

# Inhaltsverzeichnis

Seite

<b>A</b>	<b>MECHANIK DER FESTEN KÖRPER</b> .....	1 bis 100
----------	---	-----------

	<b>Einführung in die Physik</b> .....	1 bis 6
--	---------------------------------------	---------

<b>A 1</b>	<b>Aufgaben und Methoden der Physik</b> .....	1
------------	---	---

1.1	Naturwissenschaftliche Betrachtungsweisen .....	1
1.2	Physik als eigenständige Naturwissenschaft .....	1
1.2.1	Teilgebiete und Entwicklungszeiträume der klassischen Physik .....	2
1.3	Der physikalische Erkenntnisprozess .....	2
1.3.1	Das Experiment .....	2
1.3.2	Die Induktion .....	2
1.3.3	Formulierung des physikalischen Gesetzes .....	2
1.3.4	Die Deduktion .....	2
1.4	Regeln für die physikalische Arbeit .....	3

<b>A 2</b>	<b>Physikalische Größen und ihre Einheiten</b> .....	3
------------	--	---

2.1	Die Messbarkeit der physikalischen Größen .....	3
2.2	Die Bestandteile einer physikalischen Größe .....	4
2.3	Das SI-Einheitensystem .....	4
2.3.1	Basisgrößen und Basiseinheiten .....	4
2.3.1.1	Definitionen der Basiseinheiten .....	5
2.3.2	Die abgeleiteten Größen und deren Einheiten .....	5
2.4	Umrechnung alter Einheiten in SI-Einheiten und umgekehrt .....	6

	<b>Grundlagen zur Mechanik der festen Körper</b> .....	7 bis 17
--	--	----------

<b>A 3</b>	<b>Die Körper</b> .....	7
------------	-------------------------	---

3.1	Definition des Begriffes Körper .....	7
3.2	Eigenschaften der Körper als Folge von Molekularkräften .....	7
3.2.1	Wesen der Molekularkräfte .....	7
3.2.2	Kohäsion und Adhäsion .....	7
3.2.3	Aggregatzustand als Folge der Kohäsionskräfte .....	8
3.2.4	Die Aufbauformen der Stoffe .....	8
3.2.4.1	Der kristalline Aufbau fester Stoffe .....	8
3.2.4.2	Der amorphe Aufbau fester Stoffe .....	8
3.2.5	Aggregatzustände und Eigenschaften der festen Stoffe .....	9
3.2.5.1	Die mechanischen Beanspruchungsarten .....	9

<b>A 4</b>	<b>Messungen an Körpern und Körpersystemen</b> .....	10
------------	--	----

4.1	Begriff und Technik des Messens .....	10
4.2	Wahl geeigneter Maßeinheiten .....	10
4.2.1	Dezimale Teile und Vielfache von Einheiten .....	10
4.2.2	Die Schreibweise mit Zehnerpotenzen .....	10
4.3	Das Messen der mechanischen Größen .....	11

4.3.1	Die Länge und die daraus abgeleiteten Größen .....	11
4.3.1.1	Die Längenmessung .....	11
4.3.1.2	Die Flächenmessung .....	12
4.3.1.3	Die Volumenmessung .....	12
4.3.1.4	Die Messung ebener Winkel .....	12
4.3.2	Messung der Masse .....	13
4.3.2.1	Die Dichte eines Körpers .....	14
4.3.3	Messung der Zeit .....	14
4.4	Messfehler .....	15

## **A 5 Die Teilgebiete der Mechanik .....** 15

5.1	Die Begriffe Statik, Kinematik, Kinetik und Dynamik .....	15
5.1.1	Statik .....	16
5.1.2	Kinematik .....	16
5.1.3	Kinetik .....	16
5.1.4	Dynamik .....	16
5.2	Die Bewegungskriterien fester Körper .....	16
5.3	Die Freiheitsgrade fester Körper .....	17

## **Kinematik der geradlinigen Bewegung .....** 17 bis 27

### **A 6 Gleichförmige geradlinige Bewegung .....** 17

6.1	Begriff der Geschwindigkeit .....	17
6.2	Momentan- und Durchschnittsgeschwindigkeit .....	19

### **A 7 Ungleichförmige geradlinige Bewegung .....** 20

7.1	Merkmale einer ungleichförmigen Bewegung .....	20
7.1.1	Definition der Beschleunigung .....	21
7.2	Die ungleichmäßig beschleunigte geradlinige Bewegung .....	21
7.3	Die gleichmäßig beschleunigte geradlinige Bewegung .....	21
7.3.1	Beschleunigung aus dem Ruhezustand .....	21
7.3.2	Gleichmäßige Beschleunigung bei vorhandener Anfangsgeschwindigkeit .....	22
7.4	Verzögerte geradlinige Bewegungen .....	23
7.4.1	Die gleichmäßig verzögerte Bewegung .....	23
7.5	Freier Fall und senkrechter Wurf nach oben .....	24
7.5.1	Die Fallbeschleunigung .....	25
7.6	Weitere Formeln zur gleichmäßig beschleunigten (verzögerten) Bewegung .....	26
7.6.1	Gleichmäßige Beschleunigung mit $v_0 = 0$ und gleichmäßige Verzögerung mit $v_t = 0$ .....	26
7.6.2	Gleichmäßige Beschleunigung mit $v_0 \neq 0$ und gleichmäßige Verzögerung mit $v_t \neq 0$ .....	26

## **Überlagerung verschiedener Bewegungen .....** 27 bis 34

### **A 8 Zusammensetzen von Geschwindigkeiten .....** 27

8.1	Vektoren und Skalare .....	27
-----	----------------------------	----

8.2	Das Überlagerungsprinzip bei geradlinigen Bewegungen; Vektoraddition .....	28
8.3	Das Überlagerungsprinzip bei kreisförmigen Bewegungen .....	29
8.4	Führungs-, Relativ- und Absolutgeschwindigkeit .....	30
<b>A 9</b>	<b>Freie Bewegungsbahnen .....</b>	<b>31</b>
9.1	Der Grundsatz der Unabhängigkeit .....	31
9.2	Der schiefe Wurf .....	31
9.2.1	Zerlegen eines Vektors in seine Komponenten .....	32
9.3	Der waagrechte Wurf .....	33

## Die Kraft und ihre Wirkungen ..... 34 bis 50

### A 10 Beschleunigende Wirkung der Kraft ..... 34

10.1	Das erste Newton'sche Axiom .....	34
10.2	Das zweite Newton'sche Axiom .....	35
10.2.1	Die Kräfteinheit .....	35
10.2.2	Die Gewichtskraft .....	35
10.3	Das dritte Newton'sche Axiom .....	36

### A 11 Verformende Wirkung der Kraft ..... 37

11.1	Arten der Verformung eines festen Körpers .....	37
11.1.1	Elastische Verformung .....	37
11.1.2	Plastische Verformung .....	37
11.2	Das Gesetz von Hooke .....	38
11.3	Die Messung von Kräften .....	39

### A 12 Die Kraft als Vektor ..... 39

12.1	Die Einzelkraft .....	39
12.2	Zusammensetzen von Einzelkräften .....	40

### A 13 Das Kraftmoment und seine Wirkungen ..... 41

13.1	Kraftmoment als physikalische Größe .....	41
13.2	Der Hebel .....	42
13.2.1	Hebelarten .....	42
13.2.2	Das Hebelgesetz .....	42
13.3	Der Schwerpunkt als Massenmittelpunkt .....	43
13.4	Gleichgewicht und Kippen .....	44
13.4.1	Die Gleichgewichtsarten .....	44
13.4.2	Die Standfestigkeit der Körper .....	44
13.4.3	Kippsicherheit .....	44
13.5	Kraftübersetzung mit einfachen Maschinen .....	45
13.5.1	Kraftübersetzung beim Hebel .....	45
13.5.2	Kraftübersetzung an der schiefen Ebene .....	45

