

# 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 – 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 – 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	Singulärwertzerlegung	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 Zufallseignis	A147
38.2	Kombinatorik	A147
38.3	Wahrscheinlichkeit von Zufallseignissen	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 einer diskreten Zufallsvariablen	A152
39.3	Wahrscheinlichkeitsdichte- und Verteilungsfunktion einer stetigen Zufallsvariablen	A153
39.4	Kenngrößen von Wahrscheinlichkeitsverteilungen	A153
	39.4.1 $\alpha$ -Quantil – 39.4.2 Erwartungswert einer Funktion einer Zufallsgröße – 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>	A173
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>	A177
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>	A179
	<b>Literatur</b>	A180



## Physik

H. Niedrig, M. Sternberg

<b>0</b>	<b>Übersicht</b>	B1
<b>1</b>	<b>Physikalische Größen und Einheiten</b>	B2
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>	B7
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>	B15
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> . . . . .	B23
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> . . . . .	B29
5.1	Kinematik der harmonischen Bewegung . . . . .	B29
5.2	Der ungedämpfte, harmonische Oszillator . . . . .	B30
	5.2.1 Mechanische harmonische Oszillatoren – 5.2.2 Schwingungsgleichung und Schwingungsenergie des harmonischen Oszillators	
5.3	Freie gedämpfte Schwingungen . . . . .	B34
	5.3.1 Periodischer Fall (Schwingfall) – 5.3.2 Aperiodischer Grenzfall – 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> . . . . .	B48
6.1	Schwerpunkt (Massenzentrum), Impuls und Drehimpuls von Teilchensystemen . . . . .	B49
	6.1.1 Schwerpunktbewegung ohne äußere Kräfte – 6.1.2 Schwerpunktbewegung 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 eines Teilchensystems	
6.3	Stöße . . . . .	B54
	6.3.1 Zentraler elastischer Stoß – 6.3.2 Nichtzentraler elastischer Stoß – 6.3.3 Unelastischer Stoß	
<b>7</b>	<b>Dynamik starrer Körper</b> . . . . .	B59
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> . . . . .	B65
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 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 – 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 – 3.1.4 Elektronegativität	
3.2	Ionenbindung	C11
	3.2.1 Gitterenergie – 3.2.2 Born-Haber'scher Kreisprozess – 3.2.3 Atom- und Ionenradien	
3.3	Metallische Bindung	C12
3.4	Van-der-Waals'sche Bindung und Wasserstoffbrückenbindung (Nebenvaleanzbindungen)	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 – 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 (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 Zustandsgleichung idealer Gase – 5.1.4 Reale Gase – 5.1.5 Die Virialgleichung – 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 – 5.2.3 Eigenschaften des flüssigen Wassers – 5.2.4 Gläser – 5.2.5 Flüssige Kristalle oder Flüssigkristalle	
5.3	Festkörper . . . . .	C26
	5.3.1 Kristalle – 5.3.2 Bindungszustände in Kristallen – 5.3.3 Reale Kristalle – 5.3.4 Grenzflächen	
5.4	Plasmen . . . . .	C30
<b>6</b>	<b>Thermodynamik chemischer Reaktionen. 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 Reaktionen . . . . .	C31
	6.2.1 Der 1. Hauptsatz der Thermodynamik – 6.2.2 Die Reaktionsenergie – 6.2.3 Die Reaktionsenthalpie – 6.2.4 Der Heß'sche Satz – 6.2.5 Die Standardbildungsenthalpie von Verbindungen – 6.2.6 Temperatur- und Druckabhängigkeit der Reaktionsenthalpie	
6.3	Anwendung des 2. und 3. Hauptsatzes der Thermodynamik auf chemische Reaktionen . . . . .	C35
	6.3.1 Grundlagen – 6.3.2 Reaktionsentropie – 6.3.3 Die Freie Enthalpie und das chemische Potential – 6.3.4 Die Freie Reaktionsenthalpie. Die Gibbs-Helmholtz'sche Gleichung – 6.3.5 Phasenstabilität	
6.4	Das Massenwirkungsgesetz . . . . .	C38
	6.4.1 Chemisches Gleichgewicht – 6.4.2 Homogene Gasreaktionen – 6.4.3 Heterogene Reaktionen – 6.4.4 Berechnung von Gleichgewichtskonstanten aus thermochemischen Tabellen – 6.4.5 Temperaturabhängigkeit der Gleichgewichtskonstante – 6.4.6 Prinzip 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 – 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 Gefrierpunktserniedrigung 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 und Basen – 8.7.3 Der pH-Wert – 8.7.4 pH-Wert der Lösung einer starken Säure bzw. Base – 8.7.5 pH-Wert der Lösung einer schwachen Säure bzw. Base – 8.7.6 pH-Wert 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 – 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- abhängigkeit des Elektrodenpotenzials einer Halbzelle – 9.5.3 Berechnung der EMK 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 Zirkonium	
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 (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> . . . . .	C86
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> . . . . .	C101
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> . . . . .	C111
<b>Literatur</b> . . . . .	C111



