

Inhalt

Vorwort zur dritten Auflage	V
Vorwort	VI
Hinweise zur Benutzung des Buches.....	IX
1 Einführung.....	1
1.1 Werkstoffklassen	1
1.2 Bedeutung der Kunststoffe	3
1.2.1 Wachstumsursachen	4
1.2.1.1 Die Petrochemie als Rohstofflieferant.....	4
1.2.1.2 Leichtgewicht Kunststoff	4
1.2.1.3 Energiegünstiges Verhalten	4
1.2.1.4 Komplexe Formteilgeometrien und hoher Automatisierungsgrad.....	5
1.2.1.5 Nutzung von Synergien	5
1.2.2 Kunststoffe und die Grundbedürfnisse des Menschen	6
1.2.2.1 Nahrung.....	6
1.2.2.2 Gesundheit	7
1.2.2.3 Kleidung	7
1.2.2.4 Wohnung.....	8
1.2.2.5 Kommunikation.....	8
1.3 Geschichte der Kunststoffe	8
1.3.1 Kurzer Abriss der Entwicklung der Polymerwissenschaften (ohne Copolymeren und Blends)	11
1.4 Zukunft der Kunststoffe – Prognosen	22
1.4.1 Pro-Kopf-Verbrauch von Kunststoff-Werkstoffen.....	23
1.4.2 Erwartungen an Polymere.....	24
1.4.3 Zukünftige Rohstoffquellen.....	24
1.5 Wirtschaftsdaten und Grafiken zu Kunststoffen.....	27
1.5.1 Einteilung der Kunststoffe nach Bedarf und Anwendungsbereichen.....	27
1.5.1 Einteilung der Kunststoffe nach ihrem Eigenschaftsprofil....	29
2 Grundlagen.....	31
2.1 Was sind Kunststoffe	32

2.1.1	Einteilung der Kunststoffe	35
2.1.2	Makromolekül-Architektur/Topologie	35
2.2	Bildungsreaktionen für Makromoleküle – Polyreaktionen	39
2.2.1	Kettenpolymerisation.....	39
2.2.1.1	Radikalische Kettenpolymerisation	40
2.2.1.2	Kationische Kettenpolymerisation.....	44
2.2.1.3	Anionische Kettenpolymerisation	46
2.2.1.4	Koordinative Kettenpolymerisation/Polyinsertion ..	47
2.2.1.5	Homo- und Copolymerisate.....	49
2.2.1.6	Chemische Vernetzung durch Kettencopolymerisation	50
2.2.1.7	Verfahrenstechnik der Kettenpolymerisation.....	51
2.2.1.8	Plasmapolymerisation	55
2.2.2	Kondensationspolymerisation (Polykondensation)	56
2.2.3	Additionspolymerisation (Polyaddition)	59
2.2.4	Verfahrenstechnik der Kondensationspolymerisation und Additionspolymerisation	60
2.2.5	Einteilung nach dem Typ der Aufbaureaktionen.....	62
2.2.6	Chemische Umsetzungen an Makromolekülen	62
2.2.6.1	Vergrößerung des Polymerisationsgrads.....	63
2.2.6.2	Beibehaltung des Polymerisationsgrads	63
2.2.6.3	Verringerung des Polymerisationsgrads	63
2.2.6.4	Chemische Umsetzungen an makromolekularen Naturstoffen	64
2.3	Bindungskräfte in makromolekularen Systemen	64
2.3.1	Hauptvalenzbindungen	65
2.3.2	Nebenvalenzbindungen	68
2.3.3	Ionenbindungen	71
2.3.4	Mechanische Bindungen	72
2.4	Strukturmerkmale von Kunststoffen	73
2.4.1	Chemische Struktur.....	73
2.4.1.1	Konstitution	74
2.4.1.2	Konfiguration.....	79
2.4.2	Festkörperstruktur	81
2.4.2.1	Räumliche Anordnung eines Makromoleküls.....	82
2.4.2.2	Räumliche Anordnung mehrerer Makromoleküle zu einem Verband.....	83
2.4.2.3	Kristallinität	85
2.4.3	Mittlere Molmasse \bar{M} und Molmassenverteilung	86
2.4.3.1	Kettenlänge.....	87
2.4.3.2	Molmasse M bei niedermolekularen Verbindungen ..	88

Inhalt

2.4.3.3	Mittlere Molmasse \bar{M} und Molmassenverteilung bei hochmolekularen Verbindungen.....	88
2.4.3.4	Mittlerer Polymerisationsgrad.....	90
2.4.3.5	Beeinflussung von Eigenschaften durch die mittlere Molmasse.....	90
2.5	Modifizierung von Polymeren und Kunststoffen.....	91
2.5.1	Chemisches Modifizieren von Polymeren	92
2.5.1.1	Steuerung von Synthesereaktionen.....	92
2.5.1.2	Copolymerisation.....	92
2.5.1.3	Andere chemische Modifikationen.....	93
2.5.2	Physikalische Modifizierung von Polymeren und Kunststoffen	93
2.5.2.1	Polymergemische und Polymerblends.....	93
2.5.2.2	Erhöhung der Ordnung in Polymeren	94
2.5.3	Modifizieren mit Zusatzstoffen (Additive)	95
2.5.3.1	Füllstoffe	97
2.5.3.2	Verstärkungsstoffe	97
2.5.3.3	Weichmacher.....	98
2.5.3.4	Treibmittel.....	99
2.5.3.5	Farbmittel	99
2.5.3.6	Stabilisatoren.....	100
2.5.3.7	Flammhemmende Zusätze.....	100
2.5.3.8	Weitere Additivgruppen	101
2.6	Wichtige Eigenschaften der Kunststoffe.....	102
2.6.1	Fließverhalten (Rheologie) von Kunststoff-Schmelzen	102
2.6.1.1	Viskositätsfunktionen von Thermoplastschmelzen ..	104
2.6.1.2	Zeitverhalten von thermisch instabilen Thermo-plast-Schmelzen und reagierenden Formmassen ..	107
2.6.2	Thermisch-mechanisches Verhalten	109
2.6.2.1	Thermoplaste	109
2.6.2.2	Elastomere und Duroplaste	112
2.6.3	Chrono-mechanisches Verhalten	114
2.6.4	Verhalten gegen Umwelteinflüsse.....	116
2.6.4.1	Chemische Beständigkeit	116
2.7	Alterung und Alterungsschutz	119
2.7.1	Alterung und Alterungsvorgänge.....	119
2.7.1.1	Chemische Alterungsvorgänge	120
2.7.1.2	Physikalische Alterungsvorgänge	122
2.7.2	Alterungsschutz	123
2.8	Chemische Reaktionen bei der Kunststoffverarbeitung	126
2.8.1	Chemische Reaktionen im Aufgabenbereich des Verarbeiters..	127

