

Inhalt

Die Autoren der 11. Auflage	V
Vorwort zur 11. Auflage	VII
Vorwort zur 1. Auflage	IX
TEIL I Aufbau und Verhalten von Kunststoffen	1
1 Grundlagen	3
1.1 Ausgangsstoffe, Kennzeichnung und Einteilung	3
1.2 Besonderheiten des Kohlenstoffatoms	4
1.3 Strukturen von Makromolekülen	6
2 Bildung von Makromolekülen	9
2.1 Bildungsreaktionen	9
2.2 Innere Kräfte in Molekülsystemen	13
2.3 Polymerisationsgrad, Vernetzungsgrad	15
3 Strukturen von thermoplastischen Kunststoffen	17
3.1 Orientierung von Makromolekülen	17
3.2 Kristallinität	18
3.3 Überstrukturen	20
4 Polymerkombinationen	21
4.1 Copolymerisation, Pfropfpolymerisation	21
4.2 Polymerblends, Polymerlegierungen, Kunststoffmischungen	22

5	Zusatzstoffe	25
5.1	Füllstoffe und Verstärkungsstoffe	26
5.2	Stabilisatoren	27
5.3	Farbmittel	28
5.4	Weichmacher und Flexibilisatoren	29
5.5	Flammschutzmittel	30
5.6	Leitfähige Zusatzstoffe	30
5.7	Treibmittel	31
6	Verhalten von Kunststoffen	33
6.1	Mechanisches Verhalten	34
6.2	Thermisches Verhalten	37
6.3	Elektrisches Verhalten	40
6.4	Verhalten gegen Umwelteinflüsse	40
6.5	Wasseraufnahme	41
6.6	Permeation	41
6.7	Reibung und Verschleiß	41
7	Verarbeiten von Kunststoffen	43
7.1	Urformen	43
7.1.1	Urformen von Thermoplasten	43
7.1.2	Urformen von Duroplasten	47
7.1.3	Urformen von Elastomeren	49
7.2	Umformen von Thermoplasten	49
7.3	Nachbehandlungen	51
7.4	Fügen	52
7.5	Oberflächenbehandlungen	53
7.6	Spangebende Bearbeitung	53
7.7	Schäumen	54
8	Kunststoffe – Umwelt und Recycling	55
	<i>Bearbeitet von Professor Dr. Georg Clauss, Hochschule Heilbronn</i>	
8.1	Kunststoffe und Umwelt	57
8.2	Kunststoff-Recycling und -Verwertung	58

8.3	Werkstoffliches Recycling	59
8.3.1	Definitionen beim werkstofflichen Kunststoff-Recycling	60
8.3.2	Voraussetzungen beim werkstofflichen Recycling	62
8.3.3	Notwendigkeiten beim werkstofflichen Recycling	64
8.4	Rohstoffliches Recycling von Kunststoffen	66
8.5	Energetische Verwertung	69

TEIL II Kunststoffe als Werkstoffe 71

9 Kennzeichnung und Normung von Kunststoffen 73

9.1	Allgemeine Kennzeichnung von Kunststoffen	74
9.2	Aufbau einer Normbezeichnung für thermoplastische Formmassen ..	79
9.3	Normung von Duroplasten	84
9.4	Kennzeichnung und Normung von Elastomeren	89
9.4.1	Kennzeichnung von vernetzten Elastomeren	89
9.4.2	Kennzeichnung von thermoplastischen Elastomeren TPE ...	91

10 Thermoplaste 93

10.1	Polyolefine	93
10.1.1	Polyethylen PE	93
10.1.1.1	Polyethylen-Spezialsorten	98
10.1.2	Polypropylen PP	102
10.1.2.1	Polypropylen-Spezialsorten	106
10.1.3	Spezielle Polyolefine	107
10.1.3.1	Polybuten-1 PB-1	108
10.1.3.2	Polymethylpenten PMP	109
10.2	Vinylchlorid-Polymerisate	110
10.2.1	Polyvinylchlorid PVC	110
10.2.2	Weichmacherfreies Polyvinylchlorid PVC-U (Hart-PVC)	112
10.2.3	Polyvinylchlorid mit Weichmacher PVC-P (Weich-PVC)	115
10.3	Styrol-Polymerisate	118
10.3.1	Polystyrol PS	119
10.3.2	Schlagzäh modifiziertes Polystyrol PS-I (Styrol-Butadien SB)	122
10.3.3	Styrol-Acrylnitril-Copolymerisat SAN	125
10.3.4	Acrylnitril-Butadien-Styrol-Polymerisate ABS	127
10.3.5	Schlagzähe Acrylnitril-Styrol-Formmassen ASA, AEPDS, ACS	130