## Werkstoffe

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

<b>1 Übersicht</b> . . . . .	D1
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> . . . . .	D5
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 – 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 – 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 Silikatkeramik – 4.3.3 Oxidkeramik – 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 – 9.2.4 Kriechen und Zeitstandverhalten – 9.2.5 Ermüdung und Wechselfestigkeit – 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 – 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> . . . . .	D78
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 – 10.5.3 Materialschutz gegen Organismen	
10.6	Tribologie . . . . .	D85
10.6.1	Reibung – 10.6.2 Verschleiß – 10.6.3 Verschleißmechanismen – 10.6.4 Verschleißschutz	
10.7	Methodik der Schadensanalyse . . . . .	D89
<b>11</b>	<b>Materialprüfung</b> . . . . .	D89
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 – 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 – 11.5.3 Härteprüfungen – 11.5.4 Technologische Prüfungen	
11.6	Zerstörungsfreie Prüfverfahren . . . . .	D98
11.6.1	Akustische Verfahren: Ultraschallprüfung, Schallemissionsanalyse – 11.6.2 Elektrische und magnetische Verfahren – 11.6.3 Radiografie und Computertomografie	
11.7	Komplexe Prüfverfahren . . . . .	D100
11.7.1	Bewitterungsprüfungen – 11.7.2 Korrosionsprüfungen – 11.7.3 Tribologische 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> . . . . .	D104
12.1	Strukturmaterialeien . . . . .	D104
12.2	Funktionsmaterialien . . . . .	D104
12.3	Festigkeitsbezogene Auswahlkriterien . . . . .	D105
12.4	Systemmethodik zur Materialauswahl . . . . .	D105
<b>13</b>	<b>Referenzmaterialien und Referenzverfahren</b> . . . . .	D107
<b>Literatur</b>	. . . . .	D108



