

# Inhalt

<b>Vorwort</b> .....	XXI
<b>Der Autor</b> .....	XXIII
<b>1 Struktur – Eigenschaftsbeziehungen der Polymere</b> .....	1
1.1 Übersichten .....	1
1.2 Konstitution und Konfiguration der Makromoleküle .....	4
1.2.1 Zusammensetzung, Größe und Gestalt der Makromoleküle .....	4
1.2.2 Zwischenmolekulare Kräfte (ZMK) .....	9
1.2.3 Chemische Struktur thermoplastischer Polymere .....	11
1.2.4 Nomenklatur und Kurzzeichen spezieller Polymergruppen .....	18
1.3 Konformation und Aggregation der Makromoleküle .....	19
1.3.1 Einführung .....	19
1.3.2 Molekulare und morphologische Ordnungsstrukturen ..	21
1.3.3 Thermische Zustandsänderungen der Polymere .....	24
1.3.4 Vernetzungsstrukturen der Polymere .....	26
1.3.5 Abmessungsbereiche molekularer und morphologischer Strukturelemente .....	29
1.3.6 Löslichkeit und Quellbarkeit der Polymere .....	30
1.4 Dilatometrisches und mechanisches Eigenschaftsbild der Kunststoffe .....	31
1.4.1 Thermische Zustände und Übergangsbereiche von Polymeren (außer LCP) .....	31
1.4.2 p-v-T-Verhalten von Thermoplasten .....	32
1.4.3 Bereiche mechanischer und dilatometrischer Eigenschaften der Polymere (außer LCP) .....	33

1.4.4	Orientierung molekularer und morphologischer Strukturen durch Reck- und Fließprozesse .....	34
1.4.5	Zeitabhängiges Deformationsverhalten der Polymere ...	35
1.5	Stoffliche Modifizierung der Polymere .....	36
1.5.1	Funktionsadditive und chemische Modifizierung .....	36
1.5.2	Füll- und Verstärkungstoffe .....	38
1.5.3	Schaumstoffe .....	41
1.5.4	Äußere Weichmachung und Brennbarkeitsminderung ..	43
1.5.5	Polymermischungen und Werkstoffkombinationen .....	44
<b>2</b>	<b>Systematische Kunststoffauswahl für Formstoffe .....</b>	<b>49</b>
2.1	Übersicht .....	49
2.1.1	Gliederung der Anforderungen .....	50
2.1.2	Werkstoffentscheidung .....	50
2.1.3	Software zur Kunststoffvorauswahl .....	52
2.2	Einführung zur Kunststoffauswahl .....	52
2.2.1	Richtlinien für die Kunststoffvorauswahl .....	52
2.2.2	Übergeordnete Polymerstrukturmatrix und Beständigkeitskriterien der Kunststoffe .....	53
2.3	Medienbeständigkeit und Wasseraufnahme .....	57
2.3.1	Medienbeständigkeit (ohne Spannungsrisssbildung) ....	57
2.3.2	Bewertung der Medienbeständigkeit (ohne Spannungsrisssbildung) .....	60
2.3.3	Wasseraufnahme .....	62
2.4	Wärmealterungsbeständigkeit und hydrothermische Beständigkeit .....	64
2.4.1	Wärmealterungsbeständigkeit .....	64
2.4.2	Hydrothermische Beständigkeit .....	68
2.5	Strahlenbeständigkeit und Witterungsbeständigkeit .....	68
2.5.1	Strahlenbeständigkeit .....	68
2.5.2	Witterungsbeständigkeit .....	70
2.6	Werkstoffdichte und Kohäsionsenergiedichte .....	72
2.6.1	Werkstoffdichte .....	72
2.6.2	Kohäsionsenergiedichte .....	72
2.7	Steifigkeit/Härte und Wärmedehnung .....	73
2.7.1	Steifigkeit/Härte .....	73
2.7.2	Wärmedehnung .....	77

