

# Inhalt

<b>Vorwort</b> .....	<b>V</b>
Vorwort zur 2. Auflage.....	V
Vorwort zur 1. Auflage.....	V
<b>Der Autor</b> .....	<b>VII</b>
Prof. Dr.-Ing. Torsten Kies.....	VII
<b>Zum Inhalt des Buches</b> .....	<b>XV</b>
Die Zehn Grundregeln .....	XVI
<b>1 Grundregel: Temperatureinsatzbereich</b> .....	<b>1</b>
1.1 Phasenübergänge bei Kunststoffen.....	1
1.1.1 Der Übergang vom festen in den geschmolzenen Zustand .....	1
1.1.2 Die Volumenänderung beim Phasenübergang von der Schmelze zum festen Zustand .....	6
1.1.3 Phasenübergänge am starren Körper .....	7
1.2 Die Temperaturabhängigkeit der Materialkennwerte von Kunststoffen .	9
1.2.1 Der Vergleich mit anderen Werkstoffgruppen .....	9
1.2.2 Die thermische Ausdehnung .....	9
1.2.3 Temperaturabhängiges Spannungs-Dehnungs-Verhalten .....	13
1.3 Der Einsatztemperaturbereich.....	15
1.3.1 Tatsächlich wirkende Temperaturen .....	15
1.3.2 Temperaturabhängige Lasteinwirkung .....	16
1.3.3 Die Notwendigkeit von einsatznahen Funktionsuntersuchungen .....	18
1.4 Der Einfluss der Geometrie auf die Temperaturbeständigkeit .....	19
1.4.1 Aussagefähigkeit der Rohstoffkennwerte .....	19
1.4.2 Betrachtete Geometrie .....	20
1.4.3 Modifikation der Wanddicke .....	22
1.4.4 Belastungsdauer und Durchwärmung der Produkte .....	22

1.4.5	Bessere Wärmestandfestigkeit durch Faserverstärkung .....	23
1.4.6	Werkstoffkombination .....	24
1.4.7	Zusätzliche Versteifungen gegen die thermisch bedingte Biegung .....	25
1.4.8	Einseitige Kühlung am Erzeugnis .....	26
<b>2</b>	<b>Grundregel: Medienangriff .....</b>	<b>29</b>
2.1	Die Wirkung von Medien auf Kunststoffe.....	29
2.1.1	Begriffserklärung: Medienangriff .....	29
2.1.2	Direkter und indirekter Medienangriff .....	30
2.1.3	Strahlungs- und stofflich-medialer Angriff .....	31
2.1.4	Chemischer und physikalischer Medienangriff .....	33
2.2	Voraussetzungen für einen Medienangriff.....	34
2.3	Der Schutz vor Medienangriff .....	35
2.4	Die Schädigungsmechanismen .....	36
2.4.1	Arten der Schädigungsmechanismen .....	36
2.4.2	Der oxidative Abbau .....	37
2.4.3	Schädigung durch Hydrolyse .....	38
2.4.4	Schädigung durch Chemikalien .....	42
<b>3</b>	<b>Grundregel: Spannungszustand .....</b>	<b>45</b>
3.1	Die Ursache von Spannungen .....	45
3.1.1	Krafteinwirkung auf eine Flüssigkeit .....	45
3.1.2	Krafteinwirkung auf einen Festkörper .....	47
3.1.3	Viskoses und elastisches Verformungsverhalten von Kunststoffen .....	48
3.2	Spannungen am Bauteil .....	50
3.3	Spannungen und Orientierungen .....	52
3.3.1	Die Unterscheidung zwischen Spannungen und Orientierungen .....	52
3.3.2	Orientierungen in Kunststoffprodukten .....	55
3.3.2.1	Voraussetzungen für Orientierungen .....	55
3.3.2.2	Orientierungen bei faserverstärkten Materialien .....	56
3.3.2.3	Molekülorientierungen .....	57
3.3.3	Eigenspannungen .....	58
3.4	Die Bildung von Orientierungen und Eigenspannungen .....	61
3.4.1	Unterschiede zwischen Spannungen und Orientierungen .....	61
3.5	Eigenspannungen und Orientierungen beim Spitzgießen .....	63
3.5.1	Orientierungen und Eigenspannungen am Spritzgussteil .....	63
3.5.2	Die Ausbildung von Orientierungen .....	63

