

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b> .....	<b>V</b>
<b>1 Kurzeichen der Kunststoff-Technik</b> .....	<b>1</b>
1.1 Alphabetische Gliederung verwendeter Kurzzeichen für Kunststoffe, chemische Bezeichnung .....	2
1.2 Grundeinheiten, ISO- und US-Einheiten .....	10
<b>2 Einleitung</b> .....	<b>13</b>
2.1 Wirtschaftliche Bedeutung der Kunststoffe .....	13
2.2 Einordnung der Kunststoffe in das Gebiet der Werkstoffe .....	15
2.3 Aufbau der Kunststoffe .....	19
2.3.1 Chemische Struktur (Konstitution und Konfiguration der Makromoleküle) .....	19
2.3.1.1 Konformation .....	20
2.3.1.2 Konfiguration .....	20
2.3.1.3 Konstitution .....	22
2.3.1.4 Kunststoff-Hauptgruppen .....	27
2.3.2 Morphologische Struktur (Konformation und Aggregation der Makromoleküle) .....	28
2.3.3 Kunststoffklassen .....	35
2.4 Einfluss der Fertigung auf die inneren Eigenschaften .....	37
2.4.1 Eigenspannungen .....	38
2.4.2 Molekül-Orientierung .....	39
2.4.3 Kristallisationsverhalten .....	41
2.5 Stoffliche Modifizierung von Kunststoffen .....	42
2.5.1 Copolymere und Polymermischungen (Blends) .....	42
2.5.2 Kunststoffverbunde .....	44

<b>3</b>	<b>Eigenschaften und Prüfverfahren</b>	<b>47</b>
3.1	Aussagekraft der Kennwerte	48
3.2	Verarbeitungstechnische Kennwerte	54
3.2.1	Rheologisches Verhalten	54
3.2.1.1	Fließverhalten, Viskosität	54
3.2.1.2	Viskositätsmodelle	60
3.2.1.3	Schmelze-Volumenfließrate MVR und Schmelze-Massenfließrate MFR	62
3.2.2	Erstarrungsverhalten	63
3.2.2.1	Siegelzeit	63
3.2.2.2	Schwindung	63
3.2.2.3	Verzug	69
3.2.2.4	Toleranzen	71
3.2.2.5	Füllstoff-Orientierung	71
3.2.3	Prüfung partikelförmiger Feststoffe	72
3.2.3.1	Bestimmung der Partikelgrößenverteilung	73
3.2.3.2	Mechanik partikelförmiger Feststoffe	73
3.2.3.3	Adhäsionskräfte und Fließfähigkeit	74
3.2.3.4	Fließfähigkeit und der Fließort	77
3.3	Mechanisches Verhalten	79
3.3.1	Kurzzeitverhalten	79
3.3.1.1	Kurzzeit-Zugversuch	79
3.3.1.2	Kurzzeit-Biegeversuch	82
3.3.1.3	Druckversuch	84
3.3.1.4	Eindruckversuch, Härtemessung	84
3.3.2	Verhalten bei Stoß	85
3.3.2.1	Berechnungs-Kennwerte	85
3.3.2.2	Schlag-, Biege- und Zugversuche nach CAMPUS	87
3.3.3	Statisches Langzeitverhalten	89
3.3.3.1	Zeitstand-Zugversuch	89
3.3.3.2	Zeitstand-Innendruckversuch an Rohren	93
3.3.4	Dynamisches Langzeitverhalten	94
3.3.5	Moduln und Querszahl	97
3.3.6	Dichte	99
3.4	Thermisches Verhalten	101
3.4.1	Zulässige Gebrauchstemperatur	101
3.4.1.1	Kurzzeitige Temperatureinwirkung	101
3.4.1.2	Langzeitige Temperatureinwirkung	108
3.4.2	Spezifische Wärmekapazität, Spezifische Enthalpie, Verbrennungswärme	110

3.4.3	Wärmeleitfähigkeit .....	112
3.4.4	Wärmeeindringzahl .....	115
3.4.5	Temperaturleitfähigkeit .....	115
3.4.6	Wärme-Ausdehnungskoeffizient .....	116
3.5	Elektrisches Verhalten .....	123
3.5.1	Isolationsverhalten .....	125
3.5.1.1	Durchgangs-Widerstand/Leitfähigkeit .....	125
3.5.1.2	Oberflächen-Widerstand .....	128
3.5.1.3	Elektromagnetische Abschirmung (Verträglichkeit EMV, Compatibility EMC) .....	128
3.5.2	Festigkeitsverhalten .....	129
3.5.2.1	Elektrische Durchschlagfestigkeit .....	129
3.5.2.2	Elektrische Zeitstandfestigkeit .....	132
3.5.2.3	Kriechstromfestigkeit .....	133
3.5.2.4	Lichtbogen-Festigkeit .....	134
3.5.2.5	Elektrolytische Korrosion .....	134
3.5.3	Dielektrisches Verhalten .....	134
3.5.4	Elektrostatisches Verhalten .....	136
3.5.5	Elektrisch leitfähige Kunststoffe .....	137
3.6	Optisches Verhalten .....	138
3.6.1	Lichtdurchlässigkeit .....	139
3.6.2	Glanz und Reflexion, Trübung .....	140
3.6.3	Farbe .....	141
3.6.3.1	Grundlagen .....	141
3.6.3.2	Farbmessung .....	141
3.6.4	Brechungsindex, Doppelbrechung .....	142
3.6.5	Oberflächenstruktur .....	146
3.7	Verhalten gegen Umwelteinflüsse .....	147
3.7.1	Wasser, Feuchtigkeit .....	148
3.7.2	Chemikalien .....	152
3.7.3	Spannungsrisssbeständigkeit .....	153
3.7.4	Atmosphärische Einflüsse .....	156
3.7.5	Energiereiche Strahlung .....	157
3.7.6	Beständigkeit gegen Organismen .....	157
3.7.7	Migration und Permeation .....	158
3.7.7.1	Wasserdampf-Durchlässigkeit .....	159
3.7.7.2	Gas-Durchlässigkeit .....	161
3.7.7.3	Wasserdampf-Diffusions-Widerstandszahl .....	165
3.7.8	Brandverhalten .....	165
3.8	Reibungs- und Verschleißverhalten .....	168