2.8	Wärmeformbeständigkeit, Kriechneigung und mechanische Dämpfung .....	78
2.8.1	Wärmeformbeständigkeit .....	78
2.8.2	Kriechneigung der Kunststoffe .....	83
2.8.3	Mechanische Dämpfung .....	83
2.9	Umgebungsbedingte Spannungsrisssbildung (ESC) .....	84
2.9.1	Spannungsrisssbildung (ESC) im Zusammenhang mit der Kunststoffvorauswahl .....	84
2.9.2	Phänomen .....	85
2.9.3	Risssbildungsarten .....	86
2.9.4	Umgebungsbedingungen .....	87
2.9.5	Medienaktivität bei Thermoplasten .....	88
2.9.6	Richtwertbereiche kritischer Dehnungen aus Prüfungen in Luftumgebung .....	90
2.10	Dehnbarkeit und Schlagzähigkeit .....	91
2.10.1	Einleitung .....	91
2.10.2	Dehnbarkeit .....	92
2.10.3	Schlagzähigkeit .....	93
2.11	Reibung und Verschleiß .....	94
2.11.1	Einleitung .....	94
2.11.2	Gleitreibungskoeffizient ( $\mu$ ) .....	95
2.11.3	Verschleiß .....	96
2.12	Lichtdurchlässigkeit (Transparenz) .....	98
2.13	Brennbarkeit und Verbrennungsenthalpie .....	99
2.13.1	Einleitung .....	99
2.13.2	Brennbarkeit .....	99
2.13.3	Verbrennungsenthalpie (unterer Heizwert) .....	101
2.14	Elektrisches Isoliervermögen und elektrostatische Aufladbarkeit .....	104
2.15	Dielektrische Verluste und Kriechstromfestigkeit .....	105
2.15.1	Dielektrische Verluste .....	105
2.15.2	Kriechstromfestigkeit .....	107
2.16	Wärmeleitung .....	109
2.16.1	Einleitung .....	109
2.16.2	Bereiche und Vergleichswerte von Wärmeleitzahlkennwerten bei 23 °C .....	110
2.16.3	Auswahlaspekte .....	110
2.16.4	Berechnung der Wärmeleitkennzahlen von Kunststoffen mit festen Zusatzstoffen .....	111
2.16.5	Wärmeübertragung bei Kontakt von Feststoffschichten .....	112

2.17	Maßhaltigkeit von Kunststoff-Formteilen .....	113
2.17.1	Einleitung .....	113
2.17.2	Verarbeitungsschwindung (VS) von Kunststoff-Formmassen .....	114
2.17.3	Toleranzgruppen (TG) als Bewertungsmaßstab der Fertigungsgenauigkeit nach DIN 16742 und DIN ISO 20457 .....	116
2.17.4	Anwendungsbedingte Maßänderungen .....	118
2.18	Klimadaten für technische Anwendungen .....	123
2.18.1	Einleitung .....	123
2.18.2	Klimabegriffe und Klimagrößen .....	123
2.18.3	Klimadaten für Freiluftklimamodelle .....	125
2.18.4	Klimadaten für Raumklimamodelle .....	126
2.18.5	Kennzeichnung der Freiluftklimagebiete der Erde .....	126
2.18.6	Bestimmung der klimaabhängigen Wassersättigungskonzentration für Kunststoffe und andere Werkstoffe .....	129
2.19	Demonstrationsbeispiel zur Kunststoffvorauswahl .....	129

<b>3</b>	<b>Überschlägige Bestimmung deformationsmechanischer Kennwerte von Kunststoffen .....</b>	<b>131</b>
3.1	Einführung .....	131
3.2	Abschätzmethoden .....	136
3.2.1	Basisdaten aus Normprüfung kohärenter Kompaktstoffe .....	136
3.2.2	Zeitverlaufsarten (ZVA) .....	137
3.2.3	Reduktionsfaktoren (F) .....	138
3.2.4	Linearitätsfaktoren, Deformationskennwerte, zulässige Spannungen .....	140
3.2.5	Gewaltbruchsicherheit .....	141
3.3	Ausgewählte Stützkernstoffe für Verbundkonstruktionen .....	142
3.3.1	Einleitung .....	142
3.3.2	Homogene Polyurethanhartschaumstoffe (PUR-HS) .....	142
3.3.3	Papierwabenstoffe .....	143
3.4	Strukturschaumstoffe (Integralschaumstoffe) .....	144
3.4.1	Einleitung .....	144
3.4.2	Bestimmung des Ersatzursprungsmodul $E_{R0}$ für flächige Strukturschaumstoffbauteile .....	145
3.5	Bestimmung des wirtschaftlichen Fasergehalts mechanisch beanspruchter Verbundkunststoffe (Composite) .....	147