10.4	Celluloseester CA, CP, CAB	133
10.5	Polymethylmethacrylat PMMA	136
10.6	Polyamide PA	141
10.7	Polyoxymethylene (Polyacetale) POM	151
10.8	Thermoplastische Polyester TP (Polyalkylenterephthalate) PET, PBT .	155
10.9	Polycarbonat PC	160
10.10	Modifizierte Polyphenylether PPE	165
10.11	Aliphatische Polyketone(PK)	169
11	Spezielle Kunststoffe zum Einsatz bei höheren Temperaturen (Hochleistungskunststoffe)	171
11.1	Polyarylsulfone PSU, PES	172
11.2	Polyphenylensulfid PPS	175
11.3	PI, PEI, PAI	178
11.4	Polyaryletherketone PAEK (PEK, PEEK)	181
11.5	Polyphthalamid (PPA)	183
11.6	Fluorhaltige Polymerisate	185
11.6.1	Polytetrafluorethylen PTFE	185
11.6.2	Fluorhaltige Thermoplaste	189
12	Duroplaste	193
12.1	Phenoplaste PF	194
12.2	Aminoplaste MF, MP, UF	200
12.3	Ungesättigte Polyesterharze UP	205
12.4	Epoxidharze EP	210
12.5	Sonderharze	215
12.5.1	Siliconharzmassen SI	215
12.5.2	Diallylphthalat DAP/Polydiallylphthalat PDAP	215
12.5.3	Poly-DCPD-Harze	216
12.5.4	Vinylesterharze (VE-Harze)	216
12.5.5	PUR-Gießharze	216
13	Verbundsysteme	219
13.1	Faser-Kunststoff-Verbunde	219
13.1.1	Faserwerkstoffe, Faserprodukte	220
13.1.2	Besonderheiten bei Faser-Verbundsystemen	222

13.1.3	Verarbeitungstechniken für Reaktionsharzmassen mit Faserverstärkungen	224
13.1.4	Thermoplast-Faserverbundsysteme	225
13.2	Polymerblends (siehe auch Abschn. 4.2)	227
14	Elastomere	229
14.1	Vernetzte Elastomere (Gummiwerkstoffe)	229
14.2	Thermoplastische Elastomere TPE	234
14.2.1	Polyurethan-Elastomere PUR, TPU	236
14.2.2	Polyetheramide TPA	240
14.2.3	Polyesterelastomere TPC	241
14.2.4	Elastomere auf Polyolefinbasis (siehe auch Abschnitt 10.1) ..	243
14.2.4.1	Ethylen-Vinylacetat-Copolymere EVAC	243
14.2.4.2	Olefin-Elastomere TPO, TPV	244
14.2.5	Styrolcopolymere TPS	245
15	Schaumstoffe, geschäumte Kunststoffe	247
15.1	Harte Schaumstoffe; harte Struktur- bzw. Integral-Schaumstoffe	251
15.2	Weichelastische Schaumstoffe; weichelastische Struktur- bzw. Integral-Schaumstoffe	254
16	Sonderpolymere	257
16.1	LC-Polymere	257
16.2	Elektrisch leitfähige Polymere	259
16.3	Biopolymere – Kunststoffe aus nachwachsenden Rohstoffen	260
16.4	Anmerkung	264
TEIL III Prüfung von Kunststoffen, Kennwerte		265
17	Auswertung von Prüfergebnissen	267
18	Einfache Methoden zur Erkennung der Kunststoffart	271
19	Physikalische Untersuchungsmethoden zum Erkennen der Kunststoffart	275
19.1	Dichtebestimmung	275
19.1.1	Bestimmung der Dichte nach der Auftriebsmethode (Verfahren A)	276

