



Bibliothek des technischen Wissens

Ewald Bach  
Horst Herr †  
Volker Jungblut

Ulrich Maier  
Bernd Mattheus  
Falko Wieneke

# Technische Physik

7. 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
--------------	----------------------------	-----------------

### Bildbearbeitung:

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

7. Auflage 2021

Druck 5 4 3 2 1

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

ISBN 978-3-8085-5237-7

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

© 2021 by Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Gruiten  
[www.europa-lehrmittel.de](http://www.europa-lehrmittel.de)

Umschlaggestaltung: braunwerbeagentur, 42477 Radevormwald  
Satz: Reemers Publishing Services GmbH, 47799 Krefeld  
Druck: Plump Druck und Medien GmbH, 53619 Rheinbreitbach

## 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 **7. Auflage** des Buches wurde im Vergleich zur 6. Auflage gründlich überarbeitet. In den Lektionen sind **Meilensteine** der Naturwissenschaften angegeben. Sie erinnern an Wissenschaftler, 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.

Wir wünschen 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.

Frühjahr 2021

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 zu lassen.

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.

Frühjahr 2021

Ewald Bach  
Volker Jungblut  
Dr. Ulrich Maier  
Dr. Bernd Mattheus  
Falko Wieneke

# 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</b>
<b>A1</b>	<b>Aufgaben und Methoden der Physik</b>	<b>1</b>
1.1	Naturwissenschaftliche Betrachtungsweisen . . . . .	1
1.2	Klassische Physik und moderne Physik . . . . .	1
1.3	Der physikalische Erkenntnisprozess . . . . .	3
1.4	Regeln für die physikalische Arbeit . . . . .	4
<b>A2</b>	<b>Physikalische Größen und Ihre Einheiten</b>	<b>5</b>
2.1	Messbarkeit der physikalischen Größen . . . . .	5
2.2	Die Bestandteile einer physikalischen Größe . . . . .	5
2.3	Das SI-Einheitensystem . . . . .	6
2.4	Umrechnung alter Einheiten in SI-Einheiten . . . . .	7
<b>A3</b>	<b>Die Körper</b>	<b>9</b>
3.1	Definition des Begriffes Körper in der Physik . . . . .	9
3.2	Verhalten der Körper als Folge von Molekularkräften . . . . .	9
<b>A4</b>	<b>Messungen an Körpern und Körpersystemen</b>	<b>13</b>
4.1	Technik des Messens . . . . .	13
4.2	Wahl geeigneter Maßeinheiten . . . . .	13
4.3	Das Messen der mechanischen Größen . . . . .	13
4.4	Messfehler . . . . .	17
<b>A5</b>	<b>Die Teilgebiete der Mechanik</b>	<b>19</b>
5.1	Die Begriffe Statik, Kinematik, Kinetik und Dynamik . . . . .	19
5.2	Die Bewegungskriterien fester Körper . . . . .	20
5.3	Die Freiheitsgrade fester Körper . . . . .	20
<b>A6</b>	<b>Gleichförmige geradlinige Bewegung</b>	<b>21</b>
6.1	Der Begriff der Geschwindigkeit . . . . .	21
6.2	Momentan- und Durchschnittsgeschwindigkeit . . . . .	22
<b>A7</b>	<b>Ungleichförmige geradlinige Bewegung</b>	<b>25</b>
7.1	Merkmale einer ungleichförmigen Bewegung . . . . .	25
7.2	Die ungleichmäßig beschleunigte geradlinige Bewegung . . . . .	25
7.3	Die gleichmäßig beschleunigte geradlinige Bewegung . . . . .	25
7.4	Verzögerte geradlinige Bewegungen . . . . .	28
7.5	Freier Fall und senkrechter Wurf nach oben . . . . .	29
7.6	Weitere Formeln zur gleichmäßig beschleunigten (verzögerten) Bewegung . . . . .	30
<b>A8</b>	<b>Zusammensetzen von Geschwindigkeiten</b>	<b>33</b>
8.1	Vektoren und Skalare . . . . .	33
8.2	Das Überlagerungsprinzip bei geradlinigen Bewegungen und Vektoraddition . . . . .	33
8.3	Das Überlagerungsprinzip bei kreisförmigen Bewegungen . . . . .	34
8.4	Führungs- Relativ- und Absolutgeschwindigkeit . . . . .	35

