

# Die Kunststoffe und ihre Eigenschaften

Dipl.-Ing. Hans Domininghaus

Dritte, neubearbeitete Auflage

VERLAG

Verlag des Vereins Deutscher Ingenieure • Düsseldorf



# Inhalt

	Seite
<b>I. Kurzzeichen für Kunststoffe</b> . . . . .	1
1.1. Kurzzeichen für Homopolymere und chemisch modifizierte polymere Naturstoffe . . . . .	1
1.2. Kurzzeichen für Copolymere . . . . .	3
1.3. Kennzeichnung besonderer Eigenschaften . . . . .	4
1.4. Kurzzeichen für verstärkte Kunststoffe DIN 7728, Teil 2 (03.80). . . . .	4
1.5. Weichmacher nach DIN 7723 (10.71). . . . .	4
1.6. Normbezeichnung für thermoplastische Formmassen . . . . .	6
1.7. Werkstoff-Kenndaten . . . . .	10
1.8. Kurzzeichen für synthetische Kautschuke [DIN ISO 1629 (10.81)]. . . . .	11
1.9. Kurzzeichen für Textilfasern [nach DIN 60001, Blatt 1 (08.70)]. . . . .	12
1.10. Herkunftsbezeichnungen von Handelsnamen . . . . .	13
1.11. Im Schrifttum häufig wiederkehrende Kurzzeichen . . . . .	13
<b>1. Synthetische Kunststoffe</b> . . . . .	16
1.1. Polymere . . . . .	16
1.1.1. Polyolefine . . . . .	16
1.1.1.1. Polyethylen (PE). . . . .	18
1.1.1.1.1. Polyethylen-Modifikationen . . . . .	64
1.1.1.1.1.1. Vernetztes Polyethylen (PE-V). . . . .	65
1.1.1.1.1.2. Chloriertes Polyethylen (PE-C). . . . .	65
1.1.1.1.1.2.1. Chlorierte Polyolefine . . . . .	66
1.1.1.1.1.3. Sulfochloriertes Polyethylen . . . . .	67
1.1.1.1.1.4. Phosphorylierung, Sulphosphorylierung, Sulfierung, Oxidation . . . . .	67
1.1.1.1.1.5. Copolymere des Ethylens . . . . .	67
1.1.1.1.1.5.1. Ethylen/Vinylacetat-Copolymere (EVA). . . . .	68
1.1.1.1.1.5.2. Ethylen/Vinylalkohol-Copolymere (EVAL auch EVOH). . . . .	73
1.1.1.1.1.5.3. Ethylen/Ethylacrylat-Copolymere (EEA). . . . .	73
1.1.1.1.1.5.4. Ethylen/Methylacrylat-Copolymere (EMA). . . . .	75
1.1.1.1.1.5.5. Abbaubares Polyethylen . . . . .	76
1.1.1.2. Polypropylen (PP). . . . .	76
1.1.1.2.1. Polypropylen-Modifikationen . . . . .	103
1.1.1.2.1.1. Teilkristalline Copolymere (Block-Copolymere) . . . . .	103
1.1.1.2.1.2. Ethylen/Propylen(Dien)-Copolymere . . . . .	104