19.1.2	Bestimmung der Dichte durch Eingrenzen in Prüfflüssigkeiten (Verfahren C)	277
19.1.3	Bestimmung der Dichte von Schaumstoffen aus Kautschuk und Kunststoffen	277
19.2	Bestimmung des Gehalts an Füll- und Verstärkungsstoffen	278
19.2.1	Bestimmung des Gehalts an anorganischen Füllstoffen	278
19.2.2	Ermittlung des Glasfasergehalts und des Gehalts anderer mineralischer Füllstoffe aus den Dichtewerten	282
19.3	Thermische Analysenverfahren	283
19.4	Infrarot-Spektroskopie	288
19.5	Gel-Permeations-Chromatographie GPC	290
20	Datenkatalog für Prüfungen, Herstellungsbedingungen für Probekörper, Prüfverfahren zur Ermittlung von Werkstoffkennwerten	293
20.1	Datenbank CAMPUS	294
20.2	Herstellbedingungen für Probekörper und Prüfbedingungen	296
21	Mechanische Prüfungen	305
21.1	Zugversuch	305
21.2	Druckversuch	323
21.3	Biegeversuch	330
21.4	Versuche zur Bestimmung dynamisch-mechanischer Eigenschaften – Torsionsschwingungsversuch	338
21.5	Härteprüfung	347
21.5.1	Härteprüfung durch Kugeleindruckversuch	348
21.5.2	Härteprüfung nach Rockwell	353
21.5.3	Härteprüfung nach Shore	354
21.6	Kratzprüfung	356
21.6.1	Kratzeigenschaften von Kunststoffen	357
21.6.2	Bestimmung der Kratzbeständigkeit	358
21.6.3	Gitterschnittprüfung	359
21.6.4	Ritzhärteprüfung mit Ring- oder Schleifenstichel	360
21.6.5	Ritzhärteprüfung mit Bleistiften	361
21.6.6	Waschanlagenprüfung	362
21.7	Schlagversuche	363
21.7.1	Schlagbiegeversuche nach Charpy	365
21.7.1.1	Schlagbiegeversuche nach DIN EN ISO 179-1	365

21.7.1.2	Instrumentierte Schlagzähigkeitsprüfung DIN EN ISO 179-2	370
21.7.2	Schlagbiegeversuche nach Izod	381
21.7.3	Schlagzugversuch	383
21.8	Zeitstandversuch	386
21.9	Zeitschwingversuch	400
21.10	Reibungs- und Verschleißverhalten	408
22	Thermische Prüfungen	411
22.1	Formbeständigkeit in der Wärme	411
22.1.1	Wärmeformbeständigkeitstemperatur T_f	411
22.1.2	Vicat-Erweichungstemperatur VST	416
22.2	Verhalten von Kunststoffen bei Temperatureinwirkung	420
22.3	Gebrauchstemperaturbereiche	423
22.4	Wärmeleitfähigkeit	427
22.4.1	Transientes Flächenquellenverfahren (Hot-Disk-Methode) ..	432
22.4.2	Laserblitzverfahren	432
22.5	Thermischer Längenausdehnungskoeffizient	433
23	Brennverhalten von Kunststoffen	439
23.1	Prüfung zur Ermittlung der Brandgefahr nach DIN EN 60695	443
23.1.1	Brandprüfung nach DIN EN 60695 Verfahren A – Horizontalbrennprüfung	445
23.1.2	Brandprüfung nach DIN EN 60695 Verfahren B – Vertikalbrennprüfung	447
23.1.3	Brandprüfung nach DIN EN 60695-11-20	448
23.1.4	Anmerkung zur Ermittlung des Brennverhaltens	448
23.2	Brennbarkeitsprüfungen nach UL	451
23.3	Bestimmung des Brennverhaltens durch den Sauerstoff-Index	453
24	Elektrische Prüfungen	455
24.1	Elektrische Spannungs- und Widerstandswerte	456
24.1.1	Elektrische Durchschlagspannung, elektrische Durchschlagfestigkeit	457
24.1.2	Durchgangswiderstand, spezifischer Oberflächenwiderstand, Isolationswiderstand	461
24.2	Dielektrische Eigenschaftswerte	471
24.3	Kriechwegbildung (Kriechstromfestigkeit)	478

