

# Der Inhalt in modularer Gliederung

## **1 Mathematisch-naturwissenschaftliche Grundlagen**

- A Mathematik und Statistik
- B Physik
- C Chemie

## **2 Technologische Grundlagen**

- D Werkstoffe
- E Technische Mechanik
- F Technische Thermodynamik
- G Elektrotechnik
- H Messtechnik
- I Regelungs-und Steuerungstechnik
- J Technische Informatik

## **3 Grundlagen für Produkte und Dienstleistungen**

- K Entwicklung und Konstruktion
- L Produktion

## **4 Ökonomisch-rechtliche Grundlagen**

- M Betriebswirtschaft
- N Management
- O Normung
- P Recht
- Q Patente

---

# Inhaltsverzeichnis



## Mathematik und Statistik

P. Ruge, C. Birk, M. Wermuth

### Mathematik

P. Ruge, C. Birk

|          |  |     |
|----------|--|-----|
| <b>1</b> | <b>Mengen, Logik, Graphen</b> . . . . .  | A1  |
| 1.1      | Mengen . . . . .   | A1  |
| 1.1.1    | Grundbegriffe der Mengenlehre – 1.1.2 Mengenrelationen und -operationen          |     |
| 1.2      | Verknüpfungsmerkmale spezieller Mengen . . . . .                                 | A2  |
| 1.3      | Aussagenlogik . . . . .  | A3  |
| 1.4      | Graphen . . . . .  | A4  |
| <b>2</b> | <b>Zahlen, Abbildungen, Folgen</b> . . . . .                                     | A5  |
| 2.1      | Reelle Zahlen . . . . .  | A5  |
| 2.1.1    | Zahlenmengen, Mittelwerte – 2.1.2 Potenzen, Wurzeln, Logarithmen                 |     |
| 2.2      | Stellenwertsysteme . . . . .   | A6  |
| 2.3      | Komplexe Zahlen . . . . .  | A6  |
| 2.3.1    | Grundoperationen, Koordinatendarstellung – 2.3.2 Potenzen, Wurzeln               |     |
| 2.4      | Intervalle . . . . .   | A7  |
| 2.5      | Abbildungen, Folgen und Reihen . . . . .   | A7  |
| 2.5.1    | Abbildungen, Funktionen – 2.5.2 Folgen und Reihen – 2.5.3 Potenzen von Reihen    |     |
| <b>3</b> | <b>Matrizen und Tensoren</b> . . . . .   | A10 |
| 3.1      | Matrizen . . . . .   | A10 |
| 3.1.1    | Bezeichnungen, spezielle Matrizen – 3.1.2 Rechenoperationen – 3.1.3 Matrixnormen |     |
| 3.2      | Determinanten . . . . .  | A13 |
| 3.3      | Vektoren . . . . .   | A14 |
| 3.3.1    | Vektoreigenschaften – 3.3.2 Basis – 3.3.3 Inneres oder Skalarprodukt –           |     |
| 3.3.4    | Äußeres oder Vektorprodukt – 3.3.5 Spatprodukt, Mehrfachprodukte                 |     |
| 3.4      | Tensoren . . . . .   | A18 |
| 3.4.1    | Tensoren $n$ -ter Stufe – 3.4.2 Tensoroperationen                                |     |
| <b>4</b> | <b>Elementare Geometrie</b> . . . . .  | A19 |
| 4.1      | Koordinaten . . . . .  | A19 |
| 4.1.1    | Koordinaten, Basen – 4.1.2 Kartesische Koordinaten – 4.1.3 Polarkoordinaten –    |     |
| 4.1.4    | Flächenkoordinaten – 4.1.5 Volumenkoordinaten – 4.1.6 Zylinderkoordinaten –      |     |
| 4.1.7    | Kugelkoordinaten   |     |

|           |  |     |
|-----------|--|-----|
| 4.2       | Kurven, Flächen 1. und 2. Ordnung . . . . .  | A21 |
|           | 4.2.1 Gerade in der Ebene – 4.2.2 Ebene im Raum – 4.2.3 Gerade im Raum –<br>4.2.4 Kurven 2. Ordnung – 4.2.5 Flächen 2. Ordnung |     |
| 4.3       | Planimetrie, Stereometrie . . . . .  | A26 |
| <b>5</b>  | <b>Projektionen</b> . . . . .  | A33 |
| <b>6</b>  | <b>Algebraische Funktionen einer Veränderlichen</b> . . . . .  | A35 |
| 6.1       | Sätze über Nullstellen . . . . .   | A35 |
| 6.2       | Quadratische Gleichungen . . . . .   | A36 |
| <b>7</b>  | <b>Transzendente Funktionen</b> . . . . .  | A36 |
| 7.1       | Exponentialfunktionen . . . . .  | A36 |
| 7.2       | Trigonometrische Funktionen . . . . .  | A36 |
| 7.3       | Hyperbolische Funktionen . . . . .   | A40 |
| <b>8</b>  | <b>Höhere Funktionen</b> . . . . .   | A42 |
| 8.1       | Algebraische Funktionen 3. und 4. Ordnung . . . . .  | A42 |
| 8.2       | Zykloiden, Spiralen . . . . .  | A42 |
| 8.3       | Delta-, Heaviside- und Gammafunktion . . . . .   | A42 |
| <b>9</b>  | <b>Differenziation reeller Funktionen einer Variablen</b> . . . . .  | A46 |
| 9.1       | Grenzwert, Stetigkeit . . . . .  | A46 |
| 9.2       | Ableitung einer Funktion . . . . .   | A47 |
|           | 9.2.1 Funktionsdarstellung nach Taylor – 9.2.2 Grenzwerte durch Ableitungen –<br>9.2.3 Extrema, Wendepunkte                    |     |
| 9.3       | Fraktionale Ableitungen . . . . .  | A52 |
| <b>10</b> | <b>Integration reeller Funktionen einer Variablen</b> . . . . .  | A53 |
| 10.1      | Unbestimmtes Integral . . . . .  | A53 |
| 10.2      | Bestimmtes Integral . . . . .  | A55 |
|           | 10.2.1 Integrationsregeln – 10.2.2 Uneigentliche Integrale   |     |
| <b>11</b> | <b>Differenziation reeller Funktionen mehrerer Variablen</b> . . . . .   | A57 |
| 11.1      | Grenzwert, Stetigkeit . . . . .  | A57 |
| 11.2      | Ableitungen . . . . .  | A58 |
|           | 11.2.1 Funktionsdarstellung nach Taylor – 11.2.2 Extrema   |     |
| <b>12</b> | <b>Integration reeller Funktionen mehrerer Variablen</b> . . . . .   | A61 |
| 12.1      | Parameterintegrale . . . . .   | A61 |
| 12.2      | Doppelintegrale . . . . .  | A62 |
| 12.3      | Uneigentliche Bereichsintegrale . . . . .  | A63 |
| 12.4      | Dreifachintegrale . . . . .  | A63 |
| 12.5      | Variablentransformation . . . . .  | A64 |
| 12.6      | Kurvenintegrale . . . . .  | A65 |
| 12.7      | Oberflächenintegrale . . . . .   | A66 |
| <b>13</b> | <b>Differenzialgeometrie der Kurven</b> . . . . .  | A66 |
| 13.1      | Ebene Kurven . . . . .   | A66 |
|           | 13.1.1 Tangente, Krümmung – 13.1.2 Hüllkurve   |     |
| 13.2      | Räumliche Kurven . . . . .   | A68 |
| <b>14</b> | <b>Räumliche Drehungen</b> . . . . .   | A69 |
| <b>15</b> | <b>Differenzialgeometrie gekrümmter Flächen</b> . . . . .  | A70 |
| <b>16</b> | <b>Differenzialgeometrie im Raum</b> . . . . .   | A71 |
| 16.1      | Basen, Metrik . . . . .  | A71 |
| 16.2      | Krummlinige Koordinaten . . . . .  | A72 |
| <b>17</b> | <b>Differenziation und Integration in Feldern</b> . . . . .  | A73 |
| 17.1      | Nabla-Operator . . . . .   | A73 |

|           |   |      |
|-----------|---|------|
| 17.2      | Fluss, Zirkulation  | A75  |
| 17.3      | Integralsätze   | A76  |
| <b>18</b> | <b>Differenziation und Integration komplexer Funktionen</b>     | A77  |
| 18.1      | Darstellung, Stetigkeit komplexer Funktionen                    | A77  |
| 18.2      | Ableitung   | A78  |
| 18.3      | Integration   | A79  |
| <b>19</b> | <b>Konforme Abbildung</b>                                       | A82  |
| <b>20</b> | <b>Orthogonalsysteme</b>  | A84  |
| <b>21</b> | <b>Fourier-Reihen</b>   | A85  |
| 21.1      | Reelle Entwicklung  | A85  |
| 21.2      | Komplexe Entwicklung  | A86  |
| <b>22</b> | <b>Polynomentwicklungen</b>                                     | A88  |
| <b>23</b> | <b>Integraltransformationen</b>                                 | A89  |
| 23.1      | Fourier-Transformation  | A89  |
| 23.2      | Laplace-Transformation  | A90  |
| 23.3      | $z$ -Transformation   | A92  |
| <b>24</b> | <b>Gewöhnliche Differenzialgleichungen</b>                      | A94  |
| 24.1      | Einteilung  | A94  |
| 24.2      | Geometrische Interpretation                                     | A94  |
| <b>25</b> | <b>Lösungsverfahren für gewöhnliche Differenzialgleichungen</b> | A95  |
| 25.1      | Trennung der Veränderlichen                                     | A95  |
| 25.2      | Totales Differenzial  | A95  |
| 25.3      | Substitution  | A96  |
| 25.4      | Lineare Differenzialgleichungen                                 | A96  |
| 25.5      | Lineare Differenzialgleichung, konstante Koeffizienten          | A97  |
| 25.6      | Normiertes Fundamentalsystem                                    | A98  |
| 25.7      | Green'sche Funktion   | A99  |
| 25.8      | Integration durch Reihenentwicklung                             | A100 |
| 25.9      | Integralgleichungen   | A101 |
| <b>26</b> | <b>Systeme von Differenzialgleichungen</b>                      | A101 |
| <b>27</b> | <b>Selbstadjungierte Differenzialgleichung</b>                  | A103 |
| <b>28</b> | <b>Klassische nichtelementare Differenzialgleichungen</b>       | A104 |
| <b>29</b> | <b>Partielle Differenzialgleichungen 1. Ordnung</b>             | A106 |
| <b>30</b> | <b>Partielle Differenzialgleichungen 2. Ordnung</b>             | A106 |
| <b>31</b> | <b>Lösungen partieller Differenzialgleichungen</b>              | A108 |
| 31.1      | Spezielle Lösungen der Wellen- und Potenzialgleichung           | A108 |
| 31.2      | Fundamentallösungen   | A110 |
| <b>32</b> | <b>Variationsrechnung</b>                                       | A111 |
| 32.1      | Funktionale   | A111 |
| 32.2      | Optimierung   | A115 |
| 32.3      | Lineare Optimierung   | A116 |
| <b>33</b> | <b>Lineare Gleichungssysteme</b>                                | A117 |
| 33.1      | Gestaffelte Systeme   | A117 |
| 33.2      | Gaußverwandte Verfahren   | A118 |
| 33.3      | Überbestimmte Systeme   | A121 |
| 33.4      | Testmatrizen  | A121 |
| <b>34</b> | <b>Nichtlineare Gleichungen</b>                                 | A122 |

|           |   |      |
|-----------|---|------|
| 34.1      | Fixpunktiteration, Konvergenzordnung                      | A122 |
| 34.2      | Spezielle Iterationsverfahren                             | A123 |
| 34.3      | Nichtlineare Gleichungssysteme                            | A125 |
| <b>35</b> | <b>Matrizeneigenwertproblem</b>                           | A126 |
| 35.1      | Homogene Matrizenfunktionen, Normalformen                 | A126 |
| 35.2      | Symmetrische Matrizenpaare                                | A128 |
| 35.3      | Testmatrizen  | A130 |
| 35.4      | Singularwertzerlegung                                     | A131 |
| <b>36</b> | <b>Interpolation</b>                                      | A132 |
| 36.1      | Nichtperiodische Interpolation                            | A132 |
| 36.2      | Periodische Interpolation                                 | A136 |
| 36.3      | Integration durch Interpolation                           | A136 |
| <b>37</b> | <b>Numerische Integration von Differenzialgleichungen</b> | A139 |
| 37.1      | Anfangswertprobleme                                       | A139 |
| 37.2      | Randwertprobleme  | A143 |
| 37.3      | Mehrgitterverfahren (Multigrid method)                    | A145 |

### *Wahrscheinlichkeitsrechnung und Statistik*

M. Wermuth

|           |  |      |
|-----------|--|------|
| <b>38</b> | <b>Wahrscheinlichkeitsrechnung</b>   | A147 |
| 38.1      | Zufallsexperiment und Zufallsergebnis  | A147 |
| 38.2      | Kombinatorik   | A147 |
| 38.3      | Wahrscheinlichkeit von Zufallsergebnissen  | A149 |
| 38.4      | Bedingte Wahrscheinlichkeit  | A149 |
| 38.5      | Unabhängigkeit von Ereignissen   | A150 |
| 38.6      | Rechenregeln für Wahrscheinlichkeiten  | A150 |
| <b>39</b> | <b>Zufallsvariable und Wahrscheinlichkeitsverteilung</b>   | A152 |
| 39.1      | Zufallsvariablen   | A152 |
| 39.2      | Wahrscheinlichkeits- und Verteilungsfunktion<br>einer diskreten Zufallsvariablen   | A152 |
| 39.3      | Wahrscheinlichkeitsdichte- und Verteilungsfunktion<br>einer stetigen Zufallsvariablen  | A153 |
| 39.4      | Kenngrößen von Wahrscheinlichkeitsverteilungen   | A153 |
|           | 39.4.1 $\alpha$ -Quantil – 39.4.2 Erwartungswert einer Funktion einer Zufallsgröße –<br>39.4.3 Lageparameter einer Verteilung – 39.4.4 Streuungsparameter einer Verteilung |      |
| 39.5      | Stochastische Unabhängigkeit von Zufallsgrößen   | A163 |
| 39.6      | Korrelation von Zufallsgrößen  | A164 |
| <b>40</b> | <b>Deskriptive Statistik</b>   | A165 |
| 40.1      | Aufgaben der Statistik   | A165 |
| 40.2      | Grundbegriffe  | A167 |
| 40.3      | Häufigkeit und Häufigkeitsverteilung   | A167 |
| 40.4      | Kenngrößen empirischer Verteilungen  | A169 |
|           | 40.4.1 Lageparameter – 40.4.2 Streuungsparameter   |      |
| 40.5      | Empirischer Korrelationskoeffizient  | A170 |
| <b>41</b> | <b>Induktive Statistik</b>   | A170 |
| 41.1      | Stichprobenauswahl   | A171 |
| 41.2      | Stichprobenfunktionen  | A171 |
| <b>42</b> | <b>Statistische Schätzverfahren</b>  | A171 |

|           |   |             |
|-----------|---|-------------|
| 42.1      | Schätzfunktion  | A171        |
| 42.2      | Punktschätzung  | A171        |
| 42.3      | Intervallschätzung  | A172        |
| <b>43</b> | <b>Statistische Prüfverfahren (Tests)</b>   | <b>A173</b> |
| 43.1      | Ablauf eines Tests  | A173        |
| 43.2      | Test der Gleichheit des Erwartungswerts $\mu$ eines quantitativen Merkmals mit einem gegebenen Wert $\mu_0$ (Parametertest) | A174        |
| 43.3      | Test der Gleichheit des Anteilswerts $p$ eines qualitativen Merkmals mit einem gegebenen Wert $p_0$ (Parametertest)         | A175        |
| 43.4      | Test der Gleichheit einer empirischen mit einer theoretischen Verteilung (Anpassungstest)                                   | A176        |
| 43.5      | Prüfen der Unabhängigkeit zweier Zufallsgrößen (Korrelationskoeffizient)  | A176        |
| <b>44</b> | <b>Regression</b>   | <b>A177</b> |
| 44.1      | Grundlagen  | A177        |
| 44.2      | Schätzwerte für $\alpha, \beta$ und $\sigma^2$  | A177        |
| 44.3      | Konfidenzintervalle für die Parameter $\beta, \sigma^2$ und $\mu(\chi)$   | A177        |
| 44.4      | Prüfen einer Hypothese über den Regressionskoeffizienten  | A178        |
| 44.5      | Beispiel zur Regressionsrechnung  | A178        |
|           | <b>Formelzeichen der Wahrscheinlichkeitsrechnung und Statistik</b>  | <b>A179</b> |
|           | <b>Literatur</b>  | <b>A180</b> |

# B

## Physik

H. Niedrig, M. Sternberg

|  |  |            |
|--|--|------------|
| <b>0</b>                               | <b>Übersicht</b>   | <b>B1</b>  |
| <b>1</b>                               | <b>Physikalische Größen und Einheiten</b>  | <b>B2</b>  |
| 1.1                                    | Physikalische Größen   | B2         |
| 1.2                                    | Basisgrößen und -einheiten   | B2         |
| 1.3                                    | Das Internationale Einheitensystem, Konstanten und Einheiten                                       | B2         |
| <i>I. Teilchen und Teilchensysteme</i> |  |            |
| <b>2</b>                               | <b>Kinematik</b>   | <b>B7</b>  |
| 2.1                                    | Geradlinige Bewegung   | B7         |
| 2.2                                    | Kreisbewegung  | B9         |
| 2.3                                    | Gleichförmig translatorische Relativbewegung   | B10        |
|  | 2.3.1 Galilei-Transformation – 2.3.2 Lorentz-Transformation – 2.3.3 Relativistische Kinematik      |            |
| 2.4                                    | Geradlinig beschleunigte Relativbewegung   | B14        |
| 2.5                                    | Rotatorische Relativbewegung   | B14        |
| <b>3</b>                               | <b>Kraft und Impuls</b>  | <b>B15</b> |
| 3.1                                    | Trägheitsgesetz  | B16        |
| 3.2                                    | Kraftgesetz  | B16        |
|  | 3.2.1 Gewichtskraft – 3.2.2 Federkraft – 3.2.3 Reibungskräfte                                      |            |
| 3.3                                    | Reaktionsgesetz  | B18        |
|  | 3.3.1 Kräfte bei elastischen Verformungen – 3.3.2 Kräfte zwischen freien Körpern („innere Kräfte“) |            |
| 3.4                                    | Äquivalenzprinzip: Schwer- und Trägheitskräfte   | B20        |
| 3.5                                    | Trägheitskräfte bei Rotation   | B20        |
|  | 3.5.1 Zentripetal- und Zentrifugalkraft – 3.5.2 Coriolis-Kraft                                     |            |

|          |  |            |
|----------|--|------------|
| 3.6      | Drehmoment und Gleichgewicht . . . . .   | B21        |
| 3.7      | Drehimpuls (Drall) . . . . .   | B22        |
| 3.8      | Drehimpulserhaltung . . . . .  | B23        |
| <b>4</b> | <b>Arbeit und Energie</b> . . . . .  | <b>B23</b> |
| 4.1      | Beschleunigungsarbeit, kinetische Energie . . . . .  | B24        |
| 4.2      | Potenzielle Energie, Hub- und Spannungsarbeit . . . . .  | B24        |
| 4.3      | Energieerhaltung bei konservativen Kräften . . . . .   | B26        |
| 4.4      | Energiesatz bei nichtkonservativen Kräften . . . . .   | B26        |
| 4.5      | Relativistische Dynamik . . . . .  | B27        |
| <b>5</b> | <b>Schwingungen</b> . . . . .  | <b>B29</b> |
| 5.1      | Kinematik der harmonischen Bewegung . . . . .  | B29        |
| 5.2      | Der ungedämpfte, harmonische Oszillator . . . . .  | B30        |
|          | 5.2.1 Mechanische harmonische Oszillatoren – 5.2.2 Schwingungsgleichung<br>und Schwingungsenergie des harmonischen Oszillators                     |            |
| 5.3      | Freie gedämpfte Schwingungen . . . . .   | B34        |
|          | 5.3.1 Periodischer Fall (Schwingfall) – 5.3.2 Aperiodischer Grenzfall –<br>5.3.3 Aperiodischer Fall (Kriechfall) – 5.3.4 Abklingzeit               |            |
| 5.4      | Erzwungene Schwingungen, Resonanz . . . . .  | B37        |
|          | 5.4.1 Resonanz – 5.4.2 Leistungsaufnahme des Oszillators   |            |
| 5.5      | Überlagerung von harmonischen Schwingungen . . . . .   | B40        |
|          | 5.5.1 Schwingungen gleicher Frequenz – 5.5.2 Schwingungen verschiedener Frequenz   |            |
| 5.6      | Gekoppelte Oszillatoren . . . . .  | B43        |
|          | 5.6.1 Gekoppelte Pendel – 5.6.2 Mehrere gekoppelte Oszillatoren  |            |
| 5.7      | Nichtlineare Oszillatoren. Chaotisches Schwingungsverhalten . . . . .  | B46        |
| <b>6</b> | <b>Teilchensysteme</b> . . . . .   | <b>B48</b> |
| 6.1      | Schwerpunkt (Massenzentrum), Impuls und Drehimpuls<br>von Teilchensystemen . . . . .   | B49        |
|          | 6.1.1 Schwerpunktbewegung ohne äußere Kräfte – 6.1.2 Schwerpunktbewegung<br>bei Einwirkung äußerer Kräfte – 6.1.3 Drehimpuls eines Teilchensystems |            |
| 6.2      | Energieinhalt von Teilchensystemen . . . . .   | B52        |
|          | 6.2.1 Energieerhaltungssatz in Teilchensystemen – 6.2.2 Bindungsenergie<br>eines Teilchensystems   |            |
| 6.3      | Stöße . . . . .  | B54        |
|          | 6.3.1 Zentraler elastischer Stoß – 6.3.2 Nichtzentraler elastischer Stoß –<br>6.3.3 Unelastischer Stoß   |            |
| <b>7</b> | <b>Dynamik starrer Körper</b> . . . . .  | <b>B59</b> |
| 7.1      | Translation und Rotation eines starren Körpers . . . . .   | B59        |
| 7.2      | Rotationsenergie, Trägheitsmoment . . . . .  | B61        |
| 7.3      | Drehimpuls eines starren Körpers . . . . .   | B63        |
| 7.4      | Kreisel . . . . .  | B64        |
| 7.5      | Vergleich Translation — Rotation . . . . .   | B65        |
| <b>8</b> | <b>Statistische Mechanik — Thermodynamik</b> . . . . .   | <b>B65</b> |
| 8.1      | Kinetische Theorie der Gase . . . . .  | B66        |
| 8.2      | Temperaturskalen, Gasgesetze . . . . .   | B69        |
| 8.3      | Freiheitsgrade, Gleichverteilungssatz . . . . .  | B72        |
| 8.4      | Reale Gase, tiefe Temperaturen . . . . .   | B74        |
| 8.5      | Energieaustausch bei Vielteilchensystemen . . . . .  | B78        |
|          | 8.5.1 Volumenarbeit – 8.5.2 Wärme – 8.5.3 Energieerhaltungssatz<br>für Vielteilchensysteme   |            |
| 8.6      | Wärmemengen bei thermodynamischen Prozessen . . . . .  | B81        |
|          | 8.6.1 Spezifische und molare Wärmekapazitäten – 8.6.2 Phasenumwandlungsenthalpien  |            |

|           |   |      |
|-----------|---|------|
| 8.7       | Zustandsänderungen bei idealen Gasen . . . . .              | B85  |
| 8.8       | Kreisprozesse . . . . .                                     | B88  |
| 8.8.1     | Wärmekraftmaschine – 8.8.2 Kältemaschine und Wärmepumpe     |      |
| 8.9       | Ablaufrichtung physikalischer Prozesse (Entropie) . . . . . | B91  |
| <b>9</b>  | <b>Transporterscheinungen</b> . . . . .                     | B95  |
| 9.1       | Stoßquerschnitt, mittlere freie Weglänge . . . . .          | B95  |
| 9.2       | Molekulardiffusion . . . . .                                | B96  |
| 9.3       | Wärmeleitung . . . . .                                      | B97  |
| 9.4       | Innere Reibung: Viskosität . . . . .                        | B99  |
| <b>10</b> | <b>Hydro- und Aerodynamik</b> . . . . .                     | B103 |
| 10.1      | Strömungen idealer Flüssigkeiten . . . . .                  | B104 |
| 10.2      | Strömungen realer Flüssigkeiten . . . . .                   | B108 |