<b>A9</b>	<b>Freie Bewegungsbahnen</b>	<b>37</b>
9.1	Der Grundsatz der Unabhängigkeit . . . . .	37
9.2	Der schiefe Wurf . . . . .	37
9.3	Der waagerechte Wurf . . . . .	39
<b>A10</b>	<b>Beschleunigende Wirkung der Kraft</b>	<b>41</b>
10.1	Das erste Newton'sche Axiom . . . . .	41
10.2	Das zweite Newton'sche Axiom . . . . .	41
10.3	Das dritte Newton'sche Axiom . . . . .	42
<b>A11</b>	<b>Verformende Wirkung der Kraft</b>	<b>45</b>
11.1	Arten der Verformung eines festen Körpers . . . . .	45
11.2	Das Gesetz von Hooke . . . . .	45
11.3	Die Messung von Kräften . . . . .	46
<b>A12</b>	<b>Die Kraft als Vektor</b>	<b>48</b>
12.1	Die Einzelkraft . . . . .	48
12.2	Zusammensetzen von Einzelkräften . . . . .	48
<b>A13</b>	<b>Das Kraftmoment und seine Wirkungen</b>	<b>50</b>
13.1	Kraftmoment als physikalische Größe . . . . .	50
13.2	Der Hebel . . . . .	51
13.3	Der Schwerpunkt als Massenmittelpunkt . . . . .	52
13.4	Gleichgewicht und Kippen . . . . .	53
13.5	Kraftübersetzung mit einfachen Maschinen . . . . .	54
<b>A14</b>	<b>Kurzzeitig wirkende Kräfte</b>	<b>57</b>
14.1	Die Bewegungsgröße (Impuls) . . . . .	57
14.2	Der Stoß . . . . .	58
<b>A15</b>	<b>Reibungskräfte</b>	<b>61</b>
15.1	Äußere und innere Reibung . . . . .	61
15.2	Haft- und Gleitreibung . . . . .	61
15.3	Das Reibungsgesetz nach Coulomb . . . . .	61
<b>A16</b>	<b>Reibung auf der schiefen Ebene</b>	<b>64</b>
16.1	Bestimmung der Reibungszahlen . . . . .	64
16.2	Selbsthemmung . . . . .	65
<b>A17</b>	<b>Prinzip von d'Alembert</b>	<b>66</b>
17.1	Erweitertes dynamisches Grundgesetz . . . . .	66
<b>A18</b>	<b>Arbeit und Energie</b>	<b>69</b>
18.1	Die mechanische Arbeit . . . . .	69
18.2	Energiearten und Energiespeicherung . . . . .	70
18.3	Die Gleichwertigkeit der mechanischen Arbeit und der mechanischen Energie . . . . .	71
18.4	Der Energieerhaltungssatz und Beispiele der Energieerhaltung . . . . .	74
18.5	Weitere Formen der mechanischen Arbeit . . . . .	76
<b>A19</b>	<b>Mechanische Leistung</b>	<b>79</b>
19.1	Leistung als Funktion von Energie und Zeit . . . . .	79
19.2	Leistung als Funktion von Kraft und Geschwindigkeit . . . . .	80
<b>A20</b>	<b>Reibungsarbeit und Wirkungsgrad</b>	<b>82</b>
20.1	Reibungsarbeit . . . . .	82
20.2	Energieumwandlung bei der Reibung . . . . .	83
20.3	Der mechanische Wirkungsgrad . . . . .	83
20.4	Die Reibungsleistung . . . . .	84
<b>A 21</b>	<b>Drehleistung</b>	<b>86</b>
21.1	Rotationsbewegung . . . . .	86

