

# Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Probekörperherstellung und Probekörpervorbereitung	5
2.1	Einführung	5
2.2	Prüfung an Formmassen	6
2.3	Prüfung an Probekörpern	7
2.3.1	Probekörperherstellung durch direkte Formgebung	7
2.3.1.1	Herstellung von Probekörpern aus thermoplastischen Formmassen	8
2.3.1.2	Herstellung von Probekörpern aus Duromeren	10
2.3.1.3	Herstellung von Probekörpern aus Elaste	11
2.3.1.4	Herstellung von Probekörpern aus Gießharzen	12
2.3.2	Probekörperherstellung durch indirekte Formgebung	12
2.3.3	Meßtechnische Charakterisierung des Probekörperzustandes	14
2.3.4	Bemerkungen zur Probekörpergeometrie	16
2.4	Probekörpervorbereitung – Konditionierung	17
2.5	Zusammenstellung der Normen	19
3	Prüfung der Verarbeitbarkeit	21
3.1	Einführung	21
3.2	Grundlagen zur Verarbeitung und zum rheologischen Verhalten von Polymeren	21
3.2.1	Allgemeine Grundlagen der Polymerverarbeitung	21
3.2.2	Rheologische Grundlagen	22
3.3	Rheometrische Prüfmethoden	25
3.3.1	Kapillarviskosimetrische Prüfverfahren	25
3.3.1.1	Grundlagen	25
3.3.1.2	Bestimmung der Viskosität von verdünnten Polymerlösungen	25
3.3.1.3	Bestimmung der Viskosität von Polymerschmelzen	30
3.3.1.4	Bestimmung der Viskosität von PVC-Pasten	32
3.3.2	Messung der Viskosität mit Rotationsviskosimetern	33
3.3.3	Messung der Dehnviskosität	34
3.4	Prüfverfahren zur Beurteilung der Fließfähigkeit	35
3.4.1	Prüfverfahren für Thermoplastformmassen	35
3.4.1.1	Bestimmung des Schmelzindex	35
3.4.1.2	Weitere Prüfverfahren	37
3.4.2	Prüfverfahren für Duroplastformmasse	38
3.4.3	Prüftechnik im Verarbeitungsprozeß	40
3.5	Technologische Prüfverfahren	41
3.5.1	Prüfverfahren zur Bestimmung von Dichtekenngrößen	41
3.5.1.1	Dichte	41
3.5.1.2	Weitere Kenngrößen	43
3.5.2	Bestimmung des Feuchteanteils	44
3.5.3	Bestimmung von Korngrößen	45

3.5.4 Bestimmung der Gelierzeit und des Reaktionsverhaltens von Reaktionsharzmassen . . . . .	47
3.6 Verarbeitungstechnologische Kenngrößen . . . . .	48
3.6.1 Bestimmung der Verarbeitungs- und Nachschwindung . . . . .	48
3.6.2 Bestimmung der Schrumpfung . . . . .	49
3.7 Zusammenstellung der Normen . . . . .	50
4 Prüfung der mechanischen Eigenschaften . . . . .	53
4.1 Einführung . . . . .	53
4.2 Mechanisches Verhalten . . . . .	53
4.2.1 Spannungstensor . . . . .	55
4.2.2 Dehnung . . . . .	56
4.2.3 Hookesche Elastizität . . . . .	56
4.2.4 Kautschukelastizität . . . . .	58
4.2.5 Viskoelastizität . . . . .	59
4.2.5.1 Boltzmann-Prinzip . . . . .	59
4.2.5.2 Darstellung linearer viskoelastischer Kenngrößen durch das Relaxationszeitspektrum . . . . .	60
4.2.5.3 Lineares viskoelastisches Verhalten bei dynamischer Beanspruchung . . . . .	65
4.2.5.4 Temperaturabhängigkeit – Dynamische Glastemperatur . . . . .	66
4.2.6 Anisotrope Deformation . . . . .	69
