

Inhaltsverzeichnis

1 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	14
2.3 Polymerisationsgrad, Vernetzungsgrad	15
3 Strukturen von thermoplastischen Kunststoffen	17
3.1 Orientierung von Makromolekülen	17
3.2 Kristallinität	17
3.3 Überstrukturen	19
4 Polymerkombinationen	21
4.1 Copolymerisation, Pfpfopolymerisation	21
4.2 Polymerblends, Polymerlegierungen, Kunststoffmischungen	22
5 Zusatzstoffe	25
5.1 Füllstoffe und Verstärkungsstoffe	25
5.2 Stabilisatoren	27
5.3 Farbmittel	28
5.4 Weichmacher und Flexibilisatoren	28
5.5 Flammenschutzmittel	29
5.6 Leitfähige Zusatzstoffe	30
5.7 Treibmittel	30
6 Verhalten von Kunststoffen	31
6.1 Mechanisches Verhalten	31
6.2 Thermisches Verhalten	34
6.3 Elektrisches Verhalten	36
6.4 Verhalten gegen Umwelteinflüsse	37
6.5 Wasseraufnahme	37
6.6 Permeation	38
6.7 Reibung und Verschleiß	38
7 Verarbeiten von Kunststoffen	39
7.1 Urformen	39
7.1.1 Urformen von Thermoplasten	39
7.1.2 Urformen von Duroplasten	43
7.1.3 Urformen von Elastomeren	44
7.2 Umformen von Thermoplasten	44
7.3 Nachbehandlungen	46

7.4	Fügen	47
7.5	Oberflächenbehandlungen	47
7.6	Spangebende Bearbeitung	48
7.7	Schäumen	48
8	Kunststoffe – Umwelt und Recycling	51
8.1	Kunststoffe und Umwelt	53
8.2	Problem beim Kunststoff-Recycling	53
8.3	Werkstoffliches Recycling	55
8.3.1	Definitionen beim werkstofflichen Kunststoff-Recycling	55
8.3.2	Voraussetzungen beim werkstofflichen Recycling	57
8.3.3	Notwendigkeiten beim werkstofflichen Recycling	59
8.4	Rohstoffliches Recycling	61
8.5	Energetische Verwertung	63
II	Kunststoffe als Werkstoffe	67
9	Kennzeichnung und Normung von Kunststoffen	69
9.1	Allgemeine Kennzeichnung von Kunststoffen	69
9.2	Aufbau einer Normbezeichnung für thermoplastische Formmassen	74
9.3	Normung von Duroplasten	81
9.4	Kennzeichnung und Normung von Elastomeren	85
9.4.1	Kennzeichnung von vernetzten Elastomeren	85
9.4.2	Kennzeichnung von thermoplastischen Elastomeren TPE	86
10	Thermoplaste	89
10.1	Polyolefine	89
10.1.1	Polyethylen PE	89
10.1.2	Polypropylen PP	97
10.1.3	Spezielle Polyolefine	102
10.1.3.1	Polybuten PB	102
10.1.3.2	Polymethylpenten PMP	104
10.2	Vinylchlorid-Polymerisate	104
10.2.1	Polyvinylchlorid PVC	105
10.2.2	Weichmacherfreies Polyvinylchlorid PVC-U (Hart-PVC)	106
10.2.3	Polyvinylchlorid mit Weichmacher PVC-P (Weich-PVC)	109
10.3	Styrol-Polymerisate	112
10.3.1	Polystyrol PS	113
10.3.2	Schlagzäh modifiziertes Polystyrol PS-I (Styrol-Butadien SB)	116
10.3.3	Styrol-Acrylnitril-Copolymerisat SAN	118
10.3.4	Acrylnitril-Butadien-Styrol-Polymerisate ABS	120
10.3.5	Schlagzähe Acrylnitril-Styrol-Formmassen ASA, AEPDS, ACS	123
10.4	Celluloseester CA, CP, CAB	125
10.5	Polymethylmethacrylat PMMA	128
10.6	Polyamide PA	133
10.7	Polyoxymethylene (Polyacetale) POM	142
10.8	Thermoplastische Polyester TP (Polyalkylenterephthalate PET, PBT)	146
10.9	Polycarbonat PC	151
10.10	Modifizierte Polyphenylether PPE	156
10.11	Aliphatische Polyketone (PK)	159