1.1.1.3. Polybuten-1 (PB) . . . . .	109
1.1.1.4. Polyisobutylene (PIB) . . . . .	117
1.1.1.5. Poly-4-methylpenten-1 (PMP) . . . . .	120
1.1.1.6. Andere aliphatische Polyolefine . . . . .	124
1.1.1.7. Ionomere . . . . .	125
1.1.2. Vinylpolymere . . . . .	128
1.1.2.1 Polyvinylchlorid (PVC) . . . . .	128
1.1.2.1.1. Polyvinylchlorid-Modifikationen . . . . .	173
1.1.2.1.1.1. Mischungen aus PVC und chloriertem PE-HD (PE-HD-C) . . . . .	176
1.1.2.1.1.2. Mischungen aus PVC- und EVA-Copolymeren bzw. EVA/VC-Pfropfpolymeren . . . . .	184
1.1.2.1.1.3. Mischungen aus PVC und Acryl-Polymeren . . . . .	190
1.1.2.1.1.4. Copolymere aus Vinylchlorid und Vinylidenchlorid/Acrylnitril-Copolymeren . . . . .	190
1.1.2.1.1.5. Vinylchlorid-Maleinimid-Copolymere . . . . .	192
1.1.3. Styrolpolymere . . . . .	194
1.1.3.1. Styrol-Homopolymere (PS) . . . . .	195
1.1.3.2 Styrol-Copolymere . . . . .	215
1.1.3.2.1. Styrol/ff-Methylstyrol-Copolymere (S/MS) . . . . .	215
1.1.3.2.2. Styrol/Acrylnitril-Copolymere (SAN) . . . . .	216
1.1.3.2.3. Schlagzäh modifizierte Polystyrole . . . . .	228
1.1.3.2.3.1. Styrol/Polybutadien-Pfropfpolymeren (SB) . . . . .	231
1.1.3.2.3.2. Acrylnitril/Polybutadien/Styrol- Pfropfpolymeren (ABS) . . . . .	241
1.1.3.2.3.2.1. ABS als elastifizierende Mischkomponente . . . . .	252
1.1.3.2.3.2.2. XS- und AXS-Pfropfpolymeren . . . . .	260
1.1.3.2.3.2.3. MABS- und MBS-Pfropfpolymeren . . . . .	271
1.1.3.2.3.3. Thermoplastische Styrol/Butadien- Elastomere (SBS) . . . . .	276
1.1.4. Polyacrylnitril (PAN) . . . . .	281
1.1.4.1 Acrylnitril-Copolymere mit geringer Gasdurchlässigkeit (Batterie-Kunststoffe) . . . . .	282
1.1.5. Polymethylmethacrylat (PMMA) . . . . .	285
1.1.6. Polyvinylcarbazol (PVK) . . . . .	304
1.1.7. Polyacetal (POM) . . . . .	307
1.1.7.1. Acetal-Polymer-Blends . . . . .	334
1.1.8. Fluor-Kunststoffe . . . . .	336
1.1.8.1. Polytetrafluorethylen (PTFE) . . . . .	337
1.1.8.1.1. Tetrafluorethylen/Hexafluorpropylen- Copolymer (FEP) . . . . .	360
1.1.8.1.2. Tetrafluorethylen/Ethylen-Copolymer (ETFE) . . . . .	369
1.1.8.1.3. Tetrafluorethylen/Hexafluorpropylen/ Vinylidenfluorid-Terpolymer . . . . .	375

