Tera	T	1 000 000 000 000 (10^{12})	Einheiten
Giga	G	1 000 000 000 (10^{9})	Einheiten
Mega	M	1 000 000 (10^{6})	Einheiten
Kilo	k	1 000 (10^{3})	Einheiten
Hekto	h	100 (10^{2})	Einheiten
Deka	da	10 (10^{1})	Einheiten
Dezi	d	0,1 (10^{-1})	Einheiten
Zenti	c	0,01 (10^{-2})	Einheiten
Milli	m	0,001 (10^{-3})	Einheiten
Mikro	μ	0,000 001 (10^{-6})	Einheiten
Nano	n	0,000 000 001 (10^{-9})	Einheiten
Pico	p	0,000 000 000 001 (10^{-12})	Einheiten
Femto	f	0,000 000 000 000 001 (10^{-15})	Einheiten
Atto	a	0,000 000 000 000 000 001 (10^{-18})	Einheiten

Rudolf Göbel

Wissensspeicher

Größen · Einheiten

Wissensspeicher Größen · Einheiten

Das Wichtigste
in Stichworten und Übersichten

Rudolf Göbel
unter Mitarbeit von Edward Gutmacher
und Reinhard Behrends

3. Auflage

Volk und Wissen
Volkseigener Verlag Berlin
1987

Verfaßt von
Prof. Dr. sc. Rudolf Göbel
unter Mitarbeit von
Edward Gutmacher (Beispielaufgaben aus dem Chemieunterricht)
und
Dr. Reinhard Behrends (Beispielaufgaben aus dem polytechnischen Unterricht)

Göbel, Rudolf:
Wissensspeicher Größen, Einheiten: das Wichtigste in Stichworten u. Übersichten/ Rudolf Göbel. Unter Mitarb. von Edward Gutmacher u. Reinhard Behrends. – 3. Aufl. – Berlin: Volk u. Wissen, 1987. – 271 S.: Ill., graph. Darst.

ISBN 3-06-021707-6

3. Auflage
Lizenz-Nr. 203 · 1000/87 (DN 02 17 07-3)
LSV 1107
Redaktion: Willi Wörstenfeld
Zeichnungen: Heinrich Linkwitz
Einband: Manfred Behrendt
Typografie: Atelier vwv, Wolfgang Lorenz
Printed in the German Democratic Republic
Gesamtherstellung: Grafischer Großbetrieb Völkerfreundschaft Dresden
Schrift: 9/9/10 Univers Linotronic
Redaktionsschluß: 8. 2. 1986
Bestell-Nr. 707 542 1
00750

Inhalt

Zur Benutzung des Buches

Dieses Buch soll dem Schüler und dem Lehrer beim Gebrauch von Formelzeichen und Einheiten physikalischer Größen sowie bei der sachgemäßen Verwendung von physikalischen Größen und Größengleichungen im naturwissenschaftlichen und polytechnischen Unterricht helfen. Zu diesem Zweck werden in den vier ersten Abschnitten die Grundlagen für den Umgang mit Größen, Einheiten und Formelzeichen dargestellt. Im fünften Abschnitt wird an vielen Aufgaben die praktische Anwendung gezeigt. Der sechste Abschnitt enthält Tabellen zur Umrechnung verschiedener Einheiten. Wissenswertes über die Entwicklung des Meßwesens, der Maße und Meßgeräte ist in einer Auswahl im siebenten Abschnitt zusammengefaßt.
Bei der Gestaltung des Buches bestand die Absicht, dem Leser eine schnelle Orientierung zu ermöglichen. Diesem Ziel dienen

die Leiteinrichtung im vorderen Innendeckel, die Auskunft über den Inhalt der Hauptabschnitte gibt,

die farblich unterschiedliche Gestaltung der Hauptabschnitte,

die Verwendung von Farbabstufungen,

die Benutzung von Symbolen und Kurzzeichen für
■ Beispiele,
↗ Verweise auf andere Abschnitte, Seiten oder Schlagwörter,

das untergliederte Inhaltsverzeichnis,

das am Schluß des Buches befindliche, ausführliche, alphabetisch geordnete Register.

