DUDEN

Physik

POCKET TEACHER

ABI

Duden

POCKET TEACHER ABI

Physik

7., überarbeitete Auflage

Hans-Peter Götz

Dudenverlag
Berlin

Redaktionelle Leitung: David Harvie
Redaktion: Dr. Angelika Fallert-Müller
Herstellung: Ditte Hoffmann
Umschlaggestaltung: 2issue, München
Layout/technische Umsetzung: LemmeDESIGN, Berlin
Grafiken: Lennart Fischer, Stefan Giertzsch

www.duden.de
www.cornelsen.de

7. Auflage, 1. Druck 2023

Druck und Bindung: H. Heenemann, Berlin

Printed in Germany

ISBN 978-3-411-77126-4

PEFC/04-31-1156

PEFC zertifiziert
Dieses Produkt stammt aus nachhaltig bewirtschafteten Wäldern und kontrollierten Quellen.

www.pefc.de

Inhalt

Vorwort

Liebe Leserin, lieber Leser!

Der Pocket Teacher Abi Physik eignet sich als Wegbegleiter durch die gesamte Oberstufe bis zum Abitur. Er hilft nicht nur beim Endspurt vor dem Abitur, sondern ebenso gut bei Hausaufgaben und Referaten oder bei der Vorbereitung von Klausuren und Tests. Selbst wer glaubt, schon fit zu sein, kann hier mit Gewinn noch einmal ein Kapitel querlesen und sein Wissen auffrischen. Vor allem aber werden die Zusammenhänge übersichtlich und anschaulich präsentiert. Dazu tragen auch die zahlreichen Grafiken und Schaubilder bei.
Gewünschte Infos können am schnellsten über das Stichwortverzeichnis am Ende des Bandes gefunden werden. Am besten ins Inhaltsverzeichnis schauen und im entsprechenden Kapitel nach dem Begriff suchen! Stichwörter sind hier durch Fettdruck hervorgehoben (z. B. ***Resonanz,*** S. 13). Farbige Pfeile ▶ verweisen auf andere Stellen im Buch zum gleichen Thema.

BEISPIEL Effektivwert (▶ S. 61)
Geht man den Pfeilen nach, bekommt man zu diesen Fachbegriffen weitere Informationen.

- Mehrere Beispielaufgaben oder Aufzählungen zu einem Thema sind meist durch kleine farbige Quadrate übersichtlich gegliedert (▶ S. 17).

Wichtige, wesentliche Informationen sind besonders hervorgehoben:

▶ **ANMERKUNGEN** (▶ S. 50)

Auch die folgenden Hervorhebungen verdienen Ihre Aufmerksamkeit:

MERKE
In diesen Kästen wird in konzentrierter Form Grundsatzwissen vermittelt.

ACHTUNG Hiermit wird auf besondere Aspekte wie leichte Verwechselungen u. Ä. hingewiesen.

BEACHTE (▶ S. 31)

Diese Rubrik kennzeichnet Merksätze und Definitionen (▶ S. 32).

Viel Erfolg bei den Prüfungen zum Abitur!

