



Auf einen Blick

Über den Autor	7
Einführung	25
Teil I: Und jedem Zauber wohnt ein Anfang inne	31
Kapitel 1: Hier stimmt die Chemie	33
Kapitel 2: Verarbeitungsverfahren bei Thermoplasten	59
Kapitel 3: Exoten	133
Teil II: Drum prüfe, wer sich ewig bindet	147
Kapitel 4: Materialanalysen	149
Kapitel 5: Messungen bei Herstellung und Verarbeitung	155
Teil III: Werkstoffeigenschaften	175
Kapitel 6: Mechanische Eigenschaften	177
Kapitel 7: Thermische Eigenschaften	243
Kapitel 8: Brandverhalten	261
Kapitel 9: Optische Eigenschaften	275
Kapitel 10: Weitere Eigenschaften	293
Kapitel 11: Sonstiges	309
Teil IV: Flexibel muss man sein	327
Kapitel 12: Polyolefine	329
Kapitel 13: Polyvinylchlorid	343
Kapitel 14: Polystyrol	355
Kapitel 15: Polyester	365
Kapitel 16: Weitere Standard-Thermoplaste	375
Kapitel 17: Polyamid	391
Kapitel 18: Weitere technische Thermoplaste	401
Kapitel 19: Hochleistungsthermoplaste	417
Kapitel 20: Polyimide	431
Kapitel 21: Fluorkunststoffe	447
Kapitel 22: Zusammenfassung	469
Teil V: Gelobt sei, was hart macht	473
Kapitel 23: Werkstoffe	475
Kapitel 24: Verarbeitungsverfahren bei Duroplasten	501





10 Auf einen Blick

Teil VI: Eine andere Sicht der Dinge	519
Kapitel 25: Am Anfang war ... der Kunststoff.....	521
Kapitel 26: Kunststoffe und Umwelt.....	527
Teil VII: Top-Ten-Teil	549
Kapitel 27: 10 wissenswerte Fakten über Kunststoffe	551
Stichwortverzeichnis	555



Inhaltsverzeichnis

Über den Autor	7
Einführung	25
TEIL I	
UND JEDEM ZAUBER WOHT EIN ANFANG INNE	31
Kapitel 1	
Hier stimmt die Chemie	33
Einstieg in die Welt der Kunststoffe	33
Kunststoffe und der Rest der Werkstoff-Welt	34
Aus vielen eines	35
Was es braucht, um ein Kunststoff zu sein	36
Synthese von Polymeren	37
Polymerisation	38
Polyaddition	39
Polykondensation	39
Polyinsertion	40
Aufbau der Polymerketten	40
Eine Frage des Taktes	41
Was die Welt im Innersten zusammenhält	44
Die Wärme machts	45
Härtere Verbindungen	45
Ganz elastisch	45
Amorphität und Teilkristallinität	47
Amorphe Thermoplaste	47
Teilkristalline Thermoplaste	49
Bestimmung der Kristallinität	52
Kapitel 2	
Verarbeitungsverfahren bei Thermoplasten	59
Urformen	60
Spritzguss	60
Extrusion	70
Umformen	72
Kalandrieren	72
Thermoformen	75
Blasformen	77
Spritzstreckblasen	80
Trennende Formgebung	83
Einleitung	83
Zerspanen	86
Gewinde schneiden	89

12 Inhaltsverzeichnis

Entgraten.....	89
Kleben	91
Schweißen.....	95
Heizelementstumpfschweißen.....	95
Heizwendelschweißen.....	98
Infrarotschweißen.....	101
Heißluftschweißen.....	103
Reibschweißen.....	104
Ultraschallschweißen.....	108
Laserdurchstrahlschweißen.....	110
Kunststoff mit etwas beschichten	112
Kunststoffe lackieren	112
Kunststoffe metallisieren.....	113
Etwas mit Kunststoff beschichten	117
Wirbelsintern	117
Flammspritzen	118
Elektrostatisches Beschichten	119
Tempern.....	119
Ursache für innere Spannungen.....	119
Tempern bei teilkristallinen Kunststoffen	120
Gründe für das Tempern	120
Der Temper-Prozess.....	121
Generative Fertigungsverfahren.....	122
Verfahren.....	123
Zusammenfassung.....	127
Werkstoffe	128
Fazit	130