21.2	Drehzahl und Umfangsgeschwindigkeit . . . . .	86
21.3	Berechnung der Drehleistung bei gleichförmiger Drehbewegung . . . . .	87
<b>A 22</b>	<b>Rotationskinematik</b>	<b>89</b>
22.1	Die Bewegungszustände bei Rotation . . . . .	89
22.2	Analogien zwischen Translation und Rotation . . . . .	91
<b>A 23</b>	<b>Rotationsdynamik</b>	<b>95</b>
23.1	Die Fliehkraft . . . . .	95
23.2	Coriolisbeschleunigung und Corioliskraft. . . . .	97
<b>A 24</b>	<b>Kinetische Energie rotierender Massen</b>	<b>100</b>
24.1	Rotationsenergie als kinetische Energie. . . . .	100
24.2	Das Massenträgheitsmoment. . . . .	100
24.3	Dynamisches Grundgesetz der Drehbewegung . . . . .	106
24.4	Dreharbeit in Abhängigkeit von Drehmoment und Drehwinkel . . . . .	107
24.5	Drehimpuls und Drehstoß . . . . .	108
<b>A 25</b>	<b>Gravitation</b>	<b>113</b>
25.1	Himmelsmechanik. . . . .	113
25.2	Das Gravitationsgesetz . . . . .	114
<b>B</b>	<b>Mechanik der Fluide</b>	<b>118</b>
<b>B1</b>	<b>Wirkungen der Molekularkräfte</b>	<b>118</b>
1.1	Fluide und Fluidmechanik . . . . .	118
1.2	Verhalten der Fluide als Folge der Molekularkräfte . . . . .	119
<b>B2</b>	<b>Druck in Flüssigkeiten</b>	<b>122</b>
2.1	Pressdruck und hydrostatischer Druck . . . . .	122
2.2	Druckeinheiten . . . . .	123
2.3	Kompressibilität . . . . .	124
2.4	Die ideale Flüssigkeit. . . . .	124
<b>B3</b>	<b>Druck in Gasen</b>	<b>126</b>
3.1	Gesetz von Boyle Mariotte. . . . .	126
3.2	Der Schweredruck von Gasen . . . . .	126
3.3	Der Normzustand eines Gases bzw. Dampfes . . . . .	128
3.4	Die Gasdichte bzw. Dampfdichte . . . . .	128
<b>B4</b>	<b>Druckkraft</b>	<b>131</b>
4.1	Druckverteilung in Fluiden . . . . .	131
4.2	Druckkraft auf Flächen . . . . .	131
4.3	Die hydraulische Druckübersetzung . . . . .	134
<b>B5</b>	<b>Flüssigkeitsgewicht und hydrostatischer Druck</b>	<b>137</b>
5.1	Druckverteilung bei zunehmender Eintauchtiefe. . . . .	137
5.2	Die Bodendruckkraft . . . . .	138
5.3	Seitendruckkraft und Druckmittelpunkt . . . . .	138
5.4	Die Aufdruckkraft. . . . .	140
5.5	Verbundene Gefäße . . . . .	141
5.6	Die Saugwirkung . . . . .	141
5.7	Flüssigkeitsmanometer, Flüssigkeitsvakuummeter, Piezometer . . . . .	143
<b>B6</b>	<b>Der statische Auftrieb in Flüssigkeiten und Gasen</b>	<b>146</b>
6.1	Das Archimedische Prinzip. . . . .	146
6.3	Sinken, Schweben, Schwimmen. . . . .	147
6.4	Gleichgewichtslagen schwimmender Körper . . . . .	147
6.5	Anwendung des Archimedischen Prinzips zur Bestimmung von Dichten . . . . .	148
<b>B7</b>	<b>Flüssigkeitsoberflächen in bewegten Behältern</b>	<b>151</b>
7.1	Flüssigkeit in einem mit konstanter Geschwindigkeit bewegten Gefäß . . . . .	151

<b>B8</b>	<b>Geschwindigkeitsänderungen inkompressibler Fluide</b>	<b>154</b>
8.1	Kompressibilität von Fluiden . . . . .	154
8.2	Die stationäre Rohrströmung ohne Reibungsverluste . . . . .	154
<b>B9</b>	<b>Energieerhaltung inkompressibler strömender Fluide</b>	<b>157</b>
9.1	Die drei Energieformen eines strömenden Fluids . . . . .	157
9.2	Die Energiegleichung nach Bernoulli . . . . .	157
9.3	Anwendungen zur Kontinuitäts- und Energiegleichung . . . . .	160
<b>B10</b>	<b>Fluidreibung</b>	<b>164</b>
10.1	Äußere und innere Reibung . . . . .	164
10.2	Fluidität und Zähigkeit, Newton'sches Fluid . . . . .	164
<b>B11</b>	<b>Kräfte am umströmten Körper</b>	<b>169</b>
11.1	Definition des umströmten Körpers. . . . .	169
11.2	Der Strömungswiderstand. . . . .	169
11.3	Der dynamische Auftrieb. . . . .	171
11.4	Der Magnus-Effekt . . . . .	171
<b>B12</b>	<b>Kontinuität des kompressiblen Massenstromes</b>	<b>173</b>
12.1	Kompressibilität in der „Technischen Strömungslehre“ . . . . .	173
12.2	Die allgemeine Kontinuitätsgleichung . . . . .	173
<b>C</b>	<b>Wärmelehre</b>	<b>175</b>
<b>C1</b>	<b>Temperatur und Temperaturmessung</b>	<b>175</b>
1.1	Temperatur als Zustandsgröße. . . . .	175
1.2	Temperaturskalen . . . . .	175
1.3	Messung der Temperatur. . . . .	179
<b>C2</b>	<b>Wärme als Energieform</b>	<b>182</b>
2.1	Energiearten und Energieumwandlungen. . . . .	182
2.2	Wärmeenergie und absoluter Nullpunkt. . . . .	184
<b>C3</b>	<b>Wärmeausdehnung fester, flüssiger und gasförmiger Stoffe</b>	<b>185</b>
3.1	Wärmeausdehnung fester Körper . . . . .	185
3.2	Wärmeausdehnung von Flüssigkeiten . . . . .	188
3.3	Wärmeausdehnung von Gasen und Dämpfen. . . . .	189
<b>C4</b>	<b>Gasgemische in Umwelt und Technik</b>	<b>195</b>
4.1	Die Gasdichte in Abhängigkeit von Druck und Temperatur . . . . .	195
4.2	Spezifische Gaskonstante und allgemeine Zustandsgleichung der Gase . . . . .	195
4.3	Ideales und reales Gas . . . . .	196
<b>C5</b>	<b>Durchmischung verschiedener idealer Gase</b>	<b>204</b>
5.1	Die Anwendbarkeit der Gasgesetze . . . . .	204
5.2	Ermittlung des Partialdruckes eines Gasanteiles. . . . .	206
<b>C6</b>	<b>Diffusion, Osmose, Dialyse und feuchte Luft</b>	<b>209</b>
6.1	Diffusion . . . . .	209
6.2	Osmose und Dialyse . . . . .	212
6.3	Feuchte Luft als Gasgemisch. . . . .	213
<b>C7</b>	<b>Wärmekapazität fester und flüssiger Stoffe</b>	<b>217</b>
7.1	Die spezifische Wärmekapazität . . . . .	217
7.2	Wärmemenge-Wärmekapazität. . . . .	218
7.3	Kalorimeter . . . . .	219
7.4	Die Mischungsregel . . . . .	220
7.5	Wärmequellen . . . . .	221



