

Inhalt

Vorwort zur achten Auflage	V
Vorwort zur siebten Auflage	VII
Vorwort zur sechsten Auflage	VIII
Vorwort zur fünften Auflage	VIII
Vorwort zur vierten Auflage	IX
Vorwort zur dritten Auflage	IX
Die Autoren	XI
Kurzzeichen für Polymere	XIII
1. Einleitung	1
Literatur	2
2 Aufbau und Einteilung der Kunststoffe	3
2.1 Aufbau der Kunststoffe	3
2.1.1 Herstellung von Kunststoffen	4
2.1.1.1 Polymerisation	4
2.1.1.2 Polykondensation	11
2.1.1.3 Polyaddition	12
2.1.2 Bindungskräfte in Polymeren	14
2.2 Einteilung der Kunststoffe	16
2.2.1 Thermoplaste	17
2.2.2 Duroplaste und Elastomere	20
2.2.3 Copolymere und Polymergemische	22
2.2.4 Zuschlagstoffe	23
2.3 Biopolymere	24
Literatur	26

3	Physikalische Eigenschaften der Kunststoffe	27
3.1	Thermische Werkstoffeigenschaften	27
3.1.1	Dichte	27
3.1.2	Thermische Ausdehnung	29
3.1.3	Wärmeleitfähigkeit	30
3.1.4	Spezifische Wärmekapazität	31
3.2	Fließeigenschaften von Polymerschmelzen	34
3.2.1	Newtonsche und nicht-newtonsche Fluide	35
3.2.2	Ansätze zur Beschreibung des strukturviskosen Fließverhaltens der Schmelze	37
3.2.2.1	Potenzansatz nach Ostwald und de Waele	37
3.2.2.2	Carreau-Ansatz	39
3.2.3	Einfluss der Temperatur auf das Fließverhalten	39
3.2.4	Messung viskoser Fließeigenschaften	41
3.2.4.1	Kapillarrheometer	42
3.2.4.2	Rotationsrheometer	46
3.2.4.3	Schmelzindexmessung	47
3.3	Elastische Eigenschaften von Polymerschmelzen	49
3.3.1	Normalspannungen	50
3.3.2	Zeitabhängiges Verhalten	50
3.4	Abkühlen aus der Schmelze	50
3.4.1	Amorph erstarrende Thermoplaste	51
3.4.2	Teilkristallin erstarrende Thermoplaste	51
3.4.3	Nukleierung	54
3.4.4	Bestimmung des Kristallisationsgrades	55
3.5	Morphologie erstarrter Thermoplaste	56
3.5.1	Amorph erstarrte Thermoplaste	57
3.5.2	Teilkristallin erstarrte Thermoplaste	59
	Literatur	61
4	Werkstoffkunde der Kunststoffe	63
4.1	Allgemeines zum Werkstoffverhalten	63
4.2	Spannungs-Dehnungs-Verhalten	66
4.2.1	Kurzzeit-Verhalten	66
4.2.2	Stoßartige Beanspruchung	68
4.2.3	Verhalten bei langzeitiger und ruhender Beanspruchung	69
4.2.4	Schwingende Beanspruchung	71
4.3	Eindruck-, Verschleiß- und Reibverhalten	72
4.3.1	Härte	72
4.3.2	Abrieb	75
4.3.3	Reibverhalten	75
4.4	Elektrisches Verhalten	76
4.4.1	Dielektrisches Verhalten	76
4.4.2	Elektrische Leitfähigkeit	78