3.8.1	Reibung .....	168
3.8.1.1	Reibungsmechanismen .....	168
3.8.1.2	Ruckgleiten, Reibungsschwingung oder Stick-Slip-Effekt .....	169
3.8.2	Verschleiß .....	170
3.8.3	Probekörper und Prüfsysteme .....	171
3.8.4	Tribologische Eigenschaften von Thermoplasten .....	173
3.9	Analytische Untersuchungen .....	180
3.9.1	Infrarot (IR)- und Raman-Spektroskopie .....	180
3.9.2	Kernresonanz-Spektroskopie (Nuclear Magnetic Resonance: NMR) .....	181
3.9.3	Dynamisch-mechanische Spektroskopie (DMA) .....	181
3.9.4	Dielektrische Spektroskopie (DEA) .....	183
3.9.5	Differential-Thermoanalyse (DTA) und Differential- Kalorimetrie (DSC) .....	184
3.9.6	Thermogravimetrische Analyse (TGA) .....	186
3.9.7	Dilatometrie, Thermomechanische Analyse (TMA), spezifisches Volumen ( $\rho vT$ ) .....	187
3.9.8	Thermische Leitfähigkeit, Wärmeleitfähigkeit .....	189
3.9.9	Lösungs-Viskosimetrie .....	191
3.9.10	Chromatographie .....	192
<b>4</b>	<b>Kunststoffverarbeitung .....</b>	<b>195</b>
4.1	Aufbereiten .....	197
4.1.1	Mischen .....	197
4.1.1.1	Mischer .....	200
4.1.1.2	Schneckenknetter für viskose Stoffe .....	201
4.1.1.3	Sonstige Mischer für viskose Stoffe .....	208
4.1.2	Granuliertvorrichtungen .....	211
4.1.3	Mühlen .....	213
4.1.4	Trockner .....	215
4.1.5	Aufbereiten härthbarer Formmassen .....	217
4.1.6	Aufbereitung von Recyclingmaterial .....	218
4.2	Extrudieren .....	218
4.2.1	Extruderbauformen .....	219
4.2.1.1	Einschneckenextruder .....	220
4.2.1.2	Zylinderbauarten: Glattrohr und Nutbuchse .....	221
4.2.1.3	Schneckenkonzepte: Dreizonen-, Barriereschnecke .....	223
4.2.1.4	Entgasungs-Extruder .....	223
4.2.1.5	Kaskaden- oder Tandem-Extruder .....	224

4.2.1.6	Schnellläufer-Extruder (adiabatischer Extruder) ..	225
4.2.1.7	Planetwalzen-Extruder .....	225
4.2.1.8	Doppelschneckenextruder .....	226
4.2.2	Zusatzeinrichtungen für Extruder .....	232
4.2.3	Extrusions-Werkzeuge und Nachfolgeeinrichtungen .....	233
4.2.3.1	Rohre und symmetrische Hohlprofile .....	233
4.2.3.2	Vollprofile .....	234
4.2.3.3	Hohlkammer-Profile .....	234
4.2.3.4	Ummantelungen .....	235
4.2.3.5	Platten und Flachfolien .....	236
4.2.3.6	Schlauchfolien .....	238
4.2.3.7	Geschäumte Halbzeuge und Profile .....	239
4.2.3.8	Monofilament, Bändchen, Fasern .....	241
4.2.3.9	Co- oder Mehrschichtextrudate .....	242
4.2.3.10	Mehrschichtige Bahnen .....	243
4.2.4	Kalanderte Folien .....	246
4.2.5	Hohlkörper mit variablem Querschnitt durch Extrusionsblasformen .....	248
4.3	Spritzgießen .....	250
4.3.1	Das Spritzgießverfahren .....	250
4.3.2	Bauformen von Spritzgießmaschinen .....	256
4.3.2.1	Schließeinheiten .....	256
4.3.2.2	Vollelektrische Spritzgießmaschine .....	256
4.3.2.3	Plastifizieraggregat .....	257
4.3.3	Allgemeine Hinweise zum Spritzgießen .....	259
4.3.4	Reinigen von Schnecken und Zylindern .....	263
4.3.5	Spritzgießsonderverfahren .....	263
4.3.5.1	Spritzprägen .....	264
4.3.5.2	Pulverspritzgießen .....	264
4.3.5.3	Mikrospritzgießen .....	265
4.3.5.4	Spritzgießen mit mehreren Einspritzeinheiten ....	265
4.3.5.5	Fluidinjektionstechnik .....	269
4.3.5.6	Schaumspritzgießen .....	271
4.3.5.7	(Flüssig)Silikonspritzgießen (LSR) .....	272
4.3.5.8	Spritzgießen mit Einlegeteilen .....	273
4.3.6	Spritzgießblasformen .....	275
4.4	Formwerkzeuge .....	276
4.4.1	Allgemeines zum Formenbau .....	276
4.4.2	Spritzgießwerkzeuge und Angussarten .....	278
4.4.3	Normalien für Werkzeuge .....	284
4.5	Schäumen .....	285

