

# Inhalt

<b>Vorwort</b> .....	<b>XIII</b>
<b>1 Überblick über Angussysteme und Anschnittpositionierung</b> .....	<b>1</b>
1.1 Angussysteme in der primären Trennebene .....	1
1.2 Angussysteme in einer parallelen Trennebene .....	2
1.2.1 Kaltkanalsysteme .....	2
1.2.2 Heißkanalsysteme .....	3
1.3 Kombinationen aus Heiß- und Kaltkanalsystemen .....	4
1.4 Gestaltung des Anschnitts .....	4
<b>2 Rheologie der Kunststoffe</b> .....	<b>7</b>
2.1 Vergleich von laminarer und turbulenter Strömung .....	7
2.2 Quellströmung .....	9
2.3 Einflussfaktoren der Viskosität .....	10
2.3.1 Viskositätsmodelle .....	11
2.3.2 Nicht-newtonsche Fluide .....	13
2.3.3 Temperatur .....	15
2.3.4 Druck .....	16
2.4 Kompressibilität der Schmelze .....	16
2.5 Bestimmung der Fließeigenschaften der Schmelze .....	17
<b>3 Einfluss des Füll- und Verdichtungsvorgangs auf das Material und das Formteil</b> ....	<b>23</b>
3.1 Einfluss der Verarbeitung auf die Viskosität .....	23
3.1.1 Thermisches Gleichgewicht der Schmelze – Wärmeverlust durch Wärmeleitung und Schererwärmung .....	24
3.1.2 Entwicklung einer erstarrten Randschicht .....	26
3.2 Einflussfaktoren beim Materialabbau von Kunststoffen .....	27
3.2.1 Übermäßige Scherbelastung .....	28
3.2.2 Übermäßige Temperaturbelastung .....	30

3.3	Einfluss der Füllgeschwindigkeit auf den Fülldruck .....	31
3.4	Nachdruck- oder Verdichtungsphase .....	33
3.4.1	Thermische Schwindung bei Abkühlen des Kunststoffs .....	33
3.4.2	Ausgleich der volumetrischen Schwindung durch Kompensationsströmung .....	34
3.4.3	Druckverteilung während der Verdichtungsphase .....	35
3.4.4	Einfrieren des Anschnitts .....	36
3.5	Auswirkungen der Schmelzeströmung auf das Material und das Formteil .....	37
3.5.1	Schwindung .....	37
3.5.1.1	Volumenschwindung .....	38
3.5.1.2	Schwindung durch Orientierung .....	40
3.5.2	Entwicklung von Eigenspannungen und Verzug .....	44
3.5.2.1	Verzug und Eigenspannungen durch ungleichmäßige Schwindung der Bauteilseiten .....	45
3.5.2.2	Verzug und Eigenspannungen durch ungleichmäßige Schwindung in bestimmten Bereichen .....	46
3.5.2.3	Verzug und Eigenspannungen durch ungleichmäßige Schwindung aufgrund von Orientierung .....	46
3.5.3	Einfluss der Orientierung auf die physikalischen Eigenschaften .....	47
3.6	Tempern von Formteilen .....	47
3.7	Zusammenfassung .....	48
<b>4</b>	<b>Auswahl des Anspritzpunkts und Spritzgießstrategien .....</b>	<b>53</b>
4.1	Überlegungen zur Auswahl des Anspritzpunkts .....	53
4.2	Gestaltungs- und Verfahrensrichtlinien für das Spritzgießen .....	56
4.2.1	Bauteilgestaltung mit gleichbleibender Wanddicke .....	56
4.2.2	Anwendung allgemeiner Richtlinien für die Gestaltung von Spritzgießteilen .....	58
4.2.3	Vermeidung der Schmelzeströmung aus dünnen Bereichen in dicke Bereiche .....	59
4.2.4	Aufbau eines einfachen Strömungsmusters in der Kavität .....	60
4.2.5	Vermeidung von Lufteinschlüssen .....	63
4.2.6	Filmscharniere .....	65
4.2.7	Balancierte Füllung des Werkzeugs .....	68
4.2.7.1	Lage des Anschnitts innerhalb einer Kavität .....	68
4.2.7.2	Mehrfachwerkzeuge .....	73
4.2.8	Gleichmäßige Werkzeug- und Schmelzetemperaturen .....	75
4.2.9	Vermeidung von Fließnähten .....	76
4.2.10	Vermeidung von Fließverzögerung .....	78
4.2.11	Begrenzung der Reibungswärme der Schmelze .....	79
4.2.12	Minimierung des Volumens der Angusskanäle bei Kaltkanalsystemen .....	80
4.2.13	Vermeidung übermäßiger Scherung .....	81
4.2.14	Vermeidung übermäßiger Scherspannungen, Erzeugung gleichmäßiger Scherspannungen .....	83

