

Inhalt

Vorwort	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	5
1.3 Kunststoffe und Design	8
1.4 Literaturverzeichnis	11
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
2.4	Literaturverzeichnis	64
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	76
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	100
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
3.2.2	Physikalische Eigenschaften	114
3.2.2.1	Elektrische Eigenschaften	114
3.2.2.2	Magnetische Eigenschaften	117
3.2.2.3	Optische Eigenschaften	118
3.2.2.4	Akustische Eigenschaften	125
3.2.3	Werte für den Wärme- und Stoffaustausch	127
3.2.3.1	Spezifische Enthalpie h	128
3.2.3.2	Spezifische Wärmekapazität c_p	129
3.2.3.3	Dichte ρ	132
3.2.3.4	Wärmeleitfähigkeit λ	133
3.2.3.5	Wärmeausdehnungskoeffizient α	136
3.2.3.6	Temperaturleitfähigkeit a	137
3.2.3.7	Wärmeeindringzahl b	139
3.2.3.8	Stofftransport	139
3.3	Beeinflussung der Eigenschaften durch Zusatzstoffe	144
3.3.1	Verstärkungsstoffe – Aktive Zusatzstoffe	144
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	Viskositätsverändernde 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	186
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 Alterungstabilisatoren	196
3.6.3	Alterungserscheinungen	197
3.6.4	Charakterisierung des Alterungsfortschritts	198
3.7	Kurzdarstellung einiger wichtiger Kunststoffe	201
3.8	Polyethylen (PE)	205
3.9	Polypropylen (PP)	206
3.10	Ethylen-Propylen-(Dien)-Copolymere (EPDM)	207
3.11	Polyvinylchlorid (PVC)	210
3.12	Polystyrol (PS)	212
3.13	Styrol-Butadien-Styrol-Copolymere (SBS)	214
3.14	Styrol-Acrylnitril-Copolymere (SAN)	215
3.15	Acrylnitril-Butadien-Styrol-Copolymere (ABS)	218
3.16	Acrylnitril-Styrol-Acrylester-Copolymere (ASA)	219
3.17	Polyamid (PA)	222
3.18	Polybutylenterephthalat (PBT)	228
3.19	Polyethylenterephthalat (PET)	229
3.20	Polycarbonat (PC)	232
3.21	Polymethylmethacrylat (PMMA)	234
3.22	Polyoxymethylen (POM)	236
3.23	Polytetrafluorethylen (PTFE)	239

3.24	Polyetheretherketon (PEEK)	240
3.25	Polyethersulfon (PES) und Polysulfon (PSU)	242
3.26	Polyphenylensulfid (PPS)	244
3.27	Cellulosederivate	246
3.28	Polyhydroxyalkanoate (PHA)	248
3.29	Polylactid (PLA)	249
3.30	Thermoplastisches Polyurethan (TPE-U, auch TPU)	251
3.31	Polyurethan (PUR)	252
3.32	Epoxidharze (EP)	253
3.33	Melaminformaldehydharz (MF)	255
3.34	Phenol-Formaldehyd- oder Phenolharz (PF)	256
3.35	Harnstoff-Formaldehydharz (UF)	257
3.36	Ungesättigtes Polyesterharz (UP)	258
3.37	Literaturverzeichnis	259
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	Extrusions-Blasformen	284
4.1.7	Co-Extrusion	285
4.2	Spritzgießen	288
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	299
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	Spritzgießcompoundieren	310

4.2.5.5	Mehr-Komponenten-Verfahren	311
4.2.5.6	Sandwich-Spritzgießen	313
4.2.5.7	Fluidinjektionstechniken	315
4.2.5.8	Hinterspritztechnik	317
4.2.5.9	Spritzstreck-Blasformen	318
4.2.5.10	Variotherme Werkzeugtemperierung	320
4.3	Verarbeitung von vernetzenden Kunststoffen	321
4.3.1	Pressen	323
4.3.2	Transferpressen	325
4.3.3	Spritzgießen	325
4.3.4	Verarbeitung von Polyurethan	326
4.4	Technologie der Faserkunststoffverbunde	331
4.4.1	Handlaminieren und Faserspritzen	332
4.4.2	Pressen von SMC und GMT	333
4.4.3	Pultrusion von Endlosfasern	336
4.4.4	Arbeiten mit Prepregs	338
4.4.5	Harzinjektionsverfahren	339
4.4.6	Dreidimensionale Faserkunststoffverbundstrukturen	341
4.5	Weiterverarbeitung	343
4.5.1	Thermoformen	343
4.5.2	Mechanische Bearbeitung von Kunststoffen	351
4.5.3	Schweißen	354
4.5.3.1	Heizelementschweißen	356
4.5.3.2	Ultraschallschweißen	360
4.5.3.3	Vibrationsreibschweißen	362
4.5.3.4	Laserschweißen	363
4.5.4	Kleben	364
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	376
4.6	Literaturverzeichnis	380
5	Produktentwicklung mit Kunststoffen	383
5.1	Kunststoffe als Konstruktionswerkstoffe	384
5.1.1	Kunststoffspezifische Alleinstellungsmerkmale	384
5.1.2	Werkstoffvorauswahl	388
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	395
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	407
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	434
5.4.1.1	Stereolithographie (SLA)	435
5.4.1.2	Selektives Lasersintern (SLS)	437
5.4.1.3	Laminated Object Manufacturing (LOM)	437
5.4.1.4	3D-Printing (3D-P)	438
5.4.1.5	Strangablegeverfahren (FDM oder 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	Protoypen für großflächige Produkte und für gehäuseartige Produkte	447
5.4.3.3	Protoypen für behälterartige Produkte	449
5.4.3.4	Protoypen für komplexe Produkte	450
5.5	Literaturverzeichnis	451
6	Kunststoffe und Umwelt	453
6.1	Kunststoffabfälle	453
6.2	Sind Kunststoffe giftig?	459
6.3	Biopolymere und Biokunststoffe	463

6.3.1	Bioabbaubare Kunststoffe	464
6.3.2	Biobasierte Kunststoffe	468
6.3.3	Von Biopolymer zu Biokunststoff – Aufbereitung von Biopolymeren	473
6.4	Ressourcenschonung mit Kunststoffen	475
6.4.1	Herkunft des Begriffes der „Nachhaltigkeit“	475
6.4.2	Der Brundtland-Bericht und das Kyoto-Protokoll	475
6.4.3	Ressourcenschonung mit Kunststoffen	478
6.4.4	Regenerative Energieerzeugung mit Kunststoffen	483
6.5	Fazit	486
6.6	Literaturverzeichnis	487
A	Anhang: Empfehlungen zur Abfassung einer Bachelor-/Masterarbeit am IKT	489
A.1	Unterschiedlicher Anspruch an eine Bachelor-, Master- und Doktorarbeit	489
A.2	Wissenschaftliche Methoden	490
A.2.1	Quellen-untersuchende Methoden	490
A.2.2	Theoretische Methoden	490
A.2.3	Empirische Methoden	491
A.3	Wissenschaftliche Arbeit	492
A.4	Bachelor- oder Masterarbeit	493
A.4.1	Zum Titel der Abschlussarbeit	493
A.4.2	Zum Inhalt der Arbeit	493
A.4.2.1	Zusammenfassung	494
A.4.2.2	Einleitung	494
A.4.2.3	Hauptteil	494
A.4.2.4	Schlussbemerkungen	496
A.4.2.5	Anhang	496
A.4.3	Zum Umfang der Arbeit	496
A.4.4	Zum Schreibstil der Arbeit	496
	Index	499