2.8.1.1	Gezielte chemische Reaktionen während der Verarbeitung	127
2.8.1.2	Unerwünschte chemische Reaktionen während der Verarbeitung als Begleiterscheinung	128
2.8.1.3	Chemische Reaktionen außerhalb der Verarbeitung, jedoch vom Verarbeiter durch Zugabe von Hilfsmitteln beeinflussbar	128
2.8.2	Kunststofferzeugung beim Verarbeiter	128
3	Technologie der Verarbeitung von Kunststoffen	131
3.1	Allgemeines	131
3.2	Begriffe und Einteilung der Fertigungsverfahren nach DIN 8850	132
3.3	Prinzip der wichtigsten Ver- und Bearbeitungsverfahren	133
3.4	Aufbereitung	134
3.4.1	Einteilung der Aufbereitungsverfahren	135
3.4.1.1	Mischen	136
3.4.1.2	Granulieren	138
3.4.1.3	Zerkleinern	139
3.4.1.4	Vortrocknen	140
3.5	Urformen	141
3.5.1	Extrudieren (Strangpressen)	142
3.5.1.1	Aufbau eines Extruders	143
3.5.1.2	Beispiele typischer Extrusionsanlagen	148
3.5.2	Blasformen	152
3.5.2.1	Extrusionsblasformen	152
3.5.2.2	Extrusions-Streckblasformen	155
3.5.2.3	Spritzblasformen	156
3.5.2.4	Spritz-Streckblasformen	156
3.5.3	Spritzgießen	157
3.5.3.1	Verfahrenstechnik beim Spritzgießen	157
3.5.3.2	Spritzgießmaschine	158
3.5.3.3	Einflussgrößen auf die Formteilqualität beim Spritzgießen	161
3.5.3.4	Sonderverfahren der Spritzgießtechnik	162
3.5.3.5	Spritzgießen von vernetzenden Polymeren	167
3.5.4	Pressen, Spritzpressen, Schichtpressen	167
3.5.4.1	Pressen von Duroplasten	168
3.5.4.2	Pressen von Thermoplasten	169
3.5.4.3	Spritzpressen von Duroplasten	169
3.5.4.4	Schichtpressen von Duroplasten	170

Inhalt

3.5.5	Kalandrieren.....	170
3.5.5.1	Bauarten des Kalanders	170
3.5.5.2	Verfahrenstechnik beim Kalandrieren	171
3.5.6	Spinnverfahren.....	172
3.5.6.1	Grundlagen des Spinnprozesses	173
3.5.6.2	Herstellung von Chemiefasern	174
3.5.6.3	Textile Definitionen.....	178
3.5.6.4	Textile Flächengebilde.....	179
3.5.7	FVK-Urformen	180
3.5.7.1	Prepregverarbeitung	181
3.5.7.2	Faserspritzen	181
3.5.7.3	Faserwickeln	182
3.5.7.4	Pultrusion	182
3.5.7.5	RTM-Verfahren.....	182
3.5.7.6	Handlaminieren	184
3.5.8	Schäumen	185
3.5.8.1	Herstellung eines Schaumstoffes.....	186
3.5.8.2	Einteilung der Schäumverfahren.....	187
3.5.8.3	Polystyrol-Schaumstoffe	188
3.5.8.4	Polyurethan-Schaumstoffe	190
3.5.9	Gießen.....	196
3.5.9.1	Vakuumgießen	197
3.5.9.2	Rotationsformen (Rotationsgießen).....	199
3.5.9.3	Schleuderverfahren (Schleudergießen)	200
3.5.9.4	Filmgießen (Foliengießen).....	200
3.5.9.5	Einbetten, Imprägnieren, Tränken	201
3.5.10	Tauchformen	201
3.5.11	Rapid Prototyping (RP)	202
3.6	Umformen	204
3.6.1	Unterschiede im Warmformbereich zwischen amorphen und teilkristallinen Thermoplasten.....	204
3.6.2	Einteilung der Warmformverfahren für Thermoplaste.....	205
3.6.2.1	Biegeumformen	205
3.6.2.2	Zugumformen	205
3.6.2.3	Druckumformen	207
3.6.2.4	Zugdruckumformen	207
3.6.2.5	Kombinierte Verfahren	208
3.6.3	Verfahrenstechnik beim Warmformen	208
3.6.4	Thermoformmaschinen.....	210
3.6.5	Vor- und Nachteile des Warmformens	212