<b>C8</b>	<b>Änderung des Aggregatzustandes</b>	<b>225</b>
8.1	Schmelzen und Erstarren . . . . .	225
8.2	Verdampfen und Kondensieren, Sublimieren . . . . .	226
<b>C9</b>	<b>Technische Möglichkeiten der Umwandlung von Wärmeenergie in mechanische Arbeit und umgekehrt</b>	<b>233</b>
9.1	Technische Anlagen zur Energieumwandlung. . . . .	233
<b>C10</b>	<b>Der erste Hauptsatz der Thermodynamik</b>	<b>235</b>
10.1	Äquivalenz von Wärmeenergie und mechanischer Arbeit . . . . .	235
10.2	Darstellung der Volumenänderungsarbeit im $p, V$ -Diagramm . . . . .	236
10.3	Innere Energie und Enthalpie . . . . .	237
10.4	Die spezifische Wärme von Gasen und Dämpfen . . . . .	237
<b>C11</b>	<b>Thermodynamische Zustandsänderungen</b>	<b>240</b>
11.1	Die isobare Zustandsänderung . . . . .	240
11.2	Die isochore Zustandsänderung . . . . .	241
11.3	Die isotherme Zustandsänderung . . . . .	241
11.4	Die isentrope (adiabate) Zustandsänderung . . . . .	242
11.5	Die polytrope Zustandsänderung . . . . .	242
<b>C12</b>	<b>Die Kreisprozesse im <math>p, V</math>-Diagramm (Arbeitsdiagramm) und zweiter Hauptsatz der Thermodynamik</b>	<b>244</b>
12.1	Begriff des Kreisprozesses. . . . .	244
12.2	Der Betrag der Nutzarbeit . . . . .	244
12.3	Der zweite Hauptsatz der Thermodynamik . . . . .	245
12.4	Der thermische Wirkungsgrad . . . . .	245
12.5	Ideale Kreisprozesse und deren Wirkungsgrade . . . . .	245
12.6	Linkslaufende Kreisprozesse und die Zustandsgröße Entropie . . . . .	247
<b>C13</b>	<b>Beziehungen der Wärmeenergie zur elektrischen Energie</b>	<b>250</b>
13.1	Umwandlung von Wärmeenergie in elektrische Energie. . . . .	250
13.2	Umwandlung von elektrischer Energie in Wärmeenergie . . . . .	251
<b>C14</b>	<b>Zweiter Hauptsatz und Wärmetransport</b>	<b>253</b>
14.1	Wärmeleitung. . . . .	253
14.2	Wärmeübergang . . . . .	254
14.3	Wärmedurchgang . . . . .	256
14.4	Wärmestrahlung . . . . .	258
<b>D</b>	<b>Schwingungs- und Wellenlehre</b>	<b>262</b>
<b>D1</b>	<b>Schwingungen</b>	<b>262</b>
1.1	Die Schwingung als periodische Bewegung . . . . .	262
1.2	Das Auslenkung, Zeit-Gesetz (Weg, Zeit-Gesetz) . . . . .	263
1.3	Schwingungsdauer des Federpendels . . . . .	266
1.4	Energieumwandlungen bei einer harmonischen Federschwingung . . . . .	267
<b>D2</b>	<b>Pendelschwingungen</b>	<b>269</b>
2.1	Mathematisches Pendel (Fadenpendel) . . . . .	269
2.2	Physikalisches Pendel . . . . .	270
<b>D3</b>	<b>Dämpfung von Schwingungen</b>	<b>273</b>
3.1	Freie gedämpfte Schwingungen . . . . .	273
3.2	Dämpfungssysteme . . . . .	275
<b>D4</b>	<b>Anregung von Schwingungen</b>	<b>277</b>
4.1	Erzwungene Schwingungen. . . . .	277
<b>D5</b>	<b>Überlagerung von Schwingungen</b>	<b>279</b>
5.1	Überlagerung und resultierende Schwingungen . . . . .	279
5.2	Sonderfälle bei der Überlagerung harmonischer Schwingungen . . . . .	279