### A 14 Kurzzeitig wirkende Kräfte ..... 46

14.1	Die Bewegungsgröße (Impuls) .....	46
14.1.1	Impulsänderung .....	47
14.1.2	Impulserhaltung .....	47

14.2	Der Stoß .....	48
14.2.1	Der unelastische Stoß .....	48
14.2.2	Der elastische Stoß .....	49

## **Reibung** ..... 50 bis 57

### **A 15 Reibungskräfte** ..... 50

15.1	Äußere und innere Reibung .....	50
15.2	Haft- und Gleitreibung .....	50
15.3	Das Reibungsgesetz nach Coulomb .....	51
15.3.1	Die Reibungszahl und die Berechnung der Reibungskräfte .....	51
15.3.1.1	Die Einflussparameter der Reibungszahl .....	51

### **A 16 Reibung auf der schiefen Ebene** ..... 53

16.1	Bestimmung der Reibungszahlen .....	53
16.2	Selbsthemmung .....	53

### **A 17 Das Prinzip von d'Alembert** ..... 55

17.1	Erweitertes dynamisches Grundgesetz .....	55
17.1.1	Bewegung auf horizontaler Bahn .....	55
17.1.2	Bewegung auf vertikaler Bahn .....	56
17.1.3	Bewegung auf der schiefen Ebene .....	56

## **Arbeit, Leistung, Wirkungsgrad** ..... 57 bis 72

### **A 18 Arbeit und Energie** ..... 57

18.1	Die mechanische Arbeit .....	57
18.1.1	Die zeichnerische Darstellung der mechanischen Arbeit .....	58
18.1.2	Die Arbeitskomponente und die arbeitslose Komponente der Kraft ...	58
18.2	Energiearten und Energiespeicherung .....	59
18.3	Die Gleichwertigkeit der mechanischen Arbeit und der mechanischen Energie .....	59
18.3.1	Hubarbeit und potentielle Energie .....	59
18.3.1.1	Arbeit auf der schiefen Ebene und die Goldene Regel der Mechanik .	60
18.3.2	Beschleunigungsarbeit und kinetische Energie .....	61
18.3.2.1	Umwandlung von potentieller Energie in kinetische Energie .....	61
18.4	Der Energieerhaltungssatz und Beispiele der Energieerhaltung .....	62
18.4.1	Energieerhaltung bei der Umwandlung von mechanischer Energie in Wärmeenergie und umgekehrt .....	62
18.4.2	Energieerhaltung beim wirklichen Stoß .....	63
18.5	Weitere Formen der mechanischen Arbeit .....	64
18.5.1	Die Kolbenarbeit .....	64
18.5.2	Federspannarbeit als Formänderungsarbeit .....	64
18.5.2.1	Berechnung der Federspannarbeit .....	64

### **A 19 Mechanische Leistung** ..... 66

19.1	Leistung als Funktion von Energie und Zeit .....	66
19.2	Leistung als Funktion von Kraft und Geschwindigkeit .....	67

<b>A 20</b>	<b>Reibungsarbeit und Wirkungsgrad</b> .....	<b>68</b>
20.1	Reibungsarbeit .....	68
20.2	Energieumwandlung bei der Reibung .....	69
20.2.1	Umwandlung von Reibungsarbeit in Wärme- und Schwingungsenergie .....	69
20.3	Der mechanische Wirkungsgrad .....	69
20.3.1	Der Gesamtwirkungsgrad einer Maschinenanlage .....	70
20.4	Reibleistung .....	71

## **Kinematik und Dynamik der Drehbewegung** ..... 72 bis 100

<b>A 21</b>	<b>Drehleistung</b> .....	<b>72</b>
-------------	---------------------------	-----------

21.1	Rotationsbewegung .....	72
21.2	Drehzahl und Umfangsgeschwindigkeit .....	72
21.3	Berechnung der Drehleistung bei gleichförmiger Drehbewegung .....	73
21.3.1	Berechnung der Drehleistung aus Drehmoment und Drehzahl .....	74

<b>A 22</b>	<b>Rotationskinematik</b> .....	<b>75</b>
-------------	---------------------------------	-----------

22.1	Die Bewegungszustände bei Rotation .....	75
22.1.1	Die gleichförmige Drehbewegung .....	75
22.1.1.1	Die Winkelgeschwindigkeit .....	75
22.1.1.2	Die Umfangsgeschwindigkeit als Funktion der Winkelgeschwindigkeit .....	75
22.1.1.3	Die Drehleistung als Funktion der Winkelgeschwindigkeit .....	76
22.1.2	Die gleichmäßig verzögerte oder beschleunigte Drehbewegung .....	76
22.1.2.1	Die Winkelbeschleunigung .....	77
22.2	Analogien zwischen Translation und Rotation .....	77

<b>A 23</b>	<b>Rotationsdynamik</b> .....	<b>80</b>
-------------	-------------------------------	-----------

23.1	Die Fliehkraft .....	80
23.1.1	Berechnung der Fliehkraft .....	80
23.2	Coriolisbeschleunigung und Corioliskraft .....	82

<b>A 24</b>	<b>Kinetische Energie rotierender Körper</b> .....	<b>84</b>
-------------	--	-----------

24.1	Rotationsenergie als kinetische Energie .....	84
24.2	Das Trägheitsmoment .....	85
24.2.1	Das Trägheitsmoment einer Punktmasse .....	85
24.2.2	Trägheitsmomente einiger technisch wichtiger Drehkörper .....	86
24.2.3	Trägheitsmoment zusammengesetzter Körper .....	87
24.2.3.1	Der Verschiebungssatz von Steiner .....	87
24.2.4	Reduzierte Masse .....	89
24.2.5	Der Trägheitsradius .....	89
24.3	Dynamisches Grundgesetz der Drehbewegung .....	90
24.4	Dreharbeit in Abhängigkeit von Drehmoment und Drehwinkel .....	91
24.5	Drehimpuls und Drehstoß .....	92
24.5.1	Die Drehimpulserhaltung (Drallerhaltung) .....	92
24.5.2	Kreisel .....	94
24.5.2.1	Kreiseldefinition .....	94
24.5.2.2	Kreiselsätze .....	94
24.5.2.3	Kreiselanwendungen .....	95

<b>A 25</b>	<b>Gravitation</b> .....	96
25.1	Himmelsmechanik .....	96
25.2	Das Gravitationsgesetz .....	97
25.2.1	Gravitationsfelder .....	98
25.2.2	Wirkungen der Gravitation .....	98
25.2.2.1	Planetenbewegung .....	98
25.2.2.2	Raumfahrt .....	99

## **B MECHANIK DER FLUIDE** ..... 101 bis 150

### **Allgemeine Eigenschaften der Fluide** ..... 101 bis 104

<b>B 1</b>	<b>Wirkungen der Molekularkräfte</b> .....	101
1.1	Fluide und Fluidmechanik .....	101
1.2	Verhalten der Fluide als Folge von Molekularkräften .....	102
1.2.1	Die Oberflächenspannung .....	102
1.2.1.1	Oberflächenspannung als Funktion der Oberflächenenergie .....	102
1.2.1.2	Ermittlung der Oberflächenspannung .....	103
1.2.2	Benetzende und nicht benetzende Flüssigkeiten .....	103
1.2.3	Kapillarität .....	103
1.2.4	Oberflächenbildung ruhender Flüssigkeiten .....	104
1.2.4.1	Flüssigkeitsbehälter kleiner Ausdehnung .....	104
1.2.4.2	Flüssigkeitsbehälter großer Ausdehnung .....	104