## 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 –	
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	
2.1.4	Resultierende von Kräften mit gemeinsamem Angriffspunkt –	
2.1.5	Reduktion von Kräftesystemen – 2.1.6 Ebene Kräftesysteme – 2.1.7 Schwerpunkt,	
2.1.8	Massenmittelpunkt – 2.1.8 Das 3. Newton'sche Axiom „ $actio = reactio$ “ – 2.1.9 Innere	
2.1.10	Kräfte und äußere Kräfte – 2.1.10 Eingeprägte Kräfte und Zwangskräfte –	
2.1.11	Gleichgewichtsbedingungen für einen starren Körper – 2.1.12 Schnittprinzip –	
2.1.13	Arbeit, Leistung – 2.1.14 Potenzialkraft, Potenzielle Energie – 2.1.15 Virtuelle	
2.1.16	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 –	
2.2.3	Berechnung von Lagerreaktionen	
2.3	Fachwerke	E26
2.3.1	Statische Bestimmtheit – 2.3.2 Nullstäbe – 2.3.3 Knotenschnittverfahren –	
2.3.4	Ritter'sches Schnittverfahren für ebene Fachwerke – 2.3.5 Prinzip der virtuellen	
2.3.6	Arbeit – 2.3.6 Methode der Stabvertauschung	
2.4	Ebene Seil- und Kettenlinien	E27
2.4.1	Gewichtsloses Seil mit Einzelgewichten – 2.4.2 Schwere Gliederkette –	
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	
3.1.4	Axiome – 3.1.4 Impulssatz, Impulserhaltungssatz – 3.1.5 Kinetik der Punktmasse im	
3.1.6	beschleunigten Bezugssystem – 3.1.6 Trägheitsmomente, Trägheitstensor – 3.1.7 Drall –	
3.1.8	Drallsatz (Axiom von Euler) – 3.1.9 Drallerhaltungssatz – 3.1.10 Kinetische	
3.1.11	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 –	
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	
3.3.3	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
4	<b>Schwingungen</b>	E51
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	
5	<b>Festigkeitslehre. Elastizitätstheorie</b>	E71
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	Festigkeithypothesen	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	<b>Plastizitätstheorie. Bruchmechanik</b>	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 Ermüdungsrissausbreitung	
6.5	Zusammenwirken von Festigkeitsberechnung und Bruchmechanik	E146

