

Inhalt

Vorwort	V
Der Autor: Prof. Christian Bonten	VII
Hinweise zur Benutzung des Buches	VIII
1 Einleitung	1
1.1 Kunststoff – Werkstoff der Moderne	1
1.2 Einsatzgebiete von Kunststoffen	5
1.3 Kunststoffe und Design	8
2 Grundlagen	13
2.1 Von Monomer zu Polymer	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	19
2.1.2.4 Polyaddition	21
2.1.3 Die Molmasse von Polymeren	22
2.1.4 Bindungskräfte und Brown'sche Molekularbewegung	27
2.1.4.1 Innermolekulare chemische Bindungen	27
2.1.4.2 Intermolekulare physikalische Bindungen	29
2.1.4.3 Brown'sche Molekularbewegung - Beweglichkeit der Polymerketten	32
2.1.5 Mechanismen der Erstarrung und Unterteilung der Polymere	33
2.1.6 Primärstruktur von Polymeren: Konstitution und Konfiguration	36
2.1.7 Sekundär- und Tertiärstrukturen von Polymeren: Konformation	38
2.1.7.1 Amorphe Strukturen	38
2.1.7.2 Kristalline Strukturen	39
2.1.7.3 Einfluss der Primärstruktur	39
2.1.7.4 Überstrukturen	42
2.1.8 Polymere – Rohstoff nicht nur für Kunststoffe	45
2.2 Grundlagen der Kraftübertragung	46
2.2.1 Wichtige Begriffe	46
2.2.1.1 Festigkeit	46

2.2.1.2 Steifigkeit	46
2.2.1.3 Zähigkeit	46
2.2.1.4 Spannungs-Dehnungs-Diagramme	47
2.2.2 Zustandsbereiche von Kunststoffen	50
2.2.2.1 Glasübergangstemperatur T_g	50
2.2.2.2 Kristallitschmelztemperatur T_m	51
2.2.2.3 Zustandsbereiche vernetzter Polymere	52
2.2.3 Mechanische Ersatzmodelle	54
2.3 Kunststoff und Kunststofftechnik – Begriffsbestimmung	57
3 Kunststoff-Werkstofftechnik	63
3.1 Verhalten in der Schmelze – Fließeigenschaften und deren Messung	64
3.1.1 Strömungsmechanische Grundlagen	64
3.1.2 Einflüsse auf das Fließverhalten	72
3.1.3 Das Konzept der repräsentativen Viskosität	76
3.1.4 Dehnung von Schmelze	78
3.1.5 Strangauflaufung und Schrumpf	81
3.1.6 Rheometrie – die Messung der Fließeigenschaften	83
3.1.6.1 Die Messung des Schmelzeindex MFI	84
3.1.6.2 Das Hochdruck-Kapillarrheometer	85
3.1.6.3 Rotationsrheometer	86
3.1.6.4 Dehnrrheometer	91
3.2 Verhalten als Festkörper – Festkörpereigenschaften und deren Messung	92
3.2.1 Mechanische Eigenschaften von Kunststoffen	94
3.2.1.1 Der Zugversuch	94
3.2.1.2 Der Schnellzerreißversuch	97
3.2.1.3 Zeit- und Temperatureinfluss auf das mechanische Verhalten	98
3.2.1.4 Der Zeitstandversuch	101
3.2.1.5 Der Schwingversuch	103
3.2.1.6 Der Biegeversuch	105
3.2.2 Physikalische Eigenschaften	107
3.2.2.1 Elektrische Eigenschaften	107
3.2.2.2 Magnetische Eigenschaften	110
3.2.2.3 Optische Eigenschaften	111
3.2.2.4 Akustische Eigenschaften	118
3.2.3 Werte für den Wärme- und Stoffaustausch	120
3.2.3.1 Spezifische Enthalpie h	120
3.2.3.2 Spezifische Wärmekapazität c_p	122
3.2.3.3 Dichte ρ	125
3.2.3.4 Wärmeleitfähigkeit λ	125
3.2.3.5 Wärmeausdehnungskoeffizient α	128
3.2.3.6 Temperaturleitfähigkeit α	129
3.2.3.7 Wärmeeindringzahl b	131
3.2.3.8 Stofftransport	131
3.3 Beeinflussung der Eigenschaften durch Zusatzstoffe	135
3.3.1 Verstärkungsstoffe – Aktive Zusatzstoffe	136
3.3.1.1 Die Fasern und das Prinzip der Verstärkung	139

