

# Inhalt

---

|          |                                                                                                    |           |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>Übergreifende Grundlagen</b>                                                                    | <b>1</b>  |
| 1.1      | Atomaufbau                                                                                         | 1         |
| 1.1.1    | Atomare Elementarteilchen                                                                          | 1         |
| 1.1.1.1  | Elektrische Ladung                                                                                 | 1         |
| 1.1.1.2  | Masse                                                                                              | 1         |
| 1.1.1.3  | Aufenthaltsraum                                                                                    | 1         |
| 1.1.2    | Aufbau der Atomhülle                                                                               | 2         |
| 1.1.2.1  | Energetisches Modell des Aufbaus der Atomhülle                                                     | 2         |
| 1.1.2.2  | "Bildhafte" räumliche Vorstellung vom Aufbau der Atomhülle                                         | 6         |
| 1.1.3    | Stellung der Elemente im Periodensystem der Elemente (PSE)                                         | 7         |
| 1.1.3.1  | Metalle                                                                                            | 7         |
| 1.1.3.2  | Nichtmetalle                                                                                       | 8         |
| 1.2      | Bindungen in und zwischen den Bausteinen                                                           | 9         |
| 1.2.1    | Hauptvalenzbindungen                                                                               | 9         |
| 1.2.1.1  | Ionen- (Heteropolare) Bindung                                                                      | 10        |
| 1.2.1.2  | Atom- (Homöopolare, Kovalente, Elektronenpaar-) Bindung                                            | 12        |
| 1.2.1.3  | Metallbindung                                                                                      | 21        |
| 1.2.2    | Restvalenzbindungen (Nebervalenzbindungen)                                                         | 24        |
| 1.2.2.1  | Wasserstoffbrückenbindung                                                                          | 24        |
| 1.2.2.2  | Bindung zwischen in Molekülen enthaltenen Ionen                                                    | 25        |
| 1.2.2.3  | Dispersionsbindung                                                                                 | 26        |
| 1.2.2.4  | Orientierungskräfte                                                                                | 27        |
| 1.2.3    | Anziehende (bindende) und abstoßende (bindungszerstörende) Kräfte zwischen wechselwirkenden Atomen | 28        |
| 1.2.3.1  | Gasförmiger Zustand                                                                                | 29        |
| 1.2.3.2  | (Schmelz)flüssiger Zustand                                                                         | 30        |
| 1.2.3.3  | Festkörperzustand                                                                                  | 31        |
| 1.2.3.4  | Beeinflussung des Gleichgewichtsabstandes                                                          | 31        |
| <b>2</b> | <b>Werkstoffkunde</b>                                                                              | <b>33</b> |
| 2.1      | Struktureller Aufbau                                                                               | 34        |
| 2.1.1    | Struktureller Aufbau der makromolekularen Bausteine                                                | 34        |
| 2.1.1.1  | Homopolymere                                                                                       | 34        |
| 2.1.1.2  | Copolymere                                                                                         | 40        |
| 2.1.2    | Struktureller Aufbau des Festkörpers                                                               | 44        |
| 2.1.2.1  | Plastomere                                                                                         | 44        |