4.2.6.1 Scherbandbildung – Scherfließen . . . . .	71
4.2.6.2 Kavitation – Crazing . . . . .	71
4.3 Mechanische Spektrometrie . . . . .	72
4.3.1 Schermodulmessung – Torsionsschwingungsversuch . . . . .	75
4.3.2 Biege-Elastizitätsmodul – Biegeschwingungsversuch . . . . .	77
4.3.3 Zug-Elastizitätsmodul – Zugschwingversuch . . . . .	79
4.4 Quasistatische Prüfverfahren . . . . .	80
4.4.1 Spannungs-Dehnungs-Verhalten bei Zugbeanspruchung . . . . .	83
4.4.2 Weiterreißversuch . . . . .	93
4.4.3 Spannungs-Stauchungs-Verhalten bei Druckbeanspruchung . . . . .	94
4.4.4 Spannungs-Dehnungs-Verhalten bei Biegebeanspruchung . . . . .	96
4.4.5 Ermittlung des Elastizitätsmoduls . . . . .	101
4.5 Versuche bei Schlagbeanspruchung . . . . .	104
4.5.1 Schlagbiegeversuch – Kerbschlagbiegeversuch . . . . .	105
4.5.2 Schlagzugversuch . . . . .	109
4.5.3 Schlagtorsionsversuch . . . . .	110
4.5.4 Fallbolzenversuch – Durchstoßversuch . . . . .	110
4.6 Langzeitverhalten bei ruhender Beanspruchung . . . . .	111
4.6.1 Zeitstandversuch . . . . .	112
4.6.2 Rückfederungsversuch . . . . .	115
4.6.3 Zeitstand-Biegeversuch . . . . .	116
4.6.4 Zeitstand-Druckversuch . . . . .	117
4.7 Ermittlung des Verhaltens bei schwingender Beanspruchung . . . . .	118
4.7.1 Versuchsdurchführung . . . . .	118
4.7.2 Ermittlung der Dauerfestigkeit . . . . .	120
4.8 Härtemessung . . . . .	127
4.8.1 Verfahren mit Messung der Gesamtdeformation . . . . .	127

4.8.2	Verfahren mit Messung der viskoelastischen Deformation . . . .	131
4.8.3	Verfahren mit Messung der elastischen Deformation . . . . .	132
4.9	Verschleiß – Reibung . . . . .	133
4.9.1	Verschleiß . . . . .	133
4.9.2	Reibung . . . . .	134
4.10	Zusammenstellung der Normen . . . . .	137
5	Bewertung der Zähigkeitseigenschaften durch bruchmechanische Kennwerte . . . . .	139
5.1	Einführung . . . . .	139
5.2	Stand und Entwicklungstendenzen . . . . .	140
5.3	Grundaussagen bruchmechanischer Konzepte . . . . .	141
5.3.1	Linear-elastische Bruchmechanik (LEBM) . . . . .	141
5.3.2	Crack-Opening-Displacement-(COD-)Konzept . . . . .	146
5.3.3	J-Integral-Konzept . . . . .	150
5.3.4	Rißwiderstands-(R-)Kurven-Konzept . . . . .	151
5.4	Experimentelle Bestimmung bruchmechanischer Kennwerte . . . . .	153
5.4.1	Statische Beanspruchung . . . . .	153
5.4.2	Instrumentierter Kerbschlagbiegeversuch . . . . .	156
5.4.2.1	Versuchsanordnung . . . . .	156
5.4.2.2	Einhaltung experimenteller Bedingungen . . . . .	157
5.4.2.3	Typen von Schlagkraft-Durchbiegungs-Diagrammen – Optimierung der Diagrammform . . . . .	162
5.4.2.4	Spezielle Näherungsverfahren zur Bestimmung von J-Integral-Werten . . . . .	164
5.4.2.5	Anforderungen an die Probekörpergeometrie . . . . .	166
5.4.3	Instrumentiertes Fallwerk . . . . .	168
