

Inhaltsverzeichnis

| | |
|-----------------------------------------------------|--------------|
| Vorwort zur ersten Auflage | <i>xv</i> |
| Vorwort zur zweiten Auflage | <i>xvii</i> |
| Vorwort zur dritten Auflage | <i>xix</i> |
| Vorwort zur vierten Auflage | <i>xxi</i> |
| Verzeichnis häufig verwendeter Formelzeichen | <i>xxiii</i> |

| | | |
|----------|-------------------------------------------------------------|-----------|
| 1 | Grundlegende Bemerkungen und Definitionen | 1 |
| 1.1 | Historisches | 1 |
| 1.2 | Begriffsdefinitionen | 3 |
| 1.3 | Klassifizierungen | 5 |
| 1.4 | Nomenklatur | 7 |
| 1.5 | Molmasse und Polymerisationsgrad | 9 |
| 1.6 | Thermisches Verhalten: T_g und T_m | 11 |
| 1.7 | Mechanisches Verhalten | 12 |
| 1.8 | Verarbeitung | 13 |
| 1.9 | Das Wichtigste im Überblick | 14 |
| 1.10 | Übungsfragen | 14 |
| 2 | Organische Makromolekulare Chemie | 15 |
| 2.1 | Stufenwachstumsreaktion (Polykondensation und Polyaddition) | 15 |
| 2.1.1 | Lineare Stufenwachstumsreaktion | 15 |
| 2.1.2 | Carothers-Gleichung | 17 |
| 2.1.3 | Kinetik | 19 |
| 2.1.4 | Molmassenverteilung | 21 |
| 2.1.5 | Molmassenmittelwerte und Polydispersität | 22 |
| 2.1.6 | Technisch genutzte Polymere | 24 |
| 2.1.6.1 | Polyester | 24 |
| 2.1.6.2 | Polyamide | 24 |
| 2.1.6.3 | Polycarbonat | 26 |
| 2.1.6.4 | Polyethersulfon | 27 |
| 2.1.6.5 | Polyphenylensulfid | 28 |
| 2.1.6.6 | Polyarylate | 28 |

| | | |
|------------|----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.1.6.7 | Polyetherketone | 29 |
| 2.1.6.8 | Aromatische Polyamide | 29 |
| 2.1.6.9 | Polyimide | 30 |
| 2.1.6.10 | Polyetherimide | 32 |
| 2.1.6.11 | Polybenzimidazole | 32 |
| 2.1.7 | Nichtlineare Stufenwachstumsreaktion | 33 |
| 2.1.7.1 | Modifizierte Carothers-Gleichung | 34 |
| 2.1.7.2 | Statistische Ableitung nach Flory und Stockmayer | 35 |
| 2.1.8 | Technisch genutzte Netzwerkpolymere | 37 |
| 2.1.8.1 | Phenoplaste (Phenol-Formaldehyd-Harze, PF-Harze) | 37 |
| 2.1.8.2 | Aminoplaste (Melamin-Formaldehyd-Harze, Harnstoff-Formaldehyd-Harze, MF- und UF-Harze) | 39 |
| 2.1.8.3 | Polyepoxide (Epoxidharze) | 42 |
| 2.1.8.3.1 | Härtung | 42 |
| 2.1.8.4 | Netzwerke auf Isocyanatbasis (Polyurethane) | 47 |
| 2.1.8.5 | Siliconharze | 50 |
| 2.1.8.6 | Alkydharze | 52 |
| 2.1.8.7 | Ungesättigte Polyesterharze (UP-Harze) | 53 |
| 2.1.9 | Das Wichtigste im Überblick | 55 |
| 2.1.10 | Übungsfragen | 55 |
| 2.2 | Kettenwachstumsreaktion | 56 |
| 2.2.1 | Radikalische Polymerisation | 57 |
| 2.2.1.1 | Initiierung | 58 |
| 2.2.1.2 | Startreaktion | 60 |
| 2.2.1.3 | Wachstumsreaktion | 61 |
| 2.2.1.4 | Abbruchreaktion | 61 |
| 2.2.1.5 | Kinetik | 61 |
| 2.2.1.6 | Kinetische Kettenlänge und Polymerisationsgrad | 63 |
| 2.2.1.7 | Bestimmung der Geschwindigkeitskonstanten k_i , k_p und k_t | 64 |
| 2.2.1.8 | Einflüsse auf die Polymerisationsgeschwindigkeit | 65 |
| 2.2.1.8.1 | Temperatureffekte | 65 |
| 2.2.1.8.2 | Selbstbeschleunigung bei hohem Umsatz | 66 |
| 2.2.1.8.3 | Inhibierung und Verzögerung | 66 |
| 2.2.1.9 | Molmassenverteilung | 68 |
| 2.2.1.10 | Einflüsse auf den Polymerisationsgrad | 70 |
| 2.2.1.10.1 | Kettenübertragung | 70 |
| 2.2.1.10.2 | Temperatureffekte | 72 |
| 2.2.1.11 | Ceiling-Temperatur und Depolymerisation | 73 |
| 2.2.1.12 | Radikalische Polymerisation mit reversibler Deaktivierung | 74 |
| 2.2.1.12.1 | Metallkatalysierte Polymerisation (ATRP) | 76 |
| 2.2.1.12.2 | Nitroxid-vermittelte Polymerisation (NMRP) | 77 |
| 2.2.1.12.3 | RAFT-Prozess | 78 |
| 2.2.1.13 | Polymerisation in heterogener Phase | 79 |