4.5.1	Schäumprinzipien .....	285
4.5.2	Herstellung von Partikelschaum .....	287
4.6	Gießen .....	288
4.7	Polyurethan(PUR)-Verarbeitungstechnik .....	289
4.7.1	Allgemeine Grundlagen .....	289
4.7.2	Die Verfahrensschritte .....	291
4.7.2.1	Nieder- und Hochdruckmaschinen .....	292
4.7.2.2	Spritz- oder Sprühmaschinen .....	296
4.7.2.3	Anlagen .....	297
4.7.2.4	Kontinuierliche Fertigung .....	297
4.7.2.5	Diskontinuierliche Fertigung .....	298
4.7.2.6	Herstellung faserverstärkter Teile .....	300
4.7.2.7	Reinigung .....	301
4.8	Herstellung von Hochleistungs-Faserverbundkunststoffen .....	301
4.8.1	Kurzfaserverstärkte Verbundkunststoffe .....	303
4.8.1.1	Spritzgießen .....	303
4.8.1.2	Bulk Molding Compounds .....	303
4.8.2	Langfaserverstärkte Verbundkunststoffe .....	305
4.8.2.1	Sheet Molding Compound .....	305
4.8.2.2	Glassmattenverstärkte Thermoplaste .....	306
4.8.2.3	Langfaserverstärkte Thermoplaste .....	307
4.8.3	Fertigungsprozesse mit moderatem Faseranteil .....	309
4.8.3.1	Manuelle Verfahren .....	309
4.8.3.2	Vakuumunterstützte Harzinfusion .....	309
4.8.4	Fertigungsprozesse mit hohem Faseranteil .....	310
4.8.4.1	Resin Transfer Molding .....	311
4.8.4.2	Vakuumunterstütztes Resin Transfer Molding ....	311
4.8.4.3	Compression Resin Transfer Molding .....	312
4.8.4.4	Structural Reaction Injection Molding .....	312
4.8.5	Wickeln .....	313
4.8.6	Pultrusion .....	316
4.8.7	Ablegeverfahren .....	317
4.8.7.1	Prepreg-Herstellung .....	317
4.8.7.2	Automated Tape Layup .....	318
4.9	Pressen .....	319
4.9.1	Schichtpressen .....	319
4.9.2	Strangpressen .....	321
4.9.3	Spritzpressen (Transferpressen) .....	321
4.10	Additive Fertigungsverfahren .....	322
4.10.1	Flüssige Werkstoffe .....	327

4.10.1.1	Stereolithografie (SLA) . . . . .	327
4.10.1.2	Digital Light Processing (DLP) . . . . .	328
4.10.1.3	UV-Assisted Direct Ink Writing (DIW) . . . . .	329
4.10.1.4	Material Jetting (MJ) . . . . .	330
4.10.2	Pulverbasierte Verfahren . . . . .	330
4.10.2.1	Lasersintern (LS) . . . . .	330
4.10.2.2	Hochgeschwindigkeitssintern (HSS) . . . . .	332
4.10.2.3	3D-Druck (3DP) . . . . .	332
4.10.2.4	In Entwicklung befindliche Verfahren . . . . .	332
4.10.3	Filament-/Granulatbasierte Verfahren . . . . .	333
4.10.3.1	Fused Filament Fabrication (FFF) . . . . .	335
4.10.3.2	Granulatbasierte Strangablegeverfahren . . . . .	336
4.10.3.3	Varianten . . . . .	336
4.11	Faserherstellung . . . . .	337
4.11.1	Textile Definitionen . . . . .	337
4.11.2	Faserspinnen aus der Schmelze . . . . .	338
4.11.2.1	Klassisches Faserspinnen . . . . .	339
4.11.2.2	Meltblown-Verfahren . . . . .	341
4.11.2.3	Vliesstoffherstellung . . . . .	342
4.11.2.4	SMS-Vliesstoffe . . . . .	344
4.11.2.5	Spezielle Düsengeometrien und deren Anwendung . . . . .	348
4.11.3	Spezielle Faserherstellungsverfahren . . . . .	349
4.11.3.1	Melt-Elektrospinning . . . . .	351
4.11.3.2	Solution-Elektrospinning . . . . .	352
4.11.4	Additive für das Faserspinnen . . . . .	352
4.11.5	Relevante Polymerkenngrößen für das Faserspinnen . . . . .	353
4.11.6	Prozessinstabilitäten . . . . .	355
4.11.7	Einfache Korrelationen im Faserspinnprozess für den Praktiker . . . . .	357
4.12	Rotationsformen . . . . .	358
4.13	Umformen . . . . .	361
4.13.1	Biegeformen . . . . .	362
4.13.2	Ziehformen . . . . .	363
4.13.3	Streckformen . . . . .	364
4.14	Fügen . . . . .	367
4.14.1	Einteilung der Fertigungsverfahren und Eingliederung Fügen . . . . .	367
4.14.2	Einteilung der Kunststoffschweißverfahren . . . . .	368
4.14.3	Schweißen . . . . .	369

