

Schwarz / Ebeling / Richter

Kunststoffkunde

Aufbau · Eigenschaften · Verarbeitung ·
Anwendungen der Thermoplaste ·
Duroplaste und Elastomere

Autoren:

Dr.-Ing. Otto Schwarz

Dipl.-Ing. Friedrich-Wolfhard Ebeling

Dipl.-Ing. Harald Huberth

Dipl.-Ing. Frank Richter

Dipl.-Ing. Harald Schirber

Dipl.-Ing. Norbert Schlör

10., überarbeitete Auflage

Vogel Business Media

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	5
1 Das Kunststoffgebiet	11
1.1 Entwicklungsgeschichte	11
1.2 Einführung in die Kunststoff-Chemie	12
1.2.1 Stoffe, Materie	12
1.2.2 Chemische Verbindungen, Elemente, Atome, Moleküle	13
1.2.3 Organische Kohlenwasserstoffverbindungen	15
1.2.4 Funktionelle Gruppen	19
1.2.5 Chemische Grundvorgänge	20
1.2.6 Vom Rohöl zum Monomer	22
1.2.7 Polyreaktionen	25
1.3 Aufbau, Struktur und Zustandsbereiche	33
1.3.1 Bindungskräfte	33
1.3.2 Ordnungszustände	37
1.3.3 Eigenschaftsverändernde Faktoren	38
1.3.4 Technologisches Verhalten in Abhängigkeit von der Temperatur	42
1.4 Rezeptierung	45
1.4.1 Zusatz- und Hilfsstoffe für Kunststoffe	46
1.4.2 Zusatz- und Hilfsstoffe für Kautschuke	57
1.5 Lieferformen für Kunststoffherzeugnisse	61
1.5.1 Formmassen	61
1.5.2 Halbzeug und Formteile	62
2 Thermoplaste	65
2.1 Polyethylen (PE)	65
2.1.1 PE-Sondertypen	69
2.2 Polypropylen (PP)	70
2.2.1 Metallocen-PP-Polymere	74
2.3 Polymethylpenten (PMP)	75
2.4 Cycloolefin(-Co)polymere (COP / COC)	76
2.5 Polybutylen (Polybuten, PB)	78
2.6 Polyisobutylen (PIB)	78
2.7 Ionomere	79
2.8 Polyvinylchlorid (PVC)	80
2.8.1 PVC-Modifikationen	87
2.9 Polyvinylidenchlorid (PVDC)	88
2.10 Polyvinylalkohol (PVAL)	89
2.11 Polyvinylacetat (PVAC)	90
2.12 Polystyrol (PS) und Styrol-Copolymerisate	91
2.12.1 Polystyrolschaum	93
2.12.2 Polystyrol schlagfest (SB)	95
2.12.3 Styrol-Acrylnitril-Copolymerisat (SAN)	97
2.12.4 Acrylnitril-Butadien-Styrol-Terpolymere (ABS)	98
2.12.5 Acrylester-Styrol-Acrylnitril-Terpolymere (ASA)	101
2.13 Polymethylmethacrylat (PMMA), Acrylglas	102

2.14	Polyacrylnitril (PAN)	105
2.15	Polyvinylcarbazol (PVK)	107
2.16	Polyacetal (POM)	109
2.17	Polyketone (PK)	112
2.18	Fluorpolymere	113
2.18.1	Polytetrafluorethylen (PTFE)	114
2.18.2	Perfluorethylenpropylen-Copolymer (FEP)	116
2.18.3	Perfluoralkoxy-Copolymer (PFA/MFA)	116
2.18.4	Polychlortrifluorethylen (PCTFE)	117
2.18.5	Ethylen-Tetrafluorethylen-Copolymer (ETFE)	118
2.18.6	Ethylen-Chlortrifluorethylen-Copolymer (E-CTFE)	118
2.18.7	Polyvinylidenfluorid (PVDF)	119
2.18.8	Polyvinylfluorid (PVF)	119
2.18.9	Terpolymer aus Tetrafluorethylen, Hexafluorpropylen und Vinylidenfluorid (THV)	121
2.19	Polyamide (PA)	122
2.20	Polycarbonat (PC)	127
2.21	Polyester	131
2.22	Polyphenylenether (PPE)	135
2.23	Polysulfone	137
2.24	Polyphenylensulfid (PPS)	140
2.25	Polyaryletherketone	142
2.26	Polyetherimide (PEI)	144
2.27	Polyamidimid (PAI)	146
2.28	Celluloseester (CA, CP, CAB)	147
2.29	Polyblends	150
2.30	Thermoplastische Elastomere	151
2.31	Flüssigkristalline Kunststoffe	156
2.32	Biopolymere	158
3	Duroplaste	161
3.1	Phenol-Formaldehyd (PF)	161
3.2	Harnstoff-Formaldehyd (UF)	166
3.3	Melamin-Formaldehyd (MF)	167
3.4	Melamin-Phenol-Formaldehyd (MPF)	168
3.5	Ungesättigte Polyesterharze (UP-Harze)	169
3.6	Siliconharze (SI)	177
3.7	Polyimide (PI)	178
3.8	Epoxidharze (EP-Harze)	180
3.9	Vernetzte Polyurethane	185
3.9.1	PUR-Schäume	188
3.9.2	Polyurethan-Gießharze	192
3.9.3	PUR-Lacke	194
3.9.4	PUR-Klebstoffe	194
4	Elastomere	195
4.1	Naturkautschuk (NR)	195
4.2	Isoprenkautschuk (IR)	198