5.5	Anwendungen der bruchmechanischen Zähigkeitsprüfverfahren in der Werkstoffentwicklung und bei der Erzeugnisbewertung . . . . .	170
5.5.1	Bruchmechanische Zähigkeitsbewertung von modifizierten Polymerwerkstoffen . . . . .	170
5.5.1.1	Teilchengefüllte Polymerwerkstoffe . . . . .	170
5.5.1.2	Faserverstärkte Polymerwerkstoffe . . . . .	174
5.5.1.3	Polymerkombinationen . . . . .	176
5.5.2	Anwendung des instrumentierten Schlagzugversuches zur Erzeugnisbewertung . . . . .	179
5.5.3	Berücksichtigung des Bruchverhaltens bei der Werkstoffauswahl und Dimensionierung . . . . .	180
5.6	Zusammenstellung der Normen . . . . .	182
6	Prüfung der elektrischen Eigenschaften . . . . .	185
6.1	Einführung . . . . .	185
6.2	Elektrische Leitfähigkeit – Widerstandsmessung . . . . .	190
6.2.1	Physikalische Grundlagen, Begriffe, Definitionen . . . . .	190
6.2.2	Prüfgrößen . . . . .	196
6.2.2.1	Isolationswiderstand . . . . .	196
6.2.2.2	Durchgangswiderstand . . . . .	196
6.2.2.3	Oberflächenwiderstand . . . . .	198
6.2.3	Prüfmethoden zur Ermittlung des Widerstandes . . . . .	199

6.3	Elektrostatische Aufladung . . . . .	208
6.3.1	Allgemeine Betrachtungen . . . . .	208
6.3.2	Prüfgrößen und ihre Bestimmungsmethoden . . . . .	210
6.3.2.1	Untersuchung des elektrostatischen Verhaltens . . . . .	210
6.3.2.2	Untersuchungen mittels Widerstandsmessung . . . . .	213
6.3.2.3	Einstäubungsuntersuchungen . . . . .	213
6.4	Verhalten im elektrischen Wechselfeld . . . . .	213
6.4.1	Physikalische Grundlagen, Begriffe, Definitionen . . . . .	213
6.4.2	Prüfgrößen und Auswerteverfahren . . . . .	220
6.4.3	Dielektrische Untersuchungsverfahren . . . . .	224
6.4.3.1	Quasistatische Untersuchungsverfahren ( $10^{-5}$ bis $10^{-1}$ Hz) . . . . .	226
6.4.3.2	Brückenmeßverfahren (0,1 bis 300 MHz) . . . . .	226
6.4.3.3	Resonanzmeßverfahren (etwa $10^4$ bis $10^{10}$ Hz) . . . . .	231
6.4.3.4	Meßleitungsverfahren (etwa $10^8$ bis $4 \cdot 10^{10}$ Hz) . . . . .	236
6.4.3.5	Meßzellen – Meß- und Auswertungsprobleme . . . . .	237
6.5	Elektrische Festigkeit . . . . .	241
6.5.1	Begriffe, physikalische Grundlagen . . . . .	241
6.5.2	Prüf- und Untersuchungsmethoden . . . . .	244
6.6	Kriechstromfestigkeit – Lichtbogenfestigkeit . . . . .	249
6.6.1	Physikalische Grundlagen, Begriffe, Definitionen . . . . .	249
6.6.2	Prüfverfahren . . . . .	250
6.7	Probekörperherstellung – Konditionierung – Behandlung und Kontaktierung . . . . .	253
6.8	Zusammenstellung der Normen . . . . .	255
7	Prüfung der thermischen Eigenschaften . . . . .	259
7.1	Einführung . . . . .	259
7.2	Stoffwerte . . . . .	261
7.2.1	Wärmeleitfähigkeit . . . . .	261
7.2.1.1	Grundlagen, Definitionen . . . . .	261
7.2.1.2	Messung der Wärmeleitfähigkeit . . . . .	262
7.2.1.3	Ergebnisse, Aussagefähigkeit . . . . .	265
7.2.2	Spezifische Wärme . . . . .	268