## II. Wechselwirkungen und Felder

|           |  |      |
|-----------|--|------|
| <b>11</b> | <b>Gravitationswechselwirkung</b> . . . . .  | B111 |
| 11.1      | Der Feldbegriff . . . . .  | B111 |
| 11.2      | Planetenbewegung: Kepler-Gesetze . . . . .   | B111 |
| 11.3      | Newton'sches Gravitationsgesetz . . . . .  | B112 |
| 11.4      | Das Gravitationsfeld . . . . .   | B113 |
| 11.5      | Satellitenbahnen im Zentralfeld . . . . .  | B115 |
| <b>12</b> | <b>Elektrische Wechselwirkung</b> . . . . .  | B118 |
| 12.1      | Elektrische Ladung, Coulomb'sches Gesetz . . . . .                                 | B118 |
| 12.2      | Das elektrostatische Feld . . . . .  | B119 |
| 12.3      | Elektrisches Potenzial, elektrische Spannung . . . . .                             | B124 |
| 12.4      | Quantisierung der elektrischen Ladung . . . . .                                    | B126 |
| 12.5      | Energieaufnahme im elektrischen Feld . . . . .                                     | B127 |
| 12.6      | Elektrischer Strom . . . . .   | B129 |
| 12.7      | Elektrische Leiter im elektrostatischen Feld, Influenz . . . . .                   | B130 |
| 12.8      | Kapazität leitender Körper . . . . .   | B132 |
| 12.9      | Nichtleitende Materie im elektrischen Feld, elektrische Polarisierung . . . . .    | B134 |
| <b>13</b> | <b>Magnetische Wechselwirkung</b> . . . . .  | B140 |
| 13.1      | Das magnetostatische Feld, stationäre Magnetfelder . . . . .                       | B140 |
| 13.2      | Die magnetische Kraft auf bewegte Ladungen . . . . .                               | B143 |
| 13.3      | Die magnetische Kraft auf stromdurchflossene Leiter . . . . .                      | B147 |
| 13.4      | Materie im magnetischen Feld, magnetische Polarisierung . . . . .                  | B149 |
| <b>14</b> | <b>Zeitveränderliche elektromagnetische Felder</b> . . . . .                       | B156 |
| 14.1      | Zeitveränderliche magnetische Felder: Induktion . . . . .                          | B156 |
| 14.2      | Selbstinduktion . . . . .  | B160 |
| 14.3      | Energieinhalt des Magnetfeldes . . . . .   | B161 |
| 14.4      | Wirkung zeitveränderlicher elektrischer Felder . . . . .                           | B161 |
| 14.5      | Maxwell'sche Gleichungen . . . . .   | B162 |
| <b>15</b> | <b>Elektrische Stromkreise</b> . . . . .   | B163 |
| 15.1      | Ohm'sches Gesetz . . . . .   | B164 |
| 15.2      | Gleichstromkreise, Kirchhoff'sche Sätze . . . . .                                  | B165 |
| 15.3      | Wechselstromkreise . . . . .   | B166 |
| 15.3.1    | Wechselstromarbeit – 15.3.2 Transformator – 15.3.3 Scheinwiderstand von R, L und C |      |



|           |   |             |
|-----------|---|-------------|
| 15.4      | Elektromagnetische Schwingungen . . . . .   | B170        |
|           | 15.4.1 Freie, gedämpfte elektromagnetische Schwingungen – 15.4.2 Erzwungene elektromagnetische Schwingungen, Resonanzkreise – 15.4.3 Selbsterregung elektromagnetischer Schwingungen durch Rückkopplung |             |
| <b>16</b> | <b>Transport elektrischer Ladung: Leitungsmechanismen . . . . .</b>   | <b>B175</b> |
| 16.1      | Elektrische Struktur der Materie . . . . .  | B175        |
|           | 16.1.1 Atomstruktur – 16.1.2 Elektronen in Festkörpern  |             |
| 16.2      | Metallische Leitung . . . . .   | B184        |
| 16.3      | Supraleitung . . . . .  | B187        |
| 16.4      | Halbleiter . . . . .  | B191        |
|           | 16.4.1 Eigenleitung – 16.4.2 Störstellenleitung – 16.4.3 Hall-Effekt in Halbleitern – 16.4.4 PN-Übergänge   |             |
| 16.5      | Elektrolytische Leitung . . . . .   | B197        |
| 16.6      | Stromleitung in Gasen . . . . .   | B198        |
|           | 16.6.1 Unselbstständige Gasentladung – 16.6.2 Selbstständige Gasentladung – 16.6.3 Der Plasmazustand  |             |
| 16.7      | Elektrische Leitung im Hochvakuum . . . . .   | B202        |
|           | 16.7.1 Elektronenemission – 16.7.2 Bewegung freier Ladungsträger im Vakuum  |             |
| <b>17</b> | <b>Starke und schwache Wechselwirkung: Atomkerne und Elementarteilchen . . . . .</b>  | <b>B208</b> |
| 17.1      | Atomkerne . . . . .   | B208        |
| 17.2      | Massendefekt, Kernbindungsenergie . . . . .   | B210        |
| 17.3      | Radioaktiver Zerfall . . . . .  | B211        |
|           | 17.3.1 Alphazerfall – 17.3.2 Betazerfall  |             |
| 17.4      | Künstliche Kernumwandlungen, Kernenergiegewinnung . . . . .   | B214        |
| 17.5      | Elementarteilchen . . . . .   | B219        |

### *III. Wellen und Quanten*

|           |  |             |
|-----------|--|-------------|
| <b>18</b> | <b>Wellenausbreitung . . . . .</b>   | <b>B224</b> |
| 18.1      | Beschreibung von Wellenbewegungen, Wellengleichung . . . . .                           | B224        |
| 18.2      | Elastische Wellen, Schallwellen . . . . .  | B229        |
| 18.3      | Doppler-Effekt, Kopfwellen . . . . .   | B232        |
| <b>19</b> | <b>Elektromagnetische Wellen . . . . .</b>   | <b>B234</b> |
| 19.1      | Erzeugung und Ausbreitung elektromagnetischer Wellen . . . . .                         | B235        |
| 19.2      | Elektromagnetisches Spektrum . . . . .   | B240        |
| <b>20</b> | <b>Wechselwirkung elektromagnetischer Strahlung mit Materie . . . . .</b>              | <b>B242</b> |
| 20.1      | Ausbreitung elektromagnetischer Wellen in Materie, Dispersion . . . . .                | B242        |
| 20.2      | Emission und Absorption des schwarzen Körpers, Planck'sches Strahlungsgesetz . . . . . | B245        |
| 20.3      | Quantisierung des Lichtes, Photonen . . . . .  | B249        |
| 20.4      | Stationäre Energiezustände, Spektroskopie . . . . .                                    | B252        |
| 20.5      | Induzierte Emission, Laser . . . . .   | B255        |
| <b>21</b> | <b>Reflexion und Brechung, Polarisation . . . . .</b>                                  | <b>B258</b> |
| 21.1      | Reflexion, Brechung, Totalreflexion . . . . .  | B258        |
| 21.2      | Optische Polarisation . . . . .  | B262        |
| <b>22</b> | <b>Geometrische Optik . . . . .</b>  | <b>B264</b> |
| 22.1      | Optische Abbildung . . . . .   | B264        |
| 22.2      | Abbildungsfehler . . . . .   | B268        |
| <b>23</b> | <b>Interferenz und Beugung . . . . .</b>   | <b>B270</b> |

|           |  |             |
|-----------|--|-------------|
| 23.1      | Huygens'sches Prinzip                            | B270        |
| 23.2      | Fraunhofer-Beugung an Spalt und Gitter           | B273        |
| <b>24</b> | <b>Wellenaspekte bei der optischen Abbildung</b> | <b>B277</b> |
| 24.1      | Abbe'sche Mikroskoptheorie                       | B277        |
| 24.2      | Holografie                                       | B278        |
| <b>25</b> | <b>Materiewellen</b>                             | <b>B280</b> |
| 25.1      | Teilchen, Wellen, Unschärferelation              | B280        |
| 25.2      | Die De-Broglie-Beziehung                         | B281        |
| 25.3      | Die Schrödinger-Gleichung                        | B283        |
| 25.4      | Elektronenbeugung, Elektroneninterferenzen       | B284        |
| 25.5      | Elektronenoptik                                  | B286        |
|           | <b>Literatur</b>                                 | <b>B289</b> |



## Chemie

B. Plewinsky, M. Hennecke, W. Oppermann

|          |  |            |
|----------|--|------------|
| <b>1</b> | <b>Atombau</b>   | <b>C1</b>  |
| 1.1      | Das Atommodell von Rutherford  | C1         |
| 1.2      | Das Bohr'sche Atommodell   | C1         |
| 1.3      | Ionisierungsenergie, Elektronenaffinität   | C2         |
| 1.4      | Das quantenmechanische Atommodell  | C3         |
|          | 1.4.1 Die $\Psi$ -Funktion – 1.4.2 Die Schrödinger-Gleichung für das Wasserstoffatom –<br>1.4.3 Darstellung der Wasserstoff-Orbitale – 1.4.4 Mehrelektronensysteme |            |
| 1.5      | Besetzung der Energieniveaus   | C5         |
| 1.6      | Darstellung der Elektronenkonfiguration  | C5         |
| 1.7      | Aufbau des Atomkerns   | C5         |
| <b>2</b> | <b>Das Periodensystem der Elemente</b>   | <b>C6</b>  |
| 2.1      | Aufbau des Periodensystems   | C6         |
| 2.2      | Periodizität einiger Eigenschaften   | C8         |
| <b>3</b> | <b>Chemische Bindung</b>   | <b>C8</b>  |
| 3.1      | Atombindung (kovalente Bindung)  | C8         |
|          | 3.1.1 Modell nach Lewis – 3.1.2 Molekülorbitale – 3.1.3 Hybridisierung –<br>3.1.4 Elektronegativität   |            |
| 3.2      | Ionenbindung   | C11        |
|          | 3.2.1 Gitterenergie – 3.2.2 Born-Haber'scher Kreisprozess – 3.2.3 Atom-<br>und Ionenradien   |            |
| 3.3      | Metallische Bindung  | C12        |
| 3.4      | Van-der-Waals'sche Bindung und Wasserstoffbrückenbindung<br>(Nebervalenzbindungen)   | C13        |
| <b>4</b> | <b>Chemische Gleichungen und Stöchiometrie</b>   | <b>C13</b> |
| 4.1      | Chemische Formeln  | C13        |
| 4.2      | Chemische Gleichungen  | C13        |
| 4.3      | Grundgesetze der Stöchiometrie   | C14        |
|          | 4.3.1 Gesetz von der Erhaltung der Masse – 4.3.2 Gesetz der konstanten Proportionen –<br>4.3.3 Gesetz der multiplen Proportionen                                   |            |
| 4.4      | Stoffmenge, Avogadro-Konstante   | C15        |
| 4.5      | Die molare Masse   | C15        |
| 4.6      | Quantitative Beschreibung von Mischphasen  | C15        |
|          | 4.6.1 Der Massenanteil – 4.6.2 Der Stoffmengenanteil – 4.6.3 Die Konzentration<br>(oder Stoffmengenkonzentration)  |            |

|          |   |            |
|----------|---|------------|
| 4.7      | Stöchiometrische Berechnungen . . . . .   | C16        |
|          | 4.7.1 Gravimetrische Analyse – 4.7.2 Maßanalyse – 4.7.3 Verbrennungsvorgänge  |            |
| <b>5</b> | <b>Zustandsformen der Materie . . . . .</b>   | <b>C18</b> |
| 5.1      | Gase . . . . .  | C18        |
|          | 5.1.1 Ideale Gase – 5.1.2 Zustandsgleichung idealer Gase – 5.1.3 Spezialfälle der<br>Zustandsgleichung idealer Gase – 5.1.4 Reale Gase – 5.1.5 Die Virialgleichung –<br>5.1.6 Die van-der-Waals'sche Gleichung. Der kritische Punkt   |            |
| 5.2      | Flüssigkeiten . . . . .   | C22        |
|          | 5.2.1 Einteilung der Flüssigkeiten – 5.2.2 Struktur von Flüssigkeiten –<br>5.2.3 Eigenschaften des flüssigen Wassers – 5.2.4 Gläser – 5.2.5 Flüssige Kristalle<br>oder Flüssigkristalle   |            |
| 5.3      | Festkörper . . . . .  | C26        |
|          | 5.3.1 Kristalle – 5.3.2 Bindungszustände in Kristallen – 5.3.3 Reale Kristalle –<br>5.3.4 Grenzflächen  |            |
| 5.4      | Plasmen . . . . .   | C30        |
| <b>6</b> | <b>Thermodynamik chemischer Reaktionen.<br/>Das chemische Gleichgewicht . . . . .</b>   | <b>C30</b> |
| 6.1      | Grundlagen . . . . .  | C30        |
|          | 6.1.1 Einteilung der thermodynamischen Systeme – 6.1.2 Die Umsatzvariable   |            |
| 6.2      | Anwendung des 1. Hauptsatzes der Thermodynamik auf chemische<br>Reaktionen . . . . .  | C31        |
|          | 6.2.1 Der 1. Hauptsatz der Thermodynamik – 6.2.2 Die Reaktionsenergie – 6.2.3 Die<br>Reaktionsenthalpie – 6.2.4 Der Heß'sche Satz – 6.2.5 Die Standardbildungsenthalpie<br>von Verbindungen – 6.2.6 Temperatur- und Druckabhängigkeit der Reaktionsenthalpie  |            |
| 6.3      | Anwendung des 2. und 3. Hauptsatzes der Thermodynamik auf<br>chemische Reaktionen . . . . .   | C35        |
|          | 6.3.1 Grundlagen – 6.3.2 Reaktionsentropie – 6.3.3 Die Freie Enthalpie und das<br>chemische Potential – 6.3.4 Die Freie Reaktionsenthalpie. Die Gibbs-Helmholtz'sche<br>Gleichung – 6.3.5 Phasenstabilität  |            |
| 6.4      | Das Massenwirkungsgesetz . . . . .  | C38        |
|          | 6.4.1 Chemisches Gleichgewicht – 6.4.2 Homogene Gasreaktionen – 6.4.3 Heterogene<br>Reaktionen – 6.4.4 Berechnung von Gleichgewichtskonstanten aus thermochemischen<br>Tabellen – 6.4.5 Temperaturabhängigkeit der Gleichgewichtskonstante – 6.4.6 Prinzip<br>des kleinsten Zwanges – 6.4.7 Gekoppelte Gleichgewichte |            |
| <b>7</b> | <b>Geschwindigkeit chemischer Reaktionen. Reaktionskinetik . . .</b>  | <b>C41</b> |
| 7.1      | Reaktionsgeschwindigkeit und Freie Reaktionsenthalpie . . . . .   | C41        |
| 7.2      | Reaktionsgeschwindigkeit und Reaktionsordnung . . . . .   | C41        |
| 7.3      | Elementarreaktion. Reaktionsmechanismus und Molekularität . . . . .   | C42        |
| 7.4      | Konzentrationsabhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit . . . . .   | C43        |
|          | 7.4.1 Zeitgesetz 1. Ordnung – 7.4.2 Zeitgesetz 2. Ordnung   |            |
| 7.5      | Reaktionsgeschwindigkeit und Massenwirkungsgesetz . . . . .   | C44        |
| 7.6      | Temperaturabhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit . . . . .   | C45        |
| 7.7      | Kettenreaktionen . . . . .  | C45        |
| 7.8      | Explosionen . . . . .   | C46        |
| 7.9      | Katalyse . . . . .  | C46        |
|          | 7.9.1 Grundlagen – 7.9.2 Homogene Katalyse – 7.9.3 Heterogene Katalyse –<br>7.9.4 Haber-Bosch-Verfahren   |            |
| <b>8</b> | <b>Stoffe und Reaktionen in Lösung . . . . .</b>  | <b>C48</b> |
| 8.1      | Disperse Systeme . . . . .  | C48        |
|          | 8.1.1 Kolloide – 8.1.2 Lösungen – 8.1.3 Elektrolyte, Elektrolytlösungen   |            |
| 8.2      | Kolligative Eigenschaften von Lösungen . . . . .  | C49        |
|          | 8.2.1 Dampfdruckerniedrigung – 8.2.2 Gefrierpunktniedrigung<br>und Siedepunkterhöhung – 8.2.3 Osmotischer Druck   |            |
| 8.3      | Löslichkeit von Gasen in Flüssigkeiten . . . . .  | C52        |

|           |  |     |
|-----------|--|-----|
| 8.4       | Verteilung gelöster Stoffe zwischen zwei Lösungsmitteln . . . . .  | C52 |
| 8.5       | Wasser als Lösungsmittel . . . . .   | C52 |
| 8.6       | Eigendissoziation des Wassers, Ionenprodukt des Wassers . . . . .  | C53 |
| 8.7       | Säuren und Basen . . . . .   | C53 |
|           | 8.7.1 Definitionen von Arrhenius und Brønsted – 8.7.2 Starke und schwache Säuren<br>und Basen – 8.7.3 Der pH-Wert – 8.7.4 pH-Wert der Lösung einer starken Säure bzw.<br>Base – 8.7.5 pH-Wert der Lösung einer schwachen Säure bzw. Base – 8.7.6 pH-Wert<br>von Salzlösungen (Hydrolyse) – 8.7.7 Löslichkeitsprodukt |     |
| 8.8       | Härte des Wassers . . . . .  | C58 |
| <b>9</b>  | <b>Redoxreaktionen</b> . . . . .   | C58 |
| 9.1       | Oxidationszahl . . . . .   | C58 |
| 9.2       | Oxidation und Reduktion, Redoxreaktionen . . . . .   | C58 |
| 9.3       | Beispiele für Redoxreaktionen . . . . .  | C59 |
|           | 9.3.1 Verbrennungsvorgänge – 9.3.2 Auflösen von Metallen in Säuren –<br>9.3.3 Darstellung von Metallen durch Reduktion von Metalloxiden  |     |
| 9.4       | Redoxreaktionen in elektrochemischen Zellen . . . . .  | C60 |
| 9.5       | Elektrodenpotenziale, elektrochemische Spannungsreihe . . . . .  | C61 |
|           | 9.5.1 Definition von Anode und Kathode – 9.5.2 Konzentrations- bzw. Partialdruck-<br>abhängigkeit des Elektrodenpotenzials einer Halbzelle – 9.5.3 Berechnung der EMK<br>elektrochemischer Zellen aus Elektrodenpotenzialen – 9.5.4 Edle und unedle Metalle  |     |
| 9.6       | Elektrochemische Korrosion . . . . .   | C63 |
| 9.7       | Erzeugung von elektrischem Strom durch Redoxreaktionen . . . . .   | C63 |
| 9.8       | Elektrolyse, Faraday-Gesetz . . . . .  | C64 |
|           | 9.8.1 Technische Anwendungen elektrolytischer Vorgänge   |     |
| <b>10</b> | <b>Die Elementgruppen</b> . . . . .  | C65 |
| 10.1      | Wasserstoff . . . . .  | C65 |
| 10.2      | I. Hauptgruppe: Alkalimetalle . . . . .  | C66 |
| 10.3      | II. Hauptgruppe: Erdalkalimetalle . . . . .  | C66 |
| 10.4      | III. Hauptgruppe: die Borgruppe . . . . .  | C67 |
|           | 10.4.1 Bor – 10.4.2 Aluminium  |     |
| 10.5      | IV. Hauptgruppe: die Kohlenstoffgruppe . . . . .   | C69 |
|           | 10.5.1 Kohlenstoff – 10.5.2 Silicium – 10.5.3 Germanium, Zinn und Blei   |     |
| 10.6      | V. Hauptgruppe: die Stickstoffgruppe . . . . .   | C71 |
|           | 10.6.1 Stickstoff – 10.6.2 Phosphor – 10.6.3 Arsen, Antimon  |     |
| 10.7      | VI. Hauptgruppe: Chalkogene . . . . .  | C73 |
|           | 10.7.1 Sauerstoff – 10.7.2 Schwefel  |     |
| 10.8      | VII. Hauptgruppe: Halogene . . . . .   | C75 |
|           | 10.8.1 Fluor – 10.8.2 Chlor – 10.8.3 Brom und Iod  |     |
| 10.9      | VIII. Hauptgruppe: Edelgase . . . . .  | C76 |
| 10.10     | Scandiumgruppe (III. Nebengruppe) . . . . .  | C76 |
| 10.11     | Titangruppe (IV. Nebengruppe) . . . . .  | C77 |
|           | 10.11.1 Titan – 10.11.2 Zirconium  |     |
| 10.12     | Vanadiumgruppe (V. Nebengruppe) . . . . .  | C77 |
|           | 10.12.1 Vanadium   |     |
| 10.13     | Chromgruppe (VI. Nebengruppe) . . . . .  | C78 |
|           | 10.13.1 Chrom – 10.13.2 Molybdän – 10.13.3 Wolfram   |     |
| 10.14     | Mangangruppe (VII. Nebengruppe) . . . . .  | C79 |
|           | 10.14.1 Mangan   |     |
| 10.15     | Eisenmetalle und Elementgruppe der Platinmetalle<br>(VIII. Nebengruppe) . . . . .  | C80 |
|           | 10.15.1 Eisen – 10.15.2 Cobalt – 10.15.3 Nickel  |     |