## Strömungsmechanik

J. Zierep, K. Bühler

7	<b>Einführung in die Strömungsmechanik</b>	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	<b>Hydrodynamik: Inkompressible Strömungen mit und ohne Viskositätseinfluss</b>	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 –	
	8.3.3 Lösungseigenschaften der Navier-Stokes'schen Gleichungen – 8.3.4 Spezielle	
	Lösungen für laminare Strömungen – 8.3.5 Turbulente Strömungen –	
	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 –	
	9.2.3 Schallgeschwindigkeit – 9.2.4 Senkrechter Stoß – 9.2.5 Schiefer Stoß –	
	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 –	
	9.5.3 Prandtl-Meyer-Expansion [16, 17] – 9.5.4 Düsenströmungen –	
	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	
	der Thermodynamik	
1.2	Fundamentalgleichungen . . . . .	F4
	1.2.1 Innere Energie – 1.2.2 Spezifische, molare und partielle molare Größen –	
	1.2.3 Legendre-Transformierte der inneren Energie	
1.3	Gleichgewichte . . . . .	F7
	1.3.1 Extremalbedingungen – 1.3.2 Notwendige Gleichgewichtsbedingungen –	
	1.3.3 Stabilitätsbedingungen und Phasenzерfall	
1.4	Messung der thermodynamischen Temperatur . . . . .	F11
1.5	Bilanzgleichungen der Thermodynamik . . . . .	F13
	1.5.1 Stoffmengen- und Massenbilanzen – 1.5.2 Energiebilanzen –	
	1.5.3 Entropiebilanzen, Bernoulli'sche Gleichung	
1.6	Energieumwandlung . . . . .	F18
	1.6.1 Beispiele stationärer Energiewandler, Kreisprozesse – 1.6.2 Wertigkeit	
	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 –	
	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- Umwandlung	
3.2	Strom- und Spannungsberechnung in linearen Netzen . . . . .	G13
	3.2.1 Der Überlagerungssatz (Superpositionsprinzip) – 3.2.2 Ersatz-Zweipolquellen – 3.2.3 Maschen- und Knotenanalyse	
3.3	Vierpole . . . . .	G19
	3.3.1 Vierpolgleichungen in der Leitwertform – 3.3.2 Vierpolgleichungen 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 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 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- und streuungsfreier Transformator – 6.2.4 Idealer Transformator – 6.2.5 Streufaktor 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 (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 (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 – 8.2.2 Verstärkungskennlinie des Operationsverstärkers	
8.3	Graphische Lösung durch Schnitt zweier Kennlinien . . . . .	G35
	8.3.1 Arbeitsgerade und Verbraucherkennlinie – 8.3.2 Stabile und instabile Arbeitspunkte einer Schaltung mit nichtlinearem Zweipol – 8.3.3 Rückkopplung 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 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 –	
20.4.3	Fehlererkennung und Fehlerkorrektur	
<b>21</b>	<b>Beschreibungsweisen . . . . .</b>	<b>G97</b>
21.1	Signalfilterung, Korrelation . . . . .	G97
21.1.1	Reichweite des Filterungsbegriffes – 21.1.2 Lineare und nichtlineare	
21.1.3	Verzerrungen – 21.1.3 Redundanzverteilung in Mustern – 21.1.4 Kreuz-	
21.1.5	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	
21.2.3	Zusammenhänge – 21.2.3 Parallele und serielle Bearbeitung	
<b>22</b>	<b>Aufbereitungsverfahren . . . . .</b>	<b>G99</b>
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 –	
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-	
22.3.3	und Restseitenbandmodulation – 22.3.3 Frequenz- und Phasenmodulation –	
22.3.4	Zeitkontinuierliche Umtastmodulation – 22.3.5 Kontinuierliche Pulsmodulation –	
22.3.6	Pulscod-, Delta- und Sigma-Delta Modulation	
22.4	Raum-, Frequenz- und Zeitmultiplex . . . . .	G108
22.4.1	Baum- und Matrixstruktur – 22.4.2 Durchschalt- und Speicherverfahren –	
22.4.3	Zugänglichkeit und Blockierung – 22.4.4 Trägerfrequenzverfahren –	
22.4.5	Geschlossene und offene Systeme – 22.4.6 Zeitschlitz-	
22.4.6	und Amplitudenauswertung	
<b>23</b>	<b>Signalübertragung . . . . .</b>	<b>G111</b>
23.1	Kanaleigenschaften, Übertragungsrate . . . . .	G111
23.1.1	Eigenschaften, Verzerrungen, Entzerrung – 23.1.2 Nutzungsgrad	
23.1.2	und Kompressionssysteme	
23.2	Leitungsgebundene Übertragungswege . . . . .	G112
23.2.1	Symmetrische und unsymmetrische Leitungen – 23.2.2 Hohlleiter-	
23.2.3	und Glasfaserarten – 23.2.3 Kabelnetze	
23.3	Datennetze, integrierte Dienste . . . . .	G114
23.3.1	Netzgestaltung, Vermittlungsprotokoll – 23.3.2 Fernschreiben,	
23.3.3	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,	
23.4.3	Systemparameter – 23.4.3 Ton- und Fernschrundfunk – 23.4.4 Stationärer und mobiler	
23.4.4	Sprechfunk	
<b>24</b>	<b>Signalverarbeitung . . . . .</b>	<b>G117</b>
24.1	Detektionsverfahren, Funkmessung . . . . .	G117
24.1.1	Detektionsprinzipien, Auflösungsgrenze – 24.1.2 Aussteuerung	
24.1.3	und Verzerrungen – 24.1.3 Amplituden- und Frequenzdemodulation –	
24.1.4	Pulsdemodulation, Augendiagramm – 24.1.5 Funkmessprinzip und	
24.1.5	Signalauswertung	
24.2	Signalrekonstruktion, Signalspeicherung . . . . .	G120
24.2.1	Systemadaption und Umsetzalgorithmen – 24.2.2 Speicherdichte, Schreib-	
24.2.3	und Leserate – 24.2.3 Flüchtige und remanente Speicherung – 24.2.4 Magnetische,	
24.2.4	elektrische und optische Speicher	
24.3	Signalverarbeitung und Signalvermittlung . . . . .	G122
24.3.1	Strukturen für die Verarbeitung analoger und digitaler Signale –	
24.3.2	Signalauswertung und Parametersteuerung – 24.3.3 Rekursion, Adaption,	
24.3.3	Stabilität, Verklemmung – 24.3.4 Netzarten, Netzführung, Ausfallverhalten –	
24.3.4	Belegungsdichte, Verlust und Wartezeitsysteme	



