

HANSER

Inhaltsverzeichnis

Kunststoffprüfung

Herausgegeben von Wolfgang Grellmann, Sabine Seidler

ISBN: 978-3-446-42722-8

Weitere Informationen oder Bestellungen unter

<http://www.hanser.de/978-3-446-42722-8>

sowie im Buchhandel.

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|-----------|
| Verzeichnis der verwendeten Formelzeichen (Auswahl) | XXI |
| Abkürzungsverzeichnis | XXIX |
| Kurzzeichen für Kunststoffe | XXXIII |
| 1 Einleitung | 1 |
| 1.1 Zur Herausbildung der Kunststoffprüfung als Wissenschaftsdisziplin | 1 |
| 1.2 Einflussgrößen auf die Kennwertermittlung | 5 |
| 1.3 Einteilung der Methoden der Kunststoffprüfung | 6 |
| 1.4 Normen und Regelwerke in der Kunststoffprüfung | 8 |
| 1.5 Zusammenstellung der Normen | 11 |
| 1.6 Literaturhinweise für die einzelnen Fachgebiete | 12 |
| 2 Prüfkörperherstellung | 15 |
| 2.1 Einführung | 15 |
| 2.2 Prüfung an Formmassen | 17 |
| 2.3 Herstellung von Prüfkörpern | 18 |
| 2.3.1 Allgemeine Anmerkungen | 18 |
| 2.3.2 Prüfkörperherstellung durch direkte Formgebung | 20 |
| 2.3.2.1 Herstellung von Prüfkörpern aus thermoplastischen Formmassen | 20 |
| 2.3.2.2 Herstellung von Prüfkörpern aus duroplastischen Formmassen | 27 |
| 2.3.2.3 Herstellung von Prüfkörpern aus elastomeren Werkstoffen | 29 |
| 2.3.3 Prüfkörperherstellung durch indirekte Formgebung | 30 |
| 2.3.4 Charakterisierung des Prüfkörperzustandes | 32 |
| 2.4 Prüfkörpervorbereitung und Konditionierung | 35 |
| 2.5 Zusammenstellung der Normen | 38 |
| 2.6 Literatur | 39 |
| 3 Bestimmung verarbeitungsrelevanter Eigenschaften | 41 |
| 3.1 Formmassen | 41 |
| 3.2 Bestimmung von Schüttguteigenschaften | 42 |

| | | |
|---------|--|-----|
| 3.2.1 | Schüttdichte, Stopfdichte, Füllfaktor | 42 |
| 3.2.2 | Rieselfähigkeit, Schüttwinkel, Rutschwinkel | 44 |
| 3.3 | Bestimmung von Fluideigenschaften | 45 |
| 3.3.1 | Rheologische Grundlagen | 45 |
| 3.3.1.1 | Viskosität NEWTON'scher und nicht-NEWTON'scher Fluide | 45 |
| 3.3.1.2 | Temperatur- und Druckabhängigkeit der Viskosität | 49 |
| 3.3.1.3 | Molmasseneinfluss auf die Viskosität | 49 |
| 3.3.1.4 | Volumeneigenschaften | 49 |
| 3.3.2 | Messung rheologischer Eigenschaften | 50 |
| 3.3.2.1 | Rheometrie/Viskosimetrie | 50 |
| 3.3.2.2 | Rotationsrheometer | 51 |
| 3.3.2.3 | Kapillarrheometer | 58 |
| 3.3.2.4 | Dehnrheometer | 69 |
| 3.3.3 | Auswahl von Messmethoden zur rheologischen Charakterisierung von Polymerwerkstoffen | 72 |
| 3.4 | Zusammenstellung der Normen | 73 |
| 3.5 | Literatur | 74 |
| 4 | Mechanische Eigenschaften von Kunststoffen | 75 |
| 4.1 | Grundlagen mechanischen Verhaltens | 75 |
| 4.1.1 | Mechanische Beanspruchungsgrößen | 75 |
| 4.1.1.1 | Spannung | 75 |
| 4.1.1.2 | Deformation | 78 |
| 4.1.2 | Werkstoffverhalten und Stoffgesetze | 79 |
| 4.1.2.1 | Elastisches Verhalten | 80 |
| 4.1.2.2 | Viskoses Verhalten | 83 |
| 4.1.2.3 | Viskoelastisches Verhalten | 85 |
| 4.1.2.4 | Plastisches Verhalten | 91 |
| 4.2 | Mechanische Spektroskopie | 93 |
| 4.2.1 | Experimentelle Bestimmung zeitabhängiger mechanischer Eigenschaften | 94 |
| 4.2.1.1 | Statische Prüfverfahren | 94 |
| 4.2.1.2 | Dynamisch-Mechanische Analyse (DMA) | 95 |
| 4.2.2 | Zeit- und Temperaturabhängigkeit der viskoelastischen Eigenschaften | 103 |
| 4.2.3 | Strukturelle Einflussgrößen auf die viskoelastischen Eigenschaften | 107 |
| 4.3 | Quasistatische Prüfverfahren | 108 |
| 4.3.1 | Deformationsverhalten von Kunststoffen | 108 |

