



# TECHNISCHE PHYSIK

Lehr- und Aufgabenbuch



Mechanik der festen Körper

Mechanik der Fluide

Wärmelehre

Schwingungs- und Wellenlehre

Optik und Akustik

Elektrizitätslehre

Atom- und Kernphysik

## Lehr- und Aufgabenbuch

Das Lehr- und Aufgabenbuch beinhaltet 81 Lektionen jeweils unterteilt in:

### Informationsteil

**Musteraufgaben** → **M**  
(351)

**Übungsaufgaben** → **Ü** → **Lösungsgänge im Anhang**  
(548)

**Vertiefungsaufgaben** → **V** → **Ergebnisse im Anhang**  
(546)

## Ergänzende Literatur:

### Technische Physik Formel- und Tabellensammlung

Europa-Nr.: 52514

In der Formel- und Tabellensammlung werden übersichtlich alle Formeln und Tabellen der 81 Hauptabschnitte des Lehr- und Aufgabenbuchs der Technischen Physik angegeben.

Die Nummerierung der Hauptabschnitte der Formel- und Tabellensammlung ist mit der Lektionen-Nummerierung im Lehr- und Aufgabenbuch identisch.

Die Hauptabschnitte der Formel- und Tabellensammlung sind durch ein besonderes Hinweissystem miteinander verknüpft. Der parallele Einsatz beider Bücher wird dadurch gewährleistet.



Bibliothek des technischen Wissens

Ewald Bach  
Horst Herr †  
Volker Jungblut

Ulrich Maier  
Bernd Mattheus  
Falko Wieneke

# Technische Physik

6., überarbeitete Auflage

VERLAG EUROPA-LEHRMITTEL · Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG  
Düsselberger Str. 23 · 42781 Haan-Gruiten

**Europa-Nr.: 5231X**

# Technische Physik

## Gesamtband

### Autoren:

Ewald Bach	Oberstudienrat	Uhingen/Fils
Volker Jungblut	Dipl.-Ing., Oberstudiendirektor	Eppstein
Falko Wieneke	Dipl.-Ing., Studiendirektor	Essen
Ulrich Maier	Dr. rer. nat., Oberstudienrat	Heilbronn/Neckar
Bernd Mattheus	Dr. Ing.	Essen

### Lektorat:

Falko Wieneke

### Lektor und Autor bis zur 5. Auflage:

Horst Herr †	Dipl.-Ing., Fachoberlehrer	Kelkheim/Taunus
--------------	----------------------------	-----------------

### Umschlaggestaltung:

braunwerbeagentur, 42477 Radevormwald; Grafik u. Sound, 50679 Köln

### Bildbearbeitung:

Zeichenbüro des Verlages Europa-Lehrmittel, Ostfildern  
Design-Studio Wiegand, Hamburg

6. Auflage 2017

Druck 5 4 3 2 1

Alle Drucke derselben Auflage sind parallel einsetzbar, da bis auf die Behebung von Druckfehlern untereinander unverändert.

ISBN 978-3-8085-5236-0

Alle Rechte vorbehalten. Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der gesetzlich geregelten Fälle muss vom Verlag schriftlich genehmigt werden.

<http://www.europa-lehrmittel.de>

© 2017 by Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Gruiten  
Satz und Druck: Tutte Druckerei & Verlagsservice GmbH, Salzweg

## Vorwort

*Das letzte Geheimnis der Natur kann die Wissenschaft nicht lösen. Und zwar darum nicht, weil wir selbst ein Teil der Schöpfung, also der Natur sind und somit ein Teil des Geheimnisses, das wir lösen wollen.*

Max Planck

Das vorangestellte Motto von Max Planck lässt die Genialität einzelner Naturwissenschaftler und Ingenieure erahnen: Die Grenzen menschlichen Geistes akzeptierend haben sie dennoch stetig versucht, sich den Geheimnissen der Natur so weit als möglich anzunähern. Die Folgen dieses Bestrebens waren und sind große wissenschaftliche Erkenntnisse in den Naturwissenschaften. Aufgrund der Entwicklung speziell in der Physik ist den Ingenieurwissenschaften die Basis zugewachsen, die die gesamte moderne technische Entwicklung erst ermöglicht hat.

Das Lehrbuch **Technische Physik** verfolgt das Ziel, die Brücke zwischen den Gesetzen der Physik und den vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten der Physik in der modernen Technik zu schlagen. Durch diese Verbindung sehen die Lernenden die Physik in einem neuen Zusammenhang, sie erkennen ihren Nutzen und werden befähigt, das physikalische Grundlagenwissen auf Problemstellungen der Technik eigenständig anzuwenden.

Umfang, Auswahl und Darbietung des Lehrinhaltes dieses Buches orientieren sich an den Lehrplänen der **Fachschule für Technik**. Das Buch ist darüber hinaus an **Fachoberschulen** und **Technischen Gymnasien** einsetzbar. Den Studierenden an Fachhochschulen und Technischen Universitäten erleichtert es den Einstieg in die den Ingenieurwissenschaften zugrunde liegende Physik. Aufgrund der besonderen Struktur des Buches, der leicht verständlichen Darstellungen, der reichhaltigen Bebilderung, der Merksätze und der zahlreichen Muster-, Übungs- und Vertiefungsaufgaben kann das Buch sowohl den Unterricht begleitend als auch im Selbststudium eingesetzt werden. Die Lektionen sind nach einem einheitlichen Schema aufgebaut, das auf der nächsten Seite beschrieben wird.

Die **6. Auflage** des Buches wurde im Vergleich zur 5. Auflage gründlich überarbeitet. In den Lektionen sich **Meilensteine** der Naturwissenschaften, die an die Wissenschaftler erinnern, die durch ihre Forschung wesentlich zum Wissensstand der behandelten Themen der Physik beigetragen haben. Diese Meilensteine sollen von Lernenden als „Rastplätze“ genutzt werden, sie werden dazu angeregt sich der Zeiträume und der zahlreichen genialen Menschen bewusst zu werden, denen wir die moderne Physik verdanken. Alle im Buch genannten Wissenschaftler, Techniker und Forscher sind im Anhang (Seiten 607-614) alphabetisch mit den entsprechenden Seitenangaben aufgelistet.

Im Gedenken an den verstorbenen Autor und Freund Horst Herr wünschen wir unseren Leserinnen und Lesern viel Freude beim Einstieg in die Technische Physik und bei der Anwendung der Gesetze der Physik auf die moderne Technik.

Hinweise, die zur Verbesserung und Weiterentwicklung dieses Buches beitragen, nehmen wir gerne unter der Verlagsadresse oder per E-Mail ([lektorat@europa-lehrmittel.de](mailto:lektorat@europa-lehrmittel.de)) entgegen.

Herbst 2017

Autoren und Verlag

## Zur Arbeit mit diesem Buch

Soll es **unterrichtsbegleitend** verwendet werden, so finden die Lernenden hier die im Unterricht erläuterten Erkenntnisse und Zusammenhänge und die daraus resultierenden Formeln in den **thematisch ausgerichteten Lektionen**. Während die Übungsaufgaben mit dem Lösungsanhang je nach Kenntnisstand der häuslichen Nacharbeit dienen, wählt der Dozent aus den Vertiefungsaufgaben diejenigen aus, die seinen Intentionen entsprechen.

Beim **Selbststudium** ist es möglich, einige Lektionen, die nicht weiterführend sind, auszulassen. Sinnvoll ist es, jede Lektion, deren Inhalt man sich aneignen will, vollständig und in der gegebenen Reihenfolge durcharbeiten.