25	Optische Prüfungen	481
25.1	Brechzahl	481
25.2	Lichtdurchlässigkeit	483
26	Wasseraufnahme und Permeation	489
26.1	Wasserdampf- und Gasdurchlässigkeit (Permeation)	490
26.2	Bestimmung der Wasseraufnahme	493
26.3	Konditionieren	497
27	Schwindung, Schrumpfung	499
27.1	Schwindung	499
27.2	Schrumpfung	505
28	Chemische Beständigkeit von Kunststoffen	507
29	Viskositätsmessungen	511
29.1	Viskositätsmessungen an Thermoplasten	511
29.1.1	Bestimmung von Schmelze-Massefließrate und Schmelze- Volumenfließrate (früher Schmelzindex und Volumen- Fließindex)	512
29.1.2	Rheometrie – Aufnahme von Fließkurven	515
29.1.3	Aufnahme von pVT -Diagrammen	517
29.1.4	Bestimmung der Viskositätszahl von Thermoplasten in verdünnter Lösung	520
29.2	Fließ-Härtungsverhalten von härtbaren Formmassen	523
29.2.1	Bestimmung der Schließzeit von härtbaren Formmassen (PMC)	523
29.2.2	Bestimmung des Fließ-Härtungsverhaltens von rieselfähigen duroplastischen Formmassen (PMC)	524
29.2.3	Bestimmung des Härungsverhaltens faserverstärkter härtpbarer Kunststoffe	527
29.2.3.1	Verfahren I	527
29.2.3.1	Verfahren II	529
29.2.4	Bestimmung der Fließfähigkeit, Reifung und Gebrauchsdauer faserverstärkter, härtpbarer Kunststoffe	531
29.2.4.1	Verfahren I	531

30	Materialeingangsprüfungen	535
30.1	Bezeichnung von Formmassen	535
30.2	Erkennen der Kunststoffart	535
30.3	Viskositätsmessungen	536
30.4	Korngröße, Kornform	536
30.5	Schüttdichte und Stopfdichte	537
30.6	Rieselfähigkeit	539
30.7	Feuchtegehalt, Flüchte	539
31	Prüfung von Kunststoff-Formteilen	541
31.1	Zusammenstellung von Formteilprüfungen	541
31.1.1	Prüfung des Formstoffs im Formteil	541
31.1.2	Prüfung des ganzen Formteils	543
31.1.3	Gebrauchsprüfungen des Formteils	544
31.2	Ermittlung von Eigenspannungen	545
31.2.1	Warmlagerungsversuch	546
31.2.2	Spannungsrisssverhalten von Thermoplasten	548
31.2.2.1	Beurteilung des Spannungsrisssverhaltens durch Zeitstandzugversuch	552
31.2.2.2	Beurteilung des Spannungsrisssverhaltens im Biegestreifenverfahren	554
31.2.2.3	Beurteilung des Spannungsrisssverhaltens durch Kugel- oder Stifteindrückverfahren	557
31.2.2.4	Bell-Telephone Test	561
31.3	Mikroskopische Untersuchungen	561
31.3.1	Präparation für Durchlichtuntersuchungen	562
31.3.1.1	Herstellung von Dünnschnitten	562
31.3.1.2	Herstellung von Dünnschliffen	563
31.3.2	Präparation für Auflichtuntersuchungen	564
31.3.3	Mikroskopieverfahren	564
31.3.3.1	Beurteilung von teilkristallinen Thermoplasten	565
31.3.3.2	Beurteilung der Füllstoffverteilung in Kunststoff-Formteilen	567
31.3.4	Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen	568
31.4	Stoßversuche	569
31.4.1	Nichtinstrumentierter Schlagversuch DIN EN ISO 6603-1 (Fallbolzenversuch)	570
31.4.2	Instrumentierter Schlagversuch DIN EN ISO 6603-2 (Durchstoßversuch)	572

31.4.3	Vergleich von Ergebnissen aus Fall- und Durchstoßversuchen	572
31.5	Farbbeurteilung	574
31.5.1	Farbabmusterung nach DIN 6173	576
31.5.2	Farbmessungen	576
31.6	Bewitterungsversuche	578
31.6.1	Bewitterung in Naturversuchen (Freibewitterung)	579
31.6.2	Bewitterung in Kurzprüfungen	580
TEIL IV Anhang		581
32	Größen, Einheiten, Umrechnungsmöglichkeiten	583
33	Literaturhinweise	587
34	Fachverbände und Fachorganisationen	591
35	Hersteller und Lieferanten von Kunststoffen	595
36	Prüfgeräte- und Prüfmittelhersteller	601
Index		605