

Inhalt

1	Werkstoffe für den Werkzeugbau	1
1.1	Stähle	2
1.1.1	Genereller Überblick	2
1.1.2	Einsatzstähle	7
1.1.3	Nitrierstähle	7
1.1.4	Durhhärtende Stähle	12
1.1.5	Vergütete Stähle	13
1.1.6	Martensitisch aushärtende Stähle	13
1.1.7	Hartstofflegierungen	14
1.1.8	Korrosionsbeständige Stähle	14
1.1.9	Umschmelz-Stähle	15
1.2	Gußwerkstoffe	16
1.3	Nichteisenmetallische Werkstoffe	16
1.3.1	Kupferlegierungen	16
1.3.1.1	Kupfer-Beryllium-Legierungen	18
1.3.2	Zink und dessen Legierungen	19
1.3.3	Aluminiumlegierungen	20
1.3.4	Zinn-Wismut-Legierungen	23
1.4	Galvanisch abgeschiedene Werkstoffe	24
1.5	Oberflächenbehandlung von Stählen	
	für Spritzgießwerkzeuge	25
1.5.1	Generelle Hinweise	25
1.5.2	Thermische Behandlungsverfahren	26
1.5.3	Thermochemische Behandlungsverfahren	27
1.5.3.1	Aufkohlen (Einsetzen, Zementieren)	27
1.5.3.2	Nitrieren	27
1.5.3.3	Borieren	28
1.5.4	Elektrochemische Behandlungsverfahren	28
1.5.4.1	Hartverchromen	29
1.5.4.2	Vernickeln	29
1.5.4.3	NYE-CARD-Verfahren	29
1.5.4.4	Hardalloy-Beschichtung	29
1.5.5	Beschichtungen bei niedrigen Drücken	30
1.5.5.1	CVD-Verfahren	30
1.5.5.2	PVD-Verfahren	31
1.6	Laserstrahloberflächenbehandlung (LOB)	32
1.6.1	Laserhärten und -umschmelzen	33
1.6.2	Laserlegieren, -dispergieren und -beschichten	33
1.7	Elektronenstrahlhärten	34
1.8	Lamcoat-Beschichtung	34
	Literatur	34

2	Fertigungsverfahren für Spritzgießwerkzeuge	39
2.1	Herstellung metallischer Spritzgußformen und Formeinsätze durch Gießen	40
2.1.1	Gießverfahren und Gußlegierungen	40
2.1.2	Sandgießverfahren	42
2.1.3	Präzisionsgießverfahren	43
2.2	Rapid Tooling für Spritzgießwerkzeuge	45
2.2.1	Stand der Technik	45
2.2.2	Direktes Rapid Tooling	47
2.2.2.1	Direktherstellung metallischer Werkzeuge	48
2.2.2.1.1	Generierende Verfahren	48
2.2.2.1.2	Direktherstellung nichtmetallischer Werkzeuge	51
2.2.3	Indirektes Rapid Tooling (mehrstufige Prozeßketten)	53
2.2.3.1	Prozeßketten über ein Positivmodell	53
2.2.3.2	Prozeßketten über ein Negativmodell	57
2.2.4	Ausblick	60
2.3	Einsenken	60
2.4	Spanende und abtragende Bearbeitungsverfahren	64
2.4.1	Spanende Fertigungsverfahren	64
2.4.2	Oberflächenbearbeitung (Glätten)	65
2.4.2.1	Schleifen und Polieren (manuell oder unterstützt)	66
2.4.2.2	Gleitschleifen	67
2.4.2.3	Strahl läppen	67
2.4.2.4	Preß läppen	67
2.4.2.5	Elektrochemisches Polieren	69
2.4.2.6	Funkenerosives Polieren	69
2.5	Funkenerosives Abtragen (EDM)	70
2.5.1	Funkenerosives Senken	70
2.5.2	Funkenerosives Schneiden mit Drahtelektroden	73
2.6	Abtragen durch elektrochemische Auflösung (ECM)	75
2.7	Elektrochemisches Oberflächenabtragen (Elektrochemisches Ätzen)	75
2.8	Elektroerosiv oder durch chemische Auflösung (Ätzen) gefertigte Oberflächen	78
2.9	Laser-Carving	79
2.9.1	Rapid Tooling mit LASERCAV	80
2.10	Werkzeuge für Formteile in Schmelzkerntechnik	80
2.10.1	Werkzeuge für das Umspritzen der Schmelzkerne	83
2.10.1.1	Anbindung des Formteils	87
2.10.1.2	Thermische Werkzeugauslegung	87
2.10.1.3	Kernversatz	87
2.10.1.4	Entlüftung	89
2.10.2	Werkzeuge für die Herstellung der Schmelzkerne	89
2.10.2.1	Kernwerkstoff	90
2.10.2.2	Aufbau eines Gießwerkzeuges	91
2.10.2.3	Angußsysteme	91
2.10.2.4	Thermische Auslegung des Kerngießwerkzeuges	93
2.10.2.5	Entformung gegossener Schmelzkerne	94
	Literatur	94

