

Technische Thermoplaste

Hochleistungs-Kunststoffe

Polyarylate · Thermotrope Polyester
Polyimide · Polyetherimide
Polyamidimide · Polyarylsulfide
Polysulfone · Polyetheretherketone

Kunststoff Handbuch

3/3

Herausgegeben von Dr. Ludwig Bottenbruch

Mit 241 Bildern und 162 Tabellen

Die Autoren:

Dr. R. Becker, Prof. Drs. J. Bussink, P. J. Clarke, H.-R. Dicke,
Dr. S. Dorf, Dr. V. Eckhardt, Dr. J. Felberg, J. van Helmond,
Dr. A. Horbach, W. E. Kelly, Dr. M. Matzner, Dr. H.-H. Müller,
Dr. E. Ostlinning, Dr. D. Rathmann, Dr. K. Reinking, Dr. C. E. Sroog,
Dr. P. Tacke, C. Van Weynsberghe, Dr. B. Willenberg



Inhaltsverzeichnis

1 Polyarylate

(Dr. D. Rathmann, Dr. P. Tacke)

1.1 Einleitung	1
1.1.1 Definition des Begriffs „Polyarylat“	1
1.1.2 Geschichtliche Entwicklung	1
Literatur zu Abschnitt 1.1	2
1.2 Chemischer Aufbau der Polyarylate	3
1.2.1 Homopolyester	3
1.2.2 Copolyester	3
Literatur zu Abschnitt 1.2	4
1.3 Herstellung der Polyarylate	4
1.3.1 Herstellung der Ausgangsstoffe	4
1.3.1.1 Dichloride der aromatischen Dicarbonsäuren	4
1.3.1.2 2,2-Bis(4-hydroxyphenyl)-propan(BPA)	4
1.3.1.3 Diphenylester der aromatischen Dicarbonsäuren	4
1.3.1.4 Diphenylcarbonat	5
1.3.1.5 Bisphenol A-diacetat	5
1.3.1.6 Hydroxybenzoësäuren	5
Literatur zu Abschnitt 1.3.1	5
1.3.2 Chemische Grundlagen der Herstellung der Polyarylate	5
1.3.2.1 Lösungsverfahren in homogener Phase	6
1.3.2.1.1 Tertiäre organische Basen als Lösemittel	6
1.3.2.1.2 Umsetzung in inertem Lösungsmittel	7
1.3.2.2 Verfahren in homogener Schmelze	7
1.3.2.2.1 Phenylumesterungsverfahren	7
1.3.2.2.2 Acetatumesterungsverfahren	8
1.3.2.2.3 Silylverfahren	9
1.3.2.3 Phasengrenzflächenverfahren	9
1.3.2.4 Polykondensation an der Phasengrenzfläche flüssig/fest	10
1.3.2.5 Einbau von Telechelen, Comonomeren, Kettenabbrechern und Verzweigern	10
1.3.2.6 Reaktionskinetik	11
1.3.3 Technologie der Herstellung der Polyarylate	11
Literatur zu Abschnitt 1.3	11
1.4 Modifizierung der Polyarylate durch Additive	12
1.4.1 Stabilisierung	12
1.4.1.1 Stabilisierung gegen thermischen und oxidativen Abbau	12
1.4.1.2 Stabilisierung gegen fotochemische Veränderungen	12
1.4.1.3 Stabilisierung gegen hydrolitischen Abbau und Rißbildung	13
1.4.2 Fließhilfs- und Formtrennmittel	13
1.4.3 Verstärkungsstoffe	13
1.4.4 Brandschutzadditive	13
Literatur zu Abschnitt 1.4	13
1.5 Mischungen mit anderen Polymeren	14
Literatur zu Abschnitt 1.5	15

