

Technische Thermoplaste

# Technische Polymer-Blends

PC-ABS-Blends · PC-PBT-Blends · PPE-Blends

## Kunststoff Handbuch

**3/2**

Herausgegeben von Dr. Ludwig Bottenbruch

Mit 216 Bildern und 76 Tabellen

Die Autoren:

Prof. Drs. J. Bussink, Dr. T. Eckel, Dr. H. Eichenauer,  
Dr. U. Grigo, Dr. H.-J. Laue, W. Minderhout, Dr. L. Morbitzer,  
Dr. F. Müller, Dr. W. Nouvertné, Dr. K.-H. Ott,  
Dr. W. L. Sederel, Dr. D. Wittmann



# Inhaltsverzeichnis

## 1 Polymer-Blends

<i>(Dr. K.-H. Ott, Dr. L. Morbitzer)</i> . . . . .	1
1.1 Einführung . . . . .	1
1.2 Grundlagen . . . . .	3
1.2.1 Definitionen . . . . .	3
1.2.2 Mischbarkeit von Polymeren . . . . .	3
1.2.2.1 Allgemeine Behandlung der Mischbarkeit . . . . .	3
1.2.2.2 Equation of State-Theorien . . . . .	8
1.2.3 Morphologie und Rheologie von Polymer-Blends . . . . .	8
1.2.3.1 Allgemeine Zusammenhänge . . . . .	8
1.2.3.2 Steuerungsmechanismen für die Phasenmorphologie . . . . .	10
1.2.4 Mischungszustand . . . . .	12
1.2.4.1 Mischverfahren . . . . .	12
1.2.4.2 Charakterisierung des Mischungszustandes . . . . .	13
1.2.5 Eigenschaften von Polymer-Blend-Systemen . . . . .	16
1.2.5.1 Grundprinzipien . . . . .	16
1.2.5.2 Zähigkeit und Deformationsmechanismen . . . . .	17
1.2.5.3 Prinzipien der Elastomermodifizierung . . . . .	18
1.2.6 Ordnungsprinzipien für technische Polymer-Blends . . . . .	20
Literatur zu Kapitel 1 . . . . .	22

## 2 Polyphenylenether-Blends

<i>(Prof. Dr. J. Bussink, Dr. W. L. Sederel, W. Minderhout)</i> . . . . .	25
2.1 Historische Entwicklung, gegenwärtige Situation und Zukunftsperspektiven . . . . .	25
Literatur zu Abschnitt 2.1 . . . . .	27
2.2 Polyphenylenether . . . . .	27
2.2.1 Einleitung . . . . .	27
2.2.2 Monomer-Synthese . . . . .	30
2.2.3 Oxidative Kupplungschemie von Phenolen . . . . .	33
2.2.3.1 Katalytisches Oxidations-Kupplungsverfahren . . . . .	36
2.2.3.2 Laborverfahren . . . . .	37
2.2.3.3 Katalysatoren . . . . .	43
2.2.3.4 Alternatives Herstellen von 2,6-substituierten Poly-p-phenylen-ethern . . . . .	45
2.2.4 Herstellen von PPE nach dem oxidativen Kupplungsverfahren . . . . .	47
2.2.4.1 In-situ-Blend-Möglichkeiten . . . . .	49
2.2.5 PPE-Homo- und Copolymere . . . . .	50
2.2.5.1 PPE-Struktur . . . . .	50
2.2.5.2 Molmasse . . . . .	50
2.2.5.3 Glasübergangstemperatur und thermische Eigenschaften . . . . .	51
2.2.5.4 Kristallinität . . . . .	52
2.2.5.5 Elektrische Eigenschaften . . . . .	53
2.2.5.6 Brennbarkeit, Brandverhalten . . . . .	53
2.2.5.7 Löslichkeitsparameter, Löslichkeit, Wasseraufnahme . . . . .	53
2.2.5.8 Mechanische Eigenschaften . . . . .	54
2.2.5.9 Rheologie . . . . .	56

