



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	Uingen/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:

Umschlaggestaltung:

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

Bildbearbeitung:

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

6. Auflage 2017

Druck 54321

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) entgegen.

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 durchzuarbeiten.

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.

Sommer 2017

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

Inhaltsverzeichnis

MEILENSTEINE

Auf den folgenden Seiten sind die Meilesteine 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.

A	Mechanik der festen Körper	1 bis 117
A1	Aufgaben und Methoden der Physik	1
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
A2	Physikalische Größen und ihre Einheiten	5
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
A3	Die Körper	9
A3.1	Definition des Begriffes Körper in der Physik	9
A3.2	Verhalten der Körper als Folge von Molekularkräften	9
A4	Messungen an Körpern und Körpersystemen	13
A4.1	Technik des Messens	13
A4.2	Wahl geeigneter Maßeinheiten	13
A4.3	Das Messen der mechanischen Größen	13
A4.4	Messfehler	17
A5	Die Teilgebiete der Mechanik	19
A5.1	Die Begriffe Statik, Kinematik, Kinetik und Dynamik	19
A5.2	Die Bewegungskriterien fester Körper	20
A5.3	Die Freiheitsgrade fester Körper	20
A6	Gleichförmige geradlinige Bewegung	21
A6.1	Der Begriff der Geschwindigkeit	21
A6.2	Momentan- und Durchschnittsgeschwindigkeit	22
A7	Ungleichförmige geradlinige Bewegung	25
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
A8	Zusammensetzen von Geschwindigkeiten	33
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

A9	Freie Bewegungsbahnen	37
A9.1	Der Grundsatz der Unabhängigkeit	37
A9.2	Der schiefe Wurf	37
A9.3	Der waagerechte Wurf	39
A10	Beschleunigende Wirkung der Kraft	41
A10.1	Das erste Newton'sche Axiom	41
A10.2	Das zweite Newton'sche Axiom	41
A10.3	Das dritte Newton'sche Axiom	42
A11	Verformende Wirkung der Kraft	45
A11.1	Arten der Verformung eines festen Körpers	45
A11.2	Das Gesetz von Hooke	45
A11.3	Messung von Kräften	46
A12	Die Kraft als Vektor	48
A12.1	Die Einzelkraft	48
A12.2	Zusammensetzen von Einzelkräften	48
A13	Das Kraftmoment und seine Wirkungen	50
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
A14	Kurzzeitig wirkende Kräfte	57
A14.1	Die Bewegungsgröße (Impuls)	57
A14.2	Der Stoß	58
A15	Reibungskräfte	61
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
A16	Reibung auf der schießen Ebene	64
A16.1	Bestimmung der Reibungszahlen	64
A16.2	Selbsthemmung	65
A17	Prinzip von d'Alembert	66
A17.1	Erweitertes dynamisches Grundgesetz	66
A18	Arbeit und Energie	69
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
A19	Mechanische Leistung	79
A19.1	Leistung als Funktion von Energie und Zeit	79
A19.2	Leistung als Funktion von Kraft und Geschwindigkeit	80
A20	Reibungsarbeit und Wirkungsgrad	82
A20.1	Reibungsarbeit	82
A20.2	Energieumwandlung bei der Reibung	83
A20.3	Der mechanische Wirkungsgrad	83
A20.4	Die Reibungsleistung	84
A21	Drehleistung	86
A21.1	Rotationsbewegung	86

A21.2	Drehzahl und Umfangsgeschwindigkeit	86
A21.2	Berechnung der Drehleistung bei gleichförmiger Drehbewegung	87
A22	Rotationskinematik	89
A22.1	Die Bewegungszustände bei Rotation	89
A22.2	Analogien zwischen Translation und Rotation	91
A23	Rotationsdynamik	95
A23.1	Die Fliehkraft	95
A23.2	Coriolisbeschleunigung und Corioliskraft	97
A24	Kinetische Energie rotierender Massen	100
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
A25	Gravitation	113
A25.1	Himmelsmechanik	113
A25.2	Das Gravitationsgesetz	114
B	Mechanik der Fluide	118 bis 174
B1	Wirkungen der Molekularkräfte	118
B1.1	Fluide und Fluidmechanik	118
B1.2	Verhalten der Fluide als Folge der Molekularkräfte	119
B2	Druck in Flüssigkeiten	122
B2.1	Pressdruck und hydrostatischer Druck	122
B2.2	Druckeinheiten	123
B2.3	Kompressibilität	124
B2.4	Die ideale Flüssigkeit	124
B3	Druck in Gasen	126
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
B4	Druckkraft	131
B4.1	Druckverteilung in Fluiden	131
B4.2	Druckkraft auf Flächen	131
B4.3	Die hydraulische Druckübersetzung	134
B5	Flüssigkeitsgewicht und hydrostatischer Druck	137
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
B6	Der statische Auftrieb in Flüssigkeiten und Gasen	146
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