<b>D6</b>	<b>Wellen</b>	<b>283</b>
6.1	Physikalische Grundlagen der Wellenausbreitung . . . . .	283
6.2	Physikalische Größen zur Beschreibung einer Welle . . . . .	284
6.3	Wellenarten . . . . .	285
6.4	Gleichung der fortschreitenden, linearen sinusförmigen Welle . . . . .	286
6.5	Ausbreitungsgeschwindigkeit in verschiedenen Medien . . . . .	287
6.6	Interferenz . . . . .	288
6.7	Doppler-Effekt . . . . .	291
6.8	Mach'scher Kegel . . . . .	291
6.9	Reflexion und Brechung ebener Wellen . . . . .	292
<b>E</b>	<b>Optik und Akustik</b>	<b>295</b>
<b>E1</b>	<b>Geometrische Optik</b>	<b>295</b>
1.1	Gliederung der Optik . . . . .	295
1.2	Reflexion des Lichtes . . . . .	295
1.3	Brechung des Lichtes . . . . .	298
1.4	Abbildung durch Linsen . . . . .	302
<b>E2</b>	<b>Wellenoptik</b>	<b>306</b>
2.1	Licht als Welle . . . . .	306
2.2	Spektrum der elektromagnetischen Wellen . . . . .	313
<b>E3</b>	<b>Photoeffekt, Photometrie und Farbenlehre</b>	<b>315</b>
3.1	Photoeffekt (Lichtelektrischer Effekt) und Lichtquanten . . . . .	315
3.2	Photometrie . . . . .	316
3.3	Die Spektralfarben des Lichtes und die Lehre von den Farben . . . . .	321
<b>E4</b>	<b>Akustik</b>	<b>326</b>
4.1	Schallwellen . . . . .	326
4.2	Schallfeldgrößen . . . . .	326
4.3	Die verschiedenen Schallpegel . . . . .	329
<b>E5</b>	<b>Schallempfindung und Schallbewertung</b>	<b>332</b>
5.1	Aufbau und Empfindlichkeit des Ohres . . . . .	332
5.2	Lautstärke und Lautheit . . . . .	332
5.3	Immissionsschutz . . . . .	334
5.4	Schallausbreitung und Schalldämmung . . . . .	335
5.5	Schalldämmung und Schalldämpfung . . . . .	336
5.6	Schallbewertung . . . . .	337
<b>E6</b>	<b>Ultraschall</b>	<b>339</b>
6.1	Das Schallspektrum . . . . .	339
6.2	Erzeugung und Empfang von Ultraschall . . . . .	339
6.3	Anwendung von Ultraschall . . . . .	339
<b>F</b>	<b>Elektrizitätslehre</b>	<b>341</b>
<b>F1</b>	<b>Elektrophysikalische Grundlagen</b>	<b>341</b>
1.1	Reibungselektrizität . . . . .	341
1.2	Die elektrische Ladung und deren Nachweis . . . . .	341
1.3	Der elektrische Strom . . . . .	343
1.4	Wirkungen des elektrischen Stromes . . . . .	346
1.5	Elektrischer Widerstand und Leitwert . . . . .	351
1.6	Elektrische Spannung . . . . .	352
<b>F2</b>	<b>Gesetzmäßigkeiten im elektrischen Stromkreis</b>	<b>362</b>
2.1	Das Ohm'sche Gesetz . . . . .	362
2.2	Graphische Darstellung des Ohm'schen Gesetzes . . . . .	363
2.3	Spezifischer Widerstand und Leitfähigkeit . . . . .	364
2.4	Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstandes . . . . .	366

