

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|-----------|
| 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 | 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, Pfropfpolymerisation | 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 Flammschutzmittel | 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 Polyaryletherketone PAEK (PEK, PEEK) | 170 |
| 11.5 Polyphthalamid (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 Styrolcopolymere 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 Prüfflüssigkeiten (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 Probekörper, Prüfverfahren zur Ermittlung von Werkstoffkennwerten | 273 |
| 20.1 Datenbank CAMPUS | 274 |
| 20.2 Herstellungsbedingungen 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 Kugeleindruckversuch | 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 – Vertikalbrennprüfung | 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 Durchschlagspannung, 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 Härungsverhaltens faserverstärkter härbarer Kunststoffe | 483 |
| 29.2.4 | Bestimmung der Fließfähigkeit, Reifung und Gebrauchs- dauer faserverstärkter, härbarer 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 | Warmlagerungsversuch | 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 Biege- streifenverfahren | 509 |
| 31.2.2.3 | Beurteilung des Spannungsrissverhaltens durch Kugel- oder Stifteindruckverfahren | 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 | Mikroskopierv Verfahren | 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 |