| | | |
|---------|---|-----|
| 4.3.2 | Zugversuch an Kunststoffen | 115 |
| 4.3.2.1 | Theoretische Grundlagen des Zugversuches | 115 |
| 4.3.2.2 | Der konventionelle Zugversuch | 119 |
| 4.3.2.3 | Erweiterte Aussagemöglichkeiten des Zugversuches | 128 |
| 4.3.3 | Weiterreißversuch | 134 |
| 4.3.4 | Druckversuch an Kunststoffen | 136 |
| 4.3.4.1 | Theoretische Grundlagen des Druckversuches | 136 |
| 4.3.4.2 | Durchführung und Auswertung des Druckversuches | 140 |
| 4.3.5 | Biegeversuch an Kunststoffen | 145 |
| 4.3.5.1 | Theoretische Grundlagen des Biegeversuches | 145 |
| 4.3.5.2 | Der genormte Biegeversuch | 151 |
| 4.4 | Schlagartige Beanspruchung | 156 |
| 4.4.1 | Einführung | 156 |
| 4.4.2 | Schlagbiegeversuch und Kerbschlagbiegeversuch | 157 |
| 4.4.3 | Schlagzugversuch und Kerbschlagzugversuch | 163 |
| 4.4.4 | Fallbolzenversuch und Durchstoßversuch | 166 |
| 4.5 | Ermüdungsverhalten | 169 |
| 4.5.1 | Allgemeine Grundlagen | 169 |
| 4.5.2 | Experimentelle Ermittlung des Ermüdungsverhaltens | 171 |
| 4.5.3 | Planung und Auswertung von Ermüdungsversuchen | 176 |
| 4.5.4 | Einflussgrößen auf das Ermüdungsverhalten und die Lebensdauervorhersage von Kunststoffen | 178 |
| 4.6 | Statisches Langzeitverhalten | 180 |
| 4.6.1 | Allgemeine Grundlagen | 180 |
| 4.6.2 | Zeitstandzugversuch | 182 |
| 4.6.3 | Zeitstandbiegeversuch | 190 |
| 4.6.4 | Zeitstanddruckversuch | 191 |
| 4.7 | Härteprüfverfahren | 192 |
| 4.7.1 | Grundlagen der Härteprüfung | 192 |
| 4.7.2 | Konventionelle Härteprüfverfahren | 195 |
| 4.7.2.1 | Prüfverfahren zur Ermittlung von Härtewerten nach Entlastung | 195 |
| 4.7.2.2 | Prüfverfahren zur Ermittlung von Härtewerten unter Last | 197 |
| 4.7.2.3 | Sonderverfahren | 201 |
| 4.7.2.4 | Vergleichbarkeit von Härtewerten | 201 |
| 4.7.3 | Instrumentierte Härteprüfung | 203 |
| 4.7.3.1 | Grundlagen der Messmethodik | 203 |
| 4.7.3.2 | Werkstoffkenngrößen der instrumentierten Härteprüfung | 205 |