## Inhalt

|          |                                                                                                        |           |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.1.2.2  | Vernetzung plastomerer Vorprodukte .....                                                               | 52        |
| 2.2      | Phasenumwandlungen .....                                                                               | 55        |
| 2.2.1    | Phasenumwandlungen infolge einer Wärmezufuhr .....                                                     | 56        |
| 2.2.1.1  | Amorph vorliegende Plastomere .....                                                                    | 56        |
| 2.2.1.2  | Teilkristallin vorliegende Plastomere .....                                                            | 58        |
| 2.2.1.3  | Elastomere .....                                                                                       | 60        |
| 2.2.1.4  | Duromere .....                                                                                         | 60        |
| 2.2.2    | Phasenumwandlungen infolge einer Wärmeabfuhr .....                                                     | 61        |
| 2.2.2.1  | Allein zur amorphen Erstarrung befähigte Plastomere .....                                              | 61        |
| 2.2.2.2  | Zur teilkristallinen Erstarrung befähigte Plastomere .....                                             | 62        |
| 2.3      | Polymerlegierungen .....                                                                               | 80        |
| <b>3</b> | <b>Verhalten bei äußeren Beanspruchungen .....</b>                                                     | <b>83</b> |
| 3.1      | Betriebliche Beanspruchung eines Bauteils -<br>Anforderungen an den Werkstoff .....                    | 83        |
| 3.2      | Elastisch-plastische Verformung .....                                                                  | 85        |
| 3.2.1    | Plastische Verformung von Schmelzen und Lösungen .....                                                 | 85        |
| 3.2.1.1  | Scherfließen .....                                                                                     | 85        |
| 3.2.1.2  | Streckfließen .....                                                                                    | 98        |
| 3.2.2    | Elastisch-plastische Verformung von Schmelzen bzw.<br>Lösungen .....                                   | 99        |
| 3.2.2.1  | Relaxationsverhalten von Schmelzen bzw. Lösungen .....                                                 | 101       |
| 3.2.2.2  | Retardationsverhalten von Schmelzen bzw. Lösungen .....                                                | 108       |
| 3.2.3    | Elastisch-plastische Verformung von Festkörpern .....                                                  | 111       |
| 3.2.3.1  | Relaxationsverhalten von Festkörpern .....                                                             | 113       |
| 3.2.3.2  | Retardationsverhalten von Festkörpern .....                                                            | 115       |
| 3.2.3.3  | Viskoelastisches Verhalten von Festkörpern .....                                                       | 116       |
| 3.3      | Texturen .....                                                                                         | 128       |
| 3.3.1    | Texturausbildung durch Ver Streckung einer Schmelze bzw.<br>Lösung .....                               | 128       |
| 3.3.2    | Rückverformung infolge einer Texturierung des Gefüges im<br>Zuge der Urformung .....                   | 130       |
| 3.3.3    | Rückverformung bei Wärmezufuhr und Eigenschaftsaniso-<br>tropie infolge einer Textur im Halbzeug ..... | 131       |
| 3.4      | Festigkeitssteigernde Mechanismen .....                                                                | 135       |
| 3.4.1    | Partikelverstärkung .....                                                                              | 136       |
| 3.4.2    | Faserverstärkung .....                                                                                 | 136       |
| 3.4.2.1  | Matrix/Faser-Haftung .....                                                                             | 138       |
| 3.4.2.2  | Faserlänge/Faserdurchmesser-Verhältnis .....                                                           | 140       |
| 3.4.2.3  | Kurzfaserverstärkung .....                                                                             | 140       |
| 3.4.2.4  | Langfaserverstärkung .....                                                                             | 141       |
| 3.5      | Bruchmorphologien bei mechanisch quasistatischer Bean-<br>spruchung .....                              | 145       |
| 3.5.1    | Rißkeimbildung .....                                                                                   | 145       |

|          |                                                                                                                |     |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.5.1.1  | Rißkeimbildung bei ungefüllten, amorph erstarrt vorliegenden Plastomeren .....                                 | 146 |
| 3.5.1.2  | Rißkeimbildung bei ungefüllten, teilkristallin erstarrt vorliegenden Plastomeren .....                         | 150 |
| 3.5.1.3  | Rißkeimbildung bei gefüllten Matrizen .....                                                                    | 151 |
| 3.5.2    | Rißkeimwachstum .....                                                                                          | 151 |
| 3.5.2.1  | Einfluß des Umgebungsmediums auf das Rißkeimwachstum .....                                                     | 152 |
| 3.5.2.2  | Einfluß der Dehngeschwindigkeit und der Temperatur auf das Rißkeimwachstum .....                               | 152 |
| 3.6      | Einfluß des Spannungszustandes auf die Bruchmorphologie .....                                                  | 154 |
| 3.7      | Verhalten bei wechselnder mechanischer Beanspruchung .....                                                     | 156 |
| 3.8      | Reibungsmechanismen und Verschleißverhalten bei laterale Relativbewegung .....                                 | 159 |
| 3.8.1    | Reibungsmechanismen .....                                                                                      | 159 |
| 3.8.2    | Verschleißverhalten .....                                                                                      | 162 |
| 3.9      | Verhalten bei Beanspruchung durch umgebende Medien ...                                                         | 163 |
| 3.9.1    | Adsorption - Diffusion - Desorption .....                                                                      | 164 |
| 3.9.1.1  | Adsorption .....                                                                                               | 164 |
| 3.9.1.2  | Diffusion .....                                                                                                | 165 |
| 3.9.1.3  | Desorption .....                                                                                               | 166 |
| 3.9.2    | Verhalten der polymeren Werkstoffe beim Einwirken von nicht oxidierenden flüssigen Medien .....                | 166 |
| 3.9.2.1  | Verhalten der polymeren Werkstoffe beim Einwirken von Lösemitteln .....                                        | 169 |
| 3.9.2.2  | Verhalten der polymeren Werkstoffe beim Einwirken von Wasser .....                                             | 172 |
| 3.9.3    | Verhalten der polymeren Werkstoffe beim Einwirken von nicht oxidierenden Gasen .....                           | 173 |
| 3.9.4    | Verhalten der polymeren Werkstoffe beim Einwirken von oxidierenden flüssigen Medien sowie Luftsauerstoff ..... | 175 |
| 3.9.4.1  | Zu einer Kettenspaltung (Degradation) führende Mechanismen .....                                               | 176 |
| 3.9.4.2  | Kinetik der Kettenspaltung (Degradation) .....                                                                 | 180 |
| 3.9.4.3  | Oxidation nach Kettenspaltung .....                                                                            | 180 |
| 3.10     | Thermophysikalische Eigenschaften .....                                                                        | 182 |
| 3.10.1   | Dichte .....                                                                                                   | 182 |
| 3.10.2   | Wärmeausdehnung .....                                                                                          | 183 |
| 3.10.3   | Wärmeleitfähigkeit .....                                                                                       | 184 |
| 3.11     | Elektrische Eigenschaften .....                                                                                | 187 |
| 3.11.1   | Dielektrizitätszahl .....                                                                                      | 187 |
| 3.11.1.1 | Materie im Feld eines Plattenkondensators .....                                                                | 187 |
| 3.11.1.2 | Energieverluste im Wechselfeld .....                                                                           | 193 |
| 3.11.2   | Elektrische Leitfähigkeit .....                                                                                | 194 |
| 3.11.2.1 | Durchgangswiderstand .....                                                                                     | 194 |