1.6 Herstellung der Mischungen	15
1.7 Eigenschaften	16
1.7.1 Abhängigkeit der Eigenschaften von der Kettenstruktur	16
1.7.2 Morphologie	17
1.7.3 Brandverhalten	17
1.7.4 Beständigkeit gegen UV-Licht	18
1.7.5 Wasseraufnahme	19
1.7.6 Chemikalien- und Hydrolysebeständigkeit	19
1.7.7 Eigenschaften von Handelsprodukten	20
1.7.7.1 Mechanisch-technologische Eigenschaften	24
1.7.7.2 Thermische Eigenschaften	28
1.7.7.3 Rheologische Eigenschaften	30
1.7.7.4 Elektrische Eigenschaften	31
1.7.7.5 Optische Eigenschaften	33
Literatur zu Abschnitt 1.7	34
1.8 Analytik	35
Literatur zu Abschnitt 1.8	36
1.9 Angaben zur Produktsicherheit	36
Literatur zu Abschnitt 1.9	36
1.10 Thermoplastische Verarbeitung	37
1.10.1 Trocknung	37
1.10.2 Spritzgießen	37
1.10.2.1 Maschinenausristung	37
1.10.2.1.1 Schneckengeometrie	37
1.10.2.1.2 Düsen	38
1.10.2.2 Verarbeitungstemperaturen	38
1.10.2.3 Spritzbedingungen	39
1.10.2.4 Werkzeuggestaltung	39
1.10.3 Extrusion	41
1.10.3.1 Maschinenausristung	41
1.10.3.2 Schnecken	42
1.10.3.3 Temperaturführung	44
1.10.3.4 Druckaufbau	44
1.10.3.5 Extrusionsverfahren	45
1.10.4 Reinigung der Plastifiziereinheiten	45
1.10.5 Wiederverwendung von Abfällen	45
Literatur zu Abschnitt 1.10	45
1.11 Weitere Bearbeitung	46
1.11.1 Spanlose Umformung	46
1.11.1.1 Druckluft-, Vakuum-Formen (Tiefziehen)	46
1.11.1.2 Biegen	46
1.11.2 Spangebende Bearbeitung	47
1.11.3 Fügen	47
1.11.3.1 Kleben	47
1.11.3.2 Schweißen	48
1.11.4 Oberflächenbehandlung	48
Literatur zu Abschnitt 1.11	49
1.12 Anwendungen	49

1.12.1 Elektrotechnik, Elektronik	49
1.12.2 Lichttechnik	50
1.12.3 Kraftfahrzeugsektor	51
1.12.4 Medizin- und Labortechnik	52
1.12.5 Haushaltgeräte	52
1.13 Ausblick	53
Literatur zu Abschnitt 1.13	53

2 Polyarylensulfide

*(Dr. E. Ostlinning, Dr. K. Reinking, unter Mitarbeit von Dr. R. Becker, Dr. A. Horbach,
Dr. H.-H. Müller)*

2.1 Einleitung	55
2.2 Geschichtliche Entwicklung	55
Literatur zu Abschnitt 2.2	57
2.3 Chemischer Aufbau	57
2.3.1 Poly-(p-phenylen)-sulfid (PPS)	57
2.3.2 Polyarylensulfide mit anderen Monomereinheiten	57
2.3.3 Copolymeren	59
2.3.4 Blockcopolymere	59
Literatur zu Abschnitt 2.3	59
2.4 Reaktionsmechanismus und Enthalpie	60
2.4.1 Reaktionsmechanismus	60
2.4.1.1 Reaktivität der verschiedenen Halogenverbindungen	60
2.4.1.2 Reaktivität verschiedener Nucleophile	61
2.4.1.3 Substituenteneinfluß auf die Reaktivität	61
2.4.2 Reaktionenthalpie	61
2.4.3 Polymeraufbau	62
2.4.4 Verzweiger	64
2.4.5 Kettenabbrecher	64
2.4.6 Lösemittel	65
2.4.7 Katalysatoren	66
2.4.8 Nebenreaktionen	66
2.4.8.1 Nebenreaktionen der Chloraromatnen	66
2.4.8.1.1 Verseifung zu Phenolen	66
2.4.8.1.2 Funktionalitätsverlust	67
2.4.8.2 Nebenreaktionen an der Polymerkette	67
2.4.8.3 Bildung von cyclischen Oligomeren	68
2.4.8.4 Nebenreaktionen der Lösemittel	68
2.4.9 Curing von PPS	69
2.4.10 Zusammenfassung der Reaktionen bei der PPS-Herstellung	70
Literatur zu Abschnitt 2.4	71
2.5 Rohstoffe	72
2.5.1 Chloraromatnen	72
2.5.2 Schwefelquelle	72
2.5.2.1 Natriumsulfid aus Natriumsulfat	72
2.5.2.2 Natriumsulfid aus Schwefel	72
2.5.2.3 Natriumsulfid aus Schwefelwasserstoff	72
2.5.3 Lösemittel	72