7.2.2.1	Grundlagen, Definitionen . . . . .	268
7.2.2.2	Messung der spezifischen Wärme . . . . .	270
7.2.2.3	Ergebnisse, Aussagefähigkeit . . . . .	272
7.2.3	Wärmedehnzahl . . . . .	275
7.2.3.1	Grundlagen, Definitionen . . . . .	275
7.2.3.2	Messung der Wärmedehnzahl . . . . .	276
7.2.3.3	Ergebnisse, Aussagefähigkeit . . . . .	277
7.2.4	Abgeleitete Prüfverfahren . . . . .	281
7.3	Formbeständigkeit in der Wärme . . . . .	282
7.3.1	Grundlagen, Definitionen . . . . .	282
7.3.2	Meßmethoden . . . . .	283
7.3.2.1	Thermomechanische Methoden . . . . .	283
7.3.2.2	Ergebnisse, Aussagefähigkeit . . . . .	286
7.3.2.3	Schrumpfung und Schrumpfspannung . . . . .	288
7.3.2.4	Ergebnisse, Aussagefähigkeit . . . . .	289
7.4	Brandverhalten . . . . .	291

7.4.1 Grundlagen, Definitionen . . . . .	291
7.4.2 Ermittlung des Brennverhaltens . . . . .	293
7.4.2.1 Verfahren zur Bestimmung des Entzündungs- und Brandverhaltens . . . . .	293
7.4.2.2 Verfahren zur Bestimmung der Entflammbarkeit und Brennbarkeit . . . . .	295
7.4.3 Bemerkungen zur anwendungsbezogenen Brandprüfung . . . . .	298
7.5 Zusammenstellung der Normen . . . . .	299
<b>8 Prüfung des Medienverhaltens . . . . .</b>	<b>303</b>
8.1 Einführung . . . . .	303
8.2 Physikalisch-chemische Prozesse bei Einwirkung von flüssigen, gas- oder dampfförmigen Medien . . . . .	303
8.2.1 Sorption – Diffusion – Permeation von Gasen und Dämpfen . . . . .	306
8.2.2 Physikalische Wechselwirkungsvorgänge bei Medieneinwirkung . . . . .	314
8.2.2.1 Quellungsgleichgewicht – Kohäsionsenergie . . . . .	314
8.2.2.2 Wasseraufnahme . . . . .	318
8.2.3 Chemische Reaktionen bei Medieneinwirkung . . . . .	325
8.2.3.1 Einwirkung chemisch aktiver Gase . . . . .	325
8.2.3.2 Einwirkung chemisch aktiver Flüssigkeiten . . . . .	327
8.2.4 Einwirkung aktiver Medien und mechanischer Spannungen . . . . .	330
8.2.4.1 Spannungsrißbildung und umgebungsabhängiger Bruch in physikalisch aktiven Medien . . . . .	331
8.2.4.2 Spannungsrißkorrosion . . . . .	336
8.3 Verfahren zur Prüfung des Verhaltens gegenüber Medien . . . . .	337
8.3.1 Prüfung der Gas- und Wasserdampfdurchlässigkeit . . . . .	337
8.3.2 Prüfung der Wasseraufnahme . . . . .	341
8.3.3 Prüfung der chemischen Beständigkeit – Beständigkeitstabellen und Resistenzfaktoren . . . . .	343
8.3.4 Prüfung der Spannungsrißbeständigkeit . . . . .	346
8.3.4.1 Prüfverfahren ohne äußere mechanische Beanspruchung . . . . .	347
8.3.4.2 Prüfverfahren mit äußerer mechanischer Beanspruchung . . . . .	348
8.4 Zusammenstellung der Normen . . . . .	362
<b>9 Prüfung der optischen Eigenschaften . . . . .</b>	<b>365</b>
9.1 Einführung . . . . .	365
9.2 Reflexion – Brechung – Dispersion . . . . .	365
9.3 Polarisierung – Doppelbrechung . . . . .	368
9.4 Remission – Transmission . . . . .	370