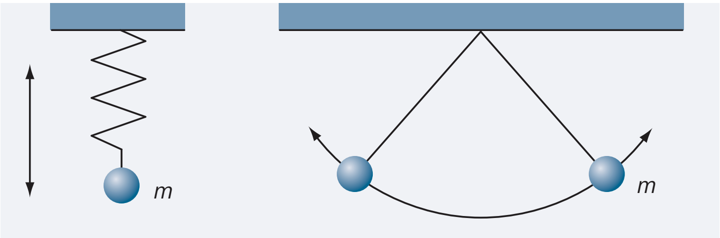
1 Mechanische Schwingungen und Wellen

1.1 Schwingungen

Die Zinken einer Stimmgabel, ein Kind auf einer Schaukel oder ein Mobile, das über eine lange Feder an der Decke befestigt ist, führen – einmal angestoßen – eine Schwingung aus.
Äußeres Kennzeichen einer Schwingung ist die sich wiederholende Hin- und Her- oder Auf- und Abbewegung. Aus physikalischer Sicht kann ein Körper in Schwingung versetzt werden, wenn er sich in einem System befindet, in dem die ihm zu Beginn zugeführte Energie anschließend periodisch zwischen zwei Energieformen wechselt. So findet im Beispiel der Kinderschaukel eine ständige Umwandlung zwischen Lage- und Bewegungsenergie statt, und wenn es keine Energieverluste durch Reibung gäbe, würde sich das Schaukelspiel unendlich lange fortsetzen. Selbstverständlich ist (im reibungsfreien Fall) der Energieerhaltungssatz der Mechanik erfüllt. In jedem Moment ist die Summe aus Bewegungs- und Lageenergie konstant, nämlich gleich dem Energiebetrag, den der Vater dem Kind zu Beginn erteilt hat, sei es durch Anstoßen (= Bewegungsenergie) oder Auslenken und Hochheben der Schaukel (= Lageenergie).

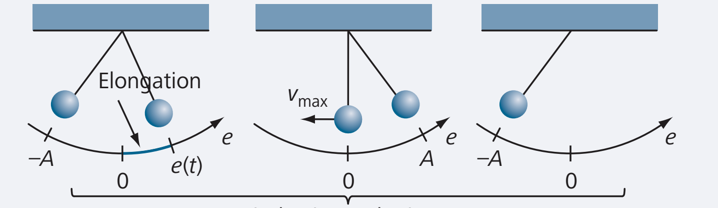
Charakteristische Größen zur Beschreibung einer Schwingung

Wir betrachten in der Schule nur einfache Schwingungen in der Mechanik, die sich (idealisiert) auf zwei Grundformen zurückführen lassen:
- das *Feder*- und
- das *Fadenpendel*.



1

In beiden Fällen stellt man sich vor, dass die gesamte Masse m in einem punktförmig gedachten Pendelkörper vereinigt ist und längs einer Achse hin- und herschwingt. (Im Falle eines Fadenpendels ist die Achse leicht gebogen!) Da Schwingungen eine gewisse Symmetrie aufweisen, ist es zweckmäßig, den Nullpunkt der Auslenkungsachse so zu wählen, dass er mit dem „Ruhepunkt" der Bewegung zusammenfällt. Diesen Ruhepunkt findet man am leichtesten, wenn man sich vorstellt, in welcher Stellung der pendelnde Körper einmal zur Ruhe kommen wird, wenn er seine gesamte Schwingungsenergie durch Reibungsvorgänge verloren hat. Die Position des schwingenden Körpers auf dieser Achse zu einem beliebigen Zeitpunkt t wird als ***Auslenkung*** oder als ***Elongation*** $e(t)$ bezeichnet. Den Betrag der Höchstwerte der Elongation bezeichnet man als ***Amplitude*** $A = |e(t)_{\max}|$.
Bei einer reibungsfrei ablaufenden Schwingung – man spricht dann von einer ungedämpften Schwingung – ist die Amplitude konstant.



Eine vollständige Hin- und Herbewegung zum gleichartigen Amplitudenwert wird (von $+A$ zu $+A$ bzw. von $-A$ zu $-A$, ▶Abb.) als eine ***Periode*** der Schwingung bezeichnet. Die hierfür benötigte Zeitdauer wird ***Periodendauer*** T genannt. Nach Ablauf einer Periodendauer wiederholen sich die Vorgänge in gleichartiger Weise. Ungedämpfte Schwingungen sind periodisch. Bei rasch ablaufenden Schwingungen macht es Mühe, die Periodendauer zu messen. Man bestimmt dann die Anzahl der Perioden (auch Bruchteile einer vollen Periode!), die in einer bestimmten Zeitdauer durchlaufen werden, und bezeichnet diesen zeitbezogenen Wert als ***Frequenz*** f.

Frequenz und Periodendauer stehen in einem reziproken Verhältnis:
$f = \frac{1}{T}$ oder $T = \frac{1}{f}$.

Ist die Bezugsgröße der Zeit eine Sekunde, gibt man die Frequenz in der Einheit Hertz (Hz) an: $\frac{1}{s} = 1\,\text{Hz}$; $\frac{7}{s} = 7\,\text{Hz}$ usw.