2.2.5.10	Oxidative Beständigkeit	56
2.2.5.11	UV-Beständigkeit	57
2.2.6	Chemische Modifikation von PPE	57
	Literatur zu Abschnitt 2.2	61
2.3	Polyphenylenether-Blends	63
2.3.1	Einleitung	63
2.3.1.1	Unverträglichkeit	64
2.3.1.2	Verträglichkeit	65
2.3.1.3	Mischbarkeit	65
2.3.2	Herstellen von PPE-Blends	67
2.3.3	PPE-PS-Blends, Eigenschaften	69
2.3.3.1	Zusammenhang von Struktur, Morphologie und Eigenschaften	69
2.3.3.2	Mechanische Eigenschaften	72
2.3.3.2.1	Mechanische Kurzzeiteigenschaften	73
2.3.3.2.2	Mechanische Langzeiteigenschaften	76
2.3.3.3	Thermische Eigenschaften	78
2.3.3.3.1	Thermische Kurzzeiteigenschaften	79
2.3.3.3.2	Thermische Langzeiteigenschaften	79
2.3.3.3.3	Wärmeleitfähigkeit	79
2.3.3.3.4	Wärmeausdehnung	80
2.3.3.4	Elektrische Eigenschaften	80
2.3.3.4.1	Oberflächen- und Durchgangswiderstand	80
2.3.3.4.2	Dielektrische Eigenschaften	80
2.3.3.4.3	Kriechstromfestigkeit	81
2.3.3.5	Flammschutz-Eigenschaften	81
2.3.3.5.1	Sauerstoff-Index-Prüfung nach ASTM D 2863	83
2.3.3.5.2	UL 94-Prüfung	83
2.3.3.5.3	CSA-Prüfung	83
2.3.3.5.4	Kleinbrenner-Test, Needle Flame Test	84
2.3.3.5.5	Glühdraht-Test	84
2.3.3.5.6	FMVSS-302-Test	85
2.3.3.6	Rheologische Eigenschaften	85
2.3.3.7	Chemikalienbeständigkeit	87
2.3.3.8	Hydrolysebeständigkeit	89
2.3.3.9	Oberflächenhärte, Reibung und Verschleiß	89
2.3.3.10	UV-Stabilität	89
2.3.4	Strukturschäume	90
2.3.4.1	Schaum-Extrusion	93
2.3.4.2	Expandierbare Schaumperlen aus PPE-HIPS-Blends	96
2.3.5	PPE-Blends mit Polyamiden	97
2.3.5.1	Einleitung	97
2.3.5.2	Kristallinität und Kettenbeweglichkeit	100
2.3.5.3	Eigenschaften	102
2.3.6	Neue Entwicklungen von PPE-Blends	105
2.3.7	Verarbeiten von PPE-Blends	107
2.3.7.1	Materialvorbereitung	107
2.3.7.1.1	Vortrocknung	107
2.3.7.1.2	Wiederverarbeitung	107
2.3.7.2	Spritzgießen	107
2.3.7.2.1	Spritzgießmaschinen	107
2.3.7.2.2	Einspritzeinheit	108

