

Inhalt

Vorwort	V
Vorwort zur 4. Auflage	V
Vorwort zur 3. Auflage	V
Vorwort zur 1. Auflage	VI
Der Autor: Prof. Christian Bonten	IX
Hinweise zur Benutzung des Buches	XI
1 Einleitung	1
1.1 Kunststoff – Werkstoff der Moderne	1
1.2 Einsatzgebiete von Kunststoffen	6
1.3 Kunststoffe und Design	9
2 Grundlagen	13
2.1 Von Monomer zu Polymer – Grundlagen der Polymerchemie	13
2.1.1 Herkunft der Monomere	13
2.1.2 Polymersynthese	16
2.1.2.1 Polymerisation	16
2.1.2.2 Copolymerisation (Sonderform der Polymerisation)	19
2.1.2.3 Polykondensation	20
2.1.2.4 Polyaddition	21
2.1.3 Die Molmasse von Polymeren	22
2.1.4 Bindungskräfte und Brown'sche Molekularbewegung	28
2.1.4.1 Innermolekulare chemische Bindungen	28

2.1.4.2	Intermolekulare physikalische Bindungen	30
2.1.4.3	Brown'sche Molekularbewegung – Beweglichkeit der Polymerketten	33
2.1.5	Mechanismen der Erstarrung und Unterteilung der Polymere ...	34
2.1.6	Primärstruktur von Polymeren: Konstitution und Konfiguration	38
2.1.7	Sekundär- und Tertiärstrukturen von Polymeren: Konformation	39
2.1.7.1	Amorphe Strukturen	41
2.1.7.2	Kristalline Strukturen	42
2.1.7.3	Einfluss der Primärstruktur	42
2.1.7.4	Überstrukturen	45
2.1.8	Polymere – Rohstoff nicht nur für Kunststoffe	49
2.2	Grundlagen der Kraftübertragung	50
2.2.1	Wichtige Begriffe	50
2.2.1.1	Festigkeit	50
2.2.1.2	Steifigkeit	50
2.2.1.3	Zähigkeit	50
2.2.1.4	Spannungs-Dehnungs-Diagramme	51
2.2.2	Zustandsbereiche von Kunststoffen	54
2.2.2.1	Glasübergangstemperatur T_g	55
2.2.2.2	Kristallitschmelztemperatur T_m	56
2.2.2.3	Zustandsbereiche vernetzter Polymere	57
2.2.3	Mechanische Ersatzmodelle	58
2.3	Kunststoff und Kunststofftechnik – Begriffsbestimmung	62
3	Kunststoff-Werkstofftechnik	67
3.1	Verhalten in der Schmelze – Fließeigenschaften und deren Messung	68
3.1.1	Strömungsmechanische Grundlagen	69
3.1.2	Einflüsse auf das Fließverhalten	77
3.1.3	Das Konzept der repräsentativen Viskosität	81
3.1.4	Dehnung von Schmelze	84
3.1.5	Strangaufweitung und Schrumpf	86
3.1.6	Rheometrie – die Messung der Fließeigenschaften	88
3.1.6.1	Die Messung des Schmelzemassefließrate MFR	89
3.1.6.2	Das Hochdruck-Kapillarrheometer	91

