EUROPA-FACHBUCHREIHE
Verfahrenstechnik der Kunststoffberufe

Fachkunde Kunststofftechnik

5., erweiterte Auflage

Erarbeitet von Lehrern an beruflichen Schulen

VERLAG EUROPA-LEHRMITTEL · Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG
Düsselberger Straße 23 · 42781 Haan-Gruiten
Europa-Nr.: 13802

1 Aufbau und Eigenschaften der Werkstoffe

1.1 Physikalische Grundlagen 10
1.1.1 Grundbegriffe 10
1.1.2 Masse und Gewichtskraft 11
1.1.3 Länge, Fläche, Volumen und Dichte 13
1.1.4 Zeit und Geschwindigkeit 15
1.1.5 Weitere wichtige physikalische Größen 17
1.1.6 Aggregatzustand, Adhäsion, Kohäsion und Kapillarwirkung 20
1.1.7 Gemenge 22
1.1.8 Kräfte und ihre Wirkungen 24

1.2 Werkstofftechnik 26
1.2.1 Einteilung der Werkstoffe 26
1.2.2 Eigenschaften der Werkstoffe 28
1.2.3 Einteilung der Eisen-Werkstoffe 31
1.2.4 Handelsformen der Stähle 35
1.2.5 Wärmebehandlung bei Stählen 36
1.2.6 Normung der Eisen-Werkstoffe 37
1.2.7 Nichteisenmetalle 39
1.2.8 Verbundstoffe 40

1.3 Chemische Grundlagen 41
1.3.1 Aufbau der Atome 41
1.3.2 Das Periodensystem der Elemente 42
1.3.3 Aufbau der Moleküle 44
1.3.4 Chemische Formeln 47
1.3.5 Organische Kohlenwasserstoffe 48

1.4 Bildung von Makromolekülen 52
1.4.1 Vom Erdöl zum Monomer 52
1.4.2 Vom Monomer zum Polymer 54
1.4.3 Makromoleküle 59

1.5 Einteilung der Kunststoffe 65
1.5.1 Einteilung nach der Bildungsreaktion 65
1.5.2 Einteilung nach dem thermischen Verhalten 65

1.6 Wärmeverhalten von Kunststoffen 67
1.6.1 Wärmeverhalten von amorphen Thermoplasten 67
1.6.2 Wärmeverhalten von teilkristallinen Thermoplasten 68
1.6.3 Wärmeverhalten von Duroplasten 69
1.6.4 Wärmeverhalten von Elastomeren 69

1.7 Kunststoffe – Eigenschaften und Anwendung 71
1.7.1 Thermoplaste 71
1.7.2 Polymerblends 85
1.7.3 Elastomere 87
1.7.4 Thermoplastische Elastomere 92
1.7.5 Duroplaste 95
1.7.6 Biokunststoffe 101

1.8 Verstärkungsstoffe 105
1.8.1 Verbundwerkstoffe 105
1.8.2 Verstärkungsfasern 106
1.8.3 Bauformen der Fasern (Roving) 106
1.8.4 Faserhalbzeuge 107
1.8.5 Vorimprägnierte Halbzeuge 107

1.9 Zuschlag- und Hilfsstoffe 108
1.9.1 Anforderungen an Additive 108
1.9.2 Additive für Thermoplaste und Duroplaste 108
1.9.3 Additive für Kautschuke 110

2 Fertigungs- und Prüftechnik für Kunststoffe und Metalle

2.1 Grundlagen der Prüftechnik 112
2.1.1 Grundbegriffe 112
2.1.2 Messabweichungen 114
2.1.3 Toleranzen und Passungen 115

2.2 Aufbau, Funktion und Anwendung von Prüfmitteln 124
2.2.1 Längenprüfmittel 124
2.2.2 Lehren 132
2.2.3 Winkelprüfgeräte 133
2.2.4 Oberflächenprüfmittel 134
2.2.5 Farb- und Glanzprüfung 137
2.2.6 Gewichts-, Dichte- und Feuchtigkeits-Prüfung 138

2.3 Fertigungshauptgruppen 139
2.3.1 Verfahren der Fertigungshauptgruppen 141

2.4 Berechnungen zur Fertigungs- und Prüftechnik 175
2.4.1 Berechnungen zur Prüftechnik 175
2.4.2 Berechnungen zur Fertigungstechnik 177