| | | |
|---------|---|-----|
| 4.7.3.3 | Anwendungsbeispiele | 208 |
| 4.7.4 | Korrelationen der Mikrohärtigkeit mit Streckgrenze und Zähigkeit | 210 |
| 4.8 | Reibung und Verschleiß | 214 |
| 4.8.1 | Einleitung | 214 |
| 4.8.2 | Grundlagen von Reibung und Verschleiß | 216 |
| 4.8.2.1 | Reibungskräfte | 216 |
| 4.8.2.2 | Temperaturerhöhung als Folge der Reibung | 217 |
| 4.8.2.3 | Verschleiß als Systemeigenschaft | 217 |
| 4.8.2.4 | Verschleißmechanismen und Transferfilmbildung | 218 |
| 4.8.3 | Verschleißprüfung und Verschleißkenngrößen | 219 |
| 4.8.3.1 | Ausgewählte Modell-Verschleißprüfungen | 221 |
| 4.8.3.2 | Verschleißkenngrößen und deren Ermittlung | 222 |
| 4.8.3.3 | Verschleißkenngrößen und deren Darstellung | 224 |
| 4.8.4 | Ausgewählte experimentelle Ergebnisse | 224 |
| 4.8.4.1 | Einfluss des Gegenpartners | 224 |
| 4.8.4.2 | Einfluss von Füllstoffen | 226 |
| 4.8.4.3 | Einfluss der Belastungsparameter | 228 |
| 4.8.4.4 | Eigenschaftsvorhersage mittels neuronaler Netze | 230 |
| 4.8.5 | Abschließende Bewertung | 231 |
| 4.9 | Zusammenstellung der Normen | 232 |
| 4.10 | Literatur | 237 |
| 5 | Zähigkeitsbewertung mit bruchmechanischen Methoden | 243 |
| 5.1 | Einführung | 243 |
| 5.2 | Stand und Entwicklungstendenzen | 244 |
| 5.3 | Grundaussagen bruchmechanischer Konzepte | 246 |
| 5.3.1 | Linear-elastische Bruchmechanik (LEBM) | 246 |
| 5.3.2 | Crack Tip Opening Displacement- (CTOD-) Konzept | 250 |
| 5.3.3 | J-Integral-Konzept | 254 |
| 5.3.4 | Risswiderstands- (R-) Kurven-Konzept | 255 |
| 5.4 | Experimentelle Bestimmung bruchmechanischer Kennwerte | 257 |
| 5.4.1 | Quasistatische Beanspruchung | 257 |
| 5.4.2 | Instrumentierter Kerbschlagbiegeversuch | 261 |
| 5.4.2.1 | Prüfanordnung | 261 |
| 5.4.2.2 | Einhaltung experimenteller Bedingungen | 263 |
| 5.4.2.3 | Typen von Schlagkraft-Durchbiegungs-Diagrammen – Optimierung der Diagrammform | 265 |
| 5.4.2.4 | Spezielle Näherungsverfahren zur Bestimmung von J-Werten | 267 |

