

HANSER

Wolfgang Kaiser

Kunststoffchemie für Ingenieure

ISBN-10: 3-446-41325-1

ISBN-13: 978-3-446-41325-2

Inhaltsverzeichnis

Weitere Informationen oder Bestellungen unter
<http://www.hanser.de/978-3-446-41325-2>
sowie im Buchhandel

Inhalt

Vorwort zur zweiten 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 Polymer-wissen- schaften (ohne Copolymere 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
2 Grundlagen	29
2.1 Was sind Kunststoffe	30
2.1.1 Einteilung der Kunststoffe	33
2.1.2 Makromolekül-Architektur/Topologie	33
2.2 Bildungsreaktionen für Makromoleküle – Polyreaktionen	36
2.2.1 Kettenpolymerisation	37

2.2.1.1	Radikalische Kettenpolymerisation	38
2.2.1.2	Kationische Kettenpolymerisation	42
2.2.1.3	Anionische Kettenpolymerisation	43
2.2.1.4	Koordinative Kettenpolymerisation/Polyinsertion	45
2.2.1.5	Homo- und Copolymerisate	47
2.2.1.6	Chemische Vernetzung durch Kettencopolymerisation	47
2.2.1.7	Verfahrenstechnik der Kettenpolymerisation . .	48
2.2.1.8	Plasmapolymerisation	53
2.2.2	Kondensationspolymerisation (Polykondensation)	53
2.2.3	Additionspolymerisation (Polyaddition)	57
2.2.4	Verfahrenstechnik der Kondensationspolymerisation und Additionspolymerisation	58
2.2.5	Einteilung nach dem Typ der Aufbaureaktionen	59
2.2.6	Chemische Umsetzungen an Makromolekülen	60
2.2.6.1	Vergrößerung des Polymerisationsgrads	60
2.2.6.2	Beibehaltung des Polymerisationsgrads	60
2.2.6.3	Verringerung des Polymerisationsgrads	61
2.2.6.4	Chemische Umsetzungen an makromolekularen- Naturstoffen	61
2.3	Bindungskräfte in makromolekularen Systemen	61
2.3.1	Hauptvalenzbindungen	62
2.3.2	Nebervalenzbindungen	65
2.3.3	Ionenbindungen	69
2.3.4	Mechanische Bindungen	69
2.4	Strukturmerkmale von Kunststoffen	70
2.4.1	Chemische Struktur	71
2.4.1.1	Konstitution	71
2.4.1.2	Konfiguration	77
2.4.2	Festkörperstruktur	79
2.4.2.1	Räumliche Anordnung eines Makromoleküls . .	79
2.4.2.2	Räumliche Anordnung mehrerer Makromoleküle zu einem Verband	80
2.4.2.3	Kristallinität	83
2.4.3	Mittlere Molmasse \bar{M} und Molmassenverteilung	84
2.4.3.1	Kettenlänge	84
2.4.3.2	Molmasse M bei niedermolekularen Verbindungen	85
2.4.3.3	Mittlere Molmasse \bar{M} und Molmassenverteilung bei hochmolekularen Verbindungen	86

2.4.3.4	Mittlerer Polymerisationsgrad	87
2.4.3.5	Beeinflussung von Eigenschaften durch die mittlere Molmasse	88
2.5	Modifizierung von Polymeren und Kunststoffen	89
2.5.1	Chemisches Modifizieren von Polymeren	90
2.5.1.1	Steuerung von Synthesereaktionen	90
2.5.1.2	Copolymerisation	90
2.5.1.3	Andere chemische Modifikationen	90
2.5.2	Physikalische Modifizierung von Polymeren und Kunststoffen	90
2.5.2.1	Polymergemische und Polymerblends	90
2.5.2.2	Erhöhung der Ordnung in Polymeren	91
2.5.3	Modifizieren mit Zusatzstoffen (Additive)	92
2.5.3.1	Füllstoffe	95
2.5.3.2	Verstärkungstoffe	95
2.5.3.3	Weichmacher	96
2.5.3.4	Treibmittel	96
2.5.3.5	Farbmittel	97
2.5.3.6	Stabilisatoren	98
2.5.3.7	Flammhemmende Zusätze	98
2.5.3.8	Weitere Additivgruppen	98
2.6	Wichtige Eigenschaften der Kunststoffe	100
2.6.1	Fließverhalten (Rheologie) von Kunststoff-Schmelzen . .	100
2.6.1.1	Viskositätsfunktionen von Thermoplastschmelzen	102
2.6.1.2	Zeitverhalten von thermisch instabilen Thermo- plast-Schmelzen und reagierenden Formmassen	105
2.6.2	Thermisch-mechanisches Verhalten	107
2.6.2.1	Thermoplaste	107
2.6.2.2	Elastomere und Duroplaste	109
2.6.3	Chrono-mechanisches Verhalten	111
2.6.4	Verhalten gegen Umwelteinflüsse	114
2.6.4.1	Chemische Beständigkeit	114
2.6.4.2	Alterung und Technoklima	116
2.7	Wirtschaftsdaten und Grafiken zu Kunststoffen	118
2.7.1	Einteilung der Kunststoffe nach Produktion, Verbrauch und Wachstum	118
2.7.2	Einteilung der Kunststoffe nach ihren Einsatzgebieten und Anwendungsmöglichkeiten	119
3	Technologie der Verarbeitung von Kunststoffen	123
3.1	Allgemeines	123
3.2	Begriffe und Einteilung der Fertigungsverfahren nach DIN 8850	124