|   |             |
|---|-------------|
| 10.16 Kupfergruppe (I. Nebengruppe) . . . . .                                     | C81         |
| 10.16.1 Kupfer – 10.16.2 Silber – 10.16.3 Gold                                    |             |
| 10.17 Zinkgruppe (II. Nebengruppe) . . . . .                                      | C82         |
| 10.17.1 Zink – 10.17.2 Quecksilber  |             |
| 10.18 Die Lanthanoide . . . . .   | C83         |
| 10.19 Die Actinoide . . . . .   | C84         |
| 10.19.1 Thorium – 10.19.2 Uran – 10.19.3 Plutonium                                |             |
| <b>11 Organische Verbindungen . . . . .</b>                                       | <b>C86</b>  |
| 11.1 Organische Chemie: Überblick . . . . .                                       | C86         |
| 11.2 Isomerie bei organischen Molekülen . . . . .                                 | C86         |
| 11.2.1 Strukturisomerie – 11.2.2 Stereoisomerie                                   |             |
| 11.3 Kohlenwasserstoffe . . . . .   | C87         |
| 11.3.1 Aliphatische Kohlenwasserstoffe – 11.3.2 Alicyclische Kohlenwasserstoffe – |             |
| 11.3.3 Aromatische Kohlenwasserstoffe   |             |
| 11.4 Verbindungen mit funktionellen Gruppen . . . . .                             | C94         |
| 11.4.1 Halogenderivate der aliphatischen Kohlenwasserstoffe – 11.4.2 Alkohole –   |             |
| 11.4.3 Aldehyde – 11.4.4 Ketone – 11.4.5 Carbonsäuren und ihre Derivate –         |             |
| 11.4.6 Aminocarbonsäuren (Aminosäuren)  |             |
| <b>12 Synthetische und natürliche Makromoleküle . . . . .</b>                     | <b>C101</b> |
| 12.1 Synthetische Polymere . . . . .  | C101        |
| 12.1.1 Verknüpfung von Monomeren – 12.1.2 Mittelwerte der Molmassen –             |             |
| 12.1.3 Synthese von Polymeren   |             |
| 12.2 Gestalt synthetischer Makromoleküle . . . . .                                | C105        |
| 12.2.1 Knäuelmoleküle – 12.2.2 Charakterisierung der Gestalt                      |             |
| 12.3 Konfiguration . . . . .  | C106        |
| 12.4 Kristallisation von Polymeren . . . . .                                      | C106        |
| 12.5 Biopolymere (natürliche Makromoleküle) . . . . .                             | C107        |
| 12.5.1 Polypeptide und Proteine – 12.5.2 Polynucleotide – 12.5.3 Polysaccharide   |             |
| <b>Formelzeichen der Chemie . . . . .</b>   | <b>C111</b> |
| <b>Literatur . . . . .</b>  | <b>C111</b> |



## Werkstoffe

H. Czichos, B. Skrotzki, F.-G. Simon

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1 Übersicht . . . . .</b>                                       | <b>D1</b> |
| 1.1 Der Materialkreislauf . . . . .                                | D1        |
| 1.2 Werkstoffe in Kultur, Wirtschaft, Technik und Umwelt . . . . . | D2        |
| 1.3 Gliederung des Werkstoffgebietes . . . . .                     | D5        |
| <b>2 Aufbau der Werkstoffe . . . . .</b>                           | <b>D5</b> |
| 2.1 Aufbauprinzipien von Festkörpern . . . . .                     | D6        |
| 2.2 Mikrostruktur . . . . .  | D8        |
| 2.3 Werkstoffoberflächen . . . . .                                 | D9        |
| 2.4 Werkstoffgruppen . . . . .                                     | D9        |
| 2.5 Mischkristalle und Phasengemische . . . . .                    | D11       |
| 2.6 Gleichgewichte . . . . .                                       | D12       |
| 2.7 Zustandsdiagramme . . . . .                                    | D13       |
| 2.8 Diffusionsprozesse . . . . .                                   | D15       |
| 2.9 Keimbildung von Phasenumwandlungen . . . . .                   | D17       |
| 2.10 Metastabile Zustände . . . . .                                | D18       |
| 2.11 Erholung und Rekristallisation . . . . .                      | D18       |
| 2.12 Ausscheidungs- und Umwandlungsprozesse . . . . .              | D19       |

|          |  |     |
|----------|--|-----|
| <b>3</b> | <b>Metallische Werkstoffe</b> .....  | D20 |
| 3.1      | Herstellung metallischer Werkstoffe .....  | D20 |
| 3.2      | Einteilung der Metalle .....   | D20 |
| 3.3      | Eisenwerkstoffe .....  | D21 |
|          | 3.3.1 Eisen-Kohlenstoff-Diagramm – 3.3.2 Wärmebehandlung – 3.3.3 Stahl –<br>3.3.4 Gusseisen  |     |
| 3.4      | Nichteisenmetalle und ihre Legierungen .....   | D27 |
|          | 3.4.1 Aluminium – 3.4.2 Magnesium – 3.4.3 Titan – 3.4.4 Kupfer – 3.4.5 Nickel –<br>3.4.6 Zinn – 3.4.7 Zink – 3.4.8 Blei  |     |
| <b>4</b> | <b>Anorganisch-nichtmetallische Werkstoffe</b> .....   | D31 |
| 4.1      | Mineralische Naturstoffe .....   | D31 |
| 4.2      | Kohlenstoff .....  | D32 |
| 4.3      | Keramische Werkstoffe .....  | D33 |
|          | 4.3.1 Herstellung keramischer Werkstoffe – 4.3.2 Silicatkeramik – 4.3.3 Oxidkeramik –<br>4.3.4 Nichtoxidkeramik  |     |
| 4.4      | Glas .....   | D36 |
| 4.5      | Glaskeramik .....  | D37 |
| 4.6      | Baustoffe .....  | D37 |
|          | 4.6.1 Bindemittel – 4.6.2 Zement – 4.6.3 Beton   |     |
| 4.7      | Erdstoffe .....  | D39 |
| <b>5</b> | <b>Organische Stoffe; Polymerwerkstoffe</b> .....  | D40 |
| 5.1      | Organische Naturstoffe .....   | D40 |
|          | 5.1.1 Holz und Holzwerkstoffe – 5.1.2 Fasern   |     |
| 5.2      | Papier und Pappe .....   | D41 |
| 5.3      | Polymerwerkstoffe: Herstellung .....   | D42 |
| 5.4      | Polymerwerkstoffe: Aufbau und Eigenschaften .....  | D42 |
| 5.5      | Thermoplaste .....   | D43 |
| 5.6      | Duroplaste .....   | D45 |
| 5.7      | Elastomere .....   | D45 |
| <b>6</b> | <b>Verbundwerkstoffe</b> .....   | D47 |
| 6.1      | Teilchenverbundwerkstoffe .....  | D47 |
| 6.2      | Faserverbundwerkstoffe .....   | D47 |
| 6.3      | Stahlbeton und Spannbeton .....  | D48 |
| 6.4      | Schichtverbundwerkstoffe .....   | D49 |
| 6.5      | Oberflächenbeschichtungen und Oberflächentechnologien .....  | D49 |
| <b>7</b> | <b>Ressourcennutzung und Umweltauswirkungen</b> .....  | D51 |
| 7.1      | Materialflüsse in der Wirtschaft .....   | D51 |
| 7.2      | Recycling .....  | D53 |
| <b>8</b> | <b>Beanspruchung von Werkstoffen</b> .....   | D54 |
| 8.1      | Volumenbeanspruchungen .....   | D54 |
| 8.2      | Oberflächenbeanspruchungen .....   | D54 |
| 8.3      | Zeitlicher Verlauf von Beanspruchungen .....   | D55 |
| 8.4      | Umweltbeanspruchung und Umweltsimulation .....   | D55 |
| <b>9</b> | <b>Werkstoffeigenschaften und Werkstoffkennwerte</b> .....   | D58 |
| 9.1      | Dichte .....   | D58 |
| 9.2      | Mechanische Eigenschaften .....  | D58 |
|          | 9.2.1 Elastizität – 9.2.2 Viskoelastizität – 9.2.3 Festigkeit und Verformung –<br>9.2.4 Kriechen und Zeitstandverhalten – 9.2.5 Ermüdung und Wechselfestigkeit –<br>9.2.6 Bruchmechanik – 9.2.7 Betriebsfestigkeit – 9.2.8 Härte |     |

|                  |  |             |
|------------------|--|-------------|
| 9.3              | Thermische Eigenschaften . . . . .   | D70         |
|                  | 9.3.1 Wärmekapazität und Wärmeleitfähigkeit – 9.3.2 Thermische Ausdehnung –<br>9.3.3 Schmelztemperatur   |             |
| 9.4              | Sicherheitstechnische Kenngrößen . . . . .   | D74         |
|                  | 9.4.1 Sicherheitsbeiwerte von Konstruktionswerkstoffen   |             |
| 9.5              | Elektrische Eigenschaften . . . . .  | D75         |
| 9.6              | Magnetische Eigenschaften . . . . .  | D76         |
| 9.7              | Optische Eigenschaften . . . . .   | D77         |
| <b>10</b>        | <b>Materialverhalten: Schadenskunde</b> . . . . .  | <b>D78</b>  |
| 10.1             | Übersicht . . . . .  | D78         |
| 10.2             | Alterung . . . . .   | D78         |
| 10.3             | Bruch . . . . .  | D80         |
|                  | 10.3.1 Gewaltbruch – 10.3.2 Schwingbruch – 10.3.3 Warmbruch  |             |
| 10.4             | Korrosion . . . . .  | D82         |
|                  | 10.4.1 Korrosionsarten – 10.4.2 Korrosionsmechanismen – 10.4.3 Korrosionsschutz  |             |
| 10.5             | Biologische Materialschädigung . . . . .   | D83         |
|                  | 10.5.1 Materialschädigungsarten – 10.5.2 Materialschädlinge und Schadformen –<br>10.5.3 Materialschutz gegen Organismen  |             |
| 10.6             | Tribologie . . . . .   | D85         |
|                  | 10.6.1 Reibung – 10.6.2 Verschleiß – 10.6.3 Verschleißmechanismen –<br>10.6.4 Verschleißschutz   |             |
| 10.7             | Methodik der Schadensanalyse . . . . .   | D89         |
| <b>11</b>        | <b>Materialprüfung</b> . . . . .   | <b>D89</b>  |
| 11.1             | Planung von Messungen und Prüfungen . . . . .  | D90         |
| 11.2             | Chemische Analyse von Werkstoffen . . . . .  | D90         |
|                  | 11.2.1 Analyse anorganischer Stoffe – 11.2.2 Analyse organischer Stoffe –<br>11.2.3 Oberflächenanalytik  |             |
| 11.3             | Mikrostruktur-Untersuchungsverfahren . . . . .   | D92         |
|                  | 11.3.1 Gefügeuntersuchungen – 11.3.2 Oberflächenrauheitsmesstechnik  |             |
| 11.4             | Experimentelle Beanspruchungsanalyse . . . . .   | D94         |
| 11.5             | Werkstoffmechanische Prüfverfahren . . . . .   | D94         |
|                  | 11.5.1 Festigkeits- und Verformungsprüfungen – 11.5.2 Bruchmechanische Prüfungen –<br>11.5.3 Härteprüfungen – 11.5.4 Technologische Prüfungen                            |             |
| 11.6             | Zerstörungsfreie Prüfverfahren . . . . .   | D98         |
|                  | 11.6.1 Akustische Verfahren: Ultraschallprüfung, Schallemissionsanalyse –<br>11.6.2 Elektrische und magnetische Verfahren – 11.6.3 Radiografie und<br>Computertomografie |             |
| 11.7             | Komplexe Prüfverfahren . . . . .   | D100        |
|                  | 11.7.1 Bewitterungsprüfungen – 11.7.2 Korrosionsprüfungen – 11.7.3 Tribologische<br>Prüfungen – 11.7.4 Biologische Prüfungen   |             |
| 11.8             | Bescheinigungen über Materialprüfungen . . . . .   | D103        |
| 11.9             | Anforderungen an die Kompetenz von Prüflaboratorien . . . . .  | D103        |
| <b>12</b>        | <b>Materialauswahl für technische Anwendungen</b> . . . . .  | <b>D104</b> |
| 12.1             | Strukturmaterialien . . . . .  | D104        |
| 12.2             | Funktionsmaterialien . . . . .   | D104        |
| 12.3             | Festigkeitsbezogene Auswahlkriterien . . . . .   | D105        |
| 12.4             | Systemmethodik zur Materialauswahl . . . . .   | D105        |
| <b>13</b>        | <b>Referenzmaterialien und Referenzverfahren</b> . . . . .   | <b>D107</b> |
| <b>Literatur</b> | . . . . .  | <b>D108</b> |



**Technische Mechanik**

J. Wittenburg, H.A. Richard, J. Zierep, K. Bühler

*Mechanik fester Körper*

J. Wittenburg, H.A. Richard

|          |  |     |
|----------|--|-----|
| <b>1</b> | <b>Kinematik</b> . . . . .   | E1  |
| 1.1      | Kinematik des Punktes . . . . .  | E1  |
|          | 1.1.1 Lage, Lagekoordinaten – 1.1.2 Geschwindigkeit, Beschleunigung  |     |
| 1.2      | Kinematik des starren Körpers . . . . .  | E2  |
|          | 1.2.1 Winkellage, Koordinatentransformation – 1.2.2 Winkelgeschwindigkeit –<br>1.2.3 Winkelbeschleunigung  |     |
| 1.3      | Kinematik des Punktes mit Relativbewegung . . . . .  | E9  |
| 1.4      | Freiheitsgrade der Bewegung, Kinematische Bindungen . . . . .  | E10 |
| 1.5      | Virtuelle Verschiebungen . . . . .   | E10 |
| 1.6      | Kinematik offener Gliederketten . . . . .  | E11 |
| <b>2</b> | <b>Statik starrer Körper</b> . . . . .   | E13 |
| 2.1      | Grundlagen . . . . .   | E13 |
|          | 2.1.1 Kraft, Moment – 2.1.2 Äquivalenz von Kräftesystemen – 2.1.3 Zerlegung<br>von Kräften – 2.1.4 Resultierende von Kräften mit gemeinsamem Angriffspunkt –<br>2.1.5 Reduktion von Kräftesystemen – 2.1.6 Ebene Kräftesysteme – 2.1.7 Schwerpunkt,<br>Massenmittelpunkt – 2.1.8 Das 3. Newton'sche Axiom „ <i>actio = reactio</i> “ – 2.1.9 Innere<br>Kräfte und äußere Kräfte – 2.1.10 Eingeprägte Kräfte und Zwangskräfte –<br>2.1.11 Gleichgewichtsbedingungen für einen starren Körper – 2.1.12 Schnittprinzip –<br>2.1.13 Arbeit, Leistung – 2.1.14 Potenzialkraft, Potenzielle Energie – 2.1.15 Virtuelle<br>Arbeit, Generalisierte Kräfte – 2.1.16 Prinzip der virtuellen Arbeit |     |
| 2.2      | Lager, Gelenke . . . . .   | E23 |
|          | 2.2.1 Lagerreaktionen, Lagerwertigkeit – 2.2.2 Statisch bestimmte Lagerung –<br>2.2.3 Berechnung von Lagerreaktionen   |     |
| 2.3      | Fachwerke . . . . .  | E26 |
|          | 2.3.1 Statische Bestimmtheit – 2.3.2 Nullstäbe – 2.3.3 Knotenschnittverfahren –<br>2.3.4 Ritter'sches Schnittverfahren für ebene Fachwerke – 2.3.5 Prinzip der virtuellen<br>Arbeit – 2.3.6 Methode der Stabvertauschung   |     |
| 2.4      | Ebene Seil- und Kettenlinien . . . . .   | E27 |
|          | 2.4.1 Gewichtloses Seil mit Einzelgewichten – 2.4.2 Schwere Gliederkette –<br>2.4.3 Schweres Seil – 2.4.4 Schweres Seil mit Einzelgewicht – 2.4.5 Rotierendes Seil   |     |
| 2.5      | Coulomb'sche Reibungskräfte . . . . .  | E30 |
|          | 2.5.1 Ruhereibungskräfte – 2.5.2 Gleitreibungskräfte   |     |
| 2.6      | Stabilität von Gleichgewichtslagen . . . . .   | E33 |
| <b>3</b> | <b>Kinetik starrer Körper</b> . . . . .  | E33 |
| 3.1      | Grundlagen . . . . .   | E33 |
|          | 3.1.1 Inertialsystem und absolute Beschleunigung – 3.1.2 Impuls – 3.1.3 Newton'sche<br>Axiome – 3.1.4 Impulssatz, Impulserhaltungssatz – 3.1.5 Kinetik der Punktmasse im<br>beschleunigten Bezugssystem – 3.1.6 Trägheitsmomente, Trägheitstensor – 3.1.7 Drall –<br>3.1.8 Drallsatz (Axiom von Euler) – 3.1.9 Drallerhaltungssatz – 3.1.10 Kinetische<br>Energie – 3.1.11 Energieerhaltungssatz – 3.1.12 Arbeitssatz  |     |
| 3.2      | Kreiselmechanik . . . . .  | E40 |
|          | 3.2.1 Reguläre Präzession – 3.2.2 Nutation – 3.2.3 Linearisierte Kreiselgleichungen –<br>3.2.4 Präzessionsgleichungen  |     |
| 3.3      | Bewegungsgleichungen für holonome Mehrkörpersysteme . . . . .  | E43 |
|          | 3.3.1 Synthetische Methode – 3.3.2 Lagrange'sche Gleichung – 3.3.3 D'Alembert'sches<br>Prinzip   |     |