2.5	Elektrische Arbeit und elektrische Leistung . . . . .	367
2.6	Umwandlung der Energien und Wirkungsgrad . . . . .	370
<b>F3</b>	<b>Gesetzmäßigkeiten in Widerstandsschaltungen</b>	<b>375</b>
3.1	Parallelschaltung von Widerständen . . . . .	375
3.2	Reihenschaltung von Widerständen . . . . .	378
3.3	Gemischte Widerstandsschaltungen . . . . .	381
3.4	Spannungsteiler . . . . .	382
3.5	Messbereichserweiterung von elektrischen Messinstrumenten . . . . .	385
3.6	Widerstandsmessung . . . . .	387
3.7	Innenwiderstand von Spannungserzeugern . . . . .	389
<b>F4</b>	<b>Das elektrische Feld</b>	<b>394</b>
4.1	Grundlegende Betrachtungen über elektrische Felder . . . . .	394
4.2	Coulomb'sches Gesetz . . . . .	395
4.3	Elektrische Influenz. . . . .	396
4.4	Die elektrische Feldstärke . . . . .	397
4.5	Die Spannung und Feldstärke im homogenen Feld . . . . .	399
4.6	Kapazität eines Kondensators . . . . .	400
<b>F5</b>	<b>Das magnetische Feld</b>	<b>404</b>
5.1	Grundlegende Betrachtungen über magnetische Felder. . . . .	404
5.2	Magnetische Größen. . . . .	407
5.3	Kraftwirkung eines Magnetfeldes auf einen stromdurchflossenen Leiter. . . . .	410
<b>F6</b>	<b>Elektromagnetische Induktion</b>	<b>417</b>
6.1	Spannungserzeugung durch Induktion . . . . .	417
6.2	Selbstinduktion . . . . .	421
<b>F7</b>	<b>Elektromagnetische Schalter und Messgeräte</b>	<b>426</b>
7.1	Elektromagnete . . . . .	426
7.2	Elektromagnetische Schalter . . . . .	426
7.3	Elektrische Messgeräte . . . . .	428
<b>F8</b>	<b>Der Wechselstromkreis</b>	<b>432</b>
8.1	Erzeugung von sinusförmigen Wechselspannungen und Wechselströmen. . . . .	432
8.2	Darstellung und Berechnung von sinusförmigen Wechselgrößen . . . . .	432
8.3	Wirkwiderstand, Kondensator und Spule im Wechselstromkreis . . . . .	435
<b>F9</b>	<b>Dreiphasenwechselspannung</b>	<b>443</b>
9.1	Erzeugung einer Dreiphasenwechselspannung . . . . .	443
9.2	Stern- und Dreieckschaltung . . . . .	445
9.3	Bedeutung des Drehstromes für die elektrische Energieübertragung . . . . .	449
9.4	Technische Anwendungen der Stern- und der Dreieckschaltung . . . . .	449
<b>F10</b>	<b>Transformatoren</b>	<b>453</b>
10.1	Aufbau und Wirkungsweise eines Einphasen-Transformators. . . . .	453
10.2	Aufbau und Wirkungsweise eines Drehstrom-Transformators . . . . .	457
10.3	Energieversorgung und Energieverteilung . . . . .	458
<b>F11</b>	<b>Elektrische Maschinen</b>	<b>462</b>
11.1	Gleichstrommotoren . . . . .	462
11.2	Drehstrommotoren . . . . .	466
11.3	Synchronmotoren . . . . .	469
11.4	Drehstrom-Asynchronmotoren . . . . .	469
<b>F12</b>	<b>Elektromagnetische Schwingungen</b>	<b>471</b>
12.1	Resonanzerscheinung . . . . .	471
12.2	Elektrischer Schwingkreis . . . . .	471
12.3	Entstehung und Ausbreitung elektromagnetischer Wellen . . . . .	475
<b>F13</b>	<b>Grundlagen der Halbleitertechnik</b>	<b>479</b>
13.1	Kurze Entstehungsgeschichte der Halbleiterphysik . . . . .	479

13.2	Halbleiterwerkstoffe . . . . .	479
13.3	Bauelemente mit Halbleiterwerkstoffen. . . . .	487
<b>F14</b>	<b>Erneuerbare Energien</b>	<b>493</b>
14.1	Solartechnik. . . . .	493
14.2	Sonnenkollektoren . . . . .	493
14.3	Fotovoltaik. . . . .	494
14.4	Windenergieanlagen (WEA) . . . . .	500
<b>G</b>	<b>Atom- und Kernphysik</b>	<b>505</b>
<b>G1</b>	<b>Physik der Atomhülle</b>	<b>505</b>
1.1	Rutherford'sches Atommodell . . . . .	505
1.2	Gesetzliche Einheit der Energie in der Atomphysik . . . . .	507
1.3	Bohr'sches Atommodell. . . . .	508
1.4	Das Wasserstoffatom . . . . .	509
1.5	Spektren . . . . .	512
1.6	Röntgenstrahlung . . . . .	517
<b>G2</b>	<b>Physik des Atomkerns</b>	<b>522</b>
2.1	Natürliche radioaktive Strahlung. . . . .	522
2.2	Nachweis und Messung der radioaktiven Strahlung . . . . .	523
2.3	Radioaktiver Zerfall. . . . .	525
2.4	Eigenschaften des Atomkerns . . . . .	528
2.5	Kernumwandlungen beim radioaktiven Zerfall . . . . .	530
2.6	Künstliche Kernumwandlungen . . . . .	532
2.7	Kernspaltung . . . . .	534
2.8	Kernverschmelzung (Kernfusion) . . . . .	535
2.9	Massendefekt und Bindungsenergie . . . . .	536
<b>G3</b>	<b>Kernenergie</b>	<b>538</b>
3.1	Zusammensetzung der Kernenergie bei der Kernspaltung . . . . .	538
3.2	Kontrollierte Kernspaltung . . . . .	538
3.3	Kernreaktoren. . . . .	540
3.4	Reaktorsicherheit . . . . .	544
3.5	Entsorgung . . . . .	545
<b>G4</b>	<b>Dosimetrie und Strahlenschutz</b>	<b>547</b>
4.1	Biologische Wirkung radioaktiver Strahlung. . . . .	547
4.2	Dosisbegriffe . . . . .	547
4.3	Abschirmung radioaktiver Strahlung . . . . .	550
4.4	Dosismessung . . . . .	550
4.5	Natürliche und zivilisatorische Strahlenbelastung. . . . .	551
4.6	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>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.