Die **Informationen (I)** befinden sich naturgemäß am Beginn der Lektionen, nur in wenigen Fällen sind sie innerhalb der Lektion aufgeteilt. Die Erläuterungen der physikalisch-technischen Zusammenhänge führen in der Regel zu einer oder mehreren Formeln. Die Anwendung dieser Formeln erfolgt exemplarisch in **Musteraufgaben (M)**, die gegebenenfalls noch spezielle Kenntnisse vermitteln.

Die darauf folgenden **Übungsaufgaben (Ü)** dienen der Wiederholung und Vertiefung sowie der Überprüfung des Gelernten durch die Studierenden. Deshalb befinden sich **am Schluss des Buches ausführliche Lösungsgänge**. Diese Buchseiten sind mit einem **gelben Randdruck** gekennzeichnet.

Möchten die Lernenden ihr Wissen weiter vertiefen oder sich auf Prüfungen vorbereiten, lösen sie zweckmäßig die **Vertiefungsaufgaben (V)**. **Am Schluss des Buches befinden sich die Ergebnisse** dieser Vertiefungsaufgaben. Diese Buchseiten sind mit einem **braunen Randdruck** versehen.

Der pädagogische Zweck dieses Schemas **I, M, Ü, V** innerhalb jeder Lektion besteht darin, dass die Lernenden in mehreren Stufen, d.h. mit einem zunehmenden Grad der Selbständigkeit, zum Lehrziel geführt werden. Deshalb musste nach unserem pädagogischen Verständnis auch auf die Lösungsgänge der Vertiefungsaufgaben zwingend verzichtet werden.

Das Buch ist in die **Abschnitte A, B, C, D, E, F, G** unterteilt, und die **Bezeichnung der Lektionen** besteht aus einem Buchstaben und einer Zahl, und zwar vor den Überschriften der Lektionen, z. B.

**D3** : Lektion 3 im Abschnitt D.

Diese Kennzeichnung ermöglicht die **Verkettung der physikalischen Sachverhalte** durch ein besonderes **Hinweissystem**, z. B.:

(→ **F11**): Weitere Informationen im Abschnitt F, Lektion 11.

In das Buch ist also gewissermaßen ein **„Fahrplan durch die Physik“** eingebaut. Dieser ermöglicht eine optimale Lehrbuchnutzung und lässt den Lernenden eher begreifen, dass die Physik – trotz ihrer vielen Teilgebiete und Richtungen – eine „zusammenhängende“ Wissenschaft ist, und wir hoffen, dass der pädagogische Wert seine Anerkennung findet.



## Inhaltsverzeichnis

### MEILENSTEINE

Auf den folgenden Seiten sind die Meilensteine der Naturwissenschaften aufgeführt:

2, 4, 8, 12, 18, 20, 24, 32, 36, 40, 44, 47, 49, 56, 60, 68, 78, 81, 85, 88, 94, 99, 112, 117, 121, 125, 130, 136, 145, 150, 153, 156, 163, 168, 174, 181, 194, 203, 208, 216, 224, 232, 239, 249, 257, 261, 272, 276, 294, 314, 325, 331, 338, 340, 361, 374, 393, 403, 416, 425, 431, 442, 452, 461, 470, 478, 492, 537, 546, 553, 585, 606, 628.

<b>A</b>	<b>Mechanik der festen Körper</b>	<b>1 bis 117</b>
<b>A1</b>	<b>Aufgaben und Methoden der Physik</b>	<b>1</b>
A1.1	Naturwissenschaftliche Betrachtungsweisen	1
A1.2	Physik als eigenständige Naturwissenschaft	1
A1.3	Der physikalische Erkenntnisprozess	3
A1.4	Regeln für die physikalische Arbeit	4
<b>A2</b>	<b>Physikalische Größen und ihre Einheiten</b>	<b>5</b>
A2.1	Messbarkeit der physikalischen Größen	5
A2.2	Die Bestandteile einer physikalischen Größe	5
A2.3	Das SI-Einheitensystem	6
A2.4	Umrechnung alter Einheiten in SI-Einheiten	7
<b>A3</b>	<b>Die Körper</b>	<b>9</b>
A3.1	Definition des Begriffes Körper in der Physik	9
A3.2	Verhalten der Körper als Folge von Molekularkräften	9
<b>A4</b>	<b>Messungen an Körpern und Körpersystemen</b>	<b>13</b>
A4.1	Technik des Messens	13
A4.2	Wahl geeigneter Maßeinheiten	13
A4.3	Das Messen der mechanischen Größen	13
A4.4	Messfehler	17
<b>A5</b>	<b>Die Teilgebiete der Mechanik</b>	<b>19</b>
A5.1	Die Begriffe Statik, Kinematik, Kinetik und Dynamik	19
A5.2	Die Bewegungskriterien fester Körper	20
A5.3	Die Freiheitsgrade fester Körper	20
<b>A6</b>	<b>Gleichförmige geradlinige Bewegung</b>	<b>21</b>
A6.1	Der Begriff der Geschwindigkeit	21
A6.2	Momentan- und Durchschnittsgeschwindigkeit	22
<b>A7</b>	<b>Ungleichförmige geradlinige Bewegung</b>	<b>25</b>
A7.1	Merkmale einer ungleichförmigen Bewegung	25
A7.2	Die ungleichmäßig beschleunigte geradlinige Bewegung	25
A7.3	Die gleichmäßig beschleunigte geradlinige Bewegung	25
A7.4	Verzögerte geradlinige Bewegung	28
A7.5	Freier Fall und senkrechter Wurf nach oben	29
A7.6	Weitere Formeln zur gleichmäßig beschleunigten (verzögerten) Bewegung	30
<b>A8</b>	<b>Zusammensetzen von Geschwindigkeiten</b>	<b>33</b>
A8.1	Vektoren und Skalare	33
A8.2	Überlagerungsprinzip bei geradlinigen Bewegungen und Vektoraddition	33
A8.3	Überlagerungsprinzip bei kreisförmigen Bewegungen	34
A8.4	Führungs-, Relativ- und Absolutgeschwindigkeit	35