4.14.4	Serienschweißverfahren .....	370
4.14.4.1	Sequenzielle Stumpfschweißverfahren .....	371
4.14.4.2	Reibschweißverfahren .....	377
4.14.4.3	Ultraschallschweißen (US) .....	382
4.14.4.4	Laserdurchstrahlschweißen (LB) .....	384
4.14.5	Schweißen von Halbzeugen .....	387
4.14.5.1	Direktes Heizelementschiweißen .....	387
4.14.5.2	Indirektes Heizelementschiweißen .....	390
4.14.5.3	Konvektive Schweißverfahren .....	391
4.14.6	Schweißen durch elektromagnetisches Wechselfeld .....	395
4.14.6.1	Hochfrequenzschweißen (HF) .....	395
4.14.6.2	Induktionsschweißen (IND) .....	395
4.14.6.3	Mikrowellenschweißen (MW) .....	396
4.14.7	Kleben .....	397
4.14.8	Schrauben, Nieten, Schnappen .....	399
4.15	Oberflächenbehandlungen .....	399
4.15.1	Vorbehandlung der Oberflächen .....	400
4.15.1.1	Nasschemische Verfahren .....	400
4.15.1.2	Gasphasenbehandlung .....	400
4.15.1.3	Flamoxidieren .....	400
4.15.1.4	Strahlenbehandlung .....	401
4.15.1.5	Coronabehandlung .....	401
4.15.1.6	Plasmabehandlung .....	401
4.15.1.7	Mechanische Vorbehandlung .....	402
4.15.2	Polieren .....	403
4.15.3	Lackieren .....	403
4.15.4	Beschichten .....	404
4.15.5	Bedrucken, Beschriften und Dekorieren .....	405
4.15.6	Prägen, Heißprägen .....	407
4.15.7	Beflocken .....	407
4.15.8	Metallisieren von Folien .....	408
4.15.9	SiO <sub>x</sub> -Beschichtung von Folien .....	409
4.15.10	Metallisieren .....	409
4.15.11	Einreiben .....	410
4.15.12	Fluorierung, Gasphasenfluorierung .....	410
4.15.13	Plasmaverfahren (Chemical Vapor Deposition, CVD) .....	411
4.15.14	Thermisches Spritzen .....	411
4.16	Sonstige Bearbeitungsverfahren .....	412
4.16.1	Spanabhebende Bearbeitung .....	412
4.16.2	Trennen, Abtragen .....	414
4.16.3	Strahlenvernetzung .....	415



4.16.4	Wärmebehandlung .....	416
4.16.5	Abbau elektrostatischer Aufladungen .....	416
4.17	Kreislaufwirtschaft – Recycling .....	417
4.17.1	Werkstoffliche Verwertung .....	418
4.17.2	Rohstoffliche Verwertung .....	421
<b>5</b>	<b>Werkstoff- und verarbeitungsgerechte Konstruktion und Simulation .....</b>	<b>423</b>
5.1	Systematisches Konstruieren von Produkten aus Kunststoff .....	424
5.1.1	Anforderungslisten, Pflichtenheft und Lastenheft .....	425
5.1.2	Konstruktionskataloge .....	426
5.2	Werkstoffauswahl .....	427
5.3	Fertigungsgerechtes Konstruieren .....	430
5.3.1	Auswahl des Fertigungsverfahrens .....	430
5.3.2	Fertigungsgerechtes Gestalten .....	430
5.4	Konstruktion mit faserverstärkten Kunststoffen .....	432
5.4.1	Faserlängenverteilung .....	433
5.4.2	Faserorientierungsverteilungen .....	435
5.4.3	Faserdichteverteilung .....	442
5.4.4	Faser-Matrix-Haftung .....	445
5.4.5	Mikrostruktur-Eigenschafts-Beziehung .....	446
5.5	Rechnerunterstützte Konstruktion .....	450
5.5.1	Struktursimulation mit der Methode der Finiten Elemente ..	450
5.5.2	Prozesssimulation .....	453
5.5.2.1	Werkzeugfüllsimulation .....	455
5.5.2.2	Vorhersage von Schwindung und Verzug .....	456
5.5.2.3	Orientierungsvorhersagen .....	457
5.5.3	Modellierung diskontinuierlicher faserverstärkter Materialien für die FEM-Implementierung .....	459
5.6	Werkstoffgerechtes Konstruieren .....	468
5.6.1	Dimensionierungsrechnung .....	468
5.6.2	Dimensionierungskennwerte .....	469
5.6.3	Konventionelle Dimensionierungsrechnung .....	473
5.6.4	Empirisch gestützte Dimensionierungsrechnung .....	473
5.6.5	Bauteilversuche an Prototypen und Modellen .....	473
5.7	Funktionselemente .....	474
5.7.1	Filmscharniere .....	474
5.7.2	Schnappverbindungen .....	475
5.7.3	Schraubverbindungen .....	476