3	Verfahren zur Abschätzung der Werkzeugkosten	99
3.1	Allgemeines	99
3.2	Verfahren zur Werkzeugkalkulation	99
3.3	Kalkulationsgruppe I: Formnest	103
3.3.1	Ermittlung des Zeitbedarfs für die Fassung	104
3.3.2	Zeitfaktor Bearbeitungsverfahren	104
3.3.3	Bearbeitungszeit Konturtiefe	104
3.3.4	Bearbeitungszeit Formnestoberfläche	106
3.3.5	Zeitfaktor Formtrennfläche	106
3.3.6	Zeitfaktor Oberflächengüte	106
3.3.7	Bearbeitungszeit feststehender Kerne	106
3.3.8	Zeitfaktor Toleranz	107
3.3.9	Zeitfaktor Schwierigkeitsgrad und Vielgestaltigkeit	108
3.3.10	Zeitfaktor Formnestzahl	108
3.3.11	Ermittlung der Bearbeitungszeit für die Herstellung der Erodiererelektroden	109
3.4	Kalkulationsgruppe II: Grundaufbau	109
3.5	Kalkulationsgruppe III: Grundfunktionseinheiten	110
3.5.1	Angußsystem	112
3.5.2	Angußverteilerkanäle	113
3.5.3	Heißkanalsysteme	113
3.5.4	Temperiersystem	114
3.5.5	Auswerfersystem	114
3.6	Kalkulationsgruppe IV: Sonderfunktionen	115
3.7	Weitere Kalkulationsansätze	116
3.7.1	Kalkulation auf der Basis von Ähnlichkeitsbetrachtungen	116
3.7.2	Das Prinzip der hierarchischen Ähnlichkeitssuche	119
	Literatur	119
 4	 Das Spritzgießverfahren	 121
4.1	Zyklusablauf beim Spritzgießen	121
4.1.1	Spritzgießen von Thermoplasten	123
4.1.2	Spritzgießen von vernetzenden Formmassen	123
4.1.2.1	Spritzgießen von Elastomeren	124
4.1.2.2	Spritzgießen von Duroplasten	125
4.2	Bezeichnungen am Spritzgießwerkzeug	125
4.3	Einteilung der Werkzeuge	126
4.4	Aufgaben des Spritzgießwerkzeugs	126
4.4.1	Kriterien zur Einteilung der Werkzeuge in Gruppen	127
4.4.2	Prinzipielle Vorgehensweise bei der Werkzeugkonstruktion	131
4.4.3	Bestimmung der Werkzeuggröße	137
4.4.3.1	Maximale Fachzahl	137
4.4.3.2	Zuhaltekraft	137
4.4.3.3	Maximale Aufspannfläche	138
4.4.3.4	Erforderlicher Öffnungshub	138
4.4.4	Fließweg-Wanddickenverhältnis	139
4.4.5	Bestimmung der Formnestzahl	140