3.7	Trennen (Spanen).....	212
3.8	Fügen	214
3.8.1	Schweißen.....	214
3.8.1.1	Heizelementschweißen	216
3.8.1.2	Warmgasschweißen.....	217
3.8.1.3	Strahlungsschweißen.....	217
3.8.1.4	Reibungsschweißen.....	218
3.8.1.5	Induktionsschweißen	219
3.8.2	Kleben.....	219
3.8.2.1	Grundlagen.....	219
3.8.2.2	Abbindemechanismus der Klebung.....	220
3.8.2.3	Verfahrenstechnik	221
3.8.3	Mechanische Verbindungen	222
3.9	Beschichten	222
3.9.1	Einteilung der Beschichtungsverfahren	222
3.9.2	Streichverfahren	223
3.9.3	Pulverbeschichten.....	224
3.10	Veredeln	225
3.10.1	Lackieren von Kunststoffen	226
3.10.2	Bedrucken von Kunststoffen	226
3.10.3	Laserbeschriften	228
3.10.4	Heißprägen	228
3.10.5	Metallisieren.....	228
3.10.6	Beflocken	230
3.10.7	Plasmabeschichten	230
3.10.8	Tempern	231
3.10.9	Konditionieren	232
3.10.10	Bestrahlen	232
4	Polyolefine	235
4.1	Polyethylen (PE).....	235
4.1.1	Das Wichtigste in Kürze	235
4.1.2	Handelsnamen (Beispiele)	235
4.1.3	Eigenschaften.....	236
4.1.4	Verarbeitung (Beispiele)	237
4.1.5	Anwendungsbeispiele.....	238
4.1.6	Der Weg zum Polyethylen	238
4.1.6.1	Hochdruckverfahren.....	239
4.1.6.2	Niederdruckverfahren.....	240
4.1.7	Der molekulare Aufbau des Polyethylens	241

Inhalt

4.2	Modifizierte Ethylen-Polymerisate.....	244
4.2.1	Unpolare Ethylen-Copolymere.....	245
4.2.1.1	Ethylen-Copolymere mit α -Olefinen.....	245
4.2.1.2	Metallocen-katalysierte Ethylencopolymere (PE-MC)	245
4.2.1.3	Polyethylene mit multimodaler Molmassen- verteilung.....	246
4.2.1.4	Cycloolefin-Copolymere (COC).....	247
4.2.2	Polare Ethylen-Copolymere.....	247
4.2.2.1	Ethylen-Copolymere mit ungesättigten Estern	247
4.2.2.2	Ethylen-Copolymere mit ungesättigten Alkoholen..	249
4.2.2.3	Ethylen-Copolymere mit ungesättigten Carbon- säuren bzw. ihren Salzen	250
4.2.2.4	Polyketone (PK).....	251
4.2.3	Chemisch abgewandeltes Polyethylen	251
4.2.3.1	Abwandlung durch Vernetzen.....	251
4.2.3.2	Abwandlung durch chemische Veränderungen	254
4.3	Polypropylen (PP)	254
4.3.1	Das Wichtigste in Kürze	254
4.3.2	Handelsnamen (Beispiele).....	255
4.3.3	Eigenschaften	255
4.3.4	Verarbeitung (Beispiele).....	255
4.3.5	Anwendungsbeispiele	256
4.3.6	Der Weg zum Polypropylen	256
4.3.7	Der molekulare Aufbau des Polypropylens	257
4.3.7.1	Isotaktisches Polypropylen (PP-i).....	258
4.3.7.2	Syndiotaktisches Polypropylen (PP-s)	260
4.3.7.3	Ataktisches Polypropylen (PP-a)	260
4.4	Modifizierte Propylen-Polymerisate	261
4.4.1	Propylen-Copolymere.....	261
4.4.1.1	Random-(statistische) Copolymere (PP-R)	261
4.4.1.2	Heterophasische Copolymere	261
4.4.2	Polymerblends	262
4.4.3	Gefüllte und verstärkte Polypropylene	262
4.4.4	Anwendungsbeispiele von modifizierten Propylenpolymerisaten.....	263
4.4.4.1	Propylen/Ethylen-Copolymerisate	263
4.4.4.2	PP/EPM- und PP/EPDM-Werkstoffe	263
4.5	Polyisobutylen (PIB)	263
4.5.1	Handelsnamen (Beispiele).....	263
4.5.2	Eigenschaften	263

4.5.3	Verarbeitung (Beispiele)	264
4.5.4	Anwendungsbeispiele.....	264
4.5.5	Der Weg zum Polyisobutylen.....	264
4.6	Polybuten-1 (PB-1)	265
4.6.1	Handelsnamen (Beispiele)	265
4.6.2	Eigenschaften, Verarbeitung und Anwendung	265
4.6.3	Der Weg zum Polybuten-1.....	266
4.7	Poly-4-methylpenten-1 (PMP)	266
4.7.1	Handelsname (Beispiel)	266
4.7.2	Eigenschaften.....	266
4.7.3	Verarbeitung (Beispiele)	267
4.7.4	Anwendungsbeispiele.....	267
4.7.5	Der Weg zum Poly-4-methylpenten-1	267
4.8	Geschichtliches	268
4.9	Tabellarischer Eigenschaftsvergleich	269
5	Chlor-Kunststoffe.....	273
5.1	Hart-Polyvinylchlorid (PVC-U) (Hart-PVC, weichmacherfreies PVC)	273
5.1.1	Das Wichtigste in Kürze über Hart-Polyvinylchlorid.....	273
5.1.2	Handelsnamen (Beispiele)	273
5.1.3	Eigenschaften.....	273
5.1.4	Verarbeitung (Beispiele)	275
5.1.5	Anwendungsbeispiele.....	275
5.1.6	Der Weg zum Polyvinylchlorid	276
5.2	Modifizierte Vinylchlorid-Polymerivate	279
5.2.1	Vinylchlorid-Copolymere	280
5.2.1.1	Einteilung	280
5.2.1.2	Eigenschaften, Verarbeitung und Anwendung	281
5.2.1.3	Der Weg zu den Vinylchlorid-Copolymeren.....	282
5.2.2	Besonders schlagfestes Polyvinylchlorid (PVC-HI)	282
5.2.2.1	Eigenschaften, Verarbeitung und Anwendung	282
5.2.2.2	Der Weg zum besonders schlagfesten Polyvinylchlorid.....	282
5.2.3	Chloriertes Polyvinylchlorid (PVC-C)	284
5.2.3.1	Eigenschaften, Verarbeitung und Anwendung	284
5.2.3.2	Der Weg zum chlorierten Polyvinylchlorid	284
5.3	Weich-Polyvinylchlorid (PVC-P) (Weich-PVC, weichmacherhaltiges PVC)	285
5.3.1	Das Wichtigste in Kürze über Weich-Polyvinylchlorid	285
5.3.2	Handelsnamen (Beispiele)	285