5.7.4	Nieten .....	480
5.7.5	Schweißverbindungen .....	480
5.7.6	Pressverbindungen .....	481
<b>6</b>	<b>Beschreibung der Kunststoffe .....</b>	<b>483</b>
6.1	Allgemeine Hinweise .....	483
6.2	Polyolefine (PO), Polyolefinderivate und -copolymerisate .....	483
6.2.1	Polyethylen-Standard-Homo- und Copolymere (PE-LD, PE-HD, PE-HD-HMW, PE-HD-UHMW und PE-LLD) ...	484
6.2.1.1	Polymerisation, chemischer Aufbau .....	484
6.2.1.2	Verarbeitung .....	486
6.2.1.3	Nachbehandlung .....	488
6.2.1.4	Eigenschaften .....	488
6.2.1.5	Einsatzgebiete .....	492
6.2.2	Polyethylen-Derivate (PE-X) .....	493
6.2.3	Chloriertes und chlorsulfoniertes PE (PE-C) .....	495
6.2.4	Ethylen-Copolymere (PE-ULD, EVAC, EVAL, EEAK, EB, EBA, EMA, EAA, E/P, EIM, COC, ECB, ETFE) .....	495
6.2.4.1	Ultraleichtes Polyethylen (PE-ULD, PE-VLD) .....	502
6.2.4.2	Ethylen-Vinylacetat-Copolymere (EVAC) .....	502
6.2.4.3	Ethylen/Vinylalkohol-Copolymere (EVAL) .....	504
6.2.4.4	Ethylen-Acryl-Copolymerisate (EEAK, EBA, EAA, EAMA, EMA) .....	505
6.2.4.5	PE- $\alpha$ -Olefin-Copolymere (PE $\alpha$ -PO-(M)) .....	505
6.2.4.6	Cycloolefin-Copolymere (COC, COP) .....	505
6.2.4.7	Ionomere (EIM) .....	506
6.2.4.8	Ethylen-Copolymer-Bitumen-Blend (ECB, ECB/TPO)	508
6.2.5	Polypropylen-Homopolymerisate (PP, PP-H) .....	508
6.2.5.1	Chemischer Aufbau, Polymerisation .....	511
6.2.5.2	Verarbeitung .....	512
6.2.5.3	PP-Schaumstoffe (PP-E) .....	512
6.2.5.4	Nachbehandlung .....	512
6.2.5.5	Eigenschaften .....	513
6.2.5.6	Einsatzgebiete .....	514
6.2.6	Polypropylen-Copolymerisate und -Derivate, Blends (PP-C, PP-B, EPDM, PP+EPDM) .....	515
6.2.6.1	Chloriertes PP (PP-C) .....	515
6.2.6.2	PP-Copolymere (PP-B) .....	515
6.2.6.3	Ethylen-Propylen-(Dien)-Copolymer (EPDM) .....	516
6.2.6.4	PP+EPDM-Elastomer-Blends .....	516
6.2.6.5	Polypropylen-Blends .....	517

6.2.7	Polypropylen, Sondertypen .....	517
6.2.8	Polybutene (PB, PIB) .....	519
6.2.8.1	Polybuten-1 (PB) .....	520
6.2.8.2	Polyisobuten (PIB) .....	521
6.2.9	Höhere Poly-( $\alpha$ -Olefine) (PMP, PDCPD) .....	523
6.2.9.1	Poly-4-Methylpenten-1 (PMP) .....	523
6.2.9.2	Polydicyclopentadien (PDCPD) .....	524
6.3	Styrolpolymere .....	524
6.3.1	Polystyrol, Homopolymerisate (PS, PMS) .....	524
6.3.2	Polystyrol, Copolymerisate, Blends .....	525
6.3.2.1	Chemischer Aufbau .....	525
6.3.2.2	Verarbeitung .....	527
6.3.2.3	Eigenschaften .....	527
6.3.3	Polystyrol-Schaumstoff (PS-E, XPS) .....	534
6.4	Vinylpolymere .....	535
6.4.1	Polyvinylchlorid hart, Homopolymerisate (PVC-U) .....	535
6.4.1.1	Chemischer Aufbau .....	535
6.4.1.2	Lieferformen, Verarbeitung .....	536
6.4.1.3	Kennzeichnung .....	538
6.4.1.4	Eigenschaften und Einsatzgebiete .....	539
6.4.2	Polyvinylchlorid weich (PVC-P) .....	543
6.4.2.1	Aufbau .....	543
6.4.2.2	Lieferform, Verarbeitung .....	543
6.4.2.3	Weichmacher .....	544
6.4.2.4	Eigenschaften und Einsatzgebiete .....	547
6.4.3	Polyvinylchlorid: Copolymerisate und Blends .....	548
6.4.4	Polyvinylchlorid: Pasten, Plastisole, Organosole, Schäume ...	549
6.4.4.1	Pasten, Plastisole, Organosole .....	549
6.4.4.2	Schäume .....	550
6.4.5	Vinylpolymere, weitere Homo- und Copolymerisate (PVDC, PVAC, PVAL, PVME, PVFM, PVB, PVK, PVP) .....	551
6.4.5.1	Polyvinylidenchlorid (PVDC) .....	551
6.4.5.2	Polyvinylacetat (PVAC) .....	551
6.4.5.3	Polyvinylalkohol (PVAL) .....	551
6.4.5.4	Polyvinylmethylether (PVME) .....	552
6.4.5.5	Polyvinylbutyral, Polyvinylformal (PVB, PVFM) ...	552
6.4.5.6	Polyvinylcarbazol (PVK) .....	552
6.4.5.7	Polyvinylpyrrolidon und Copolymere (PVP) .....	553
6.5	Fluorpolymere .....	553
6.5.1	Fluor-Homopolymere (PTFE, PVDF, PVF, PCTFE) .....	553
6.5.1.1	Polytetrafluorethylen (PTFE) .....	556