B7	Flüssigkeitsoberflächen in bewegten Behältern	151
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
B8	Geschwindigkeitsänderungen inkompressibler Fluide	154
B8.1	Kompressibilität von Fluiden	154
B8.2	Die stationäre Rohrströmung ohne Reibungsverluste	154
B8.3	Die Kontinuitätsgleichung bei inkompressibler Strömung	154
B9	Energieerhaltung inkompressibler strömender Fluide	157
B9.1	Die drei Energieformen eines strömenden Fluids	157
B9.2	Die Energiegleichung nach Bernoulli	157
B9.3	Anwendungen zur Kontinuitäts- und Energiegleichung	160
B10	Fluidreibung	164
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
B11	Kräfte am umströmten Körper	169
B11.1	Definition des umströmten Körpers	169
B11.2	Der Strömungswiderstand	169
B11.3	Der dynamische Auftrieb	171
B11.4	Der Magnus-Effekt	171
B12	Kontinuität des kompressiblen Massenstroms	173
B12.1	Kompressibilität in der „Technischen Strömungslehre“	173
B12.2	Die allgemeine Kontinuitätsgleichung	173
C	Wärmelehre	175 bis 261
C1	Temperatur und Temperaturmessung	175
C1.1	Temperatur als Zustandsgröße	175
C1.2	Temperaturskalen	175
C1.3	Messung der Temperatur	179
C2	Wärme als Energieform	182
C2.1	Energiearten und Energieumwandlungen	182
C2.2	Wärmeenergie und absoluter Nullpunkt	184
C3	Wärmeausdehnung fester, flüssiger und gasförmiger Stoffe	185
C3.1	Wärmeausdehnung fester Körper	185
C3.2	Wärmeausdehnung von Flüssigkeiten	188
C3.3	Wärmeausdehnung von Gasen und Dämpfen	189
C4	Gasgemische in Umwelt und Technik	195
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
C5	Durchmischung verschiedener idealer Gase	204
C5.1	Die Anwendbarkeit der Gasgesetze	204
C5.2	Ermittlung des Partialdruckes eines Gasanteils	206
C6	Diffusion, Osmose, Dialyse und feuchte Luft	209
C6.1	Diffusion	209
C6.2	Osmose und Dialyse	212
C6.3	Feuchte Luft als Gasgemisch	213
C7	Wärmekapazität fester und flüssiger Stoffe	217
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
C8	Änderung des Aggregatzustandes	225
C8.1	Schmelzen und Erstarren	225
C8.2	Verdampfen und Kondensieren, Sublimieren	226
C9	Technische Möglichkeiten der Umwandlung von Wärmeenergie in mechanische Arbeit und umgekehrt	233
C9.1	Technische Anlagen zur Energieumwandlung	233
C10	Der erste Hauptsatz der Thermodynamik	235
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
C11	Thermodynamische Zustandsänderungen	240
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
C12	Die Kreisprozesse im p, V-Diagramm (Arbeitsdiagramm) und zweiter Hauptsatz der Thermodynamik	244
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
C13	Beziehungen der Wärmeenergie zur elektrischen Energie	250
C13.1	Umwandlung von Wärmeenergie in elektrische Energie	250
C13.2	Umwandlung von elektrischer Energie in Wärmeenergie	251
C14	Zweiter Hauptsatz und Wärmetransport	253
C14.1	Wärmeleitung	253
C14.2	Wärmeübergang	254
C14.3	Wärmedurchgang	256
C14.4	Wärmestrahlung	258
D	Schwingungs- und Wellenlehre	262 bis 294
D1	Schwingungen	262
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
D2	Pendelschwingungen	269
D2.1	Mathematisches Pendel (Fadenpendel)	269
D2.2	Physikalisches Pendel	270
D3	Dämpfung von Schwingungen	273
D3.1	Freie gedämpfte Schwingungen	273
D3.2	Dämpfungssysteme	275

D4	Anregung von Schwingungen	277
D4.1	Erzwungene Schwingungen	277
D5	Überlagerung von Schwingungen	279
D5.1	Überlagerung und resultierende Schwingungen	279
D5.2	Sonderfälle bei der Überlagerung harmonischer Schwingungen	279
D6	Wellen	283
D6.1	Physikalische Grundlagen der Wellenausbreitung	283
D6.2	Physikalische Größen zur Beschreibung einer Welle	284
D6.3	Wellarten	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
E	Optik und Akustik	295 bis 340
E1	Geometrische Optik	295
E1.1	Gliederung der Optik	295
E1.2	Reflexion des Lichts	295
E1.3	Brechung des Lichts	298
E1.4	Abbildung durch Linsen	302
E2	Wellenoptik	306
E2.1	Licht als Welle	306
E2.2	Spektrum der elektromagnetischen Wellen	313
E3	Photoeffekt, Photometrie und Farbenlehre	315
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	Farbabaddition und Farbsubtraktion	322
E4	Akustik	326
E4.1	Schallwellen	326
E4.2	Schallfeldgrößen	326
E4.3	Die verschiedenen Schallpegel	329
E5	Schallempfindung und Schallbewertung	332
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
E6	Ultraschall	339
F	Elektrizitätslehre	341 bis 504
F1	Elektrophysikalische Grundlagen	341
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