### **Hydrostatik und Aerostatik** ..... 105 bis 132

<b>B 2</b>	<b>Hydrostatischer Druck</b> .....	105
2.1	Pressdruck und Schweredruck .....	105
2.1.1	Berechnung des Pressdruckes .....	105
2.1.2	Berechnung des Schweredruckes .....	105
2.2	Druckeinheiten .....	106
2.2.1	Umrechnung alter Druckeinheiten in Pascal .....	106
2.3	Kompressibilität der Körper infolge Drucksteigerung .....	107
2.4	Die ideale Flüssigkeit .....	107

<b>B 3</b>	<b>Aerostatischer Druck</b> .....	108
3.1	Gesetz von Boyle-Mariotte .....	108
3.2	Der Schweredruck von Gasen .....	109
3.2.1	Nachweis des Luftdruckes .....	109
3.2.2	Atmosphärendruck in Abhängigkeit von der Höhenlage .....	110
3.2.3	Absoluter Druck und atmosphärische Druckdifferenz .....	110
3.3	Der Normzustand eines Gases bzw. Dampfes .....	111
3.4	Die Gasdichte bzw. Dampfdichte .....	111
3.4.1	Die Normdichte von Gasen bzw. Dämpfen .....	112
3.4.2	Das spezifische Volumen .....	112

<b>B 4</b>	<b>Druckkraft</b> .....	113
4.1	Druckausbreitung in Fluiden .....	113
4.2	Druckkraft auf Flächen .....	113
4.2.1	Druckkraft auf ebene Flächen .....	113
4.2.2	Druckkraft auf gewölbte und geneigte Flächen .....	113
4.2.3	Die hydraulische Kraftübersetzung .....	114
4.2.3.1	Der Wirkungsgrad einer hydraulischen Presse .....	115
4.3	Die hydraulische Druckübersetzung .....	116
<b>B 5</b>	<b>Flüssigkeitsgewicht und hydrostatischer Druck</b> .....	118
5.1	Druckverteilung bei zunehmender Tiefe .....	118
5.1.1	Addition von Einzeldrücken .....	118
5.1.2	Die Druckhöhe als weitere „Druckeinheit“ .....	119
5.2	Die Bodendruckkraft .....	119
5.3	Seitendruckkraft und Druckmittelpunkt .....	119
5.4	Die Aufdruckkraft .....	121
5.5	Verbundene Gefäße .....	122
5.6	Die Saugwirkung .....	122
5.7	Flüssigkeitsmanometer, Flüssigkeitsvakuummeter, Piezometer .....	123
<b>B 6</b>	<b>Der Auftrieb in Flüssigkeiten und Gasen</b> .....	126
6.1	Das Archimedische Prinzip .....	126
6.2	Berechnung der Auftriebskraft .....	126
6.3	Sinken, Schweben, Schwimmen .....	127
6.4	Gleichgewichtslagen schwimmender Körper .....	127
6.4.1	Das Metazentrum .....	127
6.5	Anwendung des Archimedischen Prinzips zur Bestimmung von Dichten .....	128
6.5.1	Die Hydrostatische Waage .....	128
6.5.2	Die Mohr'sche Waage und das Aräometer .....	128
<b>B 7</b>	<b>Ausbildung der Flüssigkeitsoberfläche in bewegten Gefäßen</b> .....	130
7.1	Flüssigkeit in einem mit konstanter Geschwindigkeit bewegten Gefäß .....	130
7.2	Flüssigkeit in einem gleichmäßig beschleunigten Gefäß .....	130
7.3	Flüssigkeit in einem rotierenden Gefäß .....	131
<b>Hydrodynamik und Aerodynamik</b> .....		132 bis 141
<b>B 8</b>	<b>Geschwindigkeitsänderungen inkompressibler Fluide bei wechselndem Rohrquerschnitt und ohne Berücksichtigung der Reibung</b> ..	132
8.1	Definition der inkompressiblen Fluide .....	132
8.2	Die stationäre Strömung ohne Reibungsverluste .....	133
8.3	Kontinuitätsgleichung bei inkompressibler Strömung .....	133
<b>B 9</b>	<b>Energieerhaltung inkompressibler Fluide beim Strömen durch Rohrleitungen ohne Reibungsverluste</b> .....	135
9.1	Die drei Energieformen eines strömenden Fluids .....	135
9.2	Die Energiegleichung nach Bernoulli .....	136
9.3	Anwendungen zur Kontinuitäts- und Energiegleichung .....	139
9.3.1	Das Venturiprinzip .....	139

9.3.2	Ermittlung der Strömungsgeschwindigkeit .....	140
-------	---	-----

## Reibungsverluste strömender Fluide ..... 141 bis 149

### B 10 Fluidreibung ..... 141

10.1	Der Unterschied zwischen äußerer und innerer Reibung .....	141
10.2	Fluidität und Zähigkeit, Newton'sches und Nicht-Newton'sches Fluid	142
10.2.1	Die dynamische Viskosität .....	142
10.2.2	Die kinematische Viskosität .....	143
10.3	Der Einfluss der Zähigkeit auf die Strömungsform .....	144
10.3.1	Laminare und turbulente Strömungsform .....	144
10.3.2	Die Reynolds'sche Zahl als Kriterium der Strömungsform .....	144

### B 11 Kräfte am umströmten Körper ..... 145

11.1	Definition des umströmten Körpers .....	145
11.2	Der Strömungswiderstand .....	146
11.3	Der dynamische Auftrieb .....	147
11.4	Der Magnus-Effekt .....	148

## Kompressible Fluide ..... 149 bis 150

### B 12 Kontinuitätsgleichung des kompressiblen Massenstroms ..... 149

12.1	Kompressibilität in der Technischen Strömungslehre .....	149
12.2	Die allgemeine Kontinuitätsgleichung .....	150

## C WÄRMELEHRE ..... 151 bis 226

### Wärmezustand ..... 151 bis 186

#### C 1 Temperatur und Temperaturmessung ..... 151

1.1	Temperatur als Zustandsgröße .....	151
1.2	Temperaturskalen .....	151
1.2.1	Die Celsius-Skala .....	151
1.2.2	Der absolute Nullpunkt und die Kelvin-Skala .....	153
1.2.3	Definition der Temperatureinheit Kelvin .....	154
1.3	Messung der Temperatur .....	154
1.3.1	Temperaturmessverfahren, Thermometerarten .....	155
1.3.1.1	Flüssigkeitsthermometer .....	155
1.3.1.2	Bimetallthermometer .....	155
1.3.1.3	Elektrisches Widerstandsthermometer .....	155
1.3.1.4	Das Thermoelement .....	155
1.3.1.5	Pyrometer .....	155
1.3.1.6	Seegerkegel .....	156
1.3.1.7	Thermochromfarben .....	156
1.3.1.8	Thermographie .....	156