<b>5</b>	<b>Systeme zur Verteilung der Schmelze im Werkzeug</b>	<b>85</b>
5.1	Grundlagen für die Gestaltung von Fließkanälen	85
5.2	Übersicht des Schmelzeverteilungssystems	86
5.2.1	Maschinendüse	88
5.2.1.1	Filterdüsen	89
5.2.1.2	Statische Mischer	90
5.2.2	Angusskegel	90
5.2.3	Angussverteiler	90
5.2.4	Anschnitt	91
5.3	Schmelzeströmung im Schmelzeverteilungssystem	91
5.3.1	Aufbereitung der Schmelze in der Spritzgießmaschine	91
5.3.1.1	Druckaufbau durch die Spritzgießmaschine	92
5.3.1.2	Strömung durch ein Angussystem	94
5.3.2	Einfluss der Temperatur auf die Schmelzeströmung	95
5.3.2.1	Temperatur der Schmelze	95
5.3.2.2	Werkzeugtemperatur	96
5.3.3	Vergleich von Kalt- und Heißkanalsystemen	97
5.3.4	Druckverlust innerhalb des Schmelzeverteilungssystems (Düse, Angusskegel, Angusskanal, Anschnitt und Kavität)	97
5.4	Simulation des Füllvorgangs	99
5.5	Querschnitt des Angussystems	101
5.5.1	Effizienz des Angusskanals	101
5.5.2	Druckverlauf im Angussystem	102
5.5.2.1	Vergleich der Strömung in Heiß- und Kaltkanalsystemen	103
5.5.3	Einfluss des Angussystems auf die Zykluszeit	103
5.5.3.1	Kühlzeit des Kaltkanalsystems und des Angusskegels	103
5.5.3.2	Heißkanalsysteme	104
5.5.4	Gegenüberstellung von Angussystemen mit konstantem und variablem Durchmesser	104
5.6	Gestaltung des Angussystems für scher- und temperaturempfindliche Materialien	107
5.7	Auslegung des Angussystems	108
5.7.1	Geometrisch balancierte Angussysteme	109
5.7.2	Geometrisch nicht balancierte Angussysteme	110
5.7.3	Vergleich des Angussystems mit Reihenanordnung mit dem geometrisch balancierten Angussystem	110
5.7.3.1	Fließwegverhältnis	112
5.7.3.2	Abweichungen der Schmelzeigenschaften in unbalancierten Werkzeugen	113
5.7.3.3	Künstliche Balancierung von Angussystemen	114
5.7.3.4	Reduziert ein künstlich balanciertes Angussystem das Angussvolumen?	115
5.7.4	Familienwerkzeuge	118