3.3	Prinzip der wichtigsten Ver- und Bearbeitungsverfahren	125
3.4	Aufbereitung	126
3.4.1	Einteilung der Aufbereitungsverfahren	127
3.4.1.1	Mischen	128
3.4.1.2	Granulieren	130
3.4.1.3	Zerkleinern	131
3.4.1.4	Vortrocknen	132
3.5	Urformen	132
3.5.1	Extrudieren (Strangpressen)	133
3.5.1.1	Aufbau eines Extruders	134
3.5.1.2	Beispiele typischer Extrusionsanlagen	139
3.5.2	Blasformen	143
3.5.2.1	Extrusionsblasformen	144
3.5.2.2	Extrusions-Streckblasformen	146
3.5.2.3	Spritzblasformen	147
3.5.2.4	Spritz-Streckblasformen	147
3.5.3	Spritzgießen	148
3.5.3.1	Verfahrenstechnik beim Spritzgießen	149
3.5.3.2	Spritzgießmaschine	151
3.5.3.3	Qualitätsmerkmale von Spritzgießformteilen	152
3.5.3.4	Sonderverfahren der Spritzgießtechnik	154
3.5.3.5	Spritzgießen von vernetzenden Polymeren	158
3.5.4	Pressen, Spritzpressen, Schichtpressen	159
3.5.4.1	Pressen von Duroplasten	159
3.5.4.2	Pressen von Thermoplasten	160
3.5.4.3	Spritzpressen von Duroplasten	161
3.5.4.4	Schichtpressen von Duroplasten	161
3.5.5	Kalandrieren	162
3.5.5.1	Bauarten des Kalanders	162
3.5.5.2	Verfahrenstechnik beim Kalandrieren	162
3.5.6	Spinnverfahren	164
3.5.6.1	Grundlagen des Spinnprozesses	165
3.5.6.2	Herstellung von Chemiefasern	165
3.5.6.3	Textile Definitionen	170
3.5.6.4	Textile Flächengebilde	171
3.5.7	FVK-Urformen	172
3.5.7.1	Prepregverarbeitung	172
3.5.7.2	Faserspritzen	173
3.5.7.3	Faserwickeln	173
3.5.7.4	Pultrusion	174

	3.5.7.5	RTM-Verfahren	174
	3.5.7.6	Handlaminieren	175
3.5.8		Schäumen	176
	3.5.8.1	Herstellung eines Schaumstoffes	178
	3.5.8.2	Einteilung der Schäumverfahren	179
	3.5.8.3	Polystyrol-Schaumstoffe	179
	3.5.8.4	Polyurethan-Schaumstoffe	181
3.5.9		Gießen	187
	3.5.9.1	Vakuumm gießen	189
	3.5.9.2	Rotationsformen (Rotationsgießen)	190
	3.5.9.3	Schleuderverfahren (Schleudergießen)	191
	3.5.9.4	Filmgießen (Foliengießen)	192
	3.5.9.5	Einbetten, Imprägnieren, Tränken	192
3.5.10		Tauchformen	192
3.5.11		Rapid Prototyping (RP)	193
3.6		Umformen	195
	3.6.1	Unterschiede im Warmformbereich zwischen amorphen und teilkristallinen Thermoplasten	196
	3.6.2	Einteilung der Warmformverfahren für Thermoplaste	196
		3.6.2.1 Biegeumformen	196
		3.6.2.2 Zugumformen	197
		3.6.2.3 Druckumformen	198
		3.6.2.4 Zugdruckumformen	198
		3.6.2.5 Kombinierte Verfahren	199
	3.6.3	Verfahrenstechnik beim Warmformen	199
	3.6.4	Thermoformmaschinen	201
	3.6.5	Vor- und Nachteile des Warmformens	203
3.7		Trennen (Spanen)	203
3.8		Fügen	205
	3.8.1	Schweißen	205
		3.8.1.1 Heizelementschweißen	208
		3.8.1.2 Warmgasschweißen	208
		3.8.1.3 Strahlungsschweißen	208
		3.8.1.4 Reibungsschweißen	209
		3.8.1.5 Induktionsschweißen	210
	3.8.2	Kleben	210
		3.8.2.1 Grundlagen	210
		3.8.2.2 Abbindemechanismus der Klebung	212
		3.8.2.3 Verfahrenstechnik	213
	3.8.3	Mechanische Verbindungen	213