<b>4</b>	<b>Nachweis der Knick-, Kipp- und Beulstabilität für Leichtbaukonstruktionen .....</b>	<b>151</b>
4.1	Berechnungsgrundlagen .....	151
4.1.1	Einleitung .....	151
4.1.2	Basisgleichungen für die Stabilitätsnachweise .....	152
4.2	Biegedrillknicken von geraden Stäben und Trägern .....	154
4.2.1	Einleitung .....	154
4.2.2	Einspannfälle und Einspannwerte für das Biegeknicken .....	155
4.2.3	Querschnittskennwerte .....	156
4.2.4	Stabknicken durch mittige und richtungstreue Axialdruckkräfte .....	157
4.2.5	Kippen biegebeanspruchter Träger .....	158
4.2.6	Berechnungsparameter für Kippbeanspruchung .....	159
4.2.7	Scheiteltknicken biegebeanspruchter Träger mit Hohlzylinderquerschnitt .....	162
4.2.8	Örtliches Beulen von Stäben (Profilen) mit Querschnitten aus dünnwandigen Scheiben bei Axialdruckbelastung ..	162
4.2.9	Berechnungsbeispiel zum örtlichen Scheibenbeulen ...	167
4.3	Beulen von Platten und Plattenstreifen .....	169
4.3.1	Einleitung .....	169
4.3.2	Beulen von Rechteckplatten durch einachsige Druckbeanspruchung .....	169
4.3.3	Beulen isotroper Platten durch konstante Randdruckspannungen .....	171
4.3.4	Beulen von Rechteckplatten durch konstante Randschubspannungen .....	172
4.4	Beulen oder Knicken dünnwandiger Schalen .....	173
4.4.1	Einleitung .....	173
4.4.2	Beulen oder Drillknicken dünnwandiger Hohlzylinder durch Torsionsbeanspruchung .....	174
4.4.3	Beulen oder Knicken dünnwandiger Hohlzylinder durch Axialdruckbeanspruchung und/oder Biegebeanspruchung .....	176
4.4.4	Beulen dünnwandiger Hohlzylinder durch Radialdruckbeanspruchung (Manteldruck) .....	178
4.4.5	Beulen oder Knicken dünnwandiger Hohlzylinder durch kombinierte Beanspruchung .....	179
4.4.6	Beulen und Knicken von Kegelschalen .....	180
4.4.7	Beulen offener Zylinderschalen durch Axialdruckbeanspruchung .....	181

4.4.8	Beulen dünnwandiger Hohlzylinder durch Radialdruckbeanspruchung bei elastischer Außenbettung .....	182
4.4.9	Beulen ringverstifter Hohlzylinder durch Radialdruckbeanspruchung (Manteldruck) .....	183
4.4.10	Beulen von Hohlzylindern mit profilierten und/oder mehrschichtigen Wänden durch Radialdruckbeanspruchung (Manteldruck) bei bekannter Ringsteifigkeit .....	186
4.4.11	Beulen dünnwandiger und isotroper Kugelschalen durch radiale Druckbeanspruchung .....	187
4.5	Stabilitätsnachweise für Stützkernverbundbauteile (Sandwichkonstruktionen) .....	188
4.5.1	Einleitung und Voraussetzungen .....	188
4.5.2	Örtliches Beulen bei Stützkernverbundbauteilen .....	189
4.6	Berechnungsbeispiele .....	190