<b>6</b>	<b>Ungleichmäßige Schmelzeigenschaften in Mehrfachwerkzeugen</b>	<b>121</b>
6.1	Ursachen für ungleichmäßige Werkzeugfüllung	122
6.1.1	Ungleichgewichte, die durch das Angussystem entstehen	122
6.1.2	Ungleichgewichte, die nicht durch die Auslegung des Angussystems verursacht werden	124
6.2	Auswirkungen der Ungleichgewichte auf den Prozess, die Produkteigenschaften und die Produktivität	128
6.3	Scherinduzierte Ungleichgewichte in geometrisch balancierten Angussystemen	134
6.3.1	Entstehung und Aufteilung abweichender Schmelzeigenschaften in einem Angussystem	134
6.3.2	Ungleichmäßige Kavitätenfüllung durch Aufteilung von Schmelzeschichten in verzweigten Angussystemen	135
6.3.3	Scherinduzierte Ungleichgewichte in der Schmelze in Etagenwerkzeugen	139
6.3.4	Entstehung von Abweichungen innerhalb einer Kavität	139
6.3.4.1	Verzug	141
6.3.4.2	Kernversatz	142
6.3.4.3	Auswirkungen auf konzentrische Teile	143
6.3.5	Alternative Theorien zur Ursache der Ungleichgewichte bei der Formfüllung	144
6.3.5.1	Ungleichmäßige Werkzeugkühlung	144
6.3.5.2	Werkzeugdurchbiegung	145
6.3.5.3	Auswirkungen von Ecken	146
6.3.5.4	Schmelzedruck als Ursache ungleichmäßiger Füllung	146
6.4	Auslegung von Angussystemen	147
6.4.1	Bestimmung verschiedener Fließgruppen in geometrisch balancierten Angussystemen	147
6.4.2	Scheinbar geometrisch balancierte Angussysteme	149
6.5	Auswirkungen scherinduzierter Abweichungen der Schmelzeigenschaften auf zweistufige Spritzgießverfahren	150
6.5.1	Gas-Innendruck-Spritzgießen	151
6.5.2	Zwei-Komponenten-Spritzgießen	153
6.5.3	Spritzgießen von geschäumten Kunststoffen	153
6.6	Kosten durch ungleichmäßige Schmelzeigenschaften	155
<b>7</b>	<b>Erfolgreiches Spritzgießen trotz scherinduzierter Abweichungen der Schmelzeigenschaften</b>	<b>159</b>
7.1	Statische Mischer	159
7.2	Künstliche Balancierung	162
7.2.1	Gleichmäßige Füllung durch Anpassung der Größen von Fließkanälen und Anschnitten	162
7.2.2	Gleichmäßige Füllung durch Anpassung der Temperaturen	163
7.3	Schmelze-Rotations-Technik	164
7.3.1	Schmelze-Rotations-Technik in Heißkanalwerkzeugen	170
7.3.2	Schmelze-Rotations-Technik in Kaltkanalwerkzeugen	172
7.3.3	Schmelze-Rotations-Technik bei Ungleichgewichten innerhalb einer Kavität	173
7.3.4	Mehrachsiges Symmetrien in der Schmelze	174
7.3.5	Verstellbares rheologisches Kontrollsystem (In-Mold Adjustable Rheological Control, iMARC)	177
7.3.5.1	3D-Spritzgießen	177