Inhalt

5.3.3	Eigenschaften	285
5.3.4	Verarbeitung (Beispiele).....	286
5.3.5	Anwendungsbeispiele	286
5.3.6	Der Weg zum Weich-Polyvinylchlorid	287
5.3.6.1	Weichmacher.....	287
5.3.6.2	Einarbeitung von Weichmachern.....	289
5.4	Chloriertes Polyethylen (PE-C)	291
5.4.1	Eigenschaften, Verarbeitung und Anwendung	291
5.4.2	Der Weg zum chlorierten Polyethylen	291
5.5	Polyvinylidenchlorid (PVDC)	292
5.5.1	Das Wichtigste in Kürze	292
5.5.2	Handelsnamen (Beispiele).....	293
5.5.3	Eigenschaften, Verarbeitung und Anwendung von Vinylidenchlorid-Copolymerisaten	293
5.5.4	Der Weg zu den Vinylidenchlorid-Copolymerisaten.....	293
5.6	Geschichtliches.....	294
5.7	Tabellarischer Eigenschaftsvergleich	294
6	Polystyrol-Kunststoffe.....	297
6.1	Das Wichtigste in Kürze über Polystyrol-Kunststoffe	297
6.2	Polystyrol (PS).....	298
6.2.1	Handelsnamen (Beispiele).....	298
6.2.2	Ataktisches Polystyrol.....	298
6.2.2.1	Eigenschaften	298
6.2.2.2	Verarbeitung (Beispiele).....	299
6.2.2.3	Anwendungsbeispiele	299
6.2.2.4	Der Weg zum Polystyrol	299
6.2.3	Stereoreguläre Polystyrole	301
6.3	Modifizierte Styrolpolymere (Abschnitt 6.4 bis 6.8).....	302
6.4	Styrol-Acrylnitril-Copolymerisat (SAN)	303
6.4.1	Handelsnamen (Beispiele).....	303
6.4.2	Eigenschaften und Verarbeitung	303
6.4.3	Anwendungsbeispiele	304
6.4.4	Der Weg zum Styrol-Acrylnitril.....	304
6.5	Schlagzäh modifiziertes Polystyrol (PS-I) (Styrol-Butadien SB).....	305
6.5.1	Handelsnamen (Beispiele).....	305
6.5.2	Eigenschaften	305
6.5.3	Verarbeitung (Beispiele).....	306
6.5.4	Anwendungsbeispiele	306
6.5.5	Der Weg zum schlagzähnen Polystyrol.....	306

6.6	Acrylnitril-Butadien-Styrol-Polymerisate (ABS)	309
6.6.1	Handelsnamen (Beispiele)	310
6.6.2	Eigenschaften.....	310
6.6.3	Verarbeitung (Beispiele)	310
6.6.4	Anwendungsbeispiele.....	310
6.6.5	Der Weg zum Acrylnitril-Butadien-Styrol	311
6.7	Schlagzähe Acrylnitril-Styrol-Formmassen (ASA, AES, ACS).....	313
6.7.1	Handelsnamen (Beispiele)	313
6.7.2	Eigenschaften, Verarbeitung und Anwendung von Acrylnitril-Styrol-Acrylat (ASA)	313
6.7.3	Der Weg zum Acrylnitril-Styrol-Acrylat	314
6.8	Blends	315
6.8.1	PS-I + PPE Blends	315
6.8.2	ABS + PC bzw. ASA + PC Blends	315
6.8.3	ABS + PA Blends	316
6.9	Geschichtliches zu den Styrolpolymeren.....	316
6.10	Tabellarischer Eigenschaftsvergleich	317
7	Ester-Thermoplaste	323
7.1	Ester-Gruppe in der Hauptkette	324
7.1.1	Polyalkylenterephthalate (gesättigte Polyester) (PET, PBT) und Polyethylenphthalat (PEN)	324
7.1.1.1	Das Wichtigste in Kürze über Polyalkylenterephthalate	324
7.1.1.2	Der Weg zu den Polyalkylenterephthalaten.....	324
7.1.1.3	Polyethylenterephthalat (PET)	326
7.1.1.4	Polybutylenterephthalat (PBT).....	328
7.1.1.5	Modifizierte Polyalkylenterephthalate.....	328
7.1.1.6	Polyethylenphthalat (PEN)	330
7.1.1.7	Geschichtliches.....	330
7.1.2	Polycarbonat (PC)	331
7.1.2.1	Das Wichtigste in Kürze über Polycarbonat	331
7.1.2.2	Handelsnamen (Beispiele).....	331
7.1.2.3	Eigenschaften	331
7.1.2.4	Verarbeitung (Beispiele).....	332
7.1.2.5	Anwendungsbeispiele	332
7.1.2.6	Der Weg zum Polycarbonat	333
7.1.2.7	Modifizierte Polycarbonate	335
7.1.2.8	Geschichtliches.....	337