## Inhalt

|           |                                                                                                |            |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 3.11.2.2. | Oberflächenwiderstand .....                                                                    | 198        |
| 3.12      | Magnetische Eigenschaften .....                                                                | 201        |
| <b>4</b>  | <b>Werkstoffkundliche Aspekte der Fertigungsschritte .....</b>                                 | <b>203</b> |
| 4.1       | Herstellung der Monomere .....                                                                 | 204        |
| 4.2       | Herstellung des Rohpolymers .....                                                              | 206        |
| 4.2.1     | Polymerisation .....                                                                           | 206        |
| 4.2.1.1   | Einleitung der Polymerisation .....                                                            | 206        |
| 4.2.1.2   | Technische Durchführung der Polymerisation .....                                               | 210        |
| 4.2.2     | Polykondensation und Polyaddition .....                                                        | 212        |
| 4.2.2.1   | Polykondensation .....                                                                         | 212        |
| 4.2.2.2   | Polyaddition .....                                                                             | 213        |
| 4.3       | Aufbereitung des Rohpolymers .....                                                             | 213        |
| 4.4       | Urformen durch Gießen .....                                                                    | 214        |
| 4.4.1     | Gießtechnische Verarbeitung von Plastomeren .....                                              | 214        |
| 4.4.1.1   | Formteile und Halbzeuge aus Plastomeren durch Schwerkraftgießen .....                          | 215        |
| 4.4.1.2   | Formteile und Halbzeuge aus Plastomeren durch Druckgießen .....                                | 217        |
| 4.4.2     | Gießtechnische Verarbeitung von Duromeren .....                                                | 221        |
| 4.4.2.1   | Formteile und Halbzeuge aus Duromeren durch Schwerkraftgießen .....                            | 221        |
| 4.4.2.2   | Formteile und Halbzeuge aus Duromeren durch Druckgießen .....                                  | 222        |
| 4.4.2.3   | Faserverstärkte Formteile und Halbzeuge aus Duromeren durch Schwerkraft- und Druckgießen ..... | 223        |
| 4.5       | Urformen durch Pulvertechnologie .....                                                         | 224        |
| 4.6       | Spanlose Bearbeitung .....                                                                     | 224        |
| 4.6.1     | Spanloses Bearbeiten zur Gestaltsänderung .....                                                | 224        |
| 4.6.2     | Spanloses Bearbeiten zur Festigkeitssteigerung .....                                           | 225        |
| 4.7       | Spanabhebende Bearbeitung .....                                                                | 227        |
| 4.7.1     | Spanabhebende Bearbeitung mit geometrisch bestimmter Schneide .....                            | 227        |
| 4.7.2     | Spanabhebende Bearbeitung mit geometrisch unbestimmter Schneide .....                          | 227        |
| 4.8       | Fügen .....                                                                                    | 227        |
| 4.8.1     | Kleben .....                                                                                   | 227        |
| 4.8.1.1   | Klebstoffarten .....                                                                           | 228        |
| 4.8.2     | Schweißen .....                                                                                | 229        |
| <b>5</b>  | <b>Weiterführende Literatur .....</b>                                                          | <b>231</b> |
| 5.1       | Leichtverständliche Darstellungen der Polymertechnik oder Teilgebiete .....                    | 231        |

|            |                                                           |            |
|------------|-----------------------------------------------------------|------------|
| <b>5.2</b> | <b>Darstellungen der Physik, Chemie, Verarbeitung und</b> |            |
|            | <b>Anwendung von Polymeren .....</b>                      | <b>233</b> |
| <b>5.3</b> | <b>Prüfung von Polymeren .....</b>                        | <b>238</b> |
| <b>5.4</b> | <b>Nachschlagewerke .....</b>                             | <b>240</b> |