

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	XI
1 Einleitung	1
1.1 Anwendungen der Kunststoffe	1
1.2 Wirtschaftliche Bedeutung der Kunststoffe	7
1.3 Vergleich von Kunststoffwerkstoffen und metallischen Werkstoffen	11
1.3.1 Zeitliche Zusammenhänge	12
1.3.2 Werkstoffverhalten	13
1.3.3 (Teil-)Kristallinität	15
1.3.4 Glasübergang	16
1.3.5 Entropieelastizität	17
1.3.6 Kräfte in und zwischen Molekülen	17
1.3.7 Zeitabhängiges Verhalten	18
1.3.8 Rohstoffverbrauch	19
1.3.9 Energiebedarf	23
1.3.10 Preise	25
2 Polymere	33
2.1 Stoffe, Verbindungen, Atome und Elemente	33
2.2 Aufbau und Struktur von Polymeren	37
2.2.1 Monomer, Polymer und lineare Kette	37
2.2.2 Konstitution, Konfiguration und Konformation	43
2.2.3 Co- und Terpolymere	49
2.2.4 Verzweigungen	51
2.2.5 Chemische und physikalische Vernetzung	53
2.2.6 Klassifizierung der Polymere nach ihrer Struktur	57
2.2.7 Klassifizierung der Thermoplaste nach Kennwerten und Produktionsmenge	58
2.2.8 Klassifizierung der Polymere nach ihrer Rohstoffbasis ..	59

2.3	Molmasse	64
2.4	Haupt- und Nebenvalenzbindungen	71
2.4.1	Hauptvalenzbindung	72
2.4.2	Nebenvalenzbindung	75
2.4.2.1	Polarität	76
2.4.2.2	Dipol-Dipol-Bindung	80
2.4.2.3	Wasserstoffbrückenbindung	81
2.4.2.4	Induktionskräfte	82
2.4.2.5	Dispersionskräfte	82
2.5	Zustandsbereiche und Zustandsänderungen	83
2.5.1	Amorpher Zustand	83
2.5.2	Bewegung von Polymeren im amorphen Zustand	86
2.5.3	Glasübergang	89
2.5.4	Teilkristalliner Zustand	96
2.5.5	Schmelzen von Kristallen	107
2.5.6	Kristallisieren	110
2.6	Innere und äußere Weichmachung	118
2.6.1	Äußere Weichmachung	118
2.6.2	Innere Weichmachung	119

3 Kunststoffe 123

3.1	Additive	123
3.1.1	Antioxidanzien	125
3.1.2	UV-Stabilisatoren	129
3.1.3	Flammschutzmittel	132
3.1.4	Weichmacher	136
3.1.5	Farbmittel	138
3.2	Füllstoffe	144
3.2.1	Kreide	154
3.2.2	Talkum	156
3.2.3	Glaskugeln	157
3.3	Verstärkungsstoffe	157
3.3.1	Glasfasern	164
3.3.2	Aramidfasern	166
3.3.3	Kohlenstofffasern	168
3.3.4	Fasern aus nachwachsenden Rohstoffen	171
3.3.5	Verstärkung durch Fasern	176
3.4	Kunststoffwerkstoffe	186
3.4.1	Bezeichnung der Kunststoffe	186
3.4.2	Anwendungsbereiche für Kunststoffe	188

3.4.3	Normative Anforderungen an Kunststoffwerkstoffe	191
3.4.4	Datenbanken für Kunststoffe	193
4	Verarbeitung von Kunststoffen	197
4.1	Spritzgießen	197
4.2	Extrudieren	200
4.3	Formpressen	202
4.4	Entstehen von Orientierungen beim Spritzgießen	204
4.5	Verarbeitungstypische Morphologien	209
5	Nachhaltigkeit von Kunststoffen	215
5.1	Kunststoffe in der Umwelt	215
5.1.1	Mikroplastik	216
5.1.2	Marine Litter	219
5.2	Entwicklung der Nachhaltigkeit	223
5.3	Gesetzliche Vorgaben	226
5.3.1	Vermeidung	229
5.3.2	Wiederverwendung	231
5.3.3	Recycling	232
5.3.4	Sonstige Verwertung	232
5.3.5	Beseitigung	232
5.4	Abfallmengen und ihre Entwicklung	233
5.5	Stoffstrombild Kunststoffe in Deutschland	234
5.6	Sammlung von Kunststoffabfällen	239
5.7	Recycling	242
5.7.1	Anfänge des Kunststoffrecyclings in Deutschland	242
5.7.2	Kunststoffrecycling in der Europäischen Union	244
5.7.3	Werkstoffabhängige Arten des Recyclings	244
5.7.4	Herausforderungen beim Recycling von Kunststoffen	246
5.7.5	Sortierung	247
5.7.6	Werkstoffliches Recycling von Kunststoffabfällen	251
5.7.7	Rohstoffliches Recycling von Kunststoffabfällen	257
5.7.8	Design für Recycling	259
5.8	Ökobilanz, Life Cycle Assessment (LCA)	262
5.8.1	Vorgehen bei der Erstellung einer Ökobilanz	262
5.8.2	Normen zur Ökobilanz	267
5.8.3	Datenquellen für Ökobilanzen	269
5.9	Beitrag von Kunststoffen zu einer nachhaltigen Entwicklung	269