*Elektronik*

K. Hoffmann, W. Mathis, G. Wiesemann

<b>25</b>	<b>Analoge Grundsaltungen</b> . . . . .	G125
25.1	Passive Netzwerke (RLC-Schaltungen) . . . . .	G125
25.1.1	Tief- und Hochpassschaltung – 25.1.2 Differenzier- und Integrierglieder –	
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 –	
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	
	Großsignalverstärker (A- und B-Betrieb) und Sinusoszillatoren – 25.3.4 Nichtlineare	
	Großsignalverstärker, Flip-Flop und Relaxationsoszillatoren	
25.4	Operationsverstärker . . . . .	G143
25.4.1	Verstärkung – 25.4.2 Idealer und realer Operationsverstärker –	
25.4.3	Komparatoren – 25.4.4 Anwendungen des Umkehrverstärkers –	
25.4.5	Anwendungen des Elektrometerversärkers – 25.4.6 Mitkopplungsschaltungen	
	(Schmitt-Trigger)	
<b>26</b>	<b>Digitale Grundsaltungen</b> . . . . .	G151
26.1	Gatter . . . . .	G151
26.1.1	Diodengatter – 26.1.2 Der Transistor als Inverter – 26.1.3 DTL-Gatter –	
26.1.4	TTL-Gatter – 26.1.5 Schaltkreisfamilien (Übersicht) – 26.1.6 Beispiele digitaler	
	Schaltnetze	
26.2	Ein-Bit-Speicher . . . . .	G157
26.2.1	Einfache Kippschaltungen – 26.2.2 Getaktete SR-Flipflops – 26.2.3 Flipflops	
	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	
	in Halbleitern – 27.1.4 Ausgleichsvorgänge bei der Injektion von Ladungsträgern	
27.2	Halbleiterdioden . . . . .	G167
27.2.1	Aufbau und Wirkungsweise des PN-Überganges –	
27.2.2	Der PN-Übergang in Flusspolung – 27.2.3 Der PN-Übergang in Sperrpolung –	
27.2.4	Durchbruchmechanismen – 27.2.5 Kennliniengleichung des PN-Überganges –	
27.2.6	Zenerdioden – 27.2.7 Tunneldioden – 27.2.8 Kapazitätsdioden („Varaktoren“) –	
27.2.9	Leistungsgleichrichterdioden, PIN-Dioden – 27.2.10 Mikrowellendioden,	
	Rückwärtsdioden	
27.3	Bipolare Transistoren . . . . .	G172
27.3.1	Prinzip und Wirkungsweise – 27.3.2 Universaltransistoren.	
	Kleinleistungstransistoren – 27.3.3 Schalttransistoren	
27.4	Halbleiterleistungsbauelemente . . . . .	G175
27.4.1	Der Thyristor – 27.4.2 Der abschaltbare Thyristor – 27.4.3 Zweirichtungs-	
	Thyristordiode (Diac) – 27.4.4 Bidirektionale Thyristordiode (Triac)	
27.5	Feldeffektbauelemente . . . . .	G178
27.5.1	Sperrschicht-Feldeffekt-Transistoren (Junction-FET, PN-FET, MSFET	
	oder JFET) – 27.5.2 Feldeffekttransistoren mit isoliertem Gate (IG-FET, MISFET,	
	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	
	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>	<b>H1</b>
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>	<b>H15</b>
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>	<b>H21</b>
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 Temperaturlaufnehmer – 3.5.4 Strahlungsthermometer (Pyrometer)	