Kapitel 3

Exoten.....	133
Anorganische Polymere	133
Polyphosphazene	134
Polysiloxane.....	137
Graffiti-sprayers Albtraum: Polysilazane.....	138
Fazit	139
Elektrisch leitfähige Polymere.....	140
Wirkungsweise.....	140
Aktuelle Anwendungen	141
Kurzbeschreibung der Werkstoffe	142
Ausblick.....	143
Elektroaktive Polymere	144
Magnetische Kunststoffe.....	145

Inhaltsverzeichnis 13

TEIL II	
DRUM PRÜFE, WER SICH EWIG BINDET	147
Kapitel 4	
Materialanalysen	149
Beilsteinprobe	149
Durchführung	150
Thermogravimetrie	150
Infrarotspektroskopie	151
Energiedispersive Röntgenspektroskopie, REM-EDX	153
Kapitel 5	
Messungen bei Herstellung und Verarbeitung	155
Wärmebildaufnahme	155
Feuchtigkeit des Granulats messen	155
Und wo ist das Problem?	156
Messverfahren	156
Trocknung	157
Panta rhei – Alles fließt	158
Scherviskosität	159
Dehnviskosität	163
TEIL III	
WERKSTOFFEIGENSCHAFTEN	175
Kapitel 6	
Mechanische Eigenschaften	177
Linear-elastisches Verhalten	178
Viskoses Verhalten	179
Plastisches Verhalten	180
Viskoelastizität	181
Maxwell-Modell	181
Kelvin-Voigt-Modell	183
Poynting-Modell	184
Burger-Modell	185
Viskoplastizität	186
Prandtl-Modell	186
Masing-Modell	187
Bingham-Hooke-Modell	189
Universalprüfmaschine	190
Zugversuch	191
Probenkörper	191
Ergebnisse des Zugversuchs	192
Poissonzahl, Querkontraktion	194

14 Inhaltsverzeichnis

Schubversuch	195
Schubmodul Definition.....	195
Torsionsprüfung	196
Scherprüfung.....	198
Torsionspendel-Schwingversuch.....	201
Ultraschallprüfung.....	208
Druckversuch	209
Prüfkörper	210
Ergebnisse Druckversuch	211
Biegeversuch	212
Definition Biegespannung	213
Definition Biegedehnung.....	215
4-Punkt-Biegeversuch	216
(Kerb-)Schlagbiegeversuch	217
Pendelhammer	217
Schlagbiegeversuch nach Charpy.....	219
Schlagbiegeversuch nach Dynstat.....	220
Schlagbiegeversuch nach Izod.....	221
Härteprüfung.....	222
Kugeldruckversuch	222
Härtemessung nach Shore.....	224
Reibungsverhalten	224
Standard-Reibversuche	225
Hinweise zum Reibverhalten.....	227
Zeitstandversuch.....	229
Durchführung Zug-Zeitstandversuch	230
Ergebnisse Zug-Zeitstandversuch.....	231
Zeitstandbiegeversuch	235
Umgebungsbedingte Spannungsriß-Bildung.....	236
Wie läuft diese Art der Spannungsriß-Bildung ab?.....	236
Experimentelle Untersuchung.....	237
Testverfahren für Polyethylen-Rohre.....	238
Dauerschwingversuch	238

Kapitel 7

Thermische Eigenschaften	243
Glasübergangstemperatur	243
Beschreibung der Phasen.....	245
Warum ist der Glasübergang ein Bereich und nicht ein Temperaturpunkt?	245
Wovon hängt die Glasübergangstemperatur T_g ab?	247
Messmethoden	247
Glasübergang und nutzbarer Temperaturbereich.....	248
Wärmeleitfähigkeit	249
Messmethoden	251
Spezifische Wärmekapazität.....	252
Messverfahren	252