F2	Gesetzmäßigkeiten im elektrischen Stromkreis	362
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
F3	Gesetzmäßigkeiten in Widerstandsschaltungen	375
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 Spannungsgerzeugern	389
F4	Das elektrische Feld	394
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
F5	Das magnetische Feld	404
F5.1	Grundlegende Betrachtungen über magnetische Felder	404
F5.2	Magnetische Größen	407
F5.3	Kraftwirkung eines Magnetfeldes auf einen stromdurchflossenen Leiter	410
F6	Elektromagnetische Induktion	417
F6.1	Spannungsgerzeugung durch Induktion	417
F6.2	Selbstinduktion	421
F7	Elektromagnetische Schalter und Messgeräte	426
F7.1	Elektromagnete	426
F7.2	Elektromagnetische Schalter	426
F7.3	Elektrische Messgeräte	428
F8	Der Wechselstromkreis	432
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
F9	Dreiphasenwechselspannung	443
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
F10	Transformatoren	453
F11	Elektrische Maschinen	462
F11.1	Gleichstrommotoren	462
F11.2	Drehstrommotoren	467
F11.3	Synchronmotoren	469
F11.4	Drehstrom-Asynchronmotoren	469
F12	Elektromagnetische Schwingungen	471
F12.1	Resonanzerscheinung	471
F12.2	Elektrischer Schwingkreis	471
F12.3	Entstehung und Ausbreitung elektromagnetischer Wellen	475

F13	Grundlagen der Halbleitertechnik	479
F13.1	Kurze Entstehungsgeschichte der Halbleiterphysik	479
F13.2	Halbleiterwerkstoffe	479
F13.3	Bauelemente mit Halbleiterwerkstoffen	487
F14	Erneuerbare Energien	493
F14.1	Solartechnik	493
F14.2	Sonnenkollektoren	493
F14.3	Fotovoltaik	494
F14.4	Windenergieanlagen (WEA)	500
G	Atom- und Kernphysik	505 bis 553
G1	Physik der Atomhülle	505
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
G2	Physik des Atomkerns	522
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
G3	Kernenergie	538
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
G4	Dosimetrie und Strahlenschutz	547
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
Lösungsgänge und Lösungen zu den Übungsaufgaben		554
Ergebnisse der Vertiefungsaufgaben		586
Im Buch genannte Wissenschaftler, Techniker und Forscher		607
Verwendete physikalische Größen, deren Formelzeichen und Einheiten		615
Verwendete Naturkonstanten		619
Sachwortverzeichnis		620
Griechisches Alphabet	Umschlaginnenseite hinten	

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 zugängig 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 Zwei-stromland (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.

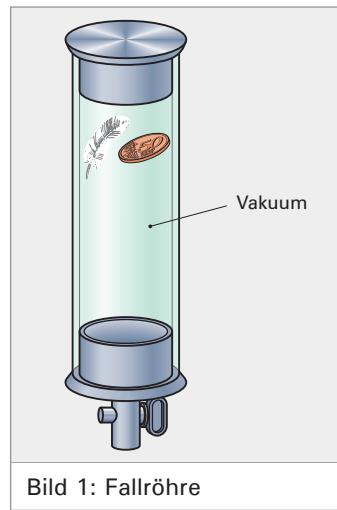


Bild 1: Fallröhre

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.

A 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 lebenden Natur und solche, die sich mit der unbelebten Natur 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 Planck'sche Wirkungsquantum . |

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 Salzhändelsstraßen)
um 2100 v. Chr.		Zeitmessung mit Sand- und Sonnenuhr
um 2000 v. Chr.		Von Scheibenräädern zu Holzräädern 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
Fortsetzung Seite 8		

A2 Physikalische Größen und Ihre Einheiten

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.

Alle abgeleiteten Größen lassen sich auf sieben verschiedene Basisgrößen zurückführen.

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

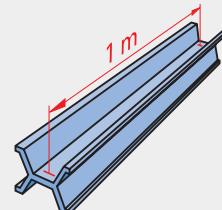


Bild 1: „Einheitennormal Meter“

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}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.