Inhalt

7.1.3	Polyestercarbonat (PEC)	337
7.1.3.1	Das Wichtigste in Kürze.....	337
7.1.3.2	Handelsnamen (Beispiele)	337
7.1.3.3	Eigenschaften	337
7.1.3.4	Verarbeitung (Beispiele).....	338
7.1.3.5	Anwendungsbeispiele	338
7.1.3.6	Der Weg zu Polyestercarbonat	338
7.1.3.7	Geschichtliches	339
7.2	Ester in der Seitenkette	339
7.2.1	Polymethylmethacrylat (PMMA).....	339
7.2.1.1	Das Wichtigste in Kürze.....	339
7.2.1.2	Handelsnamen (Beispiele)	339
7.2.1.3	Eigenschaften	339
7.2.1.4	Verarbeitung (Beispiele).....	340
7.2.1.5	Anwendungsbeispiele	340
7.2.1.6	Der Weg zum Polymethylmethacrylat.....	340
7.2.1.7	Modifizierte Methylmethacrylat-Polymerisate.....	341
7.2.1.8	Geschichtliches	343
7.3	Celluloseester (CA, CP, CAB).....	344
7.3.1	Das Wichtigste in Kürze	344
7.3.2	Handelsnamen (Beispiele).....	344
7.3.3	Eigenschaften	344
7.3.4	Verarbeitung (Beispiele).....	345
7.3.5	Anwendungsbeispiele	345
7.3.6	Der Weg zu den Celluloseestern	345
7.3.6.1	Der Ausgangsstoff Cellulose	345
7.3.6.2	Chemische Umsetzungen an Cellulose	346
7.3.7	Geschichtliches	347
7.4	Tabellarischer Eigenschaftsvergleich	348
8	Stickstoff-Thermoplaste	357
8.1	Polyamide (PA)	357
8.1.1	Teilkristalline aliphatische Polyamide	357
8.1.1.1	Das Wichtigste in Kürze.....	357
8.1.1.2	Handelsnamen (Beispiele)	359
8.1.1.3	Eigenschaften	360
8.1.1.4	Verarbeitung (Beispiele).....	361
8.1.1.5	Anwendungsbeispiele	361
8.1.1.6	Der Weg zu den teilkristallinen aliphatischen Polyamiden	362
8.1.1.7	Wasserstoffbrücken (H-Brücken)	365

8.1.2	Modifizierte teilkristalline aliphatische Polyamide	366
8.1.2.1	Chemische Modifizierung	366
8.1.2.2	Physikalische Modifizierung	367
8.1.2.3	Anwendungsbeispiele	367
8.1.3	Teilaromatische Polyamide	368
8.1.3.1	Das Wichtigste in Kürze	368
8.1.3.2	Handelsnamen (Beispiele)	369
8.1.3.3	Eigenschaftsprofil im Vergleich zu Standard-Polyamiden	369
8.1.3.4	Verarbeitung (Beispiele)	369
8.1.3.5	Anwendungsbeispiele	370
8.1.3.6	Der Weg zu den teilaromatischen Polyamiden	370
8.1.4	Modifizierung von teilaromatischen Polyamiden	371
8.1.5	Geschichtliches	372
8.2	Polyacrylnitril PAN	373
8.2.1	Das Wichtigste in Kürze	373
8.2.2	Handelsname (Beispiel)	373
8.2.3	Eigenschaften von Polyacrylnitril-Barriere-Kunststoffen	373
8.2.4	Verarbeitung und Anwendung (Beispiele)	374
8.2.5	Der Weg zu Polyacrylnitril-Barriere-Kunststoffen	374
8.2.6	PAC-/ PAN-Fasertransformation zu Kohlenstofffasern (C-Fasern)	375
8.2.7	Geschichtliches	376
8.3	Tabellarischer Eigenschaftsvergleich	376
9	Acetal- und Ether-Thermoplaste	383
9.1	Polyoxymethylen (Polyacetal) (POM)	384
9.1.1	Das Wichtigste in Kürze	384
9.1.2	Handelsnamen (Beispiele)	384
9.1.3	Eigenschaften	384
9.1.4	Verarbeitung (Beispiele)	385
9.1.5	Anwendungsbeispiele	385
9.1.6	Der Weg zum Polyoxymethylen	386
9.1.6.1	POM-Homopolymerisat (POM-H)	386
9.1.6.2	POM-Copolymerisate (POM-Cop.)	387
9.1.6.3	Eigenschaftsunterschiede zwischen POM-Homo- und Copolymerisaten	388
9.1.7	Modifizierte Polyoxymethylen-Polymerisate	388
9.1.8	Geschichtliches	389
9.2	Polyphenylenether (PPE)	389
9.2.1	Das Wichtigste in Kürze	389