<b>C 2</b>	<b>Wärme als Energieform</b> .....	<b>157</b>
2.1	Energiearten und Energieumwandlungen .....	157
2.2	Die Aufnahme und die Abgabe von Wärmeenergie .....	157
2.2.1	Der Mechanismus der Wärmespeicherung .....	157
2.2.2	Sensible und latente Wärmeenergie .....	158
2.2.3	Der Unterschied zwischen Temperatur und Wärme .....	158
2.3	Die Einheit der Wärmeenergie .....	159
2.4	Wärmeenergie und absoluter Nullpunkt .....	159
<b>C 3</b>	<b>Wärmeausdehnung fester und flüssiger Stoffe</b> .....	<b>160</b>
3.1	Wärmeausdehnung fester Körper .....	160
3.1.1	Begründung der Wärmeausdehnung .....	160
3.1.2	Längenausdehnung fester Körper .....	160
3.1.2.1	Der thermische Längenausdehnungskoeffizient .....	160
3.1.2.2	Berechnung der Längenausdehnung infolge einer Temperaturdifferenz	161
3.1.3	Volumenausdehnung fester Körper .....	161
3.2	Wärmeausdehnung von Flüssigkeiten .....	162
3.3	Wärmespannung .....	163
<b>C 4</b>	<b>Wärmeausdehnung von Gasen und Dämpfen</b> .....	<b>165</b>
4.1	Die Zustandsgrößen der Gase und Dämpfe .....	165
4.1.1	Die Zustandsgrößen als absolute Größen .....	166
4.2	Verhalten der Gase bei konstanter Temperatur .....	166
4.2.1	Gesetz von Boyle-Mariotte .....	166
4.3	Verhalten der Gase bei veränderlicher Temperatur .....	166
4.3.1	Die Gesetze von Gay-Lussac .....	167
4.3.1.1	Temperaturänderung bei konstantem Druck und veränderlichem Volumen .....	167
4.3.1.2	Temperaturänderung bei konstantem Volumen und veränderlichem Druck .....	168
4.4	Das vereinigte Gasgesetz .....	168
<b>C 5</b>	<b>Allgemeine Zustandsgleichung der Gase</b> .....	<b>170</b>
5.1	Die Gasdichte in Abhängigkeit von Druck und Temperatur .....	170
5.2	Spezifische Gaskonstante und allgemeine Zustandsgleichung der Gase .....	170
5.3	Ideales und reales Gas .....	171
<b>C 6</b>	<b>Molare (stoffmengenbezogene) Zustände und Größen</b> .....	<b>172</b>
6.1	Die atomare Masseneinheit .....	172
6.2	Das Mol als Einheit für die Stoffmenge .....	173
6.3	Relative Atommasse und relative Molekülmasse .....	173
6.4	Das Gesetz von Avogadro .....	174
6.4.1	Erläuterung zum Begriff Stoffmenge .....	174
6.4.2	Die molare Masse .....	174
6.4.3	Das molare Normvolumen .....	175
6.4.4	Die Avogadro-Konstante .....	176
6.5	Die universelle Gaskonstante .....	176
6.5.1	Berechnung der speziellen Gaskonstante aus der universellen Gaskonstanten .....	177

<b>C 7</b>	<b>Mischung idealer Gase</b> .....	178
7.1	Gasgemische in technischer Praxis und Umwelt .....	178
7.2	Die Zustandsgrößen der Mischungen idealer Gase .....	178
7.2.1	Die Anwendbarkeit der Gasgesetze .....	178
7.2.2	Das Gesetz von Dalton .....	178
7.2.3	Die spezifische Gaskonstante einer Gasmischung .....	179
7.2.4	Spezifisches Volumen und Dichte eines Gasgemisches .....	179
7.3	Ermittlung des Partialdruckes eines Gasanteils .....	180
7.3.1	Partialdruck bei gegebenem Massenanteil und gegebenem Gesamtdruck .....	180
7.3.2	Partialdruck bei gegebenem Volumenanteil und gegebenem Gesamtdruck .....	180
<b>C 8</b>	<b>Diffusion, Osmose und Dialyse</b> .....	182
8.1	Diffusion .....	182
8.1.1	Definition des Begriffes Diffusion .....	182
8.1.2	Freie Diffusion .....	182
8.1.2.1	Der Diffusionsstrom .....	183
8.1.3	Diffusion durch Wände .....	183
8.1.3.1	Einschichtige Wand .....	183
8.1.4	Technische Anwendungen der Diffusion .....	184
8.2	Osmose und Dialyse .....	185
<b>Wärmemenge</b> .....		186 bis 192
<b>C 9</b>	<b>Wärmekapazität fester und flüssiger Stoffe</b> .....	186
9.1	Die spezifische Wärmekapazität .....	186
9.2	Das Grundgesetz der Wärmelehre .....	187
9.2.1	Übertragung von Wärmeenergie in Stoffsystemen .....	187
<b>C 10</b>	<b>Kalorimetrie</b> .....	188
10.1	Kalorimeter .....	188
10.2	Die Mischungsregel .....	189
10.2.1	Die Mischungstemperatur .....	189
10.2.2	Ermittlung der spezifischen Wärmekapazität mit dem Kalorimeter .....	190
<b>C 11</b>	<b>Wärmequellen</b> .....	191
11.1	Natürliche Wärmequellen .....	191
11.2	Künstliche Wärmequellen .....	191
11.2.1	Reaktionswärme .....	191
11.2.1.1	Brennwert und Heizwert .....	191
<b>Änderung des Aggregatzustandes</b> .....		193 bis 202
<b>C 12</b>	<b>Schmelzen und Erstarren</b> .....	193
12.1	Das Schmelzen chemisch einheitlicher Stoffe .....	193

12.1.1	Die spezifische Schmelzwärme .....	193
12.2	Besonderheiten beim Schmelzen und Erstarren .....	194
12.3	Das Schmelzen von Stoffgemischen .....	194

### **C13 Verdampfen und Kondensieren, Sublimieren .....** 195

13.1	Verdampfungstemperatur und Verdampfungsdruck .....	195
13.2	Kondensation .....	196
13.3	Besonderheiten beim Verdampfen und Kondensieren .....	196
13.4	Verdampfungs- und Kondensationswärme .....	197
13.5	Enthalpiezunahme beim Schmelzen und Verdampfen .....	197
13.6	Sublimation .....	198

### **C14 Feuchte Luft .....** 199

14.1	Feuchte Luft als Gasgemisch .....	199
14.2	Zustandsgrößen der feuchten Luft .....	200
14.2.1	Wasserdampf-Teildruck .....	200
14.2.2	Der Sättigungsdruck des Wasserdampfes und der Taupunkt .....	200
14.2.3	Absolute und relative Luftfeuchtigkeit .....	201
14.3	Messung der Luftfeuchtigkeit .....	201

## **Umwandlung von Wärmeenergie in mechanische Arbeit .....** 202 bis 216

### **C15 Technische Möglichkeiten der Umwandlung von Wärme in mechanische Arbeit .....** 202

15.1	Forderungen an die Energieumwandlung .....	202
15.2	Technische Anlagen zur Energieumwandlung .....	203

### **C16 Der erste Hauptsatz der Thermodynamik .....** 204

16.1	Äquivalenz von Wärmeenergie und mechanischer Arbeit (Energie) ...	204
16.2	Darstellung der Volumenänderungsarbeit im $p, V$ -Diagramm .....	205
16.3	Innere Energie und Enthalpie .....	206
16.4	Spezifische Wärme von Gasen und Dämpfen .....	206

### **C17 Thermodynamische Zustandsänderungen .....** 208

17.1	Die Isobare .....	208
17.2	Die Isochore .....	209
17.3	Die Isotherme .....	209
17.4	Die Isentrope (Adiabate) .....	210
17.5	Die Polytrope .....	210