4.3	Styrol-Butadien-Kautschuk (SBR)	199
4.4	Butadienkautschuk (BR)	201
4.5	Butylkautschuk (Isobutylene-Isopren-Kautschuk) (IIR)	202
4.6	Chloroprenkautschuk (CR)	203
4.7	Acrylnitril-Butadien-Kautschuk, Nitrilkautschuk (NBR)	205
4.8	Polyurethan-Elastomere (PUR-Elastomere)	207
4.8.1	PUR-Gießelastomere	207
4.8.2	Thermoplastische Polyurethan-Elastomere (TPU)	209
4.8.3	Polyurethankautschuk (AU/EU)	209
4.9	Ethylen-Propylen-Kautschuk (EPM/EPDM)	211
4.10	Ethylen-Vinylacetat-Kautschuk (EAM)	213
4.11	Polysulfidkautschuk (Thioplaste) (TM)	214
4.12	Epichlorhydrinkautschuk (CO, ECO, ETER)	216
4.13	Chlorsulfoniertes Polyethylen (CSM)	217
4.14	Fluorkautschuk (FKM)	218
4.15	Siliconkautschuk (Q)	219
5	Analytik	223
5.1	Einfache Methoden zum Identifizieren von Kunststoffen	223
5.1.1	Voruntersuchungen	223
5.1.2	Dichte	224
5.1.3	Löslichkeit	225
5.1.4	Thermisches Verhalten	226
5.1.5	Brandprobe	227
5.2	Differential Scanning Calorimetrie (DSC)	230
5.3	Thermogravimetrie (TGA)	231
5.4	Infrarot-Spektroskopie (IR)	232
5.5	Gas-Chromatografie (GC)	233
5.6	REM / EDX	234
6	Grundlagen der Kunststoffprüfung	237
6.1	Verarbeitungseigenschaften von Formmassen	238
6.1.1	Schmelzindexprüfung (DIN EN ISO 1133)	238
6.1.2	Viskositätszahl/K-Wert (DIN EN ISO 1628)	241
6.1.3	Bestimmung der Rohdichte (DIN EN ISO 1183)	243
6.1.4	Schüttdichte, Stopfdichte und Füllfaktor (DIN EN ISO 60, DIN EN ISO 61, DIN ISO 171)	244
6.1.5	Rieselfähigkeit (DIN EN ISO 6186)	246
6.1.6	Korngröße und Kornverteilung (DIN 53477)	246
6.1.7	Restfeuchtigkeit	246
6.2	Mechanische Eigenschaften	247
6.2.1	Zugversuch (DIN EN ISO 527)	247
6.2.2	Biegeversuch (DIN EN ISO 178)	249
6.2.3	Bestimmung des Elastizitätsmoduls	252
6.2.4	Schlagbiegeversuch (DIN EN ISO 179)	252
6.2.5	Härteprüfungen	254
6.2.6	Reibung und Verschleiß	255
6.3	Thermische Eigenschaften	255

6.3.1	Wärmeleitfähigkeit (DIN EN ISO 22 007)	255
6.3.2	Wärmeausdehnung (ISO 11 359)	256
6.3.3	Spezifische Wärmekapazität	257
6.3.4	Formbeständigkeit in der Wärme	257
6.3.5	DMTA (Dynamisch-Mechanische Thermo-Analyse)	258
6.4	Elektrische Eigenschaften	259
6.4.1	Elektrische Widerstandswerte (DIN IEC 60 093 VDE 0303/30)	259
6.4.2	Dielektrische Eigenschaften (DIN IEC 60 250)	263
6.4.3	Kriechstromfestigkeit (DIN EN 60 112)	263
6.4.4	Lichtbogenfestigkeit (DIN VDE 0303)	264
6.4.5	Durchschlagfestigkeit (DIN EN 60 243-1)	264
6.4.6	Elektrostatische Aufladung (DIN VDE 0303, DIN 53 486)	264
6.4.7	Verhalten bei Glimmentladungen (DIN EN 60 343)	265
6.5	Beständigkeiten	265
6.5.1	Lösemittelbeständigkeit	265
6.5.2	Spannungsrisssbildung	266
6.5.3	Chemische Beständigkeit	269
6.5.4	Witterungsbeständigkeit	270
6.5.5	Strahlenbeständigkeit	271
6.5.6	Brandverhalten	271
6.6	Prüfung von Kautschuk und Gummi	272
6.6.1	Prüfungen am Rohkautschuk und an unvulkanisierten Mischungen	273
6.6.2	Prüfungen am Vulkanisat	275
6.7	Langzeitverhalten der Kunststoffe	279
6.7.1	Viskoelastizität	279
6.7.2	Statisches Langzeitverhalten (DIN EN ISO 899-1/-2)	281
6.7.3	Dynamisches Langzeitverhalten (DIN 53 442)	286
6.8	Weitere Prüfungen	288
6.8.1	Prüfung an Fertigteilen	289
6.8.2	Qualitätssicherung und -Überwachung	290
6.8.3	Product Compliance	291

Kurzzeichen für Polymere in Anlehnung an DIN EN ISO 1043-1 293

Quellenverzeichnis 295

Stichwortverzeichnis 297