

Inhalt

Vorwort	VII
Die Autoren	XI
1 Einleitung und Übersicht	1
TEIL A: Werkstoffverhalten, Materialmodellierung und Bewertung	5
2 Mechanisches Werkstoffverhalten und -modellierung	7
2.1 Grundbegriffe der Mechanik	7
2.2 Charakteristische mechanische Werkstoffeigenschaften	30
2.2.1 Thermoplaste	31
2.2.2 Kurzfaserverstärkte Thermoplaste	41
2.2.3 Elastomere	43
2.2.4 Duroplaste	46
2.2.5 Zeit-Temperatur-Verschiebungsprinzip	47
2.3 Modellierung des Werkstoffverhaltens	51
2.3.1 Thermoplaste	52
2.3.1.1 Materialmodelle für Kurzzeit-Belastung	53
2.3.1.2 Materialmodelle für Langzeit-Belastung	60
2.3.1.3 Materialmodelle für dynamische Belastung	71
2.3.2 Kurzfaserverstärkte Thermoplaste	72
2.3.2.1 Grundlagen zur Mikromechanik	74
2.3.2.2 Elastische Materialmodelle	81

2.3.3	Elastomere und TPE	92
2.3.3.1	Materialmodelle für Kurzzeit-Belastung	92
2.3.3.2	Materialmodelle für langzeitige und dynamische Belastung	96
2.3.3.3	Materialmodelle für die Kompressibilität	97
2.3.4	Duroplaste.....	100
2.4	Bestimmung von Materialparametern	103
2.4.1	Elastische Materialmodelle.....	104
2.4.2	Hyperelastische Materialmodelle	114
2.4.3	Elasto-plastische Materialmodelle.....	124
2.4.4	Kriechmodelle	131
2.4.5	Viskoelastische Materialmodelle.....	138
3	Dimensionierung von thermoplastischen Kunststoffbauteilen	149
3.1	Statische Festigkeit	152
3.1.1	Werkstoffmechanik des Versagens von Thermoplasten	153
3.1.2	Ermittlung von statischen Festigkeitskennwerten	158
3.1.2.1	Statische kurzzeitige Beanspruchungen.....	158
3.1.2.2	Statische langzeitige Beanspruchungen.....	160
3.1.2.3	Stoßartige Beanspruchungen	166
3.1.3	Bewertung mehraxialer Beanspruchungen und Versagen.....	169
3.1.3.1	Spannungsbezogene Versagenshypothesen.....	174
3.1.3.2	Dehnungsbezogene Versagenshypothesen	179
3.1.4	Einflussfaktoren auf die Bauteilfestigkeit	182
3.1.4.1	Phänomenologisches Verhalten beim Versagen des Werkstoffs.....	184
3.1.4.2	Einfluss von Beanspruchungsgeschwindigkeit, Temperatur und Feuchte.....	185
3.1.4.3	Einfluss von Bauteilkonstruktion und Lastsituation.....	186
3.1.4.4	Einfluss der Fertigung.....	188
3.1.5	Ansätze zur Bemessung thermoplastischer Kunststoffbauteile.....	194
3.1.5.1	Bemessung gegen eine zulässige Dehnung	194
3.1.5.2	Bemessung gegen eine zulässige Spannung	196
3.1.5.3	Bemessung auf Basis von Spannungs-/Dehnungs-Kurven..	199
3.1.5.4	Bemessung gegen eine zulässige spezifische Arbeitsaufnahme	203

3.1.5.5	Bemessung gegen eine zulässige plastische Vergleichsdehnung.....	204
3.1.5.6	Bemessung nach VDI-Richtlinie 2016	204
3.1.6	Vergleich der Bemessungsansätze.....	207
3.1.6.1	Spannungs- und dehnungsbasierte Vorgehensweise	207
3.1.6.2	Bemessungsgrenze und Bauteil-Beanspruchung.....	210
3.2	Ermüdungsfestigkeit	213
3.2.1	Ermittlung von zyklischen Festigkeitskennwerten.....	215
3.2.2	Konstruktions- und fertigungsbedingte Einflüsse auf die Ermüdungsfestigkeit.....	223
3.2.2.1	Einfluss des Spannungsgradienten auf die Ermüdungsfestigkeit	224
3.3	Dimensionierung kurzfaserverstärkter Thermoplaste	229
3.3.1	Verhalten beim Versagen von kurzfaserverstärkten Thermoplasten	231
3.3.2	Ermittlung von Dimensionierungskennwerten für kurzfaserverstärkte Thermoplaste	233
3.3.3	Versagenshypothesen für kurzfaserverstärkte Kunststoffe	237
3.3.4	Ermüdungsfestigkeit kurzfaserverstärkter Kunststoffe.....	245
3.3.4.1	Ermittlung von zyklischen Festigkeitskennwerten	246
3.3.4.2	Master-Wöhlerkurven-Konzept	247
3.3.4.3	Interpolation von Wöhlerkurven.....	248
3.3.4.4	Wöhlerkurven-Ermittlung auf Basis mikromechanischer Ansätze	249
3.3.4.5	Lokales Wöhlerkurven-Konzept.....	251
3.4	Streuungen	254
4	Dimensionierung von Elastomerbauteilen	263
4.1	Abschätzung der Belastbarkeit mittels Formänderungsenergiedichte und Formänderungsbetrag.	265
4.2	Praktische Auslegungsregeln	266
4.3	Auswertung von FEM-Ergebnissen bei großen Deformationen	268
4.4	Methode der „Crack-Energy-Density“ (CED).....	270
5	Prozesssimulation und Prozess-Struktur-Kopplung.....	275
5.1	Der Spritzgießprozess	276
5.2	Beschreibung von Strömungsvorgängen	280
5.2.1	Berechnung der Faserorientierungen	290