2.3.7.2.3	Schneckenengeometrie . . . . .	109
2.3.7.2.4	Düsengestaltung . . . . .	109
2.3.7.2.5	Spritzgießwerkzeuge . . . . .	110
2.3.7.2.6	Entlüftung . . . . .	110
2.3.7.2.7	Angußgestaltung . . . . .	110
2.3.7.2.8	Angußloses Spritzgießen . . . . .	113
2.3.7.2.9	Entformungswinkel und Narbungen . . . . .	114
2.3.7.2.10	Verarbeitungstemperaturen . . . . .	114
2.3.7.2.11	Einspritzgeschwindigkeit . . . . .	115
2.3.7.2.12	Einspritzdruck und Nachdruck . . . . .	115
2.3.7.2.13	Werkzeugtemperatur . . . . .	116
2.3.7.2.14	Formteilschwindung . . . . .	116
2.3.7.2.15	Umspritzte Einsätze . . . . .	117
2.3.7.2.16	Bindenahtfestigkeit . . . . .	117
2.3.7.3	Hohlkörperblasen . . . . .	118
2.3.7.4	Extrusion . . . . .	119
2.3.7.4.1	Einleitung . . . . .	119
2.3.7.4.2	Antriebsleitungen . . . . .	120
2.3.7.4.3	Schnecke und Zylinder . . . . .	120
2.3.7.4.4	Schneckenengeometrie . . . . .	120
2.3.7.4.5	Zweistufige Entgasungsschnecken . . . . .	121
2.3.7.4.6	Siebpakete . . . . .	122
2.3.7.4.7	Düsengestaltung . . . . .	122
2.3.7.4.8	Verarbeitungsbedingungen . . . . .	122
2.3.7.4.9	Plattenextrusion . . . . .	123
2.3.7.4.10	Profil- und Rohrextrusion . . . . .	123
2.3.8	Nachbehandlung von PPE-Blends . . . . .	124
2.3.8.1	Umformung . . . . .	124
2.3.8.2	Spangebende Bearbeitung . . . . .	125
2.3.8.3	Montagetechniken . . . . .	125
2.3.8.3.1	Schrauben . . . . .	125
2.3.8.3.2	Schnappverbindungen . . . . .	125
2.3.8.3.3	Einsätze . . . . .	125
2.3.8.4	Schweißen . . . . .	127
2.3.8.4.1	Spiegelschweißen . . . . .	127
2.3.8.4.2	Rotationsschweißen . . . . .	127
2.3.8.4.3	Ultraschallschweißen . . . . .	127
2.3.8.4.4	Vibrationsschweißen . . . . .	127
2.3.8.4.5	Induktionsschweißen . . . . .	128
2.3.8.5	Nieten . . . . .	128
2.3.8.6	Kleb-Systeme . . . . .	128
2.3.8.6.1	Lösemittelkleben . . . . .	129
2.3.8.6.2	Reaktionsklebstoffe . . . . .	129
2.3.8.7	Nachbehandlung . . . . .	129
2.3.8.7.1	Lackierung . . . . .	129
2.3.8.7.2	Bedrucken . . . . .	130
2.3.8.7.3	Metallisieren . . . . .	130
2.3.9	Analytik . . . . .	131
2.3.9.1	Chemische Zusammensetzung . . . . .	131
2.3.9.2	Endgruppenbestimmung . . . . .	132
2.3.9.3	Molmassenanalyse . . . . .	132

2.3.9.4 Infrarot-Spektroskopie . . . . .	132
2.3.9.5 NMR-Spektroskopie . . . . .	132
2.3.10 Sicherheitsaspekte und Genehmigungen . . . . .	133
2.3.10.1 Produktsicherheitsdaten . . . . .	133
2.3.10.2 Zulassungen, Zertifikate . . . . .	133
2.3.11 Anwendungsbeispiele für PPE-Blends . . . . .	135
2.3.11.1 Automobilindustrie . . . . .	136
2.3.11.2 Elektrotechnik/Elektronik . . . . .	138
2.3.11.3 Büromaschinen . . . . .	139
2.3.11.4 Unterhaltungselektronik . . . . .	139
2.3.11.5 Wasser- und Umwelttechnik . . . . .	140
2.3.11.6 Sonstiges . . . . .	142
2.3.12 Handelsprodukte . . . . .	143
Literatur zu Abschnitt 2.3 . . . . .	146

### 3 Polycarbonat-ABS-Blendsysteme

(Dr. T. Eckel, Dr. H. Eichenauer, Dr. H. J. Laue, Dr. F. Müller, Dr. K.-H. Ott, Dr. D. Wittmann) . . 149