Inhaltsverzeichnis 15

Wärmedehnzahl.....	253
Wärmeformbeständigkeit	254
Messmethoden	255

Kapitel 8

Brandverhalten 261

Prüfmethoden	263
Entzündbarkeit.....	263
Sauerstoffindex.....	265
Brandausbreitung.....	265
Brandbelastung.....	267
Rauchentwicklung.....	267
Feuerschutz.....	270
Wo es geht, ganz vermeiden	270
Flammschutzmittel	271
Halogen-Flammschutzmittel	272
Andere Flammschutzmittel	272

Kapitel 9

Optische Eigenschaften 275

Auf den ersten Blick.....	275
Transparenz.....	275
Kein Durchblick mehr	276
Streuung	278
Messverfahren	279
Brechungsindex.....	281
Refraktometer-Verfahren.....	281
Becke-Linien-Verfahren	283
Es ist nicht alles Gold, was glänzt	284
Und wenn es matt sein soll?.....	284
Glanzmessung.....	285
Farbe bekennen.....	288
Definition des Farbtons.....	289
Mathematisch definierte Farbsysteme.....	289
Systeme auf Basis physikalischer Farbmuster.....	290
Farbmessung.....	291
Farbechtheit.....	292

Kapitel 10

Weitere Eigenschaften 293

Physikalische Eigenschaften	293
Dichte.....	293
UV-Beständigkeit	295
Strahlungsbeständigkeit	296
Witterungsbeständigkeit.....	296
Chemische Eigenschaften	298
Ein Warnhinweis vorweg.....	298

16 Inhaltsverzeichnis

Grundregeln.....	299
Schadensarten	300
Die üblichen Verdächtigen	300
Ermitteln der chemischen Beständigkeit	301
Beständigkeit gegen Wasser	302
Elektrische Eigenschaften.....	303
Volumenwiderstand.....	304
Oberflächenwiderstand.....	304
Permittivität.....	306

Kapitel 11

Sonstiges..... 309

Akustische Eigenschaften, Dämpfung, Dämmung	309
Dämmung.....	309
Dämpfung	310
Schallausbreitung im Kunststoff.....	310
Über allen Gipfeln ist Ruh.....	313
Gasdurchlässigkeit, Verhalten im Vakuum.....	315
Etwas Theorie.....	315
Diffusion.....	316
Messung der Permeation	318
Was vom Tage übrig blieb... ..	323
Das Kleingedruckte.....	326

TEIL IV

FLEXIBEL MUSS MAN SEIN 327

Kapitel 12

Polyolefine..... 329

Polyethylen.....	330
Eigenschaften.....	330
Verarbeitung.....	334
Verwendung.....	334
Weitere PE-Typen.....	334
Polypropylen.....	335
Eigenschaften.....	336
Eigenschaften.....	336
Verarbeitung.....	338
Verwendung.....	338
Polymethylpenten.....	339
Verarbeitung.....	340
Verwendung.....	340
Polybutylen	340
Eigenschaften.....	341
Verarbeitung.....	341
Verwendung.....	341

Inhaltsverzeichnis 17

Kapitel 13	
Polyvinylchlorid.....	343
Eigenschaften	343
Brandverhalten	344
Chemische Beständigkeit.....	345
Optische Eigenschaften.....	345
Sonstiges.....	345
Verarbeitung und Verwendung	345
Hart-PVC.....	346
Weich-PVC.....	346
Gele	347
Verarbeitung des Halbzeugs	348
PVC – der umstrittenste aller Kunststoffe.....	349
Problemlösungen	350
Polyvinylidenchlorid	351
Eigenschaften.....	351
Verarbeitung	353
Verwendung.....	353
Entsorgung	353
 Kapitel 14	
Polystyrol.....	355
Geschäumtes Polystyrol.....	356
Herstellung expandiertes PS	357
Verwendung.....	357
Extrudiertes PS.....	358
Standard-Polystyrol	358
Schlagzähes Polystrol	359
Vernetztes Polystyrol	360
Syndiotaktisches Polystyrol	361
Weitere Kunststoffe mit PS-Anteil.....	361
Styrol-Butadien-Styrol.....	362
 Kapitel 15	
Polyester.....	365
Polyethylenterephthalat.....	365
Eigenschaften.....	366
Verarbeitung	367
Verwendung.....	367
Polybutylenterephthalat.....	368
Eigenschaften.....	369
Verarbeitung	369
Verwendung.....	370
Polycarbonat.....	370
Eigenschaften.....	370