6.5.1.2	Polyvinylidenfluorid (PVDF) .....	558
6.5.1.3	Polyvinylfluorid (PVF) .....	558
6.5.1.4	Polychlortrifluorethylen (PCTFE) .....	559
6.5.2	Fluor-Copolymerisate und -Elastomere (ECTFE, ETFE, FEP, TFEP, PFA, AF, PTFEAF, TFEHFPVDF (THV bzw. TFB), [FKM, FPM, FFKM]) .....	560
6.5.2.1	Ethylen-Chlortrifluorethylen-Copolymer (ECTFE) ..	560
6.5.2.2	Ethylen-Tetrafluorethylen-Copolymer (ETFE) .....	560
6.5.2.3	Polyfluorethylenpropylen (FEP); Tetrafluorethylen-Hexafluorpropylen-Copolymer (TFEP) .....	561
6.5.2.4	Perfluorpropylvinylether-Copolymer, Perfluoralkoxy (PFA) .....	561
6.5.2.5	PTFE-Copolymer mit AF (PTFEAF) .....	562
6.5.2.6	Tetrafluorethylen-Hexafluorpropylen-Vinylidenfluorid-Terpolymer (TFEHFPVDF (THV bzw. TFB)) .....	562
6.5.2.7	Weitere Fluor-Copolymere .....	562
6.6	Polyacryl- und Methacrylpolymeren .....	563
6.6.1	Polyacrylate, Homo- und Copolymerisate (PAA, PAN, PMA, PBA) .....	563
6.6.1.1	Polyacrylnitril (PAN) .....	563
6.6.1.2	Polyacrylate, Spezialprodukte .....	563
6.6.2	Polymethacrylate, Homo- und Copolymerisate (PMMA, AMMA, MABS, MBS) .....	564
6.6.2.1	Polymethylmethacrylat (PMMA) .....	564
6.6.2.2	Methylmethacrylat-Copolymerisate (AMMA) .....	567
6.6.2.3	Methylmethacrylat-Acrylnitril-Butadien-Styrol-Copolymere (MABS); Methacrylat-Butadien-Styrol-Copolymere (MBS) .....	568
6.6.3	Polymethacrylate, Modifizierungen und Blends (PMMA, PMMA-HI, MMA-EML-Copolymer, PMMA+ABS) .....	569
6.6.3.1	Polymethacrylmethylimid (PMMA) .....	569
6.6.3.2	Schlagzähes PMMA (PMMA-HI) .....	569
6.6.3.3	Methylmethacrylat-exo-Methylenlacton-Copolymerisat (MMA-EML-Copol., MMAEML) .....	570
6.6.3.4	PMMA+ABS .....	570
6.7	Polyoxymethylen (Polyacetal, Polyformaldehyd) (POM) .....	571
6.7.1	Polyoxymethylen-Homo- und Copolymerisate (POM-H, POM-Cop.) .....	571
6.7.2	Polyoxymethylen, Modifizierungen und Blends (POM+PUR) .....	581

6.8	Polyamide (PA) .....	584
6.8.1	Polyamide, Homopolymere (AB- und AA/BB-Polymere); (PA 6, 11, 12, 46, 66, 69, 610, 612 (PA 7, 8, 9, 1313, 613)) ...	584
6.8.1.1	Chemische Zusammensetzung .....	585
6.8.1.2	Eigenschaften .....	592
6.8.1.3	Verarbeitung .....	595
6.8.1.4	Einsatzgebiete .....	598
6.8.2	Modifikationen .....	600
6.8.3	Copolyamide .....	605
6.8.3.1	Teilaromatische, teilkristalline Copolyamide (Polyphthalamide, PPA) .....	607
6.8.3.2	Teilaromatische, amorphe Copolyamide .....	607
6.8.3.3	Elastomere Blockcopolyamide (Polyetherblockamide, PEBA) .....	608
6.8.4	Gusspolyamide (PA6-G, PA12-G) .....	609
6.8.5	Polyamid für das Reaktionsgießen (PA-RIM) .....	609
6.8.6	Aromatische Polyamide, Aramide .....	610
6.9	Aromatische (gesättigte) Polyester .....	610
6.9.1	Polycarbonat (PC) .....	611
6.9.1.1	Polycarbonat auf Basis Bisphenol A (PC) .....	611
6.9.1.2	Polycarbonat-Copolymere .....	616
6.9.1.3	Blends (Polymermischungen) .....	617
6.9.2	Polyester der Terephthalsäure, Blends, Blockcopolymeren ....	619
6.9.2.1	Polyethylterephthalat (PET) .....	619
6.9.2.2	Polybutylterephthalat (PBT) .....	625
6.9.2.3	Zyklisches Polybutylterephthalat (CBT) .....	626
6.9.2.4	Polytrimethylterephthalat (PTT) .....	627
6.9.2.5	Thermoplastische Polyester-Elastomere (TPC) ....	627
6.9.2.6	Polyterephthalat-Blends (PET+: PBT, MBS, PMMA, PSU, Elastomer) .....	627
6.9.3	Polyester aromatischer Diole und Carbonsäuren (PAR, PBN, PEN) .....	628
6.9.3.1	Polyarylate (PAR) .....	628
6.9.3.2	Polybutylennaphthalat (PBN) .....	629
6.9.3.3	Polyethylennaphthalat (PEN) .....	629
6.10	Aromatische Polysulfide und Polysulfone (PPS, PSU, PES, PPSU) ....	630
6.10.1	Polyphenylensulfid (PPS) .....	630
6.10.2	Polyarylethersulfone (PAES, PSU, PSU+ABS, PES, PPSU) ....	633
6.11	Aromatische Polyether, Polyphenylenether und Blends (PPE) .....	636
6.12	Aliphatische Polyester (Polyglykole)(PEOX, PPOX, PTHF) .....	638