| | | |
|------------|--------------------------------------------------------|-----|
| 2.2.1.14 | Emulsionspolymerisation | 80 |
| 2.2.1.15 | Kinetik der Emulsionspolymerisation | 82 |
| 2.2.1.16 | Technisch genutzte Polymere | 82 |
| 2.2.1.16.1 | Lineare Polymere | 82 |
| 2.2.1.16.2 | Netzwerke | 88 |
| 2.2.2 | Anionische Polymerisation | 90 |
| 2.2.2.1 | Anionische Vinylpolymerisation | 91 |
| 2.2.2.1.1 | Initiierung und Wachstum | 91 |
| 2.2.2.1.2 | Kettenübertragung und -abbruch | 92 |
| 2.2.2.1.3 | Kinetik bei Abbruch durch Kettenübertragung | 93 |
| 2.2.2.1.4 | Lebende anionische Polymerisation | 94 |
| 2.2.2.1.5 | Einfluss der Ionendissoziation auf die Kinetik | 98 |
| 2.2.2.1.6 | Gruppenübertragungspolymerisation | 101 |
| 2.2.2.2 | Anionische ringöffnende Polymerisation | 102 |
| 2.2.2.3 | Anionische Formaldehyd-Polymerisation | 104 |
| 2.2.2.4 | Technische Anwendung | 104 |
| 2.2.3 | Kationische Polymerisation | 108 |
| 2.2.3.1 | Kationische Vinylpolymerisation | 109 |
| 2.2.3.2 | Kationische ringöffnende Polymerisation | 111 |
| 2.2.3.3 | Kinetik | 112 |
| 2.2.3.4 | Polymerisationsgrad | 113 |
| 2.2.3.5 | Temperatureinflüsse auf die Reaktionsgeschwindigkeit | 114 |
| 2.2.3.6 | Lebende kationische Polymerisation | 114 |
| 2.2.3.7 | Technische Anwendung | 116 |
| 2.2.4 | Stereochemie der Polymere | 118 |
| 2.2.4.1 | Konformative Isomerie | 118 |
| 2.2.4.2 | Konfigurative Isomerie | 119 |
| 2.2.4.2.1 | Struktur- und Stellungsisomerie | 120 |
| 2.2.4.2.2 | Stereoisomerie | 120 |
| 2.2.4.2.3 | Geometrische Isomerie | 124 |
| 2.2.4.2.4 | Chemische Isomerie | 124 |
| 2.2.4.3 | Stereoregulierung bei der radikalischen Polymerisation | 125 |
| 2.2.4.4 | Stereoregulierung bei der anionischen Polymerisation | 125 |
| 2.2.4.5 | Stereoregulierung bei der kationischen Polymerisation | 125 |
| 2.2.5 | Koordinative Polymerisation an Übergangsmetallen | 126 |
| 2.2.5.1 | Ziegler-Natta-Katalyse | 127 |
| 2.2.5.1.1 | Ausgangskomponenten | 127 |
| 2.2.5.1.2 | Reaktionsmechanismus | 128 |
| 2.2.5.1.3 | Trägerfixierte Ziegler-Natta-Katalysatoren | 130 |
| 2.2.5.2 | Metallocen-Katalysatoren | 130 |
| 2.2.5.3 | Polymerisation mit Einkomponentenkatalysatoren | 132 |
| 2.2.5.4 | Technische Anwendung | 134 |
| 2.2.5.5 | Ringöffnende Metathese-Polymerisation | 136 |