5.3	Modellierungsansätze für die Prozesssimulation.....	295
5.4	Prozess-Struktur-Kopplung.....	300
5.4.1	Ergebnisse für die Struktursimulation.....	303
TEIL B: Vorschlag für einen vereinfachten Festigkeitsnachweis		315
6	Vereinfachte Vorgehensweise zum Festigkeitsnachweis thermoplastischer Kunststoffbauteile	317
6.1	Verwendete Konzepte beim vereinfachten Festigkeitsnachweis	318
6.1.1	Ermittlung der Bemessungsgrenze.....	319
6.1.2	Bauteilfestigkeit, Auslastungsgrad und Tragfähigkeit	320
6.1.2.1	Konzept der lokalen Bauteilfestigkeit.....	320
6.1.2.2	Auslastungsgrad.....	321
6.1.2.3	Bauteiltragfähigkeit.....	326
6.1.3	Versagenshypothese und Mehraxialität bei statischer Beanspruchung	331
6.1.4	Grenzspannungsamplitude und Näherungskonstruktion des Haigh-Diagramms	337
6.1.5	Mehraxialität bei zyklischer Beanspruchung.....	340
6.1.5.1	Proportionale und nichtproportionale Beanspruchungen .	340
6.1.5.2	Vergleichsspannungshypothesen für zyklische Beanspruchung.....	342
6.1.5.3	Kritisches Schnittebenenverfahren.....	349
6.1.6	Kerbspannungskorrektur-Verfahren	351
6.2	Vorschlag für einen vereinfachten statischen Festigkeitsnachweis	353
6.2.1	Ermittlung der Spannungskennwerte	354
6.2.2	Ermittlung der lokalen Bauteilfestigkeit bei kurzzeitiger Beanspruchung	354
6.2.2.1	Erfassung des Temperatureinflusses auf die Bauteilfestigkeit	359
6.2.3	Ermittlung der lokalen Bauteilfestigkeit bei langzeitiger Beanspruchung	362
6.2.4	Ermittlung des statischen Auslastungsgrads	365
6.2.5	Tragfähigkeitsnachweis.....	369
6.3	Vorschlag für einen vereinfachten Ermüdungsfestigkeitsnachweis	369
6.3.1	Ermittlung der Spannungskennwerte	372
6.3.2	Nachweis gegen die Grenzspannungsamplitude.....	372

6.3.3	Erfassung des Mittelspannungseinflusses.....	374
6.3.4	Nachweis gegen eine Zeitfestigkeit.....	379
6.3.5	Ermittlung des zyklischen Auslastungsgrads.....	383
TEIL C: Einführung in die FEM		389
7	Prinzip der FEM.....	391
7.1	Grundlegende Vorgehensweise.....	393
7.2	Systemgleichungen und Gleichungslösung.....	401
7.3	Formfunktionen	410
7.4	Integrationspunkte.....	418
7.5	Nichtlineare Problemstellungen.....	421
7.6	Implizite und explizite Solver	427
7.7	Elementtypen.....	430
7.7.1	Elementeigenschaften	430
7.7.2	Kontinuumselemente	438
7.7.3	Strukturelemente.....	440
7.7.4	Sonstige Elemente	444
7.8	Schwingungssimulation	446
7.8.1	Lösung von Schwingungsproblemen in der FEM	447
7.8.2	Definition des FE-Modells	450
7.8.3	Ergebnisse von Schwingungssimulationen.....	454
8	FEM im Entwicklungsprozess.....	461
8.1	Planung	462
8.1.1	Ergebnisdefinition.....	463
8.1.2	Eingangsdaten, Datenquellen.....	466
8.2	Modellerstellung	467
8.2.1	Modellierungskonzept	468
8.2.2	Vernetzung	471
8.2.3	Randbedingungen.....	477
8.2.3.1	Kontaktprobleme	480
8.3	Lösungsverfahren.....	483
8.3.1	Lineare und nicht-lineare Probleme	483
8.3.2	Implizite und explizite Solver	484
8.4	Validierung.....	485

8.5	Auswertung und Dokumentation	488
8.5.1	Formale Anforderungen an einen Bericht	492
8.5.2	Prozesssicherheit.....	493
Index	495