2.5 Vorschriften des Arbeits- und Gesundheitsschutzes 181
2.5.1 Sicherheitszeichen 181
2.5.2 Sicherheitsmaßnahmen 182

2.6 Umweltschutzvorschriften 183

3 Verarbeitung und Prüfung von Kunststoffen

3.1 Qualitätsmanagement 184
3.1.1 Qualitätsregelkreis 185
3.1.2 Methoden des Qualitätsmanagements 185
3.1.3 Statistische Verfahren des Qualitätsmanagements 188

3.2 Qualitätssicherungsmaßnahmen 193
3.2.1 Qualitätssichernde Elemente 193
3.2.2 Lieferantenbewertung 193
3.2.3 Kundenzufriedenheit 193
3.2.4 Produkthaftung 194

3.3 Recycling 195
3.3.1 Werkstoffliches Recycling 195
3.3.2 Rohstoffliches Recycling 197
3.3.3 Thermische Verwertung 197

3.4 Werkstoffprüfverfahren der Kunststofftechnik 198
3.4.1 Kunststofferkennung 199
3.4.2 Rieselfähigkeit 203
3.4.3 Roh- und Schüttdichte 205
3.4.4 Härteprüfung 207
3.4.5 Feuchteprüfung 209
3.4.6 Schmelzindex (MFR)/(MVR) 210
3.4.7 Zugprüfung, E-Modul 211
3.4.8 Schlag- und Kerbschlagprüfung 212
3.4.9 Formbeständigkeit in der Wärme 213
3.4.10 Infrarotspektralanalyse 214
3.4.11 Spannungsoptik 215

4 Maschinentechnische Grundfunktionen an kunststoffverarbeitenden Maschinen

4.1 Systemanalyse 216

4.2 Antriebseinheiten 218
4.2.1 Elektromotor 218
4.2.2 Hydromotor 218
4.2.3 Druckluftmotor 219

4.3 Übertragungseinheiten 220
4.3.1 Wellen 220
4.3.2 Achsen 220
4.3.3 Zapfen 221
4.3.4 Kupplungen 222
4.3.5 Riementriebe 226
4.3.6 Kettentriebe 227
4.3.7 Zahnradtriebe 228
4.3.8 Getriebe 229

4.4 Stütz- und Trageinheiten 232
4.4.1 Gehäuse und Gestelle 232
4.4.2 Lager 233
4.4.3 Führungen 235
4.5 Verbindungseinheiten 237
4.5.1 Welle-Nabe-Verbindungen 237
4.5.2 Schraubverbindungen 240
4.5.3 Stiftverbindungen 242
4.5.4 Nietverbindungen 243

4.6 Begriffe und Größen der Elektrotechnik 244
4.6.1 Grundkenntnisse 244
4.6.2 Die elektrische Spannung 244
4.6.3 Der elektrische Strom 245
4.6.4 Der elektrische Widerstand 246
4.6.5 Das Ohm'sche Gesetz 247
4.6.6 Schaltung von Widerständen 248
4.6.7 Die elektrische Arbeit und Leistung 249

4.7 Eigenschaften und Anwendung von Energieträgern 250

4.8 Gefahren des elektrischen Stromes 250

4.9 Instandhaltung 252
4.9.1 Wartung 254
4.9.2 Inspektion 255
4.9.3 Instandhaltungsstrategien 255

5 Steuerungs- und Regelungstechnik

5.1 Steuerungs- und Regelungsvorgänge 258
5.1.1 Der automatische Prozess 258
5.1.2 Grundlagen der Steuerungstechnik 259
5.1.3 Grundlagen der Regelungstechnik 261
5.1.4 Bauelemente von Steuerungen 263
5.1.5 Darstellungsformen von Steuerungen 266

5.2 Pneumatische Anlagen 269
5.2.1 Drucklufterzeugung 269
5.2.2 Ventile 273

5.3 Steuerungen entwerfen 278
5.3.1 Vor- und Nachteile der Pneumatik 278
5.3.2 Aufbau von Schaltplänen 278
5.3.3 Bezeichnung der Bauteile und pneumatische Grundschaltungen 279
5.3.4 Signalüberschneidungen 281

5.4 Hydraulische Steuerungen 284
5.4.1 Vorteile und Nachteile der Hydraulik 284
5.4.2 Hydraulikflüssigkeiten und Bauteile 284

5.5 Elektropneumatische Steuerungen 290
5.5.1 Elektrische Signaleingabeelemente 290
5.5.2 Relais, Schütze und Magnetventile 291
5.5.3 Grundschaltungen 292