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.

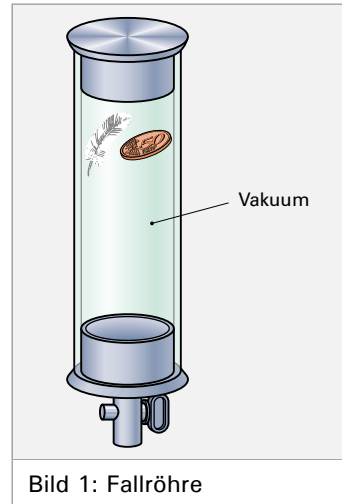


Bild 1: Fallröhre

### 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.

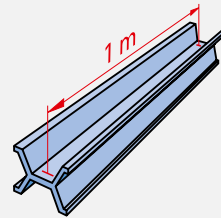


Bild 1: „Einheitennormal Meter“

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.



Es versteht sich von selbst, dass beim Messen innerhalb der einzelnen Teilgebiete der Physik (→ A 1.2) einzelne Einheitennormale nur von geringer Bedeutung sind. So spielt z. B. die Stoffmenge in der Mechanik der festen Körper kaum eine Rolle. Die wichtige Einheit der Temperatur (Kelvin) wird am Anfang des Hauptabschnittes C besprochen.

### 2.3.2 Die abgeleiteten Größen und deren Einheit

Alle anderen physikalischen Größen, die **abgeleiteten Größen**, können auf die sieben Basisgrößen zurückgeführt werden. Dies kann man auch umgekehrt ausdrücken: Die abgeleiteten Größen und deren Einheiten setzen sich aus den Basisgrößen und deren Einheiten zusammen.

Die abgeleiteten Einheiten stellen also sozusagen eine „Verknüpfung“ von Basiseinheiten dar. Die Regel für diese mathematische Verknüpfung liefert immer die Definitionsgleichung der physikalischen Größe. Die folgende Tabelle zeigt einige Beispiele, wobei auch auf die entsprechenden Kapitel in diesem Buch verwiesen wird.

Definition der Größe	Gleichung	Verknüpfung	Abgeleitete Einheit
Geschwindigkeit = $\frac{\text{Weg}}{\text{Zeit}}$ (→ A6)	$v = \frac{s}{t}$	$[v] = \frac{[s]}{[t]} = \frac{m}{s}$	$\frac{m}{s}$
Kraft = Masse · Beschleunigung (→ A10)	$F = m \cdot a$	$[F] = [m] \cdot [a] = \text{kg} \cdot \frac{m}{s^2}$	$\frac{\text{kgm}}{s^2} = \text{N (Newton)}$

Achten Sie in vorstehender Tabelle auf die Kapitelverweise und auch darauf, dass die Schreibweise der Einheitenverknüpfung der **DIN 1313** „Größen und Gleichungen“ entspricht. Die Formelzeichen sind in der **DIN 1304** „Allgemeine Formelzeichen“ genormt. Aus der Tabelle ist zu ersehen:

An die den Formelzeichen der Definitionsgleichungen entsprechenden Stellen werden die Einheitenzeichen der jeweiligen physikalischen Größe gesetzt und mathematisch verknüpft.

## 2.4 Umrechnung alter Einheiten in SI-Einheiten

Obwohl im Einheitengesetz festgelegt ist, dass die alten – bis zum Jahr 1970 üblichen – Einheiten nicht mehr verwendet werden dürfen, haben diese für die Praxis des Technikers noch eine erhebliche Bedeutung. So ist es z. B. erforderlich, bei Anlagenumbauten die ursprünglichen Berechnungsunterlagen heranzuziehen. Insbesondere sind hier die alte Krafteinheit **Kilopond** (→ A10.2) und die alte Einheit für die **Wärmeenergie** (→ C.2.3), die **Kilokalorie** zu nennen. Auch ist zu berücksichtigen, dass z. B. in Großbritannien und in den USA, noch heute Einheiten verwendet werden, die nicht in das **Dezimalsystem (metrisches System)** passen. Dies alles macht in der Praxis des Technikers ständige **Einheitenumrechnungen** erforderlich und ist auch in der Normung berücksichtigt, und zwar im Teil 3 der **DIN 1301** „Einheiten“: Umrechnungen für nicht mehr anzuwendende Einheiten.