2.6 Technische Herstellung der Polyphenylensulfide	73
2.6.1 Herstellung der Schwefelkomponente	73
2.6.2 Niedermolekulares PPS	74
2.6.2.1 Diskontinuierliches Verfahren	74
2.6.2.2 Kontinuierliches Verfahren zum Herstellen von niedermolekularem PPS	74
2.6.2.3 Aufarbeiten der Reaktionsmischung	76
2.6.3 Curing von niedermolekularem PPS	77
2.6.3.1 Curing mit Luftsauerstoff	77
2.6.3.2 Curing mit Hilfe anderer Oxidations- bzw. Vernetzungsmittel	78
2.6.4 Lösemittelkreisläufe	78
2.6.4.1 Herstellung von hochmolekularem PPS analog dem niedermolekularen PPS	79
2.6.4.2 Herstellung von hochmolekularem PPS ohne Wasser im Reaktionsgemisch	80
2.6.4.2.1 Technische Durchführung der PPS-Reaktion ohne Wasser im Reaktionsgemisch	80
2.6.4.2.2 Aufarbeiten der Reaktionsmischung	80
2.6.4.2.3 Hochmolekulares lineares PPS	80
2.6.4.3 Herstellen von hochmolekularem PPS mit zusätzlichem Wasser in der Reaktionsmischung	81
Literatur zu Abschnitt 2.6	81
2.7 Analytik (<i>Dr. A. Horbach, Dr. H.-H. Müller</i>)	82
2.7.1 Schmelzviskosität	82
2.7.1.1 Schmelzviskosität mit dem Kegel-Platte-Viskosimeter	82
2.7.1.2 Schmelzindexmessungen	83
2.7.2 Lösungsviskosität	83
2.7.3 Streulichtmessungen	83
2.7.4 Spektroskopische Untersuchungen	83
2.7.4.1 IR-Spektroskopische Messungen	83
2.7.4.2 Kernresonanzspektroskopie	83
2.7.5 Massenspektroskopie	85
2.7.6 Messungen unter Pyrolysebedingungen	87
2.7.7 Hochtemperatur-Größenausschluß-Chromatographie	88
2.7.8 Endgruppenanalytik	89
2.7.9 Ionengehalt	89
2.7.10 Thermoanalytische Messungen	90
Literatur zu Abschnitt 2.7	90
2.8 Kristallisationsverhalten	90
Literatur zu Abschnitt 2.8	93
2.9 Unverstärkte Spritzgießformmassen	94
2.9.1 Mechanische Eigenschaften	94
2.9.2 Thermische Eigenschaften	95
2.9.3 Elektrische Eigenschaften	95
2.9.4 Brandverhalten	96
2.9.5 Chemikalienbeständigkeit	96
2.9.5.1 Gasdurchlässigkeit	96
2.9.6 Zusammenfassung	97
Literatur zu Abschnitt 2.9	97