### **C18 Die Kreisprozesse im $p, V$ -Diagramm (Arbeitsdiagramm) und zweiter Hauptsatz der Thermodynamik .....** 211

18.1	Begriff des Kreisprozesses .....	211
18.2	Der Betrag der Nutzarbeit .....	212
18.3	Der zweite Hauptsatz der Thermodynamik .....	212
18.4	Der thermische Wirkungsgrad .....	212
18.5	Ideale Kreisprozesse und deren Wirkungsgrade .....	213
18.5.1	Dieselpsprozess (Gleichdruckprozess) .....	213

18.5.2	Otto-Prozess (Gleichraumprozess) .....	213
18.5.3	Seiliger-Prozess .....	213
18.5.4	Joule-Prozess .....	213
18.5.5	Ackeret-Keller-Prozess (Ericsson-Prozess) .....	213
18.5.6	Stirling-Prozess .....	214
18.5.7	Carnot-Prozess .....	214
18.6	Linkslaufende Kreisprozesse und die Zustandsgröße Entropie .....	214

## **Beziehungen der Wärmeenergie zur elektrischen Energie** ..... 216 bis 218

### **C19 Umwandlung von Wärmeenergie in elektrische Energie** ..... 216

19.1	Der Seebeck-Effekt .....	216
19.2	Die großtechnische Umwandlung von Wärmeenergie in elektrische Energie .....	216

### **C20 Umwandlung von elektrischer Energie in Wärmeenergie** ..... 217

20.1	Natürlich und technisch aus elektrischer Energie erzeugte Wärmeenergie .....	217
20.2	Der Peltier-Effekt .....	217
20.3	Der elektrische Heizleiter .....	218

## **Wärmeübertragung** ..... 218 bis 226

### **C21 Zweiter Hauptsatz und Wärmetransport** ..... 218

21.1	Wärmeleitung .....	219
21.2	Wärmeübergang .....	220
21.3	Wärmedurchgang .....	221
21.3.1	Definition des Wärmedurchgangs .....	221
21.3.2	Wärmedurchgangszahl und Wärmestrom .....	222
21.4	Wärmestrahlung .....	223
21.4.1	Mechanismus der Wärmeübertragung durch Strahlung .....	223
21.4.2	Emissions- und Absorptionsvermögen .....	223
21.4.2.1	Das Kirchhoff'sche Gesetz der Wärmestrahlung .....	224
21.4.2.2	Das Prevost'sche Gesetz der Wärmestrahlung .....	224
21.4.3	Das Stefan-Boltzmann'sche Gesetz der Wärmestrahlung .....	224
21.4.4	Gasstrahlung .....	225

## **D SCHWINGUNGS- UND WELLENLEHRE** ..... 227 bis 258

### **Schwingungen** ..... 227 bis 246

#### **D1 Entstehung periodischer Bewegungen** ..... 227

1.1	Die Schwingung als periodische Bewegung .....	227
-----	---	-----

<b>D 2</b>	<b>Harmonische Schwingungen und harmonische Bewegungen</b> .....	227
2.1	Die freie Sinusschwingung .....	227
2.1.1	Erzeugung einer freien Sinusschwingung .....	227
2.1.2	Das Auslenkungs, Zeit-Gesetz (Weg, Zeit-Gesetz) .....	228
2.1.2.1	Die Periodenfrequenz .....	228
2.1.2.2	Die Kreisfrequenz .....	228
2.2	Schwingungsdauer des Federpendels .....	230
2.3	Energieumwandlungen bei einer harmonischen Schwingung .....	231
2.3.1	Geschwindigkeits, Zeit-Gesetz der harmonischen Schwingung .....	231
2.3.2	Kinetische Energie einer schwingenden Masse .....	231
2.3.3	Potentielle Energie (Lageenergie) einer schwingenden Masse .....	232
<b>D 3</b>	<b>Pendelschwingungen</b> .....	233
3.1	Mathematisches Pendel .....	233
3.2	Physisches Pendel .....	234
3.2.1	Schwingungsdauer .....	234
<b>D 4</b>	<b>Dämpfung von Schwingungen</b> .....	236
4.1	Freie gedämpfte Schwingung .....	236
4.1.1	Geschwindigkeitsunabhängige Dämpfung (Reibungsdämpfung) .....	236
4.1.2	Geschwindigkeitsproportionale Dämpfung (Viskosedämpfung) .....	237
4.1.2.1	Abklinggesetze .....	237
4.2	Dämpfungssysteme .....	238
<b>D 5</b>	<b>Anregung von Schwingungen</b> .....	239
5.1	Erzwungene ungedämpfte Schwingungen .....	239
5.1.1	Auslenkung einer erzwungenen ungedämpften Schwingung .....	240
5.2	Der Resonanzfall .....	240
<b>D 6</b>	<b>Überlagerung von Schwingungen</b> .....	241
6.1	Superpositionsprinzip und resultierende Schwingungen .....	241
6.2	Spezielle Überlagerungen harmonischer Schwingungen .....	242
6.2.1	Schwingungen gleicher Raumrichtung und gleicher Frequenz .....	242
6.2.1.1	Mehr als zwei Schwingungen .....	242
6.2.1.2	Zusammensetzung von zwei Schwingungen .....	242
6.2.1.3	Schwebung .....	243
6.2.1.4	Fourier-Synthese und Fourier-Analyse .....	244
6.2.2	Senkrecht aufeinander stehende Schwingungen .....	244
6.2.3	Gekoppelte Schwingungen .....	245
6.2.4	Kippschwingungen .....	245
6.2.5	Abschließende Bemerkungen zur Schwingungslehre .....	246
<b>Wellen</b> .....		247 bis 258
<b>D 7</b>	<b>Physikalische Grundbegriffe der Wellenausbreitung</b> .....	247
7.1	Gemeinsamkeit und Unterschied von Schwingung und Welle .....	247
7.2	Prinzip von Huygens .....	247
7.3	Wellenlänge und Ausbreitungsgeschwindigkeit .....	248

7.3.1	Physikalische Größen einer Welle .....	248
7.3.2	Zusammenhänge der physikalischen Größen einer Welle .....	248
7.3.3	Der Unterschied zwischen Ausbreitungs- und Teilchengeschwindigkeit .....	249
7.4	Wellenarten .....	249
7.4.1	Lineare und räumliche Wellen .....	249
7.4.2	Längs-, Quer- und Torsionswellen .....	249
7.4.2.1	Längswellen oder Longitudinalwellen .....	249
7.4.2.2	Querwellen oder Transversalwellen .....	250
7.4.2.3	Torsionswelle .....	250
7.5	Abhängigkeit der Ausbreitungsgeschwindigkeit vom Medium .....	251

## **D 8 Wellenausbreitung .....** 253

8.1	Eigenschaften von Wellen .....	253
8.1.1	Interferenz und Kohärenz .....	253
8.1.2	Doppler-Effekt und Mach-Kegel .....	254
8.1.2.1	Doppler-Effekt bei Schallwellen .....	254
8.1.2.2	Quelle hat Überschallgeschwindigkeit .....	255
8.1.3	Polarisation von Transversalwellen .....	255
8.2	Ausbreitungshindernisse .....	256
8.2.1	Erhaltung der Frequenz .....	256
8.2.2	Reflexion .....	256
8.2.3	Brechung .....	257
8.2.4	Beugung .....	257