<b>5</b>	<b>Bestimmung von Wärmeübergangszahlen für Wärmeübertragungsvorgänge der Polymerverarbeitung und -anwendung .....</b>	<b>193</b>
5.1	Problemabgrenzung und Zielbestimmung .....	193
5.2	Stoffkennwerte für die Wärmeübergangsrechnung .....	195
5.2.1	Stoffdaten für Wärmeträgermedien .....	195
5.2.2	Emissionsgrade wärmeabstrahlender Körperoberflächen (Graustrahler) .....	198
5.3	Thermische und rheologische Randbedingungen der Wärmeübergangsrechnung .....	200
5.4	Ähnlichkeitskennzahlen des konvektiven Wärmeübergangs ...	203
5.5	Wärmeübergangszahlen für durchströmte Kanäle .....	205
5.5.1	Kanalgrundformen .....	205
5.5.2	Bestimmungsgrößen der Kanäle .....	207
5.5.3	Nußeltgleichungen .....	208
5.5.4	Querschnittsabhängige Kennwerte und Thermikfaktoren .....	210
5.5.5	Oberflächenzustand und Sandraugigkeitskennwerte der Kanäle .....	212
5.6	Wärmeübergangszahlen für Einzelkörper in isothermer Umgebung .....	214
5.6.1	Umgebungsmodell und Berechnungskonzept .....	214
5.6.2	Wärmeübergangszahlen durch freie und erzwungene Konvektion .....	216

5.6.3	Wärmeübergangszahlen durch Wärmeleitung in das Konvektionsmedium .....	218
5.6.4	Äquivalente Wärmeübergangszahlen durch Wärmestrahlung .....	219
5.7	Wärmeübergangszahlen für Filmkondensation von Wasserdampf .....	220
5.8	Wärmeübergangszahlen für geschlossene Spaltquerschnitte mit Fluidfüllung .....	221
5.9	Äquivalente Wärmeübergangszahlen durch Rippenwirkung von Aufspannplatten .....	223
5.10	Anwendungsbeispiele .....	225

<b>6</b>	<b>Ausgewählte rheologische Grundlagen für Thermoplastschmelzen .....</b>	<b>227</b>
6.1	Scherströmung und Stoffansätze .....	227
6.1.1	Einleitung .....	227
6.1.2	Rheologische Stoffansätze für stationäres Scherfließen strukturviskoser Fluide ohne Fließgrenze .....	229
6.1.3	Abnahme der Viskosität und Vergrößerung der entropieelastischen Rückverformungskräfte durch strömungsbedingte Molekülorientierung .....	232
6.2	Rheologische Bestimmungsgrößen und Strömungsverlaufsformen .....	233
6.2.1	Druckströmung in beheizten Kanälen (z. B. Extrusion) .....	233
6.2.2	Scherströmung mit Randschichterstarrung (z. B. Spritzgießen) .....	234
6.2.3	„Strömungslegenden“ bei volumetrischer Werkzeugfüllung durch Quellströmung .....	235
6.2.4	Überlagerung von Scher- und Dehnströmungen beim Spritzgießen .....	236
6.3	Bestimmung der rheologisch repräsentativen Fluidtemperatur bei Druckströmungen .....	237
6.3.1	Aufgabenstellung und Berechnungsmodell .....	237
6.3.2	Strömungstemperaturfeld ohne Randschichterstarrung	237

<b>7</b>	<b>Grundlagen des werkstofflichen Recycling von Kunststoffen</b>	<b>239</b>
7.1	Entsorgungsmethoden und Stoffkreisläufe .....	239
7.1.1	Entsorgungsmethoden .....	239

7.1.2	Stoffkreisläufe der Kunststoffverarbeitung und -anwendung .....	241
7.1.3	Verarbeitungskreislaufmodell für die Ermittlung zulässiger Rezyclatanteile .....	241
7.1.4	Ausgewählte Veröffentlichungen zum Thema .....	242
7.2	Werkstoffliche Voraussetzungen für Kunststoffrecycling und Regeln für das recyclingorientierte Entwickeln von Kunststoffteilen .....	243
7.2.1	Eigenschaftsänderung der Kunststoffe bei Verarbeitung und Anwendung .....	243
7.2.2	Regeln und Richtlinien für das recyclingorientierte Entwickeln von Kunststoffteilen .....	244
7.3	Wiederverarbeitungsstrategien für Thermoplastrezyclat in geschlossenen Verarbeitungskreisläufen .....	246
7.3.1	Minimalstrategie: Kein Rezyclatzusatz bzw. nur geringe Rezyclatanteile zum Originalmaterial .....	246
7.3.2	Blendstrategie: Eigenschaftsoptimierte Mischung aus Rezyclat und Originalmaterial .....	246
7.3.3	Maximalstrategie: Kein Originalmaterialzusatz zum Rezyclat .....	247
7.4	Mathematische Modellierung der Verarbeitungskreisläufe .....	248
7.4.1	Materialzusammensetzung der Fertigteile in Verarbeitungskreisläufen (Beispiel) .....	248
7.4.2	Eigenschaftsaddition .....	249
7.5	Demonstrationsbeispiele .....	251