2.10 Verstärkte Spritzgießformmassen	97
2.10.1 Glasfaserverstärkte PPS-Spritzgießformmassen	98
2.10.1.1 Mechanische Kurzeiteigenschaften	98
2.10.1.2 Kohlefaserverstärkte PPS-Spritzgießformmassen	98
2.10.1.3 Glasfaser-mineralverstärkte PPS-Spritzgießformmassen	100
2.10.1.4 Mineralgefüllte PPS-Spritzgießformmassen	100
2.10.2 Mechanische Langzeiteigenschaften	100
2.10.2.1 Statische Zeitstandfestigkeit	100
2.10.2.2 Dynamische Zeitstandfestigkeit	102
2.10.2.3 Gleiteigenschaften	102
2.10.3 Thermische Eigenschaften	102
2.10.3.1 Formbeständigkeit in der Wärme	103
2.10.3.2 Maximale Dauergebrauchstemperatur	104
2.10.3.3 Wärmeleitfähigkeit	105
2.10.3.4 Thermische Längenausdehnung	105
2.10.4 Elektrische Eigenschaften	106
2.10.4.1 Spezifischer Durchgangswiderstand, spezifischer Oberflächenwiderstand	106
2.10.4.2 Dielektrische Eigenschaften	106
2.10.5 Brandverhalten	108
2.10.6 Chemische Beständigkeit	109
2.10.6.1 Beständigkeit gegenüber organischen Chemikalien	109
2.10.6.2 Beständigkeit gegenüber anorganischen Chemikalien	109
2.10.6.3 Beständigkeit gegenüber Wasser	110
2.10.6.4 Wasseraufnahme	110
2.10.6.5 Beständigkeit gegenüber heißer Luft	111
2.10.6.6 Bewitterungsbeständigkeit	111
2.10.6.7 Beständigkeit gegen energiereiche Strahlung	111
Literatur zu Abschnitt 2.10	112
2.11 Verarbeitung durch Spritzgießen	112
2.11.1 Trocknung der Granulate	112
2.11.2 Schmelzetemperatur	112
2.11.3 Werkzeugtemperatur	112
2.11.4 Einspritzgeschwindigkeit	113
2.11.5 Spritzdruck	113
2.11.6 Nachdruck	113
2.11.7 Spritzgießmaschinen	113
2.11.8 Schnecken	113
2.11.9 Düsen	114
2.11.10 Schließkraft	114
2.11.11 Verarbeitungsschwindung	114
2.11.12 Nachbehandlung	114
2.11.13 Regeneratverarbeitung	114
Literatur zu Abschnitt 2.11	115
2.12 Richtlinien für die Konstruktion der Formwerkzeuge	115
2.12.1 Werkzeugstähle	115
2.12.2 Art und Lage der Anschnitte	115
2.12.3 Entformungsschrägen	115
2.12.4 Entlüftung	115
2.12.5 Oberflächenrauheit	116