3.1.6.3	Rotationsrheometer	92
3.1.6.4	Dehnrheometer	97
3.2	Verhalten als Festkörper – Festkörpereigenschaften und deren Messung	98
3.2.1	Mechanische Eigenschaften von Kunststoffen	99
3.2.1.1	Der Zugversuch	100
3.2.1.2	Der Schnellzerreiversuch	103
3.2.1.3	Zeit- und Temperatureinfluss auf das mechanische Verhalten	104
3.2.1.4	Der Zeitstandversuch	107
3.2.1.5	Der Schwingversuch	109
3.2.1.6	Der Biegeversuch	112
3.2.1.7	Zur Unterscheidung von Proben und Prüfkörpern	114
3.2.2	Physikalische Eigenschaften	115
3.2.2.1	Elektrische Eigenschaften	115
3.2.2.2	Magnetische Eigenschaften	118
3.2.2.3	Optische Eigenschaften	119
3.2.2.4	Akustische Eigenschaften	126
3.2.3	Werte für den Wärme- und Stoffaustausch	128
3.2.3.1	Spezifische Enthalpie h	129
3.2.3.2	Spezifische Wärmekapazität c_p	130
3.2.3.3	Dichte ρ	133
3.2.3.4	Wärmeleitfähigkeit λ	134
3.2.3.5	Wärmeausdehnungskoeffizient α	137
3.2.3.6	Temperaturleitfähigkeit a	138
3.2.3.7	Wrmeeindringzahl b	140
3.2.3.8	Stofftransport	140
3.3	Beeinflussung der Eigenschaften durch Zusatzstoffe	144
3.3.1	Verstärkungsstoffe – Aktive Zusatzstoffe	145
3.3.1.1	Die Fasern und das Prinzip der Verstärkung	148
3.3.1.2	Die Aufgaben der Matrix	151
3.3.1.3	Kraftübertragung des Faserkunststoffverbunds	152
3.3.1.4	Defekte in Faserkunststoffverbunden	156
3.3.1.5	Nanopartikel als aktive Zusatzstoffe	160
3.3.2	Funktions-Zusatzstoffe – Additive	162
3.3.2.1	Viskosittsverndernde Zusatzstoffe – Fließhilfsmittel ..	162

3.3.2.2	Weichmacher	163
3.3.2.3	Zumischung anderer Polymere – Bildung von Polymerblends	165
3.3.2.4	Schlagzähmodifizierer	165
3.3.2.5	Keimbildner (Nukleierungsmittel)	167
3.3.2.6	Haftvermittler	168
3.3.2.7	Leitfähige Zusatzstoffe	169
3.3.3	Füllstoffe – Inaktive Zusatzstoffe	170
3.4	Von Polymer zu Kunststoff – Einführung in die Kunststoff- Aufbereitung	171
3.4.1	Der Doppelschneckenextruder	172
3.4.2	Verfahrenstechnik	173
3.4.3	Charakteristische Kennwerte	177
3.4.4	Zusatzaggregate	178
3.5	Prozess, Struktur, Eigenschaften – Beeinflussung im Verarbeitungsprozess	181
3.5.1	Eigenspannungen	182
3.5.2	Orientierung von Makromolekülen	183
3.5.3	Orientierung von Fasern	185
3.5.4	Kristallisation	187
3.5.5	Bildung einer Makrostruktur: Schäumen von Kunststoffen	187
3.6	Veränderungen mit der Zeit – Einblick in die Alterung von Kunststoffen	189
3.6.1	Alterungsursachen	190
3.6.2	Alterungsvorgänge	191
3.6.2.1	Mechanische Alterungsmechanismen	191
3.6.2.2	Physikalische Alterungsmechanismen	192
3.6.2.3	Chemische Alterungsmechanismen	194
3.6.2.4	Wirkweise von Alterungsstabilisatoren	196
3.6.3	Alterungserscheinungen	197
3.6.4	Charakterisierung des Alterungsfortschritts	198
3.7	Kurzdarstellung einiger wichtiger Kunststoffe	200
3.7.1	Polyethylen (PE)	204
3.7.2	Polypropylen (PP)	205
3.7.3	Ethylen-Propylen-(Dien)-Copolymere (EPDM)	207
3.7.4	Polyvinylchlorid (PVC)	209

