

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 Glas temperatur	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 Reißwiderstands-(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
8 Prüfung des Medienverhaltens	303
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
9 Prüfung der optischen Eigenschaften	365
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