4.4.5.1	Algorithmus zur Bestimmung der technisch-wirtschaftlich optimalen Formnestzahl (Werkzeug-Maschinen-Kombination)	143
4.4.5.2	Kosten für Bemustern, Rüsten und Instandhaltung	153
4.5	Anordnung der Formnester in der Trennebene	156
4.5.1	Allgemeine Forderungen	156
4.5.2	Darstellung der Lösungsmöglichkeiten	156
4.5.3	Kräftegleichgewicht des Werkzeugs beim Füllvorgang	156
4.5.4	Zahl der Trennebenen	158
	Literatur	159
5	Eintritt der Schmelze ins Werkzeug, ihre Verteilung und der Füllvorgang der Kavitäten	161
5.1	Beschreibung des Angußsystems	161
5.2	Prinzip und Definition verschiedener Angußkanalarten	162
5.2.1	Normale Verteilerkanäle	162
5.2.2	Heißkanäle	162
5.2.3	Kaltkanal	162
5.3	Anforderungen an das Angußsystem	163
5.4	Angußformen	164
5.5	Angußbuchse	164
5.6	Gestaltung der Verteilerkanäle	169
5.7	Gestaltung der Angußstege (Anschnitte)	171
5.7.1	Lage des Anschnittes am Spritzling	176
5.8	Verteilerkanäle und Anschnitte für vernetzende Formmassen	180
5.8.1	Elastomere	180
5.8.2	Duroplaste	181
5.8.3	Einfluß der Lage des Anschnittes bei Elastomeren	181
5.8.4	Verteilerkanäle für hochgefüllte Schmelzen	181
5.9	Qualitative (Füllbild) und quantitative Berechnung des Füllvorganges von Werkzeughohlräumen (Simulationsmodelle)	183
5.9.1	Einleitung	183
5.9.2	Füllbild und seine Bedeutung	184
5.9.3	Vorbereitung einer Füllsimulation mit dem „Füllbild“	185
5.9.4	Theoretische Grundlagen der Füllbildermittlung	187
5.9.5	Praktische Vorgehensweise bei der graphischen „Füllbildermittlung“	188
5.9.5.1	Zeichnen der Fließfronten	188
5.9.5.2	Leitstrahlen zur Darstellung von Schattenbereichen	188
5.9.5.3	Bereiche unterschiedlicher Dicke	191
5.9.5.4	Füllbilder von Rippen	195
5.9.5.5	Füllbilder von Kastenformteilen	197
5.9.5.6	Analyse von kritischen Füllbereichen	197
5.9.5.7	Abschließende Hinweise	198
5.9.6	Quantitative Füllanalyse	199
5.9.7	Analytische Auslegung von Angüssen und Angußverteilern	200
5.9.7.1	Rheologische Grundlagen	200
5.9.7.2	Ermittlung des viskosen Fließverhaltens unter Scherung mit Hilfe des Kapillarrheometers	206

5.9.7.3	Dehnviskosität	208
5.9.7.4	Einfache Gleichungen zur Druckverlustberechnung in Angüssen und Angußverteilern	209
5.10	Besondere Phänomene bei Mehrfachanschnitten	212
5.11	Auslegung von Angüssen und Angußverteilern für vernetzende Formmassen	214
5.11.1	Elastomere	214
5.11.1.1	Berechnung des Füllvorgangs	214
5.11.1.2	Einfluß der Verarbeitungseigenschaften ermittelt anhand von Verarbeitungsfenstern	215
5.11.1.3	Kritische Anmerkungen und Beispiele zum Modell des Verarbeitungsfensters	217
5.11.2	Duroplaste	219
5.11.2.1	Fließ-Härtungsverhalten von Duroplasten	219
Literatur	221
6	Ausführung der Angüsse	225
6.1	Stangenanguß	225
6.2	Band- oder Filmanguß	227
6.3	Schirmanguß	228
6.4	Ringanguß	229
6.5	Tunnelanguß	230
6.6	Abreiß-Punktanguß – Dreiplattenwerkzeug	232
6.7	Vorkammer-Punktanguß	234
6.8	Angußloses Anspritzen	236
6.9	Werkzeuge mit Isolierkanalverteilern	237
6.10	Temperierte Angußsysteme – Heißkanal	241
6.10.1	Heißkanalsysteme	242
6.10.1.2	Wirtschaftliche Vor- und Nachteile der Heißkanalsysteme 6.10.1.2.1 Heißkanäle für verschiedene Anwendungen und neue Möglichkeiten	242 243
6.10.1.3	Aufbau und Bestandteile eines Heißkanalsystems	245
6.10.1.3.1	Angußbuchse	249
6.10.1.3.2	Schmelzefilter	250
6.10.1.3.3	Verteilerblöcke	250
6.10.1.3.3.1	Einnestformen	250
6.10.1.3.4	Verteilerbalken	251
6.10.1.3.4.1	Vielnestformen	251
6.10.1.4	Heißkanaldüsen (Anspritzdüsen, Anschnittdüsen)	254
6.10.1.5	Daten zur Auslegung von Heißkanalverteilern	258
6.10.1.5.1	Verteilerbalken	258
6.10.1.5.2	Düsenauslegung	259
6.10.1.5.3	Hinweise zum Betrieb von Heißkanälen	260
6.10.1.6	Beheizung von Heißkanalsystemen	260
6.10.1.6.1	Elemente zur Beheizung von Heißkanalsystemen	260
6.10.1.6.2	Beheizung von Düsen	260
6.10.1.6.3	Beheizung von Verteilern	261
6.10.1.6.4	Ermittlung der Heizleistung	263

