

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

<b>Vorwort</b>	5
<b>1 Das Kunststoffgebiet</b>	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 Kunststofferzeugnisse	61
1.5.1 Formmassen	61
1.5.2 Halbzeug und Formteile	62
<b>2 Thermoplaste</b>	65
2.1 Polyethylen (PE)	65
2.1.1 PE-Sondertypen	69
2.2 Polypropylen (PP)	70
2.2.1 Metallocen-PP-Polymerne	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
<b>3</b>	<b>Duroplaste . . . . .</b>	<b>161</b>
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
<b>4</b>	<b>Elastomere . . . . .</b>	<b>195</b>
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 (Isobutylein-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	Polyurethanskautschuk (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	Silikonkautschuk (Q) . . . . .	219
<b>5</b>	<b>Analytik. . . . .</b>	<b>223</b>
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
<b>6</b>	<b>Grundlagen der Kunststoffprüfung . . . . .</b>	<b>237</b>
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	Spannungsrisrbildung . . . . .	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
<b>Kurzzeichen für Polymere in Anlehnung an DIN EN ISO 1043-1</b> . . . . .		<b>293</b>
<b>Quellenverzeichnis</b> . . . . .		<b>295</b>
<b>Stichwortverzeichnis</b> . . . . .		<b>297</b>