5.6 Speicherprogrammierte Steuerungen (SPS) 296
5.6.1 Aufbau einer SPS 296
5.6.2 Arbeitsweise und Programmierung einer SPS 297
5.6.3 Programmierung einer Verknüpfungs- bzw. Ablaufsteuerung 300

5.7 Handhabungseinrichtungen 301
5.7.1 Einteilung von Handhabungseinrichtungen 301
5.7.2 Funktionseinheiten und die Programmierung von Industrierobotern 302
5.7.3 Besonderheiten und Schutzvorkehrungen bei Industrierobotern 304

6 Fertigungsspezifische Vor- und Nachbehandlungsmaßnahmen

6.1 Vor- und Aufbereitungsmaßnahmen 306
6.1.1 Zerkleinern 306
6.1.2 Mischen 309
6.1.3 Plastifizieren 311
6.1.4 Granulieren 313
6.1.5 Masterbatch 316
6.1.6 Compoundierung 317
6.1.7 Trocknung 318
6.1.8 Lagerung und Transport 320

6.2 Nachbehandlungsmaßnahmen 322
6.2.1 Tempern 322
6.2.2 Konditionieren 323
6.2.3 Oberflächenvorbehandlung 323
6.2.4 Oberflächenveredlung 326

7 Herstellen von Formteilen durch Spritzgießen

7.1 Systemanalyse der Maschine und des Prozesses 331
7.1.1 Arbeitsstellungen der Maschine 332
7.1.2 Zyklusablauf bei Thermoplastverarbeitung 333
7.1.3 Verarbeitungsparameter 334
7.1.4 Schließeinheit 335
7.1.5 Spritzeinheit 343

7.2 Aufbau von Spritzgießwerkzeugen 348
7.2.1 Angusssysteme 349
7.2.2 Angussformen 350
7.2.3 Werkzeugarten 354
7.2.4 Werkzeugtemperierung 357
7.2.5 Werkzeugentlüftung 359
7.2.6 Entformung 360

7.3 Fertigungsverfahren 364
7.3.1 Spritzgießen von Thermoplasten 364
7.3.2 Spritzgießen von Elastomeren 371
7.3.3 Spritzgießen von Duromeren 373
7.3.4 Sonderverfahren 375

7.4 *Spritzgießfehler* 388

8 Herstellen von Formteilen durch Pressen

8.1 Systemanalyse der Maschine und des Prozesses 392
8.1.1 Formpressen 392
8.1.2 Spritzpressen 400
8.1.3 Presswerkzeuge 402
8.1.4 Fehler und ihre Ursachen beim Verarbeiten von Formmassen 406

8.2 Pressen und Pressautomaten 407
8.2.1 Nachbearbeiten von Formteilen 409
8.2.2 Sonderverfahren zur Verarbeitung von Formmassen 410

9 Herstellen von Formteilen durch Blasformen

9.1 Systemanalyse der Maschine und des Prozesses 412
9.1.1 Plastifiziereinheit 415
9.1.2 Schlauchköpfe 416
9.1.3 Wanddickensteuerung 420
9.1.4 Schließeinheit 422
9.1.5 Schlauchtrennvorrichtung 423
9.1.6 Blasstation 424
9.1.7 Nachfolgestationen 426

9.2 Aufbau von Blaswerkzeugen 427
9.2.1 Werkstoffe 427
9.2.2 Trennkanten 428
9.2.3 Formentlüftung 429
9.2.4 Formkühlung 430
9.2.5 Formunterbau 430
9.2.6 Entformungshilfen 431
9.2.7 Zusatzeinrichtungen 431

9.3 Fertigungsverfahren 432
9.3.1 Verfahren mit kontinuierlichem Schlauchaustritt 432
9.3.2 Verfahren mit diskontinuierlichem Schlauchaustritt 434
9.3.3 Streckblasen und Spritzblasen 436
9.3.4 Bottlepack-Verfahren 437

10 Herstellen von Formteilen und Halbzeugen durch Schäumen

10.1 Allgemeines über Schäume 438

10.2 Schäume aus blähfähigen Einzelteilchen 440
10.2.1 Expandierfähiges Polystyrol EPS 440
10.2.2 Expandierfähiges Polypropylen EPP 446

10.3 Schäume aus reaktionsfähigen, flüssigen Ausgangskomponenten 449
10.3.1 PUR-Schaum 449
10.3.2 Melaminharzschaumstoff 457