BEISPIEL Schwingen die Zinken einer Stimmgabel in einer Sekunde 400-mal hin und her, so beträgt die Frequenz:

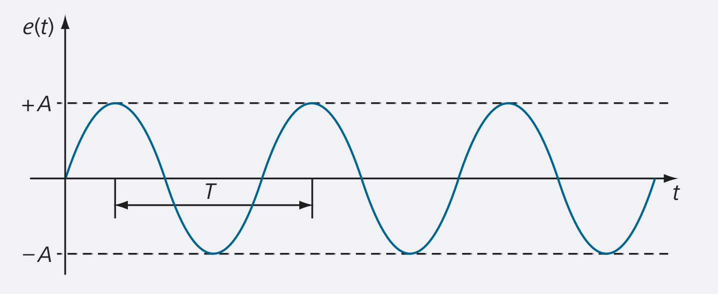
$$f = \frac{400}{\mathrm{s}} = 400\,\mathrm{Hz}.$$

Die Periodendauer beträgt:

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{400 \cdot \frac{1}{\mathrm{s}}} = 0{,}0025\,\mathrm{s} = 2{,}5\,\mathrm{ms}\ \text{(Millisekunden).}$$

Die harmonische Schwingung

Eine Schwingung, deren Auslenkungsfunktion $e = f(t)$ durch eine Sinusfunktion beschrieben werden kann, wird als ***harmonische Schwingung*** oder *Sinusschwingung* bezeichnet.
Alle Schwingungen, die in der Schule vorkommen, sind – zumindest näherungsweise – harmonisch.
Die harmonische Schwingung ist die mathematisch einfachste Schwingung und man kann durch Ableiten sofort die Abhängigkeit der Geschwindigkeit von der Zeit gewinnen.



Ist die Auslenkungsfunktion einer harmonischen Schwingung
$e(t) = A \cdot \sin(2\pi \cdot f \cdot t)$,
so liefert die 1. Ableitung nach der Zeit die Geschwindigkeits-Zeit-Funktion:
$e'(t) = v(t) = A \cdot 2\pi \cdot f \cdot \cos(2\pi \cdot f \cdot t)$.

ANMERKUNG Für $t = 0$ ist $e(t) = 0$.

Die Definition $e(t) = A \cdot \sin(2\pi \cdot f \cdot t)$ setzt also voraus, dass der schwingende Körper zum willkürlich gewählten Zeitpunkt $t = 0$ seine Schwingung aus der Ruheposition heraus beginnt.
Häufig startet man jedoch eine Schwingung aus einer Amplitudenposition $e(0) = A$. Die Auslenkungsfunktion lautet dann:

$e(t) = A \cdot \sin\left(2\pi \cdot f \cdot t + \frac{\pi}{2}\right)$ oder (gleichwertig): $e(t) = A \cdot \cos(2\pi \cdot f \cdot t)$.

Der häufig vorkommende Term $2\pi \cdot f$ wird als ***Kreisfrequenz*** bezeichnet und mit ω (kleines Omega) abgekürzt.

BEACHTE Die Argumente der Sinus- und Kosinusfunktionen, also $\omega \cdot t$, müssen stets im Bogenmaß eingegeben werden. Der Taschenrechner ist also gegebenenfalls umzustellen, meist von DEG auf RAD.

BEISPIEL Ein Körper, der an einer Feder befestigt ist, wird um das Wegstück $A = 0{,}30\,\text{m}$ ausgelenkt und dann aus der Ruhe heraus losgelassen; er führt eine harmonische Schwingung mit der Frequenz $f = 0{,}50\,\text{Hz}$ aus. Zu welchem Zeitpunkt schwingt er erstmalig durch die Ruhelage $e = 0$? Wie groß ist der Betrag seiner Geschwindigkeit an dieser Stelle?
Lösung: Das spezielle Auslenkungs-Zeit-Gesetz lautet:

$e(t) = 0{,}30\,\text{m} \cdot \cos\left(2\pi \cdot \frac{0{,}5}{\text{s}} \cdot t\right)$.

Setzt man $e(t) = 0$, so erhält man eine Bestimmungsgleichung für den gesuchten Zeitpunkt t_1: $0 = \cos\left(2\pi \cdot \frac{0{,}5}{\text{s}} \cdot t_1\right)$.