3.9	Beschichten	213
3.9.1	Einteilung der Beschichtungsverfahren	214
3.9.2	Streichverfahren	214
3.9.3	Pulverbeschichten	216
3.10	Veredeln	216
3.10.1	Lackieren von Kunststoffen	217
3.10.2	Bedrucken von Kunststoffen	218
3.10.3	Laserbeschriften	219
3.10.4	Heißprägen	219
3.10.5	Metallisieren	220
3.10.6	Beflocken	221
3.10.7	Plasmabeschichten	221
3.10.8	Tempern	223
3.10.9	Konditionieren	224
3.10.10	Bestrahlen	224
4	Polyolefine	227
4.1	Polyethylen PE	227
4.1.1	Das Wichtigste in Kürze	227
4.1.2	Handelsnamen (Beispiele)	227
4.1.3	Eigenschaften	228
4.1.4	Verarbeitung (Beispiele)	229
4.1.5	Anwendungsbeispiele	230
4.1.6	Der Weg zum Polyethylen.	231
4.1.6.1	Hochdruckverfahren	232
4.1.6.2	Niederdruckverfahren	232
4.1.7	Der molekulare Aufbau des Polyethylens	234
4.2	Modifizierte Ethylen-Polymerisate	236
4.2.1	Unpolare Ethylen-Copolymere	237
4.2.1.1	Ethylen-Copolymere mit α -Olefinen	237
4.2.1.2	Metallocen-katalysierte Ethylencopolymere PE-MC	237
4.2.1.3	Polyethylene mit multimodaler Molmassen- verteilung	238
4.2.1.4	Cycloolefin-Copolymere COC	239
4.2.2	Polare Ethylen-Copolymere	239
4.2.2.1	Ethylen-Copolymere mit ungesättigten Estern	239
4.2.2.2	Ethylen-Copolymere mit ungesättigten Alkoholen	241
4.2.2.3	Ethylen-Copolymere mit ungesättigten Carbon- säuren bzw. ihren Salzen	242
4.2.2.4	Polyketone PK	243

4.2.3	Chemisch abgewandeltes Polyethylen	243
4.2.3.1	Abwandlung durch Vernetzen	243
4.2.3.2	Abwandlung durch chemische Veränderungen	245
4.3	Polypropylen PP	246
4.3.1	Das Wichtigste in Kürze	246
4.3.2	Handelsnamen (Beispiele).	246
4.3.3	Eigenschaften	246
4.3.4	Verarbeitung (Beispiele)	247
4.3.5	Anwendungsbeispiele	247
4.3.6	Der Weg zum Polypropylen	248
4.3.7	Der molekulare Aufbau des Polypropylens	249
4.3.7.1	Isotaktisches Polypropylen (PP-it)	250
4.3.7.2	Syndiotaktisches Polypropylen (PP-st)	251
4.3.7.3	Ataktisches Polypropylen (PP-at)	251
4.4	Modifizierte Propylen-Polymerisate	251
4.4.1	Propylen-Copolymere	252
4.4.1.1	Random-(statistische) Copolymere PP-R	252
4.4.1.2	Heterophasische Copolymere	252
4.4.2	Polymerblends	253
4.4.3	Gefüllte und verstärkte Polypropylene	253
4.4.4	Anwendungsbeispiele von modifizierten Propylenpolymerisaten	253
4.4.4.1	Propylen/Ethylen-Copolymerisate	253
4.4.4.2	PP/EPM- und PP/EPDM-Werkstoffe	254
4.5	Polyisobutylen PIB	254
4.5.1	Handelsnamen (Beispiele)	254
4.5.2	Eigenschaften	254
4.5.3	Verarbeitung (Beispiele)	255
4.5.4	Anwendungsbeispiele	255
4.5.5	Der Weg zum Polyisobutylen	255
4.6	Polybuten-1 PB-1	256
4.6.1	Handelsnamen (Beispiele)	256
4.6.2	Eigenschaften, Verarbeitung und Anwendung	256
4.6.3	Der Weg zum Polybuten-1	256
4.7	Poly-4-methylpenten-1 PMP	257
4.7.1	Handelsname (Beispiel)	257
4.7.2	Eigenschaften	257
4.7.3	Verarbeitung (Beispiele)	257
4.7.4	Anwendungsbeispiele	258
4.7.5	Der Weg zum Poly-4-methylpenten-1	258