## **E OPTIK UND AKUSTIK .....** 259 bis 302

### **Optik .....** 259 bis 288

#### **E 1 Geometrische Optik .....** 259

1.1	Gliederung der Optik .....	259
1.2	Reflexion des Lichts .....	260
1.2.1	Lichtstrahlen .....	260
1.2.2	Reflexion an ebenen und gekrümmten Flächen .....	260
1.2.2.1	Reflexionsarten und Reflexionsgesetz .....	260
1.2.2.2	Der Reflexionsgrad .....	260
1.3	Brechung und Dispersion des Lichts .....	261
1.3.1	Das Brechungsgesetz .....	261
1.3.2	Brechung an einer planparallelen Platte .....	262
1.3.3	Brechung am Prisma .....	262
1.3.4	Totalreflexion .....	263
1.3.4.1	Technische Anwendungen der Totalreflexion .....	263
1.4	Entstehung optischer Bilder .....	264
1.4.1	Reelle und virtuelle Bilder .....	264
1.4.2	Bildentstehung durch Reflexion an Flächen .....	265
1.4.3	Bildentstehung bei Brechung an ebenen Flächen .....	266
1.4.4	Abbildung durch Linsen .....	267
1.4.4.1	Linsenformen .....	267
1.4.4.2	Strahlenverlauf durch die Linsen und Linsenbrennpunkte .....	267
1.4.4.3	Brennweite, Brechwert und Abbildungsgleichung einer dünnen Linse .....	268
1.4.4.4	Brennweite und Brechwert von dicken Linsen .....	269

1.4.4.5	Herausnahme der achsfernen Strahlen durch Blenden .....	269
1.5	Abbildungsfehler .....	270
1.6	Optische Systeme und optische Instrumente .....	270

## **E 2 Wellenoptik .....** 272

2.1	Das Gesamtspektrum der elektromagnetischen Wellen .....	272
2.2	Ausbreitungsgeschwindigkeit elektromagnetischer Wellen .....	273
2.3	Wellenspezifische Eigenschaften in der Optik .....	274
2.3.1	Interferenz und Kohärenz bei Lichtwellen .....	274
2.3.1.1	Technische Anwendungen der Interferenz von Licht .....	275
2.3.2	Beugung von Lichtwellen .....	276
2.3.3	Polarisation von Licht .....	276
2.3.4	Der Doppler-Effekt des Lichts .....	278

## **E 3 Photometrie und Farbenlehre .....** 279

3.1	Die Zweifachnatur des Lichts .....	279
3.2	Photometrie .....	280
3.2.1	Energetische (strahlungsphysikalische) und visuelle (lichttechnische) Größen .....	280
3.2.1.1	Strahlungsleistung, Lichtstrom .....	280
3.2.1.2	Strahlstärke, Lichtstärke .....	281
3.2.1.3	Bestrahlungsstärke, Beleuchtungsstärke .....	282
3.2.1.4	Strahldichte, Leuchtdichte .....	283
3.2.1.5	Zusammenfassung und Ergänzung der photometrischen Größen .....	284
3.3	Die Spektralfarben des Lichts und die Lehre der Farben .....	284
3.3.1	Zerlegung von weißem Licht in die Spektralfarben .....	284
3.3.1.1	Die Spektralfarben als Elementarfarben .....	285
3.3.2	Mischung der Spektralfarben .....	286
3.3.2.1	Erzeugung von weißem Licht .....	286
3.3.2.2	Erzeugung von Komplementärfarben .....	286

## **Akustik .....** 289 bis 302

## **E 4 Schall und Schallfeld .....** 289

4.1	Akustik und deren Teilbereiche .....	289
4.2	Schallfeldgrößen .....	290
4.2.1	Schallgeschwindigkeit .....	290
4.2.2	Schalldruck .....	290
4.2.3	Schallschnelle .....	291
4.2.4	Schallintensität und Schall-Leistung .....	291
4.3	Die verschiedenen Schallpegel .....	292
4.3.1	Maße und Pegel als logarithmische Verhältnisse physikalischer Größen .....	292
4.3.1.1	Der Schalldruckpegel .....	293
4.3.1.2	Der Schall-Leistungspegel .....	293
4.3.1.3	Weitere Schallpegel .....	294

## **E 5 Schallempfindung und Schallbewertung .....** 295

5.1	Aufbau und Empfindlichkeit des Ohres .....	295
5.2	Lautstärke und Lautheit .....	295
5.3	Immissionsschutz .....	297

5.4	Schallausbreitung und Schalldämmung .....	298
5.4.1	Das Freifeld .....	298
5.4.2	Gestörte Schallausbreitung .....	298
5.4.2.1	Reflexion, Absorption, Dissipation und Transmission von Schallenergie .....	298
5.4.2.2	Beugung, Brechung und Doppler-Effekt des Schalls .....	298
5.4.2.3	Das Entfernungsgesetz .....	299
5.5	Schalldämmung und Schalldämpfung .....	300
5.6	Schallbewertung .....	300

**E 6****Ultraschall .....** 301

6.1	Das Schallspektrum .....	301
6.2	Erzeugung, Wirkung und Anwendung von Ultraschall .....	302

**F****ELEKTRIZITÄTSLEHRE .....** 303 bis 436**Grundlagen der Elektrizitätslehre .....** 303 bis 350**F1****Elektrophysikalische Grundlagen .....** 303

1.1	Reibungselektrizität .....	303
1.2	Die elektrische Ladung und deren Nachweis .....	303
1.2.1	Die elektrische Ladung .....	303
1.2.2	Nachweis von Ladungen .....	304
1.2.2.1	Glimmlampe .....	304
1.2.2.2	Elektroskop .....	304
1.3	Der elektrische Strom .....	305
1.3.1	Definition der elektrischen Stromstärke .....	305
1.3.2	Messung der elektrischen Stromstärke .....	306
1.3.3	Stromrichtung .....	307
1.3.4	Stromarten .....	307
1.3.4.1	Gleichstrom .....	307
1.3.4.2	Wechselstrom .....	307
1.3.4.3	Mischstrom .....	308
1.4	Wirkungen des elektrischen Stroms .....	308
1.4.1	Gefahren des elektrischen Stroms .....	308
1.4.2	Sofortmaßnahmen bei elektrischen Unfällen .....	309
1.4.2.1	Abschaltung .....	309
1.4.2.2	Erste-Hilfe-Maßnahmen .....	309
1.4.2.3	Brandbekämpfung .....	310
1.4.3	Schutzmaßnahmen gegen Berühren unter Spannung stehender Betriebsmittel .....	310
1.4.3.1	Schutzmaßnahmen gegen direktes Berühren .....	310
1.4.3.2	Schutzmaßnahmen gegen indirektes Berühren .....	311
1.4.4	Überstromschutzorgane .....	311
1.5	Leiter und Nichtleiter .....	312
1.6	Widerstand und Leitwert .....	312
1.7	Die elektrische Spannung .....	313
1.7.1	Zusammenhang zwischen elektrischer Stromstärke und elektrischer Spannung .....	313
1.7.2	Definition der elektrischen Spannung .....	313
1.7.3	Messung der elektrischen Spannung .....	314

1.7.4	Spannungsarten .....	314
1.8	Spannungserzeugung .....	315
1.8.1	Spannungserzeugung durch Reibung .....	315
1.8.2	Spannungserzeugung durch Licht .....	315
1.8.3	Spannungserzeugung durch Wärme .....	316
1.8.4	Spannungserzeugung durch Induktion .....	316
1.8.5	Spannungserzeugung durch chemische Vorgänge .....	317
1.8.5.1	Primärelemente .....	318
1.8.5.2	Sekundärelemente .....	318
1.8.6	Spannungserzeugung durch Kristallverformung .....	318