6.13	Poly(aryl)etherketone (aromatische Polyetherketone) (PAEK: PEK, PEEK, PEKEKK, PEKK) .....	639
6.14	Aromatische Polyimide (PI) .....	644
6.14.1	Duroplastische Polyimide (PI, PBMI, PBI, PBO und weitere) ..	649
6.14.1.1	Polyimid (PI) .....	649
6.14.1.2	Polybismaleinimid (PBMI) .....	649
6.14.1.3	Polybenzimidazol (PBI) .....	649
6.14.1.4	Polytriazine .....	650
6.14.2	Thermoplastische Polyimide (PAI, PEI, PISO, PMI, PMMI, PESI, PARI) .....	650
6.14.2.1	Polyamidimid (PAI) .....	650
6.14.2.2	Polyetherimid (PEI) .....	651
6.14.2.3	Polyimidsulfon (PISO) .....	652
6.14.2.4	Polymethacrylimid (PMI (Hartschaumstoff)) .....	652
6.14.2.5	Polymethacrylatmethylimid (PMMI) .....	653
6.14.2.6	Polyesterimid (PESI) .....	654
6.15	Selbstverstärkende teilkristalline Polymere (LCP, flüssigkristalline Polymere, Liquid Crystal Polymers) .....	654
6.15.1	Chemischer Aufbau .....	654
6.15.2	Verarbeitung .....	655
6.15.3	Eigenschaften .....	655
6.15.4	Einsatzgebiete .....	657
6.16	Leiterpolymere: Zweidimensionale Polyaromaten und -heterocyclen ..	657
6.17	Polyurethane (PUR) .....	660
6.17.1	Allgemeine Grundlagen .....	660
6.17.1.1	Chemischer Aufbau .....	660
6.17.1.2	Herstellung der Polymeren .....	662
6.17.1.3	Brandverhalten .....	664
6.17.1.4	Handhabung der Rohstoffe, Arbeitssicherheit .....	664
6.17.1.5	Umweltschutz, Sicherheit und Abfallverwertung ..	665
6.17.2	Rohstoffe, Hilfsstoffe .....	665
6.17.2.1	Di- und Polyisocyanate .....	666
6.17.2.2	Polyole, Polyamine .....	667
6.17.2.3	Vernetzer bzw. Kettenverlängerer .....	667
6.17.2.4	Hilfsstoffe .....	668
6.17.3	PUR-Kunststoffe .....	670
6.17.3.1	Weichschaumstoffe (PUR-W) .....	671
6.17.3.2	Hartschaumstoffe (PUR-H) .....	673
6.17.3.3	Integralschaumstoffe (PUR-I) .....	674
6.17.3.4	Massive PUR-Kunststoffe, PUR-M .....	677

6.18	Natürlich vorkommende Polymere und Derivate .....	678
6.18.1	Cellulose- und Stärke-Derivate; CA, CTA, CP, CAP, CAB, CN, EC, MC, CMC, CH, VF, PSAC .....	680
6.18.1.1	Chemischer Aufbau .....	680
6.18.1.2	Verarbeitung .....	681
6.18.1.3	Eigenschaften, Einsatzgebiete .....	682
6.18.2	Polyhydroxyfettsäuren/Polyhydroxyalkanoate (PHA) .....	686
6.18.3	Casein-Kunststoffe, Casein-Formaldehyd, Kunsthorn (CS, CSF) .....	686
6.18.4	Polylactid, Polymilchsäure (PLA) .....	686
6.18.5	Elektrisch leitfähige/luminisierende Polymere .....	687
6.18.6	Aliphatisches Polyketon (PK) .....	690
6.19	Thermoplastische Elastomere (TPE) .....	692
6.19.1	Physikalischer Aufbau .....	693
6.19.2	Chemischer Aufbau, Eigenschaften, Einsatzgebiete .....	693
6.19.2.1	Copolyamide (TPA) .....	695
6.19.2.2	Copolyester (TPC) .....	695
6.19.2.3	Polyolefin-Elastomere (TPO) .....	696
6.19.2.4	Polystyrol-Elastomere (TPS) .....	696
6.19.2.5	Polyurethan-Elastomere (TPU) .....	697
6.19.2.6	Polyolefin-Blends mit vernetztem Kautschuk (TPV) .....	697
6.19.2.7	Weitere TPE, TPZ .....	698
6.20	Duroplaste, härtbare Formmassen, Formaldehyd-Pressmassen (PF, RF, CF, XF, FF, MF, UF, MUF, MUPF) und weitere Massen (UP, VE (PHA), EP, PDAP, SI) .....	698
6.20.1	Formaldehyd-Formmassen (PF, RF, CF, XF, FF, MF, UF, MUF, MUPF) .....	699
6.20.1.1	Chemischer Aufbau .....	699
6.20.1.2	Eigenschaften .....	702
6.20.1.3	Einsatzgebiete .....	703
6.20.2	Ungesättigte Polyester-Harze (UP) .....	704
6.20.2.1	Chemischer Aufbau .....	704
6.20.2.2	Eigenschaften .....	706
6.20.2.3	Einsatzgebiete .....	706
6.20.3	Vinylester-Harze (VE), Phenacrylat-Harze; Vinylesterurethane (VU) .....	708
6.20.3.1	Chemischer Aufbau .....	708
6.20.3.2	Eigenschaften .....	708
6.20.4	Epoxid-Harze (EP) .....	708
6.20.4.1	Chemischer Aufbau .....	708

