

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

<b>Vorwort zur zweiten Auflage</b> . . . . .	V
<b>Vorwort</b> . . . . .	VI
<b>Hinweise zur Benutzung des Buches</b> . . . . .	IX
<b>1 Einführung</b> . . . . .	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
<b>2 Grundlagen</b> . . . . .	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
<b>3</b>	<b>Technologie der Verarbeitung von Kunststoffen . . . . .</b>	<b>123</b>
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	Vakuumgießen . . . . .	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
<b>4</b>	<b>Polyolefine . . . . .</b>	<b>227</b>
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 $\alpha$ -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
<b>5</b>	<b>Chlor-Kunststoffe . . . . .</b>	<b>263</b>
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
<b>6</b>	<b>Polystyrol-Kunststoffe . . . . .</b>	<b>287</b>
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 schlagzähem 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
<b>7</b>	<b>Ester-Thermoplaste . . . . .</b>	<b>313</b>
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
<b>8</b>		<b>Stickstoff-Thermoplaste . . . . .</b>	<b>347</b>
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
<b>9</b>	<b>Acetal- und Ether-Thermoplaste . . . . .</b>	<b>373</b>
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
<b>10</b>	<b>Fluor-Kunststoffe . . . . .</b>	<b>385</b>
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 Tetrafluor- ethylen-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-Vinyliden- fluorid-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
<b>11</b>	<b>Duroplaste . . . . .</b>	<b>399</b>
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-Kondensations- harze) 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
<b>12</b>	<b>Hochleistungspolymere . . . . .</b>	<b>439</b>
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
<b>13</b>	<b>Elastomere . . . . .</b>	<b>471</b>
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
<b>14</b>	<b>Schaumstoffe</b> . . . . .	<b>491</b>
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
<b>15</b>	<b>Kunststoffe als Sonderwerkstoffe . . . . .</b>	<b>511</b>
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- $\beta$ -hydroxybutyrat, PHB . . . . .	521
15.4.2	Schäume aus Naturstoffen . . . . .	522
15.5	Kunststoffe aus nachwachsenden Rohstoffen, NWR . . . . .	522

<b>16 Arbeitssicherheit, Gesundheits- und Umweltschutz beim Umgang mit Kunststoffen . . . . .</b>	<b>525</b>
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
<b>17 Literaturverzeichnis . . . . .</b>	<b>539</b>
<b>18 Sachwortverzeichnis . . . . .</b>	<b>543</b>