3.5.3	Eigenspannungen beim Spritzgießen .....	64
3.5.3.1	Ursachen der Eigenspannungen .....	64
3.5.3.2	Prozessablauf beim Spritzgießen .....	65
3.5.3.3	Die Entformung .....	68
3.5.3.4	Auswirkungen einer Schwindungsbehinderung auf Eigenspannungen .....	70
3.5.3.5	Eigenspannungen bei Montageprozessen .....	71
<b>4</b>	<b>Grundregel: Schadensfreie Verformung .....</b>	<b>73</b>
4.1	Einleitung .....	73
4.2	Differential- und Integralbauweise .....	74
4.2.1	Unterscheidung der Kategorien .....	74
4.2.2	Die Differentialbauweise .....	74
4.2.3	Die Integralbauweise .....	75
4.2.4	Die Mischbauweise .....	76
4.2.5	Geeignete Bauweisen für Kunststoffprodukte .....	77
4.3	Das Verformungsverhalten der Werkstoffe .....	78
4.3.1	Begriffe zum Verformungsverhalten .....	78
4.3.2	Die Zugfestigkeit .....	79
4.3.3	Die Steifigkeit eines Materials .....	79
4.3.4	Die Dehnung .....	80
4.3.4.1	Die Kritische Dehnung .....	80
4.3.4.2	Die zulässige Dehnung .....	81
4.3.5	Bauteilspezifische Minderung .....	83
4.3.5.1	Einflussfaktoren .....	83
4.3.5.2	Vorgehensweise .....	84
4.3.5.3	Anzahl der Lastwechsel .....	84
4.3.5.4	Füll- und Verstärkungsstoffe .....	85
4.3.5.5	Starke Materialbelastung bei der Fertigung .....	86
4.3.5.6	Mehrachsige Spannungszustände .....	87
4.3.5.7	Beanspruchungsgeschwindigkeit .....	87
4.3.5.8	Die Wanddicke .....	87
4.3.5.9	Berücksichtigung der Kerbwirkung .....	87
4.4	Starre und flexible Konstruktionen .....	89
<b>5</b>	<b>Grundregel: Entformbarkeit .....</b>	<b>95</b>
5.1	Beschreibung der Situation .....	95
5.1.1	Die Entwicklung von Werkzeugen .....	95
5.1.2	Stückzahlen .....	96
5.1.3	Die Verwendung von Normalien im Werkzeugbau .....	98
5.2	Teile aus der flachen Trennebene .....	99

5.2.1	Die Werkzeuganlage .....	99
5.2.2	Auswerfen .....	104
5.2.3	Besonderheiten .....	106
5.3	Teile aus Werkzeugen mit Trennungssprung .....	107
5.3.1	Die Werkzeuganlage .....	107
5.3.2	Auswerfen .....	109
5.3.3	Besonderheiten .....	110
5.4	Teile mit Durchbrüchen und Werkzeuge mit Blockierungen .....	111
5.4.1	Die Werkzeuganlage .....	111
5.4.2	Auswerfen .....	114
5.4.3	Besonderheiten .....	117
5.5	Becherförmige Teile .....	119
5.5.1	Die Werkzeuganlage .....	119
5.5.2	Auswerfen .....	120
5.5.3	Besonderheiten .....	122
5.6	Schieber- und Backenwerkzeuge mit zusätzlichen Trennebenen .....	127
5.6.1	Der Werkzeugaufbau .....	127
5.6.2	Auswerfen .....	129
5.6.3	Besonderheiten .....	130
5.7	Ausdreh-Werkzeuge für innere Gewinde .....	133
5.7.1	Die Werkzeuganlage .....	133
5.7.2	Auswerfen .....	135
5.7.3	Besonderheiten .....	135
5.8	Werkzeuge mit inneren Schiebern und Einfallkernen .....	137
5.8.1	Das Werkzeugkonzept .....	137
5.8.2	Auswerfen .....	139
5.8.3	Besonderheiten .....	140
5.9	Teile mit extremen Hinterschneidungen .....	142
5.9.1	Verfahrenstechnik und Werkzeugaufbau .....	142
5.9.2	Auswerfen und Nachbearbeitung .....	145
5.9.3	Besonderheiten .....	146
5.10	Teile mit Hinterschneidungen, die Zwangsentformung zulassen .....	147
5.10.1	Der grundsätzliche Werkzeugaufbau .....	147
5.10.2	Auswerfer .....	149
5.10.3	Besonderheiten .....	150
<b>6</b>	<b>Grundregel: Konstante Wanddicken .....</b>	<b>153</b>
6.1	Wanddicken an einem Erzeugnis .....	153
6.1.1	Wanddicken und Leichtbau .....	153
6.1.2	Wanddicke und Verarbeitungsverfahren .....	154