Da der Kosinus nur für Winkelwerte $\frac{\pi}{2}, \frac{3\pi}{2}, \frac{5\pi}{2}, \ldots$ den Wert 0 liefert, folgt aus $2\pi \cdot \frac{0{,}5}{\text{s}} \cdot t_1 = \frac{\pi}{2}$ der gesuchte Zeitpunkt $t_1 = 0{,}5\,\text{s}$.

Die Periodendauer der Schwingung beträgt demnach: $T = \frac{1}{f} = 2\,\text{s}$.

Die Rechnung bestätigt also, dass das erstmalige Durchschwingen der Ruhelage nach $\frac{1}{4}$ Periodendauer erfolgt. Das spezielle Geschwindigkeits-Zeit-Gesetz lautet:

$v(t) = -0{,}30\,\text{m} \cdot 2\pi \cdot \frac{0{,}5}{\text{s}} \cdot \sin\left(2\pi \cdot \frac{0{,}5}{\text{s}} \cdot t\right)$.

Setzt man in diese Gleichung $t_1 = \frac{T}{4} = 0{,}5\,\text{s}$ ein, so nimmt der Sinusterm den größtmöglichen Wert 1 an. Die Geschwindigkeit zu diesem Zeitpunkt ist $v(t_1) = -0{,}30\,\text{m} \cdot 2\pi \cdot \frac{0{,}5}{\text{s}} \approx -0{,}94\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$; einen größeren Geschwindigkeitsbetrag als $0{,}94\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$ hat der Körper an keiner anderen Stelle der Schwingung.

MERKE

Die Maximalgeschwindigkeit, die ein Körper bei einer harmonischen Schwingung erreicht, ist: $v_{max} = A \cdot 2\pi \cdot f = A \cdot \omega$, das Produkt aus Amplitude A und Kreisfrequenz ω.

Physikalische Bedingungen für eine harmonische Schwingung

Die Untersuchung, ob eine reale Schwingung harmonisch ist, kann sich recht schwierig gestalten. Zwar kann man häufig mit geeigneten elektromechanischen Wandlern ihre Elongationen auf dem Schirm eines Oszilloskops oder mit einem Y-t-Schreiber aufzeichnen, doch ist unser „Augenmaß" nicht besonders scharf, wenn es gilt nachzuprüfen, ob das gewonnene ***Oszillogramm*** eine exakte Sinuskurve darstellt. (Zudem sind in der Regel alle Schwingungen gedämpft, d. h., die Amplituden werden mit der Zeit kleiner und genügen nicht dem oben genannten mathematischen Ansatz für eine harmonische Schwingung, der ein konstantes A fordert. Doch wird diese Voraussetzung in der Schule nicht besonders streng gesehen.)
Für die Beantwortung der Frage, ob eine Schwingung harmonisch abläuft, hat sich eine andere Methode bewährt: Man prüft die physikalischen Voraussetzungen für die Schwingung. Mit mathematischen Mitteln lässt sich zeigen (eine Herleitung, auf die wir hier verzichten wollen), dass eine Schwingung harmonisch ist, wenn auf den Pendelkörper der Masse m eine Kraft einwirkt mit den folgenden Eigenschaften:

- In jeder Position wirkt eine Kraft auf den schwingenden Körper, deren Richtung auf die Ruhelage des Körpers (= Nullpunkt der Elongationsachse) weist; man spricht von der Existenz einer „rücktreibenden Kraft".
- Der Betrag der rücktreibenden Kraft wächst proportional zum Betrag der Auslenkung an; man spricht von der Gültigkeit eines linearen Kraftgesetzes.