<b>A9</b>	<b>Freie Bewegungsbahnen</b>	<b>37</b>
A9.1	Der Grundsatz der Unabhängigkeit	37
A9.2	Der schiefe Wurf	37
A9.3	Der waagerechte Wurf	39
<b>A10</b>	<b>Beschleunigende Wirkung der Kraft</b>	<b>41</b>
A10.1	Das erste Newton'sche Axiom	41
A10.2	Das zweite Newton'sche Axiom	41
A10.3	Das dritte Newton'sche Axiom	42
<b>A11</b>	<b>Verformende Wirkung der Kraft</b>	<b>45</b>
A11.1	Arten der Verformung eines festen Körpers	45
A11.2	Das Gesetz von Hooke	45
A11.3	Messung von Kräften	46
<b>A12</b>	<b>Die Kraft als Vektor</b>	<b>48</b>
A12.1	Die Einzelkraft	48
A12.2	Zusammensetzen von Einzelkräften	48
<b>A13</b>	<b>Das Kraftmoment und seine Wirkungen</b>	<b>50</b>
A13.1	Kraftmoment als physikalische Größe	50
A13.2	Der Hebel	51
A13.3	Der Schwerpunkt als Massenmittelpunkt	52
A13.4	Gleichgewicht und Kippen	53
A13.5	Kraftübersetzung mit einfachen Maschinen	54
<b>A14</b>	<b>Kurzzeitig wirkende Kräfte</b>	<b>57</b>
A14.1	Die Bewegungsgröße (Impuls)	57
A14.2	Der Stoß	58
<b>A15</b>	<b>Reibungskräfte</b>	<b>61</b>
A15.1	Äußere und innere Reibung	62
A15.2	Haft- und Gleitreibung	61
A15.3	Das Reibungsgesetz nach Coulomb	61
A15.3.1	Die Reibungszahl und die Berechnung der Reibungskräfte	62
<b>A16</b>	<b>Reibung auf der schiefen Ebene</b>	<b>64</b>
A16.1	Bestimmung der Reibungszahlen	64
A16.2	Selbsthemmung	65
<b>A17</b>	<b>Prinzip von d'Alembert</b>	<b>66</b>
A17.1	Erweitertes dynamisches Grundgesetz	66
<b>A18</b>	<b>Arbeit und Energie</b>	<b>69</b>
A18.1	Die mechanische Arbeit	69
A18.2	Energiearten und Energiespeicherung	70
A18.3	Gleichwertigkeit der mechanischen Arbeit und der mechanischen Energie	71
A18.4	Der Energieerhaltungssatz und Beispiele der Energieerhaltung	74
A18.5	Weitere Formen der mechanischen Arbeit	76
<b>A19</b>	<b>Mechanische Leistung</b>	<b>79</b>
A19.1	Leistung als Funktion von Energie und Zeit	79
A19.2	Leistung als Funktion von Kraft und Geschwindigkeit	80
<b>A20</b>	<b>Reibungsarbeit und Wirkungsgrad</b>	<b>82</b>
A20.1	Reibungsarbeit	82
A20.2	Energieumwandlung bei der Reibung	83
A20.3	Der mechanische Wirkungsgrad	83
A20.4	Die Reibungsleistung	84
<b>A21</b>	<b>Drehleistung</b>	<b>86</b>
A21.1	Rotationsbewegung	86



A21.2	Drehzahl und Umfangsgeschwindigkeit	86
A21.2	Berechnung der Drehleistung bei gleichförmiger Drehbewegung	87
<b>A22</b>	<b>Rotationskinematik</b>	<b>89</b>
A22.1	Die Bewegungszustände bei Rotation	89
A22.2	Analogien zwischen Translation und Rotation	91
<b>A23</b>	<b>Rotationsdynamik</b>	<b>95</b>
A23.1	Die Fliehkraft	95
A23.2	Coriolisbeschleunigung und Corioliskraft	97
<b>A24</b>	<b>Kinetische Energie rotierender Massen</b>	<b>100</b>
A24.1	Rotationsenergie als kinetische Energie	100
A24.2	Das Massenträgheitsmoment	100
A24.3	Dynamisches Grundgesetz der Drehbewegung	106
A24.4	Dreharbeit in Abhängigkeit von Drehmoment und Drehwinkel	107
A24.5	Drehimpuls und Drehstoß	108
<b>A25</b>	<b>Gravitation</b>	<b>113</b>
A25.1	Himmelsmechanik	113
A25.2	Das Gravitationsgesetz	114
<b>B</b>	<b>Mechanik der Fluide</b>	<b>118 bis 174</b>
<b>B1</b>	<b>Wirkungen der Molekularkräfte</b>	<b>118</b>
B1.1	Fluide und Fluidmechanik	118
B1.2	Verhalten der Fluide als Folge der Molekularkräfte	119
<b>B2</b>	<b>Druck in Flüssigkeiten</b>	<b>122</b>
B2.1	Pressdruck und hydrostatischer Druck	122
B2.2	Druckeinheiten	123
B2.3	Kompressibilität	124
B2.4	Die ideale Flüssigkeit	124
<b>B3</b>	<b>Druck in Gasen</b>	<b>126</b>
B3.1	Gesetz von Boyle Mariotte	126
B3.2	Der Schweredruck von Gasen	126
B3.3	Der Normzustand eines Gases bzw. Dampfes	128
B3.4	Die Gasdichte bzw. Dampfdichte	128
<b>B4</b>	<b>Druckkraft</b>	<b>131</b>
B4.1	Druckverteilung in Fluiden	131
B4.2	Druckkraft auf Flächen	131
B4.3	Die hydraulische Druckübersetzung	134
<b>B5</b>	<b>Flüssigkeitsgewicht und hydrostatischer Druck</b>	<b>137</b>
B5.1	Druckverteilung bei zunehmender Eintauchtiefe	137
B5.2	Die Bodendruckkraft	138
B5.3	Seitendruckkraft und Druckmittelpunkt	138
B5.4	Die Aufdruckkraft	140
B5.5	Verbundene Gefäße	141
B5.6	Die Saugwirkung	142
B5.7	Flüssigkeitsmanometer, Flüssigkeitsvakuummeter, Piezometer	143
<b>B6</b>	<b>Der statische Auftrieb in Flüssigkeiten und Gasen</b>	<b>146</b>
B6.1	Das Archimedische Prinzip	146
B6.2	Berechnung der Auftriebskraft	146
B6.3	Sinken, Schweben, Schwimmen	147
B6.4	Gleichgewichtslagen schwimmender Körper	147
B6.5	Anwendung des Archimedischen Prinzips zur Bestimmung von Dichten	148

<b>B7</b>	<b>Flüssigkeitsoberflächen in bewegten Behältern</b>	<b>151</b>
B7.1	Flüssigkeit in einem mit konstanter Geschwindigkeit bewegtem Gefäß . . . . .	151
B7.2	Flüssigkeit in einem gleichmäßig beschleunigten Gefäß . . . . .	151
B7.3	Flüssigkeit in einem rotierenden Gefäß . . . . .	151
<b>B8</b>	<b>Geschwindigkeitsänderungen inkompressibler Fluide</b>	<b>154</b>
B8.1	Kompressibilität von Fluiden . . . . .	154
B8.2	Die stationäre Rohrströmung ohne Reibungsverluste . . . . .	154
B8.3	Die Kontinuitätsgleichung bei inkompressibler Strömung . . . . .	154
<b>B9</b>	<b>Energieerhaltung inkompressibler strömender Fluide</b>	<b>157</b>
B9.1	Die drei Energieformen eines strömenden Fluids . . . . .	157
B9.2	Die Energiegleichung nach Bernoulli . . . . .	157
B9.3	Anwendungen zur Kontinuitäts- und Energiegleichung . . . . .	160
<b>B10</b>	<b>Fluidreibung</b>	<b>164</b>
B10.1	Äußere und innere Reibung . . . . .	164
B10.2	Fluidität und Zähigkeit, Newton'sches Fluid . . . . .	164
B10.3	Der Einfluss der Zähigkeit auf die Strömungsform . . . . .	167
<b>B11</b>	<b>Kräfte am umströmten Körper</b>	<b>169</b>
B11.1	Definition des umströmten Körpers . . . . .	169
B11.2	Der Strömungswiderstand . . . . .	169
B11.3	Der dynamische Auftrieb . . . . .	171
B11.4	Der Magnus-Effekt . . . . .	171
<b>B12</b>	<b>Kontinuität des kompressiblen Massenstroms</b>	<b>173</b>
B12.1	Kompressibilität in der „Technischen Strömungslehre“ . . . . .	173
B12.2	Die allgemeine Kontinuitätsgleichung . . . . .	173
<b>C</b>	<b>Wärmelehre</b>	<b>175 bis 261</b>
<b>C1</b>	<b>Temperatur und Temperaturmessung</b>	<b>175</b>
C1.1	Temperatur als Zustandsgröße . . . . .	175
C1.2	Temperaturskalen . . . . .	175
C1.3	Messung der Temperatur . . . . .	179
<b>C2</b>	<b>Wärme als Energieform</b>	<b>182</b>
C2.1	Energiearten und Energieumwandlungen . . . . .	182
C2.2	Wärmeenergie und absoluter Nullpunkt . . . . .	184
<b>C3</b>	<b>Wärmeausdehnung fester, flüssiger und gasförmiger Stoffe</b>	<b>185</b>
C3.1	Wärmeausdehnung fester Körper . . . . .	185
C3.2	Wärmeausdehnung von Flüssigkeiten . . . . .	188
C3.3	Wärmeausdehnung von Gasen und Dämpfen . . . . .	189
<b>C4</b>	<b>Gasgemische in Umwelt und Technik</b>	<b>195</b>
C4.1	Die Gasdichte in Abhängigkeit von Druck und Temperatur . . . . .	195
C4.2	Spezifische Gaskonstante und allgemeine Zustandsgleichung der Gase . . . . .	195
C4.3	Ideales und reales Gas . . . . .	196
<b>C5</b>	<b>Durchmischung verschiedener idealer Gase</b>	<b>204</b>
C5.1	Die Anwendbarkeit der Gasgesetze . . . . .	204
C5.2	Ermittlung des Partialdruckes eines Gasanteils . . . . .	206
<b>C6</b>	<b>Diffusion, Osmose, Dialyse und feuchte Luft</b>	<b>209</b>
C6.1	Diffusion . . . . .	209
C6.2	Osmose und Dialyse . . . . .	212
C6.3	Feuchte Luft als Gasgemisch . . . . .	213
<b>C7</b>	<b>Wärmekapazität fester und flüssiger Stoffe</b>	<b>217</b>
C7.1	Die spezifische Wärmekapazität . . . . .	217