| | | |
|---------|--|-----|
| 5.4.2.5 | Anforderungen an die Prüfkörpergeometrie | 270 |
| 5.4.3 | Instrumentierter Fallversuch | 272 |
| 5.5 | Anwendungen in der Werkstoffentwicklung | 274 |
| 5.5.1 | Bruchmechanische Zähigkeitsbewertung von modifizierten Kunststoffen | 274 |
| 5.5.1.1 | Teilchengefüllte Kunststoffe | 274 |
| 5.5.1.2 | Faserverstärkte Kunststoffe | 278 |
| 5.5.1.3 | Blends und Copolymere | 283 |
| 5.5.2 | Anwendung des instrumentierten Schlagzugversuches zur Erzeugnisbewertung | 289 |
| 5.5.3 | Berücksichtigung des Bruchverhaltens bei der Werkstoffauswahl und Dimensionierung | 293 |
| 5.6 | Zusammenstellung der Normen | 295 |
| 5.7 | Literatur | 296 |
| 6 | Prüfung physikalischer Eigenschaften | 299 |
| 6.1 | Thermische Eigenschaften | 299 |
| 6.1.1 | Einleitung | 299 |
| 6.1.2 | Wärmeleitfähigkeitsbestimmung | 301 |
| 6.1.3 | Dynamische Differenz-Thermoanalyse (DSC) | 305 |
| 6.1.4 | Thermogravimetrische Analyse (TGA) | 311 |
| 6.1.5 | Thermomechanische Analyse (TMA) | 313 |
| 6.2 | Optische Eigenschaften | 317 |
| 6.2.1 | Einführung | 317 |
| 6.2.2 | Reflexion und Brechung | 318 |
| 6.2.2.1 | Gerichtete und diffuse Reflexion | 318 |
| 6.2.2.2 | Brechzahlbestimmung | 319 |
| 6.2.3 | Dispersion | 323 |
| 6.2.4 | Polarisation | 324 |
| 6.2.4.1 | Optische Aktivität | 324 |
| 6.2.4.2 | Polarisationsoptische Bauelemente | 325 |
| 6.2.4.3 | Polarisationsoptische Untersuchungsverfahren | 327 |
| 6.2.5 | Transmission, Absorption und Reflexion | 334 |
| 6.2.6 | Glanz, Innere Remission und Trübung | 335 |
| 6.2.7 | Farbe | 339 |
| 6.2.8 | Transparenz und Durchsichtigkeit | 343 |
| 6.2.9 | Infrarotspektroskopie | 347 |
| 6.2.10 | Lasertechnik | 349 |
| 6.2.11 | Prüfung auf die Konstanz optischer Werte | 350 |

| | | |
|---------|---|-----|
| 6.3 | Elektrische und dielektrische Eigenschaften | 352 |
| 6.3.1 | Einleitung | 352 |
| 6.3.2 | Physikalische Grundlagen | 355 |
| 6.3.3 | Elektrische Leitfähigkeit und Widerstand | 359 |
| 6.3.3.1 | Durchgangswiderstand | 359 |
| 6.3.3.2 | Oberflächenwiderstand | 362 |
| 6.3.3.3 | Isolationswiderstand | 363 |
| 6.3.3.4 | Messverfahren | 364 |
| 6.3.3.5 | Kontaktierung und Prüfkörpervorbereitung | 367 |
| 6.3.4 | Dielektrische Eigenschaften und dielektrische Spektroskopie | 368 |
| 6.3.4.1 | Relaxationsprozesse | 369 |
| 6.3.4.2 | Wechselstromleitfähigkeit | 377 |
| 6.3.4.3 | Breitbandige dielektrische Messtechnik | 379 |
| 6.3.5 | Spezielle technische Prüfverfahren | 386 |
| 6.3.5.1 | Elektrostatische Aufladung | 386 |
| 6.3.5.2 | Elektrische Festigkeit | 389 |
| 6.3.5.3 | Kriechstromfestigkeit und Lichtbogenfestigkeit | 393 |
| 6.4 | Zusammenstellung der Normen | 396 |
| 6.5 | Literatur | 399 |
| 7 | Bewertung der Spannungsrisssbeständigkeit | 405 |
| 7.1 | Allgemeine Bemerkungen zum Versagen von Kunststoffen in aggressiven Medien | 405 |
| 7.2 | Prüfung der Spannungsrisssbeständigkeit | 409 |
| 7.2.1 | Prüfmethoden zur Bestimmung der umgebungsbedingten Spannungsrisssbildung | 409 |
| 7.2.2 | Beispiele zur Bewertung der Spannungsrisssbeständigkeit mit standardisierten Prüfverfahren | 413 |
| 7.2.3 | Bruchmechanische Prüfmethoden | 418 |
| 7.3 | Modellbetrachtungen zum Versagen von Polymeren in Medien durch Spannungsrisse | 422 |
| 7.4 | Einflussgrößen auf das Spannungsrisssverhalten | 426 |
| 7.4.1 | Vernetzung | 426 |
| 7.4.2 | Molmasse und Molmassenverteilung | 427 |
| 7.4.3 | Verzweigungen | 428 |
| 7.4.4 | Kristalline Bereiche | 429 |
| 7.4.5 | Molekülorientierung | 431 |
| 7.4.6 | Physikalisch-chemische Wechselwirkungsvorgänge | 434 |
| 7.4.7 | Viskosität des Umgebungsmediums | 440 |
| 7.4.8 | Einfluss der Prüfkörperdicke | 446 |