3.6	Mikrosensorik . . . . .	H44
	3.6.1 Herstellungstechnologien – 3.6.2 Mikrosensoren für mechanische Größen – 3.6.3 Mikrosensoren für Temperatur – 3.6.4 Mikrosensoren für (bio)chemische Größen – 3.6.5 Mikrosensoren für magnetische Größen	
3.7	Sensorspezifische Messsignalverarbeitung . . . . .	H47
	3.7.1 Analoge Messsignalverarbeitung – 3.7.2 Inkrementale Messsignalverarbeitung – 3.7.3 Digitale Grundverknüpfungen und Grundfunktionen – 3.7.4 Physikalische Modellfunktionen für einen Sensor – 3.7.5 Skalierung und Linearisierung von Sensorkennlinien durch Interpolation – 3.7.6 Interpolation von Sensorkennlinien mit kubischen Splines – 3.7.7 Ausgleichskriterien zur Approximation von Sensorkennlinien – 3.7.8 Korrektur von Einflusseffekten auf Sensorkennlinien – 3.7.9 Dynamische Korrektur von Sensoren	
4	Messschaltungen und Messverstärker . . . . .	H53
4.1	Signalumformung mit verstärkerlosen Messschaltungen . . . . .	H53
	4.1.1 Strom-Spannungs-Umformung mit Messwiderstand – 4.1.2 Spannungsteiler 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 Stromkompensation – 4.2.3 Messbrücken im Ausschlagverfahren (Teilkompensation) – 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 als reine Nullverstärker – 4.3.3 Das Prinzip der Gegenkopplung am Beispiel des reinen Spannungsverstärkers – 4.3.4 Die vier Grundsaltungen gegengekoppelter Messverstärker	
4.4	Ausgewählte Messverstärker-Schaltungen . . . . .	H63
	4.4.1 Vom Stromverstärker mit Spannungsausgang zum Invertierer – 4.4.2 Aktive Brückenschaltung – 4.4.3 Addier- und Subtrahierverstärker – 4.4.4 Der Elektrometervverstärker (Instrumentation Amplifier) – 4.4.5 Präzisionsgleichrichtung – 4.4.6 Aktive Filter – 4.4.7 Ladungsverstärker – 4.4.8 Integrationsverstärker für Spannungen	
5	Analoge Messtechnik . . . . .	H67
5.1	Analoge Messwerke . . . . .	H67
	5.1.1 Prinzip des linearen Drehspulmesswerks – 5.1.2 Statische Eigenschaften des linearen Drehspulmesswerks	
5.2	Funktionsbildung und Verknüpfung mit Messwerken . . . . .	H69
	5.2.1 Kermagnetmesswerk mit radialem Sinusfeld – 5.2.2 Quotientenbestimmung mit Kreuzspulmesswerken – 5.2.3 Bildung von linearen Mittelwerten und Extremwerten – 5.2.4 Bildung von quadratischen Mittelwerten – 5.2.5 Multiplikation mit 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 Verlaufs periodischer Messsignale – 5.3.3 Blocksaltbild eines Oszilloskops in Standardausführung – 5.3.4 Anwendung eines Oszilloskops im x,y-Betrieb – 5.3.5 Frequenzkompensierter Eingangsteiler	
6	Digitale Messtechnik . . . . .	H79
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 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 – 6.3.3 Digitale Zeitmessung – 6.3.4 Digitale Frequenzmessung – 6.3.5 Auflösung und Messzeit bei der Periodendauer- bzw. Frequenzmessung – 6.3.6 Reziprokwertbildung und Multiperiodendauermessung	