C7.2	Wärmemenge und Wärmekapazität . . . . .	218
C7.3	Kalorimeter . . . . .	219
C7.4	Die Mischungsregel . . . . .	220
C7.5	Wärmequellen . . . . .	221
<b>C8</b>	<b>Änderung des Aggregatzustandes</b>	<b>225</b>
C8.1	Schmelzen und Erstarren . . . . .	225
C8.2	Verdampfen und Kondensieren, Sublimieren . . . . .	226
<b>C9</b>	<b>Technische Möglichkeiten der Umwandlung von Wärmeenergie in mechanische Arbeit und umgekehrt</b>	<b>233</b>
C9.1	Technische Anlagen zur Energieumwandlung . . . . .	233
<b>C10</b>	<b>Der erste Hauptsatz der Thermodynamik</b>	<b>235</b>
C10.1	Äquivalenz von Wärmeenergie und mechanischer Arbeit . . . . .	235
C10.2	Darstellung der Volumenänderungsarbeit im $p$ , $V$ -Diagramm . . . . .	236
C10.3	Innere Energie und Enthalpie . . . . .	237
C10.4	Die spezifische Wärme von Gasen und Dämpfen . . . . .	237
<b>C11</b>	<b>Thermodynamische Zustandsänderungen</b>	<b>240</b>
C11.1	Die isobare Zustandsänderung . . . . .	240
C11.2	Die isochore Zustandsänderung . . . . .	241
C11.3	Die isotherme Zustandsänderung . . . . .	241
C11.4	Die isentrope (adiabate) Zustandsänderung . . . . .	242
C11.5	Die polytrope Zustandsänderung . . . . .	242
<b>C12</b>	<b>Die Kreisprozesse im <math>p</math>, <math>V</math>-Diagramm (Arbeitsdiagramm) und zweiter Hauptsatz der Thermodynamik</b>	<b>244</b>
C12.1	Begriff des Kreisprozesses . . . . .	244
C12.2	Der Betrag der Nutzarbeit . . . . .	244
C12.3	Der zweite Hauptsatz der Thermodynamik . . . . .	245
C12.4	Der thermische Wirkungsgrad . . . . .	245
C12.5	Ideale Kreisprozesse und deren Wirkungsgrade . . . . .	245
C12.6	Linkslaufende Kreisprozesse und die Zustandsgröße Entropie . . . . .	247
<b>C13</b>	<b>Beziehungen der Wärmeenergie zur elektrischen Energie</b>	<b>250</b>
C13.1	Umwandlung von Wärmeenergie in elektrische Energie . . . . .	250
C13.2	Umwandlung von elektrischer Energie in Wärmeenergie . . . . .	251
<b>C14</b>	<b>Zweiter Hauptsatz und Wärmetransport</b>	<b>253</b>
C14.1	Wärmeleitung . . . . .	253
C14.2	Wärmeübergang . . . . .	254
C14.3	Wärmedurchgang . . . . .	256
C14.4	Wärmestrahlung . . . . .	258
<b>D</b>	<b>Schwingungs- und Wellenlehre</b>	<b>262 bis 294</b>
<b>D1</b>	<b>Schwingungen</b>	<b>262</b>
D1.1	Die Schwingung als periodische Bewegung . . . . .	262
D1.2	Das Auslenkungs, Zeit-Gesetz (Weg, Zeit-Gesetz) . . . . .	263
D1.3	Schwingungsdauer des Federpendels . . . . .	266
D1.4	Energieumwandlungen bei einer harmonischen Schwingung . . . . .	267
<b>D2</b>	<b>Pendelschwingungen</b>	<b>269</b>
D2.1	Mathematisches Pendel (Fadenpendel) . . . . .	269
D2.2	Physikalisches Pendel . . . . .	270
<b>D3</b>	<b>Dämpfung von Schwingungen</b>	<b>273</b>
D3.1	Freie gedämpfte Schwingungen . . . . .	273
D3.2	Dämpfungssysteme . . . . .	275