	6.10.1.6.5 Temperaturregelung in Heißkanälen	263
	6.10.1.6.6 Anordnung der Temperaturfühler	263
	6.10.2 Kaltkanäle	264
	6.10.2.1 Kaltkanalsysteme für Elastomer-Spritzgießwerkzeuge . . .	264
	6.10.2.2 Kaltkanalwerkzeuge für Duroplaste	269
	6.11 Spezielle Werkzeugarten	272
	6.11.1 Etagenwerkzeuge	272
	6.11.2 Werkzeuge für Mehrkomponenten-Spritzgießverfahren	275
	6.11.2.1 Verbund-Spritzgießwerkzeuge	275
	6.11.2.2 Zweikomponenten-Sandwich-Spritzgießwerkzeuge	279
	6.11.2.3 Biinjection-Spritzgießwerkzeuge	279
	Literatur	279
7	Entlüften der Werkzeuge	283
	7.1 Passive Entlüftung	284
	7.2 Aktive Entlüftung	289
	7.3 Entlüften beim Gasgedruckspritzgießen	291
	Literatur	293
8	Die thermische Auslegung	295
	8.1 Kühlzeit (Temperierzeit)	296
	8.2 Temperaturleitfähigkeit verschiedener wichtiger Formmassen	299
	8.2.1 Temperaturleitfähigkeit bei Elastomeren	300
	8.2.2 Die Temperaturleitfähigkeit von duroplastischen Formmassen . . .	301
	8.3 Kühlzeitermittlung bei Thermoplasten	301
	8.3.1 Abschätzung	301
	8.3.2 Kühlzeitermittlung bei Thermoplasten mit Hilfe von Nomogrammen	301
	8.3.3 Kühlzeit bei asymmetrischen Wandtemperaturen	303
	8.3.4 Kühlzeit bei anderen Geometrien	304
	8.4 Die Wärmeströme und die Temperierleistung	307
	8.4.1 Wärmeströme	307
	8.4.1.1 Thermoplaste	307
	8.4.1.2 Vernetzende Formmassen	311
	8.4.1.2.1 Duroplaste	311
	8.5 Analytische thermische Berechnung anhand des spezifischen Wärmestroms (globale Auslegung)	318
	8.5.1 Berechnungsablauf	318
	8.5.1.1 Kühlzeitberechnung	321
	8.5.1.2 Wärmestrombilanz	321
	8.5.1.3 Temperiermitteldurchsatz	323
	8.5.1.4 Temperierkanaldurchmesser	324
	8.5.1.5 Lage der Temperierkanäle	327
	8.5.1.6 Auslegung des Temperierkreislaufes	332
	8.5.1.6.1 Temperiermitteldurchsatz	332
	8.5.1.6.2 Berechnung von Druckbedarf und Pumpleistung	333