|          |  |            |
|----------|--|------------|
| 3.4      | Stöße  | E45        |
|          | 3.4.1 Vereinfachende Annahmen über Stoßvorgänge – 3.4.2 Stöße an Mehrkörpersystemen – 3.4.3 Der schiefe exzentrische Stoß – 3.4.4 Gerader zentraler Stoß – 3.4.5 Gerader Stoß gegen ein Pendel   |            |
| 3.5      | Körper mit veränderlicher Masse  | E48        |
| 3.6      | Gravitation. Satellitenbahnen  | E49        |
| 3.7      | Stabilität   | E51        |
| <b>4</b> | <b>Schwingungen</b>  | <b>E51</b> |
| 4.1      | Lineare Eigenschwingungen  | E52        |
|          | 4.1.1 Systeme mit einem Freiheitsgrad – 4.1.2 Eigenschwingungen bei endlich vielen Freiheitsgraden   |            |
| 4.2      | Erzwungene lineare Schwingungen  | E54        |
|          | 4.2.1 Systeme mit einem Freiheitsgrad – 4.2.2 Erzwungene Schwingungen bei endlich vielen Freiheitsgraden   |            |
| 4.3      | Lineare parametererregte Schwingungen  | E59        |
| 4.4      | Freie Schwingungen eindimensionaler Kontinua   | E60        |
|          | 4.4.1 Saite. Zugstab. Torsionsstab – 4.4.2 Biegeschwingungen von Stäben  |            |
| 4.5      | Näherungsverfahren zur Bestimmung von Eigenkreisfrequenzen   | E63        |
|          | 4.5.1 Rayleigh-Quotient – 4.5.2 Ritz-Verfahren   |            |
| 4.6      | Autonome nichtlineare Schwingungen mit einem Freiheitsgrad   | E66        |
|          | 4.6.1 Methode der kleinen Schwingungen – 4.6.2 Harmonische Balance – 4.6.3 Störungsrechnung nach Lindstedt – 4.6.4 Methode der multiplen Skalen  |            |
| 4.7      | Erzwungene nichtlineare Schwingungen   | E69        |
|          | 4.7.1 Harmonische Balance – 4.7.2 Methode der multiplen Skalen – 4.7.3 Subharmonische, superharmonische und Kombinationsresonanzen   |            |
| <b>5</b> | <b>Festigkeitslehre. Elastizitätstheorie</b>   | <b>E71</b> |
| 5.1      | Kinematik des deformierbaren Körpers   | E71        |
|          | 5.1.1 Verschiebungen. Verzerrungen. Verzerrungstensor – 5.1.2 Kompatibilitätsbedingungen – 5.1.3 Koordinatentransformation – 5.1.4 Hauptdehnungen. Dehnungshauptachsen – 5.1.5 Mohr'scher Dehnungskreis  |            |
| 5.2      | Spannungen   | E73        |
|          | 5.2.1 Normal- und Schubspannungen. Spannungstensor – 5.2.2 Koordinatentransformation – 5.2.3 Hauptnormalspannungen. Spannungshauptachsen – 5.2.4 Hauptschubspannungen – 5.2.5 Kugeltensor. Spannungsdeviator – 5.2.6 Ebener Spannungszustand. Mohr'scher Spannungskreis – 5.2.7 Volumenkraft. Gleichgewichtsbedingungen        |            |
| 5.3      | Hooke'sches Gesetz   | E75        |
| 5.4      | Geometrische Größen für Stab- und Balkenquerschnitte   | E76        |
|          | 5.4.1 Flächenmomente 2. Grades – 5.4.2 Statische Flächenmomente – 5.4.3 Querschubzahlen – 5.4.4 Schubmittelpunkt oder Querkraftmittelpunkt – 5.4.5 Torsionsflächenmoment – 5.4.6 Wölbwiderstand  |            |
| 5.5      | Schnittgrößen in Stäben und Balken   | E84        |
|          | 5.5.1 Definition der Schnittgrößen für gerade Stäbe – 5.5.2 Berechnung von Schnittgrößen für gerade Stäbe  |            |
| 5.6      | Spannungen in Stäben und Balken  | E87        |
|          | 5.6.1 Zug und Druck – 5.6.2 Gerade Biegung – 5.6.3 Schiefe Biegung – 5.6.4 Druck und Biegung. Kern eines Querschnitts – 5.6.5 Biegung von Stäben aus Verbundwerkstoff – 5.6.6 Biegung vorgekrümmter Stäbe – 5.6.7 Reiner Schub – 5.6.8 Torsion ohne Wölbbehinderung (Saint-Venant-Torsion) – 5.6.9 Torsion mit Wölbbehinderung |            |
| 5.7      | Verformungen von Stäben und Balken   | E92        |
|          | 5.7.1 Zug und Druck – 5.7.2 Gerade Biegung – 5.7.3 Schiefe Biegung – 5.7.4 Stab auf elastischer Bettung (Winkler-Bettung) – 5.7.5 Biegung von Stäben aus Verbundwerkstoff – 5.7.6 Querkraftbiegung – 5.7.7 Torsion ohne Wölbbehinderung (Saint-Venant-Torsion) – 5.7.8 Torsion mit Wölbbehinderung                             |            |
| 5.8      | Energiemethoden der Elastostatik   | E100       |
|          | 5.8.1 Formänderungsenergie. Äußere Arbeit – 5.8.2 Prinzip der virtuellen Arbeit – 5.8.3 Arbeitsgleichung oder Verfahren mit einer Hilfskraft – 5.8.4 Sätze von Castigliano – 5.8.5 Steifigkeitsmatrix. Nachgiebigkeitsmatrix. Satz von Maxwell   |            |

und Betti – 5.8.6 Statisch unbestimmte Systeme. Kraftgrößenverfahren – 5.8.7 Satz von Menabrea – 5.8.8 Verfahren von Ritz für Durchbiegungen

5.9 Rotierende Stäbe und Ringe . . . . . E107

5.10 Flächentragwerke . . . . . E108  
 5.10.1 Scheiben – 5.10.2 Platten – 5.10.3 Schalen

5.11 Dreidimensionale Probleme . . . . . E113  
 5.11.1 Einzelkraft auf Halbraumoberfläche (Boussinesq-Problem) – 5.11.2 Einzelkraft im Vollraum (Kelvin-Problem) – 5.11.3 Druckbehälter. Kesselformeln – 5.11.4 Kontaktprobleme. Hertz'sche Formeln – 5.11.5 Kerbspannungen

5.12 Stabilitätsprobleme . . . . . E116  
 5.12.1 Knicken von Stäben – 5.12.2 Biegedrillknicken – 5.12.3 Kippen – 5.12.4 Plattenbeulung – 5.12.5 Schalenbeulung

5.13 Finite Elemente . . . . . E121  
 5.13.1 Elementmatrizen. Formfunktionen – 5.13.2 Matrizen für das Gesamtsystem – 5.13.3 Aufgabenstellungen bei Finite-Elemente-Rechnungen

5.14 Übertragungsmatrizen . . . . . E126  
 5.14.1 Übertragungsmatrizen für Stabsysteme – 5.14.2 Übertragungsmatrizen für rotierende Scheiben – 5.14.3 Ergänzende Bemerkungen

5.15 Festigkeitshypothesen . . . . . E131

5.16 Kerbspannungen. Kerbwirkung . . . . . E132  
 5.16.1 Spannungsverteilungen an Kerben – 5.16.2 Elastizitätstheoretische Lösungen grundlegender Kerbprobleme – 5.16.3 Kerbfaktoren – 5.16.4 Kerbwirkung

**6 Plastizitätstheorie. Bruchmechanik . . . . . E137**

6.1 Grundlagen der Plastizitätstheorie . . . . . E137  
 6.1.1 Fließkriterien – 6.1.2 Fließregeln – 6.1.3 Gleitlinien

6.2 Elementare Theorie technischer Umformprozesse . . . . . E138  
 6.2.1 Schrankensatz für Umformleistung – 6.2.2 Streifen-, Scheiben- und Röhrenmodell

6.3 Traglast . . . . . E140  
 6.3.1 Fließgelenke. Fließschnittgrößen – 6.3.2 Traglastsätze – 6.3.3 Traglasten für Durchlaufträger – 6.3.4 Traglasten für Rahmen

6.4 Grundlagen der Bruchmechanik . . . . . E142  
 6.4.1 Spannungsverteilungen an Rissen. Spannungsintensitätsfaktoren – 6.4.2 Bruchmechanische Bewertung der Bruchgefahr – 6.4.3 Ermüdungsrisssausbreitung

6.5 Zusammenwirken von Festigkeitsberechnung und Bruchmechanik . . . E146

*Strömungsmechanik*

J. Zierep, K. Bühler

**7 Einführung in die Strömungsmechanik . . . . . E146**

7.1 Eigenschaften von Fluiden . . . . . E146

7.2 Newton'sche und nichtnewton'sche Medien . . . . . E148

7.3 Hydrostatik und Aerostatik . . . . . E148

7.4 Gliederung der Darstellung: Nach Viskositäts- und Kompressibilitätseinflüssen . . . . . E149

**8 Hydrodynamik: Inkompressible Strömungen mit und ohne Viskositätseinfluss . . . . . E149**

8.1 Eindimensionale reibungsfreie Strömungen . . . . . E149  
 8.1.1 Grundbegriffe – 8.1.2 Grundgleichungen der Stromfadentheorie – 8.1.3 Anwendungsbeispiele

8.2 Zweidimensionale reibungsfreie, inkompressible Strömungen . . . . . E154  
 8.2.1 Kontinuität – 8.2.2 Euler'sche Bewegungsgleichungen – 8.2.3 Stationäre ebene Potenzialströmungen – 8.2.4 Anwendungen elementarer und zusammengesetzter Potenzialströmungen – 8.2.5 Stationäre räumliche Potenzialströmungen

|           |   |      |
|-----------|---|------|
| 8.3       | Reibungsbehaftete inkompressible Strömungen . . . . .   | E160 |
|           | 8.3.1 Grundgleichungen für Masse, Impuls und Energie – 8.3.2 Kennzahlen –<br>8.3.3 Lösungseigenschaften der Navier-Stokes'schen Gleichungen – 8.3.4 Spezielle<br>Lösungen für laminare Strömungen – 8.3.5 Turbulente Strömungen –<br>8.3.6 Grenzschichttheorie – 8.3.7 Impulssatz – 8.3.8 Anwendungsbeispiele |      |
| 8.4       | Druckverlust und Strömungswiderstand . . . . .  | E170 |
|           | 8.4.1 Durchströmungsprobleme – 8.4.2 Umströmungsprobleme  |      |
| 8.5       | Strömungen in rotierenden Systemen . . . . .  | E182 |
| <b>9</b>  | <b>Gasdynamik</b> . . . . .   | E183 |
| 9.1       | Erhaltungssätze für Masse, Impuls und Energie . . . . .   | E183 |
| 9.2       | Allgemeine Stoßgleichungen . . . . .  | E184 |
|           | 9.2.1 Rankine-Hugoniot-Relation – 9.2.2 Rayleigh-Gerade –<br>9.2.3 Schallgeschwindigkeit – 9.2.4 Senkrechter Stoß – 9.2.5 Schiefer Stoß –<br>9.2.6 Busemann-Polare – 9.2.7 Herzkurve  |      |
| 9.3       | Kräfte auf umströmte Körper . . . . .   | E190 |
| 9.4       | Stromfadentheorie . . . . .   | E191 |
|           | 9.4.1 Lavaldüse   |      |
| 9.5       | Zweidimensionale Strömungen . . . . .   | E194 |
|           | 9.5.1 Kleine Störungen, $M_\infty \leq 1$ – 9.5.2 Transformation auf Charakteristiken –<br>9.5.3 Prandtl-Meyer-Expansion [16, 17] – 9.5.4 Düsenströmungen –<br>9.5.5 Profilmströmungen – 9.5.6 Transsonische Strömungen   |      |
| <b>10</b> | <b>Gleichzeitiger Viskositäts- und Kompressibilitätseinfluss</b> . . . . .  | E204 |
| 10.1      | Eindimensionale Rohrströmung mit Reibung . . . . .  | E204 |
| 10.2      | Kugelumströmung, Naumann-Diagramm für $c_w$ . . . . .   | E206 |
| 10.3      | Grundsätzliches über die laminare Plattengrenzschicht . . . . .   | E206 |
| 10.4      | $(M, Re)$ -Ähnlichkeit in der Gasdynamik . . . . .  | E208 |
| 10.5      | Auftriebs- und Widerstandsbeiwerte aktueller Tragflügel . . . . .   | E209 |
|           | <b>Formelzeichen der Mechanik</b> . . . . .   | E211 |
|           | <b>Formelzeichen der Strömungsmechanik</b> . . . . .  | E215 |
|           | <b>Literatur</b> . . . . .  | E216 |



## Technische Thermodynamik

J. Ahrendts, S. Kabelac

|          |   |     |
|----------|---|-----|
| <b>1</b> | <b>Grundlagen</b> . . . . .   | F1  |
| 1.1      | Energie und Energieformen . . . . .   | F1  |
|          | 1.1.1 Erster Hauptsatz der Thermodynamik – 1.1.2 Zweiter Hauptsatz<br>der Thermodynamik   |     |
| 1.2      | Fundamentalgleichungen . . . . .  | F4  |
|          | 1.2.1 Innere Energie – 1.2.2 Spezifische, molare und partielle molare Größen –<br>1.2.3 Legendre-Transformierte der inneren Energie |     |
| 1.3      | Gleichgewichte . . . . .  | F7  |
|          | 1.3.1 Extremalbedingungen – 1.3.2 Notwendige Gleichgewichtsbedingungen –<br>1.3.3 Stabilitätsbedingungen und Phasenzerrfall         |     |
| 1.4      | Messung der thermodynamischen Temperatur . . . . .  | F11 |
| 1.5      | Bilanzgleichungen der Thermodynamik . . . . .   | F13 |
|          | 1.5.1 Stoffmengen- und Massenbilanzen – 1.5.2 Energiebilanzen –<br>1.5.3 Entropiebilanzen, Bernoulli'sche Gleichung                 |     |
| 1.6      | Energieumwandlung . . . . .   | F18 |
|          | 1.6.1 Beispiele stationärer Energiewandler, Kreisprozesse – 1.6.2 Wertigkeit<br>von Energieformen                                   |     |
| <b>2</b> | <b>Stoffmodelle</b> . . . . .   | F22 |
| 2.1      | Reine Stoffe . . . . .  | F23 |
|          | 2.1.1 Ideale Gase – 2.1.2 Inkompressible Fluide – 2.1.3 Reale Fluide –<br>2.1.4 Fundamentalgleichungen                              |     |

|          |  |            |
|----------|--|------------|
| 2.2      | Gemische . . . . .   | F33        |
| 2.2.1    | Ideale Gasgemische – 2.2.2 Gas-Dampf-Gemische. Feuchte Luft –  |            |
| 2.2.3    | Reale Gemische   |            |
| <b>3</b> | <b>Phasen- und Reaktionsgleichgewichte . . . . .</b>   | <b>F46</b> |
| 3.1      | Phasengleichgewichte reiner Stoffe . . . . .   | F46        |
| 3.1.1    | $p, v, T$ -Fläche – 3.1.2 Koexistenzkurven – 3.1.3 Sättigungsgrößen des Nassdampfgebietes – 3.1.4 Eigenschaften von nassem Dampf – 3.1.5 $T, s$ - und $h, s$ -Diagramm |            |
| 3.2      | Phasengleichgewichte fluider Mehrstoffsysteme . . . . .  | F51        |
| 3.2.1    | Phasendiagramme – 3.2.2 Differenzialgleichungen der Phasengrenzkurven –  |            |
| 3.2.3    | Punktweise Berechnung von Phasengleichgewichten  |            |
| 3.3      | Gleichgewichte reagierender Gemische . . . . .   | F59        |
| 3.3.1    | Thermochemische Daten – 3.3.2 Gleichgewichtsalgorithmus –  |            |
| 3.3.3    | Empfindlichkeit gegenüber Parameteränderungen  |            |
| <b>4</b> | <b>Energie- und Stofftransport in Temperatur- und Konzentrationsfeldern . . . . .</b>  | <b>F65</b> |
| 4.1      | Konstitutive Gleichungen . . . . .   | F65        |
| 4.1.1    | Fourier'sches Gesetz – 4.1.2 Maxwell-Stefan'sche Gleichungen und Fick'sches Gesetz   |            |
| 4.2      | Bilanzgleichungen der Thermofluiddynamik . . . . .   | F74        |
| 4.2.1    | Stoffbilanzen – 4.2.2 Impuls- und mechanische Energiebilanz –  |            |
| 4.2.3    | Energiebilanz – 4.2.4 Entropiebilanz und konstitutive Gleichungen  |            |
| 4.3      | Feldgleichungen der intensiven Zustandsgrößen . . . . .  | F78        |
| 4.3.1    | Kennzahlen bei erzwungener Konvektion –  |            |
| 4.3.2    | Kennzahlen bei natürlicher Konvektion  |            |
| 4.4      | Turbulente Strömungen . . . . .  | F81        |
| 4.4.1    | Reynolds'sche Gleichungen – 4.4.2 Wandgesetze – 4.4.3 Turbulenzmodelle   |            |
| 4.5      | Grenzschichten . . . . .   | F85        |
| 4.5.1    | Grenzschichtgleichungen bei erzwungener Konvektion –   |            |
| 4.5.2    | Grenzschichtgleichungen bei natürlicher Konvektion   |            |
| 4.6      | Wärme- und Stoffübergangskoeffizienten . . . . .   | F89        |
|          | <b>Literatur . . . . .</b>   | <b>F92</b> |



**Elektrotechnik**

H. Clausert, K. Hoffmann, W. Mathis, G. Wiesemann, H.-P. Beck

*Netzwerke*

G. Wiesemann

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>Elektrische Stromkreise . . . . .</b>   | <b>G1</b> |
| 1.1      | Elektrische Ladung und elektrischer Strom . . . . .  | G1        |
| 1.1.1    | Elementarladung – 1.1.2 Elektrischer Strom – 1.1.3 1. Kirchhoff'scher Satz (Satz von der Erhaltung der Ladungen; Strom-Knotengleichung)          |           |
| 1.2      | Energie und elektrische Spannung; Leistung . . . . .   | G2        |
| 1.2.1    | Definition der Spannung – 1.2.2 Energieaufnahme eines elektrischen Zweipols –  |           |
| 1.2.3    | Elektrisches Potenzial – 1.2.4 Spannungsquellen – 1.2.5 2. Kirchhoff'scher Satz (Satz von der Erhaltung der Energie; Spannungs-Maschengleichung) |           |
| 1.3      | Elektrischer Widerstand . . . . .  | G4        |
| 1.3.1    | Ohm'sches Gesetz – 1.3.2 Spezifischer Widerstand und Leitfähigkeit –   |           |
| 1.3.3    | Temperaturabhängigkeit des Widerstandes  |           |
| <b>2</b> | <b>Wechselstrom . . . . .</b>  | <b>G7</b> |
| 2.1      | Beschreibung von Wechselströmen und -spannungen . . . . .  | G7        |
| 2.2      | Mittelwerte periodischer Funktionen . . . . .  | G8        |

|          |   |     |
|----------|---|-----|
| 2.3      | Wechselstrom in Widerstand, Spule und Kondensator . . . . .   | G8  |
| 2.4      | Zeigerdiagramm . . . . .  | G9  |
| 2.5      | Impedanz und Admittanz . . . . .  | G10 |
| 2.6      | Kirchhoff'sche Sätze für die komplexen Effektivwerte . . . . .  | G10 |
| <b>3</b> | <b>Lineare Netze</b> . . . . .  | G10 |
| 3.1      | Widerstandsnetze . . . . .  | G10 |
|          | 3.1.1 Gruppenschaltungen – 3.1.2 Brückenschaltungen – 3.1.3 Stern-Dreieck-<br>Umwandlung  |     |
| 3.2      | Strom- und Spannungsberechnung in linearen Netzen . . . . .   | G13 |
|          | 3.2.1 Der Überlagerungssatz (Superpositionsprinzip) – 3.2.2 Ersatz-Zweipolquellen –<br>3.2.3 Maschen- und Knotenanalyse   |     |
| 3.3      | Vierpole . . . . .  | G19 |
|          | 3.3.1 Vierpolgleichungen in der Leitwertform – 3.3.2 Vierpolgleichungen<br>in der Widerstandsform – 3.3.3 Vierpolgleichungen in der Kettenform  |     |
| <b>4</b> | <b>Schwingkreise</b> . . . . .  | G20 |
| 4.1      | Phasen- und Betragsresonanz . . . . .   | G20 |
| 4.2      | Einfache Schwingkreise . . . . .  | G20 |
|          | 4.2.1 Reihenschwingkreis – 4.2.2 Parallelschwingkreis – 4.2.3 Spannungsüberhöhung<br>am Reihenschwingkreis – 4.2.4 Bandbreite   |     |
| 4.3      | Parallelschwingkreis mit Wicklungsverlusten . . . . .   | G22 |
| 4.4      | Reaktanzzweipole . . . . .  | G22 |
|          | 4.4.1 Verlustloser Reihen- und Parallelschwingkreis – 4.4.2 Kombinationen verlustloser<br>Schwingkreise   |     |
| <b>5</b> | <b>Leistung in linearen Schaltungen</b> . . . . .   | G24 |
| 5.1      | Leistung in Gleichstromkreisen . . . . .  | G24 |
|          | 5.1.1 Wirkungsgrad – 5.1.2 Leistungsanpassung – 5.1.3 Belastbarkeit von Leitungen   |     |
| 5.2      | Leistung in Wechselstromkreisen . . . . .   | G25 |
|          | 5.2.1 Wirk-, Blind- und Scheinleistung – 5.2.2 Wirkleistungsanpassung   |     |
| <b>6</b> | <b>Der Transformator</b> . . . . .  | G27 |
| 6.1      | Schaltzeichen . . . . .   | G27 |
| 6.2      | Der eisenfreie Transformator . . . . .  | G27 |
|          | 6.2.1 Transformator-Gleichungen – 6.2.2 Verlustloser Transformator – 6.2.3 Verlust-<br>und streuungsfreier Transformator – 6.2.4 Idealer Transformator – 6.2.5 Streufaktor<br>und Kopplungsfaktor – 6.2.6 Vierpolersatzschaltungen – 6.2.7 Zweipolersatzschaltung |     |
| 6.3      | Transformator mit Eisenkern . . . . .   | G29 |
| <b>7</b> | <b>Drehstrom</b> . . . . .  | G29 |
| 7.1      | Spannungen symmetrischer Drehstromgeneratoren . . . . .   | G29 |
| 7.2      | Die Spannung zwischen Generator- und Verbrauchersternpunkt . . . . .  | G31 |
| 7.3      | Symmetrische Drehstromsysteme<br>(symmetrische Belastung symmetrischer Drehstromgeneratoren) . . . . .  | G31 |
| 7.4      | Asymmetrische Belastung eines symmetrischen Generators . . . . .  | G32 |
|          | 7.4.1 Verbraucher-Sternschaltung – 7.4.2 Verbraucher-Dreieckschaltung   |     |
| 7.5      | Wirkleistungsmessung im Drehstromsystem<br>(Zwei-Leistungsmesser-Methode, Aronschaltung) . . . . .  | G33 |
| <b>8</b> | <b>Nichtlineare Schaltungen</b> . . . . .   | G33 |
| 8.1      | Linearität . . . . .  | G33 |
| 8.2      | Nichtlineare Kennlinien . . . . .   | G34 |
|          | 8.2.1 Beispiele nichtlinearer Strom-Spannungs-Kennlinien von Zweipolen –<br>8.2.2 Verstärkungskennlinie des Operationsverstärkers   |     |
| 8.3      | Graphische Lösung durch Schnitt zweier Kennlinien . . . . .   | G35 |
|          | 8.3.1 Arbeitsgerade und Verbraucher kennlinie – 8.3.2 Stabile und instabile<br>Arbeitspunkte einer Schaltung mit nichtlinearem Zweipol – 8.3.3 Rückkopplung<br>von Operationsverstärkern  |     |

|       |   |     |
|-------|---|-----|
| 8.4   | Graphische Zusammenfassung von Strom-Spannungs-Kennlinien . . . . | G38 |
| 8.4.1 | Reihenschaltung – 8.4.2 Parallelschaltung                         |     |
| 8.5   | Lösung durch abschnittweises Linearisieren . . . . .              | G39 |