<b>8</b>	<b>Orientierende Wirtschaftlichkeitsvergleiche für Fertigungs- varianten zur Herstellung von Spritzgieß- und Pressteilen ...</b>	<b>255</b>
8.1	Einführung .....	255
8.1.1	Zielstellung .....	255
8.1.2	Voraussetzungen und Handhabung .....	255
8.2	Bestimmung von Basisdaten für Fertigungsvarianten .....	257
8.2.1	Verfahrenszuordnung und Fertigungsstückzahlen .....	257
8.2.2	Verfügbare Maschinenlaufzeit und Ausschussabschätzung .....	258
8.2.3	Arbeitsplatzstruktur, Maschinenbelegung und Maschinenbedienung .....	258
8.3	Abschätzung der Verschleißstandzahl für Spritzgieß- und Presswerkzeuge .....	260
8.3.1	Einleitung .....	260



8.3.2	Abschätzkonzept für die Verschleißstandzahl .....	260
8.3.3	Kompliziertheit des Werkzeugaufbaus ( $a_1$ ) .....	261
8.3.4	Mechanische Werkzeugbeanspruchung ( $a_2$ ) .....	262
8.3.5	Verschleißwiderstand der Werkzeugkonturteile ( $a_3$ ) ...	262
8.3.6	Kanturoberflächenbeschaffenheit ( $a_4$ ) .....	263
8.3.7	Fertigungstoleranzforderungen ( $a_5$ ) .....	263
8.3.8	Abrasionsverschleiß durch Polymerschmelzen ( $a_6$ ) ....	264
8.4	Überschlägige Berechnung von Maschinenstundensätzen für Spritzgießmaschinen und Pressen .....	265
8.4.1	Einleitung .....	265
8.4.2	Maschinenteilkostensatz .....	265
8.4.3	Raumnutzungsteilkostensatz .....	266
8.4.4	Energieteilkostensatz .....	267
8.5	Kalkulation der Vergleichsstückkosten .....	268
8.5.1	Berechnungskonzept .....	268
8.5.2	Materialkosten ( $K'_M$ ) .....	269
8.5.3	Fertigungskosten ( $K'_F$ ) .....	270
8.5.4	Werkzeugkosten ( $K'_W$ ) .....	270
8.5.5	Ausschuss- und Qualitätssicherungskosten .....	271
8.6	Bestimmung optimaler Werkzeugfachzahlen, des Werkzeugbedarfs und der Maschinenbelegungszeit .....	271
8.6.1	Einleitung .....	271
8.6.2	Berechnung der optimalen Fachzahl .....	272
8.6.3	Werkzeugbedarf und Maschinenbelegungszeit .....	273
8.7	Bestimmung gewinnoptimaler Losgrößen .....	274
8.8	Strukturierung zeitlicher Fertigungsabläufe in der kunststoffverarbeitenden Industrie (kvI) .....	275
8.9	Demonstrationsbeispiel .....	277

## 9 Bestimmung der Zykluszeit für das Thermoplastspritzgießen

	.....	281
9.1	Einführung .....	281
9.2	Polymer- und Zusatzstoffdatei .....	283
9.3	Stoffdaten der Formmassen und Werkzeugkonturwerkstoffe ...	292
9.4	Spritzlinggeometrie .....	294
9.5	Auswahl der Verarbeitungsparameter nach Qualitätsanforderungen und rheologischen Bedingungen .....	308
9.5.1	Werkzeugtemperierung .....	308
9.5.2	Massetemperatur ( $\vartheta_M$ ) und Einspritzdruck ( $p_s$ ) .....	310