11 Herstellen von Halbzeugen durch Extrudieren

11.1 Systemanalyse der Maschine und des Prozesses 458
11.1.1 Aufbau einer Extrusionsanlage 459
11.1.2 Aufgaben des Extruders 459
11.1.3 Extruderbauarten 460
11.2 Einschneckenextruder 460
11.2.1 Extruderschnecken 461
11.2.2 Plastifizierzylinder 464
11.2.3 Einfülltrichter, Förder- und Mischgeräte 466
11.2.4 Antriebseinheit 466
11.2.5 Temperiersystem 466
11.2.6 Glattrohrextruder (Konventioneller Extruder) 466
11.2.7 Nutbuchsenextruder (Extruder mit genuteter Einzugsbuchse) 468
11.3 Doppelschneckenextruder 469
11.3.1 Gleichläufiger Doppelschneckenextruder (Gleichläufer) 469
11.3.2 Gegenläufiger Doppelschneckenextruder (Gegenläufer) 472
11.3.3 Planetwalzenextruder 474
11.4 Extrusionswerkzeuge 475
11.4.1 Werkzeuge mit kreisringspaltförmigem Austrittsquerschnitt 475
11.4.2 Profilwerkzeuge 479
11.4.3 Flachfolien- und Plattenwerkzeuge 480
11.4.4 Coextrusionswerkzeuge für Thermoplaste 481
11.5 Nachfolgeeinrichtungen 482
11.6 Produktionslinien 484
11.6.1 Blasfolienanlagen 484
11.6.2 Flachfolienanlage 487
11.7 Fehler an Extrudaten 489

12 Herstellen von Halbzeugen durch Kalandrieren

12.1 Systemanalyse der Kalanderanlage und des Prozesses 490
12.2 Kalandrierbare Kunststoffformmassen 491
12.3 Aufbau der Kalanderstraße 491
12.3.1 Materialaufbereitung beim Kalandrieren 492
12.3.2 Die Kalandereinheit 493
12.3.3 Der Kalandriervorgang bei Thermoplasten 494
12.3.4 Abzugs-, Kühl- und Aufwickeleinrichtung 498
12.4 Nachbehandlung 498
12.5 Besonderheiten beim Kalandrieren von Kautschuk 499
12.5.1 Kalandrierbare Kautschuke 499
12.5.2 Besonderheiten der Kalandereinheit 500

13 Herstellen von Halbzeugen durch Beschichten

13.1 Beschichten mit fließfähigen Materialien 502
13.1.1 Trägerstoffe 502
13.1.2 Beschichtungsmassen 503
13.1.3 Arbeitsablauf von PVC-Beschichtungsverfahren 504
13.1.4 Beschichtungsverfahren und -maschinen 506
13.2 Das Tauchverfahren und Imprägnieren 508
13.3 Kaschieren von Trägerbahnen 509
13.3.1 Hotmelt-Kaschierung 512
13.4 Beschichten aus der Schmelze 512
13.5 Oberflächenbehandlung beschichteter Trägerbahnen 514
13.5.1 Prägen 514
13.5.2 Überfärben 515
13.5.3 Lackieren 515
13.6 Umweltschutzmaßnahmen 515

14 Herstellen von Mehrschicht-Kautschukteilen

14.1 Mischen und Kneten 516
14.2 Mischverfahren 517
14.3 Der Innenmischer 518
14.4 Das Walzwerk 521
14.5 Nachfolgeeinrichtungen 522
14.6 Mischsaalsystem mit zentralem Innenmischer 523
14.7 Herstellung von Platten und gummierten Festigkeitsträgern 524
14.7.1 Gummieren von Gewebe 524
14.7.2 Skimmen 525
14.7.3 Belegen von Stahlk ord und Geweben 525
14.7.4 Profilieren 525
14.7.5 Roller-Head-Verfahren (Extrudierverfahren) 526
14.7.6 Nachfolgeeinrichtungen 526
14.8 Herstellung von Reifen 528
14.8.1 Reifenherstellung mit der „Single-Stage"-Reifenaufbaumaschine 531
14.8.2 Reifenheizpressen 532
14.9 Herstellung von Keilriemen 536
14.10 Vulkanisation 539
14.10.1 Grundkenntnisse zur Vulkanisation 539
14.10.2 Vulkanisationsverlauf 540
14.10.3 Vulkanisationsverfahren 541
14.10.4 Kontinuierliches Vulkanisationsverfahren unter Druck 541
14.10.5 Kontinuierliches Vulkanisationsverfahren ohne Druck 542