4.4.3	Durchschlagfestigkeit	78
4.4.4	Elektrostatische Aufladung	79
4.5	Optisches Verhalten	80
4.5.1	Brechung und Dispersion	80
4.5.2	Transparenz	80
4.5.3	Glanz	81
4.5.4	Farbe	81
4.6	Akustisches Verhalten	83
4.7	Verhalten gegen Umwelteinflüsse	85
4.7.1	Widerstandsfähigkeit gegen Medien	85
4.7.2	Spannungsrisssbeständigkeit	87
4.7.3	Diffusion und Permeation	88
4.7.4	Bewitterung	89
4.7.5	Biologisches Verhalten	90
4.7.6	Brandverhalten	90
4.8	Gebrauchstauglichkeit und Qualitätssicherung	91
Literatur		92
5	Aufbereitung von Kunststoffen	99
5.1	Einleitung	99
5.2	Aufgaben in der Aufbereitung	99
5.2.1	Lagern und Fördern	100
5.2.2	Dosieren	100
5.2.3	Mischen	102
5.2.3.1	Diskontinuierliche Aufbereitungsmaschinen	102
5.2.3.2	Kontinuierliche Aufbereitungsmaschinen	104
5.2.4	Granulieren	107
5.3	Zuschlagstoffe	107
5.3.1	Verarbeitungshilfsmittel	107
5.3.2	Stabilisatoren	108
5.3.3	Antistatika	108
5.3.4	Elektrisch leitfähige Füllstoffe	109
5.3.5	Flammschutzmittel	109
5.3.6	Treibmittel	109
5.3.7	Festigkeit und Steifigkeit herabsetzende Zuschlagstoffe	109
5.3.8	Festigkeit und Steifigkeit erhöhende Zuschlagstoffe	110
Literatur		110
6	Verarbeitungsverfahren für Kunststoffe	111
6.1	Extrusion	111
6.1.1	Der Extruder	112
6.1.1.1	Der Einschneckenextruder	113
6.1.1.2	Die Schnecke	116
6.1.1.3	Konventionelle Einschneckenplastifizierextruder	118

6.1.1.4	Der fördersteife Einschneckenextruder	120
6.1.1.5	Der Plastifiziervorgang im Einschneckenextruder	121
6.1.1.6	Der Doppelschneckenextruder	123
6.1.1.7	Extruderzylinder	125
6.1.2	Weitere Anlagenkomponenten	126
6.1.2.1	Extrusionswerkzeug	126
6.1.2.2	Kalibrierung/Kühlung und Abzug	129
6.1.2.3	Anlagenbeispiele	130
6.1.3	Coextrusion	131
6.2	Extrusionsblasformen und Streckblasen	132
6.2.1	Extrusionsblasformen	133
6.2.1.1	Der Verfahrensablauf	133
6.2.1.2	Die Maschine	135
6.2.1.3	Das Mehrfachblasformen	140
6.2.1.4	Coextrusionsblasformen	140
6.2.1.5	3D-Blasformen	141
6.2.1.6	Saugblasen	141
6.2.2	Streckblasen	142
6.2.2.1	Vorformlingsherstellung	143
6.2.2.2	Verfahren aus erster und zweiter Wärme	143
6.2.2.3	Vor- und Nachteile des Streckblasverfahrens	144
6.3	Spritzgießen	144
6.3.1	Maschine und Verfahrensablauf	144
6.3.1.1	Verfahrensablauf	145
6.3.1.2	Maschinenaufbau	146
6.3.1.3	Kenndaten der Maschine	148
6.3.2	Baugruppen	149
6.3.2.1	Plastifiziereinheit	149
6.3.2.2	Schließeinheit	157
6.3.2.3	Werkzeug	160
6.3.2.4	Werkzeugtemperierung	164
6.3.2.5	Maschinenbett und Steuereinheit	165
6.3.3	Sonderverfahren	165
6.3.3.1	Thermoplast-Schaumspritzgießen (TSG)	166
6.3.3.2	Mehrkomponenten-Spritzgießen	169
6.3.3.3	Kaskadenspritzgießen	172
6.3.3.4	Spritzprägen	173
6.3.3.5	Hinterspritztechnik	175
6.3.3.6	Schmelzkerntechnik	176
6.4	Herstellung von Formteilen aus duroplastischen Pressmassen	176
6.4.1	Der Werkstoff „Duroplastische Pressmasse“	176
6.4.2	Das Pressverfahren	178
6.4.3	Verfahrensvarianten	181
6.5	Elastomerverarbeitung	182
6.5.1	Rohstoffe und Mischungen	183
6.5.1.1	Kautschukpolymere	183