3.1 Definition, Historische Entwicklung . . . . .	149
3.2 Wirtschaftliche Bedeutung . . . . .	151
Literatur zu den Abschnitten 3.1 und 3.2 . . . . .	151
3.3 Herstellen von Polycarbonat-ABS-Blendsystemen . . . . .	152
3.3.1 Ausgangskomponenten . . . . .	152
3.3.1.1 Polycarbonat-Bausteine . . . . .	152
3.3.1.2 ABS-Systeme . . . . .	152
3.3.1.3 ASA- und AES-Systeme . . . . .	153
3.3.2 Technologie der Blendherstellung . . . . .	153
3.3.2.1 Mischungsprinzipien . . . . .	153
3.3.2.2 Compoundierbedingungen . . . . .	154
3.3.2.3 Compoundieraggregate . . . . .	154
3.3.3 Qualitätssicherung und Analytik . . . . .	156
3.3.3.1 Zusammensetzung und Morphologie . . . . .	156
3.3.3.2 Sicherstellung der Qualität . . . . .	156
Literatur zu Abschnitt 3.3 . . . . .	157
3.4 Eigenschaften von PC-ABS-Blends . . . . .	158
3.4.1 Phasenverhalten von PC-ABS-Blends . . . . .	158
3.4.2 Struktur-Eigenschafts-Beziehungen von PC-ABS-Blends . . . . .	160
3.4.3 Additiv-Systeme . . . . .	162
3.4.3.1 Stabilisatoren gegen thermooxidative Schädigung . . . . .	162
3.4.3.2 Hydrolyse-Stabilisatoren . . . . .	162
3.4.3.3 Lichtschutzmittel . . . . .	162
3.4.3.4 Gleit- und Entformungsmittel . . . . .	162
3.4.3.5 Antistatika . . . . .	163
3.4.4 PC-ABS-Blends mit höherer Wärmeformbeständigkeit . . . . .	163
Literatur zu Abschnitt 3.4 . . . . .	164
3.5 Flammgeschützte Polycarbonat-ABS-FR-Blends . . . . .	165
3.5.1 Grundlagen des Brandverhaltens . . . . .	165
3.5.2 Methoden zur FR-Ausrüstung von PC-ABS-Blends . . . . .	168
Literatur zu Abschnitt 3.5 . . . . .	169

3.6	Alterungsbeständige Polycarbonat-AXS-Blends	170
3.6.1	Aufbau von Polycarbonat-AXS-Blends	170
3.6.2	Eigenschaften von PC-AXS-Blends	172
	Literatur zu Abschnitt 3.6	173
3.7	Spezielle Polycarbonat-ABS-Blends	174
3.7.1	PC-ABS-Blends mit hoher Wärmeformbeständigkeit	174
3.7.2	Blends mit verbessertem ESC-Verhalten	175
	Literatur zu Abschnitt 3.7	176
3.8	Anwendungstechnische Eigenschaften von PC-ABS-Blends	177
3.8.1	Einführung	177
3.8.2	Einteilung und Eigenschaftsprofile	177
3.8.3	Äußere Erscheinungsform	178
3.8.4	Mechanisch-technologische Eigenschaften	178
3.8.5	Thermische Eigenschaften	184
3.8.6	Elektrische Eigenschaften	186
3.8.7	Rheologische Eigenschaften	189
3.8.8	Chemikalienbeständigkeit	190
3.8.9	Alterungsbeständigkeit	193
3.8.10	Brandverhalten	194
3.8.11	Schaum	197
3.9	Verarbeitung	198
3.9.1	Vorbereiten und Trocknen der Rohstoffe	198
3.9.2	Spritzgießen	199
3.9.2.1	Maschinenausrüstung	199
3.9.2.2	Verarbeitungsparameter	200
3.9.2.3	Schwindung	200
3.9.3	Extrusion	201
3.10	Bearbeitung	202
3.10.1	Spangebende Formung	202
3.10.2	Warmverformung	202
3.10.3	Schweißen	202
3.10.4	Kleben	203
3.10.5	Lackieren	203
3.10.6	Metallisieren	203
3.10.7	Bedrucken	204
3.11	Anwendungen	204
3.11.1	Kfz-Industrie	204
3.11.1.1	Kfz-Innenraum	204
3.11.1.2	Kfz-Elektrik	206
3.11.1.3	Kfz-Außenbereich	207
3.11.2	Elektrotechnik, Elektronik	209
3.11.3	Datentechnik	211
3.11.4	Sonstige Anwendungen	212
	Literatur zu den Abschnitten 3.8 bis 3.11	213
3.12	Handelsprodukte	214