2.13	Andere Formgebungsverfahren	116
2.13.1	Pressen	116
2.13.1.1	Herstellen von Formteilen	116
2.13.1.2	Eigenschaften gepreßter Formteile	116
2.13.2	Sintern	117
	Literatur zu Abschnitt 2.13	117
2.14	Nachbearbeiten von Formteilen	117
2.14.1	Mechanisches Nachbearbeiten	117
2.14.2	Verbinden von Formteilen	117
2.14.2.1	Schweißen	117
2.14.2.2	Kleben	117
2.14.3	Lackieren	118
2.15	Folien	118
2.15.1	Mechanische Eigenschaften	118
2.15.2	Temperaturbeständigkeit	119
2.15.3	Chemikalienbeständigkeit	119
2.15.4	Brandverhalten	119
2.15.5	Lackierbarkeit	119
2.15.6	Elektrische Eigenschaften	119
2.15.7	Herstellen von Folien	120
	Literatur zu Abschnitt 2.15	120
2.16	Fasern	121
2.16.1	Eigenschaften	121
2.16.2	Herstellung	122
	Literatur zu Abschnitt 2.16	122
2.17	Beschichtungen aus PPS	122
2.17.1	Beschichtungsverfahren	122
2.17.2	Eigenschaften der Beschichtungen	123
	Literatur zu Abschnitt 2.17	123
2.18	Thermoplastische Hochleistungsverbundwerkstoffe (<i>Dr. R. Becker</i>)	124
2.18.1	Definition und Abgrenzung der Hochleistungsverbundwerkstoffe	124
2.18.1.1	Physikalische Prozesse während des Imprägnierens	124
2.18.1.2	Haftungsmechanismen	125
2.18.1.3	Verbesserung der Haftung	125
2.18.2	Wichtige Imprägniertechniken für PPS	127
2.18.2.1	Pulverimprägnierung	127
2.18.2.2	„film-stacking“	127
2.18.2.3	Mischsysteme aus Thermoplast- und Verstärkungsfasern	128
2.18.2.4	Pultrusionsverfahren	128
2.18.2.5	Verarbeiten vorimprägnierter Linearprofile	128
2.18.2.6	Verarbeiten von Plattenhalbleugen	129
2.18.3	Eigenschaften von Hochleistungsverbundwerkstoffen mit PPS-Matrix im Vergleich zu Metallen	130
	Literatur zu Abschnitt 2.18	132
2.19	Anwendungen	133
2.20	Zulassungen im Lebensmittelbereich	138
	Literatur zu Abschnitt 2.20	138
2.21	Marktentwicklung der Polyarylensulfide	138

2.22 Handelsprodukte	139
2.22.1 Harzhersteller	139
2.22.2 Compound-Hersteller	140
3 Polysulfone	
(C. Van Weynsberghe)	141
3.1 Einführung	141
3.2 Chemie, Polymerisation und analytische Charakterisierung	142
3.2.1 Struktur-Eigenschafts-Beziehung	142
3.2.2 Technische Polymerisationssysteme	143
3.2.3 Analytische Charakterisierung	144
3.3 Eigenschaften	150
3.3.1 Allgemeine und physikalische Eigenschaften	150
3.3.2 Mechanische Eigenschaften	151
3.3.2.1 Temperatureinfluß	152
3.3.2.2 Kriechdehnung	153
3.3.2.3 Hydrolysebeständigkeit	154
3.3.3 Thermische und Brennbarkeitseigenschaften	157
3.3.4 Elektrische Eigenschaften	160
3.3.5 Chemikalien- und Strahlenbeständigkeit	161
3.3.5.1 Chemikalienbeständigkeit	161
3.3.5.2 Strahlenbeständigkeit	162
3.4 Zulassungen, Gesundheits- und Sicherheitsinformationen	163
3.5 Verarbeitung	166
3.5.1 Rheologische Eigenschaften von Polysulfon	166
3.5.2 Spritzgießen	167
3.5.2.1 Vorbereiten von Material und Maschinen	167
3.5.2.2 Praktische Aspekte des Spritzgießens	168
3.5.2.2.1 Empfohlene Schmelze- und Werkzeugtemperatur	168
3.5.2.2.2 Maschinenauswahl und Richtlinien für den Formenbau	170
3.5.2.2.3 Einfluß der Verarbeitungsparameter auf den Schmelzefluß	171
3.5.2.2.4 Wirtschaftliche Aspekte der Polysulfon-Verarbeitung	173
3.5.2.2.5 Fehlersuche und -beseitigung	175
3.5.2.2.6 Datenbank-Informationen	175
3.5.2.3 Abschalten der Maschine und Nachbearbeitung der Teile	176
3.5.2.4 Einfärben	179
3.5.3 Weitere Verarbeitungsverfahren	179
3.5.3.1 Extrusion	179
3.5.3.1.1 Anforderungen an die Maschinen	179
3.5.3.1.2 Extrusionsverfahren	180
3.5.3.2 Blasformen	181
3.5.3.3 Warmformen	182
3.6 Nachbearbeitung	183
3.6.1 Fügen	183
3.6.2 Bedampfen	185
3.6.3 Lackieren	185
3.6.4 Mechanische Bearbeitung	186