| | | |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 2.2.5.5.1 | Reaktionsmechanismus | 137 |
| 2.2.5.5.2 | Technische Anwendung | 138 |
| 2.2.6 | Das Wichtigste im Überblick | 139 |
| 2.2.7 | Übungsfragen | 142 |
| 2.3 | Polymerkombinationen | 144 |
| 2.3.1 | Copolymere | 144 |
| 2.3.1.1 | Copolymerisationsgleichung | 145 |
| 2.3.1.2 | Bestimmung der r -Parameter | 146 |
| 2.3.1.3 | Copolymerisationsdiagramm | 147 |
| 2.3.1.4 | Einflüsse auf die Reaktivitäten der Comonomere | 149 |
| 2.3.1.4.1 | Resonanzeffekte (Einfluss des Substituenten R in $\text{CH}_2=\text{CHR}$ auf die Reaktivität) | 150 |
| 2.3.1.4.2 | Polaritätseffekte | 150 |
| 2.3.1.5 | Q-e-Schema | 151 |
| 2.3.1.6 | Blockcopolymere | 151 |
| 2.3.1.7 | Überstrukturbildung von Blockcopolymeren | 154 |
| 2.3.1.8 | Pfropfcopolymere | 154 |
| 2.3.1.9 | Technisch wichtige Copolymere | 157 |
| 2.3.2 | Polymermischungen | 161 |
| 2.3.2.1 | Nichtmischbare Blends | 161 |
| 2.3.2.2 | Kompatible Blends | 162 |
| 2.3.2.3 | Mischbare Blends | 163 |
| 2.3.2.4 | Herstellung und technische Anwendung | 165 |
| 2.3.3 | Das Wichtigste im Überblick | 167 |
| 2.3.4 | Übungsfragen | 168 |
| 2.4 | Sonstige Synthesewege für Polymere | 169 |
| 2.4.1 | Polymere durch palladiumkatalysierte Kreuzkupplung | 169 |
| 2.4.2 | Oxidative Kupplung | 171 |
| 2.4.3 | Enzymatische Polymerisation | 174 |
| 2.4.4 | Acyclische Dienmetathese-Polymerisation | 178 |
| 2.4.5 | Polymere durch chemische Gasphasenabscheidung | 179 |
| 2.4.5.1 | CVD-Polymerisation | 180 |
| 2.4.5.2 | Plasmainduzierte Polymerisation | 180 |
| 2.4.5.3 | Plasmapolymerisation | 180 |
| 2.4.6 | Festkörperpolymerisation | 182 |
| 2.4.6.1 | Polymerisation im kristallinen Zustand | 183 |
| 2.4.6.2 | Nachkondensation von Präpolymeren | 185 |
| 2.4.7 | Synthese von Polymeren mit kontrollierter Molekülstruktur | 186 |
| 2.4.7.1 | Hyperververzweigte Polymere, Dendrimere und Sternpolymere | 186 |
| 2.4.7.1.1 | Hyperververzweigte Polymere | 186 |
| 2.4.7.1.2 | Dendrimere | 187 |
| 2.4.7.1.3 | Sternpolymere | 188 |
| 2.4.7.2 | Polymerstrukturen durch Click-Chemie | 191 |