8.6	Numerische Berechnung zur thermischen Formteilauslegung	333
8.6.1	Zweidimensionale Berechnung	334
8.6.2	Dreidimensionale Berechnung	334
8.6.3	Einfache Abschätzung der unterschiedlichen Wärmeströme an kritischen Stellen	336
8.6.4	Empirische Korrektur der Eckenkühlung	337
8.7	Praktische Ausführung der Kühlkanäle	337
8.7.1	Temperiersysteme für Kerne und rotationssymmetrische Formteile	337
8.7.2	Temperiersysteme für flächige Formteile	342
8.7.3	Abdichten der Temperiersysteme	345
8.7.4	Dynamische Werkzeugtemperierung	346
8.7.5	Empirische Praxis zur Kompensation des Verzugs aus Wärme- stromdifferenzen in Ecken bei thermoplastischen Formteilen	349
8.7.5.1	Kalter Kern und warmes Nest	349
8.7.5.2	Änderung der Eckengeometrie	350
8.7.5.3	Partielle Anpassung der Wärmeströme	350
8.8	Berechnung der Heizung von Werkzeugen für vernetzende Werkstoffe . .	351
8.9	Thermische Auslegung von Werkzeugen für vernetzende Werkstoffe . . .	352
8.9.1	Wärmehaushalt	352
8.9.2	Temperaturverteilung	355
8.10	Praktische Ausführung der elektrischen Beheizung von Duroplastwerkzeugen	357
	Literatur	358
9	Schwindung	363
9.1	Einleitung	363
9.2	Definitionen zur Schwindung	363
9.3	Toleranzen für Kunststoffformteile	365
9.4	Ursache der Schwindung	370
9.5	Ursachen des anisotropen Schwindungsverhaltens	371
9.6	Ursachen des Verzugs	373
9.7	Beeinflussung von Schwindung und Verzug durch den Prozeß	374
9.8	Hilfsmittel zur Schwindungsvorhersage	377
	Literatur	378
10	Mechanische Auslegung von Spritzgießwerkzeugen	379
10.1	Die Werkzeugverformung	379
10.2	Analyse und Bewertung der Verformungen	379
10.2.1	Bewertung der einwirkenden Kräfte	380
10.3	Grundlagen zur Beschreibung der Deformationen	381
10.3.1	Einfache Rechnung zur Abschätzung der Spaltbildung	382
10.3.2	Genauere Rechnung zur Abschätzung der Spaltbildung und Verhinderung von Schwimmhäuten und Graten	383
10.4	Das Überlagerungsverfahren	384
10.4.1	Zusammengeschaltete Federn als Ersatzelemente	385
10.4.1.1	Parallelschaltung von Elementen	386
10.4.1.2	Reihenschaltung von Elementen	386

10.5	Ermittlung der Werkzeugwanddicken und ihrer Verformungen	387
10.5.1	Darstellung der einzelnen Belastungsarten und Verformungen . .	388
10.5.2	Dimensionierung kreiszylindrischer Formnester	388
10.5.3	Dimensionierung von nichtrunden Werkzeugkonturen	390
10.5.4	Dimensionierung der Werkzeugplatten	391
10.6	Vorgehen bei der Dimensionierung einer Werkzeugwand unter Forminnendruck	392
10.7	Verformung von Backen und Schiebern unter dem Forminnendruck . .	393
10.7.1	Backenwerkzeuge	393
10.8	Vorbereitungen der Verformungsrechnungen	398
10.8.1	Vereinfachungen der Geometrie	402
10.8.2	Hinweise zur Wahl der Randbedingungen	402
10.9	Rechenbeispiele	405
10.10	Weitere Belastungen	414
10.10.1	Die Abschätzung der zusätzlich auftretenden Belastungen	414
	Literatur	415
11	Versatz von Kernen und Einlegeteilen	417
11.1	Abschätzung des maximalen Kernversatzes	417
11.2	Kernversatz am runden Kern mit Punktanschnitt seitlich am Fuß (starre Einspannung)	418
11.3	Kernversatz am runden Kern mit Schirmanguß (starre Einspannung) . .	420
11.3.1	Grundsätzliche Betrachtung des Problems	422
11.3.2	Ergebnisse der Berechnungen	423
11.4	Kernversatz bei verschiedenen Anguß- und Anschnittformen (starre Einspannung)	425
11.5	Versatz von Einlegeteilen	426
11.5.1	Analytische Berechnung der Verformung von Metall- einlegeteilen am Beispiel zylindrischer Walzenkörper	426
11.5.1.1	Auswertung des Biegelinienverlaufs für verschiedene Formteilgeometrien	428
11.6	Konstruktionsbeispiele für die Kerneinspannung und für die Zentrierung tiefer Werkzeuge	429
	Literatur	431
12	Entformen gespritzter Teile	433
12.1	Übersicht über Entformungsarten	433
12.2	Auslegung des Entformungssystems – Entformungskräfte und Öffnungskräfte	437
12.2.1	Allgemeines	437
12.2.2	Möglichkeiten zur Bestimmung der Entformungskräfte	439
12.2.2.1	Haftreibungskoeffizienten zur Ermittlung von Entformungs- und Öffnungskräften	439
12.2.2.2	Rechnerische Abschätzmethode für zylindrische Hülsen	442
12.2.2.3	Rechteckige Hülsen	445
12.2.2.4	Konische Hülsen	445
12.2.2.5	Zusammenstellung verschiedener Grundfälle	446

