

Vorwort	V
Vorwort zur 2. Auflage.....	V
Vorwort zur 1. Auflage.....	V
Der Autor	VII
Prof. Dr.-Ing. Torsten Kies.	VII
Zum Inhalt des Buches	XV
Die Zehn Grundregeln.....	XVI
1 Grundregel: Temperatureinsatzbereich	1
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
2	Grundregel: Medienangriff	29
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
3	Grundregel: Spannungszustand	45
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
4	Grundregel: Schadensfreie Verformung	73
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
5	Grundregel: Entformbarkeit	95
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
6	Grundregel: Konstante Wanddicken	153
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
7	Grundregel: Geometrische Versteifung	171
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
8	Grundregel: Konstruktive Duktilität	193
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	Schlitzte an becherartigen Formteilen	219
8.6.4	Faltungen an Schalenelementen	220
8.7	Zur Modifikationen von Gehäusen	221
9	Grundregel: Veränderliche Geometrie	225
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
10	Grundregel: Funktionsintegration	269
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
11	Checkliste zur Konstruktion von Kunststoffteilen	299
12	Weiterführende Literatur	305
Index		307