7.4	Schmelze-Rotations-Technik zur Regelung zweistufiger Spritzgießverfahren .....	181
7.5	Steuerung des Verzugs durch Schmelze-Rotations-Technik .....	183
7.5.1	Entstehung des Verzugspotentials .....	186
7.5.2	Kontrollierter Verzug durch Schmelze-Rotations-Technik .....	188
7.5.3	Neue Anwendungen für das 3D-Molding .....	192
<b>8</b>	<b>Kaltkanalwerkzeuge .....</b>	<b>195</b>
8.1	Angusskegel .....	197
8.1.1	Kalter Angusskegel .....	197
8.1.2	Heißer Angusskegel .....	201
8.2	Kaltkanalsysteme .....	202
8.2.1	Wichtige Überlegungen zur Bearbeitung des Kaltkanalssystems .....	204
8.2.2	Dimensionierung von Fließkanälen .....	205
8.2.3	Entlüftung .....	206
8.2.4	Auswerfen des Angussystems .....	207
8.2.4.1	Angusszieher .....	207
8.2.4.2	Sekundäre Angusskegel .....	207
8.2.4.3	Angusskanäle .....	208
8.2.5	Pfropfenfänger .....	209
8.3	Angussysteme für Dreiplattenwerkzeuge mit Kaltkanalsystem .....	210
8.4	Anschnittgestaltung .....	213
8.4.1	Stangenanguss .....	215
8.4.2	Seitenanschnitt .....	216
8.4.3	Bandanschnitt .....	217
8.4.4	Filmanschnitt .....	218
8.4.5	Ringanschnitt .....	219
8.4.6	Schirmanschnitt .....	220
8.4.7	Tunnelanschnitt .....	221
8.4.8	Gebogener Tunnelanschnitt .....	223
8.4.9	Innen liegender Tunnelanschnitt .....	224
8.4.10	Punktanschnitt .....	224
8.4.11	Meißelförmiger Anschnitt .....	224
8.4.12	Anschnitt mit Überlauf .....	225
8.5	Einfluss des Anschnittdurchmessers bei Mehrfachwerkzeugen .....	225
8.5.1	Untersuchung 1 .....	226
8.5.2	Untersuchung 2 .....	227
8.5.3	Messtoleranzen .....	229
<b>9</b>	<b>Heißkanalwerkzeuge .....</b>	<b>235</b>
9.1	Übersicht .....	235
9.1.1	Vor- und Nachteile von Heißkanalsystemen .....	236
9.1.1.1	Vorteile von Heißkanalsystemen .....	237
9.1.1.2	Nachteile von Heißkanalsystemen .....	240
9.1.1.3	Zusammenfassung der Merkmale verschiedener Angussysteme .....	243

9.2	Vergleich der Heißkanalsysteme für Mehrfachwerkzeuge .....	244
9.2.1	Außenbeheizung von Verteiler und Düsen .....	245
9.2.2	Extern beheizter Verteiler mit innenbeheizter Düse .....	246
9.2.3	Innenbeheizung von Verteiler und Düse .....	247
9.2.4	Isoliertes Verteiler- und Düsensystem .....	248
9.3	Etagenwerkzeuge .....	250
<b>10</b>	<b>Gestaltung des Fließkanals bei Heißkanalsystemen .....</b>	<b>253</b>
10.1	Gestaltungsregeln für balanciertes Spritzgießen .....	254
10.2	Querschnittsform .....	255
10.3	Ecken .....	256
10.4	Einfluss des Durchmessers .....	257
10.4.1	Druck .....	257
10.4.2	Regelung des Einspritzvorgangs .....	260
10.4.3	Farbwechsel .....	262
10.4.4	Materialwechsel .....	265
<b>11</b>	<b>Düsen und Anschnitte für Heißkanalsysteme .....</b>	<b>267</b>
11.1	Heißkanaldüsen .....	268
11.1.1	Außenbeheizte Düsen .....	268
11.1.2	Innenbeheizte Düsen .....	269
11.1.3	Wärmeleitende Düsen .....	270
11.2	Punktanschnitte .....	271
11.3	Überlegungen zur Gestaltung des Anschnitts .....	273
11.3.1	Einfrieren des Anschnitts .....	273
11.3.2	Fadenbildung und Nachtropfen .....	274
11.3.3	Verdichtung .....	275
11.3.4	Mechanische Verschlussdüsen .....	277
11.3.4.1	Sequentielle Nadelverschlussdüsen .....	280
11.3.5	Anschnitte mit thermischem Verschluss .....	281
11.3.6	Heißer Seitenanschnitt .....	281
11.3.7	Düsen mit mehreren Spitzen .....	282
<b>12</b>	<b>Thermische Auslegung von Heißkanalsystemen .....</b>	<b>283</b>
12.1	Heizelemente .....	283
12.1.1	Heizwendeln .....	284
12.1.2	Heizbänder .....	285
12.1.3	Rohrheizkörper .....	285
12.1.4	Heizpatronen .....	286
12.1.5	Wärmerohr-Technik .....	287
12.2	Temperaturregelung .....	288
12.2.1	Thermoelemente .....	288
12.2.2	Temperaturregler .....	289