Zahlreiche Verweise innerhalb des Textes, eine möglichst knappe stichwortartige Darstellung sowie Tabellen und Übersichten sollen dem Lernenden weiterhin einen rationellen Zugriff zu den zahlreichen Begriffen, Definitionen, Regeln und Beispielen ermöglichen. Die starke Verdichtung mußte zwangsläufig an vielen Stellen zu Vereinfachungen und Kurzfassungen führen und erlaubte es nicht immer, die bestehenden Zusammenhänge in aller Breite darzustellen. Der interessierte Leser muß dazu auf ausführlichere Darstellungen verwiesen werden.

1 Allgemeine Grundlagen

Die Bedeutung eines einheitlichen Maßsystems

Im Interesse der sich weiter entwickelnden Kooperation in Wissenschaft, Technik und Produktion sowie des steigenden Austausches von wissenschaftlich-technischen Informationen und Erzeugnissen im internationalen Rahmen ergibt sich die wachsende Notwendigkeit, zu einem einheitlichen Maßsystem zu kommen, das eine Basis für die Verständigung bietet. Die einheitliche Anwendung eines einheitlichen Maßsystems in allen Ländern der Welt schafft eine einheitliche Basis für den Vergleich von Maßerzeugnissen – unabhängig von Ort und Zeit – und Größenangaben in wissenschaftlich-technischen Informationen ohne komplizierte Umrechnungen.
Das einheitliche Maßsystem hat den Namen „Internationales Einheitensystem" (SI) erhalten (↗ S. 8).
Auf der Basis des „Internationalen Einheitensystems" kann unter anderem die Einheitlichkeit der Messungen in der Volkswirtschaft der DDR und auch bei der Kooperation und Spezialisierung im RGW insgesamt gesichert werden.

Entwicklungsprobleme im Meßwesen

Entwicklungsprobleme	Maßnahmen
• ständig wachsende Forderungen an die Genauigkeit der Messungen	• Erhöhung der Meßgenauigkeit – durch präzisere Meßgeräte, – durch neue Meßmethoden, – durch die präzisere Definition und Darstellung der Basiseinheiten
• Messung immer neuer Eigenschaften von Gegenständen, Zuständen oder Vorgängen	• Entwicklung spezifischer Meßmethoden
• zunehmende internationale Zusammenarbeit und zunehmender internationaler Warenaustausch	• Vereinheitlichung der Einheitensysteme
• zunehmender Austausch von wissenschaftlichen und produktionstechnischen Informationen	• international verständliche und übereinstimmende Darstellung von Meßgrößen
• Verringerung des Aufwandes an unproduktiver, formaler geistiger Arbeit beim Umgang mit Größen und Einheiten	• Vereinfachung der Einheitensysteme

➡ 1

Système International d'Unités – Internationales Einheitensystem

Das Internationale Einheitensystem wird in allen der Meterkonvention angeschlossenen Staaten einheitlich mit dem Symbol SI bezeichnet.
In der Deutschen Demokratischen Republik wurde das SI mit der Verordnung vom 31. Mai 1967 über die physikalisch-technischen Einheiten gesetzlich eingeführt. Die Anordnung vom 26. November 1968 über die „Tafel der gesetzlichen Einheiten" bereitete den Übergang zu einer umfassenden Anwendung des SI in einem längeren Zeitraum vor. Mit dem DDR-Standard TGL 31548 „Einheiten physikalischer Größen" wurde u. a. die Gültigkeitsdauer einer Reihe SI-fremder Einheiten befristet.