9.5.3	Entformungstemperatur .....	310
9.5.4	Festlegung der Werkzeugkonturtemperatur bei Einspritzbeginn ( $\vartheta_w$ ) .....	313
9.5.5	Mehrkomponentenspritzgießen .....	313
9.6	Kühlzeitberechnungsgleichungen .....	314
9.7	Zykluszeitberechnung .....	315
9.8	Berechnungsbeispiele .....	316
<b>10</b>	<b>Berechnung von Kunststoffstirnradgetrieben .....</b>	<b>319</b>
10.1	Berechnungsgegenstand .....	319
10.2	Werkstoffdaten .....	322
10.2.1	Basisdaten für Kunststoffe und Metalle .....	322
10.2.2	Maximal zulässige Zahnflankentemperatur ( $\vartheta_{Fmax}$ ) .....	324
10.2.3	Bestimmung des Reibungskoeffizienten ( $\mu$ ) .....	324
10.2.4	Steifigkeits- und Festigkeitsdaten für Kunststoffe ( $E_K$ , $\nu_K$ , $\sigma_{FP}$ , $\sigma_{HP}$ ) .....	325
10.3	Zahnradberechnung .....	326
10.3.1	Geometrie- und Betriebsdaten .....	327
10.3.2	Zahnradspannungen und -verformungen sowie thermische Funktionsparameter einschließlich Sicherheitsnachweise .....	329
10.4	Berechnungsbeispiele .....	333
<b>11</b>	<b>Berechnung und Gestaltung von Schnappverbindungen .....</b>	<b>339</b>
11.1	Verbindungsprinzip und Verbindungsarten .....	339
11.2	Konstruktionshinweise .....	341
11.3	Rastelemente und Werkstoffdaten .....	342
11.3.1	Geometrie und Reibkraftübersetzung von Rastelementen .....	342
11.3.2	Reibungskoeffizient, Deformationsmechanik, Festigkeitsnachweis .....	344
11.4	Funktionsnachweis für Torsionsschnappverbindungen .....	344
11.4.1	Berechnungskonzept .....	344
11.4.2	Torsionsfederquerschnittskennwerte .....	345
11.4.3	Geometrisches Modell und Belastungsschema .....	346
11.4.4	Festigkeitsnachweis und Betriebskraftberechnung ....	346
11.5	Funktionsnachweise für Biegeschnappverbindungen einschließlich segmentierter Zylinderschnappverbindungen ...	347

11.5.1	Berechnungskonzept .....	347
11.5.2	Flächenträgheitsmomente, Querschnittsflächen und Randfaserabstände typischer Biegefederquerschnitte ..	348
11.5.3	Funktionsnachweis für gerade Biegefedern (Kragträger) .....	349
11.5.4	Funktionsnachweis für gekrümmte Biegefedern (Bogenträger) .....	351
11.6	Funktionsnachweise für geschlitzte Zylinderschnappverbindungen .....	352
11.6.1	Berechnungskonzept .....	352
11.6.2	Geometrisches Modell und Belastungsschema .....	352
11.6.3	Festigkeitskontrolle am Innenrand (Einspannstelle in Abbildung: ---) .....	353
11.6.4	Füge- und Lösekraft .....	353
11.7	Funktionsnachweise für geschlossene Zylinderschnappverbindungen .....	353
11.7.1	Berechnungskonzept .....	353
11.7.2	Geometrisches Modell und Belastungsschema .....	354
11.7.3	Deformationsmechanische Werkstoffkennwerte .....	355
11.7.4	Festigkeitsnachweise .....	356
11.7.5	Füge- und Lösekraftberechnung .....	357
11.7.6	Stabilitätsnachweis für den Fügevorgang geschlossener Zylinderschnappverbindungen .....	357
11.8	Funktionsnachweise für geschlossene Kugelschnappverbindungen .....	357
11.8.1	Berechnungskonzept .....	357
11.8.2	Geometrisches Modell und Belastungsschema .....	358
11.8.3	Festigkeitskontrolle für Einführungszone sowie Füge- und Lösekraftberechnung .....	358
11.9	Gestaltungsbeispiele .....	359
11.9.1	Entformung von funktionsbedingten Hinterschnidungen .....	359
11.9.2	Verringerung der Hakenbeanspruchung und vereinfachte Montagemöglichkeiten durch Mehrfachhaken .....	360
11.9.3	Schnapphaken-gestaltung zur Reduzierung von Füge- und Lösekräften und zur Vermeidung unzulässiger Scherdeformationen .....	362
11.9.4	Werkzeugtechnisch günstige Gestaltung von Schnappverbindungen .....	364
11.9.5	Clip-Variationen .....	365