| | | |
|---------|------------------------------------------------------|-----|
| 2.4.8 | Das Wichtigste im Überblick | 192 |
| 2.4.9 | Übungsfragen | 194 |
| 2.5 | Chemische Reaktionen an Polymeren | 195 |
| 2.5.1 | Polymeranaloge Reaktionen | 195 |
| 2.5.1.1 | Intramolekulare Reaktionen | 195 |
| 2.5.1.2 | Reaktionsverzögerung | 196 |
| 2.5.1.3 | Reaktionsbeschleunigung | 197 |
| 2.5.1.4 | Heterogene Reaktionsführung | 197 |
| 2.5.2 | Technisch durchgeführte Polymermodifizierungen | 197 |
| 2.5.2.1 | Modifizierung der Cellulose | 197 |
| 2.5.2.2 | Modifizierung von Polyvinylacetat | 200 |
| 2.5.2.3 | Kohlefasern durch Pyrolyse von Polyacrylnitrilfasern | 200 |
| 2.5.2.4 | Modifizierung von vernetztem Polystyrol | 201 |
| 2.5.3 | Vernetzungsreaktionen von Polymeren | 202 |
| 2.5.4 | Alterung und Abbau von Polymeren | 204 |
| 2.5.4.1 | Radikalbildung | 205 |
| 2.5.4.2 | Oxidation | 205 |
| 2.5.4.3 | Vernetzung | 206 |
| 2.5.4.4 | Kettenspaltung und Depolymerisation | 206 |
| 2.5.4.5 | Kinetik der Abbaureaktion | 208 |
| 2.5.5 | Das Wichtigste im Überblick | 208 |
| 2.5.6 | Übungsfragen | 209 |
| 2.6 | Natürliche Polymere und Biomakromoleküle | 210 |
| 2.6.1 | Naturkautschuk | 210 |
| 2.6.1.1 | Biosynthese | 210 |
| 2.6.1.2 | Eigenschaften und Anwendung | 211 |
| 2.6.1.3 | Guttapercha | 211 |
| 2.6.2 | Polysaccharide | 211 |
| 2.6.2.1 | Cellulose | 212 |
| 2.6.2.2 | Stärke | 212 |
| 2.6.3 | Lignin | 214 |
| 2.6.3.1 | Biosynthese | 214 |
| 2.6.3.2 | Eigenschaften und technische Gewinnung | 215 |
| 2.6.3.3 | Anwendung | 216 |
| 2.6.4 | Proteine | 216 |
| 2.6.4.1 | α -Aminosäuren | 216 |
| 2.6.4.2 | Struktur der Proteine | 217 |
| 2.6.4.3 | Biosynthese der Proteine | 219 |
| 2.6.4.4 | Chemische Peptidsynthesen | 220 |
| 2.6.4.5 | Anwendungen | 221 |
| 2.6.5 | Nukleinsäuren | 222 |
| 2.6.5.1 | Primärstruktur | 223 |
| 2.6.5.2 | Sekundärstruktur | 223 |