Vorteile des SI

<table>
<tr><th>Seit Einführung des SI</th><th>Vor Einführung des SI</th><th>Vorteile des SI</th></tr>
<tr><td>Physik und Technik benutzen das Internationale Einheitensystem (SI).</td><td>Physik: CGS-System mit den Basiseinheiten Zentimeter, Gramm, Sekunde
Technik: MKS-System mit den Basiseinheiten Meter, Kilogramm (Kraft), Sekunde</td><td>Die Einheiten des SI sind für Wissenschaft, Technik, Produktion, Ausbildung usw. verbindlich. Es gibt keine unterschiedlichen Einheitensysteme für die Physik und für die Technik.</td></tr>
<tr><td>mechanische Energie, Wärmeenergie, elektrische Energie und alle anderen Energiearten, gemessen in Joule bzw. in kohärenten Einheiten</td><td>mechanische Energie, gemessen in Kilopondmeter; Wärmeenergie, gemessen in Kilokalorien, el. Energie, gemessen in Wattsekunden</td><td>Für gleiche Größenarten gelten gleiche Einheiten. Das SI ist absolut.</td></tr>
<tr><td>$1\,J = 1\,N \cdot m = 1\,W \cdot s$
$1\,Pa = 1\,N \cdot m^{-2}$
$1\,N = 1\,kg \cdot m \cdot s^{-2}$</td><td>$1\,kp \cdot m = 2{,}34\,cal$
$1\,Torr = 1{,}333\,mbar$
$1\,kp = 9{,}81\,kg \cdot m \cdot s^{-2}$</td><td>Alle Einheiten des SI gehen kohärent (↗ S. 37) aus den Basiseinheiten (↗ S. 36) hervor, d. h.: alle Einheiten sind so gebildet, daß der Umrechnungsfaktor zwischen Einheiten verschiedener Größen (↗ S. 48) stets 1 ist.</td></tr>
<tr><td colspan="2"><table>
<tr><td>SI</td><td>Elektrostatisches CGS-System</td></tr>
<tr><td colspan="2">Einheit der elektrischen Stromstärke</td></tr>
<tr><td>$[I] = 1\,A$</td><td>$[I] = cm^{\frac{3}{2}} \cdot g^{\frac{1}{2}} \cdot s^{-2}$</td></tr>
</table></td><td>Das SI besitzt eine elektrische Basiseinheit. Damit ist es nicht mehr erforderlich, elektrische Größen allein auf die drei mechanischen Basiseinheiten zurückzuführen.</td></tr>
</table>

Seit Einführung des SI	Vor Einführung des SI	Vorteile des SI
Temperaturdifferenzen und Temperaturen (wie bei allen anderen Größen) nur noch in einer Einheit gemessen	Temperaturdifferenzen in grd, Temperaturen in °C oder °K	Es werden Inkonsequenzen im Einheitensystem beseitigt.

Neufestlegungen durch das SI

Festlegung des SI	Vor Einführung des SI
Einheit des ebenen Winkels 1 Radiant (rad) Einheit des Raumwinkels 1 Steradiant (sr)	Einheit des ebenen und des Raumwinkels „1"
Einheit der Kraft 1 Newton (N)	Einheit der Kraft in der DDR seit 1958 1 Kilopond (kp)
Einheit aller Energiearten 1 Joule (J) = 1 Newtonmeter ($N \cdot m$) = 1 Wattsekunde ($W \cdot s$)	Einheit der Wärmeenergie 1 Kalorie (cal)
Einheit der Temperaturdifferenz 1 Kelvin (K)	Einheit der Temperaturdifferenz 1 Grad (grd)
Einheit des Druckes 1 Pascal (Pa) = 1 Newton je Quadratmeter $\left(\frac{N}{m^2}\right)$. Es darf weiterhin die Einheit Bar verwendet werden (1 bar = 0,1 MPa, 1 mbar = 1 hPa).	Einheiten des Druckes 1 Kilopond je Quadratmillimeter $\left(\frac{kp}{mm^2}\right)$ 1 Kilopond je Quadratzentimeter $\left(\frac{kp}{cm^2}\right)$ 1 technische Atmosphäre (at) 1 Meter Wassersäule ($m \cdot WS$) 1 Millimeter Wassersäule ($mm \cdot WS$) 1 physikalische Atmosphäre (atm)
Einheit der Aktivität 1 Becquerel (Bq)	Einheit der Aktivität 1 Curie (Ci)
Einheit der Ionendosis 1 Coulomb je Kilogramm $\left(\frac{C}{kg}\right)$	Einheit der Ionendosis 1 Röntgen (R)
Einheit der Energiedosis 1 Gray (Gy)	Einheit der Energiedosis 1 Rad (rd)

➡ 1

Festlegung des SI	Vor Einführung des SI
Einheit der Stoffmenge 1 Mol (mol)	Einheiten der Stoffmenge 1 Val, 1 Mol, 1 Grammatom, 1 Gramm – Molekül, 1 Grammion. Diese Einheiten waren unmittelbar mit den „Atomgewichten“ oder „Molekulargewichten“ (relativen Massen) verknüpft.

Meterkonvention

Vertragswerk über die Einführung einheitlicher Einheiten und zur Zusammenarbeit auf dem Gebiete des Meßwesens.
Am 20. Mai 1875 in Paris von 17 Staaten vereinbart.
Zur Erfüllung der Aufgaben, die sich aus der internationalen Meterkonvention ergeben, wurden verschiedene Einrichtungen geschaffen, die *Organe der Meterkonvention.*

- Generalkonferenz für Maß und Gewicht
- Internationales Komitee für Maß und Gewicht
- Beratende Komitees
- Internationales Büro für Maß und Gewicht

TGL-Standards

TGL: Abkürzung für Technische Normen, Gütevorschriften und Lieferbedingungen. 1950 für die Deutsche Demokratische Republik als gesetzlich verbindlicher staatlicher Standard eingeführte Vorschriften.