| | | |
|---------|---|-----|
| 7.4.9 | Einfluss der Temperatur | 447 |
| 7.5 | Zusammenstellung der Normen und Richtlinien | 451 |
| 7.6 | Literatur | 452 |
| 8 | Zerstörungsfreie Kunststoffprüfung | 455 |
| 8.1 | Einleitung | 455 |
| 8.2 | Zerstörungsfreie Prüfung mit elektromagnetischen Wellen | 457 |
| 8.2.1 | Röntgenstrahlung | 457 |
| 8.2.1.1 | Projektionsverfahren mittels Absorption | 458 |
| 8.2.1.2 | Compton-Rückstreuung | 460 |
| 8.2.1.3 | Röntgen-Refraktometrie | 461 |
| 8.2.2 | Spektralbereich des sichtbaren Lichts | 464 |
| 8.2.2.1 | Dickenmessung an transparenten Bauteilen | 464 |
| 8.2.2.2 | Spannungsoptik an transparenten Bauteilen | 464 |
| 8.2.2.3 | Konfokale Laserscanmikroskopie | 465 |
| 8.2.2.4 | Streifenprojektion zur Konturerfassung | 467 |
| 8.2.2.5 | Interferometrische Verfahren | 468 |
| 8.2.3 | Thermographie | 473 |
| 8.2.4 | Mikrowellen | 474 |
| 8.2.5 | Dielektrische Spektroskopie | 478 |
| 8.2.6 | Wirbelstrom | 479 |
| 8.3 | Zerstörungsfreie Prüfung mit elastischen Wellen | 481 |
| 8.3.1 | Elastische Wellen bei linearem Werkstoffverhalten | 482 |
| 8.3.1.1 | Ultraschall | 482 |
| 8.3.1.2 | Mechanische Vibrometrie | 492 |
| 8.3.2 | Elastische Wellen bei nichtlinearem Werkstoffverhalten | 497 |
| 8.3.2.1 | Grundlegendes zu elastischen Wellen im nichtlinearen Werkstoff | 497 |
| 8.3.2.2 | Nichtlinearer Luftultraschall | 497 |
| 8.3.2.3 | Nichtlineare Vibrometrie | 500 |
| 8.4 | Zerstörungsfreie Prüfung mit dynamischem Wärmetransport | 503 |
| 8.4.1 | Externe Anregung | 503 |
| 8.4.1.1 | Wärmeflussthermographie mit nichtperiodischem Wärmetransport | 503 |
| 8.4.1.2 | Thermographie mit periodischem Wärmetransport | 505 |
| 8.4.2 | Interne Anregung | 509 |
| 8.4.2.1 | Thermographie mit Anregung durch elastische Wellen | 509 |
| 8.4.2.2 | Thermographie mit anderen internen Anregungsarten | 514 |