15 Herstellen von Bauteilen durch Bearbeiten von Halbzeugen

15.1 Umformverfahren 544
15.1.1 Werkstoffverhalten beim Umformen 545
15.1.2 Umformbereiche 547
15.1.3 Biegeumformen 549
15.1.4 Positivformung 551
15.1.5 Negativformung 552
15.1.6 Druckumformen 553
15.1.7 Spezielle Umformverfahren 554
15.1.8 Umformwerkzeuge 555
15.1.9 Vor- und Nachbearbeitung der Halbzeuge 556

15.2 Schweißen von Kunststoffen 558
15.2.1 Grundlagen des Kunststoffschweißens 558
15.2.2 Heizelementschweißen (Schweißen durch Wärmeleitung) 560
15.2.3 Warmgasschweißen (Schweißen durch Konvektion) 562
15.2.4 Schweißen durch Strahlung 566
15.2.5 Schweißen durch Reibung 567
15.2.6 Schweißen durch Induktion 571
15.2.7 Anwendung der Schweißverfahren und Schweißsymbole 572

15.3 Kleben von Kunststoffen 573
15.3.1 Technologie des Klebens 573
15.3.2 Klebstoffe 574
15.3.3 Gestaltung von Klebeverbindungen 576
15.3.4 Vorbehandlung der Klebeflächen 578
15.3.5 Der Klebevorgang 579
15.3.6 Vor- und Nachteile von Klebverbindungen 580

15.4 Mechanische Verbindungen von Kunststoffen 581
15.4.1 Schnappverbindungen 581
15.4.2 Schraubverbindungen 582
15.4.3 Nietverbindungen 583
15.4.4 Steck- und Pressverbindungen 583

15.5 Elemente und Baugruppen des Behälter- und Apparatebaus 584
15.5.1 Absperr-, Regel- und Sicherheitsarmaturen 584
15.5.2 Rohrleitungssysteme und Rohrverbindungen 585

16 Herstellen von Bauteilen durch Laminieren

16.1 Werkstoffkomponenten für Faserverbundwerkstoffe 586

16.2 Duroplastische Matrixharze 587

16.3 Reaktionsmittel 588

16.4 Härtung von Reaktionsharzen 588

16.5 Thermoplastische Matrices 588

16.6 Verstärkungsmaterialien 589
16.6.1 Ausführungsformen der Verstärkungsmaterialien 590
16.6.2 Stützkernwerkstoffe und Sandwichmaterialien 592

16.7 Additive 592

16.8 Vor- und Zwischenprodukte 592

16.9 Formgebungsverfahren 593
16.9.1 Handlaminierverfahren 593
16.9.2 Vakuumsackverfahren 595
16.9.3 Faserharzspritzen 595
16.9.4 Wickelverfahren 596
16.9.5 Harzinjektionsverfahren 598
16.9.6 Pressen 599
16.9.7 Schleudern 599
16.9.8 Pultrusion 600
16.9.9 Autoklav-Verfahren 601

16.10 Nachbearbeitung 601

16.11 Bauteilgestaltung 601
16.11.1 Leichtbauprinzipien 602
16.11.2 Werkstoffgerechte Bauteilgestaltung 602
16.11.3 Verfahrensgerechte Gestaltung 603

16.12 Fügen von Bauteilen 604

17 Auskleiden und Abdichten

17.1 Auskleidewerkstoffe 606

17.2 Auskleidetechniken 609

18 Technik und Herstellung von Kunststofffenstern

18.1 Fenstersysteme und ihre Elemente 614
18.1.1 Glas- und Scheibenarten 614
18.1.2 Profil- und Konstruktionsarten 620
18.1.3 Aufbau und Maßbezeichnungen von Fenstern 623
18.1.4 Fensterbeschläge 625

18.2 Herstellung von Fensterrahmen 627
18.2.1 Profilzuschnitt und -bearbeitung 629
18.2.2 Verbinden der Profilzuschnitte 631
18.2.3 Klotzung und Dichtung der Scheibe 633

18.3 Montage und Befestigung von Fenstersystemen 636
18.3.1 Arbeitsplan für die Montage eines unverglasten Drehkipp-Fensters 638
18.3.2 Grundlagen der Bauphysik 639

18.4 Reparatur und Wartung von Fenstersystemen 643
18.4.1 Beseitigung von Oberflächenschäden 643
18.4.2 Wartung der Fenster 643