<b>D4</b>	<b>Anregung von Schwingungen</b>	<b>277</b>
D4.1	Erzwungene Schwingungen . . . . .	277
<b>D5</b>	<b>Überlagerung von Schwingungen</b>	<b>279</b>
D5.1	Überlagerung und resultierende Schwingungen . . . . .	279
D5.2	Sonderfälle bei der Überlagerung harmonischer Schwingungen . . . . .	279
<b>D6</b>	<b>Wellen</b>	<b>283</b>
D6.1	Physikalische Grundlagen der Wellenausbreitung . . . . .	283
D6.2	Physikalische Größen zur Beschreibung einer Welle . . . . .	284
D6.3	Wellenarten . . . . .	285
D6.4	Gleichung der fortschreitenden, linearen sinusförmigen Welle . . . . .	286
D6.5	Ausbreitungsgeschwindigkeit in verschiedenen Medien . . . . .	287
D6.6	Interferenz . . . . .	288
D6.7	Doppler-Effekt . . . . .	291
D6.8	Mach'scher Kegel . . . . .	291
D6.9	Reflexion und Brechung ebener Wellen . . . . .	292
<b>E</b>	<b>Optik und Akustik</b>	<b>295 bis 340</b>
<b>E1</b>	<b>Geometrische Optik</b>	<b>295</b>
E1.1	Gliederung der Optik . . . . .	295
E1.2	Reflexion des Lichts . . . . .	295
E1.3	Brechung des Lichts . . . . .	298
E1.4	Abbildung durch Linsen . . . . .	302
<b>E2</b>	<b>Wellenoptik</b>	<b>306</b>
E2.1	Licht als Welle . . . . .	306
E2.2	Spektrum der elektromagnetischen Wellen . . . . .	313
<b>E3</b>	<b>Photoeffekt, Photometrie und Farbenlehre</b>	<b>315</b>
E3.1	Photoeffekt (Lichtelektrischer Effekt) und Lichtquellen . . . . .	315
E3.2	Photometrie . . . . .	316
E3.3	Die Spektralfarben des Lichts und die Lehre von den Farben . . . . .	321
E3.3.1	Zerlegung von weißem Licht in seine Spektralfarben . . . . .	321
E3.3.2	Farbaddition und Farbsubtraktion . . . . .	322
<b>E4</b>	<b>Akustik</b>	<b>326</b>
E4.1	Schallwellen . . . . .	326
E4.2	Schallfeldgrößen . . . . .	326
E4.3	Die verschiedenen Schallpegel . . . . .	329
<b>E5</b>	<b>Schallempfindung und Schallbewertung</b>	<b>332</b>
E5.1	Aufbau und Empfindlichkeit des Ohres . . . . .	332
E5.2	Lautstärke und Lautheit . . . . .	332
E5.3	Immissionsschutz . . . . .	334
E5.4	Schallausbreitung und Schalldämmung . . . . .	335
E5.5	Schalldämmung und Schalldämpfung . . . . .	336
E5.6	Schallbewertung . . . . .	337
<b>E6</b>	<b>Ultraschall</b>	<b>339</b>
<b>F</b>	<b>Elektrizitätslehre</b>	<b>341 bis 504</b>
<b>F1</b>	<b>Elektrophysikalische Grundlagen</b>	<b>341</b>
F1.1	Reibungselektrizität . . . . .	341
F1.2	Die elektrische Ladung und deren Nachweis . . . . .	341
F1.3	Der elektrische Strom . . . . .	343
F1.4	Wirkungen des elektrischen Stromes . . . . .	346
F1.5	Elektrischer Widerstand und Leitwert . . . . .	351
F1.6	Elektrische Spannung . . . . .	352

<b>F2</b>	<b>Gesetzmäßigkeiten im elektrischen Stromkreis</b>	<b>362</b>
F2.1	Das Ohm'sche Gesetz . . . . .	362
F2.2	Graphische Darstellung des Ohm'schen Gesetzes . . . . .	363
F2.3	Spezifischer Widerstand und Leitfähigkeit . . . . .	364
F2.4	Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstandes . . . . .	366
F2.5	Elektrische Arbeit und elektrische Leistung . . . . .	367
F2.6	Umwandlung der Energien und Wirkungsgrad . . . . .	370
<b>F3</b>	<b>Gesetzmäßigkeiten in Widerstandsschaltungen</b>	<b>375</b>
F3.1	Parallelschaltung von Widerständen . . . . .	375
F3.2	Reihenschaltung von Widerständen . . . . .	378
F3.3	Gemischte Widerstandsschaltungen . . . . .	381
F3.4	Spannungsteiler . . . . .	382
F3.5	Messbereichserweiterung von elektrischen Messinstrumenten . . . . .	385
F3.6	Widerstandsmessung . . . . .	387
F3.7	Innenwiderstand von Spannungserzeugern . . . . .	389
<b>F4</b>	<b>Das elektrische Feld</b>	<b>394</b>
F4.1	Grundlegende Betrachtungen über elektrische Felder . . . . .	394
F4.2	Coulomb'sches Gesetz . . . . .	395
F4.3	Elektrische Influenz . . . . .	396
F4.4	Die elektrische Feldstärke . . . . .	397
F4.5	Die Spannung und Feldstärke im homogenen Feld . . . . .	399
F4.6	Die Kapazität eines Kondensators . . . . .	400
<b>F5</b>	<b>Das magnetische Feld</b>	<b>404</b>
F5.1	Grundlegende Betrachtungen über magnetische Felder . . . . .	404
F5.2	Magnetische Größen . . . . .	407
F5.3	Kraftwirkung eines Magnetfeldes auf einen stromdurchflossenen Leiter . . . . .	410
<b>F6</b>	<b>Elektromagnetische Induktion</b>	<b>417</b>
F6.1	Spannungserzeugung durch Induktion . . . . .	417
F6.2	Selbstinduktion . . . . .	421
<b>F7</b>	<b>Elektromagnetische Schalter und Messgeräte</b>	<b>426</b>
F7.1	Elektromagnete . . . . .	426
F7.2	Elektromagnetische Schalter . . . . .	426
F7.3	Elektrische Messgeräte . . . . .	428
<b>F8</b>	<b>Der Wechselstromkreis</b>	<b>432</b>
F8.1	Erzeugung von sinusförmigen Wechselspannungen und Wechselströmen . . . . .	432
F8.2	Darstellung und Berechnung von sinusförmigen Wechselgrößen . . . . .	432
F8.3	Wirkwiderstand, Kondensator und Spule im Wechselstromkreis . . . . .	435
<b>F9</b>	<b>Dreiphasenwechselspannung</b>	<b>443</b>
F9.1	Erzeugung einer Dreiphasenwechselspannung . . . . .	443
F9.2	Stern- und Dreieckschaltung . . . . .	445
F9.3	Bedeutung des Drehstromes für die elektrische Energieübertragung . . . . .	449
F9.4	Technische Anwendungen der Stern- und der Dreieckschaltung . . . . .	449
<b>F10</b>	<b>Transformatoren</b>	<b>453</b>
<b>F11</b>	<b>Elektrische Maschinen</b>	<b>462</b>
F11.1	Gleichstrommotoren . . . . .	462
F11.2	Drehstrommotoren . . . . .	467
F11.3	Synchronmotoren . . . . .	469
F11.4	Drehstrom-Asynchronmotoren . . . . .	469
<b>F12</b>	<b>Elektromagnetische Schwingungen</b>	<b>471</b>
F12.1	Resonanzerscheinung . . . . .	471
F12.2	Elektrischer Schwingkreis . . . . .	471
F12.3	Entstehung und Ausbreitung elektromagnetischer Wellen . . . . .	475