Inhalt

9.2.2	Handelsnamen (Beispiele)	390
9.2.3	Eigenschaften	390
9.2.4	Verarbeitung (Beispiele)	390
9.2.5	Anwendungsbeispiele	390
9.2.6	Der Weg zum Polyphenylenether	391
9.2.7	Weitere modifizierte Polyphenylenether	392
9.2.8	Geschichtliches	392
9.3	Tabellarischer Eigenschaftsvergleich	392
10	Fluor-Kunststoffe	395
10.1	Polytetrafluorethylen (PTFE)	395
10.1.1	Das Wichtigste in Kürze	395
10.1.2	Handelsnamen (Beispiele)	395
10.1.3	Eigenschaften	395
10.1.4	Verarbeitung (Beispiele)	396
10.1.5	Anwendungsbeispiele	397
10.1.6	Der Weg zum Polytetrafluorethylen	397
10.2	Thermoplastisch verarbeitbare Fluor-Kunststoffe	400
10.2.1	Das Wichtigste in Kürze	400
10.2.2	Fluorthermoplaste und Beispiele von Handelsnamen	401
10.2.3	Eigenschaften	401
10.2.4	Verarbeitung (Beispiele)	401
10.2.5	Anwendungen	402
10.2.5.1	Spezielle Anwendungsbeispiele	402
10.2.6	Der Weg zu den thermoplastisch verarbeitbaren Fluor-Kunststoffen	403
10.2.6.1	Perfluorethylenpropylen FEP, auch Tetrafluorethylen-Hexafluorpropylen-Copolymer	403
10.2.6.2	Perfluoroalkoxy-Copolymer (PFA)	403
10.2.6.3	Ethylen-Tetrafluorethylen-Copolymer (ETFE)	404
10.2.6.4	Polyvinylidenfluorid (PVDF)	404
10.2.6.5	Tetrafluorethylen-Hexafluorpropylen-Vinyliden-fluorid-Terpolymer TFEHFPVDF (THV)	404
10.2.6.6	Polyvinylfluorid (PVF)	404
10.2.6.7	Polychlortrifluorethylen (PCTFE)	405
10.2.6.8	Ethylen-Chlortrifluorethylen-Copolymer (ECTFE)	405
10.3	Geschichtliches zu den Fluorpolymeren	405
10.4	Tabellarischer Eigenschaftsvergleich	406
11	Duroplaste	409
11.1	Allgemeines über Herstellung und Eigenschaften	409
11.2	Phenoplaste (Phenol-Formaldehyd-Kondensationsharze) (PF)	411

11.2.1	Das Wichtigste in Kürze	411
11.2.2	Handelsnamen (Beispiele)	412
11.2.3	Eigenschaften von PF-Formstoffen	412
11.2.4	Verarbeitung (Beispiele)	414
11.2.5	Anwendungsbeispiele	414
11.2.5.1	Harzformstoffe, Harzformteile	414
11.2.5.2	Schichtpressstoffe	414
11.2.5.3	PF-Harze	414
11.2.6	Der Weg zu den Phenolharzen	415
11.2.7	Geschichtliches	419
11.3	Aminoplaste	419
11.3.1	Harnstoffharze (Harnstoff-Formaldehyd-Kondensationsharze) (UF)	419
11.3.1.1	Das Wichtigste in Kürze	419
11.3.1.2	Handelsnamen (Beispiele)	419
11.3.1.3	Eigenschaften	420
11.3.1.4	Verarbeitung, Anwendung (Beispiele)	421
11.3.1.5	Der Weg zum Harnstoffharz	421
11.3.2	Melaminharze (Melamin-Formaldehyd-Kondensationsharze) (MF)	423
11.3.2.1	Das Wichtigste in Kürze	423
11.3.2.2	Handelsnamen (Beispiele)	423
11.3.2.3	Eigenschaften	423
11.3.2.4	Verarbeitung, Anwendung (Beispiele)	423
11.3.2.5	Eigenschaften und Anwendung von modifizierten Melaminharzen (Beispiele)	424
11.3.2.6	Der Weg zum Melaminharz	424
11.3.3	Geschichtliches	426
11.4	Reaktionsharz-Duroplaste	426
11.4.1	Ungesättigte Polyesterharze (UP)	426
11.4.1.1	Das Wichtigste in Kürze	426
11.4.1.2	Handelsnamen (Beispiele)	427
11.4.1.3	Eigenschaften	427
11.4.1.4	Verarbeitung (Beispiele)	429
11.4.1.5	Anwendungsbeispiele	430
11.4.1.6	Der Weg zu den ungesättigten Polyesterharzen	431
11.4.1.7	Geschichtliches	435
11.4.2	Vinylesterharze (VE)	435
11.4.2.1	Eigenschaften	435
11.4.2.2	Verarbeitung, Anwendung (Beispiele)	435

Inhalt

11.4.2.3	Der Weg zu den Vinylesterharzen	436
11.4.2.4	Geschichtliches	436
11.4.3	Epoxidharze (EP)	437
11.4.3.1	Das Wichtigste in Kürze	437
11.4.3.2	Handelsnamen (Beispiele)	437
11.4.3.3	Eigenschaften	437
11.4.3.4	Verarbeitung (Beispiele)	438
11.4.3.5	Anwendungsbeispiele	438
11.4.3.6	Der Weg zu den Epoxidharzen	439
11.4.3.7	Geschichtliches	444
11.5	Sonstige Harze	444
11.5.1	Siliconharze	444
11.5.2	Polydiallylphthalatharze (PDAP, PDAIP)	445
11.5.3	PUR-Gießharze	446
11.5.3.1	Elastomer-Gießharze	446
11.5.3.2	Harte PUR-Harze	446
11.5.4	Cyanatester-Harze	447
12	Hochleistungspolymerne	449
12.1	Polyaryletherketone (PAEK)	450
12.1.1	Das Wichtigste in Kürze	450
12.1.2	Handelsnamen (Beispiele)	450
12.1.3	Eigenschaften	450
12.1.4	Verarbeitung (Beispiele)	451
12.1.5	Anwendungsbeispiele	452
12.1.6	Der Weg zu den Polyaryletherketonen	452
12.1.7	Geschichtliches	452
12.2	Polyarylate (PAR)	453
12.2.1	Das Wichtigste in Kürze	453
12.2.2	Handelsnamen (Beispiele)	453
12.2.3	Eigenschaften	453
12.2.4	Verarbeitung (Beispiele)	454
12.2.5	Anwendungsbeispiele	454
12.2.6	Der Weg zu den Polyarylaten	455
12.2.7	Geschichtliches	456
12.3	Flüssigkristalline Polymere (LCP)	456
12.3.1	Das Wichtigste in Kürze	456
12.3.2	Handelsnamen (Beispiele)	456
12.3.3	Eigenschaften	456
12.3.3.1	Aufbau und Struktur der LCP	456
12.3.3.2	Eigenschaften von thermotropen LCP	458