| | | |
|----------|---|-----|
| 8.5 | Ausblick | 514 |
| 8.6 | Literatur | 516 |
| 9 | Hybride Verfahren der Kunststoffdiagnostik | 521 |
| 9.1 | Zielstellung | 521 |
| 9.2 | Zugversuch, Schallemissionsprüfung und Videothermographie | 523 |
| 9.3 | Zugversuch und Laserextensometrie | 526 |
| 9.4 | Bruchmechanik und Zerstörungsfreie Prüfung | 531 |
| 9.5 | Literatur | 535 |
| 10 | Prüfung von Verbundwerkstoffen | 537 |
| 10.1 | Einführung | 537 |
| 10.2 | Theoretischer Hintergrund | 539 |
| 10.2.1 | Anisotropie | 539 |
| 10.2.2 | Elastische Eigenschaften von Laminaten | 540 |
| 10.2.3 | Einfluss von Feuchtigkeit und Temperatur | 540 |
| 10.2.4 | Laminattheorie und Hauptsatz nach St. VENANT | 541 |
| 10.2.5 | Anwendung bruchmechanischer Konzepte für FVW | 542 |
| 10.3. | Prüfkörperherstellung | 545 |
| 10.3.1 | Laminatherstellung | 545 |
| 10.3.2 | Prüfkörpervorbereitung für unidirektionale Beanspruchung | 547 |
| 10.4 | Bestimmung des Faservolumengehaltes | 548 |
| 10.5 | Mechanische Prüfmethoden | 550 |
| 10.5.1 | Zugversuche | 550 |
| 10.5.2 | Druckversuche | 553 |
| 10.5.3 | Biegeversuche | 557 |
| 10.5.4 | Interlaminare Scherfestigkeit | 560 |
| 10.5.5 | Schubversuche | 561 |
| 10.5.5.1 | $\pm 45^\circ$ Off-Axis Zugversuch | 562 |
| 10.5.5.2 | 10° Off-Axis Zugversuch | 563 |
| 10.5.5.3 | Two- und Three-Rail Scherversuche | 564 |
| 10.5.5.4 | Iosipescu Schubversuch | 566 |
| 10.5.5.5 | Plate-Twist Schubversuch | 567 |
| 10.5.5.6 | Torsion dünnwandiger Rohre | 568 |
| 10.6 | Bruchmechanische Prüfmethoden | 569 |
| 10.6.1 | Experimentelle Prüfung von FVW | 569 |
| 10.6.2 | Spezielle Prüfkörperformen | 570 |
| 10.6.2.1 | Prüfkörper für Mode I-Beanspruchung | 570 |
| 10.6.2.2 | Prüfkörper für Mode II-Beanspruchung | 572 |
| 10.6.2.3 | Mixed Mode-Prüfkörper | 575 |