| | | |
|-----------|-----------------------------------------|-----|
| 2.6.5.3 | Biosynthese | 224 |
| 2.6.6 | Das Wichtigste im Überblick | 225 |
| 2.6.7 | Übungsfragen | 226 |
| 2.7 | Funktionspolymere | 227 |
| 2.7.1 | Elektrisch leitfähige Polymere | 227 |
| 2.7.2 | Polymere für die Optoelektronik | 230 |
| 2.7.2.1 | Polymere Leuchtdioden | 230 |
| 2.7.2.2 | Polymere Solarzellen | 231 |
| 2.7.3 | Ferroelektrische Polymere | 233 |
| 2.7.4 | Polyelektrolyte | 236 |
| 2.7.5 | Flüssigkristalline Polymere | 239 |
| 2.7.5.1 | Flüssigkristalline Eigenschaften | 239 |
| 2.7.5.2 | Thermotrop flüssigkristalline Phasen | 240 |
| 2.7.5.3 | Thermotrop flüssigkristalline Polymere | 241 |
| 2.7.5.4 | Lyotrop flüssigkristalline Polymere | 243 |
| 2.7.6 | Biologisch abbaubare Polymere | 244 |
| 2.7.7 | Selbstheilende Polymere | 246 |
| 2.7.7.1 | Extrinsische SHP | 246 |
| 2.7.7.2 | Intrinsische SHP | 246 |
| 2.7.7.3 | Wichtige Kenngrößen | 247 |
| 2.7.8 | Das Wichtigste im Überblick | 250 |
| 2.7.9 | Übungsfragen | 252 |
| 2.8 | Vom Polymer zum Kunststoffprodukt | 252 |
| 2.8.1 | Polymeradditive | 253 |
| 2.8.1.1 | Änderung der mechanischen Eigenschaften | 253 |
| 2.8.1.1.1 | Füllstoffe | 253 |
| 2.8.1.1.2 | Weichmacher | 255 |
| 2.8.1.1.3 | Schlagzähmodifikatoren | 255 |
| 2.8.1.1.4 | Keimbildner | 255 |
| 2.8.1.2 | Änderung der chemischen Eigenschaften | 256 |
| 2.8.1.2.1 | Antioxidantien | 256 |
| 2.8.1.2.2 | UV-Stabilisatoren | 257 |
| 2.8.1.2.3 | Biozide | 258 |
| 2.8.1.2.4 | Flammschutzmittel | 259 |
| 2.8.1.3 | Änderung der ästhetischen Eigenschaften | 261 |
| 2.8.1.3.1 | Farbstoffe und Pigmente | 261 |
| 2.8.1.3.2 | Geruchsstoffe | 263 |
| 2.8.1.4 | Änderung der Oberflächeneigenschaften | 263 |
| 2.8.1.4.1 | Antistatikmittel | 263 |
| 2.8.1.4.2 | Antiblockiermittel | 264 |
| 2.8.1.4.3 | Antibeschlagmittel | 264 |
| 2.8.1.5 | Verarbeitungshilfsmittel | 265 |
| 2.8.1.5.1 | Gleitmittel | 265 |