4.8	Geschichtliches	258
4.9	Tabellarischer Eigenschaftsvergleich	259
5	Chlor-Kunststoffe	263
5.1	Hart-Polyvinylchlorid PVC-U (Hart-PVC, weichmacherfreies PVC)	263
5.1.1	Das Wichtigste in Kürze über Hart-Polyvinylchlorid . .	263
5.1.2	Handelsnamen (Beispiele)	263
5.1.3	Eigenschaften	263
5.1.4	Verarbeitung (Beispiele)	265
5.1.5	Anwendungsbeispiele	265
5.1.6	Der Weg zum Polyvinylchlorid	266
5.2	Modifizierte Vinylchlorid-Polymerisate	269
5.2.1	Vinylchlorid-Copolymere	270
5.2.1.1	Einteilung	270
5.2.1.2	Eigenschaften, Verarbeitung und Anwendung . .	271
5.2.1.3	Der Weg zu den Vinylchlorid-Copolymeren . .	272
5.2.2	Besonders schlagfestes Polyvinylchlorid PVC-HI	272
5.2.2.1	Eigenschaften, Verarbeitung und Anwendung . .	272
5.2.2.2	Der Weg zum besonders schlagfesten Polyvinylchlorid	272
5.2.3	Chloriertes Polyvinylchlorid PVC-C	274
5.2.3.1	Eigenschaften, Verarbeitung und Anwendung . .	274
5.2.3.2	Der Weg zum chlorierten Polyvinylchlorid . . .	275
5.3	Weich-Polyvinylchlorid PVC-P (Weich-PVC, weichmacherhaltiges PVC)	275
5.3.1	Das Wichtigste in Kürze über Weich-Polyvinylchlorid . .	275
5.3.2	Handelsnamen (Beispiele)	275
5.3.3	Eigenschaften	275
5.3.4	Verarbeitung (Beispiele)	276
5.3.5	Anwendungsbeispiele	276
5.3.6	Der Weg zum Weich-Polyvinylchlorid	277
5.3.6.1	Weichmacher	277
5.3.6.2	Einarbeitung von Weichmachern	280
5.4	Chloriertes Polyethylen PE-C	280
5.4.1	Eigenschaften, Verarbeitung und Anwendung	280
5.4.2	Der Weg zum chlorierten Polyethylen	281
5.5	Polyvinylidenchlorid PVDC	283
5.5.1	Das Wichtigste in Kürze	283
5.5.2	Eigenschaften, Verarbeitung und Anwendung von Vinylidenchlorid-Copolymerisaten	283
5.5.3	Der Weg zu den Vinylidenchlorid-Copolymerisaten . . .	283

5.6	Geschichtliches	284
5.7	Tabellarischer Eigenschaftsvergleich	284
6	Polystyrol-Kunststoffe	287
6.1	Das Wichtigste in Kürze über Polystyrol-Kunststoffe	287
6.2	Polystyrol PS	288
6.2.1	Handelsnamen (Beispiele).	288
6.2.2	Ataktisches Polystyrol	288
6.2.2.1	Eigenschaften	288
6.2.2.2	Verarbeitung (Beispiele).	289
6.2.2.3	Anwendungsbeispiele.	289
6.2.2.4	Der Weg zum Polystyrol	289
6.2.3	Stereoreguläre Polystyrole	291
6.3	Modifizierte Styrolpolymere (Abschnitt 6.4 bis 6.8)	292
6.4	Styrol-Acrylnitril-Copolymerisat SAN	293
6.4.1	Handelsnamen (Beispiele).	293
6.4.2	Eigenschaften und Verarbeitung	293
6.4.3	Anwendungsbeispiele.	294
6.4.4	Der Weg zum Styrol-Acrylnitril	294
6.5	Schlagzäh modifiziertes Polystyrol PS-I (Styrol-Butadien SB)	295
6.5.1	Handelsnamen (Beispiele).	295
6.5.2	Eigenschaften	295
6.5.3	Verarbeitung (Beispiele)	296
6.5.4	Anwendungsbeispiele	296
6.5.5	Der Weg zum schlagzähen Polystyrol	296
6.6	Acrylnitril-Butadien-Styrol-Polymerisate ABS	299
6.6.1	Handelsnamen (Beispiele).	300
6.6.2	Eigenschaften	300
6.6.3	Verarbeitung (Beispiele)	300
6.6.4	Anwendungsbeispiele.	300
6.6.5	Der Weg zum Acrylnitril-Butadien-Styrol	301
6.7	Schlagzähe Acrylnitril-Styrol-Formmassen ASA, AES, ACS	303
6.7.1	Handelsnamen (Beispiele).	303
6.7.2	Eigenschaften, Verarbeitung und Anwendung von Acrylnitril-Styrol-Acrylat ASA	303
6.7.3	Der Weg zum Acrylnitril-Styrol-Acrylat	304
6.8	Blends	305
6.8.1	PS-I + PPE Blends	305
6.8.2	ABS + PC bzw. ASA + PC Blends	305
6.8.3	ABS + PA Blends	306

6.9	Geschichtliches zu den Styrolpolymeren	306
6.10	Tabellarischer Eigenschaftsvergleich	307
7	Ester-Thermoplaste	313
7.1	Ester-Gruppe in der Hauptkette	314
7.1.1	Polyalkylterephthalate (gesättigte Polyester) PET, PBT und Polyethylnaphthalat PEN	314
7.1.1.1	Das Wichtigste in Kürze über Polyalkylterephthalate	314
7.1.1.2	Der Weg zu den Polyalkylterephthalaten	314
7.1.1.3	Polyethylterephthalat PET	316
7.1.1.4	Polybutylterephthalat PBT	318
7.1.1.5	Modifizierte Polyalkylterephthalate	318
7.1.1.6	Polyethylnaphthalat PEN	319
7.1.1.7	Geschichtliches	320
7.1.2	Polycarbonat PC	320
7.1.2.1	Das Wichtigste in Kürze über Polycarbonat	321
7.1.2.2	Handelsnamen (Beispiele)	321
7.1.2.3	Eigenschaften	321
7.1.2.4	Verarbeitung (Beispiele)	321
7.1.2.5	Anwendungsbeispiele	322
7.1.2.6	Der Weg zum Polycarbonat	322
7.1.2.7	Modifizierte Polycarbonate	324
7.1.2.8	Geschichtliches	326
7.1.3	Polyestercarbonat PEC	327
7.1.3.1	Das Wichtigste in Kürze	327
7.1.3.2	Handelsnamen (Beispiele)	327
7.1.3.3	Eigenschaften	327
7.1.3.4	Verarbeitung (Beispiele)	327
7.1.3.5	Anwendungsbeispiele	327
7.1.3.6	Der Weg zu Polyestercarbonat	327
7.1.3.7	Geschichtliches	328
7.2	Ester in der Seitenkette	328
7.2.1	Polymethylmethacrylat PMMA	328
7.2.1.1	Das Wichtigste in Kürze	328
7.2.1.2	Handelsnamen (Beispiele).	329
7.2.1.3	Eigenschaften	329
7.2.1.4	Verarbeitung (Beispiele)	329
7.2.1.5	Anwendungsbeispiele	329
7.2.1.6	Der Weg zum Polymethylmethacrylat	330