12.2.3 Entformungskraft für komplexe Formteile am Beispiel eines Lüfterrads.	450
12.2.4 Numerische Berechnung von Entformungsvorgängen (bei Elastomerformteilen)	453
12.2.5 Abschätzung der Öffnungskräfte.	457
12.2.5.1 Zustandsverlauf im p-v-T-Diagramm bei unterschiedlichen Werkzeugsteifigkeiten	458
12.2.5.2 Mittlere Öffnungskräfte	458
12.2.5.3 Gesamte Öffnungskraft.	459
12.3 Auswerferarten	459
12.3.1 Gestaltung und Dimensionierung von Auswerferstiften	459
12.3.2 Angriffsorte für Stifte und andere Entformungselemente.	462
12.3.3 Aufnahme der Auswerferstifte in den Auswerferplatten.	466
12.4 Betätigung und Betätigungsmittel für das Auswerfen.	468
12.4.1 Betätigungsarten und Wahl des Angriffsortes	468
12.4.2 Betätigungsmittel	468
12.5 Besondere Auswerfersysteme	471
12.5.1 Doppeltagenauswurf (zweifacher Auswerferweg)	471
12.5.2 Gemischtes Auswerfen.	473
12.5.3 Dreiplattenwerkzeug.	474
12.5.3.1 Unterteilung der Auswerferbewegung durch Zuganker	474
12.5.3.2 Unterteilung der Auswerferbewegung durch einen Klinkenzug.	475
12.5.3.3 Entformen auf der Spritzseite	476
12.6 Auswerferrückzug.	477
12.7 Entformen von Formteilen mit Hinterschneidungen.	481
12.7.1 Entformen von Formteilen mit Hinterschneidungen durch Abschieben	482
12.7.2 Zulässige Hinterschnitthöhe bei Schnappverbindungen	483
12.8 Entformen von Gewinden	484
12.8.1 Entformen von Formteilen mit Innengewinde	485
12.8.1.1 Abstreiferwerkzeuge.	485
12.8.1.2 Zusammenklappende Kerne	485
12.8.1.3 Werkzeuge mit Wechselkernen	487
12.8.2 Abschraubwerkzeuge	487
12.8.2.1 Halbautomatisch arbeitende Abschraubwerkzeuge	487
12.8.2.2 Vollautomatisch arbeitende Abschraubwerkzeuge	488
12.8.3 Entformen von Formteilen mit Außengewinde	496
12.9 Hinterschneidungen in nicht rotationssymmetrischen Formteilen	497
12.9.1 Innere Hinterschneidungen.	497
12.9.2 Äußere Hinterschneidungen	497
12.9.2.1 Schieberwerkzeuge.	498
12.9.2.2 Backenwerkzeuge.	504
12.9.3 Formen mit Kernzügen.	508
Literatur	509
13 Zentrierung und Führung der Werkzeuge, Werkzeugwechselsysteme	513
13.1 Aufgabe der Führung und Zentrierung.	513
13.2 Zentrierung des Werkzeugs auf die Düsenachse der Plastifiziereinheit.	513