| | | |
|-----------|------------------------------------------------|------------|
| 2.8.1.5.2 | Entschäumungsmittel | 265 |
| 2.8.1.5.3 | Wärmestabilisatoren | 265 |
| 2.8.1.5.4 | Antischumpmittel | 266 |
| 2.8.1.5.5 | Emulgatoren | 266 |
| 2.8.1.5.6 | Verdickungsmittel | 267 |
| 2.8.2 | Kunststoffverarbeitung | 267 |
| 2.8.2.1 | Verarbeitung von Thermoplasten | 267 |
| 2.8.2.1.1 | Kontinuierliche Extrusion | 267 |
| 2.8.2.1.2 | Blasextrusion | 268 |
| 2.8.2.1.3 | Spritzgießen | 269 |
| 2.8.2.1.4 | Thermoplast-Schaumspritzgießen | 269 |
| 2.8.2.1.5 | Kalandrieren | 269 |
| 2.8.2.2 | Verspinnen von Polymeren | 270 |
| 2.8.2.2.1 | Schmelzspinnen | 270 |
| 2.8.2.2.2 | Trockenspinnen | 270 |
| 2.8.2.2.3 | Nassspinnen | 272 |
| 2.8.2.2.4 | Elektrospinnen | 272 |
| 2.8.2.3 | Verarbeitung von Duroplasten und Polyurethanen | 273 |
| 2.8.2.4 | Verarbeitung von Faserverbundwerkstoffen | 275 |
| 2.8.2.5 | 3D-Druck | 276 |
| 2.8.3 | Das Wichtigste im Überblick | 279 |
| 2.8.4 | Übungsfragen | 281 |
| 2.9 | Verwertung von Kunststoffabfällen | 282 |
| 2.9.1 | Recycling | 282 |
| 2.9.2 | Mikroplastik | 286 |
| 2.9.2.1 | Eigenschaften und Risiken | 286 |
| 2.9.2.2 | Vorkommen | 286 |
| 2.9.2.3 | Wirkung | 288 |
| 2.9.3 | Das Wichtigste im Überblick | 288 |
| 3 | Charakterisierung von Polymeren | 289 |
| 3.1 | Polymere in Lösung | 289 |
| 3.1.1 | Konformation von Kohlenwasserstoffen | 289 |
| 3.1.2 | Die frei drehbare Kette | 290 |
| 3.1.3 | Die reale Kette | 291 |
| 3.1.4 | Thermodynamik von Polymerlösungen | 292 |
| 3.1.4.1 | Die ideale Lösung | 292 |
| 3.1.4.2 | Flory-Huggins-Theorie | 294 |
| 3.1.4.3 | Verdünnte Polymerlösung | 295 |
| 3.1.4.4 | Löslichkeitsparameter von Polymeren | 297 |
| 3.1.5 | Das Wichtigste im Überblick | 298 |
| 3.1.6 | Übungsfragen | 299 |
| 3.2 | Bestimmung von \bar{M}_n | 300 |
| 3.2.1 | Membranosmometrie | 300 |

| | | |
|----------|---------------------------------------------------------------------|------------|
| 3.2.2 | Dampfdruckosmometrie | 301 |
| 3.2.3 | Endgruppenanalyse | 304 |
| 3.3 | Bestimmung von \bar{M}_w | 305 |
| 3.3.1 | Lichtstreuung an Polymerlösungen | 305 |
| 3.3.2 | Lichtstreuung großer Moleküle | 306 |
| 3.3.3 | Röntgen- und Neutronen-Kleinwinkelstreuung | 309 |
| 3.4 | Bestimmung von \bar{M}_η | 311 |
| 3.4.1 | Viskosität von Polymerlösungen | 311 |
| 3.4.2 | Mark-Houwink-Beziehung | 313 |
| 3.4.3 | Flory-Fox-Theorie | 314 |
| 3.5 | Bestimmung der Molmassenverteilung | 314 |
| 3.5.1 | Gelpermeationschromatographie | 314 |
| 3.5.2 | MALDI-TOF-Massenspektrometrie | 316 |
| 3.5.3 | Andere Methoden | 318 |
| 3.6 | Bestimmung der chemischen Struktur und der sterischen Konfiguration | 318 |
| 3.6.1 | NMR-Spektroskopie | 318 |
| 3.6.2 | Taktizitätsanalyse mittels NMR-Spektroskopie | 319 |
| 3.6.3 | Infrarotspektroskopie | 321 |
| 3.6.4 | Das Wichtigste im Überblick | 323 |
| 3.6.5 | Übungsfragen | 324 |
| 4 | Polymere im festen Zustand | 325 |
| 4.1 | Struktur | 325 |
| 4.1.1 | Kristallinität von Polymeren | 325 |
| 4.1.2 | Bestimmung der Kristallstruktur | 326 |
| 4.1.3 | Kristallstrukturen von Polymeren | 328 |
| 4.1.4 | Polymerkristalle aus verdünnter Lösung | 329 |
| 4.1.5 | Schmelzkristallisierte Polymere | 331 |
| 4.1.6 | Kristallisationsgrad | 332 |
| 4.1.6.1 | Bestimmung aus Dichtemessungen | 332 |
| 4.1.6.2 | Bestimmung durch Röntgenweitwinkelstreuung (WAXS) | 334 |
| 4.1.7 | Einflüsse auf die Kristallisation | 334 |
| 4.1.8 | Defekte in kristallinen Polymeren | 335 |
| 4.1.9 | Kinetik der Kristallisation | 337 |
| 4.1.10 | Molekulare Mechanismen der Kristallisation | 340 |
| 4.1.11 | Das Wichtigste im Überblick | 343 |
| 4.1.12 | Übungsfragen | 343 |
| 4.2 | Thermisches Verhalten | 344 |
| 4.2.1 | Schmelzbereich und Gleichgewichtsschmelzpunkt | 344 |
| 4.2.2 | Schmelztemperatur und Kristalldicke | 344 |
| 4.2.3 | Experimentelle Charakterisierung des thermischen Verhaltens | 345 |
| 4.2.4 | Faktoren, die den Schmelzpunkt beeinflussen | 347 |