TGL 0–1333	Runden von Zahlen; Regeln, Kennzeichnung
TGL 31548	Einheiten physikalischer Größen
TGL 31549/02	Grundlagen der Symbolik in Naturwissenschaft und Technik. Formelzeichen physikalischer Größen. Entwurf März 1979
TGL 31549/06	Grundlagen der Symbolik in Naturwissenschaft und Technik. Schreibweise physikalischer Gleichungen. Entwurf März 1979
TGL 31550/02	Grundbegriffe der Metrologie. Größen, Einheiten, Gleichungen
TGL 31550/05	Meßmittel und ihr Einsatz als Normale

RGW-, internationale und nationale Normative

GOST	Abkürzung für Государственный общесоюзный стандард (Staatlicher Unionsstandard).
ISO	Abkürzung für Normative, die von der „International Organisation for Standardization" (ISO – Internationale Organisation für Standardisierung) erarbeitet wurden. Die ISO ging aus der „International Federation of the National Standardizing Associations" (ISA) hervor.
MS	Abkürzung für Methodische Hinweise zur Standardisierung des RGW
RS	Abkürzung für Standardisierungsempfehlung des RGW

Diese Normative werden von Kommissionen aus Vertretern mehrerer Länder erarbeitet. In den einzelnen Ländern wird entschieden, welche Normative übernommen, wann diese eingeführt und wie sie entsprechend den nationalen Erfordernissen modifiziert werden.

RS 3472-74	Metrologie, Ordnung und Verfahren des Übergangs zum Internationalen Einheitensystem (SI). Allgemeine Empfehlungen. Ständige Kommission Standardisierung. RGW. Moskau 1974
MS 6-73	Internationales Einheitensystem. Ständige Kommission Standardisierung. RGW. Moskau 1973
GOST Gruppe T 01	Einheiten physikalischer Größen. Entwurf 1973
ISO/R (Teil I)	Grundgrößen und Grundeinheiten des SI. 2. August 1965.

2 Größen und Einheiten

2.1. Physikalische Größen

Naturobjekte und ihre Merkmale

Merkmalsträger – Meßobjekt	stoffliche Körper, Felder, Vakuum
Merkmal	Eigenschaft eines Gegenstandes, Vorganges oder Zustandes
Größenart	qualitative Kennzeichnung eines betrachteten Merkmals, das meßbar ist; meist mit besonderem Namen
Formelzeichen	Nach TGL 31549/02 der Größe zugeordneter Buchstabe
Definition	Basisgrößen werden festgelegt. Abgeleitete Größen aus Basisgrößen durch eine Definitionsgleichung gewonnen
Einheit	Größe mit einem bestimmten, reproduzierbaren und festgelegten Wert
Meßapparatur mit Meßvorschrift	Anordnung zum quantitativen Vergleich des Merkmals mit der Einheit, meist in Teile der Einheit unterteilt oder als Vielfaches der Einheit dargestellt. Die Meßvorschrift gibt an, wie die Meßapparatur beim Messen zu benutzen ist.
Physikalische Größe	Qualitative und quantitative Aussage über ein meßbares Merkmal physikalischer Gegenstände, Vorgänge oder Zustände Physikalische Größe = Zahlenwert mal Einheit $a = \{a\} \; [a]$
Größen gleicher Art	Elemente der Klasse der jeweiligen Größenart

■ Stein

ist träge, ist schwer	besteht aus einem Stoff	verrichtet beim Zertrümmern einer Scheibe Arbeit	befindet sich in einem besonderen Wärmezustand
Masse	Dichte	Arbeit	Temperatur
m	ϱ	W	T
Basisgröße	$\varrho = \frac{m}{V}$	$W = F \cdot s$	Basisgröße
Kilogramm kg	Kilogramm je Kubikmeter $kg \cdot m^{-3}$	Joule J	Kelvin K
Hebelwaage mit Wäge- stücken	Aräometer bzw. Meß- zylinder oder Band- maß und Hebelwaage mit Wägestücken	Federkraft- messer und Bandmaß	Thermometer
$m = 160$ g $= 0{,}160$ kg	$\varrho = 1{,}6\ g \cdot cm^{-3}$	$W = 16$ J	$T = 293$ K
–	–	Verschiebungsarbeit Reibungsarbeit	Schmelztempera- tur, Siedetemperatur