	7.2.1.7	Modifizierte Methylmethacrylat-Polymerisate . . .	331
	7.2.1.8	Geschichtliches	333
7.3		Celluloseester CA, CP, CAB	333
	7.3.1	Das Wichtigste in Kürze	333
	7.3.2	Handelsnamen (Beispiele)	333
	7.3.3	Eigenschaften	333
	7.3.4	Verarbeitung (Beispiele)	334
	7.3.5	Anwendungsbeispiele	334
	7.3.6	Der Weg zu den Celluloseestern	335
	7.3.6.1	Der Ausgangsstoff Cellulose	335
	7.3.6.2	Regenerierte Cellulose	336
	7.3.6.3	Chemische Umsetzungen an Cellulose	336
	7.3.7	Geschichtliches	337
7.4		Tabellarischer Eigenschaftsvergleich	338
8		Stickstoff-Thermoplaste	347
8.1		Polyamide PA	347
	8.1.1	Teilkristalline aliphatische Polyamide	347
	8.1.1.1	Das Wichtigste in Kürze	347
	8.1.1.2	Handelsnamen (Beispiele)	349
	8.1.1.3	Eigenschaften	350
	8.1.1.4	Verarbeitung (Beispiele)	351
	8.1.1.5	Anwendungsbeispiele	352
	8.1.1.6	Der Weg zu den teilkristallinen aliphatischen Polyamiden.	352
	8.1.1.7	Wasserstoffbrücken (H-Brücken)	355
	8.1.2	Modifizierte teilkristalline aliphatische Polyamide	356
	8.1.2.1	Chemische Modifizierung	356
	8.1.2.2	Physikalische Modifizierung	357
	8.1.2.3	Anwendungsbeispiele	357
	8.1.3	Teilaromatische Polyamide	358
	8.1.3.1	Das Wichtigste in Kürze	358
	8.1.3.2	Handelsnamen (Beispiele)	359
	8.1.3.3	Eigenschaftsprofil im Vergleich zu Standard-Polyamiden	359
	8.1.3.4	Verarbeitung (Beispiele)	359
	8.1.3.5	Anwendungsbeispiele	360
	8.1.3.6	Der Weg zu den teilaromatischen Polyamiden	360
	8.1.4	Modifizierung von teilaromatischen Polyamiden	361
	8.1.5	Geschichtliches	362

8.2	Polyacrylnitril PAN	363
8.2.1	Das Wichtigste in Kürze	363
8.2.2	Handelsname (Beispiel)	363
8.2.3	Eigenschaften von Polyacrylnitril-Barriere-Kunststoffen . .	363
8.2.4	Verarbeitung und Anwendung (Beispiele)	364
8.2.5	Der Weg zu Polyacrylnitril-Barriere-Kunststoffen	364
8.2.6	PAC-/PAN-Fasertransformation zu Kohlenstofffasern (C-Fasern)	365
8.2.7	Geschichtliches	366
8.3	Tabellarischer Eigenschaftsvergleich	366
9	Acetal- und Ether-Thermoplaste	373
9.1	Polyoxymethylen (Polyacetal) POM	374
9.1.1	Das Wichtigste in Kürze	374
9.1.2	Handelsnamen (Beispiele)	374
9.1.3	Eigenschaften	374
9.1.4	Verarbeitung (Beispiele)	375
9.1.5	Anwendungsbeispiele	375
9.1.6	Der Weg zum Polyoxymethylen	375
9.1.6.1	POM-Homopolymerisat POM-H.	375
9.1.6.2	POM-Copolymerisate POM-Cop.	377
9.1.6.3	Eigenschaftsunterschiede zwischen POM-Homo- und Copolymerisaten	378
9.1.7	Modifizierte Polyoxymethylen-Polymerisate	378
9.1.8	Geschichtliches	379
9.2	Polyphenylenether PPE	379
9.2.1	Das Wichtigste in Kürze	379
9.2.2	Handelsnamen (Beispiele)	379
9.2.3	Eigenschaften	379
9.2.4	Verarbeitung (Beispiele)	380
9.2.5	Anwendungsbeispiele	380
9.2.6	Der Weg zum Polyphenylenether	380
9.2.7	Weitere modifizierte Polyphenylenether	382
9.2.8	Geschichtliches	382
9.3	Tabellarischer Eigenschaftsvergleich	382
10	Fluor-Kunststoffe	385
10.1	Polytetrafluorethylen PTFE	385
10.1.1	Das Wichtigste in Kürze	385
10.1.2	Handelsnamen (Beispiele)	385
10.1.3	Eigenschaften	385