3.3.1.2 Die Aufgaben der Matrix	142
3.3.1.3 Kraftübertragung des Faserkunststoffverbunds	143
3.3.1.4 Defekte in Faserkunststoffverbunden	147
3.3.1.5 Nanopartikel als aktive Zusatzstoffe	150
3.3.2 Funktions-Zusatzstoffe – Additive	153
3.3.2.1 Fließhilfsmittel	153
3.3.2.2 Weichmacher	153
3.3.2.3 Zumischung anderer Polymere – Bildung von Polymerblends	155
3.3.2.4 Schlagzähmodifizierer	155
3.3.2.5 Keimbildner (Nukleierungsmittel)	157
3.3.2.6 Haftvermittler	158
3.3.3 Füllstoffe – Inaktive Zusatzstoffe	159
3.4 Von Polymer zu Kunststoff – Einführung in die Kunststoff-Aufbereitung	159
3.4.1 Der Doppelschneckenextruder	160
3.4.2 Verfahrenstechnik	161
3.4.3 Charakteristische Kennwerte	165
3.4.4 Zusatzaggregate	166
3.5 Prozess, Struktur, Eigenschaften – Beeinflussung im Verarbeitungsprozess	169
3.5.1 Eigenspannungen	169
3.5.2 Orientierung von Makromolekülen	170
3.5.3 Orientierung von Fasern	173
3.5.4 Kristallisation	174
3.5.5 Bildung einer Makrostruktur: Schäumen von Kunststoffen	174
3.6 Veränderungen mit der Zeit – Einblick in die Alterung von Kunststoffen	176
3.6.1 Alterungsursachen	177
3.6.2 Alterungsvorgänge	178
3.6.2.1 Mechanische Alterungsmechanismen	178
3.6.2.2 Physikalische Alterungsmechanismen	179
3.6.2.3 Chemische Alterungsmechanismen	180
3.6.2.4 Wirkweise von Alterungstabilisatoren	183
3.6.3 Alterungerscheinungen	184
3.6.4 Charakterisierung des Alterungsfortschritts	185
3.7 Kurzdarstellung einiger wichtiger Kunststoffe	188
4 Kunststoff-Verarbeitungstechnik	249
4.1 Extrusion	250
4.1.1 Extruderschnecke und Zylinder	251
4.1.2 Der Hochleistungsextruder Helibar®	258
4.1.3 Rohr- und Profilextrusion	260
4.1.4 Platten- und Flachfolienextrusion	265
4.1.5 Blasfolien- und Schlauchextrusion	267
4.1.6 Extrusions-Blasformen	268
4.1.7 Co-Extrusion	270
4.2 Spritzgießen	272
4.2.1 Der Spritzgießprozess	274
4.2.2 Das Plastifizieraggregat	276

4.2.3	Die Schließeinheit mit Spritzgießwerkzeug	278
4.2.3.1	Rheologische Auslegung	280
4.2.3.2	Thermische Auslegung	282
4.2.4	Einfluss des Spritzgießprozesses auf die Eigenschaften des Bauteils	285
4.2.5	Vorstellung einiger Sonderverfahren	288
4.2.5.1	Variotherme Werkzeugtemperierung	289
4.2.5.2	Spritzprägen	290
4.2.5.3	Thermoplastschaum-Spritzgießen	291
4.2.5.4	Kaskaden-Spritzgießen	292
4.2.5.5	Spritzgießcompoundieren	292
4.2.5.6	Mehr-Komponenten-Verfahren	294
4.2.5.7	Sandwich-Spritzgießen	296
4.2.5.8	Fluidinjektionstechniken	297
4.2.5.9	Hinterspritztechnik	298
4.2.5.10	Spritzstreck-Blasformen	300
4.3	Verarbeitung von vernetzenden Kunststoffen	301
4.3.1	Pressen	303
4.3.2	Transferpressen	304
4.3.3	Spritzgießen	305
4.3.4	Verarbeitung von Polyurethan	306
4.4	Technologie der Faserkunststoffverbunde	311
4.4.1	Handlaminieren und Faserspritzen	311
4.4.2	Pressen von SMC und GMT	313
4.4.3	Pultrusion von Endlosfasern	315
4.4.4	Arbeiten mit Prepregs	317
4.4.5	Harzinjektionsverfahren	318
4.4.6	Dreidimensionale Faserkunststoffverbundstrukturen	320
4.5	Weiterverarbeitung	322
4.5.1	Thermoformen	322
4.5.2	Mechanische Bearbeitung von Kunststoffen	329
4.5.3	Schweißen	332
4.5.3.1	Heizelementschweißen	334
4.5.3.2	Ultraschallschweißen	338
4.5.3.3	Vibrationsreibschweißen	339
4.5.3.4	Laserschweißen	340
4.5.4	Kleben	341
4.5.5	Fügen durch Schnappverbindungen, Schrauben und Nieten	346
4.5.6	Beschichten von Kunststoffen	349
4.5.6.1	Beschichtete Bauteile	349
4.5.6.2	Beschichtungsverfahren	352
5	Produktentwicklung mit Kunststoffen	359
5.1	Kunststoffe als Konstruktionswerkstoffe	360
5.1.1	Kunststoffspezifische Alleinstellungsmerkmale	360
5.1.2	Werkstoffvorauswahl	363