### *Felder*

#### H. Clausert

|           |   |     |
|-----------|---|-----|
| <b>9</b>  | <b>Leitungen</b> . . . . .  | G40 |
| 9.1       | Die Differenzialgleichungen der Leitung und ihre Lösungen . . . . .   | G40 |
| 9.2       | Die charakteristischen Größen der Leitung . . . . .   | G41 |
| 9.3       | Die Leitungsgleichungen . . . . .   | G41 |
| 9.4       | Der Eingangswiderstand . . . . .  | G42 |
| 9.5       | Der Reflexionsfaktor . . . . .  | G42 |
| <b>10</b> | <b>Elektrostatische Felder</b> . . . . .  | G42 |
| 10.1      | Skalare und vektorielle Feldgrößen . . . . .  | G42 |
| 10.2      | Die elektrische Feldstärke . . . . .  | G42 |
| 10.3      | Die elektrische Flussdichte . . . . .   | G43 |
| 10.4      | Die Potenzialfunktion spezieller Ladungsverteilungen . . . . .  | G45 |
| 10.5      | Influenz . . . . .  | G45 |
| 10.6      | Die Kapazität . . . . .   | G45 |
| 10.7      | Die Kapazität spezieller Anordnungen . . . . .  | G46 |
| 10.8      | Energie und Kräfte . . . . .  | G47 |
| 10.9      | Bedingungen an Grenzflächen . . . . .   | G48 |
| <b>11</b> | <b>Stationäre elektrische Strömungsfelder</b> . . . . .   | G49 |
| 11.1      | Die Grundgesetze . . . . .  | G49 |
| 11.2      | Methoden zur Berechnung von Widerständen . . . . .  | G49 |
| 11.3      | Bedingungen an Grenzflächen . . . . .   | G50 |
| <b>12</b> | <b>Stationäre Magnetfelder</b> . . . . .  | G50 |
| 12.1      | Die magnetische Flussdichte . . . . .   | G50 |
| 12.2      | Die magnetische Feldstärke . . . . .  | G51 |
| 12.3      | Der magnetische Fluss . . . . .   | G53 |
| 12.4      | Bedingungen an Grenzflächen . . . . .   | G53 |
| 12.5      | Magnetische Kreise . . . . .  | G53 |
| <b>13</b> | <b>Zeitlich veränderliche Magnetfelder</b> . . . . .  | G55 |
| 13.1      | Das Induktionsgesetz . . . . .  | G55 |
| 13.2      | Die magnetische Energie . . . . .   | G56 |
| 13.3      | Induktivitäten . . . . .  | G57 |
|           | 13.3.1 Die Selbstinduktivität – 13.3.2 Die Gegeninduktivität – 13.3.3 Berechnung<br>von Selbst- und Gegeninduktivitäten – 13.3.4 Die gespeicherte Energie |     |
| 13.4      | Kräfte im Magnetfeld . . . . .  | G59 |
| <b>14</b> | <b>Elektromagnetische Felder</b> . . . . .  | G60 |
| 14.1      | Die Maxwell'schen Gleichungen in integraler und differenzieller Form  | G60 |
| 14.2      | Die Einteilung der elektromagnetischen Felder . . . . .   | G60 |
| 14.3      | Die Maxwell'schen Gleichungen bei harmonischer Zeitabhängigkeit . .   | G61 |
| <b>15</b> | <b>Elektromagnetische Wellen</b> . . . . .  | G61 |
| 15.1      | Die Wellengleichung . . . . .   | G61 |
| 15.2      | Die Anregung elektromagnetischer Wellen . . . . .   | G63 |
| 15.3      | Die abgestrahlte Leistung . . . . .   | G64 |
| 15.4      | Die Phase und aus dieser abgeleitete Begriffe . . . . .   | G64 |

*Energietechnik*

H.-P. Beck

|  |     |
|--|-----|
| <b>16 Grundlagen der Energiewandlung</b> . . . . .   | G67 |
| 16.1 Grundbegriffe . . . . .   | G67 |
| 16.1.1 Energie, Arbeit, Leistung, Wirkungsgrad – 16.1.2 Energietechnische Betrachtungsweisen – 16.1.3 Definitionen   |     |
| 16.2 Elektrodynamische Energiewandlung . . . . .   | G68 |
| 16.2.1 Energiedichte in magnetischen und elektrischen Feldern –  |     |
| 16.2.2 Energiewandlung in elektrischen Maschinen – 16.2.3 Kommutatormaschinen –  |     |
| 16.2.4 Magnetisches Drehfeld – 16.2.5 Synchronmaschine – 16.2.6 Asynchronmaschinen   |     |
| 16.3 Elektromagnete . . . . .  | G75 |
| 16.4 Thermische Wirkungen des elektrischen Stromes . . . . .   | G75 |
| 16.4.1 Widerstandserwärmung – 16.4.2 Bogenentladung  |     |
| 16.5 Chemische Wirkungen des elektrischen Stromes . . . . .  | G76 |
| 16.5.1 Primärelemente – 16.5.2 Sekundärzellen  |     |
| 16.6 Direkte Energiewandlung, photovoltaischer Effekt, Solarzellen . . . . .   | G77 |
| <b>17 Übertragung elektrischer Energie</b> . . . . .   | G77 |
| 17.1 Leistungsdichte, Spannungsabfall . . . . .  | G77 |
| 17.2 Stabilitätsprobleme . . . . .   | G79 |
| <b>18 Umformung elektrischer Energie</b> . . . . .   | G79 |
| 18.1 Schalten und Kommutieren . . . . .  | G79 |
| 18.2 Gleichrichter, Wechselrichter, Umrichter . . . . .  | G81 |
| 18.2.1 Leistungselektronik – 18.2.2 Grundfunktionen der Energieumformung –   |     |
| 18.2.3 Umrichtertypen – 18.2.4 Halbleiterschalter und -steller (nichtkommutierende Stromrichter) – 18.2.5 Netzgeführte Stromrichter mit natürlicher Kommutierung – |     |
| 18.2.6 Selbstgeführte Stromrichter mit Zwangskommutierung mittels abschaltbarer Ventile  |     |

*Nachrichtentechnik*

K. Hoffmann, W. Mathis

|   |     |
|---|-----|
| <b>19 Grundbegriffe</b> . . . . .   | G90 |
| 19.1 Signal, Information, Nachricht . . . . .   | G90 |
| 19.1.1 Beschreibung zeitabhängiger Signale – 19.1.2 Deterministische und stochastische Signale – 19.1.3 Symbolische Darstellungsweise, Bewertung – 19.1.4 Unverschlüsselte und codierte Darstellung |     |
| 19.2 Aufbereitung, Übertragung, Verarbeitung . . . . .  | G91 |
| 19.2.1 Grundprinzip der Signalübertragung – 19.2.2 Eigenschaften von Quellen und Senken – 19.2.3 Grundschemata der Kommunikation – 19.2.4 Betriebsweise der Vielfachnutzung                         |     |
| 19.3 Schnittstelle, Funktionsblock, System . . . . .  | G92 |
| 19.3.1 Konstruktive und funktionelle Abgrenzung – 19.3.2 Mathematische Beschreibungsformen – 19.3.3 Darstellung in Funktionsblockbildern –  |     |
| 19.3.4 Zusammenwirken und Betriebsverhalten   |     |
| <b>20 Signaleigenschaften</b> . . . . .   | G93 |
| 20.1 Signaldynamik, Verzerrungen . . . . .  | G93 |
| 20.1.1 Dämpfungsmaß und Pegelangaben – 20.1.2 Lineare und nichtlineare Verzerrungen   |     |
| 20.2 Auflösung, Störungen, Störabstand . . . . .  | G94 |
| 20.2.1 Empfindlichkeit und Aussteuerung – 20.2.2 Störungsarten und Auswirkungen –   |     |
| 20.2.3 Maßnahmen zur Störverminderung   |     |
| 20.3 Informationsfluss, Nachrichtengehalt . . . . .   | G95 |
| 20.3.1 Herleitung des Entscheidungsbaumes – 20.3.2 Darstellung mit Nachrichtenquader – 20.3.3 Grenzwerte und Mittelungszeitraum – 20.3.4 Kanalkapazität und Informationsverlust                     |     |

|           |  |      |
|-----------|--|------|
| 20.4      | Relevanz, Redundanz, Fehlerkorrektur . . . . .   | G96  |
|           | 20.4.1 Erkennungssicherheit bei Mustern – 20.4.2 Störeinflüsse und Redundanz –<br>20.4.3 Fehlererkennung und Fehlerkorrektur   |      |
| <b>21</b> | <b>Beschreibungsweisen</b> . . . . .   | G97  |
| 21.1      | Signalfilterung, Korrelation . . . . .   | G97  |
|           | 21.1.1 Reichweite des Filterungsbegriffes – 21.1.2 Lineare und nichtlineare<br>Verzerrungen – 21.1.3 Redundanzverteilung in Mustern – 21.1.4 Kreuz-<br>und Autokorrelation – 21.1.5 Änderung der Redundanzverteilung   |      |
| 21.2      | Analoge und digitale Signalbeschreibung . . . . .  | G98  |
|           | 21.2.1 Lineare Beschreibungsweise, Überlagerung – 21.2.2 Beschreibung nichtlinearer<br>Zusammenhänge – 21.2.3 Parallele und serielle Bearbeitung   |      |
| <b>22</b> | <b>Aufbereitungsverfahren</b> . . . . .  | G99  |
| 22.1      | Basisbandsignale, Signalwandler . . . . .  | G99  |
|           | 22.1.1 Dynamik der Signalquellen – 22.1.2 Direktwandler, Steuerungswandler   |      |
| 22.2      | Abtastung, Quantisierung, Codierung . . . . .  | G101 |
|           | 22.2.1 Zeitquantisierung, Abtasttheorem – 22.2.2 Amplitudenquantisierung –<br>22.2.3 Differenz- und Blockcodierung – 22.2.4 Quellen- und Kanalcodierung  |      |
| 22.3      | Sinusträger- und Pulsmodulation . . . . .  | G103 |
|           | 22.3.1 Modulationsprinzip und Darstellungsarten – 22.3.2 Zwei-, Ein-<br>und Restseitenbandmodulation – 22.3.3 Frequenz- und Phasenmodulation –<br>22.3.4 Zeitkontinuierliche Umtastmodulation – 22.3.5 Kontinuierliche Pulsmodulation –<br>22.3.6 Pulscode-, Delta- und Sigma-Delta Modulation |      |
| 22.4      | Raum-, Frequenz- und Zeitmultiplex . . . . .   | G108 |
|           | 22.4.1 Baum- und Matrixstruktur – 22.4.2 Durchschalt- und Speicherverfahren –<br>22.4.3 Zugänglichkeit und Blockierung – 22.4.4 Trägerfrequenzverfahren –<br>22.4.5 Geschlossene und offene Systeme – 22.4.6 Zeitschlitz-<br>und Amplitudenauswertung  |      |
| <b>23</b> | <b>Signalübertragung</b> . . . . .   | G111 |
| 23.1      | Kanaleigenschaften, Übertragungsrate . . . . .   | G111 |
|           | 23.1.1 Eigenschaften, Verzerrungen, Entzerrung – 23.1.2 Nutzungsgrad<br>und Kompressionssysteme  |      |
| 23.2      | Leitungsgebundene Übertragungswege . . . . .   | G112 |
|           | 23.2.1 Symmetrische und unsymmetrische Leitungen – 23.2.2 Hohlleiter-<br>und Glasfaserarten – 23.2.3 Kabelnetze  |      |
| 23.3      | Datennetze, integrierte Dienste . . . . .  | G114 |
|           | 23.3.1 Netzgestaltung, Vermittlungsprotokoll – 23.3.2 Fernschreiben,<br>Bildfernübertragung – 23.3.3 Verbundnetze mit Dienstintegration  |      |
| 23.4      | Richtfunk, Rundfunk, Sprechfunk . . . . .  | G115 |
|           | 23.4.1 Funkwege, Antennen, Wellenausbreitung – 23.4.2 Punkt-zu-Punkt-Verbindung,<br>Systemparameter – 23.4.3 Ton- und Fernsehgrundfunk – 23.4.4 Stationärer und mobiler<br>Sprechfunk  |      |
| <b>24</b> | <b>Signalverarbeitung</b> . . . . .  | G117 |
| 24.1      | Detektionsverfahren, Funkmessung . . . . .   | G117 |
|           | 24.1.1 Detektionsprinzipien, Auflösungsgrenze – 24.1.2 Aussteuerung<br>und Verzerrungen – 24.1.3 Amplituden- und Frequenzdemodulation –<br>24.1.4 Pulsdemodulation, Augendiagramm – 24.1.5 Funkmessprinzip und<br>Signalauswertung   |      |
| 24.2      | Signalrekonstruktion, Signalspeicherung . . . . .  | G120 |
|           | 24.2.1 Systemadaption und Umsetzalgorithmen – 24.2.2 Speicherdichte, Schreib-<br>und Leserate – 24.2.3 Flüchtige und remanente Speicherung – 24.2.4 Magnetische,<br>elektrische und optische Speicher  |      |
| 24.3      | Signalverarbeitung und Signalvermittlung . . . . .   | G122 |
|           | 24.3.1 Strukturen für die Verarbeitung analoger und digitaler Signale –<br>24.3.2 Signalauswertung und Parametersteuerung – 24.3.3 Rekursion, Adaption,<br>Stabilität, Verklebung – 24.3.4 Netzarten, Netzführung, Ausfallverhalten –<br>24.3.5 Belegungsdichte, Verlust und Wartezeitsysteme  |      |



*Elektronik*

K. Hoffmann, W. Mathis, G. Wiesemann

|           |   |      |
|-----------|---|------|
| <b>25</b> | <b>Analoge Grundschaltungen</b> . . . . .   | G125 |
| 25.1      | Passive Netzwerke (RLC-Schaltungen) . . . . .   | G125 |
|           | 25.1.1 Tief- und Hochpassschaltung – 25.1.2 Differenzier- und Integrierglieder –<br>25.1.3 Bandpässe, Bandsperren, Allpässe – 25.1.4 Resonanzfilter und Übertrager  |      |
| 25.2      | Nichtlineare Zweipole (Dioden) . . . . .  | G128 |
|           | 25.2.1 Diodenverhalten (Beschreibung) – 25.2.2 Gleichrichterschaltungen –<br>25.2.3 Mischer und Demodulatoren – 25.2.4 Besondere Diodenschaltungen  |      |
| 25.3      | Aktive Dreipole (Transistoren) . . . . .  | G132 |
|           | 25.3.1 Transistorverhalten – 25.3.2 Lineare Kleinsignalverstärker – 25.3.3 Lineare<br>Großsignalverstärker (A- und B-Betrieb) und Sinusoszillatoren – 25.3.4 Nichtlineare<br>Großsignalverstärker, Flip-Flop und Relaxationsoszillatoren  |      |
| 25.4      | Operationsverstärker . . . . .  | G143 |
|           | 25.4.1 Verstärkung – 25.4.2 Idealer und realer Operationsverstärker –<br>25.4.3 Komparatoren – 25.4.4 Anwendungen des Umkehrverstärkers –<br>25.4.5 Anwendungen des Elektrometerversärkers – 25.4.6 Mitkopplungsschaltungen<br>(Schmitt-Trigger)  |      |
| <b>26</b> | <b>Digitale Grundschaltungen</b> . . . . .  | G151 |
| 26.1      | Gatter . . . . .  | G151 |
|           | 26.1.1 Diodengatter – 26.1.2 Der Transistor als Inverter – 26.1.3 DTL-Gatter –<br>26.1.4 TTL-Gatter – 26.1.5 Schaltkreisfamilien (Übersicht) – 26.1.6 Beispiele digitaler<br>Schaltnetze  |      |
| 26.2      | Ein-Bit-Speicher . . . . .  | G157 |
|           | 26.2.1 Einfache Kipperschaltungen – 26.2.2 Getaktete SR-Flipflops – 26.2.3 Flipflops<br>mit Zwischenspeicherung (Master-Slave-Flipflops, Zählflipflops)   |      |
| 26.3      | Schaltwerke . . . . .   | G161 |
|           | 26.3.1 Auffang- und Schieberegister – 26.3.2 Zähler   |      |
| <b>27</b> | <b>Halbleiterbauelemente</b> . . . . .  | G163 |
| 27.1      | Grundprinzipien elektronischer Halbleiterbauelemente . . . . .  | G163 |
|           | 27.1.1 Ladungsträger in Silizium – 27.1.2 Das Bändermodell – 27.1.3 Stromleitung<br>in Halbleitern – 27.1.4 Ausgleichsvorgänge bei der Injektion von Ladungsträgern   |      |
| 27.2      | Halbleiterdioden . . . . .  | G167 |
|           | 27.2.1 Aufbau und Wirkungsweise des PN-Überganges –<br>27.2.2 Der PN-Übergang in Flusspolung – 27.2.3 Der PN-Übergang in Sperrpolung –<br>27.2.4 Durchbruchmechanismen – 27.2.5 Kennliniengleichung des PN-Überganges –<br>27.2.6 Zenerdioden – 27.2.7 Tunnelioden – 27.2.8 Kapazitätsdioden („Varaktoren“) –<br>27.2.9 Leistungsgleichrichterioden, PIN-Dioden – 27.2.10 Mikrowellendioden,<br>Rückwärtsdioden |      |
| 27.3      | Bipolare Transistoren . . . . .   | G172 |
|           | 27.3.1 Prinzip und Wirkungsweise – 27.3.2 Universaltransistoren.<br>Kleinleistungstransistoren – 27.3.3 Schalttransistoren  |      |
| 27.4      | Halbleiterleistungsbaulemente . . . . .   | G175 |
|           | 27.4.1 Der Thyristor – 27.4.2 Der abschaltbare Thyristor – 27.4.3 Zweirichtungs-<br>Thyristordiode (Diac) – 27.4.4 Bidirektionale Thyristordiode (Triac)  |      |
| 27.5      | Feldeffektbauelemente . . . . .   | G178 |
|           | 27.5.1 Sperrschicht-Feldeffekt-Transistoren (Junction-FET, PN-FET, MSFET<br>oder JFET) – 27.5.2 Feldeffekttransistoren mit isoliertem Gate (IG-FET, MISFET,<br>MOSFET oder MNSFET)  |      |
| 27.6      | Optoelektronische Halbleiterbauelemente . . . . .   | G182 |
|           | 27.6.1 Innerer Fotoeffekt – 27.6.2 Der Fotowiderstand – 27.6.3 Der PN-Übergang bei<br>Lichteinwirkung – 27.6.4 Der Fototransistor – 27.6.5 Die Lumineszenzdiode (LED)   |      |
|           | <b>Literatur</b> . . . . .  | G185 |