6.4	Analog-Digital-Umsetzung über Zeit oder Frequenz als Zwischengrößen . . . . .	H86
6.4.1	Charge-balancing-Umsetzer – 6.4.2 Dual-slope-Umsetzer – 6.4.3 Integrierende 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 – 6.5.3 Digital-Analog-Umsetzer mit Widerstandskettenleiter – 6.5.4 Nachlaufumsetzer mit 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 verteilten Parametern – 2.2.3 Zeitvariante und zeitinvariante Systeme – 2.2.4 Systeme mit kontinuierlicher und diskreter Arbeitsweise – 2.2.5 Systeme mit deterministischen oder stochastischen Variablen – 2.2.6 Kausale Systeme – 2.2.7 Stabile und instabile 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 (Impulsantwort) – 3.2.3 Das Faltungsintegral (Duhamel'sches Integral)	
3.3	Zustandsraumdarstellung . . . . .	I12
3.3.1	Zustandsraumdarstellung für Eingrößensysteme – 3.3.2 Zustandsraumdarstellung für Mehrgrößensysteme	
<b>4</b>	<b>Beschreibung linearer kontinuierlicher Systeme 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 Rechnen mit Übertragungsfunktionen – 4.3.4 Zusammenhang zwischen $G(s)$ und der 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 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 (I-Glied) – 4.5.3 Das differenzierende Glied (D-Glied) – 4.5.4 Das Verzögerungsglied 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-Guillemine – 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 Fünfbefehlrechner (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 Vorgehensschritte	
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 – 4.5.3 Kettengetriebe – 4.5.4 Riemengetriebe – 4.5.5 Reibradgetriebe – 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 (Hydrogetriebe) – 4.6.3 Hydrodynamische Getriebe (Föttinger-Getriebe) – 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- und Regelorgane (Armaturen) – 4.7.4 Allgemeine Anwendungsrichtlinien	
4.8	Dichtungen . . . . .	K72
	4.8.1 Funktionen und generelle Wirkungen – 4.8.2 Berührungsfreie Dichtungen zwischen relativ bewegten Teilen – 4.8.3 Berührungsdichtungen zwischen relativ bewegten Teilen (Dynamische Dichtungen) – 4.8.4 Berührungsdichtungen zwischen ruhenden Teilen (Statische Dichtungen) – 4.8.5 Membrandichtungen zwischen relativ bewegten Bauteilen – 4.8.6 Anwendungsrichtlinien	
5	Konstruktionsmittel . . . . .	K75
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

6	Anthropotechnisches Basiswissen für Mensch-Maschine-Wechselwirkungen . . . . .	K80
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 (insbesondere Richtlinien, Normen) . . . . .	K95
	Literatur . . . . .	K99



### **Produktion**

G. Spur

1	Grundlagen . . . . .	L1
1.1	Produktionsfaktoren . . . . .	L1
1.2	Produktionssysteme . . . . .	L2
1.3	Produktivität . . . . .	L3
1.4	Produktionstechnik . . . . .	L3
2	Rohstoffgewinnung und -erzeugung durch Urproduktion . . . . .	L4
2.1	Biotische und abiotische Rohstoffe . . . . .	L4
2.2	Energierohstoffe und Güterrohstoffe . . . . .	L4
2.3	Erschließen und Gewinnen . . . . .	L6
2.4	Aufbereiten . . . . .	L7
3	Stoffwandlung durch Verfahrenstechnik . . . . .	L7
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>	<b>L13</b>
4.1	Fertigungsverfahren und Fertigungssysteme: Übersicht . . . . .	L13
	4.1.1 Einteilung der Fertigungsverfahren – 4.1.2 Fertigungsgenauigkeit – 4.1.3 Fertigungssysteme und Fertigungsprozesse – 4.1.4 Integrierte flexible 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 – 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 – 4.4.5 Hobeln, Stoßen, Räumen, Sägen – 4.4.6 Schleifen – 4.4.7 Honen – 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>	<b>L46</b>
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>	<b>L51</b>
6.1	Aufgaben . . . . .	L51
6.2	Informationsfluss . . . . .	L52
6.3	Rechnerintegrierter Fabrikbetrieb . . . . .	L53
	<b>Literatur . . . . .</b>	<b>L55</b>