6.2	Grundlagen von technologischen Prozessen bei der Kunststoffverarbeitung .....	156
6.2.1	Einordnung .....	156
6.2.2	Betrachtungsweise .....	156
6.2.3	Erwärmen der Schmelze .....	160
6.2.4	Kompression zur Formgebung .....	160
6.2.5	Abkühlung unter Druckabbau .....	161
6.2.6	Isobare Abkühlung bei atmosphärischem Druck .....	162
6.3	Probleme, die durch Wanddickenunterschiede verursacht sind .....	163
6.4	Das Kantenproblem bei kastenartigen Strukturen .....	166
<b>7</b>	<b>Grundregel: Geometrische Versteifung .....</b>	<b>171</b>
7.1	Ausführungen einer geometrischen Versteifung .....	171
7.1.1	Erhöhung der Steifigkeit .....	171
7.1.2	Varianten der geometrischen Versteifung .....	172
7.2	Versteifung mit Rippen .....	174
7.2.1	Rippenversteifung an belasteten Flächen .....	174
7.2.2	Anordnung der Rippen .....	175
7.2.3	Belastungsgerechte Anpassung der Rippen .....	176
7.2.4	Anbindung der Rippen an die Grundstruktur .....	179
7.2.5	Werkzeugtechnische Umsetzung von Rippenstrukturen .....	183
7.2.6	Funktionale Einbindung von Rippen .....	186
7.3	Versteifung mit Schalengeometrie .....	187
7.3.1	Schalengeometrie als Art des fertigungsgerechten Konstruierens .....	187
7.3.2	Zur konstruktiven Umsetzung .....	189
7.4	Anwendung des Prinzips „Wellblech“ .....	190
7.5	Kombination der Möglichkeiten zur geometrischen Versteifung .....	191
<b>8</b>	<b>Grundregel: Konstruktive Duktilität .....</b>	<b>193</b>
8.1	Duktilität als Konstruktionsforderung .....	193
8.2	Rasthaken .....	196
8.2.1	Vorteile von Rasthaken .....	196
8.2.2	Montagestrategien .....	197
8.2.3	Varianten der Rastverbindungen .....	199
8.3	Montagebruch an Rasthaken .....	204
8.3.1	Grundsätzliche Lösungsansätze .....	204
8.3.2	Technologische Maßnahmen gegen den Montagebruch von Rasthaken .....	204
8.3.2.1	Zur Vorgehensweise .....	204