12.3	Strombedarf .....	290
12.4	Thermische Isolation von Heißkanalsystemen .....	292
12.5	Temperaturregelung am Anschnitt .....	294
12.5.1	Anschnittheizung .....	295
12.5.2	Anschnittkühlung .....	296
<b>13</b>	<b>Mechanische Aspekte beim Betrieb von Heißkanalsystemen .....</b>	<b>297</b>
13.1	Montage und Leckage .....	297
13.1.1	Auslegung des Systems .....	298
13.1.2	Bearbeitung und Montage von Heißkanalsystemen .....	301
13.2	Verformung des Werkzeugs und der Maschine .....	306
13.3	Vorgehensweisen bei der Inbetriebnahme .....	308
13.4	Farb- und Materialwechsel .....	309
13.5	Anschnitte .....	310
13.5.1	Angussrest .....	310
13.5.2	Verstopfung .....	311
13.5.3	Verschleiß .....	312
13.6	Wartung .....	312
<b>14</b>	<b>Vorgehensweise bei der Gestaltung des Angusssystems – Zusammenfassung ....</b>	<b>313</b>
14.1	Anzahl der Anschnitte .....	313
14.2	Position des Anschnitts am Bauteil .....	314
14.2.1	Ästhetik .....	314
14.2.2	Einfluss auf Schwindung, Verzug und Eigenspannungen .....	314
14.2.2.1	Orientierung .....	314
14.2.2.2	Volumenschwindung in einzelnen Bauteilbereichen .....	315
14.2.2.3	Ungleichmäßige Füllung .....	316
14.2.3	Strukturelle Aspekte .....	317
14.2.3.1	Spannungen im Anschnittbereich .....	317
14.2.3.2	Fließorientierung .....	317
14.2.4	Anspritzen an schwer zugänglichen Stellen .....	318
14.3	Anordnung der Kavität .....	318
14.4	Material .....	318
14.5	Freistrahlbildung .....	319
14.6	Dicke und dünne Bereiche des Spritzgießteils .....	319
14.6.1	Volumenschwindung .....	320
14.6.2	Fließverzögerung .....	320
14.7	Anzahl der Kavitäten .....	320
14.8	Produktionszahlen .....	321
14.9	Präzisionsspritzgießen .....	321
14.10	Farbwechsel .....	321
14.11	Materialwechsel .....	322
14.12	Einmahlen von Angüssen .....	323

14.13	Dicke der Spritzgießteile .....	323
14.13.1	Dünnwandige Spritzgießteile .....	323
14.13.2	Dickwandige Spritzgießteile .....	324
14.14	Größe des Spritzgießteils .....	324
14.15	Erfahrung der Mitarbeiter .....	325
14.16	Handhabung nach dem Spritzgießen .....	325
14.17	Spannungsprobleme im Bauteil und im Anschnitt .....	326
14.18	Kombination von Heißkanal- und Kaltkanalsystemen .....	326
14.19	Zweistufige Spritzgießverfahren .....	327
<b>15</b>	<b>Fehlerbehebung .....</b>	<b>329</b>
15.1	5 Step Process .....	330
15.1.1	Scherinduzierte Ungleichgewichte in geometrisch balancierten Angussystemen .....	330
15.1.2	Abweichungen im Werkzeug .....	331
15.1.3	Kühlwirkung .....	332
15.1.4	Heißkanalsysteme .....	332
15.1.5	Zusammenfassung der Versuchsergebnisse .....	332
15.1.6	Anwendung des 5 Step Process .....	333
15.2	Leitlinien zur Problembehandlung beim Spritzgießen .....	336
15.3	Einrichtung des Spritzgießprozesses in zwei Stufen .....	379
15.4	Übersetzungsverhältnis .....	394
15.5	Beschreibung des Fließverhaltens in einem Spritzgießwerkzeug .....	395
15.6	Liste amorpher und teilkristalliner Kunststoffe .....	396
<b>Index</b>	<b>.....</b>	<b>399</b>