## Messtechnik

H.-R. Tränkle, G. Fischerauer

|          |  |     |
|----------|--|-----|
| <b>1</b> | <b>Grundlagen der Messtechnik</b> . . . . .  | H1  |
| 1.1      | Übersicht . . . . .  | H1  |
| 1.1.1    | Messsysteme und Messketten – 1.1.2 Anwendungsgebiete und Aufgabenstellungen der Messtechnik  |     |
| 1.2      | Übertragungseigenschaften von Messgliedern . . . . .   | H2  |
| 1.2.1    | Statische Kennlinien von Messgliedern – 1.2.2 Dynamische Übertragungseigenschaften von Messgliedern – 1.2.3 Testfunktionen und Übergangsfunktionen für Übertragungsglieder – 1.2.4 Das Frequenzverhalten des Übertragungsgliedes 1. Ordnung – 1.2.5 Das Frequenzverhalten des Übertragungsgliedes 2. Ordnung – 1.2.6 Sprungantwort eines Übertragungsgliedes 2. Ordnung – 1.2.7 Frequenzgang eines Übertragungsgliedes 2. Ordnung – 1.2.8 Kenngrößen für Messglieder höherer Ordnung |     |
| 1.3      | Messfehler . . . . .   | H9  |
| 1.3.1    | Zufällige und systematische Fehler – 1.3.2 Definition von Fehlern, Fehlerkurven und Fehleranteilen – 1.3.3 Linearitätsfehler und zulässige Fehlergrenzen – 1.3.4 Einflussgrößen und Einflusseffekt – 1.3.5 Diskrete Verteilungsfunktionen zufälliger Messwerte – 1.3.6 Die Normalverteilung – 1.3.7 Gauß'sche Fehlerwahrscheinlichkeit – 1.3.8 Wahrscheinlichkeitspapier – 1.3.9 Fehlerfortpflanzung zufälliger Fehler – 1.3.10 Fehlerfortpflanzung systematischer Fehler            |     |
| <b>2</b> | <b>Strukturen der Messtechnik</b> . . . . .  | H15 |
| 2.1      | Messsignalverarbeitung durch strukturelle Maßnahmen . . . . .  | H15 |
| 2.1.1    | Die Kettenstruktur – 2.1.2 Die Parallelstruktur (Differenzprinzip) – 2.1.3 Die Kreisstruktur   |     |
| 2.2      | Das Modulationsprinzip . . . . .   | H18 |
| 2.3      | Struktur eines digitalen Instrumentierungssystems . . . . .  | H19 |
| 2.3.1    | Erhöhung des nutzbaren Informationsgehalts – 2.3.2 Struktur von Mikroelektroniksystemen mit dezentraler Intelligenz  |     |
| <b>3</b> | <b>Messgrößenaufnehmer (Sensoren)</b> . . . . .  | H21 |
| 3.1      | Sensoren und deren Umfeld . . . . .  | H21 |
| 3.1.1    | Aufgabe der Sensoren – 3.1.2 Messeffekt und Einflusseffekt – 3.1.3 Anforderungen an Sensoren – 3.1.4 Signalform der Sensorsignale  |     |
| 3.2      | Sensoren für geometrische und kinematische Größen . . . . .  | H22 |
| 3.2.1    | Resistive Weg- und Winkelaufnehmer – 3.2.2 Induktive Weg- und Längenaufnehmer – 3.2.3 Kapazitive Aufnehmer für Weg und Füllstand – 3.2.4 Magnetische Aufnehmer – 3.2.5 Codierte Weg- und Winkelaufnehmer – 3.2.6 Inkrementale Aufnehmer – 3.2.7 Laser-Interferometer – 3.2.8 Drehzahlaufnehmer – 3.2.9 Beschleunigungsaufnehmer  |     |
| 3.3      | Sensoren für mechanische Beanspruchungen . . . . .   | H31 |
| 3.3.1    | Dehnungsmessung mit Dehnungsmessstreifen – 3.3.2 Kraftmessung mit Dehnungsmessstreifen – 3.3.3 Druckmessung mit Dehnungsmessstreifen – 3.3.4 Drehmomentmessung mit Dehnungsmessstreifen – 3.3.5 Messung von Kräften über die Auslenkung von Federkörpern – 3.3.6 Messung von Drücken über die Auslenkung von Federkörpern – 3.3.7 Kraftmessung über Schwingsaiten – 3.3.8 Waage mit elektrodynamischer Kraftkompensation – 3.3.9 Piezoelektrische Kraft- und Druckaufnehmer          |     |
| 3.4      | Sensoren für strömungstechnische Kenngrößen . . . . .  | H36 |
| 3.4.1    | Durchflussmessung nach dem Wirkdruckverfahren – 3.4.2 Schwebekörper-Durchflussmessung – 3.4.3 Durchflussmessung über magnetische Induktion – 3.4.4 Ultraschall-Durchflussmessung – 3.4.5 Turbinen-Durchflussmesser (mittelbare Volumenzähler mit Messflügeln) – 3.4.6 Verdrängungszähler (unmittelbare Volumenzähler)  |     |
| 3.5      | Sensoren zur Temperaturmessung . . . . .   | H39 |
| 3.5.1    | Platin-Widerstandsthermometer – 3.5.2 Andere Widerstandsthermometer – 3.5.3 Thermoelemente als Temperatureaufnehmer – 3.5.4 Strahlungsthermometer (Pyrometer)  |     |

|          |   |            |
|----------|---|------------|
| 3.6      | Mikrosensorik . . . . .   | H44        |
|          | 3.6.1 Herstellungstechnologien – 3.6.2 Mikrosensoren für mechanische Größen –<br>3.6.3 Mikrosensoren für Temperatur – 3.6.4 Mikrosensoren für (bio)chemische<br>Größen – 3.6.5 Mikrosensoren für magnetische Größen   |            |
| 3.7      | Sensorspezifische Messsignalverarbeitung . . . . .  | H47        |
|          | 3.7.1 Analoge Messsignalverarbeitung – 3.7.2 Inkrementale Messsignalverarbeitung –<br>3.7.3 Digitale Grundverknüpfungen und Grundfunktionen – 3.7.4 Physikalische<br>Modellfunktionen für einen Sensor – 3.7.5 Skalierung und Linearisierung von<br>Sensorkennlinien durch Interpolation – 3.7.6 Interpolation von Sensorkennlinien<br>mit kubischen Splines – 3.7.7 Ausgleichskriterien zur Approximation von<br>Sensorkennlinien – 3.7.8 Korrektur von Einflusseffekten auf Sensorkennlinien –<br>3.7.9 Dynamische Korrektur von Sensoren |            |
| <b>4</b> | <b>Messschaltungen und Messverstärker . . . . .</b>   | <b>H53</b> |
| 4.1      | Signalumformung mit verstärkerlosen Messschaltungen . . . . .   | H53        |
|          | 4.1.1 Strom-Spannungs-Umformung mit Messwiderstand – 4.1.2 Spannungsteiler<br>und Stromteiler – 4.1.3 Direktanzeigende Widerstandsmessung   |            |
| 4.2      | Messbrücken und Kompensatoren . . . . .   | H56        |
|          | 4.2.1 Qualitative Behandlung der Prinzipschaltungen – 4.2.2 Spannungs- und<br>Stromkompensation – 4.2.3 Messbrücken im Ausschlagverfahren (Teilkompensation) –<br>4.2.4 Wheatstone-Brücke im Abgleichverfahren – 4.2.5 Wechselstrombrücken  |            |
| 4.3      | Grundsaltungen von Messverstärkern . . . . .  | H60        |
|          | 4.3.1 Operationsverstärker – 4.3.2 Anwendung von Operationsverstärkern<br>als reine Nullverstärker – 4.3.3 Das Prinzip der Gegenkopplung am Beispiel<br>des reinen Spannungsverstärkers – 4.3.4 Die vier Grundsaltungen gegengekoppelter<br>Messverstärker  |            |
| 4.4      | Ausgewählte Messverstärker-Schaltungen . . . . .  | H63        |
|          | 4.4.1 Vom Stromverstärker mit Spannungsausgang zum Invertierer – 4.4.2 Aktive<br>Brückenschaltung – 4.4.3 Addier- und Subtrahierverstärker – 4.4.4 Der<br>Elektrometervverstärker (Instrumentation Amplifier) – 4.4.5 Präzisionsgleichrichtung –<br>4.4.6 Aktive Filter – 4.4.7 Ladungsverstärker – 4.4.8 Integrationsverstärker für<br>Spannungen  |            |
| <b>5</b> | <b>Analoge Messtechnik . . . . .</b>  | <b>H67</b> |
| 5.1      | Analoge Messwerke . . . . .   | H67        |
|          | 5.1.1 Prinzip des linearen Drehspulmesswerks – 5.1.2 Statische Eigenschaften<br>des linearen Drehspulmesswerks  |            |
| 5.2      | Funktionsbildung und Verknüpfung mit Messwerken . . . . .   | H69        |
|          | 5.2.1 Kernmagnetmesswerk mit radialem Sinusfeld – 5.2.2 Quotientenbestimmung mit<br>Kreuzspulmesswerken – 5.2.3 Bildung von linearen Mittelwerten und Extremwerten –<br>5.2.4 Bildung von quadratischen Mittelwerten – 5.2.5 Multiplikation mit<br>elektrodynamischen Messwerken – 5.2.6 Integralwertbestimmung mit Induktionszählern   |            |
| 5.3      | Prinzip und Anwendung des Elektronenstrahloszilloskops . . . . .  | H75        |
|          | 5.3.1 Elektronenstrahlröhre. Ablenkempfindlichkeit – 5.3.2 Darstellung des zeitlichen<br>Verlaufs periodischer Messsignale – 5.3.3 Blockschaltbild eines Oszilloskops<br>in Standardausführung – 5.3.4 Anwendung eines Oszilloskops im x,y-Betrieb –<br>5.3.5 Frequenzkompensierter Eingangsteiler  |            |
| <b>6</b> | <b>Digitale Messtechnik . . . . .</b>   | <b>H79</b> |
| 6.1      | Quantisierung und digitale Signaldarstellung . . . . .  | H79        |
|          | 6.1.1 Informationsverlust durch Quantisierung – 6.1.2 Der relative Quantisierungsfehler   |            |
| 6.2      | Abtasttheorem und Abtastfehler . . . . .  | H80        |
|          | 6.2.1 Das Shannon'sche Abtasttheorem – 6.2.2 Frequenzgang bei Extrapolation nullter<br>Ordnung – 6.2.3 Abtastfehler eines Haltekreises  |            |
| 6.3      | Digitale Zeit- und Frequenzmessung . . . . .  | H82        |
|          | 6.3.1 Prinzip der digitalen Zeit- und Frequenzmessung – 6.3.2 Der Quarzoszillator –<br>6.3.3 Digitale Zeitmessung – 6.3.4 Digitale Frequenzmessung – 6.3.5 Auflösung und<br>Messzeit bei der Periodendauer- bzw. Frequenzmessung – 6.3.6 Reziprokwertbildung<br>und Multiperiodendauermessung   |            |

|       |  |     |
|-------|--|-----|
| 6.4   | Analog-Digital-Umsetzung über Zeit oder Frequenz<br>als Zwischengrößen . . . . .   | H86 |
| 6.4.1 | Charge-balancing-Umsetzer – 6.4.2 Dual-slope-Umsetzer – 6.4.3 Integrierende<br>Filterung bei integrierenden Umsetzern  |     |
| 6.5   | Analog-Digital-Umsetzung nach dem Kompensationsprinzip . . . . .   | H89 |
| 6.5.1 | Prinzip – 6.5.2 Digital-Analog-Umsetzer mit bewerteten Leitwerten –<br>6.5.3 Digital-Analog-Umsetzer mit Widerstandskettenleiter – 6.5.4 Nachlaufumsetzer mit<br>Zweirichtungszähler – 6.5.5 Analog-Digital-Umsetzer mit sukzessiver Approximation |     |
| 6.6   | Schnelle Analog-Digital-Umsetzung und Transientenspeicherung . . . .   | H93 |
| 6.6.1 | Parallele Analog-Digital-Umsetzer (Flash-Converter) – 6.6.2 Transientenspeicherung   |     |
|       | <b>Literatur</b> . . . . .   | H95 |

## Regelungs- und Steuerungstechnik

H. Unbehauen, F. Ley

### Regelungstechnik

H. Unbehauen

|          |  |     |
|----------|--|-----|
| <b>1</b> | <b>Einführung</b> . . . . .  | 11  |
| 1.1      | Einordnung der Regelungs- und Steuerungstechnik . . . . .  | 11  |
| 1.2      | Darstellung im Blockschaltbild . . . . .   | 11  |
| 1.3      | Unterscheidung zwischen Regelung und Steuerung . . . . .   | 12  |
| 1.4      | Beispiele von Regel- und Steuerungssystemen . . . . .  | 13  |
| <b>2</b> | <b>Modelle und Systemeigenschaften</b> . . . . .   | 14  |
| 2.1      | Mathematische Modelle . . . . .  | 14  |
| 2.2      | Systemeigenschaften . . . . .  | 15  |
| 2.2.1    | Lineare und nichtlineare Systeme – 2.2.2 Systeme mit konzentrierten und<br>verteilten Parametern – 2.2.3 Zeitvariante und zeitinvariante Systeme – 2.2.4 Systeme<br>mit kontinuierlicher und diskreter Arbeitsweise – 2.2.5 Systeme mit deterministischen<br>oder stochastischen Variablen – 2.2.6 Kausale Systeme – 2.2.7 Stabile und instabile<br>Systeme – 2.2.8 Eingrößen- und Mehrgrößensysteme |     |
| <b>3</b> | <b>Beschreibung linearer kontinuierlicher Systeme im Zeitbereich</b> . . . . .   | 19  |
| 3.1      | Beschreibung mittels Differenzialgleichungen . . . . .   | 19  |
| 3.1.1    | Elektrische Systeme – 3.1.2 Mechanische Systeme – 3.1.3 Thermische Systeme   |     |
| 3.2      | Beschreibung mittels spezieller Ausgangssignale . . . . .  | I11 |
| 3.2.1    | Die Übergangsfunktion (Normierte Sprungantwort) – 3.2.2 Die Gewichtsfunktion<br>(Impulsantwort) – 3.2.3 Das Faltungsintegral (Duhamel'sches Integral)  |     |
| 3.3      | Zustandsraumdarstellung . . . . .  | I12 |
| 3.3.1    | Zustandsraumdarstellung für Eingrößensysteme – 3.3.2 Zustandsraumdarstellung<br>für Mehrgrößensysteme  |     |
| <b>4</b> | <b>Beschreibung linearer kontinuierlicher Systeme<br/>im Frequenzbereich</b> . . . . .   | I14 |
| 4.1      | Die Laplace-Transformation . . . . .   | I14 |
| 4.2      | Die Fourier-Transformation . . . . .   | I15 |
| 4.3      | Der Begriff der Übertragungsfunktion . . . . .   | I16 |
| 4.3.1    | Definition – 4.3.2 Pole und Nullstellen der Übertragungsfunktion – 4.3.3 Das<br>Rechnen mit Übertragungsfunktionen – 4.3.4 Zusammenhang zwischen $G(s)$ und der<br>Zustandsraumdarstellung – 4.3.5 Die komplexe $G$ -Ebene   |     |
| 4.4      | Die Frequenzgangdarstellung . . . . .  | I18 |
| 4.4.1    | Definition – 4.4.2 Ortskurvendarstellung des Frequenzganges – 4.4.3 Darstellung<br>des Frequenzganges durch Frequenzkennlinien (Bode-Diagramm)   |     |
| 4.5      | Das Verhalten der wichtigsten Übertragungsglieder . . . . .  | I20 |
| 4.5.1    | Das proportional wirkende Glied (P-Glied) – 4.5.2 Das integrierende Glied<br>(I-Glied) – 4.5.3 Das differenzierende Glied (D-Glied) – 4.5.4 Das Verzögerungsglied<br>1. Ordnung (PT <sub>1</sub> -Glied) – 4.5.5 Das Verzögerungsglied 2. Ordnung (PT <sub>2</sub> -Glied und  |     |

|           |  |     |
|-----------|--|-----|
|           | PT <sub>2</sub> S-Glied) – 4.5.6 Bandbreite eines Übertragungsgliedes – 4.5.7 Systeme mit minimalem und nichtminimalem Phasenverhalten   |     |
| <b>5</b>  | <b>Das Verhalten linearer kontinuierlicher Regelkreise</b> . . . . .   | I26 |
| 5.1       | Dynamisches Verhalten des Regelkreises . . . . .   | I26 |
| 5.2       | Stationäres Verhalten des Regelkreises . . . . .   | I27 |
| 5.3       | Der PID-Regler und die aus ihm ableitbaren Reglertypen . . . . .   | I28 |
| <b>6</b>  | <b>Stabilität linearer kontinuierlicher Regelsysteme</b> . . . . .   | I31 |
| 6.1       | Definition der Stabilität . . . . .  | I31 |
| 6.2       | Algebraische Stabilitätskriterien . . . . .  | I32 |
|           | 6.2.1 Das Hurwitz-Kriterium – 6.2.2 Das Routh-Kriterium  |     |
| 6.3       | Das Nyquist-Verfahren . . . . .  | I34 |
|           | 6.3.1 Das Nyquist-Kriterium in der Ortskurvendarstellung – 6.3.2 Das Nyquist-Kriterium in der Frequenzkennliniendarstellung – 6.3.3 Vereinfachte Formen des Nyquist-Kriteriums   |     |
| <b>7</b>  | <b>Das Wurzelortskurvenverfahren</b> . . . . .   | I37 |
| 7.1       | Der Grundgedanke des Verfahrens . . . . .  | I37 |
| 7.2       | Regeln zur Konstruktion von Wurzelortskurven . . . . .   | I38 |
| <b>8</b>  | <b>Entwurfsverfahren für lineare kontinuierliche Regelsysteme</b> . .  | I40 |
| 8.1       | Problemstellung . . . . .  | I40 |
| 8.2       | Entwurf im Zeitbereich . . . . .   | I40 |
|           | 8.2.1 Gütemaße im Zeitbereich – 8.2.2 Integralkriterien – 8.2.3 Quadratische Regelfläche – 8.2.4 Ermittlung optimaler Einstellwerte eines Reglers nach dem Kriterium der minimalen quadratischen Regelfläche – 8.2.5 Empirisches Vorgehen  |     |
| 8.3       | Entwurf im Frequenzbereich . . . . .   | I45 |
|           | 8.3.1 Kenndaten des geschlossenen Regelkreises im Frequenzbereich und deren Zusammenhang mit den Gütemaßen im Zeitbereich – 8.3.2 Kenndaten des offenen Regelkreises und deren Zusammenhang mit den Gütemaßen des geschlossenen Regelkreises im Zeitbereich – 8.3.3 Reglerentwurf nach dem Frequenzkennlinien-Verfahren – 8.3.4 Korrekturglieder für Phase und Amplitude – 8.3.5 Reglerentwurf mit dem Wurzelortskurvenverfahren |     |
| 8.4       | Analytische Entwurfsverfahren . . . . .  | I50 |
|           | 8.4.1 Vorgabe des Verhaltens des geschlossenen Regelkreises – 8.4.2 Das Verfahren nach Truxal-Guillemain – 8.4.3 Algebraisches Entwurfsverfahren   |     |
| <b>9</b>  | <b>Nichtlineare Regelsysteme</b> . . . . .   | I55 |
| 9.1       | Allgemeine Eigenschaften nichtlinearer Regelsysteme . . . . .  | I55 |
| 9.2       | Regelkreis mit Zwei- und Dreipunktreglern . . . . .  | I55 |
| 9.3       | Analyse nichtlinearer Regelsysteme mithilfe der Beschreibungsfunktion . . . . .  | I57 |
|           | 9.3.1 Definition der Beschreibungsfunktion – 9.3.2 Stabilitätsuntersuchung mittels der Beschreibungsfunktion   |     |
| 9.4       | Analyse nichtlinearer Regelsysteme in der Phasenebene . . . . .  | I58 |
|           | 9.4.1 Zustandskurven – 9.4.2 Anwendung der Methode der Phasenebene zur Untersuchung von Relaisystemen  |     |
| 9.5       | Stabilitätstheorie nach Ljapunow . . . . .   | I60 |
|           | 9.5.1 Der Grundgedanke der direkten Methode von Ljapunow – 9.5.2 Stabilitätssätze von Ljapunow – 9.5.3 Ermittlung geeigneter Ljapunow-Funktionen   |     |
| 9.6       | Das Stabilitätskriterium von Popov . . . . .   | I61 |
|           | 9.6.1 Absolute Stabilität – 9.6.2 Formulierung des Popov-Kriteriums – 9.6.3 Geometrische Auswertung der Popov-Ungleichung  |     |
| <b>10</b> | <b>Lineare zeitdiskrete Systeme: Digitale Regelung</b> . . . . .   | I63 |
| 10.1      | Arbeitsweise digitaler Regelsysteme . . . . .  | I63 |
| 10.2      | Darstellung im Zeitbereich . . . . .   | I64 |
| 10.3      | Die z-Transformation . . . . .   | I66 |
|           | 10.3.1 Definition der z-Transformation   |     |

|           |  |            |
|-----------|--|------------|
| 10.4      | Darstellung im Frequenzbereich . . . . .   | I66        |
| 10.4.1    | Die Übertragungsfunktion diskreter Systeme – 10.4.2 Die z-Übertragungsfunktion kontinuierlicher Systeme  |            |
| 10.5      | Stabilität diskreter Regelsysteme . . . . .  | I68        |
| 10.5.1    | Stabilitätsbedingungen – 10.5.2 Stabilitätskriterien   |            |
| 10.6      | Regelalgorithmen für die digitale Regelung . . . . .   | I70        |
| 10.6.1    | PID-Algorithmus – 10.6.2 Der Entwurf diskreter Kompensationsalgorithmen – 10.6.3 Kompensationsalgorithmus für endliche Einstellzeit  |            |
| <b>11</b> | <b>Zustandsraumdarstellung linearer Regelsysteme . . . . .</b>   | <b>I73</b> |
| 11.1      | Allgemeine Darstellung . . . . .   | I73        |
| 11.2      | Normalformen für Eingrößensysteme . . . . .  | I74        |
| 11.3      | Steuerbarkeit und Beobachtbarkeit . . . . .  | I75        |
| 11.4      | Synthese linearer Regelsysteme im Zustandsraum . . . . .   | I76        |
| 11.4.1    | Das geschlossene Regelsystem – 11.4.2 Der Grundgedanke der Reglersynthese – 11.4.3 Die modale Regelung – 11.4.4 Das Verfahren der Polvorgabe – 11.4.5 Optimaler Zustandsregler nach dem quadratischen Gütekriterium – 11.4.6 Das Messproblem |            |
| <b>12</b> | <b>Systemidentifikation . . . . .</b>  | <b>I80</b> |
| 12.1      | Deterministische Verfahren zur Systemidentifikation . . . . .  | I80        |
| 12.1.1    | Wendetangenten- und Zeitprozentkennwerte-Verfahren – 12.1.2 Identifikation im Frequenzbereich – 12.1.3 Berechnung des Frequenzganges aus der Übergangsfunktion – 12.1.4 Berechnung der Übergangsfunktion aus dem Frequenzgang                |            |
| 12.2      | Statistische Verfahren zur Systemidentifikation . . . . .  | I83        |
| 12.2.1    | Korrelationsanalyse – 12.2.2 Spektrale Leistungsdichte – 12.2.3 Statistische Bestimmung dynamischer Eigenschaften linearer Systeme – 12.2.4 Systemidentifikation mittels Parameterschätzverfahren  |            |
| <b>13</b> | <b>Weitere Reglerentwurfverfahren . . . . .</b>  | <b>I86</b> |
| 13.1      | Übersicht . . . . .  | I86        |
| 13.2      | Einige weitere klassische Regelkreisstrukturen . . . . .   | I86        |
| 13.2.1    | Vermaschte Regelkreise – 13.2.2 Smith-Prädiktor – 13.2.3 IMC-Regler  |            |
| 13.3      | Robuste Regler . . . . .   | I89        |
| 13.4      | Modellbasierte prädiktive Regler . . . . .   | I89        |
| 13.5      | GMV-Regler . . . . .   | I90        |
| 13.6      | Adaptive Regler . . . . .  | I91        |
| 13.7      | Nichtlineare Regler . . . . .  | I91        |
| 13.8      | „Intelligente“ Regler . . . . .  | I92        |