3.7.5	Polystyrol (PS)	212
3.7.6	Styrol-Butadien-Styrol-Copolymere (SBS)	213
3.7.7	Styrol-Acrylnitril-Copolymere (SAN)	214
3.7.8	Acrylnitril-Butadien-Styrol-Copolymere (ABS)	217
3.7.9	Acrylnitril-Styrol-Acrylester-Copolymere (ASA)	219
3.7.10	Polyamid (PA)	221
3.7.11	Polybutylenterephthalat (PBT)	226
3.7.12	Polyethylenterephthalat (PET)	227
3.7.13	Polycarbonat (PC)	230
3.7.14	Polymethylmethacrylat (PMMA)	233
3.7.15	Polyoxymethylen (POM)	235
3.7.16	Polytetrafluorethylen (PTFE)	238
3.7.17	Polyetheretherketon (PEEK)	239
3.7.18	Polyethersulfon (PES) und Polysulfon (PSU)	242
3.7.19	Polyphenylensulfid (PPS)	243
3.7.20	Cellulosederivate	245
3.7.21	Polyhydroxyalkanoate (PHA)	248
3.7.22	Polylactid (PLA)	250
3.7.23	Thermoplastisches Polyurethan (TPE-U, auch TPU)	251
3.7.24	Polyurethan (PUR)	252
3.7.25	Epoxidharze (EP)	254
3.7.26	Melaminformaldehydharz (MF)	255
3.7.27	Phenol-Formaldehyd- oder Phenolharz (PF)	256
3.7.28	Harnstoff-Formaldehydharz (UF)	257
3.7.29	Ungesättigtes Polyesterharz (UP)	258
4	Kunststoff-Verarbeitungstechnik	263
4.1	Extrusion	264
4.1.1	Extruderschnecke und Zylinder	265
4.1.2	Der Hochleistungsextruder Helibar®	273
4.1.3	Rohr- und Profilextrusion	275
4.1.4	Flachfolien- und Plattenextrusion	281
4.1.5	Schlauch- und Blasfolienextrusion	282
4.1.6	Extrusionsblasformen	284
4.1.7	Co-Extrusion	285

4.2	Spritzgießen	287
4.2.1	Der Spritzgießprozess	290
4.2.2	Das Plastifizieraggregat	293
4.2.3	Die Schließeinheit mit Spritzgießwerkzeug	296
4.2.3.1	Rheologische Auslegung	298
4.2.3.2	Thermische Auslegung	300
4.2.4	Einfluss des Spritzgießprozesses auf die Eigenschaften des Bauteils	303
4.2.5	Vorstellung einiger Sonderverfahren	306
4.2.5.1	Spritzprägen	307
4.2.5.2	Thermoplastschaum-Spritzgießen	308
4.2.5.3	Kaskaden-Spritzgießen	309
4.2.5.4	Mehr-Komponenten-Verfahren	309
4.2.5.5	Sandwich-Spritzgießen	311
4.2.5.6	Fluidinjektionstechniken	313
4.2.5.7	Hinterspritztechnik	315
4.2.5.8	Spritzstreck-Blasformen	316
4.2.5.9	Variotherme Werkzeugtemperierung	318
4.3	Verarbeitung von vernetzenden Kunststoffen	319
4.3.1	Pressen	321
4.3.2	Transferpressen	323
4.3.3	Spritzgießen	323
4.3.4	Verarbeitung von Polyurethan	324
4.4	Technologie der Faserkunststoffverbunde	329
4.4.1	Handlaminieren und Faserspritzen	330
4.4.2	Pressen von SMC und GMT	331
4.4.3	Pultrusion von Endlosfasern	335
4.4.4	Arbeiten mit Prepregs	336
4.4.5	Harzinjektionsverfahren	337
4.4.6	Dreidimensionale Faserkunststoffverbundstrukturen	339
4.5	Weiterverarbeitung	341
4.5.1	Thermoformen	342
4.5.2	Mechanische Bearbeitung von Kunststoffen	350
4.5.3	Schweißen	353
4.5.3.1	Heizelementschweißen	355