5.2	Geometrische Unterteilung von Produkten	365
5.2.1	Großflächige Produkte	366
5.2.2	Gehäuseartige Produkte	367
5.2.3	Behälterartige Produkte	367
5.2.4	Komplexe Produkte	368
5.2.5	Funktionsspezifische Produkte	369
5.2.6	Bedeutung für die Wahl des Verarbeitungsverfahrens	369
5.3	Konstruieren mit Kunststoffen	371
5.3.1	Anforderungen an Produkte und Funktionen	371
5.3.2	Nutzen der Gestaltungsfreiheit – Integration von Funktionselementen	374
5.3.3	Nutzung der Gestaltungsfreiheit – Erhöhung des Flächenträgheitsmoments	378
5.3.4	Werkstoffgerechtes Konstruieren	381
5.3.5	Fertigungsgerechtes Konstruieren	391
5.3.6	Beanspruchungsgerechtes Konstruieren	394
5.3.6.1	Dimensionierung gegen eine zulässige Spannung	396
5.3.6.2	Dimensionierung gegen eine kritische Dehnung	398
5.3.7	Lebensdauervorhersage	402
5.3.8	Kurzzusammenfassung der kunststoffgerechten Konstruktion	404
5.4	Nutzen von Prototypen in der Produktentwicklung	406
5.4.1	Rapid Prototyping	407
5.4.1.1	Stereolithographie (SLA)	408
5.4.1.2	Selektives Lasersintern (SLS)	409
5.4.1.3	Laminated Object Manufacturing	409
5.4.1.4	Fused Deposition Modeling (FDM)	410
5.4.1.5	3-D-Printing (3-D-P)	412
5.4.2	Rapid Tooling	413
5.4.2.1	Space Puzzle Molding	414
5.4.2.2	Gießverfahren	414
5.4.2.3	Lasersintern	418
5.4.3	Wahl eines Prototypverfahrens	418
5.4.3.1	Anforderungen an den Prototyp	418
5.4.3.2	Prototypen für großflächige Produkte und für gehäuseartige Produkte	419
5.4.3.3	Prototypen für behälterartige Produkte	421
5.4.3.4	Prototypen für komplexe Produkte	422
6	Kunststoffe und Umwelt	425
6.1	Kunststoffabfälle	425
6.2	Sind Kunststoffe giftig?	431
6.3	Biopolymere und Biokunststoffe	435
6.3.1	Bioabbaubare Kunststoffe	436
6.3.2	Biobasierte Kunststoffe	439
6.3.3	Von Biopolymer zu Biokunststoff – Aufbereitung von Biopolymeren	444
6.4	Ressourcenschonung mit Kunststoffen	446
6.4.1	Der Brundtland-Bericht und das Kyoto-Protokoll	446

6.4.2 Ressourcenschonung mit Kunststoffen	447
6.4.3 Regenerative Energieerzeugung mit Kunststoffen	452
6.5 Fazit	455
A Empfehlungen zur Abfassung einer Bachelor-/Masterarbeit am IKT	459
A.1 Unterschiedlicher Anspruch an eine Bachelor-, Master- und Doktorarbeit	459
A.2 Wissenschaftliche Methoden	460
A.2.1 Quellen-untersuchende Methoden	460
A.2.2 Theoretische Methoden	460
A.2.3 Empirische Methoden	461
A.3 Wissenschaftliche Arbeit	462
A.4 Bachelor- oder Masterarbeit	463
A.4.1 Zum Inhalt der Arbeit	463
A.4.1.1 Zusammenfassung	463
A.4.1.2 Einleitung	464
A.4.1.3 Hauptteil	464
A.4.1.4 Schlussbemerkungen	465
A.4.1.5 Anhang	465
A.4.2 Zum Umfang der Arbeit	466
A.4.3 Zum Schreibstil der Arbeit	466
Index	469