<b>F13</b>	<b>Grundlagen der Halbleitertechnik</b>	<b>479</b>
F13.1	Kurze Entstehungsgeschichte der Halbleiterphysik	479
F13.2	Halbleiterwerkstoffe	479
F13.3	Bauelemente mit Halbleiterwerkstoffen	487
<b>F14</b>	<b>Erneuerbare Energien</b>	<b>493</b>
F14.1	Solartechnik	493
F14.2	Sonnenkollektoren	493
F14.3	Fotovoltaik	494
F14.4	Windenergieanlagen (WEA)	500
<b>G</b>	<b>Atom- und Kernphysik</b>	<b>505 bis 553</b>
<b>G1</b>	<b>Physik der Atomhülle</b>	<b>505</b>
G1.1	Rutherford'sches Atommodell	505
G1.2	Gesetzliche Einheit der Energie in der Atomphysik	507
G1.3	Bohr'sches Atommodell	508
G1.4	Das Wasserstoffatom	509
G1.5	Spektren	512
G1.6	Röntgenstrahlung	517
<b>G2</b>	<b>Physik des Atomkerns</b>	<b>522</b>
G2.1	Natürliche radioaktive Strahlung	522
G2.2	Nachweis und Messung der radioaktiven Strahlung	523
G2.3	Radioaktiver Zerfall	525
G2.4	Eigenschaften des Atomkerns	528
G2.5	Kernumwandlungen beim radioaktiven Zerfall	530
G2.6	Künstliche Kernumwandlungen	532
G2.7	Kernspaltung	534
G2.8	Kernverschmelzung (Kernfusion)	535
G2.9	Massendefekt und Bindungsenergie	536
<b>G3</b>	<b>Kernenergie</b>	<b>538</b>
G3.1	Zusammensetzung der Kernenergie bei der Kernspaltung	538
G3.2	Kontrollierte Kernspaltung	538
G3.3	Kernreaktoren	540
G3.4	Reaktorsicherheit	544
G3.5	Entsorgung	545
<b>G4</b>	<b>Dosimetrie und Strahlenschutz</b>	<b>547</b>
G4.1	Biologische Wirkung radioaktiver Strahlung	547
G4.2	Dosisbegriffe	547
G4.3	Abschirmung radioaktiver Strahlung	550
G4.4	Dosismessung	550
G4.5	Natürliche und zivilisatorische Strahlenbelastung	551
G4.6	Dosisgrenzwerte	552
	<b>Lösungsgänge und Lösungen zu den Übungsaufgaben</b>	<b>554</b>
	<b>Ergebnisse der Vertiefungsaufgaben</b>	<b>586</b>
	<b>Im Buch genannte Wissenschaftler, Techniker und Forscher</b>	<b>607</b>
	<b>Verwendete physikalische Größen, deren Formelzeichen und Einheiten</b>	<b>615</b>
	<b>Verwendete Naturkonstanten</b>	<b>619</b>
	<b>Sachwortverzeichnis</b>	<b>620</b>
	<b>Griechisches Alphabet</b>	<b>Umschlaginnenseite hinten</b>



# A Mechanik der festen Körper

## A1 Aufgaben und Methoden der Physik

### 1.1 Naturwissenschaftliche Betrachtungsweisen

Das Wort **Physik** ist auf die griechische Bezeichnung für **Natur** (Physis) zurückzuführen. In der Physik werden die Vorgänge in der Natur beinahe immer als Erfahrungswerte begriffen. Mit anderen Worten: Durch die vielfältigen Erfahrungen mit der Natur hat der Mensch gelernt, dass es für den Ablauf der natürlichen Vorgänge Gesetzmäßigkeiten gibt, die wir als **Naturgesetze** bezeichnen und deren Gesamtheit es ermöglicht, die **Naturerscheinungen** zu beschreiben.

Physik ist eine Wissenschaft, die Naturgesetze formuliert, mit deren Hilfe die Naturerscheinungen beschrieben werden können.

Physik ist eine eigenständige Naturwissenschaft, aber auch Basis für andere Naturwissenschaften.

Die **Naturwissenschaften** Physik, Chemie, Biologie und ihre Überlappungen betrachten verschiedene Aspekte der Natur. In Abhängigkeit vom **Entwicklungsstand** dieser Wissenschaften kann ein immer besseres **Gesamtbild der Natur** gezeichnet werden.

Die Genauigkeit, mit der die Natur beschrieben werden kann, hängt vom Entwicklungsstand aller Wissenschaften und vom Grad ihrer Vernetzung ab.

Es gibt drei klassische **Aggregatzustände**: Fest, flüssig und gasförmig. Im festen Zustand behält ein Stoff im Allgemeinen innerhalb bestimmter Temperatur- und Druckbereiche sowohl seine Form als auch sein Volumen. Es wird dann auch von einem **Festkörper** gesprochen. Mit der **Physik der Festkörper** beschäftigt sich das Hauptkapitel A.

### 1.2 Klassische Physik und moderne Physik

Physikalische Betrachtungen beruhten über die Jahrhunderte auf der Beobachtung der Natur sowie auf Experimenten. Dabei ging man davon aus, dass ein Naturvorgang unabhängig davon abläuft, ob er beobachtet oder gemessen wird. Auf diese Weise wurden die Mechanik der Festkörper, Flüssigkeiten und Gase, die Optik, die Akustik, die Wärmelehre sowie die Elektrizitätslehre entwickelt. Zu Beginn des 20. Jahrhunderts wurden in der Physik Entdeckungen gemacht, die zeigten, dass in bestimmten Bereichen diese Erkenntnisse nicht mehr ausreichten.

So musste die klassische Physik in einigen Bereichen ergänzt werden:

- Ist die Geschwindigkeit eines Objekts nicht mehr sehr viel kleiner als die Lichtgeschwindigkeit, so gelten andere Bewegungsgesetze.
- Betrachtet man den Aufbau einzelner oder weniger Atome, so müssen zusätzliche Naturkräfte (Kernkräfte) und weitere Naturgesetze beachtet werden.
- Betrachtet man Systeme in atomaren Größenordnungen, so kann die Wechselwirkung zwischen System und Messung nicht mehr ignoriert werden.

- **Klassische Physik**

Mechanik, Wärmelehre, Akustik, Optik, Elektrizitätslehre

- **Moderne Physik**

Relativitätstheorie, Atom- und Kernphysik, Quantenmechanik

Die Gesetze der klassischen Physik bilden die Grundlage der Maschinen- und Anlagentechnik sowie der Bautechnik und der allgemeinen Elektrotechnik.

Unter Physik wird die Lehre von solchen Eigenschaften, Strukturen und Vorgängen der unbelebten Materie verstanden, die experimenteller Erforschung, messender Erfassung und mathematischer Darstellung zugänglich sind und allgemeingültigen Gesetzen unterliegen.

### 1.2.1 Teilgebiete und Entwicklungszeiträume der klassischen Physik

Tabelle 1 gibt einen Überblick über die Teilgebiete der klassischen Physik, den geschichtlichen Zeitraum, in dem sie entwickelt wurden, sowie die Hauptabschnitte dieses Buches, in denen sie behandelt werden.

Tabelle 1: Teilgebiete der Physik		
Bezeichnung	Entwicklungszeitraum	Hauptabschnitt
Mechanik der festen Körper	Altertum, 16. Jahrhundert	A
Mechanik der Flüssigkeiten und Gase	Altertum, 17. Jahrhundert	B
Optik	Altertum, 17. Jahrhundert	E
Akustik	Altertum, 18. Jahrhundert	E
Wärmelehre	19. und 20. Jahrhundert	C
Schwingungs- und Wellenlehre	19. und 20. Jahrhundert	D
Elektrizitätslehre	19. und 20. Jahrhundert	F

#### Fahrplan durch Technik und Physik

Die Physik entwickelte sich oft Hand in Hand mit technischen Neuerungen. In lockerer Folge sind in diesem Buch **Meilensteine der Entwicklung von Technik und Naturwissenschaft** verteilt, die oft interessante Zusammenhänge zeigen.

Das vorliegende Buch wird also sozusagen von einem „**Fahrplan durch Technik und Physik**“ durchzogen. Unter Technik wird die Entwicklung und Anwendung von technischen Gerätschaften verstanden. Dabei gilt stets die Voraussetzung, dass Entwicklung und Anwendung immer unter Benutzung abgesicherter Gesetzmäßigkeiten, z. B. aus Physik, Biologie und Chemie erfolgen.

Im ursprünglichen Sinn war Technik im antiken Griechenland gleichbedeutend mit Kunst oder Gewerbe. Historisch ist der Gebrauch von gezielt gefertigten Werkzeugen, wie Axt, Messer, Schaber (Keilwirkung) gesichert. Unbedingt erwähnt werden muss die revolutionierende Erfindung des Rades. Werkzeuge aus Eisen gibt es seit etwa 3000 Jahren.