11 Spezielle Kunststoffe zum Einsatz bei höheren Temperaturen (Hochleistungskunststoffe)	161
11.1 Polyarylsulfone PSU, PES	161
11.2 Polyphenylensulfid PPS	165
11.3 Polyimide PI, PEI, PAI	167
11.4 Polaryletherketone PAEK (PEK, PEEK)	170
11.5 Polyphthalimid (PPA)	171
11.6 Fluorhaltige Polymerisate	173
11.6.1 Polytetrafluorethylen PTFE	173
11.6.2 Fluorhaltige Thermoplaste	177
12 Duroplaste	181
12.1 Phenoplaste PF	181
12.2 Aminoplaste MF, MP, UF	187
12.3 Ungesättigte Polyesterharze UP	191
12.4 Epoxidharze EP	197
12.5 Sonderharze	201
12.5.1 Siliconharzmassen SI	201
12.5.2 Diallylphthalat DAP/Polydiallylphthalat PDAP	202
12.5.3 Poly-DCPD-Harze	202
12.5.4 Vinylesterharze (VE-Harze)	202
12.5.5 PUR-Gießharze	202
13 Verbundsysteme	205
13.1 Faser-Verbundsysteme	205
13.1.1 Faserwerkstoffe, Faserprodukte	206
13.1.2 Besonderheiten bei Faser-Verbundsystemen	207
13.1.3 Verarbeitungstechniken für Reaktionsharzmassen mit Faserverstärkungen	209
13.1.4 Thermoplast-Faserverbundsysteme	210
13.2 Polymerblends	212
14 Elastomere	215
14.1 Vernetzte Elastomere (Gummiwerkstoffe)	215
14.2 Thermoplastische Elastomere TPE	220
14.2.1 Polyurethane-Elastomere PUR, TPU	221
14.2.2 Polyetheramide TPA	225
14.2.3 Polyesterelastomere TPC (TPE-E)	226
14.2.4 Elastomere auf Polyolefinbasis	227
14.2.4.1 Ethylen-Vinylacetat-Copolymere EVAC	227
14.2.4.2 Olefin-Elastomere TPO, TPV	229
14.2.5 Styrolcopolymer TPS	230
15 Schaumstoffe, geschäumte Kunststoffe	231
15.1 Harte Schaumstoffe; harte Struktur- bzw. Integral-Schaumstoffe	235
15.2 Weichelastische Schaumstoffe; weichelastische Struktur- bzw. Integral-Schaumstoffe	237
16 Sonderpolymere	239
16.1 LC-Polymere	239
16.2 Elektrisch leitfähige Polymere	241

III Prüfung von Kunststoffen, Kennwerte	247
17 Auswertung von Prüfergebnissen	249
18 Einfache Methoden zur Erkennung der Kunststoffart	253
19 Physikalische Untersuchungsmethoden zum Erkennen der Kunststoffart	257
19.1 Dichtebestimmung	257
19.1.1 Bestimmung der Dichte nach der Auftriebsmethode (Verfahren A)	258
19.1.2 Bestimmung der Dichte durch Eingrenzen in Prüflüssigkeiten (Verfahren C)	258
19.1.3 Bestimmung der Dichte von Schaumstoffen aus Kautschuk und Kunststoffen	259
19.1.4 Bestimmung des Gehalts an anorganischen Füllstoffen	259
19.1.5 Ermittlung des Glasfasergehalts und des Gehalts anderer mineralischer Füllstoffe aus den Dichtewerten	262
19.2 Thermische Analysenverfahren	263
19.3 Infrarot-Spektroskopie	269
19.4 Gel-Permeations-Chromatographie GPC	270
20 Datenkatalog für Prüfungen, Herstellungsbedingungen für Probe- körper, Prüfverfahren zur Ermittlung von Werkstoffkennwerten	273
20.1 Datenbank CAMPUS	274
20.2 Herstellbedingungen für Probekörper und Prüfbedingungen	275
21 Mechanische Prüfungen	285
21.1 Zugversuch	285
21.2 Druckversuch	302
21.3 Biegeversuch	308
21.4 Torsionsschwingungsversuch	315
21.5 Härteprüfung	324
21.5.1 Härteprüfung durch Kugelindruckversuch	325
21.5.2 Härteprüfung nach Rockwell	329
21.5.3 Härteprüfung nach Shore	330
21.6 Schlagversuche	332
21.6.1 Schlagbiegeversuche nach Charpy	334
21.6.1.1 Schlagbiegeversuche nach DIN EN ISO 179-1	334
21.6.1.2 Instrumentierte Schlagzähigkeitsprüfung DIN EN ISO 179-2	339
21.6.2 Schlagbiegeversuche nach Izod	349
21.6.3 Schlagzugversuch	352
21.7 Zeitstandversuch	355
21.8 Zeitschwingversuch	366
21.9 Reibungs- und Verschleißverhalten	373
22 Thermische Prüfungen	377
22.1 Formbeständigkeit in der Wärme	377
22.1.1 Wärmeformbeständigkeitstemperatur T_f	377
22.1.2 Vicat-Erweichungstemperatur VST	381