9.5 Glanz – Innere Remission . . . . .	372
9.6 Farbe . . . . .	375
9.7 Deckvermögen . . . . .	381
9.8 Transparenz – Lasur – Trübung – Durchsichtigkeit . . . . .	383
9.9 Echtheitsprüfung . . . . .	385
9.10 Interferenz – Lasertechnik . . . . .	387
9.11 Zusammenstellung der Normen . . . . .	389

10	Prüfung der akustischen Eigenschaften . . . . .	391
10.1	Einführung . . . . .	391
10.2	Ultraschalluntersuchungen zur Werkstoffcharakterisierung . . . . .	392
10.2.1	Grundlagen der Schallausbreitung in Polymeren . . . . .	392
10.2.1.1	Schallausbreitung in viskoelastischen Medien . . . . .	392
10.2.1.2	Besonderheiten der Schallausbreitung in anisotropen Polymersystemen . . . . .	395
10.2.1.3	Besonderheiten bei passiver Ultraschallanregung . . . . .	396
10.2.2	Experimentelle Verfahren zur Polymercharakterisierung . . . . .	398
10.2.2.1	Vorbemerkungen . . . . .	398
10.2.2.2	Impuls-Echo-Verfahren . . . . .	399
10.2.2.3	Impuls-Durchschallungs-Verfahren . . . . .	401
10.2.2.4	Methoden zur Bestimmung des dynamischen Schubmoduls . . . . .	402
10.2.2.5	Fourier-Transformations-Technik . . . . .	405
10.2.3	Ausgewählte experimentelle Ergebnisse . . . . .	407
10.2.3.1	Ultraschall . . . . .	407
10.2.3.2	Schallemission . . . . .	412
11	Zerstörungsfreie Prüfverfahren . . . . .	417
11.1	Einführung . . . . .	417
11.2	Ultraschallprüfung . . . . .	417
11.2.1	Grundlagen . . . . .	417
11.2.2	Manuelle Prüfung . . . . .	419
11.2.3	Ultraschalltauchbadprüfung . . . . .	420
11.2.4	Wasserstrahl-Technik (Squitterprüfung) . . . . .	422
11.3	Schallemissionsprüfung . . . . .	422
11.3.1	Grundlagen . . . . .	422
11.3.2	Anwendung der Schallemissionsprüfung . . . . .	425
11.4	Thermische Prüfverfahren . . . . .	428
11.4.1	Grundlagen . . . . .	428
11.4.2	Anwendungen . . . . .	431
11.5	Röntgenprüfung . . . . .	433
11.5.1	Grundlagen . . . . .	433
11.5.2	Anwendungen . . . . .	436
11.6	Sonstige Prüfverfahren . . . . .	437
11.6.1	Einleitung . . . . .	437
11.6.2	Optische Prüfmethode . . . . .	438
11.6.3	Schwingungsanalyse . . . . .	440
11.6.4	Mikrowellenanalyse . . . . .	441
12	Prüfung von Formteilen und Halbzeugen . . . . .	443
12.1	Einführung . . . . .	443
12.2	Innerer Strukturzustand und Eigenschaften des Formstoffs im Erzeugnis . . . . .	447
12.3	Äußere Qualitätsmerkmale . . . . .	454
12.4	Prüfung auf Maß- und Gestaltabweichungen . . . . .	458
12.5	Fertigteilmasse . . . . .	460
12.6	Verhalten unter mechanischer Beanspruchung . . . . .	461

---

12.7 Verhalten unter thermischer Beanspruchung . . . . .	467
12.8 Prüfung des Verhaltens bei Einwirkung von Chemikalien . . . . .	472
12.9 Prüfung elektrischer Eigenschaften . . . . .	476
12.10 Prüfung auf Auswirkungen natürlicher und künstlicher Umgebungseinflüsse . . . . .	477
Literaturverzeichnis . . . . .	479
Sachwortverzeichnis . . . . .	501