#### MEILENSTEINE

Zeitraum		Naturwissenschaftlich-technisches Ereignis
um 3000 v. Chr.		Holzpflüge bei den Sumerern, Papyrus als Schreibmaterial. In Nubien wird Goldbergbau betrieben
um 2900 v. Chr.		Holzboote auf dem Nil, die Sumerer benutzen Mühlsteine zum Getreidemahlen
um 2800 v. Chr.		Anfänge der Mathematik
um 2700 v. Chr.		Kupferverhüttung
um 2600 v. Chr.		Maße und Gewichte. Bei den Händlern im Zweistromland (Mesopotamien), dem heutigen Irak, wird die Bierbrautechnik beherrscht
um 2500 v. Chr.		Pyramiden in Ägypten

## 1.3 Der physikalische Erkenntnisprozess

Aus einer großen Anzahl von Naturgesetzen ist zu erkennen, dass sich der **physikalische Erkenntnisprozess** meistens in vier Schritten entwickelt. Dies sind das **Experiment**, die **Induktion**, die **Formulierung des physikalischen Gesetzes** und die **Deduktion**.

### 1.3.1 Das Experiment

Alleine durch die **Beobachtung der Natur** ist es nur sehr eingeschränkt möglich, die physikalischen Gesetze zu formulieren. Etwa ab dem Jahr 1500, vor allem ab Galileo **Galilei** (s. Seite 36) wurden deshalb die natürlichen Vorgänge künstlich in **physikalischen Experimenten** nachgeahmt. So gelang es z. B. Galilei mit Hilfe seiner **Fallversuche** sowie mit einer luftleer gepumpten Fallröhre (Bild 1), d. h. im **Vakuum**, die **Fallgesetze** (→ A 7.5) zu formulieren.

Bei der Herleitung der Naturgesetze nehmen die **Experimente** eine zentrale Stellung ein.

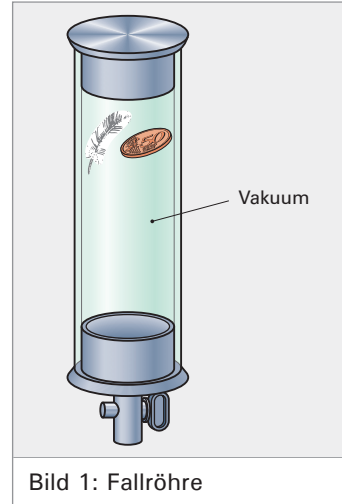


Bild 1: Fallröhre

### 1.3.2 Die Induktion

Führt eine Anzahl von Versuchen immer wieder zum gleichen Ergebnis, so kann daraus geschlossen werden, dass auch der nächste Versuch zum gleichen Ergebnis führt.

Dabei wird vorausgesetzt, dass immer gleiche **Versuchsbedingungen** vorliegen. Ein solcher Schluss heißt **Induktion** oder **Induktionsschluss**.

Beim Induktionsschluss wird von der Wiederholbarkeit eines Versuchs auf die Allgemeingültigkeit der Versuchsaussage geschlossen.

### 1.3.3 Formulierung des physikalischen Gesetzes

Durch Induktionsschluss, d. h. durch die Verallgemeinerung, ist es möglich, das physikalische Gesetz zu formulieren. Diese Formulierung wird meist in ihrer kürzesten Ausdrucksweise, durch **Formeln**, repräsentiert.

Unter einer Formel wird im naturwissenschaftlichen Sinn eine Folge von Buchstaben, Zahlen, Symbolen, Formelzeichen, wie z. B.  $(a + b)^2 = a^2 + 2ab + b^2$  oder  $F = m \cdot a$ , auch einzelne Worte, verstanden. In dieser „Formelsprache“ wird die verkürzte Beschreibung eines mathematischen, physikalischen oder chemischen Sachverhaltes bzw. Zusammenhangs oder einer Regel möglich.

### 1.3.4 Die Deduktion

Die Beschreibung eines ganzen Wissenschaftsbereiches durch eine Vielzahl von verschiedenen Naturgesetzen wird als **Theorie** bezeichnet. Mit Hilfe der **Logik** können dann oft Aussagen bezüglich eines anderen physikalischen Problemfeldes gemacht werden. Dieser Vorgang heißt **Deduktion**, und im Gegensatz zu den **induktiven Verfahren**, die ihre Schlüsse aus Experimenten ableiten, gilt:

Die **deduktiven Verfahren** führen auf theoretischem Weg, ausgehend von bestehenden Theorien, zu neuen physikalischen Gesetzen oder Theorien.

Abhängig davon, ob induktiv oder deduktiv gearbeitet wird, unterteilt man die Physik in:

- **Experimentalphysik.** Es werden ausschließlich induktive Arbeitsverfahren angewandt.
- **Theoretische Physik.** Es werden überwiegend deduktive Arbeitsverfahren verwendet.

## 1.4 Regeln für die physikalische Arbeit

Durch eine Vielzahl von **Ordnungsprinzipien und Regeln** versucht der Physiker, seine Arbeit zu systematisieren. Von besonderer Wichtigkeit ist das **Kausalitätsprinzip** (→ A10), welches die natürlichen Abläufe nach dem Gesichtspunkt von **Ursache und Wirkung** ordnet. In diesem Sinne stellte bereits der französische Physiker René **Descartes** (s. Seite 36) die nach ihm benannten „**Regeln von Descartes**“ auf:

1. Man vermeide Übereilung und vorgefasste Meinungen.
2. Man halte nur das für wahr, was man wirklich eingesehen hat.
3. Man teile jede einzelne Schwierigkeit in so viele Teile wie möglich.
4. Man schreite vom Einfachsten, welches leicht einzusehen ist, zum Kompliziertesten.

- |     |   |
|-----|---|
| Ü 1 | Nennen Sie einige Naturerscheinungen.   |
| Ü 2 | Verknüpfen Sie verschiedene Naturerscheinungen nach dem Kausalitätsprinzip, d. h. nach Ursache und Wirkung.   |
| Ü 3 | In welchen physikalischen Teilbereichen sind die Gesetze der klassischen Physik nicht ausreichend?  |
| Ü 4 | In welchen Schritten läuft üblicherweise der physikalische Erkenntnisprozess ab?  |
| Ü 5 | Versuchen Sie mit Hilfe eines technisch-naturwissenschaftlichen Lexikons oder über das Internet außer den bereits genannten Naturwissenschaften weitere Naturwissenschaften zu nennen. Geben Sie den jeweiligen Arbeitsbereich dieser Naturwissenschaften an. |
| Ü 6 | Unterteilen Sie die von Ihnen genannten Naturwissenschaften in solche, die sich mit der <b>lebenden Natur</b> und solche, die sich mit der <b>unbelebten Natur</b> befassen.  |
| Ü 7 | Welche Aussage können Sie über die Wirkungsgröße bei den Abläufen innerhalb der klassischen Physik machen?  |
| Ü 8 | Definieren Sie mit Hilfe eines Lexikons oder über das Internet das <b>Planck'sche Wirkungsquantum</b> .   |