22.2 Verhalten von Kunststoffen bei Temperatureinwirkung	385
22.3 Gebrauchstemperaturbereiche	388
22.4 Wärmeleitfähigkeit	392
22.5 Thermischer Längenausdehnungskoeffizient	396
23 Brennverhalten von Kunststoffen	401
23.1 Prüfung zur Ermittlung der Brandgefahr nach DIN EN 60695	404
23.1.1 Brandprüfung nach DIN EN 60695 Verfahren A – Horizontalbrennprüfung	406
23.1.2 Brandprüfung nach DIN EN 60695 Verfahren B – Vertikaltrennprüfung	407
23.1.3 Brandprüfung nach DIN EN 60695-11-20.	409
23.1.4 Anmerkung zur Ermittlung des Brennverhaltens.	409
23.2 Brennbarkeitsprüfungen nach UL	412
23.3 Bestimmung des Brennverhaltens durch den Sauerstoff-Index	414
24 Elektrische Prüfungen	417
24.1 Elektrische Spannungs- und Widerstandswerte	417
24.1.1 Elektrische Durchschlagsspannung, elektrische Durchschlag- festigkeit	418
24.1.2 Durchgangswiderstand, spezifischer Oberflächenwiderstand, Isolationswiderstand	425
24.2 Dielektrische Eigenschaftswerte	432
24.3 Kriechwegbildung (Kriechstromfestigkeit)	438
25 Optische Prüfungen	443
25.1 Brechzahl	443
25.2 Lichtdurchlässigkeit	444
26 Wasseraufnahme und Permeation	449
26.1 Wasserdampf- und Gasdurchlässigkeit (Permeation)	449
26.2 Bestimmung der Wasseraufnahme	452
26.3 Konditionieren	456
27 Schwindung, Schrumpfung	459
27.1 Schwindung	459
27.2 Schrumpfung	464
28 Chemische Beständigkeit von Kunststoffen	465
29 Viskositätsmessungen	469
29.1 Viskositätsmessungen an Thermoplasten	469
29.1.1 Bestimmung von Schmelze-Massefließrate und Schmelze- Volumenfließrate	469
29.1.2 Rheometrie – Aufnahme von Fließkurven	472
29.1.3 Aufnahme von pVT-Diagrammen	474
29.1.4 Bestimmung der Viskositätszahl von Thermoplasten in verdünnter Lösung.	477
29.2 Fließ-Härtungsverhalten von härtbaren Formmassen	479
29.2.1 Bestimmung der Schließzeit von härtbaren Formmassen (PMC) .	479
29.2.2 Bestimmung des Fließ-Härtungsverhaltens von rieselfähigen duroplastischen Formmassen (PMC)	481

29.2.3 Bestimmung des Härtungsverhaltens faserverstärkter härtbarer Kunststoffe	483
29.2.4 Bestimmung der Fließfähigkeit, Reifung und Gebrauchs- dauer faserverstärkter, härtbarer Kunststoffe	486
30 Materialeingangsprüfungen	491
30.1 Bezeichnung von Formmassen	491
30.2 Erkennen der Kunststoffart	491
30.3 Viskositätsmessungen	491
30.4 Korngröße, Kornform	491
30.5 Schüttdichte und Stopfdichte	492
30.6 Rieselfähigkeit	494
30.7 Feuchtegehalt, Flüchte	494
31 Prüfung von Kunststoff-Formteilen	497
31.1 Zusammenstellung von Formteilprüfungen	497
31.1.1 Prüfung des Formstoffs im Formteil	497
31.1.2 Prüfung des ganzen Formteils	498
31.1.3 Gebrauchsprüfungen des Formteils	499
31.2 Ermittlung von Eigenspannungen	500
31.2.1 Warmlagerungstest	501
31.2.2 Spannungsrissverhalten von Thermoplasten	503
31.2.2.1 Beurteilung des Spannungsrissverhaltens durch Zeitstandzugversuch	507
31.2.2.2 Beurteilung des Spannungsrissverhaltens im Biegestreifenverfahren	509
31.2.2.3 Beurteilung des Spannungsrissverhaltens durch Kugel- oder Stiftindrückverfahren	512
31.2.2.4 Bell-Telephone-Test	515
31.3 Mikroskopische Untersuchungen	516
31.3.1 Präparation für Durchlichtuntersuchungen	516
31.3.1.1 Herstellung von Dünnschnitten	517
31.3.1.2 Herstellung von Dünnschliffen	517
31.3.2 Präparation für Auflichtuntersuchungen	518
31.3.3 Mikroskopierverfahren	519
31.3.3.1 Beurteilung von teilkristallinen Thermoplasten	520
31.3.3.2 Beurteilung der Füllstoffverteilung in Kunststoff- Formteilen	522
31.3.4 Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen	523
31.4 Stoßversuche	524
31.4.1 Nichtinstrumentierter Schlagversuch DIN EN ISO 6603-1 (Fallbolzenversuch)	525
31.4.2 Instrumentierter Schlagversuch DIN EN ISO 6603-2 (Durchstoßversuch)	526
31.4.3 Vergleich von Ergebnissen aus Fall- und Durchstoßversuchen	527
31.5 Farbbeurteilung	528
31.5.1 Farbabmusterung nach DIN 6173	530
31.5.2 Farbmessungen	530

31.6 Bewitterungsversuche	531
31.6.1 Bewitterung in Naturversuchen (Freibewitterung)	533
31.6.2 Bewitterung in Kurzprüfungen	533
IV Anhang	533
32 Größen, Einheiten, Umrechnungsmöglichkeiten	537
33 Literaturhinweise (Auswahl)	539
34 Fachverbände und Fachorganisationen	543
35 Hersteller und Lieferanten von Kunststoffen (Auswahl)	545
36 Prüfgeräte- und Prüfmittelhersteller	549