12.3.4	Verarbeitung (Beispiele)	459
12.3.5	Anwendungsbeispiele.....	459
12.3.6	Der Weg zu den flüssigkristallinen Polymeren.....	460
12.3.6.1	Herstellung der lyotropen LCP	460
12.3.6.2	Herstellung der thermotropen LCP	461
12.3.7	Geschichtliches	462
12.4	Polyimide	462
12.4.1	Das Wichtigste in Kürze	462
12.4.2	Handelsnamen (Beispiele)	462
12.4.3	Eigenschaften.....	462
12.4.4	Verarbeitung (Beispiele)	464
12.4.5	Anwendungsbeispiele.....	464
12.4.6	Der Weg zu den Polyimiden	465
12.4.7	Geschichtliches	470
12.5	Polyarylsulfone (PSU, PES, PPSU).....	471
12.5.1	Das Wichtigste in Kürze	471
12.5.2	Handelsnamen (Beispiele)	471
12.5.3	Eigenschaften.....	471
12.5.4	Verarbeitung (Beispiele)	472
12.5.5	Anwendungsbeispiele.....	472
12.5.6	Der Weg zu den Polyarylsulfonen.....	472
12.5.7	Geschichtliches	474
12.6	Polyphenylensulfid (PPS)	474
12.6.1	Das Wichtigste in Kürze	474
12.6.2	Handelsnamen (Beispiele)	474
12.6.3	Eigenschaften.....	474
12.6.4	Verarbeitung (Beispiele)	475
12.6.5	Anwendungsbeispiele.....	475
12.6.6	Der Weg zu Polyphenylensulfid.....	476
12.6.7	Geschichtliches	476
12.7	Tabellarischer Eigenschaftsvergleich	476
13	Elastomere	481
13.1	Permanent vernetzte Elastomere/Gummi	482
13.1.1	Das Wichtigste in Kürze über vernetzte Elastomere.....	482
13.1.2	Handelsnamen (Beispiele)	484
13.1.3	Eigenschaften.....	484
13.1.4	Verarbeitung (Beispiele)	486
13.1.5	Anwendungsbeispiele.....	486

Inhalt

13.1.6	Der Weg zu den permanent vernetzten Elastomeren	487
13.1.7	Geschichtliches.....	489
13.2	Reversibel vernetzte Elastomere/Thermoplastische Elastomere TPE ..	489
13.2.1	Das Wichtigste in Kürze über TPE.....	489
13.2.2	Handelsnamen (Beispiele).....	492
13.2.3	Allgemeine Eigenschaften	492
13.2.4	Einzeleigenschaften und Anwendungsbeispiele.....	495
13.2.4.1	Thermoplastische Elastomere auf Olefinbasis, TPE-O/TPE-V (TPO/TPV)	495
13.2.4.2	Thermoplastische Elastomere auf Styrolbasis, TPE-S (TPS).....	495
13.2.4.3	Thermoplastische Polyester-Elastomere, TPE-E (TPC).....	496
13.2.4.4	Thermoplastische Polyamid-Elastomere, TPE-A (TPA)	496
13.2.4.5	Thermoplastische Polyurethan-Elastomere, TPE-U (TPU).....	497
13.2.5	Der Weg zu den thermoplastischen Elastomeren.....	498
13.2.5.1	TPE-O/TPE-V (TPO/TPV)	498
13.2.5.2	TPE-S (TPS).....	499
13.2.5.3	TPE-E (TPC)	499
13.2.5.4	TPE-A (TPA)	499
13.2.5.5	TPE-U (TPU)	500
13.2.6	Geschichtliches.....	500
14	Schaumstoffe	501
14.1	Allgemeines über Herstellung und Eigenschaften	501
14.1.1	Handelsnamen (Beispiele).....	504
14.2	Polystyrol-Schaumstoffe (PS-E).....	504
14.2.1	Das Wichtigste in Kürze	504
14.2.2	Polystyrol-Hartschaumstoff, Partikel-Schaumstoff.....	504
14.2.2.1	Eigenschaften	504
14.2.2.2	Verarbeitung	505
14.2.2.3	Anwendungsbeispiele	505
14.2.3	Polystyrol-Hartschaumstoff, Extruder-Schaumstoff.....	505
14.2.3.1	Eigenschaften	505
14.2.3.2	Verarbeitung	505
14.2.3.3	Anwendungsbeispiele	505
14.2.4	Polystyrol-Integralschaumstoff.....	505
14.2.4.1	Eigenschaften	505