| | | |
|----------|---|-----|
| 10.6.3 | Bruchmechanische Kennwerte von FVW | 577 |
| 10.7 | Spezifische Prüfmethoden | 579 |
| 10.7.1 | Edge-Delamination Test (EDT) | 579 |
| 10.7.2 | Boeing Open-Hole Compression Prüfung | 580 |
| 10.8 | Schälfestigkeit biegeweicher Lamine | 581 |
| 10.9 | Schlagbeanspruchung und Schadenstoleranz | 582 |
| 10.10 | Zusammenstellung der Normen und Richtlinien | 586 |
| 10.11 | Literatur | 589 |
| 11 | Technologische Prüfverfahren | 591 |
| 11.1 | Wärmeformbeständigkeit | 591 |
| 11.1.1 | Grundlagen und Definitionen | 591 |
| 11.1.2 | Bestimmung der Wärmeformbeständigkeitstemperatur HDT und der VICAT-Erweichungstemperatur | 592 |
| 11.1.3 | Anwendungsbeispiele zur Aussagefähigkeit der VICAT- und HDT-Prüfung | 595 |
| 11.2 | Brandverhalten | 600 |
| 11.2.1 | Einleitung | 600 |
| 11.2.2 | Stufen eines Brandes und Brandparameter | 602 |
| 11.2.3 | Brandprüfungen | 605 |
| 11.2.3.1 | Neigung zu Schwelbrand | 606 |
| 11.2.3.2 | Entzündbarkeit | 606 |
| 11.2.3.3 | Flammenausbreitung | 611 |
| 11.2.3.4 | Wärmefreisetzung | 614 |
| 11.2.3.5 | Feuerwiderstand | 616 |
| 11.2.3.6 | Löschbarkeit | 616 |
| 11.2.3.7 | Rauchentwicklung | 616 |
| 11.2.4 | Die Anwendung des Cone-Kalorimeters zur Charakterisierung des Brandverhaltens | 618 |
| 11.3 | Bauteilprüfung | 624 |
| 11.3.1 | Einführung | 624 |
| 11.3.2 | Basisprüfmethoden | 625 |
| 11.3.2.1 | Allgemeines | 625 |
| 11.3.2.2 | Prüfung äußerer Merkmale | 625 |
| 11.3.2.3 | Prüfung von Werkstoffeigenschaften | 627 |
| 11.3.2.4 | Prüfung der Gebrauchstauglichkeit | 630 |
| 11.3.3 | Prüfung von Kunststoffrohren | 631 |
| 11.3.3.1 | Qualitätssicherung bei Kunststoffrohren | 631 |
| 11.3.3.2 | Prüfung des Zeitstandinnendrucks von Kunststoffrohren | 633 |

| | | |
|----------|--|-----|
| 11.3.4 | Prüfung von Kunststoffbauteilen für Anwendungen im Automobilbau | 636 |
| 11.3.4.1 | Anforderungen an die Prüfung | 636 |
| 11.3.4.2 | Mechanische Prüfungen | 636 |
| 11.3.4.3 | Permeations- und Emissionsprüfungen | 638 |
| 11.3.5 | Prüfung von Kunststoffbauteilen für Anwendungen im Bauwesen | 642 |
| 11.3.5.1 | Einleitung | 642 |
| 11.3.5.2 | Prüfung von Sandwichelementen | 642 |
| 11.3.5.3 | Prüfung von Kunststoffmantelrohren | 646 |
| 11.4 | Implantatprüfung | 650 |
| 11.4.1 | Einführung | 650 |
| 11.4.2 | Push-Out Test an Implantaten | 652 |
| 11.4.3 | Prüfung des Einsatzverhaltens von pharyngo-trachealen Stimmprothesen | 656 |
| 11.4.4 | Ermittlung der mechanischen Eigenschaften von humanem Knorpel | 659 |
| 11.5 | Zusammenstellung der Normen | 661 |
| 11.6 | Literatur | 664 |
| 12 | Mikroprüftechnik | 667 |
| 12.1 | Einführung | 667 |
| 12.2 | Kennwertermittlung an Mikroprüfkörpern | 671 |
| 12.2.1 | Mikrozugprüfung | 671 |
| 12.2.2 | Bruchmechanische Untersuchungen mit Hilfe von miniaturisierten Compact Tension (CT)-Prüfkörpern | 675 |
| 12.3 | Nano-Eindringprüfung | 678 |
| 12.4 | Prüfmethoden auf dem Weg in die Nanowelt | 680 |
| 12.4.1 | Berührungslose Verschiebungsfeldbestimmung durch digitale Bildkorrelation (Grauwertkorrelationsanalyse) | 680 |
| 12.4.2 | In-situ-Deformationsmessungen im Atomkraftmikroskop (AFM) .. | 682 |
| 12.5 | Literatur | 687 |
| | Sachwortverzeichnis | 689 |