| | | |
|-----------|------------------------------------------------------|-----|
| 4.2.5 | Glastemperatur | 349 |
| 4.2.6 | Faktoren, die die Glastemperatur beeinflussen | 351 |
| 4.2.7 | Das Wichtigste im Überblick | 353 |
| 4.2.8 | Übungsfragen | 354 |
| 4.3 | Mechanische Eigenschaften | 355 |
| 4.3.1 | Phänomene | 355 |
| 4.3.2 | Energieelastizität | 355 |
| 4.3.2.1 | Hooke'sches Gesetz und Moduln | 355 |
| 4.3.2.2 | Theoretischer und realer E -Modul | 357 |
| 4.3.3 | Entropie- oder Gummielastizität | 357 |
| 4.3.3.1 | Thermodynamik der Gummielastizität | 358 |
| 4.3.3.2 | Statistische Theorie der Gummielastizität | 361 |
| 4.3.3.2.1 | Entropie der Einzelkette | 361 |
| 4.3.3.2.2 | Deformation des Polymernetzwerks | 362 |
| 4.3.3.2.3 | Sinn und Grenzen der Theorie | 363 |
| 4.3.3.3 | Zug-Dehnungs-Verhalten von Elastomeren | 364 |
| 4.3.4 | Viskoelastizität | 365 |
| 4.3.4.1 | Zeitabhängiges mechanisches Verhalten | 365 |
| 4.3.4.2 | Viskoelastische mechanische Modelle | 366 |
| 4.3.4.2.1 | Maxwell-Modell | 366 |
| 4.3.4.2.2 | Voigt-Modell | 368 |
| 4.3.4.3 | Boltzmann'sches Superpositionsprinzip | 369 |
| 4.3.5 | Elastizitätsmessungen | 371 |
| 4.3.5.1 | Zugversuch | 371 |
| 4.3.5.2 | Spannungsrelaxations- und Kriechmessung | 373 |
| 4.3.5.3 | Zeit-Temperatur-Superposition | 374 |
| 4.3.5.4 | WLF-Gleichung | 374 |
| 4.3.6 | Dynamische Messung | 376 |
| 4.3.6.1 | Grundlagen | 376 |
| 4.3.6.2 | Torsionsschwingungsmessung | 378 |
| 4.3.6.3 | Frequenzabhängigkeit des viskoelastischen Verhaltens | 379 |
| 4.3.6.4 | Frequenz-Temperatur-Superposition | 380 |
| 4.3.7 | Das Wichtigste im Überblick | 382 |
| 4.3.8 | Übungsfragen | 383 |

Beispiele für thermoplastische, elastomere und faserbildende Kunststoffe 385

Antworten auf die Übungsfragen 389

Literatur 405

Referenzen 405

Lehrbücher und Nachschlagewerke 413

Weiterführende Literatur zu einzelnen Abschnitten 414

Stichwortverzeichnis 423