3.7 Gefülltes und modifiziertes Polysulfon	186
3.7.1 Eigenschaften	186
3.7.1.1 Glasfaserverstärktes Polysulfon	186
3.7.1.2 Modifizierte Polysulfone	187
3.7.1.2.1 Mindel A-670	187
3.7.1.2.2 Mindel B-Serie	187
3.7.1.2.3 Mindel M-Serie	193
3.7.1.2.4 Mindel S-1000	193
3.7.2 Verarbeitung	194
3.7.2.1 Glasfaserverstärktes Polysulfon	194
3.7.2.2 Modifizierte Polysulfone	195
3.7.2.2.1 Mindel A-670	195
3.7.2.2.2 Mindel B-322	195
3.7.2.2.3 Mindel S-1000	196
3.8 Anwendungen	197
3.8.1 Anwendungen für nicht modifiziertes Polysulfon	197
3.8.1.1 Mikrowellengeschirr	197
3.8.1.2 Handhabung von Lebensmitteln	199
3.8.1.3 Haushaltgeräte	200
3.8.1.4 Medizinische Anwendungen	200
3.8.1.5 Lebensmittelverarbeitung	202
3.8.1.6 Elektrische Batterien	202
3.8.1.7 Beleuchtung	203
3.8.1.8 Chemische Industrie	203
3.8.1.9 Kfz-Industrie	203
3.8.1.10 Elektrotechnik, Elektronikindustrie	204
3.8.2 Anwendungen für gefüllte und modifizierte Polysulfone	204
3.8.2.1 Gefüllte Polysulfone	204
3.8.2.2 Mindel A-670	205
3.8.2.3 Mindel B-Serie	205
3.8.2.4 Mindel S-1000	205
3.9 Weitere Polyarylethersulfone	207
3.9.1 Radel A-Polyethersulfon	207
3.9.1.1 Eigenschaften	207
3.9.1.2 Verarbeitung	210
3.9.2 Radel R-Polyphenylsulfon	210
3.9.2.1 Radel R-5000	210
3.9.2.2 Radel R-7000/R-7200/R-7700	212
3.9.3 Sulfoniertes Polysulfon	215
3.9.3.1 Anwendungen	216
Literatur zu Kapitel 3	217
4 Flüssigkristalline Polyester	
(Dr. H.-R. Dicke, Dr. B. Willenberg, Dr. V. Eckhardt)	219
4.1 Einleitung	219
4.2 Begriffe und Geschichte	219
4.3 Chemischer Aufbau	223

4.3.1 LC-Polyester mit flexiblen Spacer-Monomeren	225
4.3.2 LC-Polyester mit substituierten Bausteinen	227
4.3.3 LC-Polyester mit gewinkelten Einheiten	228
4.3.4 LCC-Polyester mit „Crankshaft“-Einheiten	232
4.4 Herstellen von thermotropen LC-Polyestern	234
4.5 Modifizieren von LC-Polyestern	236
4.6 Blends mit LC-Polyestern	237
4.7 Eigenschaften der Schmelze	238
4.7.1 Struktur der flüssigkristallinen Schmelze	238
4.7.2 Rheologische Eigenschaften	239
4.8 Prinzipien der Verarbeitung von LC-Polymeren	240
4.8.1 Anisotropie	240
4.8.2 Prinzipien der Orientierungseinstellung	242
4.8.3 Einstellung und Beeinflussung der Orientierung beim Spritzgießen	242
4.8.4 Einstellung und Beeinflussung der Orientierung bei der Extrusion	245
4.9 Morphologie des Festkörpers	246
4.10 Verarbeitungshinweise	248
4.10.1 Vortrocknung	248
4.10.2 Spritzgießen	248
4.10.3 Extrusion	250
4.11 Eigenschaften und Produkte	251
4.11.1 Mechanische Eigenschaften	252
4.11.2 Thermische Eigenschaften	253
4.11.3 Elektrische Eigenschaften	253
4.11.4 Chemische Eigenschaften	255
4.12 Anwendungen	255
Literatur zu Kapitel 4	258