4.5.3.2	Ultraschallschweißen	359
4.5.3.3	Vibrationsreibschweißen	361
4.5.3.4	Laserschweißen	362
4.5.4	Kleben	363
4.5.5	Fügen durch Schnappverbindungen, Schrauben und Nieten	369
4.5.6	Beschichten von Kunststoffen	372
4.5.6.1	Beschichtete Bauteile	372
4.5.6.2	Beschichtungsverfahren	375
5	Produktentwicklung mit Kunststoffen	383
5.1	Kunststoffe als Konstruktionswerkstoffe	384
5.1.1	Kunststoffspezifische Alleinstellungsmerkmale	384
5.1.2	Werkstoffvorauswahl	387
5.2	Geometrische Unterteilung von Produkten	390
5.2.1	Großflächige Produkte	390
5.2.2	Gehäuseartige Produkte	391
5.2.3	Behälterartige Produkte	392
5.2.4	Komplexe Produkte	392
5.2.5	Funktionsspezifische Produkte	393
5.2.6	Bedeutung für die Wahl des Verarbeitungsverfahrens	393
5.3	Konstruieren mit Kunststoffen	396
5.3.1	Anforderungen an Produkte und Funktionen	396
5.3.2	Nutzen der Gestaltungsfreiheit – Integration von Funktionselementen	399
5.3.3	Nutzung der Gestaltungsfreiheit – Erhöhung des Flächenträgheitsmoments	404
5.3.4	Werkstoffgerechtes Konstruieren	408
5.3.5	Fertigungsgerechtes Konstruieren	418
5.3.6	Beanspruchungsgerechtes Konstruieren	421
5.3.6.1	Dimensionierung gegen eine zulässige Spannung	424
5.3.6.2	Dimensionierung gegen eine kritische Dehnung	426
5.3.6.3	Dimensionierung gegen den Zeiteinfluss – Lebensdauervorhersage	429
5.3.7	Kurzzusammenfassung der kunststoffgerechten Konstruktion ...	432
5.4	Nutzen von Prototypen in der Produktentwicklung	434
5.4.1	Rapid Prototyping	435

5.4.1.1	Stereolithographie (SLA)	436
5.4.1.2	Selektives Lasersintern (SLS)	437
5.4.1.3	Laminated Object Manufacturing (LOM)	438
5.4.1.4	3D-Printing (3D-P)	438
5.4.1.5	Strangablegeverfahren (FFF)	439
5.4.2	Rapid Tooling	441
5.4.2.1	Gießverfahren	442
5.4.2.2	Lasersintern von Werkzeugen	445
5.4.3	Wahl eines Prototypverfahrens	446
5.4.3.1	Anforderungen an den Prototyp	446
5.4.3.2	Prototypen für großflächige Produkte und für gehäuseartige Produkte	447
5.4.3.3	Prototypen für behälterartige Produkte	448
5.4.3.4	Prototypen für komplexe Produkte	450
6	Kunststoffe und Umwelt	453
6.1	Kunststoffabfälle	453
6.1.1	Vermeidung von Abfällen	457
6.1.2	Recycling von Abfällen	458
6.1.3	Was können wir tun?	461
6.2	Sind Kunststoffe giftig?	462
6.3	Biopolymere und Biokunststoffe	467
6.3.1	Biobasierte Kunststoffe	468
6.3.2	Biologisch abbaubare Kunststoffe	473
6.3.3	Vom Biopolymer zum Biokunststoff – Compoundierung ist der Schlüssel	476
6.4	Ressourcenschonung mit Kunststoffen	478
6.4.1	Herkunft des Begriffes der „Nachhaltigkeit“	478
6.4.2	Der Brundtland-Bericht und das Kyoto-Protokoll	479
6.4.3	Ressourcenschonung mit Kunststoffen	481
6.4.4	Regenerative Energieerzeugung mit Kunststoffen	486
6.4.5	Wie wird die Kunststoffindustrie CO ₂ -neutral bis 2050?	489
6.5	Fazit	490

A	Anhang: Empfehlungen zur Abfassung einer Bachelor-/Masterarbeit am IKT	495
A.1	Unterschiedlicher Anspruch an eine Bachelor-, Master- und Doktorarbeit	495
A.2	Wissenschaftliche Methoden	496
A.2.1	Quellen-untersuchende Methoden	496
A.2.2	Theoretische Methoden	497
A.2.3	Empirische Methoden	497
A.3	Wissenschaftliche Arbeit	498
A.4	Bachelor- oder Masterarbeit	499
A.4.1	Zum Titel der Abschlussarbeit	500
A.4.2	Zum Inhalt der Arbeit	500
A.4.2.1	Zusammenfassung	500
A.4.2.2	Einleitung	501
A.4.2.3	Hauptteil	501
A.4.2.4	Schlussbemerkungen	502
A.4.2.5	Anhang	502
A.4.3	Zum Umfang der Arbeit	502
A.4.4	Zum Schreibstil der Arbeit	503
Index		505