1.1.8.2. Polytrifluorchlorethylen (PCTFE) . . . . .	376
1.1.8.2.1. Trifluorchlorethylen/Ethylen- Copolymer (ECTFE) . . . . .	382
1.1.8.3. Polyvinylfluorid (PVF) . . . . .	383
1.1.8.4. Polyvinylidenfluorid (PVDF oder PVF <sub>2</sub> ) . . . . .	389
1.1.8.5. Perfluoralkoxy-Copolymere (PFA) . . . . .	397
1.1.8.6. Thermoplastische Fluorelastomere . . . . .	399
1.2. Polykondensate . . . . .	399
1.2.1. Thermoplastische Polykondensate . . . . .	399
1.2.1.1. Polyamide (PA) . . . . .	400
1.2.1.1.1. Modifizierte Polyamide . . . . .	454
1.2.1.1.1.1. Flexible Polyamide . . . . .	454
1.2.1.1.1.2. Copolyamide . . . . .	455
1.2.1.1.1.3. Thermoplastische Polyamid-Elastomere . . . . .	455
1.2.1.1.1.3.1. Polyamid-RIM-Systeme . . . . .	462
1.2.1.1.1.4. Polymermodifizierte Polyamide . . . . .	464
1.2.1.2. Thermoplastische Polyester . . . . .	467
1.2.1.2.1. Polycarbonat (PC) . . . . .	467
1.2.1.2.1.1. PC-Cokondensate . . . . .	484
1.2.1.2.1.2. Polycarbonat-Blends . . . . .	486
1.2.1.2.2. Polyalkylenterephthalate . . . . .	490
1.2.1.2.2.1. Polyethylenterephthalat (PET) . . . . .	491
1.2.1.2.2.2. Polybutylenterephthalat (PBT) . . . . .	506
1.2.1.2.2.3. Polyalkylenterephthalat-Blends . . . . .	517
1.2.1.2.2.4. Thermoplastische Polyester-Elastomere . . . . .	518
1.2.1.2.2.5. Polyethylenterephthalat als Barriere-Kunststoff . . . . .	524
1.2.1.2.3. Polyarylate (Polyarylester) . . . . .	527
1.2.1.2.3.1. Eigenverstärkter Polyester (LCP) . . . . .	533
1.2.1.4. Polyarylether . . . . .	539
1.2.1.4.1. Polyphenylenether (PPE) (substituiert, nicht modifiziert) . . . . .	539
1.2.1.4.1.1. Polyphenylenether (PPE mod.) (substituiert, modifiziert) . . . . .	541
1.2.1.5. Polyaryletherketone (PEK, PEEK) . . . . .	549
1.2.1.6. Schwefelpolymere . . . . .	557
1.2.1.6.1. Polyarylsulfon (PSU) . . . . .	557
1.2.1.6.1.1. PSU/ABS-Polymerblends . . . . .	568
1.2.1.6.2. Polyarylethersulfone (PES) . . . . .	568
1.2.1.6.3. Polyphenylensulfid (PPS) . . . . .	579
1.2.1.7. Andere thermoplastische hochwärmebeständige Kunststoffe . . . . .	590
1.2.1.7.1. Polybismaleinimid (PMI) . . . . .	591
1.2.1.7.2. Polyamidimide (PAI) . . . . .	601
1.2.1.7.3. Polyetherimid (PEI) . . . . .	612
1.2.1.7.4. Polyesterimide . . . . .	623
1.2.1.7.5. Andere thermoplastische Polyimide . . . . .	624