- M 1 Unter dem Druck (→ B2) versteht man den Quotienten aus einer Kraft  $F$  und der von der Kraft  $F$  belasteten Fläche  $A$ . Formelzeichen für Druck:  $p$
- Wie lautet – entsprechend dieser verbalen Definition – die Definitionsgleichung für den Druck?
  - Ermitteln Sie mit Hilfe der Krafteinheit N (Newton) (→ A10.2) und der Flächeneinheit  $m^2$  die abgeleitete Einheit für den Druck.
  - Führen Sie die abgeleitete Druckeinheit auf Basiseinheiten zurück.

Lösung

$$a) p = \frac{F}{A} \quad b) [p] = \frac{[F]}{[A]} = \frac{N}{m^2}$$

$$c) 1 \frac{N}{m^2} = 1 \frac{\text{kgm}}{s^2 \cdot m^2} = 1 \frac{\text{kgm}}{s^2} \cdot \frac{1}{m^2} = 1 \frac{\text{kg}}{s^2 \cdot m^2}$$



- Ü 1 Aus welchen „Bestandteilen“ besteht eine physikalische Größe?
- Ü 2 Welche Voraussetzung muss gegeben sein, damit eine physikalische Größe eindeutig definierbar ist?
- Ü 3 Was versteht man unter einem „Einheitennormal“, und welche Aussage können Sie über die immer wieder veränderten Definitionen – bezogen auf die Zukunft – machen?
- Ü 4 In der Lektion A18 werden Sie die Energieäquivalenz  $1\text{ J} = 1\text{ Nm}$  kennenlernen. Führen Sie die Einheit der Wärmeenergie  $1\text{ J}$  ( $\rightarrow\text{ C2}$ ) auf Basiseinheiten zurück.
- Ü 5 Was versteht man unter der Invarianz einer physikalischen Größe gegenüber ihrer Einheit?

- V 1 Sehen Sie in einem technischen Lexikon oder im Internet den Begriff „Internationale Meterkonvention“ nach.
- V 2 Für die Dichte  $\rho$  ist das Verhältnis (Quotient) der Masse  $m$  in kg und das von der Masse eingenommene Volumen  $V$  in  $\text{m}^3$  definiert. Schreiben Sie unter Zuhilfenahme dieser verbalen Definition
  - a) die Definitionsgleichung,
  - b) die Einheitenverknüpfung,
  - c) die abgeleitete Dichteeinheit auf.
- V 3 Nennen Sie die sieben Basiseinheiten. Welche wird man davon als die „Basiseinheiten der Mechanik“ bezeichnen?
- V 4 Warum ist es für einen Techniker unabdingbar, alte Einheiten in SI-Einheiten und umgekehrt SI-Einheiten in alte Einheiten umrechnen zu können?
- V 5 Eine Fläche hat die Größe  $A = 5,5\text{ m}^2$ . Für diese ist in der Schreibweise der **DIN 1313** die Invarianz – unter Verwendung der Einheiten  $\text{m}^2$ ,  $\text{dm}^2$  und  $\text{cm}^2$  – darzustellen.

**MEILENSTEINE**

Zeitraum	Naturwissenschaftlich-technisches Ereignis
um 1200 v. Chr.	Straßen werden gepflastert. Ägypter bauen Kanal vom Nil zum Roten Meer.
um 1100 v. Chr.	Steinbrücken entstehen.
um 1050 v. Chr.	In Jerusalem wird eine Wasserversorgung angelegt. Die Wasserspeicher haben eine Oberfläche bis zu $1000\text{ m}^2$ und eine Tiefe bis zu $15\text{ m}$ .
um 1000 v. Chr.	Erstmals Stahlherstellung im mittleren Osten, Chinesen benutzen Rechenbretter.
um 950 v. Chr.	Metallsicheln aus Bronze kommen in Gebrauch (Ägypten).
um 900 v. Chr.	Gewinnung von Salz unter Tage im Alpenraum.
um 850 v. Chr.	Sägen zum Schneiden von Baumstämmen. In Mittelamerika wird Gold verarbeitet.
um 800 v. Chr.	In Jerusalem wird ein $533\text{ m}$ langer Tunnel zur Wasserversorgung gebaut.
um 750 v. Chr.	In China betreibt man den Eisenguss.
um 700 v. Chr.	Ketten werden aus Stahl geschmiedet.