13.3 Innere Führung und Zentrierung	514
13.4 Führung und Zentrierung bei großen Werkzeugen	518
13.5 Werkzeugwechselsysteme	521
13.5.1 Werkzeugschnellwechselsysteme für Thermoplastwerkzeuge	521
13.5.2 Werkzeugwechsler für Elastomerwerkzeuge	527
Literatur	530
14 Rechnerunterstützte Werkzeugauslegung und CAD Einsatz in der Werkzeugkonstruktion	531
14.1 Einleitung	531
14.1.1 Die Füllbildmethode zeigte den Weg	531
14.1.2 Geometriaufbereitung als Schlüssel zum Erfolg	532
14.1.3 Komplexe Algorithmen sind beherrschbar	533
14.1.4 Simulationstechniken noch zu wenig genutzt	533
14.1.5 Einfacher und kostengünstiger	533
14.1.6 Die nächsten Schritte sind vorgezeichnet	534
14.2 CAD-Einsatz in der Werkzeugkonstruktion	536
14.2.1 Einleitung	536
14.2.2 Grundlagen von CAD.	536
14.2.2.1 2D/3D Modelldarstellung	536
14.2.2.2 Leistungssteigerung von CAD-Modellen durch Assoziativität, Parametrik und Features.	539
14.2.2.3 Schnittstellen und integrierter CA-Einsatz.	541
14.2.2.4 Datenverwaltung und Informationsfluß.	545
14.2.3 CAD-Anwendung im Werkzeugbau	546
14.2.3.1 Geometrierzeugung/Modellierung	546
14.2.3.2 Integrierte Funktionalitäten für den Werkzeugbau	551
14.2.3.3 Anwendungsspezifische Funktionserweiterung	555
14.2.3.4 Möglichkeiten des Concurrent Engineering durch CAD-Einsatz	555
14.2.4 Auswahl und Einführung von CAD-Systemen	557
14.2.4.1 Phasen der Systemauswahl	558
14.2.4.2 Formulierung des CAD-Konzepts	560
14.2.4.3 Systemtest (Benchmark).	561
14.2.4.4 Einführung	562
Literatur	564
15 Instandhaltung von Spritzgießwerkzeugen	567
15.1 Nutzen einer planmäßigen Instandhaltung	569
15.2 Vorgehensweise zur planmäßigen Werkzeug-Instandhaltung	571
15.2.1 Datenerfassung.	571
15.2.2 Datenauswertung und Schwachstellenanalyse	573
15.2.3 EDV-Unterstützung	575
15.3 Lagerung und Pflege von Spritzgießwerkzeugen	575
15.4 Reparaturen und Änderungen an Spritzgießwerkzeugen.	579
Literatur	583

16 Messen in Spritzgießwerkzeugen	585
16.1 Sensoren in Werkzeugen	585
16.2 Temperaturmessung	585
16.2.1 Messung von Massetemperaturen in Werkzeugen mit IR-Sensoren	585
16.3 Druckmessung	586
16.3.1 Ziel der Druckmessung	586
16.3.2 Sensoren zur Messung von Schmelzedrücken in Werkzeugen	587
16.3.2.1 Direkte Druckmessung	587
16.3.2.2 Indirekte Druckmessung	588
16.4 Einsatz der Meßsensorik	589
16.5 Prozeßoptimierung	589
16.6 Qualitätsüberwachung	591
Literatur	593
17 Werkzeugnormalien	595
Literatur	603
18 Temperiergeräte für Spritzgieß- und Preßwerkzeuge	605
18.1 Aufgabe, Prinzip, Einteilung	605
18.2 Regelung	606
18.2.1 Regelungsarten	606
18.2.2 Voraussetzungen zur Erzielung geringer Temperaturabweichungen	609
18.2.2.1 Regler	609
18.2.2.2 Heiz-, Kühl- und Pumpenleistung	610
18.2.2.3 Temperaturfühler	610
18.2.2.4 Anordnung des Temperaturfühlers im Werkzeug	611
18.2.2.5 Temperierkanalsystem im Werkzeug	612
18.2.2.6 Einhalten einer möglichst konstanten Temperatur	613
18.3 Gerätebestimmung	613
18.4 Anschließen des Werkzeugs an das Gerät: Sicherheitsmaßnahmen	613
18.5 Wärmeträger	614
18.6 Wartung, Reinigung	615
Literatur	616
19 Maßnahmen zum Beseitigen von Verarbeitungsfehlern beim Spritzgießen	617
Literatur	624
20 Sonderverfahren-Sonderwerkzeuge	625
20.1 Spritzgießen von Mikrostrukturen	625
20.1.1 Werkzeugtechnik und Prozeßführung	625
20.1.2 Herstellungsverfahren für Mikrokavitäten	629
20.1.2.1 Si-Technik	630
20.1.2.2 Das LiGA-Verfahren	631
20.1.2.3 Laser-LiGA	632
20.1.2.4 Laserabtragung	632
20.1.2.5 Funkenerosives Abtragen	633
20.1.2.6 Mikrozerspanung	634
20.2 In-Mould-Decoration (Hinterspritzen)	636

20.3 Flüssigsilikonverarbeitung	639
20.3.1 Evakuierung	640
20.3.2 Anguß	640
20.3.3 Entformung	641
20.3.4 Temperierung	641
20.3.5 Kaltkanaltechnik	642
20.4 Spritzprägen	642
Literatur	645
Index	651