1.2.2. Duroplastische Polykondensate. . . . .	626
1.2.2.1 Phenol/Formaldehyd-Kunststoffe (Phenoplaste) (PF). . . . .	627
1.2.2.1.1. Härtbare PF-Formmassen. . . . .	631
1.2.2.1.2. Technische Phenolharze. . . . .	654
1.2.2.2. Harnstoff/Formaldehyd-Kunststoffe (Aminoplaste) (UF). . . . .	658
1.2.2.2.1. Härtbare UF-Formmassen. . . . .	659
1.2.2.2.2. Technische Harnstoffharze. . . . .	665
1.2.2.3. Melamin/Formaldehyd-Kunststoffe (MF). . . . .	666
1.2.2.3.1. Härtbare MF-Formmassen. . . . .	667
1.2.2.3.1.1. Modifizierte MF-Formmassen. . . . .	670
1.2.2.3.2. Technische Melaminharze. . . . .	672
1.2.2.4. Ungesättigte Polyesterharze (UP). . . . .	673
1.2.2.4.1. UP-Reaktions-Gießharze. . . . .	674
1.2.2.4.2. Verstärkte UP-Formmassen. . . . .	713
1.2.2.4.3. Verwandte Reaktionsharz-Formmassen. . . . .	722
1.2.2.4.3.1. Alkydharz-Formmassen. . . . .	722
1.2.2.4.3.2. Polydiallylphthalat-Formmassen (PDAP). . . . .	722
1.2.2.5. Silicone (SI). . . . .	725
1.2.2.5.1. Härtbare Siliconharz-Formmassen. . . . .	727
1.2.2.6. Hochwärmebeständige duroplastische Polykondensate und Polyaddukte. . . . .	731
1.2.2.6.1. Polyimide (PI). . . . .	734
1.2.2.6.1.1. Klassisches Polyimid (PI). . . . .	736
1.2.2.6.2. Gemischte Polyimide. . . . .	750
1.2.2.6.2.1. Poly-oxadiazobenzimidazol. . . . .	750
1.2.2.6.2.2. Polybenzimidazol (PBI). . . . .	750
1.2.2.7. Einbindige Polyheterocyclen. . . . .	751
1.2.2.7.1. Polyhydantoine. . . . .	751
1.2.2.8. Aromatische Leiterpolymere. . . . .	751
1.2.2.8.1. Polyimidazopyrolon (Pyron). . . . .	752
1.2.2.8.2. Polycycloene. . . . .	752
1.3. Polyaddukte. . . . .	753
1.3.1. Duroplastische Polyaddukte. . . . .	753
1.3.1.1. Epoxidharze (EP). . . . .	753
1.3.1.1.1. Technische Epoxidharze. . . . .	754
1.3.1.1.2. Epoxidharz-Formmassen. . . . .	775
1.3.1.1.3. EP-Prepregs. . . . .	780
1.3.1.2. Vernetzte Polyurethane (PUR). . . . .	782
1.3.1.2.1. Isocyanatharze. . . . .	783
1.3.1.2.2. Polyurethan-Gießharz. . . . .	793
1.3.1.2.3. PUR-Integralschaumstoffe. . . . .	798
1.3.1.2.4. Thermoplastische Polyurethan-Elastomere (TPU) . . . . .	804
1.3.2. Thermoplastische Polyaddukte. . . . .	814
1.3.2.1. Lineare Polyurethane. . . . .	815

<b>2. Abgewandelte Naturstoffe</b> . . . . .	817
2.1. Kunststoffe aus Cellulose . . . . .	817
2.1.1. Vulkanfiber (VF) . . . . .	817
2.2. Kunststoffe aus abgewandelter Cellulose . . . . .	820
2.2.1. Celluloseester aus anorganischen Säuren . . . . .	820
2.2.1.1. Cellulosenitrat (CN) . . . . .	820
2.2.2. Celluloseester aus aliphatischen Carbonsäuren . . . . .	822
2.2.2.1. Celluloseacetat (CA) . . . . .	824
2.2.2.2. Cellulosepropionat (CP) . . . . .	830
2.2.2.3. Celluloseacetobutyrat (CAB) . . . . .	835
<b>3. Einfache Methode zur Bestimmung thermoplastischer Kunststoffe</b> . . . . .	840
<b>4. Tabellarische Zusammenstellung von Kunststoffeigenschaften</b> . . . . .	844
Tabelle I. Richtwerte physikalischer Eigenschaften bekannter Kunststoffe . . . . .	845
Tabelle II. Kriechmoduln einiger Kunststoffe . . . . .	846
Tabelle III. Durchlässigkeit von Folien aus verschiedenen Kunststoffen . . . . .	847
Tabelle IV. Wirkung energiereicher Strahlung auf Zugfestigkeit (OB) und Reißdehnung (%) einiger Kunststoffe . . . . .	848
Tabelle V. Chemikalienbeständigkeit einiger Kunststoffe . . . . .	850
Tabelle VI. Gasabgabe einiger Kunststoffe bei einer Bestrahlungsdosis von $10^7$ J/kg . . . . .	852
Tabelle VII. Daten für das Spritzgießen und Nachbearbeiten von Thermoplasten . . . . .	853
<b>5. Daten zur Geschichte der Kunststoffe</b> . . . . .	854
<b>6. Daten zur Kennzeichnung von Duro- und Thermoplasten</b> . . . . .	862
<b>7. Schrifttum</b> . . . . .	880
<b>8. Verzeichnis der Handelsnamen</b> . . . . .	885
<b>9. Sachwortverzeichnis</b> . . . . .	893