### *Steuerungstechnik*

F. Ley

|           |  |             |
|-----------|--|-------------|
| <b>14</b> | <b>Binäre Steuerungstechnik . . . . .</b>  | <b>I93</b>  |
| 14.1      | Grundstruktur binärer Steuerungen . . . . .  | I93         |
| 14.1.1    | Signalfussplan – 14.1.2 Klassifizierung binärer Steuerungen  |             |
| 14.2      | Grundlagen der kombinatorischen und der sequentiellen Schaltungen . . . . .  | I95         |
| 14.2.1    | Kombinatorische Schaltungen – 14.2.2 Synthese und Analyse sequentieller Schaltungen  |             |
| 14.3      | Darstellung von Zuständen durch Zustandsgraphen und Petri-Netze . . . . .  | I97         |
| 14.4      | Technische Realisierung von verbindungsprogrammierten Steuerungseinrichtungen . . . . .  | I100        |
| 14.4.1    | Relaistechnik – 14.4.2 Diskrete Bausteinsysteme (DTL- und TTL-Logikfamilien)   |             |
| 14.5      | Speicherprogrammierbare Steuerungen . . . . .  | I100        |
| 14.5.1    | Sprachen für Steuerungen nach der Norm IEC61131-3 – 14.5.2 SPS und Prozessrechner – 14.5.3 Prozesssignale von Speicherprogrammierbaren Steuerungen |             |
|           | <b>Formelzeichen der Regelungs- und Steuerungstechnik . . . . .</b>  | <b>I116</b> |
|           | <b>Literatur . . . . .</b>   | <b>I117</b> |



**Technische Informatik**

H. Liebig, Th. Flik, P. Rechenberg, A. Reinefeld, H. Mössenböck

*Mathematische Modelle*

H. Liebig, P. Rechenberg

|          |  |     |
|----------|--|-----|
| <b>1</b> | <b>Boole'sche Algebra</b> . . . . .  | J3  |
| 1.1      | Logische Verknüpfungen und Rechenregeln . . . . .  | J3  |
|          | 1.1.1 Grundverknüpfungen – 1.1.2 Ausdrücke – 1.1.3 Axiome – 1.1.4 Sätze  |     |
| 1.2      | Boole'sche Funktionen . . . . .  | J5  |
|          | 1.2.1 Von der Mengen- zur Vektordarstellung – 1.2.2 Darstellungsmittel   |     |
| 1.3      | Normal- und Minimalformen . . . . .  | J7  |
|          | 1.3.1 Kanonische Formen Boole'scher Funktionen – 1.3.2 Minimierung von Funktionsgleichungen  |     |
| 1.4      | Boole'sche Algebra und Logik . . . . .   | J9  |
|          | 1.4.1 Begriffe – 1.4.2 Logisches Schließen und mathematisches Beweisen in der Aussagenlogik – 1.4.3 Beispiel für einen aussagenlogischen Beweis – 1.4.4 Entscheidbarkeit und Vollständigkeit |     |
| <b>2</b> | <b>Automaten</b> . . . . .   | J11 |
| 2.1      | Endliche Automaten . . . . .   | J12 |
|          | 2.1.1 Automaten mit Ausgabe – 2.1.2 Funktionsweise   |     |
| 2.2      | Hardwareorientierte Automatenmodelle . . . . .   | J12 |
|          | 2.2.1 Von der Mengen- zur Vektordarstellung – 2.2.2 Darstellungsmittel – 2.2.3 Netzdarstellungen   |     |
| 2.3      | Softwareorientierte Automatenmodelle . . . . .   | J17 |
|          | 2.3.1 Erkennende Automaten und formale Sprachen – 2.3.2 Erkennende endliche Automaten – 2.3.3 Turingmaschinen – 2.3.4 Grenzen der Modellierbarkeit   |     |

*Digitale Systeme*

H. Liebig

|          |   |     |
|----------|---|-----|
| <b>3</b> | <b>Schaltnetze</b> . . . . .  | J21 |
| 3.1      | Signaldurchschaltung und -verknüpfung . . . . .   | J22 |
|          | 3.1.1 Schalter und Schalterkombinationen – 3.1.2 Durchschaltglieder – 3.1.3 Verknüpfungsglieder   |     |
| 3.2      | Schaltungen für Volladdierer . . . . .  | J26 |
|          | 3.2.1 Volladdierer mit Durchschaltgliedern – 3.2.2 Volladdierer mit Verknüpfungsgliedern  |     |
| 3.3      | Schaltnetze zur Datenverarbeitung und zum Datentransport . . . . .  | J28 |
|          | 3.3.1 Arithmetisch-logische Einheiten – 3.3.2 Multiplexer – 3.3.3 Shifter – 3.3.4 Busse   |     |
| 3.4      | Schaltnetze zur Datencodierung/ -decodierung und -speicherung . . . . .   | J32 |
|          | 3.4.1 Codierer, Decodierer – 3.4.2 Festwertspeicher – 3.4.3 Logikfelder – 3.4.4 Beispiel eines PLA-Steuerwerks  |     |
| <b>4</b> | <b>Schaltwerke</b> . . . . .  | J35 |
| 4.1      | Signalverzögerung und -speicherung . . . . .  | J36 |
|          | 4.1.1 Flipflops, Darstellung mit Taktsignalen – 4.1.2 Flipflops, Abstraktion von Taktsignalen   |     |
| 4.2      | Registertransfer und Datenspeicherung . . . . .   | J39 |
|          | 4.2.1 Flipflops auf der Registertransfer-Ebene – 4.2.2 Register, Speicherzellen – 4.2.3 Schreib-/Lesespeicher – 4.2.4 Speicher mit speziellem Zugriff |     |
| 4.3      | Schaltwerke zur Datenverarbeitung . . . . .   | J42 |
|          | 4.3.1 Zähler – 4.3.2 Shiftregister – 4.3.3 Logik-/Arithmetikwerke   |     |
| 4.4      | Schaltwerke zur Programmsteuerung und zur programmgesteuerten Datenverarbeitung . . . . .   | J45 |
|          | 4.4.1 PLA- und ROM-Steuerwerke – 4.4.2 Beispiele für programmgesteuerte Datenverarbeitungswerke (Prozessoren)   |     |

|          |   |     |
|----------|---|-----|
| <b>5</b> | <b>Prozessorstrukturen</b> . . . . .  | J48 |
| 5.1      | Überblick . . . . .   | J48 |
| 5.2      | Maschinenbefehle . . . . .  | J50 |
|          | 5.2.1 Befehlsformate – 5.2.2 Befehlssatz – 5.2.3 Adressierungsarten   |     |
| 5.3      | Akkumulator-Architektur . . . . .   | J54 |
|          | 5.3.1 Einadressrechner – 5.3.2 Beispiel für Mikroprogrammierung – 5.3.3 Beispiel zur Maschinenprogrammierung              |     |
| 5.4      | Register-Architektur . . . . .  | J56 |
|          | 5.4.1 Dreiadressrechner (RISC) – 5.4.2 Beschleunigung durch Fließbandtechnik – 5.4.3 Beispiel zur Maschinenprogrammierung |     |
| 5.5      | Parallel-Architektur . . . . .  | J59 |
|          | 5.5.1 Superskalar vs. VLIW – 5.5.2 Ein Fünfbefehlsrechner (VLIW) – 5.5.3 Beispiel zur Maschinenprogrammierung             |     |

### *Rechnerorganisation*

Th. Flik, bearbeitet durch A. Reinefeld

|          |   |      |
|----------|---|------|
| <b>6</b> | <b>Informationsdarstellung</b> . . . . .  | J64  |
| 6.1      | Zeichen- und Zifferncodes . . . . .   | J64  |
|          | 6.1.1 ASCII – 6.1.2 EBCDIC – 6.1.3 Binärcodes für Dezimalziffern (BCD-Codes) – 6.1.4 Oktalcode und Hexadezimalcode  |      |
| 6.2      | Codesicherung . . . . .   | J66  |
| 6.3      | Datentypen . . . . .  | J68  |
|          | 6.3.1 Zustandsgröße – 6.3.2 Bitvektor – 6.3.3 Ganze Zahl – 6.3.4 Gleitpunktzahl – 6.3.5 Vektor  |      |
| 6.4      | Maschinen- und Assemblerprogrammierung . . . . .  | J71  |
|          | 6.4.1 Assemblerschreibweise – 6.4.2 Assembleranweisungen – 6.4.3 Makros – 6.4.4 Unterprogramme  |      |
| <b>7</b> | <b>Rechnersysteme</b> . . . . .   | J76  |
| 7.1      | Verbindungsstrukturen . . . . .   | J77  |
|          | 7.1.1 Ein- und Mehrbussysteme – 7.1.2 Systemaufbau – 7.1.3 Busfunktionen – 7.1.4 Busmerkmale – 7.1.5 Zentrale Busse und Punkt-zu-Punkt-Verbindungen – 7.1.6 Periphere Busse und Punkt-zu-Punkt-Verbindungen |      |
| 7.2      | Speicherorganisation . . . . .  | J89  |
|          | 7.2.1 Hauptspeicher – 7.2.2 Speicherverwaltungseinheiten – 7.2.3 Caches – 7.2.4 Hintergrundspeicher   |      |
| 7.3      | Ein-/Ausgabeorganisation . . . . .  | J98  |
|          | 7.3.1 Prozessorgesteuerte Ein-/Ausgabe – 7.3.2 DMA-Controllergesteuerte Ein-/Ausgabe – 7.3.3 Ein-/Ausgabeprozessor – 7.3.4 Schnittstellen – 7.3.5 Ein-/Ausgabegeräte  |      |
| 7.4      | Parallelrechner . . . . .   | J104 |
|          | 7.4.1 Vektorrechner – 7.4.2 Feldrechner – 7.4.3 Speichergekoppelte Mehrprozessorsysteme – 7.4.4 Nachrichtengekoppelte Mehrprozessorsysteme  |      |
| 7.5      | Rechnernetze . . . . .  | J107 |
|          | 7.5.1 Serielle Datenübertragung – 7.5.2 Weitverkehrsnetze (WANs) – 7.5.3 Lokale Netze (LANs)  |      |
| 7.6      | Leistungskenngrößen von Rechnersystemen und ihre Einheiten . . . . .  | J112 |
| <b>8</b> | <b>Betriebssysteme</b> . . . . .  | J113 |
| 8.1      | Betriebssystemarten . . . . .   | J114 |
|          | 8.1.1 Stapelbetrieb – 8.1.2 Dialogbetrieb – 8.1.3 Einbenutzer- und Netzsysteme – 8.1.4 Mehrbenutzer- und Mehrprogrammsysteme – 8.1.5 Verteilte Systeme – 8.1.6 Echtzeitsysteme                              |      |
| 8.2      | Prozessorunterstützung . . . . .  | J116 |
|          | 8.2.1 Privilegierungsebenen – 8.2.2 Traps und Interrupts – 8.2.3 Ausnahmeverarbeitung (exception processing)  |      |
| 8.3      | Betriebssystemkomponenten . . . . .   | J118 |
|          | 8.3.1 Prozessverwaltung – 8.3.2 Interprozesskommunikation – 8.3.3 Speicherverwaltung – 8.3.4 Dateiverwaltung – 8.3.5 Ein-/Ausgabeverwaltung   |      |



*Programmierung*

P. Rechenberg, H. Mössenböck

|           |  |      |
|-----------|--|------|
| <b>9</b>  | <b>Algorithmen</b> .....   | J123 |
| 9.1       | Begriffe .....   | J123 |
| 9.2       | Darstellungsarten .....  | J124 |
|           | 9.2.1 Abstraktionsschichten  |      |
| 9.3       | Einteilungen .....   | J126 |
|           | 9.3.1 Einteilung nach Strukturmerkmalen – 9.3.2 Einteilung nach Datenstrukturen –    |      |
|           | 9.3.3 Einteilung nach Aufgabengebiet   |      |
| 9.4       | Komplexität .....  | J128 |
| <b>10</b> | <b>Datentypen und Datenstrukturen</b> .....  | J130 |
| 10.1      | Begriffe .....   | J130 |
|           | 10.1.1 Datentyp – 10.1.2 Datenstruktur   |      |
| 10.2      | Elementare Datentypen .....  | J130 |
| 10.3      | Zusammengesetzte Datentypen .....  | J131 |
|           | 10.3.1 Arrays – 10.3.2 Strukturen – 10.3.3 Zeiger und Referenzen                     |      |
| 10.4      | Verkettete Listen .....  | J133 |
| 10.5      | Bäume .....  | J134 |
| 10.6      | Graphen .....  | J136 |
| 10.7      | Verzeichnisse .....  | J137 |
| 10.8      | Mengen .....   | J137 |
| 10.9      | Dateien .....  | J138 |
| 10.10     | Abstrakte Datentypen .....   | J139 |
| <b>11</b> | <b>Programmiersprachen</b> .....   | J140 |
| 11.1      | Begriffe und Einteilungen .....  | J140 |
|           | 11.1.1 Universal- und Spezialsprachen – 11.1.2 Sequenzielle und parallele Sprachen – |      |
|           | 11.1.3 Imperative und nichtimperative Sprachen (Denkmodelle)                         |      |
| 11.2      | Beschreibungsverfahren .....   | J143 |
|           | 11.2.1 Syntax – 11.2.2 Semantik  |      |
| 11.3      | Konstruktionen imperativer Sprachen .....  | J144 |
|           | 11.3.1 Deklarationen – 11.3.2 Ausdrücke – 11.3.3 Anweisungen – 11.3.4 Prozeduren     |      |
|           | (Methoden) – 11.3.5 Klassen – 11.3.6 Ausnahmebehandlung – 11.3.7 Parallelität        |      |
| 11.4      | Programmiersprachen für technische Anwendungen .....                                 | J150 |
|           | 11.4.1 Sprachfamilien – 11.4.2 Die Fortran-Familie – 11.4.3 Die Pascal-Familie –     |      |
|           | 11.4.4 Die C-Familie   |      |
| 11.5      | Programmbibliotheken für numerisches Rechnen .....                                   | J154 |
| 11.6      | Programmiersysteme für numerisches und symbolisches Rechnen . . . .                  | J155 |
| 11.7      | Web-Programmierung .....   | J155 |
| <b>12</b> | <b>Softwaretechnik</b> .....   | J156 |
| 12.1      | Begriffe, Aufgaben und Probleme .....  | J156 |
|           | 12.1.1 Eigenschaften großer Programme – 12.1.2 Begriff der Softwaretechnik –         |      |
|           | 12.1.3 Software-Qualität – 12.1.4 Vorgehensmodelle                                   |      |
| 12.2      | Problemanalyse und Anforderungsdefinition .....                                      | J159 |
| 12.3      | Entwurf und Implementierung .....  | J160 |
|           | 12.3.1 Grobentwurf – 12.3.2 Feinentwurf – 12.3.3 Mensch-Maschine-Kommunikation       |      |
| 12.4      | Testen .....   | J163 |
|           | 12.4.1 Statische Testmethoden – 12.4.2 Dynamische Testmethoden –                     |      |
|           | 12.4.3 Qualitätssicherung  |      |
| 12.5      | Dokumentation .....  | J166 |
| 12.6      | Werkzeuge der Softwaretechnik .....  | J167 |
| <b>13</b> | <b>Ausblick: Informatik und Kommunikation</b> .....                                  | J168 |

|   |      |
|---|------|
| <b>Formelzeichen zur Programmierung</b> ..... | J169 |
| <b>Literatur</b> .....                        | J169 |



## Entwicklung und Konstruktion

K.-H. Grote, F. Engelmann, W. Beitz

|  |     |
|--|-----|
| <b>1 Produktentstehung</b> .....   | K1  |
| 1.1 Lebensphasen eines Produkts .....  | K1  |
| 1.1.1 Technischer Lebenszyklus – 1.1.2 Wirtschaftlicher Lebenszyklus   |     |
| 1.2 Produktplanung .....   | K2  |
| 1.2.1 Bedeutung – 1.2.2 Grundlagen – 1.2.3 Vorgehenschritte  |     |
| 1.3 Produktentwicklung .....   | K4  |
| 1.3.1 Generelles Vorgehen – 1.3.2 Produktspezifisches Vorgehen   |     |
| <b>2 Aufbau technischer Produkte</b> .....   | K8  |
| 2.1 Funktionszusammenhang .....  | K8  |
| 2.1.1 Allgemeines – 2.1.2 Spezielle Funktionen   |     |
| 2.2 Wirkzusammenhang .....   | K9  |
| 2.2.1 Physikalische, chemische und biologische Effekte – 2.2.2 Geometrische und stoffliche Merkmale  |     |
| 2.3 Bauzusammenhang .....  | K12 |
| 2.4 Systemzusammenhang .....   | K12 |
| 2.5 Generelle Zielsetzungen für technische Produkte .....  | K12 |
| 2.6 Anwendungen .....  | K13 |
| <b>3 Konstruktionsmethoden</b> .....   | K13 |
| 3.1 Allgemeine Lösungsmethoden .....   | K13 |
| 3.1.1 Allgemeiner Lösungsprozess – 3.1.2 Systemtechnisches Vorgehen – 3.1.3 Problem- und Systemstrukturierung – 3.1.4 Allgemeine Hilfsmittel   |     |
| 3.2 Methoden des Konzipierens .....  | K16 |
| 3.2.1 Intuitiv-betonte Methoden – 3.2.2 Diskursiv-betonte Methoden   |     |
| 3.3 Methoden der Gestaltung .....  | K17 |
| 3.3.1 Grundregeln der Gestaltung – 3.3.2 Gestaltungsprinzipien – 3.3.3 Gestaltungsrichtlinien  |     |
| 3.4 Baustrukturen .....  | K25 |
| 3.4.1 Baureihen – 3.4.2 Baukästen – 3.4.3 Differenzialbauweise – 3.4.4 Integralbauweise – 3.4.5 Verbundbauweise  |     |
| 3.5 Methoden der Auswahl .....   | K29 |
| 3.6 Praxisbeispiel .....   | K32 |
| 3.6.1 Präzisierung der Aufgabenstellung – 3.6.2 Konzipieren – 3.6.3 Entwerfen  |     |
| <b>4 Konstruktionselemente</b> .....   | K47 |
| 4.1 Bauteilverbindungen .....  | K47 |
| 4.1.1 Funktionen und generelle Wirkungen – 4.1.2 Formschluss – 4.1.3 Reibschluss – 4.1.4 Stoffschluss – 4.1.5 Allgemeine Anwendungsrichtlinien   |     |
| 4.2 Federn .....   | K50 |
| 4.2.1 Funktionen und generelle Wirkungen – 4.2.2 Zug-druckbeanspruchte Metallfedern – 4.2.3 Biegebeanspruchte Metallfedern – 4.2.4 Drehbeanspruchte Metallfedern – 4.2.5 Gummifedern – 4.2.6 Gasfedern – 4.2.7 Allgemeine Anwendungsrichtlinien                                    |     |
| 4.3 Kupplungen und Gelenke .....   | K54 |
| 4.3.1 Funktionen und generelle Wirkungen – 4.3.2 Feste Kupplungen – 4.3.3 Drehstarre Ausgleichskupplungen – 4.3.4 Elastische Kupplungen – 4.3.5 Schaltkupplungen – 4.3.6 Allgemeine Anwendungsrichtlinien  |     |
| 4.4 Lagerungen und Führungen .....   | K58 |
| 4.4.1 Funktionen und generelle Wirkungen – 4.4.2 Wälzlagerungen und -führungen – 4.4.3 Hydrodynamische Gleitlagerungen und -führungen – 4.4.4 Hydrostatische Gleitlagerungen und -führungen – 4.4.5 Magnetische Lagerungen und -führungen – 4.4.6 Allgemeine Anwendungsrichtlinien |     |

|          |   |            |
|----------|---|------------|
| 4.5      | Mechanische Getriebe . . . . .  | K62        |
|          | 4.5.1 Funktionen und generelle Wirkungen – 4.5.2 Zahnradgetriebe –<br>4.5.3 Kettengetriebe – 4.5.4 Riemengetriebe – 4.5.5 Reibradgetriebe –<br>4.5.6 Kurbel-(Gelenk-) und Kurvengetriebe – 4.5.7 Allgemeine Anwendungsrichtlinien   |            |
| 4.6      | Hydraulische Getriebe . . . . .   | K68        |
|          | 4.6.1 Funktionen und generelle Wirkungen – 4.6.2 Hydrostatische Getriebe<br>(Hydrogetriebe) – 4.6.3 Hydrodynamische Getriebe (Föttinger-Getriebe) –<br>4.6.4 Allgemeine Anwendungsrichtlinien   |            |
| 4.7      | Elemente zur Führung von Fluiden . . . . .  | K70        |
|          | 4.7.1 Funktionen und generelle Wirkungen – 4.7.2 Rohre – 4.7.3 Absperr-<br>und Regelorgane (Armaturen) – 4.7.4 Allgemeine Anwendungsrichtlinien   |            |
| 4.8      | Dichtungen . . . . .  | K72        |
|          | 4.8.1 Funktionen und generelle Wirkungen – 4.8.2 Berührungsfreie Dichtungen<br>zwischen relativ bewegten Teilen – 4.8.3 Berührungsdichtungen zwischen relativ<br>bewegten Teilen (Dynamische Dichtungen) – 4.8.4 Berührungsdichtungen zwischen<br>ruhenden Teilen (Statische Dichtungen) – 4.8.5 Membrandichtungen zwischen relativ<br>bewegten Bauteilen – 4.8.6 Anwendungsrichtlinien |            |
| <b>5</b> | <b>Konstruktionsmittel . . . . .</b>  | <b>K75</b> |
| 5.1      | Zeichnungen . . . . .   | K75        |
| 5.2      | Rechnerunterstützte Konstruktion . . . . .  | K76        |
|          | 5.2.1 Grundlagen – 5.2.2 Rechnereinsatz in den Konstruktionsphasen  |            |
| 5.3      | Normen . . . . .  | K77        |
| 5.4      | Kostenerkennung, Wertanalyse . . . . .  | K77        |
|          | 5.4.1 Beeinflussbare Kosten – 5.4.2 Methoden der Kostenerkennung – 5.4.3 Wertanalyse  |            |

