

# 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>