11.9.6	Geschlossene Zylinderschnappverbindungen (Ringschnappverbindungen) für große Lösekräfte .....	365
11.9.7	Verformungsbegrenzung und Sicherung von Schnappverbindungen .....	366
11.9.8	Schnappverbindungen als Verschlusselemente .....	368
11.9.9	Gestaltung von Kugelschnappverbindungen .....	369
11.9.10	Funktionskombinationen für Schnappverbindungen ...	370
11.9.11	Bildquellen .....	371
11.10	Berechnungsbeispiele .....	371

## **12 Berechnung von biegebeanspruchten Platten**

<b>und Plattenstreifen .....</b>	<b>379</b>
12.1 Einführung .....	379
12.1.1 Aufgabenstellung .....	379
12.1.2 Werkstoffdaten .....	380
12.2 Membranplattenberechnung .....	380
12.2.1 Kreismembranplatten mit gleichverteilter Druckbeanspruchung .....	380
12.2.2 Rechteckmembranplatten mit gleichverteilter Druckbeanspruchung und gleicher Randeinspannung am Umfang .....	382
12.3 Gestaltung und Berechnung versteifter Plattenstreifen und gerader Träger .....	385
12.3.1 Rippengestaltung und Bemessungsrichtwerte für Formteile .....	385
12.3.2 Zielstellung und Anwendungsbereiche für Plattenstreifen .....	386
12.4 Berechnung von biegesteifen Verbundplattenstreifen .....	388
12.4.1 Einleitung und Voraussetzungen .....	388
12.4.2 Berechnungsgleichungen für biegebeanspruchte Verbundplattenstreifen .....	389
12.5 Berechnungsdaten für ausgewählte Biegebelastfälle .....	391
12.5.1 Maximales Biegemoment ( $M_{bmax}$ ) und maximale Querkraft ( $Q_{max}$ ) sowie Konstanten $g$ und $z$ für ausgewählte Biegebelastfälle gerader Träger und Plattenstreifen .....	391

12.5.2	Gleichförmig gekrümmter Haken mit Kreisquerschnitt unter Zugbelastung .....	392
12.6	Berechnungsbeispiele .....	392
<b>13</b>	<b>Berechnung und Gestaltung zylindrischer Pressverbindungen .....</b>	<b>397</b>
13.1	Einführung .....	397
13.1.1	Verbindungsprinzip und Fügebedingungen .....	397
13.1.2	Haftreibungskoeffizient und Werkstoffdaten .....	399
13.1.3	Toleranzdaten und Belastungsgrößen .....	400
13.2	Bestimmung von Fugenpressung und Übermaß .....	402
13.2.1	Passungssysteme nach DIN EN ISO 286 und Näherungswerte für Pressfugendurchmesser .....	402
13.2.2	Bestimmung der Fugenpressung .....	403
13.2.3	Anwendungsbedingte Maßverschiebungen und Maßstreuungen der Passteile .....	405
13.2.4	Bestimmung und Tolerierung der Fügedurchmesser durch Passungsberechnung nach DIN EN ISO 286 (2010) .....	406
13.3	Einpresskräfte und Stabilitätsnachweise .....	408
13.3.1	Einpresskräfte ( $F_E$ ) .....	408
13.3.2	Beulstabilitätsnachweise .....	409
13.4	Berechnungsbeispiel .....	410
<b>Index</b>	.....	<b>413</b>