8.3.2.2	Eingangsgrößen für den Prozess .....	205
8.3.2.3	Betrachtung des Herstellungsprozesses für die Bauteile .....	206
8.3.2.4	Betrachtung des Montageprozesses .....	207
8.3.3	Grundsätzliche konstruktive Möglichkeiten zur Vermeidung des Montagebruchs von Rasthaken .....	208
8.3.4	Beseitigung der Kerbwirkung .....	208
8.3.5	Vergrößerung der Biegelänge .....	209
8.3.6	Veränderungen am Querschnitt des Rasthakens .....	211
8.3.7	Verminderung der Durchbiegung .....	212
8.3.8	Zusätzliche, alternative Verformungsmechanismen .....	213
8.3.9	Alternatives Konstruktionsprinzip für die Rastverbindung ....	214
8.4	Vermeidung einer unbeabsichtigten Demontage von Rastverbindungen .....	215
8.5	Weitere elastische Konstruktionselemente .....	217
8.6	Möglichkeiten zur Verbesserung der Elastizität .....	217
8.6.1	Überblick .....	217
8.6.2	Anspritzen einer weichen Komponente .....	218
8.6.3	Schlitze an becherartigen Formteilen .....	219
8.6.4	Faltungen an Schalenelementen .....	220
8.7	Zur Modifikationen von Gehäusen .....	221
<b>9</b>	<b>Grundregel: Veränderliche Geometrie .....</b>	<b>225</b>
9.1	Begriffsbestimmung .....	225
9.2	Veränderliche Geometrie als Nutzungsmerkmal bei Kunststoffprodukten .....	228
9.2.1	Mögliche Mechanismen .....	228
9.2.2	Temperatureinfluss .....	229
9.2.3	Medienaufnahme und Medienabgabe .....	230
9.2.4	Freisetzen von Spannungen .....	231
9.2.5	Verformungsverhalten .....	231
9.3	Veränderliche Geometrie für unterschiedliche Abschnitte des Produktlebenszyklus .....	233
9.3.1	Motivation .....	233
9.3.2	Allmähliche Veränderung der Geometrie im Herstellungsprozess und beim Gebrauch .....	235
9.3.3	Allmähliche anwendungsbedingte Veränderung der Geometrie	237
9.4	Diskontinuierliche, schnelle Veränderung der Geometrie im Herstellungsprozess .....	238
9.4.1	Begriffserklärung .....	238

9.4.2	Spannvorrichtungen .....	239
9.4.3	Vorrichtungen zum nachträglichen Kalibrieren .....	243
9.4.4	Nachträgliche Bearbeitung eines Bauteils .....	245
9.4.5	Einspannen des Bauteils für die Montage .....	246
9.4.6	Demontage von Baugruppen vor dem Einsatz .....	248
9.4.7	Umbau von Baugruppen nach der ersten Nutzungsphase, um eine weitere Nutzung zu ermöglichen .....	249
9.4.8	Endgültiger Rückbau von Baugruppen nach der Nutzung .....	250
9.5	Funktionsbedingte veränderliche Geometrie .....	253
9.5.1	Erprobte Einsatzgebiete .....	253
9.5.2	Gelenklose Anwendungen, die Duktilität nutzen .....	255
9.5.3	Lokale Gelenke .....	257
9.5.4	Faltbare Anwendungen .....	260
9.5.5	Lokale Flexibilität und Hochelastische Anwendungen .....	262
	9.5.5.1 Realisierung mit einer weichen Materialkomponente ..	262
	9.5.5.2 Abdichtung mit konstruktiver Duktilität .....	264
9.5.6	Reversibles Beulen .....	266
<b>10</b>	<b>Grundregel: Funktionsintegration .....</b>	<b>269</b>
10.1	Der Begriff Funktionsintegration .....	269
10.2	Die konstruktive Funktionsintegration .....	273
	10.2.1 Das Wesen der konstruktiven Funktionsintegration .....	273
	10.2.2 Das Prinzip „Funktionelle Mehrfachnutzung“ .....	275
	10.2.3 Das Prinzip „zusätzliche Geometrie“ zur Gewährleistung einer weiteren Funktion .....	276
	10.2.4 Vergleich der beiden Prinzipien .....	278
	10.2.5 Beispiele für eine konstruktive Funktionsintegration .....	279
10.3	Die technologische Funktionsintegration .....	282
	10.3.1 Optimierung der technologischen Abläufe .....	282
	10.3.2 Funktionsintegration durch Anpassung technologischer Abläufe .....	283
10.4	Sonderverfahren als Mittel der technologischen Funktionsintegration .	288
	10.4.1 Übersicht .....	288
	10.4.2 Die Sondertechnologie „Mehrkomponentenspritzgießen“ .....	288
	10.4.3 Einige Gestaltungsregeln zum Mehrkomponentenspritzgießen	290
	10.4.4 Sondertechnologien als Hinterspritzverfahren .....	293
<b>11</b>	<b>Checkliste zur Konstruktion von Kunststoffteilen .....</b>	<b>299</b>
<b>12</b>	<b>Weiterführende Literatur .....</b>	<b>305</b>
<b>Index</b>	.....	<b>307</b>