10.1.4	Verarbeitung (Beispiele)	386
10.1.5	Anwendungsbeispiele	387
10.1.6	Der Weg zum Polytetrafluorethylen	387
10.2	Thermoplastisch verarbeitbare Fluor-Kunststoffe	389
10.2.1	Das Wichtigste in Kürze	390
10.2.2	Fluorthermoplaste und Beispiele von Handelsnamen	390
10.2.3	Eigenschaften	390
10.2.4	Verarbeitung (Beispiele)	391
10.2.5	Anwendungen	391
10.2.5.1	Spezielle Anwendungsbeispiele	391
10.2.6	Der Weg zu den thermoplastisch verarbeitbaren Fluor-Kunststoffen	392
10.2.6.1	Perfluorethylenpropylen FEP, auch Tetrafluorethylen-Hexafluorpropylen-Copolymer	392
10.2.6.2	Perfluoroalkoxy-Copolymer PFA	393
10.2.6.3	Ethylen-Tetrafluorethylen-Copolymer ETFE	393
10.2.6.4	Polyvinylidenfluorid PVDF	393
10.2.6.5	Tetrafluorethylen-Hexafluorpropylen-Vinylidenfluorid-Terpolymer TFEHFPVDF (THV)	393
10.2.6.6	Polyvinylfluorid PVF	394
10.2.6.7	Polychlortrifluorethylen PCTFE	394
10.2.6.8	Ethylen-Chlortrifluorethylen-Copolymer ECTFE	394
10.3	Geschichtliches zu den Fluorpolymeren	395
10.4	Tabellarischer Eigenschaftsvergleich	396
11	Duroplaste	399
11.1	Allgemeines über Herstellung und Eigenschaften	399
11.2	Phenoplaste (Phenol-Formaldehyd-Kondensationsharze) PF	401
11.2.1	Das Wichtigste in Kürze	401
11.2.2	Handelsnamen (Beispiele)	402
11.2.3	Eigenschaften von PF-Formstoffen	402
11.2.4	Verarbeitung (Beispiele)	404
11.2.5	Anwendungsbeispiele	404
11.2.5.1	Harzformstoffe, Harzformteile	404
11.2.5.2	Schichtpressstoffe	404
11.2.5.3	PF-Harze	404
11.2.6	Der Weg zu den Phenolharzen	405
11.2.7	Geschichtliches	409
11.3	Aminoplaste	409
11.3.1	Harnstoffharze (Harnstoff-Formaldehyd-Kondensationsharze) UF	409

11.3.1.1	Das Wichtigste in Kürze	409
11.3.1.2	Handelsnamen (Beispiele)	409
11.3.1.3	Eigenschaften	410
11.3.1.4	Verarbeitung, Anwendung (Beispiele)	411
11.3.1.5	Der Weg zum Harnstoffharz	411
11.3.2	Melaminharze (Melamin-Formaldehyd-Kondensations- harze) MF	413
11.3.2.1	Das Wichtigste in Kürze	413
11.3.2.2	Handelsnamen (Beispiele).	413
11.3.2.3	Eigenschaften	413
11.3.2.4	Verarbeitung, Anwendung (Beispiele)	413
11.3.2.5	Eigenschaften und Anwendung von modifizier- ten Melaminharzen (Beispiele)	414
11.3.2.6	Der Weg zum Melaminharz	414
11.3.3	Geschichtliches	416
11.4	Reaktionsharz-Duroplaste	416
11.4.1	Ungesättigte Polyesterharze UP	416
11.4.1.1	Das Wichtigste in Kürze	416
11.4.1.2	Handelsnamen (Beispiele)	417
11.4.1.3	Eigenschaften	417
11.4.1.4	Verarbeitung (Beispiele)	419
11.4.1.5	Anwendungsbeispiele	420
11.4.1.6	Der Weg zu den ungesättigten Polyesterharzen	421
11.4.1.7	Geschichtliches	424
11.4.2	Vinylesterharze VE	425
11.4.2.1	Eigenschaften	425
11.4.2.2	Verarbeitung, Anwendung (Beispiele)	425
11.4.2.3	Der Weg zu den Vinylesterharzen	425
11.4.2.4	Geschichtliches	426
11.4.3	Epoxidharze EP	426
11.4.3.1	Das Wichtigste in Kürze	426
11.4.3.2	Handelsnamen (Beispiele)	427
11.4.3.3	Eigenschaften	427
11.4.3.4	Verarbeitung (Beispiele)	428
11.4.3.5	Anwendungsbeispiele	428
11.4.3.6	Der Weg zu den Epoxidharzen	429
11.4.3.7	Geschichtliches	434
11.5	Sonstige Harze	434
11.5.1	Siliconharze	434
11.5.2	Polydiallylphthalatharze PDAP, PDAIP	435

