.2.1	Flachschleifen.	845
19.4.2.2	Koordinatenschleifen	845
19.4.2.3	Strahlläppen.	846
19.4.2.4	Druckfließläppen.	846
19.5	Abtragende Fertigungsverfahren	846
19.5.1	Funkenerosives Abtragen (EDM, Electric Discharge Machining)	846
19.5.1.1	Funkenerosives Senken.	847
19.5.1.2	Funkenerosives Schneiden mit Drahtelektroden	850
19.5.2	Abtragen durch elektrochemische Auflösung (ECM-Electric Chemical Machining).	852
19.5.2.1	Elektrochemisches Polieren	852
19.5.2.2	Elektrochemisches Ätzen	852
19.6	Polieren	855
19.6.1	Theorien zum Materialabtrag bei der Politur	855
19.6.2	Maschinensysteme	856
19.6.3	Aufbau und Zusammensetzung der Werkzeuge	857
19.6.3.1	Poliermittelträger.	857
19.6.3.2	Poliermittel	858
19.7	Laser-Carving	859
	Literatur	862
20	Standardisierung – Werkzeugnormalien.	869
	Literatur	883