### MEILENSTEINE

Zeitraum		Naturwissenschaftlich-technisches Ereignis
um 2400 v. Chr.		Sumerer als Architekten und große Baumeister
um 2300 v. Chr.		Eisen als Werkstoff für Werkzeuge
um 2200 v. Chr.		Ausgedehntes Netz von Fernhandelsstraßen in Europa (Bernstein- und Salzhandelsstraßen)
um 2100 v. Chr.		Zeitmessung mit Sand- und Sonnenuhr
um 2000 v. Chr.		Von Scheibenrädern zu Holzrädern mit Speichen, Pfahlhaussiedlungen am Neusiedlersee
um 1900 v. Chr.		Löt- und Schweißverbindungen bei Metallen
um 1800 v. Chr.		Schlüssel aus Holz für Türschlösser
um 1700 v. Chr.		Einachsige Pferdewagen (Streitwagen), Email als Verschönerung von Schmuck in Ägypten
um 1600 v. Chr.		Webstühle werden in Ägypten gebaut
um 1500 v. Chr.		Eisengewinnung aus Erzen. Vorher gab es nur Meteor-eisen.
um 1400 v. Chr.		Glasfertigung als Kunstgegenstände in Ägypten
um 1300 v. Chr.		Draht in Ägypten, Glockenguss in China

## A2 Physikalische Größen und Ihre Einheiten

A

Bereits 2600 v. Chr. waren in Mesopotamien Maße und Gewichte eindeutig definiert und um 2100 v. Chr. war die Messung der Zeit schon recht genau möglich. Vor 150 Jahren waren als Längenmaße z. B. der „Frankfurter Fuß“ oder die „Sächsische Elle“ in Gebrauch. An diesen Beispielen ist zu erkennen, dass die Menschen schon immer an „**Vergleichbarkeit**“ interessiert waren und sei es auch nur um dem Betrug vorzubeugen.

### 2.1 Messbarkeit der physikalischen Größen

Die mit großer Exaktheit eindeutig definierten **physikalischen Vorgänge** und Begriffe setzen voraus, dass diese **objektiv** festgestellt werden können. Sie müssen also eindeutig messbar sein.

Die physikalischen Größen sind objektiv messbare Eigenschaften von Vorgängen, Zuständen oder Objekten.

**Tabelle 1: Physikalische Größen**

Beispiel	Größe	
Länge einer Strecke	5 Meter	Eine objektive Messung setzt immer voraus, dass ein allgemeingültiges Messverfahren festgelegt ist.
Zeit für das Zurücklegen einer Strecke	3 Sekunden	
Temperatur eines Körpers	37 Grad Celsius	
Masse	3,5 Kilogramm	
Elektrische Spannung	230 Volt	
Thermodynamische Temperatur	150 Kelvin	
Dichte	5 Kilogramm pro Kubikdezimeter	

### 2.2 Die Bestandteile einer physikalischen Größe

Die **Messung einer physikalischen Größe** ist nichts anderes als ein **Vergleich** der Vorgänge, Zustände oder Objekte mit einer **vorher definierten Einheit**. Über solche Einheitendefinitionen erfahren Sie noch einiges im Punkt A 2.3.

Eine Einheit ergibt sich aus einer Einheitendefinition, und die Messung einer physikalischen Größe ergibt sich aus dem Vergleich mit dieser festgelegten Einheit.

So werden z. B. durch den Meter, die Sekunde oder das Kilogramm Einheiten und durch 5 Meter, 3 Sekunden oder 3,5 Kilogramm Größen beschrieben. Es ist zu erkennen:

Eine physikalische Größe besteht aus dem Produkt eines Zahlenwertes und einer Einheit.

Nach **DIN 1313** „Physikalische Größen und Gleichungen“ ist folgende Schreibweise üblich:

**Zahlenwert in geschweifte Klammern** → z. B. Zahlenwert für eine Fläche  $A$  →  $\{A\}$   
**Einheit in eckige Klammern** → z. B. Einheit für eine Fläche  $A$  →  $[A]$

Bei technisch-physikalischen Rechnungen ist es möglich und auch üblich, die Einheit entsprechend der vorliegenden Größenordnung zu wählen, z. B. eine Länge in cm, dm, m oder km. Bei der Messung der gleichen physikalischen Größe ergeben sich durch die Wahl unterschiedlicher Einheiten natürlich unterschiedliche Zahlenwerte. Dabei wird aber die physikalische Größe insgesamt nicht geändert, was als **Invarianz** bezeichnet wird.

Physikalische Größen verhalten sich gegenüber der verwendeten Einheit invariant.

## 2.3 Das SI-Einheitensystem

Die in den verschiedenen Zeitepochen verwendeten Einheitensysteme haben sich immer wieder verändert und früher waren sehr viele Einheitensysteme nebeneinander in Gebrauch. Auch heute noch besteht neben dem „**metrischen System**“ das „**Zollsystem**“, wobei diese Systeme aber vor allem die **Längenmesstechnik** betreffen. Im Rahmen der internationalen Beziehungen in Wissenschaft, Technik und Handel lag es auf der Hand, ein international gültiges Einheitensystem zu schaffen. Dies ist das **Systeme International d'Unites (SI)**, also das **SI-Einheitensystem**, kurz **SI-System**.

### 2.3.1 Basisgrößen und Basiseinheiten

Dem SI-System hat sich die Bundesrepublik Deutschland mit dem **Gesetz über die Einheiten im Messwesen**, kurz **Einheitengesetz** angeschlossen. Darin werden die **Basisgrößen** von den **abgeleiteten Größen** unterschieden.

Tabelle 1 enthält diese sieben Basisgrößen mit den zugehörigen **Basiseinheiten** und den **Einheitenzeichen**.

#### Definition der Basiseinheit:

Alle Einheitensysteme setzen voraus, dass die verwendeten Einheiten möglichst genau definiert werden. Solche Definitionen werden als **Einheitennormale** bezeichnet.

Die Definitionen der Einheitennormale sind im Einheitengesetz festgelegt.

Die Längeneinheit Meter wurde ursprünglich als der zehnmillionste Teil eines Erdquadranten definiert und als Referenz wurde das "Einheitennormal Meter" (Bild 1) hergestellt. Es handelt sich dabei um einen Stab mit einem formstabilen x-Querschnitt aus einer speziellen Platin-Iridium-Legierung.

Seit 1983 ist der Meter wesentlich genauer mit Bezug auf eine atomistische Größe definiert. Der genaue Wortlaut des Einheitengesetzes ist:

Das Meter ist die Länge einer Strecke, die Licht im Vakuum während der Dauer von  $(1/299\,792\,458)$  Sekunden durchläuft.

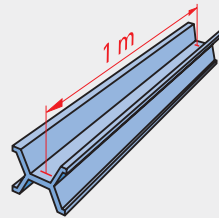


Bild 1: „Einheitennormal Meter“

Tabelle 1: Physikalische Größen

Beispiele	Basiseinheit	Einheitenzeichen
Länge	Meter	m
Masse	Kilogramm	kg
Zeit	Sekunde	s
Elektrische Stromstärke	Ampere	A
Thermodynamische Temperatur	Kelvin	K
Lichtstärke	Candela	cd
Stoffmenge	Mol	mol

Die **Sekunde** wiederum entspricht einer anderen atomistischen Größenordnung:

Die Sekunde ist das 9 192 631 770-fache der Periodendauer, der dem Übergang zwischen den beiden Hyperfeinstrukturniveaus des Grundzustandes von Atomen des Nuklids  $^{133}\text{Cs}$  (Cäsium) entsprechenden Strahlung.

Die wohl einfachste Definition ist die der Basiseinheit **Kilogramm**. Sie lautet:

Ein Kilogramm ist die Masse des internationalen Kilogrammprototyps.

Dies ist ein zylindrischer Körper aus einer bestimmten Platin-Iridium-Legierung mit einem Durchmesser von 39 mm und einer Höhe von ebenfalls 39 mm.