18 Inhaltsverzeichnis

Verarbeitung.....	372
Verwendung.....	372
Polyvinylalkohol.....	373
Polyvinylacetat.....	374

Kapitel 16

Weitere Standard-Thermoplaste..... 375

Ethylen-Vinylacetat-Copolymer.....	375
Eigenschaften.....	376
Verarbeitung.....	378
Verwendung.....	378
Polyacrylnitril.....	379
Styrol-Acrylnitril.....	381
Eigenschaften.....	381
Verarbeitung.....	382
Verwendung.....	382
Acrylnitril-Butadien-Styrol.....	383
Eigenschaften.....	383
Verarbeitung.....	384
Verwendung.....	384
Acrylester-Styrol-Acrylnitril.....	385
Eigenschaften.....	385
Verarbeitung.....	386
Verwendung.....	386
Anmerkung.....	387
Polymethylmethacrylat.....	387
Eigenschaften.....	387
Verarbeitung.....	389
Verwendung.....	389
Polyallyldiglycolcarbonat.....	390

Kapitel 17

Polyamid..... 391

Eigenschaften.....	394
Chemische Beständigkeit.....	395
Verarbeitung.....	395
Verwendung.....	396
Polyaramid.....	397
Eigenschaften.....	397
Verarbeitung.....	397
Verwendung.....	397
Polyphthalamide.....	398
Eigenschaften.....	398
Verarbeitung.....	400
Verwendung.....	400

Inhaltsverzeichnis 19

Kapitel 18**Weitere technische Thermoplaste..... 401**

Polyoxymethylen.....	402
Eigenschaften.....	402
Verarbeitung.....	404
Verwendung.....	404
Polyphenylensulfid.....	405
Eigenschaften.....	406
Verarbeitung.....	408
Verwendung.....	408
Flüssigkristalline Polymere	409
Was ist der Unterschied zwischen <i>flüssig</i> kristallinen Polymeren und <i>teil</i> kristallinen Polymeren?	411
Seitenketten-LCP	411
Aus welchen weiteren Polymeren kann man LCP erzeugen?	412
Besonderheiten der flüssigen Kristallinität	412
Eigenschaften.....	412
Verarbeitung.....	414
Verwendung.....	415

Kapitel 19**Hochleistungsthermoplaste..... 417**

Polyphenylenether.....	418
Eigenschaften.....	418
Verarbeitung.....	419
Verwendung.....	420
Polyarylethersulfone	420
Polysulfon	421
Eigenschaften.....	421
Verarbeitung.....	422
Verwendung.....	423
Polyethersulfon.....	423
Eigenschaften.....	423
Verarbeitung.....	424
Verwendung.....	425
Polyarylensulfon	425
Polyphenylensulfon.....	425
Eigenschaften.....	425
Verarbeitung.....	426
Verwendung.....	427
Zusammenfassung.....	427
Polyaryletherketone	427
Polyetheretherketon.....	428
Eigenschaften.....	428
Verarbeitung.....	430
Verwendung.....	430

20 Inhaltsverzeichnis

Kapitel 20

Polyimide	431
Polyimid	432
Eigenschaften	432
Verarbeitung	434
Verwendung	434
Polyamidimid	435
Eigenschaften	435
Verarbeitung	436
Verwendung	436
Polyetherimid	437
Eigenschaften	437
Verarbeitung	438
Verwendung	438
Polybismaleimid	439
Eigenschaften	439
Verarbeitung	439
Verwendung	440
Polybenzimidazol	440
Eigenschaften	440
Verarbeitung	441
Verwendung	441
Polymethacrylimid	442
Eigenschaften	442
Verarbeitung	442
Verwendung	442
Polyimid kombiniert mit Polysulfon	442
Polyetherimidsulfon	443
Eigenschaften	443
Verarbeitung	444
Verwendung	444
Polyoxadiazole	445
Eigenschaften	445
Verwendung	445
Eigenschaften	446
Verwendung	446