2/1

Physikalische Größen

> Physikalische Größen kennzeichnen qualitative Merkmale (Eigenschaften) physikalischer Gegenstände, Zustände oder Vorgänge, die sich quantitativ bestimmen, d. h. messen lassen.
> Eine physikalische Größe wird durch das Produkt aus Zahlenwert und Einheit beschrieben.

In der Fachliteratur wird häufig noch zwischen Größenart (der qualitativen Seite einer physikalischen Größe) und Größenwert (der quantitativen Ausprägung der erfaßten Eigenschaft) unterschieden. Auf diese Unterscheidung wird in diesem Buch verzichtet, da sie für den praktischen Umgang mit physikalischen Größen kaum von Bedeutung ist.

■ Ein Stein hat das Merkmal (die Eigenschaft), „eine Dichte zu besitzen". Die Dichte kann als Quotient aus Masse und Volumen bestimmt werden:

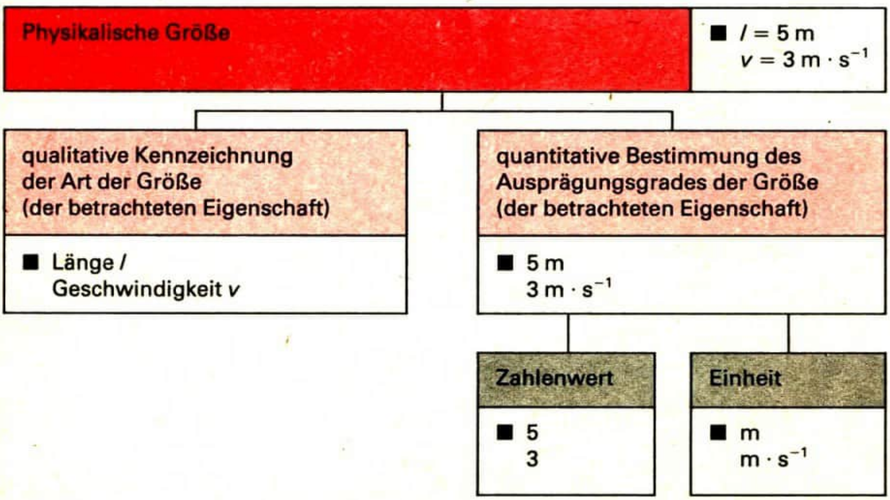
$$\varrho = \frac{m}{V}$$

Hat eine Kugel aus einem Stoff die Masse $m = 135\ \mathrm{g}$ und das Volumen $V = 50\ \mathrm{cm}^3$, dann beträgt die Dichte des Stoffes $\varrho = 2{,}7\ \frac{\mathrm{g}}{\mathrm{cm}^3}$. Diese Dichte ist kennzeichnend für den Stoff Aluminium.

Physikalische Größen werden außer in der Physik auch in anderen Wissenschaften und in der Produktion benutzt.

Qualitative und quantitative Seite einer physikalischen Größe

Physikalische Größen treffen bezüglich bestimmter Eigenschaften eine *qualitative* und eine *quantitative* Aussage. Für eine spezielle Größe gilt:



Merkmale physikalischer Größen

Merkmal	■ Beispiele
Eine physikalische Größe als qualitative und quantitative Kennzeichnung der Eigenschaften eines physikalischen Gegenstandes, Zustandes oder Vorganges umfaßt	Die Bezeichnung „Länge" ohne jede weitere zusätzliche Angabe kennzeichnet die physikalische Größe, mit der das qualitative Merkmal „Ausdehnung" eines physikalischen Sachverhalts erfaßt wird. Die physikalische Größe umfaßt
• alle Größen gleicher Art	• Strecken, Umfänge, Radien, Durchmesser, Wellenlängen
• alle allgemeinen Größen,	• irgendwelche Längen, die Umfänge oder Radien irgendeines Kreises
• alle speziellen Größen,	• den Erdumfang, den Abstand der zwei Mittelstrichmarkierungen auf dem Urmeter, Angaben der Art $l = 3{,}842$ m
• alle Einheiten dieser physikalischen Größe.	• die Einheiten 1 µm, 1 m, 1 km
■ Die Angabe „$\lambda = 300$ nm" bedeutet die quantitative Ausprägung einer Eigenschaft, die mit der physikalischen Größe „Länge" erfaßt wird.	
Die Art einer physikalischen Größe kennzeichnet die an einem Gegenstand, Vorgang oder Zustand betrachtete Eigenschaft, ohne etwas über deren quantitative Ausprägung auszusagen.	Zeit, Temperatur, elektrischer Widerstand, Längen-Temperatur-Koeffizient
Der Wert einer physikalischen Größe kennzeichnet die quantitative Ausprägung der durch die physikalische Größe erfaßten Eigenschaft.	Zeit für einen 100-m-Lauf: $t = 12{,}8$ s, Temperatur einer Wassermenge zur Zeit t_1: $\vartheta = 42{,}5\ °C$ Einheit der Länge: $l = 1$ m
Der Zahlenwert einer physikalischen Größe ist die Zahl, die angibt, wie oft die Einheit oder Vielfache oder Teile von ihr in der betrachteten Größe enthalten ist bzw. sind.	$m = 16{,}250 \cdot 1$ kg
Er kann als Quotient aus dem Wert der betrachteten physikalischen Größe und deren Einheit oder deren Vielfachen oder Teilen aufgefaßt werden.	$16{,}250 = \frac{16{,}250\ \text{kg}}{1\ \text{kg}}$
Der Zahlenwert ändert sich mit einer Änderung der Einheit. Der Wert der Größe wird dadurch jedoch *nicht* verändert.	$16\,250 = \frac{16{,}250\ \text{kg}}{1\ \text{g}}$

➡ 2/1

Merkmal	■ Beispiele
Zahlenwerte werden im Unterschied zu den Einheiten bei der allgemeinen Angabe einer physikalischen Größe in geschweifte Klammern geschrieben.	$\{a\} = \frac{a}{[a]}$
Zahlenwerte werden im Druck durch senkrechte Zahlen gekennzeichnet.	$\{l\} = 5$

Messen einer physikalischen Größe

> Messen einer physikalischen Größe bedeutet, die Größe mit einer Größe gleicher Art, deren Wert als Einheit festgelegt ist, zu vergleichen (Bild 2/1).

Merkmale physikalischer Objekte, für die keine Einheit festgelegt ist, können nicht gemessen werden und sind somit keine „Größen".

■ Geruch einer Flüssigkeit, Schönheit einer Tonfolge

Als **Fehler der Messung** bezeichnet man die Differenz zwischen dem „gemessenen Wert" x_m und dem „wahren Wert" x_w in der Form $l_x = x_m - x_w$.

■ $x_m = 5{,}23$ cm

$x_w = 5{,}20$ cm

$l_x = 0{,}03$ cm

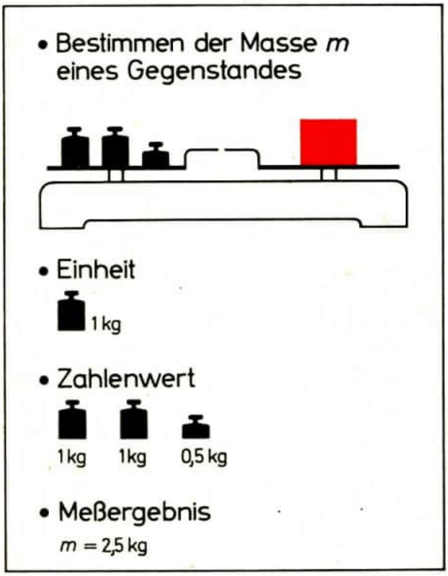


Bild 2/1 Messen einer Größe

2.2. Einteilung physikalischer Größen

Basisgrößen (Grundgrößen, Ausgangsgrößen)

Physikalische Größen, die *nicht* auf andere Größen zurückgeführt werden können. Sie drücken die für ein bestimmtes physikalisches Teilgebiet spezifischen *qualitativen* Besonderheiten aus. Sie werden definiert durch die Angabe eines

• Meßobjekts, einer Meßapparatur, einer Meßvorschrift, einer Einheit.