5.9.1	Verringerung von Lebensmittelabfällen durch Kunststoffverpackungen	271
5.9.2	Weniger Treibstoffverbrauch durch Leichtbau mit Kunststoffen	276
5.9.3	Energieeinsparungen durch Kunststoffdämmstoffe	277
5.9.4	Wasser- und Energieeinsparung in der Landwirtschaft..	279
5.9.5	Schutzmasken aus Kunststoffen	281
5.9.6	Kunststoffe als Enabler für die Nutzung regenerativer Energien	283
5.10	Entwicklungsfelder für nachhaltige Kunststoffe	287
5.10.1	Rohstoffbasis ändern	287
5.10.2	Stoffkreisläufe schließen	288
5.10.3	Nutzungsphase verlängern	289
6	Grundlagen der Normung	297
6.1	Entwicklung und Nutzen der Normung	297
6.2	Normung in der Kunststofftechnik	299
7	Mechanisches Verhalten fester Kunststoffe	303
7.1	Methoden der Werkstoffprüfung	303
7.1.1	Zusammenhang zwischen Normen	303
7.1.2	Normalklimate für Konditionierung und Prüfung	305
7.1.3	Probekörper	308
7.1.4	Bestimmung der Zugeigenschaften	313
7.1.5	Bestimmung der Biegeeigenschaften	319
7.1.6	Bestimmung der Härte	327
7.1.6.1	Grundlagen der Härtemessung	327
7.1.6.2	Kugeleindruckhärte	330
7.1.6.3	Shore-Härte	331
7.1.7	Bestimmung des Kriechverhaltens	333
7.1.8	Bestimmung der Schlagbiegeeigenschaften	337
7.2	Verhalten der Kunststoffe	343
7.2.1	Verhalten im Zugversuch	343
7.2.2	Temperaturabhängigkeit des mechanischen Verhaltens	345
7.2.3	Zeitabhängigkeit des mechanischen Verhaltens	350
7.2.4	Feuchteabhängigkeit des mechanischen Verhaltens	355
7.2.5	Der Übergang vom linearen zum nicht linearen Verhalten	358
7.3	Mechanische Werkstoffmodelle	361
7.3.1	Begriffe und Konzepte der Mechanik	362

7.3.1.1	Spannungen	364
7.3.1.2	Verzerrungen	364
7.3.1.3	Annahme kleiner Deformationen	365
7.3.1.4	Stoffgesetz	366
7.3.1.5	Linearität	366
7.3.1.6	Annahmen in der Elastostatik	367
7.3.1.7	Begriffe zur Beschreibung des Materialverhaltens	368
7.3.2	Phänomenologische Beschreibung des Materialverhaltens	370
7.3.2.1	Ideal linear-elastisches Verhalten	371
7.3.2.2	Ideal linear-viskoses Verhalten	373
7.3.2.3	Ideal plastisches Verhalten	375
7.3.2.4	Vergleich viskoser und plastischer Deformation	378
7.3.2.5	Maxwell-Modell zur Beschreibung der Relaxation	378
7.3.2.6	Kelvin-Voigt-Modell zur Beschreibung der Retardation	381
7.3.2.7	Burgers- oder Vier-Parameter-Modell	382
7.3.3	Molekulare Begründung der Elastizität in Kunststoffen	384
7.3.3.1	Energieelastizität	384
7.3.3.2	Entropieelastizität	385
7.3.4	Zeit-Temperatur-Superpositionsprinzip	386
7.3.5	Einfluss verarbeitungsbedingter Eigenspannungen auf mechanische Kennwerte	391

A Kurzzeichen für Kunststoffe	395
--	------------

Index	401
--------------------	------------