## Betriebswirtschaft

W. Plinke, M. Rese

<b>1</b>	<b>Gegenstand der Betriebswirtschaftslehre . . . . .</b>	<b>M1</b>
<b>2</b>	<b>Das Grundmodell der Betriebswirtschaftslehre . . . . .</b>	<b>M2</b>
<b>3</b>	<b>Konstitutive Entscheidungen . . . . .</b>	<b>M2</b>
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>	<b>M8</b>
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 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 als handlungsleitenden Rahmen gestalten .....	N22
5.3	Herausforderung: Wissensintensivierung und Kompetenzentwicklung .	N23
5.4	Herausforderungen des demographischen Wandels 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>	O1
1.1 Normung: eine technischwissenschaftliche und wirtschaftliche Optimierung	O1
1.2 DIN Deutsches Institut für Normung e.V.: Grundsätze der Normungsarbeit	O1
1.3 DIN-Normen: Verfahren zu ihrer Erarbeitung	O2
1.4 DIN-Normen: Rechtliche Bedeutung	O3
1.5 Neuartige Erfordernisse zur Erstellung technischer Regeln	O4
1.6 Entwicklungsbegleitende Normung	O5
1.7 Verfahren zur Erstellung von DIN-Spezifikationen – DIN SPEC	O6
<b>2 Internationale und Europäische Normung</b>	O6
2.1 Internationale Normung	O6
2.2 Europäische Normung	O7
2.3 Übernahme Internationaler Normen in das Deutsche Normenwerk	O8
<b>3 Ergebnisse der Normung</b>	O9
3.1 Terminologie	O10
3.2 Sicherheit	O10
3.3 Ergonomie	O12
3.4 Qualitätsmanagement	O12
3.5 Normung und Verbraucherschutz	O13
3.6 Konformitätsbewertung	O14
3.6.1 Zeichen – 3.6.2 CE-Kennzeichnung	
3.7 Umweltschutz	O15
3.7.1 Einleitung – 3.7.2 Prüfnormen – 3.7.3 Umweltmanagementsystem-Normen – 3.7.4 Produktnormen mit Umweltbezug	
3.8 Informationstechnik	O19
3.8.1 Standardisierung und Normung von Architekturen, Plattformen, Netzen und Schnittstellen der IT – 3.8.2 Standards und Normen für Anwendungen der IT – 3.8.3 Standards und Normen für den Lebenszyklus von IT Systemen – 3.8.4 Standards und Normen für die Sicherheit von IT Systemen – 3.8.5 Standards und Normen für Internet und Semantic Web – 3.8.6 Ausblick	
3.9 Dienstleistungs-Normung	O23
<b>Literatur</b>	O23



## Recht

W. Frenz

<b>1 Europarecht</b>	P1
1.1 Europäische Union, Europäische Gemeinschaften und Mitgliedstaaten	P1

1.2	Unionsorgane . . . . .	P2
	1.2.1 Europäischer Rat – 1.2.2 Der Rat – 1.2.3 Kommission – 1.2.4 Europäisches Parlament – 1.2.5 Europäischer Gerichtshof – 1.2.6 Ausschüsse – 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 AEUV) – 1.3.3 Beschlüsse (Art. 288 Abs. 4 AEUV) – 1.3.4 Empfehlungen und Stellungnahmen (Art. 288 Abs. 5 AEUV) – 1.3.5 Sonstige Rechtsakte	
1.4	Grundfreiheiten . . . . .	P5
	1.4.1 Grundschemata der Grundfreiheiten – 1.4.2 Die Warenverkehrsfreiheit – 1.4.3 Arbeitnehmerfreizügigkeit – 1.4.4 Niederlassungsfreiheit – 1.4.5 Freier 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 Grundrechtsprüfung am Beispiel der Berufsfreiheit – 2.2.4 Die Eigentumsgarantie 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 der Verwaltung . . . . .	P14
3.4	Der Verwaltungsakt . . . . .	P14
	3.4.1 Definition – 3.4.2 Begriffsmerkmale des Verwaltungsaktes (VA) – 3.4.3 Die Nebenbestimmung – 3.4.4 Die formelle Rechtmäßigkeit des Verwaltungsaktes – 3.4.5 Die materielle Rechtmäßigkeit des Verwaltungsaktes – 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 – 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 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

HÜTTE - Das Ingenieurwissen

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

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

ISBN: 978-3-642-22849-0