11.5.3	PUR-Gießharze	436
11.5.3.1	Elastomer-Gießharze	436
11.5.3.2	Harte PUR-Harze	436
11.5.4	Cyanatester-Harze	437
12	Hochleistungspolymere	439
12.1	Polyaryletherketone PAEK	440
12.1.1	Das Wichtigste in Kürze	440
12.1.2	Handelsnamen (Beispiele)	440
12.1.3	Eigenschaften	440
12.1.4	Verarbeitung (Beispiele)	441
12.1.5	Anwendungsbeispiele	442
12.1.6	Der Weg zu den Polyaryletherketonen	442
12.1.7	Geschichtliches	442
12.2	Polyarylate (PAR)	443
12.2.1	Das Wichtigste in Kürze	443
12.2.2	Handelsnamen (Beispiele)	443
12.2.3	Eigenschaften	443
12.2.4	Verarbeitung (Beispiele)	444
12.2.5	Anwendungsbeispiele	444
12.2.6	Der Weg zu den Polyarylaten	445
12.2.7	Geschichtliches	446
12.3	Flüssigkristalline Polymere LCP	446
12.3.1	Das Wichtigste in Kürze	446
12.3.2	Handelsnamen (Beispiele)	446
12.3.3	Eigenschaften	446
12.3.3.1	Aufbau und Struktur der LCP	446
12.3.3.2	Eigenschaften von thermotropen LCP	448
12.3.4	Verarbeitung (Beispiele)	449
12.3.5	Anwendungsbeispiele	449
12.3.6	Der Weg zu den flüssigkristallinen Polymeren	450
12.3.6.1	Herstellung der lyotropen LCP	450
12.3.6.2	Herstellung der thermotropen LCP	451
12.3.7	Geschichtliches	452
12.4	Polyimide	452
12.4.1	Das Wichtigste in Kürze	452
12.4.2	Handelsnamen (Beispiele)	452
12.4.3	Eigenschaften	452
12.4.4	Verarbeitung (Beispiele)	454
12.4.5	Anwendungsbeispiele	454

12.4.6	Der Weg zu den Polyimiden	455
12.4.7	Geschichtliches	460
12.5	Polyarylsulfone PSU, PES, PPSU	461
12.5.1	Das Wichtigste in Kürze	461
12.5.2	Handelsnamen (Beispiele)	461
12.5.3	Eigenschaften	461
12.5.4	Verarbeitung (Beispiele)	462
12.5.5	Anwendungsbeispiele	462
12.5.6	Der Weg zu den Polyarylsulfonen	462
12.5.7	Geschichtliches	464
12.6	Polyphenylensulfid PPS	464
12.6.1	Das Wichtigste in Kürze	464
12.6.2	Handelsnamen (Beispiele)	464
12.6.3	Eigenschaften	464
12.6.4	Verarbeitung (Beispiele)	465
12.6.5	Anwendungsbeispiele	465
12.6.6	Der Weg zu Polyphenylensulfid	466
12.6.7	Geschichtliches	466
12.7	Tabellarischer Eigenschaftsvergleich	466
13	Elastomere	471
13.1	Permanent vernetzte Elastomere/Gummi	472
13.1.1	Das Wichtigste in Kürze über vernetzte Elastomere	472
13.1.2	Handelsnamen (Beispiele)	474
13.1.3	Eigenschaften	474
13.1.4	Verarbeitung (Beispiele)	476
13.1.5	Anwendungsbeispiele	476
13.1.6	Der Weg zu den permanent vernetzten Elastomeren	477
13.1.7	Geschichtliches	479
13.2	Reversibel vernetzte Elastomere/Thermoplastische Elastomere TPE	479
13.2.1	Das Wichtigste in Kürze über TPE	479
13.2.2	Handelsnamen (Beispiele)	482
13.2.3	Allgemeine Eigenschaften	482
13.2.4	Einzeleigenschaften und Anwendungsbeispiele	484
13.2.4.1	Thermoplastische Elastomere auf Olefinbasis, TPE-O/TPE-V (TPO/TPV)	485
13.2.4.2	Thermoplastische Elastomere auf Styrolbasis, TPE-S (TPS)	485
13.2.4.3	Thermoplastische Polyester-Elastomere, TPE-E (TPC)	486

