



# Auf einen Blick

---

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





## 10 Auf einen Blick

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





# Inhaltsverzeichnis

<b>Über den Autor .....</b>	<b>7</b>
<b>Einführung .....</b>	<b>25</b>
<b>TEIL I</b>	
<b>UND JEDEM ZAUBER WOHLT EIN ANFANG INNE .....</b>	<b>31</b>
<b>Kapitel 1</b>	
<b>Hier stimmt die Chemie .....</b>	<b>33</b>
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
<b>Kapitel 2</b>	
<b>Verarbeitungsverfahren bei Thermoplasten .....</b>	<b>59</b>
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

<b>Exoten.....</b>	<b>133</b>
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

<b>TEIL II</b>	
<b>DRUM PRÜFE, WER SICH EWIG BINDET .....</b>	<b>147</b>
<b>Kapitel 4</b>	
<b>Materialanalysen .....</b>	<b>149</b>
Beilsteinprobe .....	149
Durchführung .....	150
Thermogravimetrie.....	150
Infrarotspektroskopie .....	151
Energiedispersive Röntgenspektroskopie, REM-EDX.....	153
<b>Kapitel 5</b>	
<b>Messungen bei Herstellung und Verarbeitung.....</b>	<b>155</b>
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
<b>TEIL III</b>	
<b>WERKSTOFFEIGENSCHAFTEN.....</b>	<b>175</b>
<b>Kapitel 6</b>	
<b>Mechanische Eigenschaften.....</b>	<b>177</b>
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

<b>Thermische Eigenschaften .....</b>	<b>243</b>
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





<b>Kapitel 13</b>	
<b>Polyvinylchlorid</b> .....	<b>343</b>
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
<b>Kapitel 14</b>	
<b>Polystyrol</b> .....	<b>355</b>
Geschäumtes Polystyrol.....	356
Herstellung expandiertes PS .....	357
Verwendung.....	357
Extrudiertes PS.....	358
Standard-Polystyrol .....	358
Schlagzähes Polystyrol .....	359
Vernetztes Polystyrol .....	360
Syndiotaktisches Polystyrol .....	361
Weitere Kunststoffe mit PS-Anteil.....	361
Styrol-Butadien-Styrol.....	362
<b>Kapitel 15</b>	
<b>Polyester</b> .....	<b>365</b>
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



<b>Kapitel 18</b>	
<b>Weitere technische Thermoplaste.....</b>	<b>401</b>
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>flüssigkristallinen</i> Polymeren und <i>teilkristallinen</i> 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
 <b>Kapitel 19</b>	
<b>Hochleistungsthermoplaste.....</b>	<b>417</b>
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
Polyarylsulfon.....	425
Polyphenylsulfon.....	425
Eigenschaften.....	425
Verarbeitung.....	426
Verwendung.....	427
Zusammenfassung.....	427
Polyaryletherketone.....	427
Polyetheretherketon.....	428
Eigenschaften.....	428
Verarbeitung.....	430
Verwendung.....	430



## 20 Inhaltsverzeichnis

### Kapitel 20

<b>Polyimide</b> .....	<b>431</b>
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

<b>Fluorkunststoffe</b> .....	<b>447</b>
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

<b>TOP-TEN-TEIL .....</b>	<b>549</b>
---------------------------	------------

#### **Kapitel 27**

<b>10 wissenswerte Fakten über Kunststoffe .....</b>	<b>551</b>
--	------------

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

<b>Stichwortverzeichnis .....</b>	<b>555</b>
-----------------------------------	------------