Kapitel 21

Fluorkunststoffe	447
Polytetrafluorethylen	448
Eigenschaften	448
Verarbeitung	450
Verwendung	450
Ethylentetrafluorethylen	452
Eigenschaften	453
Verarbeitung	454

Inhaltsverzeichnis 21

Verwendung.....	454
Ethylenchlortrifluorethylen.....	455
Eigenschaften.....	455
Verarbeitung.....	458
Verwendung.....	458
Polychlortrifluorethylen.....	458
Eigenschaften.....	459
Verarbeitung.....	460
Verwendung.....	460
Polyvinylidenfluorid.....	461
Eigenschaften.....	461
Verarbeitung.....	463
Verwendung.....	463
Perfluoralkoxy-Polymere.....	464
Eigenschaften.....	464
Verarbeitung.....	465
Verwendung.....	466
Perfluorethylenpropylen.....	466
Eigenschaften.....	466
Verarbeitung.....	468
Verwendung.....	468

Kapitel 22**Zusammenfassung..... 469**

Für eine Handvoll Dollar.....	469
Einteilung nach Güte der Eigenschaften.....	470

TEIL V**GELOBT SEI, WAS HART MACHT..... 473****Kapitel 23****Werkstoffe..... 475**

Phenoplaste.....	476
Eigenschaften.....	477
Verwendung.....	477
Aminoplaste.....	478
Harnstoff-Formaldehyd-Harz.....	479
Melamin-Harz.....	479
Polyesterharze.....	480
Eigenschaften.....	482
Verwendung.....	483
Acrylharz.....	485
Epoxidharze.....	486
Verarbeitung.....	486
Eigenschaften.....	487
Verwendung.....	487
Vinylesterharz.....	488

22 Inhaltsverzeichnis

Verwendung.....	488
Polyurethane	489
Eigenschaften.....	489
Verarbeitung.....	490
Verwendung.....	491
Silikon.....	494
Verwendung.....	495
Silikonharz	499

Kapitel 24

Verarbeitungsverfahren bei Duroplasten 501

Spritzgießen	501
Formpressen	502
Vorwärmen	503
Dosieren und Einfüllen.....	503
Aufschmelzen.....	504
Formen.....	505
Härten.....	505
Auswerfen	506
Entgraten.....	506
Lieferformen der Rohmasse	507
Vergießen.....	508
Verarbeitung.....	509
Laminieren	513
Geeignetes Fasermaterial.....	513
Verarbeitung.....	514
Prepregs.....	514
Wickeln von harzgetränkten Fasern	516
Faserspritzen	517

TEIL VI

EINE ANDERE SICHT DER DINGE 519

Kapitel 25

Am Anfang war ... der Kunststoff 521

Vor der Industrialisierung.....	521
Neandertaler	522
Industrielle Entwicklung.....	522
Entwicklungsmethoden.....	523
Entwicklung der Kunststoffproduktion.....	524

Kapitel 26

Kunststoffe und Umwelt 527

Schädliche Auswirkungen des Plastikmülls.....	528
Löst sich das Problem von selber auf?.....	528
Es gibt nichts Gutes, außer man tut es.....	529
Recycling	529

Inhaltsverzeichnis 23

Thermische Verwertung	531
Lösemittelbasiertes Recycling	531
Biologisch abbaubare Kunststoffe, Biokunststoffe	533
Kunststoffe auf Basis von Glucose	539
Polycaprolacton	544
Galalith	545
Weitere Einsatzgebiete von biologisch abbaubaren Kunststoffen	546
Kunststoff-Vermeidung	546
Der Kreislauf des Lebens – für Kunststoffe	546
Schlusswort	548

TEIL VII**TOP-TEN-TEIL** 549**Kapitel 27****10 wissenswerte Fakten über Kunststoffe** 551

Was ist Kunststoff und was ist Polymer?	551
Grundtypen der Kunststoffe	552
Organisch - Anorganisch	552
Polymere und Natur	552
Polymere und die Menschheit	553
Polymere in der Technik	553
Polymere und die Umwelt	553
Kunststoffe als Problemlöser	553
Kunststoffe und die Wirtschaft	554
Kunststoffe – immer noch unter Wert verwendet	554

Stichwortverzeichnis 555