5 Polyimide

(Dr. C. E. Sroog)	263
5.1 Synthese von Polyimiden	263
5.1.1 Zweistufige Synthese über Poly(amidsäure)	263
5.1.1.1 Synthese der Poly(amidsäure)	263
5.1.1.2 Umwandlung der Poly(amidsäure)	264
5.1.2 Synthese in phenolischer Lösung	265
5.1.3 Synthese durch Umsetzung von Dianhydriden mit Diisocyanaten	265
5.1.4 Synthese über Diels-Alder-Kondensation	265
5.2 Struktur-Eigenschafts-Beziehungen	266
5.2.1 Wärmebeständigkeit	266
5.2.2 Hydrolysebeständigkeit	267
5.2.3 Strahlenbeständigkeit	268
5.2.4 Physikalische und elektrische Eigenschaften	268
5.2.5 Kristallin-amorphe Übergänge bei Polyimiden	268
5.3 Eigenschaften	270

5.3.1 Löslichkeit	270
5.3.2 Schmelzfließfähigkeit	270
5.3.3 Vernetzung	271
5.4 Anwendungen	272
5.4.1 Elektronik	272
5.4.2 Gedruckte Schaltungen	274
5.4.3 Polymer-Verbundwerkstoffe	275
5.4.4 Farblose Polyimide	277
5.4.5 Polyimidfolien	277
5.4.5.1 Eigenschaftsbild von Polyimidfolien	278
5.4.5.2 Folienverstreckung	284
5.4.6 Polyimid-Formteile	284
5.4.7 Polyimid-Modifikationen	288
5.4.7.1 Polyamidimide	288
5.4.7.2 Polyetherimide	288
5.4.8 Polyimidfasern	288
5.4.9 Polyimid-Trennmembranen	290
5.4.10 Hohlfasern	291
5.4.11 Polyimidschaumstoffe	292
5.4.12 Polyimidbeschichtungen	292
Literatur zu Kapitel 5	293

6 Polyetherimide

(Prof. Dr. J. Bussink, J. van Helmond)	297
6.1 Einleitung	297
6.2 Chemie und Grundeigenschaften	298
6.3 Handelsprodukte	303
6.3.1 Glasfaserverstärkte Polyetherimide	303
6.3.2 Entformungsmittel	304
6.3.3 Einstellungen zum Herstellen von Lagern	304
6.4 Eigenschaften	304
6.4.1 Mechanische Eigenschaften	304
6.4.1.1 Mechanisches Kurzzeitverhalten	305
6.4.1.2 Fließnahtfestigkeit	306
6.4.1.3 Schlag- und Kerbempfindlichkeit	306
6.4.1.4 Eigenschaften bei Verwendung als Lagermaterial	307
6.4.1.5 Kriechfestigkeit	308
6.4.1.6 Zulässige Spannungs- und Dehnungsmaxima	309
6.4.2 Thermische Eigenschaften	310
6.4.2.1 Glasübergangstemperatur	310
6.4.2.2 Wärmeformbeständigkeit bei Belastung (DTUL und Vicat-Temperatur)	311
6.4.2.3 Dauergebrauchstemperatur	311
6.4.3 Brennbarkeit	312
6.4.4 Elektrische Eigenschaften	313
6.4.4.1 Dielektrizitätskonstante	314
6.4.4.2 Dielektrischer Verlustfaktor	314
6.4.4.3 Durchschlagfestigkeit	315