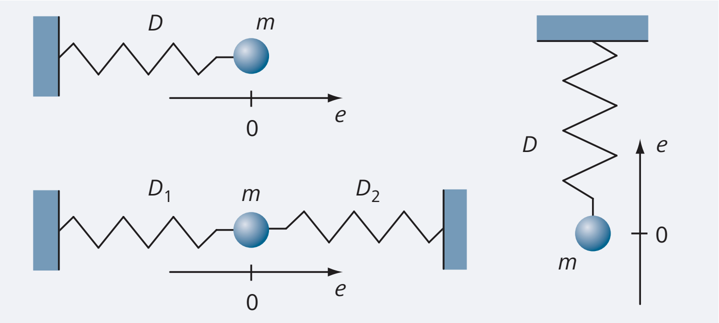
Beide Forderungen lassen sich in vektorieller Schreibweise kurz notieren: $\vec{F} \sim -\vec{e}$ oder $\vec{F} = -k \cdot \vec{e}$, wobei k eine (positive) Proportionalitätskonstante bezeichnet.

> Kann man die Existenz einer Proportionalitätskonstanten k zwischen Kraft und Auslenkung nachweisen, so ist erwiesen, dass die Schwingung harmonisch ist. Die Periodendauer beträgt dann für jede Art eines Schwingers:
> $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$ (m Masse des schwingenden Körpers).

Das Federpendel

Federpendel kommen üblicherweise in 3 Formen vor:

- als horizontale Schwinger mit *einer* Feder,
- als horizontale Schwinger mit *zwei* Federn,
- als vertikale Schwinger.



1

Wenn keine Reibung vorliegt, die verwendeten Federn das hookesche Gesetz $F = D \cdot s$ erfüllen und die Schwingungen innerhalb des Gültigkeitsbereiches dieses Gesetzes erfolgen, sind alle Federschwingungen harmonisch. Besitzt eine Feder die Federkonstante D, beträgt die Periodendauer einer mit ihr erzeugten Federschwingung:
$T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{m}{D}}$.

ANMERKUNG m bezeichnet hierin korrekt die schwingende Masse, d. h. die Masse des Pendelkörpers plus einem Bruchteil $\left(\text{ca. } \frac{1}{3}\right)$ der Federmasse. In vielen Fällen ist die Masse der Feder im Vergleich zur Masse des Pendelkörpers sehr klein, sodass der Einfluss der Federmasse auf die Periodendauer vernachlässigt werden kann.

BEISPIEL Hängt ein Körper der Masse $m = 1{,}00\,\text{kg}$ an einer Feder der Federkonstanten $D = 100\,\frac{\text{N}}{\text{m}}$, deren Masse sehr klein gegen 1 kg ist, so beträgt die Periodendauer der Federschwingung: $T = 2\pi \cdot \sqrt{0{,}01\,\text{s}^2} = 2\pi \cdot 0{,}1\,\text{s} \approx 0{,}63\,\text{s}$ und die Frequenz ist: $f = \frac{1}{T} \approx 1{,}59\,\text{Hz}$, unabhängig von der Amplitude!

ANMERKUNGEN

- Im Falle des horizontalen Schwingers mit *einer* Feder muss diese Feder auf Zug und Druck belastbar sein, die Federringe dürfen sich im Ruhezustand nicht berühren.
- Den Fall mit zwei vorgespannten Federn kann man auf den ersten Fall zurückführen. Die zwei Federn mit den Konstanten D_1 und D_2 können gleichwertig durch eine Feder der Konstante $D = D_1 + D_2$ ersetzt werden. (Anwendung des Ersatzprinzips!)
- Im Fall des vertikalen Federschwingers kann man den Einfluss der Gewichtskraft auf den schwingenden Körper „vergessen", wenn man den Nullpunkt der Elongationsachse in denjenigen Punkt legt, in dem die Gewichtskraft auf den (ruhenden!) Körper die Feder dehnt. Die konstant einwirkende Gewichtskraft ist dann keine rücktreibende Kraft im oben genannten Sinn und hat deshalb keinen Einfluss auf die Periodendauer.

> Die Periodendauer von Federschwingern ist unabhängig von der Amplitude und vom speziellen Wert des Ortsfaktors des Ortes, an dem die Schwingungen ablaufen.
> Auf den Mond gebrachte Federschwinger schwingen dort in gleicher Weise wie auf der Erde!