## **F 2**    **Gesetzmäßigkeiten im elektrischen Stromkreis** ..... 321

2.1	Das Ohm'sche Gesetz .....	321
2.2	Graphische Darstellung des Ohm'schen Gesetzes .....	322
2.3	Spezifischer Widerstand und Leitfähigkeit .....	323
2.4	Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstandes .....	325
2.5	Elektrische Arbeit und elektrische Leistung .....	326
2.5.1	Elektrische Arbeit .....	326
2.5.2	Elektrische Leistung .....	327
2.6	Umwandlung der Energien und Wirkungsgrad .....	329
2.6.1	Umwandlung der Energien .....	329
2.6.2	Wirkungsgrad .....	329

## **F 3**    **Gesetzmäßigkeiten in Widerstandsschaltungen** ..... 332

3.1	Parallelschaltung von Widerständen .....	332
3.1.1	Gesetzmäßigkeiten der elektrischen Spannungen in der Parallelschaltung .....	332
3.1.2	Gesetzmäßigkeiten der elektrischen Teilströme in der Parallelschaltung	333
3.1.3	Gesetzmäßigkeiten der Widerstände und Leitwerte in der Parallelschaltung .....	333
3.1.4	Gesetzmäßigkeiten zwischen den Teilströmen und den Widerständen in der Parallelschaltung .....	334
3.1.5	Gesetzmäßigkeiten der elektrischen Leistungen und umgewandelten Energien .....	335
3.2	Reihenschaltung von Widerständen .....	335
3.2.1	Gesetzmäßigkeiten der elektrischen Ströme in der Reihenschaltung ..	335
3.2.2	Gesetzmäßigkeiten der Spannungen in der Reihenschaltung .....	335
3.2.3	Gesetzmäßigkeiten der Widerstände in der Reihenschaltung .....	336
3.2.4	Gesetzmäßigkeiten der Spannungen und Widerstände in der Reihenschaltung .....	336
3.2.5	Gesetzmäßigkeiten der elektrischen Leistungen und umgewandelten Energien .....	337
3.3	Gemischte Widerstandsschaltungen .....	338
3.4	Spannungsteiler .....	338
3.4.1	Unbelasteter Spannungsteiler .....	338
3.4.2	Belasteter Spannungsteiler .....	340
3.5	Messbereichserweiterung von elektrischen Messinstrumenten .....	341
3.5.1	Messbereichserweiterung von Strommessern .....	341
3.5.2	Messbereichserweiterung von Spannungsmessern .....	342
3.6	Widerstandsmessung .....	343
3.6.1	Indirekte Widerstandsmessung mit einer Strom- und Spannungsmessung	343
3.6.1.1	Stromfehlerschaltung .....	344
3.6.1.2	Spannungsfehlerschaltung .....	344

3.6.2	Direkte Widerstandsmessung mit dem Widerstandsmesser .....	345
3.6.3	Direkte Widerstandsmessung mit der Widerstandsmessbrücke .....	345
3.7	Innenwiderstand von Spannungserzeugern .....	346
3.7.1	Leerlauf fall .....	346
3.7.2	Belastungsfall .....	347
3.7.3	Kurzschlussfall .....	347

## **Gesetzmäßigkeiten der elektrischen und magnetischen Felder**

351 bis 378

### **F 4 Das elektrische Feld** .....

351

4.1	Grundlegende Betrachtungen über elektrische Felder .....	351
4.2	Coulomb'sches Gesetz .....	352
4.3	Elektrische Influenz .....	353
4.4	Die elektrische Feldstärke .....	354
4.5	Die elektrische Spannung und Feldstärke im homogenen Feld .....	355
4.6	Kapazität eines Kondensators .....	356
4.6.1	Kapazität eines Kondensators in Abhängigkeit von seinem Aufbau ...	357

### **F 5 Das magnetische Feld** .....

359

5.1	Grundlegende Betrachtungen über magnetische Felder .....	359
5.1.1	Merkmale der magnetischen Felder .....	360
5.1.2	Magnetfeld einer stromdurchflossenen Spule .....	362
5.2	Magnetische Größen .....	362
5.2.1	Durchflutung .....	363
5.2.2	Magnetische Feldstärke .....	363
5.2.3	Magnetischer Fluss .....	364
5.2.4	Magnetische Flussdichte .....	365
5.3	Kraftwirkung eines Magnetfeldes auf einen stromdurchflossenen Leiter	365
5.3.1	Stromdurchflossene Spule ohne Eisenkern .....	367
5.3.2	Stromdurchflossene Spule mit Eisenkern .....	367
5.3.3	Permeabilität .....	368

### **F 6 Elektromagnetische Induktion** .....

371

6.1	Spannungserzeugung durch Induktion .....	371
6.1.1	Spannungserzeugung bei Bewegung eines Leiters im homogenen Magnetfeld .....	371
6.1.2	Spannungserzeugung im ruhenden Leiter bei Änderung des Magnetfeldes	373
6.2	Selbstinduktion .....	375
6.2.1	Induktivität einer Spule .....	375
6.2.2	Wirbelströme .....	376

## **Anwendungen elektrischer und magnetischer Felder**

379 bis 423

### **F 7 Elektromagnetische Schalter und elektrische Messgeräte** .....

379

7.1	Elektromagnete .....	379
7.2	Elektromagnetische Schalter .....	379

7.2.1	Schütze .....	379
7.2.2	Relais .....	381
7.3	Elektrische Messgeräte .....	381
7.3.1	Aufbau und Wirkungsweise eines Drehspulmesswerks .....	381
7.3.2	Das Oszilloskop .....	382

## **F 8** Der Wechselstromkreis ..... 384

8.1	Erzeugung von sinusförmigen Wechselspannungen und Wechselströmen .....	384
8.2	Darstellung und Berechnung von sinusförmigen Wechselgrößen .....	384
8.3	Wirkwiderstand, Kondensator und Spule im Wechselstromkreis .....	386
8.3.1	Wirkwiderstand im Wechselstromkreis .....	386
8.3.2	Der Kondensator im Wechselstromkreis .....	387
8.3.2.1	Der verlustfreie Kondensator .....	387
8.3.2.2	Der verlustbehaftete Kondensator .....	389
8.3.3	Die Spule im Wechselstromkreis .....	389
8.3.3.1	Die verlustfreie Spule .....	389
8.3.3.2	Die verlustbehaftete Spule .....	391

## **F 9** Dreiphasenwechselspannung ..... 393

9.1	Erzeugung einer Dreiphasenwechselspannung .....	393
9.2	Stern- und Dreieckschaltung .....	395
9.2.1	Sternschaltung .....	395
9.2.2	Dreieckschaltung .....	396
9.3	Bedeutung des Drehstroms für die elektrische Energieübertragung ...	397
9.4	Technische Anwendungen der Stern- und Dreieckschaltung .....	398

## **F 10** Transformatoren ..... 401

10.1	Aufbau und Wirkungsweise eines Einphasen-Transformators .....	401
10.1.1	Leerlaufall .....	402
10.1.2	Belastungsfall .....	403
10.2	Aufbau und Wirkungsweise eines Drehstrom-Transformators .....	404
10.3	Energieversorgung und -verteilung .....	406