XVIII Inhaltsverzeichnis

6.4.4.4 Spezifischer Durchgangswiderstand	315
6.4.4.5 Kriechstromfestigkeit	315
6.4.5 Beständigkeit gegen Umwelteinflüsse	315
6.4.5.1 Spannungsrißkorrosion	315
6.4.5.2 Hydrolysebeständigkeit	316
6.4.5.3 Strahlenbeständigkeit	317
6.4.5.4 Sterilisationsbeständigkeit	317
6.4.6 Optische Eigenschaften	317
6.5 Verarbeitung	318
6.5.1 Spritzgießen	318
6.5.1.1 Ausrüstung	318
6.5.1.2 Vortrocknung des Materials	320
6.5.1.3 Spritzbedingungen	321
6.5.1.4 Reinigen	322
6.5.1.5 Regranulierung	322
6.5.1.6 Schwindung	322
6.5.2 Extrusion	322
6.5.2.1 Ausrüstung	322
6.5.2.2 Materialvorbereitung	323
6.5.2.3 Extrusionsbedingungen	324
6.6 Analytik	325
6.6.1 Identifizierung	325
6.6.2 Qualitätskontrolle	325
6.7 Anwendungen	326
6.7.1 Wärmebeständigkeit	326
6.7.2 Festigkeit	327
6.7.3 Dimensionsstabilität	327
6.8 Neuentwicklungen	328
6.8.1 PEI-Blends	334
6.8.2 PEI-Block-Copolymere	335
Literatur zu Kapitel 6	335

7 Polyamidimide

(Dr. J. Felberg)	337
7.1 Einleitung	337
7.2 Synthesemethoden	337
7.2.1 Reaktion von Diaminen mit Säureanhydriden	338
7.2.2 Bildung einer Imid- oder Amidvorstufe und nachfolgende Polymerisation mit einem Diamin oder Dianhydrid	339
7.2.3 Synthese auf der Basis von Isocyanaten	341
7.3 Struktur-Eigenschafts-Beziehungen	343
7.4 Blends und Legierungen	344
7.5 Eigenschaften	345
7.5.1 Thermische Eigenschaften	345
7.5.2 Mechanische Eigenschaften	346
7.5.3 Brandverhalten	348

7.5.4 Elektrische Eigenschaften	349
7.5.5 Chemikalienbeständigkeit	349
7.5.6 Reibung und Verschleiß	350
7.6 Verarbeitung	350
7.7 Anwendungen	353
7.7.1 Elektrotechnik	353
7.7.2 Lager und Verschleißoberflächen	353
7.7.3 Dichtungen und Auflageflächen	354
7.7.4 Luft- und Raumfahrt	355
7.7.5 Sonstige Anwendungen	355
Literatur zu Kapitel 7	356

8 Poly(aryletherketone)

(Dr. V. Eckhardt, Dr. S. Dorf, W. E. Kelly, Dr. M. Matzner)

8.1 Einleitung	359
8.2 Herstellung	360
8.2.1 Friedel-Crafts-Acylierung	360
8.2.2 Nucleophile Substitution	361
8.3 Eigenschaften	362
8.3.1 Mechanische Eigenschaften	366
8.3.2 Thermische Eigenschaften	367
8.3.3 Brandverhalten	368
8.3.4 Beständigkeit gegen Umwelteinflüsse	368
8.3.5 Sonstige Eigenschaften	370
8.4 Blends	370
8.5 Verarbeitung	374
8.6 Anwendungen	376
8.6.1 Extrusionsprodukte	376
8.6.2 Spritzgießprodukte	377
8.6.3 Verbundwerkstoffe	379
8.6.4 Beschichtungen	379
8.7 Handelsprodukte	380
8.7.1 Anbieter von Poly(aryletherketonen)	380
8.7.2 Marktvolumen und Kapazitäten	382
Literatur zu Kapitel 8	383
Sachwortregister	385