Das Fadenpendel

Ein Körper der Masse m, der an einem (masselos gedachten) Faden der Länge l hängt, kann in Schwingungen auf einem Kreisbogenstück versetzt werden.
Wird der Körper aus der Ruhelage ausgelenkt, so versucht die auf ihn einwirkende Gewichtskraft, ihn wieder in diese Lage zu zwingen, jedoch auch, den Faden straff zu spannen. Diese „Doppelaufgabe" der Gewichtskraft macht man sich am besten durch eine Kräftezerlegung in einem Kräfteparallelogramm klar.
Die Kraftkomponente F_R der Gewichtskraft, rechtwinklig zur Fadenrichtung (= Tangentialkomponente), ist die rücktreibende Kraft. Setzt man jeweils den Sinus des Auslenkwinkels α der beiden dunkler gefärbten Dreiecke einander gleich (▶ Abb. S. 13):

$\sin \alpha = \frac{s}{l} = \frac{F_R}{F_G}$, so erhält man $F_R = F_G \cdot \frac{s}{l}$.

Die rücktreibende Kraft ist also bei konstanter Fadenlänge l dem Sehnestück s proportional und **nicht** dem Kreisbogenstück e, der eigentlichen Auslenkung.

Größe, Symbol, Anmerkung	Festlegung	Einheit (Kurzzeichen), Anmerkung
Masse-Energie-Äquivalenz (Massendefekt)	$\Delta m = \frac{E}{c^2}$; $E = \Delta m \cdot c^2$	Jede Energiezufuhr ist mit einer Massenzunahme verknüpft – und umgekehrt. Bei einer Kernspaltung ist die Massensumme der Spaltprodukte kleiner als die Masse des Ausgangskerns. Die Differenz (Massendefekt) wird in Form von Energie frei.
kinetische Energie in der SRT	$E_{kin} = m(v) \cdot c^2 - m_0 \cdot c^2$	$m(v) \cdot c^2$: Gesamtenergie; $m_0 \cdot c^2$: Ruheenergie Für $v \ll c$ gilt $E_{kin} \approx \frac{1}{2} \cdot m_0 \cdot v^2$.
Energie eines Photons (Lichtquants)	$E = m \cdot c^2 = h \cdot f = h \cdot \frac{c}{\lambda}$	Elektronenvolt (eV) 1 eV ≈ $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ J E: Energie eines Photons der Frequenz f bzw. Wellenlänge λ; h: plancksches Wirkungsquantum

7

7.8 Naturkonstanten

Fallbeschleunigung (= Ortsfaktor) in Europa	$g = 9{,}81\ \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 9{,}81\ \frac{\text{N}}{\text{kg}}$
Gravitationskonstante	$G = 6{,}67 \cdot 10^{-11}\ \frac{\text{m}^3}{\text{kg} \cdot \text{s}^2}$
Elementarladung	$e = 1{,}602 \cdot 10^{-19}\ \text{C}$
Elektrische Feldkonstante	$\varepsilon_0 = 8{,}85 \cdot 10^{-12}\ \frac{\text{A} \cdot \text{s}}{\text{V} \cdot \text{m}}$
Magnetische Feldkonstante	$\mu_0 = 1{,}256 \cdot 10^{-6}\ \frac{\text{V} \cdot \text{s}}{\text{A} \cdot \text{m}}$
Ruhemasse des Elektrons	$m_e = 9{,}11 \cdot 10^{-31}\ \text{kg}$
Spezifische Ladung des Elektrons	$\frac{e}{m_e} = 1{,}76 \cdot 10^{11}\ \frac{\text{C}}{\text{kg}}$
Plancksche Konstante	$h = 4{,}14 \cdot 10^{-15}\ \text{eV} \cdot \text{s}$ $= 6{,}63 \cdot 10^{-34}\ \text{J} \cdot \text{s}$

8 Stichwortverzeichnis

DUDEN

Der Booster zum erfolgreichen Abitur!

- Effektive Prüfungsvorbereitung in kurzer Zeit
- Der wesentliche Abiturstoff in klarer, übersichtlicher Form
- Komplexe Themen verständlich und präzise erklärt

DAS ORIGINAL
Über 1 Mio. verkaufte Bücher
SEIT 2000

ISBN 978-3-411-77126-4
13 € (D) · 13,40 € (A)
9 783411 771264
www.duden.de