**4 Elastomermodifizierte Polycarbonat-Polyester-Blends**

<i>(Dr. U. Grigo, Dr. W. Nouverné)</i> . . . . .	215
4.1 Einleitung . . . . .	215
4.1.1 Definition des Begriffs Elastomermodifizierte Polycarbonat-Polyester-Blends . . . . .	215
4.1.2 Geschichtliche Entwicklung . . . . .	215
Literatur zu Abschnitt 4.1 . . . . .	216
4.2 Chemischer Aufbau elastomermodifizierter Polycarbonat-Polyester-Blends . . . . .	216
4.2.1 Grundkomponenten . . . . .	216
4.2.1.1 Polycarbonate . . . . .	216
4.2.1.2 Polyester . . . . .	216
4.2.1.3 Elastomerkomponenten . . . . .	217
4.2.2 Sonstige Komponenten, Additive . . . . .	218
Literatur zu Abschnitt 4.2 . . . . .	218
4.3 Herstellung und Verarbeitung von Polycarbonat-Polyalkylenterephthalat-Blends . . . . .	219
4.3.1 Herstellung . . . . .	219
4.3.1.1 Mischen über Lösungen . . . . .	219
4.3.1.2 Mischen über die Schmelze (Compoundieren) . . . . .	219
4.3.2 Spritzgießverarbeitung . . . . .	220
Literatur zu Abschnitt 4.3 . . . . .	223
4.4 Analytik von elastomermodifizierten Polycarbonat-Polyester-Blends . . . . .	224
Literatur zu Abschnitt 4.4 . . . . .	225
4.5 Grundlagen-Untersuchungen an elastomermodifizierten Bisphenol-A-Polycarbonat-Polyester-Blends . . . . .	225
4.5.1 Mischbarkeit von Bisphenol-A-Polycarbonat-Polyester-Blends . . . . .	225
4.5.1.1 Bisphenol-A-Polycarbonat(PC)-Polybutylenterephthalat(PBT)-Blends . . . . .	226
4.5.1.2 Bisphenol A-Polycarbonat(PC)-Polyethylenterephthalat(PET)-Blends . . . . .	229
4.5.1.3 Spezielle Polycarbonat-Polyester-Blends . . . . .	229
4.5.1.3.1 Polycarbonat-Copolyester-Blends . . . . .	229
4.5.1.3.2 Polycarbonat-Blends mit aliphatischen Polyestern . . . . .	230
4.5.1.3.3 Ternäre Blends mit Bisphenol A-Polycarbonat . . . . .	230
4.5.1.3.4 Blends aus Tetramethylbisphenol A-Polycarbonat (MPC) und aliphatischen Polyestern . . . . .	231
4.5.2 Elastomermodifizierte Bisphenol A-Polycarbonat-Polyester-Blends . . . . .	231
4.5.2.1 Blends aus elastomerem Blockcopolycarbonat und Polyalkylenterephthalat . . . . .	232
4.5.2.2 Blends aus elastomerem Blockcopolyester und Bisphenol A-Polycarbonat . . . . .	232
4.5.2.3 Ternäre elastomermodifizierte Polycarbonat-Polyester-Blends . . . . .	232
4.5.2.3.1 Alternative Schlagzähmodifikatoren . . . . .	233
4.5.2.3.2 Wärmeformbeständigkeit . . . . .	233
4.5.2.3.3 Spannungsrißbeständigkeit . . . . .	234
4.5.2.3.4 Stabilisierung . . . . .	234
4.5.2.3.5 Weitere Eigenschaftsverbesserungen . . . . .	234
Literatur zu Abschnitt 4.5 . . . . .	234