13.2.4.4	Thermoplastische Polyamid-Elastomere, TPE-A (TPA)	486
13.2.4.5	Thermoplastische Polyurethan-Elastomere, TPE-U (TPU)	487
13.2.5	Der Weg zu den thermoplastischen Elastomeren	488
13.2.5.1	TPE-O/TPE-V (TPO/TPV)	488
13.2.5.2	TPE-S (TPS)	489
13.2.5.3	TPE-E (TPC)	489
13.2.5.4	TPE-A (TPA)	489
13.2.5.5	TPE-U (TPU)	490
13.2.6	Geschichtliches	490
14	Schaumstoffe	491
14.1	Allgemeines über Herstellung und Eigenschaften	491
14.1.1	Handelsnamen (Beispiele)	494
14.2	Polystyrol-Schaumstoffe PS-E	494
14.2.1	Das Wichtigste in Kürze	494
14.2.2	Polystyrol-Hartschaumstoff, Partikel-Schaumstoff	494
14.2.2.1	Eigenschaften	494
14.2.2.2	Verarbeitung	495
14.2.2.3	Anwendungsbeispiele	495
14.2.3	Polystyrol-Hartschaumstoff, Extruder-Schaumstoff	495
14.2.3.1	Eigenschaften	495
14.2.3.2	Verarbeitung	495
14.2.3.3	Anwendungsbeispiele	495
14.2.4	Polystyrol-Integralschaumstoff	495
14.2.4.1	Eigenschaften	495
14.2.4.2	Verarbeitung (Beispiele)	496
14.2.4.3	Anwendungsbeispiele	496
14.3	Polyolefin-Schaumstoffe, PO-Schaumstoffe	496
14.3.1	Das Wichtigste in Kürze	496
14.3.2	Eigenschaften	496
14.3.3	Verarbeitung (Beispiele)	497
14.3.4	Anwendungsbeispiele	497
14.4	Polyurethan-Schaumstoffe, PUR-Schaumstoffe	497
14.4.1	Das Wichtigste in Kürze	497
14.4.2	PUR-Hartschaumstoffe, PUR-H	498
14.4.2.1	Eigenschaften	498
14.4.2.2	Anwendungsbeispiele	498

14.4.3	PUR-Weichschaumstoffe, PUR-W	498
14.4.3.1	Eigenschaften	498
14.4.3.2	Anwendungsbeispiele.	499
14.4.4	PUR-Halbhart-(semiflexible) Schaumstoffe	499
14.4.4.1	Eigenschaften	499
14.4.4.2	Anwendungsbeispiele	499
14.4.5	PUR-Integral-Hartschaumstoffe, PUR-I	499
14.4.5.1	Eigenschaften	499
14.4.5.2	Anwendungsbeispiele	499
14.4.6	PUR-Integral-Halbhart- und Weichschaumstoffe	500
14.4.6.1	Eigenschaften	500
14.4.6.2	Anwendungsbeispiele	500
14.4.7	Der Weg zu den Polyurethan-Schaumstoffen	500
14.4.7.1	Polyurethan-Schäumsysteme	500
14.4.7.2	Chemie der PUR-Schäumsysteme	503
14.4.8	Geschichtliches	506
14.5	Weitere Schaumstoffe	507
14.5.1	Polyvinylchlorid-Schaumstoffe	507
14.5.2	Phenol-Formaldehyd-Schaumstoffe	507
14.5.3	Harnstoff-Formaldehyd-Schaumstoffe	507
14.5.4	Polymethacrylimid-Schaumstoffe	508
14.5.5	Gummi-Schaumstoffe	508
14.6	Tabellarischer Eigenschaftsvergleich	509
15	Kunststoffe als Sonderwerkstoffe	511
15.1	Elektrisch leitende Kunststoffe	511
15.1.1	Oberflächenbehandlungen	511
15.1.2	Elektrisch leitfähige Compounds	512
15.1.3	Intrinsisch elektrisch leitfähige Polymere	513
15.2	Funktionskunststoffe	515
15.2.1	Polymere als Datenspeicher	515
15.2.2	Polymere Leuchtdioden, Polymer-LEDs	516
15.2.3	Photoresists	517
15.3	Kunststoffe in der Medizintechnik	519
15.3.1	Polymilchsäure, Polylactid, PLA	520
15.4	Kunststoffe aus dem Bioreaktor	521
15.4.1	Polyhydroxybuttersäure, Poly- β -hydroxybutyrat, PHB	521
15.4.2	Schäume aus Naturstoffen	522
15.5	Kunststoffe aus nachwachsenden Rohstoffen, NWR	522

16 Arbeitssicherheit, Gesundheits- und Umweltschutz beim Umgang mit Kunststoffen	525
16.1 Arbeitssicherheit und Gesundheitsschutz beim Umgang mit Kunststoffen	525
16.1.1 Gewerbetoxikologische Begriffe (Auswahl)	525
16.1.2 Herstellung von Polymeren und Kunststoff-Formmassen	525
16.1.3 Verarbeitung und Prüfung von Kunststoffen	526
16.1.4 Anwendung von Kunststoffen	527
16.2 Umweltschutz beim Umgang mit Kunststoffen	528
16.2.1 Nachhaltige Entwicklung	528
16.2.2 Recyclinghierarchie	528
16.2.3 Grundsätzliche Aspekte beim Recycling von Kunststoffen	528
16.2.4 Recyclingkreisläufe von Kunststoffen	529
16.3 Abfallwirtschaft und Recycling aus Sicht der Kunststoffindustrie	529
16.3.1 Werkstoffliches Recycling	530
16.3.2 Rohstoffliches Recycling	531
16.3.2.1 Petrochemische Verfahren	531
16.3.2.2 Solvolytische Verfahren	531
16.3.2.3 Hochofenprozess	532
16.3.3 Energetische Nutzung	532
16.3.4 Deponie	534
16.3.5 Codierung erleichtert Recycling	534
16.4 Abbaufähige, resorbierbare Kunststoffe	535
16.4.1 Biologisch abbaubare Polymere (BAP).	535
16.4.2 Photoabbaubare Polymere	536
16.4.3 Wasserlösliche Polymere	536
17 Literaturverzeichnis	539
18 Sachwortverzeichnis	543