### *Mensch-Maschine-Wechselwirkungen, Anthropotechnik*

M. Syrbe, J. Beyerer

|          |   |            |
|----------|---|------------|
| <b>6</b> | <b>Anthropotechnisches Basiswissen<br/>für Mensch-Maschine-Wechselwirkungen . . . . .</b> | <b>K80</b> |
| 6.1      | Phänomene und Begriffe . . . . .  | K80        |
| 6.2      | Sinnesorgane, Eigenschaften . . . . .   | K85        |
| 6.3      | Informationsverarbeitung des Menschen, Modelle . . . . .                                  | K87        |
| 6.4      | Gestaltungssystematik für Mensch-Maschine-Systeme . . . . .                               | K90        |
| 6.5      | Qualitative Gestaltungsregeln, Standards<br>(insbesondere Richtlinien, Normen) . . . . .  | K95        |
|          | <b>Literatur . . . . .</b>  | <b>K99</b> |

## **Produktion**

G. Spur

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>Grundlagen . . . . .</b>  | <b>L1</b> |
| 1.1      | Produktionsfaktoren . . . . .  | L1        |
| 1.2      | Produktionssysteme . . . . .   | L2        |
| 1.3      | Produktivität . . . . .  | L3        |
| 1.4      | Produktionstechnik . . . . .   | L3        |
| <b>2</b> | <b>Rohstoffgewinnung und -erzeugung durch Urproduktion . . . . .</b> | <b>L4</b> |
| 2.1      | Biotische und abiotische Rohstoffe . . . . .                         | L4        |
| 2.2      | Energierohstoffe und Güterrohstoffe . . . . .                        | L4        |
| 2.3      | Erschließen und Gewinnen . . . . .                                   | L6        |
| 2.4      | Aufbereiten . . . . .  | L7        |
| <b>3</b> | <b>Stoffwandlung durch Verfahrenstechnik . . . . .</b>               | <b>L7</b> |
| 3.1      | Verfahrenstechnische Prozesse . . . . .                              | L7        |

|          |   |     |
|----------|---|-----|
| 3.2      | Mechanische Verfahrenstechnik   | L8  |
| 3.3      | Thermische Verfahrenstechnik  | L11 |
| 3.4      | Chemische Reaktionstechnik  | L13 |
| <b>4</b> | <b>Formgebung und Fügen durch Fertigungstechnik</b>   | L13 |
| 4.1      | Fertigungsverfahren und Fertigungssysteme: Übersicht  | L13 |
|          | 4.1.1 Einteilung der Fertigungsverfahren – 4.1.2 Fertigungsgenauigkeit –<br>4.1.3 Fertigungssysteme und Fertigungsprozesse – 4.1.4 Integrierte flexible<br>Fertigungssysteme                                    |     |
| 4.2      | Urformen  | L18 |
|          | 4.2.1 Gießen – 4.2.2 Pulvermetallurgie – 4.2.3 Galvanoformen  |     |
| 4.3      | Umformen  | L21 |
|          | 4.3.1 Walzen – 4.3.2 Schmieden – 4.3.3 Strang- und Fließpressen –<br>4.3.4 Blechumformung   |     |
| 4.4      | Trennen   | L24 |
|          | 4.4.1 Scherschneiden – 4.4.2 Drehen – 4.4.3 Bohren, Senken, Reiben – 4.4.4 Fräsen –<br>4.4.5 Hobeln, Stoßen, Räumen, Sägen – 4.4.6 Schleifen – 4.4.7 Honen –<br>4.4.8 Läppen – 4.4.9 Polieren – 4.4.10 Abtragen |     |
| 4.5      | Fügen   | L38 |
| 4.6      | Beschichten   | L41 |
| 4.7      | Stoffeigenschaft ändern   | L43 |
| <b>5</b> | <b>Produktionsorganisation</b>  | L46 |
| 5.1      | Produktplanung  | L46 |
| 5.2      | Produktionspersonalorganisation   | L47 |
| 5.3      | Produktionsplanung  | L48 |
| 5.4      | Produktionssteuerung  | L49 |
| 5.5      | Produktionsbewertung  | L51 |
| <b>6</b> | <b>Produktionsinformatik</b>  | L51 |
| 6.1      | Aufgaben  | L51 |
| 6.2      | Informationsfluss   | L52 |
| 6.3      | Rechnerintegrierter Fabrikbetrieb   | L53 |
|          | <b>Literatur</b>  | L55 |



## Betriebswirtschaft

W. Plinke, M. Rese

|          |  |     |
|----------|--|-----|
| <b>1</b> | <b>Gegenstand der Betriebswirtschaftslehre</b>                                     | M1  |
| <b>2</b> | <b>Das Grundmodell der Betriebswirtschaftslehre</b>                                | M2  |
| <b>3</b> | <b>Konstitutive Entscheidungen</b>   | M2  |
| 3.1      | Die Gründung des Betriebes   | M2  |
|          | 3.1.1 Einflussfaktoren der Gründungsentscheidung – 3.1.2 Der betriebliche Standort |     |
| 3.2      | Das Wachstum des Betriebes   | M3  |
| 3.3      | Die Beendigung des Betriebes   | M4  |
| 3.4      | Die Verfassung des Betriebes   | M4  |
|          | 3.4.1 Die Rechtsform des Betriebes – 3.4.2 Die Mitbestimmung                       |     |
| 3.5      | Betriebliche Zusammenschlüsse  | M7  |
| <b>4</b> | <b>Funktionsbezogene Entscheidungen</b>  | M8  |
| 4.1      | Das Realgütersystem  | M8  |
|          | 4.1.1 Beschaffung – 4.1.2 Produktion – 4.1.3 Absatz                                |     |
| 4.2      | Das Finanzsystem   | M10 |
| 4.3      | Das soziale System   | M11 |
|          | 4.3.1 Die Organisation des Betriebes – 4.3.2 Personalwirtschaft                    |     |

|       |  |     |
|-------|--|-----|
| 4.4   | Das Informationssystem . . . . .                                       | M15 |
| 4.4.1 | Informationssysteme des Betriebes – 4.4.2 Das externe Rechnungswesen – |     |
| 4.4.3 | Das interne Rechnungswesen   |     |

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| <b>Literatur</b> . . . . . | M24 |
|----------------------------|-----|



## Management

H. Buck, J. Leyh, P. Ohlhausen, M. Richter, D. Spath, J. Warschat

### *Qualitätsmanagement*

M. Richter, D. Spath

|          |   |     |
|----------|---|-----|
| <b>1</b> | <b>Entwicklung des Qualitätsmanagements</b> . . . . .                                     | N2  |
| 1.1      | Aufgaben des Qualitätsmanagements . . . . .   | N2  |
| 1.2      | Total Quality Management . . . . .  | N3  |
| <b>2</b> | <b>Bedeutung des Qualitätsmanagements</b> . . . . .                                       | N5  |
| <b>3</b> | <b>Wesentliche Methoden des Qualitätsmanagements</b> . . . . .                            | N7  |
| 3.1      | Quality Function Deployment (QFD) . . . . .   | N7  |
| 3.2      | Fehlermöglichkeits- und -Einfluss-Analyse (FMEA) . . . . .                                | N9  |
| 3.3      | Qualitätsregelkartentechnik im Rahmen der statistischen<br>Prozesslenkung (SPC) . . . . . | N11 |
| 3.4      | Six Sigma . . . . .   | N13 |
| 3.5      | 8D-Report . . . . .   | N14 |
| <b>4</b> | <b>Bewertung von Qualitätsmanagementsystemen</b> . . . . .                                | N15 |
| 4.1      | Das Qualitäts-Audit . . . . .   | N15 |
| 4.2      | EFQM-Modell . . . . .   | N18 |

### *Personalmanagement*

H. Buck, D. Spath

|          |   |     |
|----------|---|-----|
| <b>5</b> | <b>Aufgaben des Personalmanagements</b> . . . . .   | N20 |
| 5.1      | Der zentrale Fokus des Personalmanagements: Der Mensch . . . . .  | N21 |
| 5.2      | Herausforderung: Unternehmenskultur und Leitbilder<br>als handlungsleitenden Rahmen gestalten . . . . . | N22 |
| 5.3      | Herausforderung: Wissensintensivierung und Kompetenzentwicklung . . . . .                               | N23 |
| 5.4      | Herausforderungen des demographischen Wandels<br>für die betriebliche Personalpolitik . . . . .         | N24 |
| 5.5      | Ausblick . . . . .  | N28 |

### *Projektmanagement*

J. Leyh, P. Ohlhausen, D. Spath, J. Warschat

|          |  |     |
|----------|--|-----|
| <b>6</b> | <b>Projektmanagement</b> . . . . .                               | N29 |
| 6.1      | Grundlagen des Projektmanagement . . . . .                       | N29 |
| <b>7</b> | <b>Wesentliche Definitionen des Projektmanagements</b> . . . . . | N29 |
| 7.1      | Das „Projekt“ . . . . .  | N29 |
| 7.2      | Das „Projektmanagement“ . . . . .                                | N30 |
| <b>8</b> | <b>Rollen im Projekt</b> . . . . .                               | N30 |
| 8.1      | Projektleiter . . . . .  | N30 |
| 8.2      | Projektteam . . . . .  | N31 |
| <b>9</b> | <b>Aufbauorganisation</b> . . . . .                              | N32 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>10 Projektplanung, -steuerung und -abschluss</b> ..... | N34 |
| 10.1 Projektziele .....                                   | N34 |
| 10.2 Projektstrukturplan .....                            | N35 |
| 10.3 Projektsteuerung .....                               | N36 |
| 10.4 Projektabschluss .....                               | N37 |
| <b>11 Zertifizierung des Projektmanagers</b> .....        | N38 |
| <b>Literatur</b> .....                                    | N38 |



## Normung

T. Bahke

|   |     |
|---|-----|
| <b>1 Normung in Deutschland</b> .....   | 01  |
| 1.1 Normung: eine technischwissenschaftliche<br>und wirtschaftliche Optimierung .....   | 01  |
| 1.2 DIN Deutsches Institut für Normung e.V.:<br>Grundsätze der Normungsarbeit .....   | 01  |
| 1.3 DIN-Normen: Verfahren zu ihrer Erarbeitung .....  | 02  |
| 1.4 DIN-Normen: Rechtliche Bedeutung .....  | 03  |
| 1.5 Neuartige Erfordernisse zur Erstellung technischer Regeln .....   | 04  |
| 1.6 Entwicklungsbegleitende Normung .....   | 05  |
| 1.7 Verfahren zur Erstellung von DIN-Spezifikationen – DIN SPEC .....   | 06  |
| <b>2 Internationale und Europäische Normung</b> .....   | 06  |
| 2.1 Internationale Normung .....  | 06  |
| 2.2 Europäische Normung .....   | 07  |
| 2.3 Übernahme Internationaler Normen in das Deutsche Normenwerk .....   | 08  |
| <b>3 Ergebnisse der Normung</b> .....   | 09  |
| 3.1 Terminologie .....  | 010 |
| 3.2 Sicherheit .....  | 010 |
| 3.3 Ergonomie .....   | 012 |
| 3.4 Qualitätsmanagement .....   | 012 |
| 3.5 Normung und Verbraucherschutz .....   | 013 |
| 3.6 Konformitätsbewertung .....   | 014 |
| 3.6.1 Zeichen – 3.6.2 CE-Kennzeichnung  |     |
| 3.7 Umweltschutz .....  | 015 |
| 3.7.1 Einleitung – 3.7.2 Prüfnormen – 3.7.3 Umweltmanagementsystem-Normen –<br>3.7.4 Produktnormen mit Umweltbezug  |     |
| 3.8 Informationstechnik .....   | 019 |
| 3.8.1 Standardisierung und Normung von Architekturen, Plattformen, Netzen und<br>Schnittstellen der IT – 3.8.2 Standards und Normen für Anwendungen der IT –<br>3.8.3 Standards und Normen für den Lebenszyklus von IT Systemen – 3.8.4 Standards<br>und Normen für die Sicherheit von IT Systemen – 3.8.5 Standards und Normen<br>für Internet und Semantic Web – 3.8.6 Ausblick |     |
| 3.9 Dienstleistungs-Normung .....   | 023 |
| <b>Literatur</b> .....  | 023 |



## Recht

W. Frenz

|  |    |
|--|----|
| <b>1 Europarecht</b> .....   | P1 |
| 1.1 Europäische Union, Europäische Gemeinschaften<br>und Mitgliedstaaten ..... | P1 |

|          |   |     |
|----------|---|-----|
| 1.2      | Unionsorgane . . . . .  | P2  |
|          | 1.2.1 Europäischer Rat – 1.2.2 Der Rat – 1.2.3 Kommission –<br>1.2.4 Europäisches Parlament – 1.2.5 Europäischer Gerichtshof – 1.2.6 Ausschüsse –<br>1.2.7 Europäische Investitionsbank   |     |
| 1.3      | Rechtsetzung . . . . .  | P3  |
|          | 1.3.1 Verordnungen (Art. 288 Abs. 2 AEUV) – 1.3.2 Richtlinien (Art. 288 Abs. 3<br>AEUV) – 1.3.3 Beschlüsse (Art. 288 Abs. 4 AEUV) – 1.3.4 Empfehlungen und<br>Stellungnahmen (Art. 288 Abs. 5 AEUV) – 1.3.5 Sonstige Rechtsakte   |     |
| 1.4      | Grundfreiheiten . . . . .   | P5  |
|          | 1.4.1 Grundschema der Grundfreiheiten – 1.4.2 Die Warenverkehrsfreiheit –<br>1.4.3 Arbeitnehmerfreizügigkeit – 1.4.4 Niederlassungsfreiheit – 1.4.5 Freier<br>Dienstleistungsverkehr – 1.4.6 Kapitalverkehrsfreiheit – 1.4.7 Wettbewerbsfreiheit  |     |
| 1.5      | Diskriminierungsverbot . . . . .  | P9  |
| 1.6      | Grundrechte . . . . .   | P9  |
| <b>2</b> | <b>Staatsrecht</b> . . . . .  | P10 |
| 2.1      | Rangordnung der Rechtsquellen . . . . .   | P10 |
| 2.2      | Die Grundrechte . . . . .   | P10 |
|          | 2.2.1 Allgemeines – 2.2.2 Prüfung der Verletzung eines Freiheitsrechts – 2.2.3 Die<br>Grundrechtsprüfung am Beispiel der Berufsfreiheit – 2.2.4 Die Eigentumsgarantie<br>gemäß Art. 14 GG – 2.2.5 Grundrechtliche Schutzpflichten: Art. 2 Abs. 2 S. 1 GG                                  |     |
| 2.3      | Staatsstrukturprinzipien des Grundgesetzes . . . . .  | P12 |
| 2.4      | Die Gesetzgebung des Bundes . . . . .   | P13 |
| 2.5      | Der Verwaltungsaufbau . . . . .   | P13 |
| <b>3</b> | <b>Verwaltungsrecht</b> . . . . .   | P13 |
| 3.1      | Das Verwaltungsrecht . . . . .  | P13 |
| 3.2      | Die Handlungsformen der Verwaltung . . . . .  | P13 |
| 3.3      | Abgrenzung des öffentlich-rechtlichen vom privatrechtlichen Handeln<br>der Verwaltung . . . . .   | P14 |
| 3.4      | Der Verwaltungsakt . . . . .  | P14 |
|          | 3.4.1 Definition – 3.4.2 Begriffsmerkmale des Verwaltungsaktes (VA) –<br>3.4.3 Die Nebenbestimmung – 3.4.4 Die formelle Rechtmäßigkeit<br>des Verwaltungsaktes – 3.4.5 Die materielle Rechtmäßigkeit des Verwaltungsaktes –<br>3.4.6 Aufhebung von Verwaltungsakten nach Unanfechtbarkeit |     |
| 3.5      | Weitere Grundbegriffe des Verwaltungsrechts . . . . .   | P16 |
|          | 3.5.1 Ermessen – 3.5.2 Unbestimmter Rechtsbegriff – 3.5.3 Subjektiv-öffentliches Recht  |     |
| 3.6      | Der öffentlich-rechtliche Vertrag . . . . .   | P17 |
| <b>4</b> | <b>Anlagenzulassungsrecht</b> . . . . .   | P17 |
| 4.1      | System . . . . .  | P17 |
| 4.2      | Begriffe . . . . .  | P18 |
|          | 4.2.1 Anlage – 4.2.2 Emissionen/Immissionen – 4.2.3 Luftverunreinigungen –<br>4.2.4 Schädliche Umwelteinwirkungen – 4.2.5 Stand der Technik   |     |
| 4.3      | Verfahren . . . . .   | P19 |
|          | 4.3.1 Verlauf des Verfahrens – 4.3.2 Präklusion   |     |
| <b>5</b> | <b>Abfallrecht</b> . . . . .  | P20 |
| 5.1      | Abfallbegriff . . . . .   | P20 |
| 5.2      | Objektiver Abfallbegriff . . . . .  | P20 |
| 5.3      | Verwertung und Beseitigung . . . . .  | P20 |
| 5.4      | Abfallhierarchie . . . . .  | P21 |
| 5.5      | Betriebsorganisation und Beauftragter für Abfall . . . . .  | P21 |
| <b>6</b> | <b>Strafrecht</b> . . . . .   | P21 |
| 6.1      | Haftung für Handlungen von untergeordneten Mitarbeitern . . . . .   | P21 |
|          | 6.1.1 Vorsätzliches Verhalten der Unternehmensleitung – 6.1.2 Fahrlässiges Handeln<br>der Unternehmensleitung   |     |
| 6.2      | Organ- und Vertreterhaftung bei Sonderdelikten . . . . .  | P22 |

|          |   |     |
|----------|---|-----|
| <b>7</b> | <b>Zivilrecht</b> .....   | P23 |
| 7.1      | Wesen und Vorgehen .....  | P23 |
| 7.2      | Die Vertragsentstehung .....  | P23 |
| 7.3      | Der Kaufvertrag .....   | P24 |
| 7.4      | Werkvertrag .....   | P24 |
| <b>8</b> | <b>Arbeitsrecht</b> .....   | P25 |
| <b>9</b> | <b>Handels-, Gesellschafts- und öffentliches Wirtschaftsrecht</b> ..... | P26 |
|          | <b>Literatur</b> .....  | P26 |



## Patente

J. Schade, V. Winterfeldt

|          |   |     |
|----------|---|-----|
| <b>1</b> | <b>Gewerbliche Schutzrechte</b> .....   | Q1  |
| 1.1      | Technische Schutzrechte .....   | Q1  |
| 1.2      | Patente und Wirtschaft .....  | Q1  |
|          | 1.2.1 Informationsgehalt von Patenten – 1.2.2 Anmeldestatistik und -analyse   |     |
| 1.3      | Patentämter .....   | Q3  |
|          | 1.3.1 Deutsches Patent- und Markenamt (DPMA) – 1.3.2 Europäisches Patentamt (EPA) – 1.3.3 Das Internationale Büro der WIPO  |     |
| <b>2</b> | <b>Patente</b> .....  | Q4  |
| 2.1      | Grundvoraussetzungen der Patentfähigkeit .....  | Q4  |
|          | 2.1.1 Technischer Charakter der Erfindung – 2.1.2 Neuheit – 2.1.3 Erfinderische Tätigkeit – 2.1.4 Gewerbliche Anwendbarkeit – 2.1.5 Schutz von biotechnologischen Erfindungen         |     |
| 2.2      | Die Patentanmeldung .....   | Q5  |
| 2.3      | Recherche .....   | Q6  |
| 2.4      | Prüfungsverfahren vor dem Patentamt .....   | Q6  |
|          | 2.4.1 Klassifizierung, Offensichtlichkeitsprüfung und Offenlegung – 2.4.2 Materielle Prüfung auf Patentfähigkeit – 2.4.3 Beschwerde gegen Entscheidungen der Prüfungsstellen des DPMA |     |
| 2.5      | Einspruchsverfahren .....   | Q9  |
| 2.6      | Gültigkeitszeitraum .....   | Q9  |
|          | 2.6.1 Schutzdauer – 2.6.2 Ergänzende Schutzzertifikate – 2.6.3 Erlöschen  |     |
| 2.7      | Jahresgebühren und Zahlungserleichterungen .....  | Q10 |
| 2.8      | Verfügungen über das Patent und Lizenzvereinbarungen .....  | Q10 |
| 2.9      | Wirkungen des Patents und Patentverletzung .....  | Q11 |
| 2.10     | Nichtigkeitsverfahren .....   | Q11 |
| <b>3</b> | <b>Europäisches Patentrecht</b> .....   | Q12 |
| 3.1      | Die europäische Patentanmeldung .....   | Q13 |
| 3.2      | Das europäische Verfahren .....   | Q13 |
| 3.3      | Das erteilte Europäische Patent .....   | Q14 |
| <b>4</b> | <b>Entwurf eines Gemeinschaftspatents</b> .....   | Q14 |
| <b>5</b> | <b>Internationaler Patentzusammenarbeitsvertrag (PCT)</b> .....   | Q15 |
| 5.1      | Die PCT-Anmeldung .....   | Q15 |
| 5.2      | Das PCT-Verfahren .....   | Q16 |
| <b>6</b> | <b>Gebrauchsmuster</b> .....  | Q17 |
| 6.1      | Grundvoraussetzungen der Schutzfähigkeit .....  | Q17 |
| 6.2      | Anmeldung und Eintragung .....  | Q18 |
| 6.3      | Wirkungen und Laufzeit .....  | Q18 |
| <b>7</b> | <b>Arbeitnehmererfindungsrecht</b> .....  | Q18 |
| 7.1      | Freie und gebundene Erfindungen .....   | Q18 |



|     |                                       |     |
|-----|---------------------------------------|-----|
| 7.2 | Meldung und Inanspruchnahme . . . . . | Q19 |
| 7.3 | Pflichten des Arbeitgebers . . . . .  | Q19 |
| 7.4 | Vergütungsanspruch . . . . .          | Q20 |
| 7.5 | Streitigkeiten . . . . .              | Q21 |
|     | <b>Literatur</b> . . . . .            | Q21 |



**Sachverzeichnis**



<http://www.springer.com/978-3-642-22849-0>

HÜTTE - Das Ingenieurwissen

Czichos, H.; Hennecke, M.; Akademischer Verein Hütte  
e.V. (Hrsg.)

2012, LV, 1968 S. 1811 Abb., Hardcover

ISBN: 978-3-642-22849-0