4.6 Anwendungstechnische Eigenschaften . . . . .	236
4.6.1 Äußere Erscheinungsform der elastomermodifizierten Polycarbonat-Polyalkylenterephthalat-Blends . . . . .	236
4.6.1.1 Lieferform . . . . .	236
4.6.1.2 Erscheinungsform . . . . .	237
4.6.1.3 Aussehen der Oberflächen . . . . .	237
4.6.1.4 Einfärbbarkeit . . . . .	237
4.6.2 Binäre Blends . . . . .	237
4.6.2.1 Mechanische Eigenschaften . . . . .	237
4.6.2.2 Thermische Eigenschaften . . . . .	238
4.6.2.3 Optische Eigenschaften . . . . .	240
4.6.2.4 Chemikalienbeständigkeit . . . . .	240
4.6.2.5 Barriereeigenschaften . . . . .	241
4.6.2.6 Sterilisierung durch $\gamma$ -Strahlen . . . . .	241
4.6.3 Elastomermodifizierte Polycarbonat-Polyalkylenterephthalat-Blends . . . . .	242
4.6.3.1 Elastomermodifizierte Polycarbonat-Polybutylenterephthalat-Blends . . . . .	243
4.6.3.1.1 Mechanische Eigenschaften . . . . .	243
4.6.3.1.2 Thermische Eigenschaften . . . . .	244
4.6.3.1.3 Elektrische Eigenschaften . . . . .	246
4.6.3.1.4 Chemikalienbeständigkeit . . . . .	246
4.6.3.1.5 Witterungsstabilität . . . . .	247
4.6.3.1.6 Sonstige Eigenschaften . . . . .	247
4.6.3.1.7 Hydrolyseverhalten . . . . .	247
4.6.3.2 Polycarbonat-Polyethylenterephthalat-Blends . . . . .	248
4.6.3.2.1 Mechanische Eigenschaften . . . . .	249
4.6.3.2.2 Thermische Eigenschaften . . . . .	251
4.6.3.2.3 Chemikalienbeständigkeit . . . . .	251
4.6.3.2.4 Sonstige Eigenschaften . . . . .	251
4.6.4 Glasfaserverstärkte und mineralgefüllte Polycarbonat-Polyalkylenterephthalat-Blends . . . . .	252
4.6.5 Flammwidrige Polycarbonat-Polyalkylenterephthalat-Blends . . . . .	252
Literatur zu Abschnitt 4.6 . . . . .	253
4.7 Anwendungen der Polycarbonat-Polyalkylenterephthalat-Blends . . . . .	254
4.7.1 Binäre Blends . . . . .	254
4.7.2 Schlagzähmodifizierte Polycarbonat-Polyalkylenterephthalat-Blends . . . . .	254
4.7.3 Glasfaserverstärkte und mineralgefüllte Polycarbonat-Polyalkylenterephthalat-Blends . . . . .	256
4.7.4 Flammwidrige Polycarbonat-Polyalkylenterephthalat-Blends . . . . .	257
Literatur zu Abschnitt 4.7 . . . . .	257
4.8 Wirtschaftliche Bedeutung der elastomermodifizierten Polycarbonat-Polyalkylenterephthalat-Blends . . . . .	257
Literatur zu Abschnitt 4.8 . . . . .	258
4.9 Handelsprodukte . . . . .	258
Sachwortregister . . . . .	259