14.2.4.2 Verarbeitung (Beispiele).....	506
14.2.4.3 Anwendungsbeispiele	506
14.3 Polyolefin-Schaumstoffe, PO-Schaumstoffe	506
14.3.1 Das Wichtigste in Kürze.....	506
14.3.2 Eigenschaften.....	506
14.3.3 Verarbeitung (Beispiele)	507
14.3.4 Anwendungsbeispiele.....	507
14.4 Polyurethan-Schaumstoffe, PUR-Schaumstoffe	507
14.4.1 Das Wichtigste in Kürze.....	507
14.4.2 PUR-Hartschaumstoffe, (PUR-H).....	508
14.4.2.1 Eigenschaften	508
14.4.2.2 Anwendungsbeispiele	508
14.4.3 PUR-Weichschaumstoffe, (PUR-W).....	508
14.4.3.1 Eigenschaften	508
14.4.3.2 Anwendungsbeispiele	509
14.4.4 PUR-Halbhart-(semiflexible) Schaumstoffe	509
14.4.4.1 Eigenschaften	509
14.4.4.2 Anwendungsbeispiele	509
14.4.5 PUR-Integral-Hartschaumstoffe, (PUR-I).....	509
14.4.5.1 Eigenschaften	509
14.4.5.2 Anwendungsbeispiele	509
14.4.6 PUR-Integral-Halbhart- und Weichschaumstoffe	510
14.4.6.1 Eigenschaften	510
14.4.6.2 Anwendungsbeispiele	510
14.4.7 Der Weg zu den Polyurethan-Schaumstoffen.....	510
14.4.7.1 Polyurethan-Schäumsysteme.....	510
14.4.7.2 Chemie der PUR-Schäumsysteme	513
14.4.8 Geschichtliches	516
14.5 Weitere Schaumstoffe.....	517
14.5.1 Polyvinylchlorid-Schaumstoffe.....	517
14.5.2 Phenol-Formaldehyd-Schaumstoffe	517
14.5.3 Harnstoff-Formaldehyd-Schaumstoffe	517
14.5.4 Polymethacrylimid-Schaumstoffe	518
14.5.5 Gummi-Schaumstoffe	518
14.6 Tabellarischer Eigenschaftsvergleich	519
15 Kunststoffe als Sonderwerkstoffe	521
15.1 Elektrisch leitende Kunststoffe.....	521
15.1.1 Oberflächenbehandlungen	521

Inhalt

15.1.2 Elektrisch leitfähige Compounds.....	522
15.1.3 Intrinsisch elektrisch leitfähige Polymere.....	523
15.2 Funktionskunststoffe	525
15.2.1 Polymere als Datenspeicher	525
15.2.2 Polymere Leuchtdioden, Polymer-LEDs (PLEDs)	526
15.2.3 Polymere Photovoltaik (PPV)	527
15.2.4 Photoresists	529
15.3 Nanotechnologie und Kunststoffe	530
15.3.1 Anwendung von Nanoröhren (CNT) als Zusatzstoffe für Kunststoffe	531
15.3.2 Nanotechnologie als Schrittmacher in die Zukunft	532
15.4 Kunststoffe in der Medizintechnik	533
15.4.1 Polymilchsäure, Polylactid (PLA)	533
15.4.1.1 Das Wichtigste in Kürze.....	533
15.4.1.2 Handelsnamen (Beispiele)	533
15.4.1.3 Eigenschaften, Verarbeitung, Anwendung	533
15.5 Biopolymere.....	535
15.5.1 Das Wichtigste in Kürze	535
15.5.2 Biokunststoffe – Kunststoffe aus nachwachsenden (biogenen) Rohstoffen (NWR)	536
15.5.2.1 Handelsnamen (Beispiele)	536
15.5.2.2 Cellulosewerkstoffe.....	537
15.5.2.3 Stärkewerkstoffe.....	538
15.5.2.4 Werkstoffe aus dem Bioreaktor.....	539
15.5.2.5 Werkstoffe durch chemische Synthese biobasierter Rohstoffe	541
15.5.2.6 Biocomposites als Werkstoffe	541
15.5.2.7 Blends als Werkstoffe	541
15.5.3 Biologisch abbaubare Kunststoffe (BAK)	541
15.5.3.1 Biokunststoffe neu definiert	542
15.5.4 Anwendungsbeispiele und Ausblick	542
16 Arbeitssicherheit, Gesundheits- und Umweltschutz beim Umgang mit Kunststoffen.....	545
16.1 Arbeitssicherheit und Gesundheitsschutz beim Umgang mit Kunststoffen	545
16.1.1 Gewerbetoxikologische Begriffe (Auswahl)	545
16.1.2 Herstellung von Polymeren und Kunststoff-Formmassen	545
16.1.3 Verarbeitung und Prüfung von Kunststoffen	546
16.1.4 Anwendung von Kunststoffen	547

16.2 Umweltschutz beim Umgang mit Kunststoffen	548
16.2.1 Nachhaltige Entwicklung	548
16.2.2 Abfall- und Recyclinghierarchie	548
16.2.3 Grundsätzliche Aspekte beim Recycling von Kunststoffen ...	549
16.2.4 Recyclingkreisläufe von Kunststoffen	549
16.3 Abfallwirtschaft und Recycling aus Sicht der Kunststoffindustrie	550
16.3.1 Werkstoffliches Recycling	550
16.3.2 Rohstoffliches Recycling	551
16.3.2.1 Petrochemische Verfahren	551
16.3.2.2 Solvolytische Verfahren	552
16.3.2.3 Hochofenprozess	552
16.3.3 Energetische Nutzung	552
16.3.4 Deponie	555
16.3.5 Codierung erleichtert Recycling	555
16.4 Abbaufähige, resorbierbare Kunststoffe	555
16.4.1 Biologisch abbaubare Polymere (BAP)	556
16.4.2 Photoabbaubare Polymere	557
16.4.3 Wasserlösliche Polymere	557
17 Literaturverzeichnis	559
Sachwortverzeichnis	563