6.20.4.2	Eigenschaften .....	710
6.20.4.3	Einsatzgebiete .....	710
6.20.5	Diallylphthalat-Harze, Allylester (PDAP) .....	711
6.20.5.1	Chemischer Aufbau .....	711
6.20.5.2	Eigenschaften .....	711
6.20.5.3	Einsatzgebiete .....	711
6.20.6	Verarbeitung, Lieferformen .....	717
6.21	Härtbare Gieß- und Laminierharze .....	719
6.21.1	Phenoplaste (PF, CF, RF, XF) .....	719
6.21.2	Aminoplaste (UF, MF) .....	720
6.21.3	Furanharz (FF) .....	721
6.21.4	Ungesättigte Polyester-Harze (UP) .....	721
6.21.5	Vinylester-Harze (VE) Phenacrylat-Harze .....	725
6.21.6	Epoxid-Harze (EP) .....	725
6.21.7	Dicyclopentadien-Harz (DCPD) .....	726
6.21.8	Diallylphthalat-Harze (PDAP) .....	727
6.21.9	Kohlenwasserstoff-Harze (KWH) .....	727
6.22	Kautschuke .....	727
6.22.1	Generelle Beschreibung .....	727
6.22.2	Allgemeine Eigenschaften .....	729
6.22.3	R-Kautschuke (NR, IR, BR, CR, SBR, NBR, NCR, IIR, PNR, SIR, TOR, HNBR) .....	731
6.22.4	M-Kautschuke (EPM, EPDM, AECM, EAM, CSM, CM, ACM, ABR, ANM, FKM, FPM, FFKM) .....	735
6.22.5	O-Kautschuke (CO, ECO, ETER, PO) .....	738
6.22.6	Silikonelastomere .....	738
6.22.6.1	Chemischer Aufbau und Vernetzungssysteme ....	740
6.22.6.2	Eigenschaften .....	743
6.22.6.3	Herstellungstechnologien .....	744
6.22.6.4	Verarbeitung .....	746
6.22.6.5	Einsatzgebiete .....	748
6.22.7	T-Kautschuke (TM, ET, TCF) .....	749
6.22.8	U-Kautschuke (AFMU, EU, AU) .....	750
6.22.9	Polyphosphazene (PNF, FZ, PZ) .....	751
6.22.10	Weitere Kautschuke .....	751
<b>7</b>	<b>Additive, Füllstoffe und Fasern .....</b>	<b>753</b>
7.1	Additive .....	753
7.1.1	Gleitmittel, Antiblockmittel, Trennmittel .....	753
7.1.2	Stabilisatoren .....	755
7.1.2.1	Antioxidantien .....	755



7.1.2.2	Lichtschutzmittel .....	756
7.1.2.3	Wärmestabilisatoren .....	757
7.1.2.4	Schaumstabilisatoren .....	757
7.1.3	Antistatika .....	757
7.1.4	Flammschutzmittel .....	758
7.1.5	Farbmittel .....	761
7.1.5.1	Effektpigmente .....	763
7.1.5.2	Fluoreszenz-Farbmittel (Tagesleucht-Farbmittel) ..	764
7.1.6	Additive für die Laserbeschriftung .....	765
7.1.7	Flexibilisatoren und Weichmacher .....	765
7.1.8	Haftvermittler .....	765
7.1.9	Treibmittel und Kicker .....	766
7.1.10	Nukleierungsmittel .....	768
7.1.11	Antibakterielle Mittel, Fungizide .....	769
7.2	Füllstoffe .....	769
7.2.1	Anorganische Füllstoffe .....	773
7.2.1.1	Ruß .....	773
7.2.1.2	Calciumcarbonat (CaCO <sub>3</sub> ) .....	773
7.2.1.3	Talk/Talkum .....	774
7.2.1.4	Kieselsäuren .....	775
7.2.1.5	Aluminiumtrihydrat .....	775
7.2.1.6	Kaolin .....	775
7.2.1.7	Glimmer .....	776
7.2.1.8	Wollastonit .....	776
7.2.1.9	Massive und hohle Mikrokugeln .....	777
7.2.2	Nanofüllstoffe .....	777
7.3	Fasern .....	781
7.3.1	Verstärkungsfasern .....	782
7.3.1.1	Synthetische, anorganische Fasern, Glasfasern (GF)	784
7.3.1.2	Natürliche organische Verstärkungsfasern, Naturfasern .....	788
7.3.1.3	Synthetische, organische Verstärkungsfasern, Kohlenstofffasern (CF), Aramidfasern (AF) u. a. ...	790
7.3.2	Fasern, Fäden, Borsten, Bänder .....	798
7.3.2.1	Polyesterfasern .....	799
7.3.2.2	Polyamidfasern .....	799
7.3.2.3	Polyacrylnitrilfasern .....	799
7.3.2.4	Polyolefinfasern .....	800
7.3.2.5	Polyvinylalkoholfasern .....	800
7.3.2.6	Polytetrafluorethylenfasern .....	800
7.3.2.7	Polyurethanfasern .....	801

<b>8</b>	<b>Kunststoffe im Vergleich</b>	<b>803</b>
8.1	Verarbeitungstechnische Kennwerte und Toleranzen	804
8.2	Übersicht über mechanische, thermische und allgemeine elektrische Eigenschaften	815
8.3	Elektrisches Verhalten	827
8.4	Optisches Verhalten	828
8.5	Verhalten gegen Umwelteinflüsse	830
8.5.1	Wasser, Feuchtigkeit	830
8.5.2	Chemikalienbeständigkeit	832
8.5.3	Spannungsrisssbeständigkeit	835
8.5.4	Atmosphärische Einflüsse	836
8.5.5	Migration und Permeation	838
8.5.6	Brandverhalten	842
8.6	Erkennen von Kunststoffen	843
	<b>Index</b>	<b>851</b>