## **F 11** Elektrische Maschinen ..... 408

11.1	Unterscheidungsmöglichkeiten der elektrischen Maschinen .....	408
11.2	Gleichstrommotoren .....	409
11.2.1	Aufbau und Wirkungsweise von Gleichstrommotoren .....	409
11.2.2	Drehzahlsteuerung von Gleichstrommotoren .....	411
11.3	Drehstrommotoren .....	413
11.3.1	Erzeugung eines Drehfeldes .....	413
11.4	Synchronmotoren .....	415
11.5	Drehstrom-Asynchronmotoren .....	415

## **F 12** Elektromagnetische Schwingungen ..... 417

12.1	Resonanzerscheinung .....	417
12.2	Elektrischer Schwingkreis .....	417
12.2.1	Reihenschwingkreis .....	418
12.2.2	Parallelschwingkreis .....	419
12.3	Entstehung und Ausbreitung elektromagnetischer Wellen .....	420

## Elektronische Bauelemente ..... 423 bis 436

<b>F 13</b>	<b>Grundlagen der Halbleitertechnik ..... 423</b>
13.1	Kurze Entstehungsgeschichte der Halbleiterphysik ..... 423
13.2	Halbleiterwerkstoffe ..... 424
13.2.1	Energiebändermodell ..... 424
13.2.1.1	Leiterwerkstoffe ..... 425
13.2.1.2	Isolierwerkstoffe ..... 425
13.2.1.3	Halbleiterwerkstoffe ..... 425
13.2.2	Kristallaufbau eines Halbleiters ..... 426
13.2.3	Leitungsmechanismen in Halbleiterwerkstoffen ..... 427
13.2.3.1	Eigenleitung ..... 427
13.2.3.2	Störstellenleitung ..... 428
13.2.4	PN-Übergang ..... 430
13.3	Bauelemente mit Halbleiterwerkstoffen ..... 431
13.3.1	Aufbau und Wirkungsweise einer Halbleiterdiode ..... 431
13.3.2	Transistor ..... 432
13.3.2.1	Aufbau eines bipolaren Transistors ..... 433
13.3.2.2	Wirkungsweise eines Transistors ..... 433
13.3.3	Optoelektronische Bauelemente ..... 434
13.3.3.1	Photoelement ..... 435
13.3.3.2	Photodiode ..... 435

## G ATOM- UND KERNPHYSIK ..... 437 bis 484

### Physik der Atomhülle ..... 437 bis 454

<b>G 1</b>	<b>Atomhülle ..... 437</b>
1.1	Rutherford'sches Atommodell ..... 437
1.1.1	Versuchsaufbau zum Rutherford'schen Streuversuch ..... 437
1.1.2	Versuchsergebnis ..... 437
1.1.3	Deutung des Streuversuchs von Rutherford ..... 437
1.1.4	Bestimmung der Kernradien ..... 438
1.2	Gesetzliche Einheit der Energie in der Atomphysik ..... 439
1.3	Bohr'sches Atommodell ..... 439
1.3.1	Erstes Bohr'sches Postulat ..... 440
1.3.2	Zweites Bohr'sches Postulat ..... 440
1.4	Das Wasserstoffatom ..... 441
1.5	Spektren ..... 444
1.5.1	Linienpektrum des Wasserstoffatoms ..... 444
1.6	Röntgenstrahlung ..... 449
1.6.1	Eigenschaften der Röntgenstrahlung ..... 449
1.6.2	Röntgenbremsstrahlung ..... 450
1.6.3	Charakteristisches Röntgenspektrum ..... 451
1.6.4	Anwendungen der Röntgenstrahlung ..... 452

## Physik des Atomkerns ..... 454 bis 470

<b>G 2</b>	<b>Radioaktive Strahlung</b> .....	<b>454</b>
2.1	Natürliche radioaktive Strahlung .....	454
2.1.1	Eigenschaften der radioaktiven Strahlung .....	455
2.1.1.1	$\alpha$ -Strahlen .....	455
2.1.1.2	$\beta$ -Strahlen .....	455
2.1.1.3	$\gamma$ -Strahlen .....	455
2.2	Nachweis und Messung der radioaktiven Strahlung .....	456
2.2.1	Geiger-Müller-Zählrohr .....	456
2.2.2	Nebelkammer .....	456
2.2.3	Szintillationszählrohr .....	457
2.2.4	Halbleiterzähler .....	457
2.3	Radioaktiver Zerfall .....	458
2.3.1	Gesetz des radioaktiven Zerfalls .....	458
2.3.2	Halbwertszeit .....	458
2.3.3	Aktivität radioaktiver Stoffe .....	459

<b>G 3</b>	<b>Atomkern</b> .....	<b>461</b>
3.1	Eigenschaften der Atomkerne .....	461
3.1.1	Kernladung .....	461
3.1.2	Kernmasse und Aufbau der Atomkerne .....	461
3.1.2.1	Periodensystem der Elemente .....	462
3.1.3	Kernradius .....	463
3.2	Kernumwandlungen beim radioaktiven Zerfall .....	463
3.2.1	Zerfallsreihen .....	464
3.3	Künstliche Kernumwandlungen .....	465
3.3.1	Neutron .....	466
3.3.2	Transurane .....	466
3.4	Kernspaltung .....	467
3.5	Kernverschmelzung .....	468
3.5.1	Energieproduktion der Sonne .....	469

## Kernenergie und Strahlenschutz ..... 470 bis 484

<b>G 4</b>	<b>Kernenergie</b> .....	<b>470</b>
4.1	Zusammensetzung der Kernenergie .....	470
4.2	Kontrollierte Kernspaltung .....	471
4.3	Kernreaktoren .....	472
4.3.1	Leichtwasserreaktoren .....	473
4.3.1.1	Druckwasserreaktor .....	473
4.3.1.2	Siedewasserreaktor .....	474
4.3.2	Schwerwasserreaktor .....	474
4.3.3	Schneller Brutreaktor .....	475
4.3.4	Hochtemperaturreaktor .....	476
4.4	Reaktorsicherheit .....	476
4.5	Entsorgung .....	477

<b>G 5</b>	<b>Dosimetrie und Strahlenschutz</b> .....	478
5.1	Biologische Wirkung radioaktiver Strahlung .....	478
5.2	Dosisbegriffe .....	479
5.2.1	Ionendosis .....	479
5.2.2	Energiedosis .....	479
5.2.3	Äquivalentdosis .....	480
5.2.3.1	Äquivalentdosisleistung .....	480
5.2.4	Energiedosisleistung und Aktivität .....	481
5.3	Abschirmung radioaktiver Strahlung .....	481
5.4	Dosismessung .....	482
5.5	Natürliche und zivilisatorische Strahlenbelastung .....	482
5.5.1	Natürliche Strahlenbelastung .....	482
5.5.2	Zivilisatorische Strahlenbelastung .....	483
5.5.3	Gesamte Strahlenbelastung .....	483
5.6	Dosisgrenzwerte .....	483

<b>Lösungsgänge und Lösungen zu den Übungsaufgaben</b> .....	485 bis 514
--	-------------

<b>Ergebnisse der Vertiefungsaufgaben</b> .....	515 bis 532
---	-------------

Im Buch zitierte <b>Wissenschaftler, Techniker und Forscher</b> .....	533
--	-----

Verwendete <b>Physikalische Größen, deren Formelzeichen und Einheiten</b> .....	534 bis 537
--	-------------

Verwendete <b>Naturkonstanten</b> .....	538
--	-----

Verwendete <b>Normen und Vorschriften, Griechisches Alphabet</b> .....	539 bis 540
---	-------------

<b>Sachwortverzeichnis</b> .....	541 bis 553
----------------------------------	-------------