6.5.1.2	Verstärkende Füllstoffe	184
6.5.1.3	Vernetzungssystem	185
6.5.2	Mischungsherstellung	186
6.5.3	Formgebung von Elastomeren	187
6.5.3.1	Extrusion und kontinuierliche Vulkanisation von Elastomeren	187
6.5.3.2	Herstellung elastomerer Formteile	190
6.6	Verarbeitung von Polyurethanen	192
6.6.1	Schaumbildungsprozess	194
6.6.2	Anlagentechnik zur Verarbeitung reaktiver Polyurethane	195
6.6.3	RIM-Verfahren	199
6.7	Faserverstärkte Kunststoffe	200
6.7.1	Materialien	202
6.7.2	Bauteilkonstruktion und -auslegung	205
6.7.3	Verarbeitungsverfahren für Faserverbundkunststoffe	206
6.7.3.1	Handlaminierverfahren	207
6.7.3.2	Faserspritzen	208
6.7.3.3	Prepregverarbeitung, Tapelegen, Autoklavieren	209
6.7.3.4	Faserwickeln	209
6.7.3.5	Pultrusionsverfahren	211
6.7.3.6	Harzinjektionsverfahren (Resin Transfer Moulding, RTM)	212
6.7.3.7	Harzinfusionsverfahren (Resin Infusion, RI)	214
6.7.3.8	Spaltimprägnierverfahren	215
6.7.3.9	Umformen endlosfaserverstärkter Thermoplaste	217
6.7.3.10	Pressen langfaserverstärkter Kunststoffe	220
6.7.4	Prozesssimulation bei der Pressverarbeitung	227
6.8	Kalandrieren	228
6.9	Verarbeitung durch Gießen	233
6.9.1	Gießen	234
6.9.2	Schüttsintern	235
6.9.3	Schleudergießen (Rotationsformen)	236
6.9.4	Foliengießen	237
6.9.5	Umgießen	237
6.9.6	Imprägnieren	237
Literatur		238
7	Weiterverarbeitungstechniken für Kunststoffe	247
7.1	Thermoformen	247
7.1.1	Maschinen	248
7.1.2	Verfahrensschritte	250
7.2	Schweißen von Kunststoffen	255
7.2.1	Heizelementschweißen (HE-Schweißen)	259
7.2.1.1	Direkte Heizelement-Schweißverfahren	259
7.2.1.2	Indirekte HE-Schweißverfahren	263

7.2.2	Warmgasschweißen	264
7.2.2.1	Fächelschweißen (Runddüse)	265
7.2.2.2	Ziehschweißen (Schnellschweißen)	265
7.2.2.3	Warmgas-Überlappschweißen	265
7.2.2.4	Extrusionsschweißen	266
7.2.2.5	Heißgasschweißen	266
7.2.3	Reibschweißverfahren	267
7.2.3.1	Verfahren mit äußerer Reibung	267
7.2.3.2	Verfahren mit innerer Reibung	268
7.2.4	Strahlungsschweißverfahren	270
7.2.4.1	Heizelementstrahlungsschweißen	270
7.2.4.2	Infrarotschweißen	271
7.2.4.3	Laserstrahlschweißen	271
7.2.4.4	Laserdurchstrahlschweißen	271
7.2.5	Induktionsschweißen (Elektromagnetisches Schweißen)	274
7.3	Kleben von Kunststoffen	274
7.3.1	Mechanismus der Klebung	275
7.3.2	Einteilung der Klebstoffe	276
7.3.2.1	Physikalisch abbindende Klebstoffe	277
7.3.2.2	Chemisch abbindende Klebstoffe (Reaktionsklebstoffe) ..	277
7.3.3	Werkstoffeinflüsse auf die Klebbarkeit von Kunststoffen	278
7.3.4	Verfahrensablauf beim Kleben	279
7.4	Mechanische Bearbeitung	281
7.4.1	Sägen	282
7.4.2	Fräsen	284
7.4.3	Schleifen und Polieren	285
7.4.4	Bohren	286
7.4.5	Drehen	288
	Literatur	290
8	Recycling von Kunststoffen	293
8.1	Einleitung	293
8.2	Aufbereitung von Kunststoffabfällen	297
8.3	Werkstoffliche Verwertung von Kunststoffabfällen	299
8.4	Rohstoffliche Verwertung	302
8.5	Energetische Verwertung	304
8.6	Abschließende Bemerkungen	305
	Literatur	305
	Index	309