■

Teilgebiet	spezifische Qualitäten
Geometrie	Länge
Kinematik	Länge, Zeit
Dynamik	Länge, Zeit, Masse
Thermodynamik	Länge, Zeit, Masse, Temperatur
Elektrodynamik	Länge, Zeit, Masse, elektrische Ladung
Chemie	Länge, Zeit, Masse, Temperatur, Stoffmenge

Ergänzende Größen (Supplementgrößen)

Die beiden zusätzlichen Größen ebener Winkel und Raumwinkel. Sie können bei bestimmten physikalischen Sachverhalten den Charakter von Basisgrößen annehmen.

■ Ebener Winkel bzw. Raumwinkel nehmen den Charakter von Basisgrößen an, z. B. bei den abgeleiteten Größen Winkelgeschwindigkeit, Lichtstrom, Beleuchtungsstärke.

Abgeleitete Größen

Größen, die mit Hilfe von Definitionsgleichungen aus Basisgrößen oder bereits definierten abgeleiteten Größen gewonnen bzw. auf solche zurückgeführt werden können.

■ $\text{Geschwindigkeit} = \dfrac{\text{Länge}}{\text{Zeit}}$; $v = \dfrac{s}{t}$

$$\text{Elektrischer Widerstand} = \frac{\text{elektrische Spannung}}{\text{elektrische Stromstärke}} =$$

$$= \frac{(\text{Länge})^2 \text{ mal Masse}}{(\text{Zeit})^3 \text{ mal } (\text{elektrische Stromstärke})^2};$$

$$R = \frac{U}{I} = \frac{l^2 \cdot m}{t^3 \cdot I^2}$$

2/2

Allgemeine Größe

- beliebige Größe einer physikalischen Größe
  ■ irgendeine Masse
- bestimmter spezieller Vertreter einer physikalischen Größe
  ■ Umfang *U*, Durchmesser *d*, Höhe *h* als Vertreter der physikalischen Größe Länge

Spezielle Größe

ganz bestimmte Größe einer physikalischen Größe

■ die Momentangeschwindigkeit eines bestimmten bewegten Körpers, die Gitterkonstante eines bestimmten Kristalls

Qualitätsgröße (Intensitätsgröße)

physikalische Größe, deren Werte auf die Fragen „Wie stark?", „Wie konzentriert?" antworten, d. h., deren Ausprägungsgrade sowohl dem Körper als Ganzem als auch seinen Bruchteilen zukommen (Bild 2/2)

■ Dichte, Temperatur, elektrische Feldstärke, Stoffmengenkonzentration

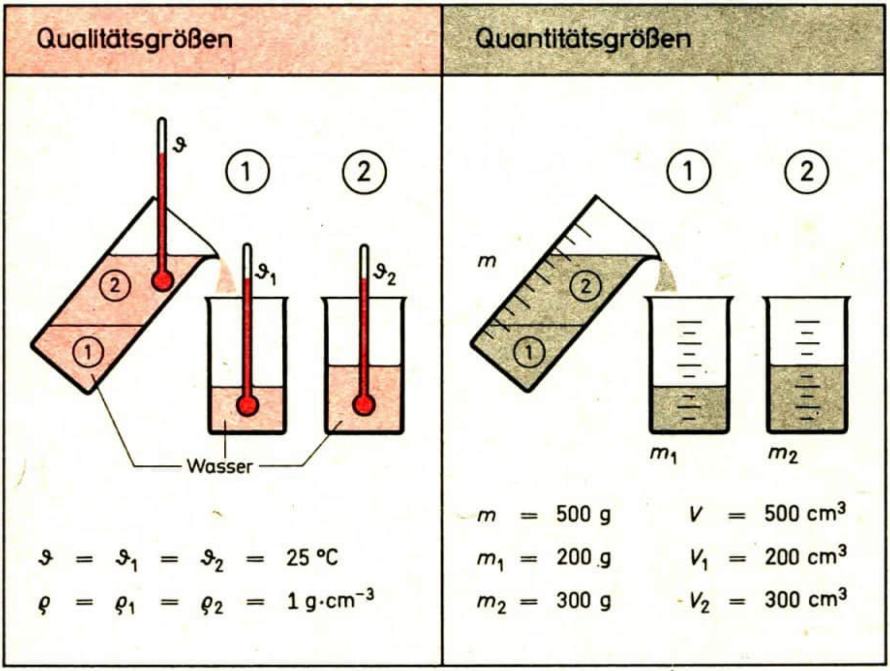


Bild 2/2 Verdeutlichung des Unterschieds zwischen Qualitätsgrößen und Quantitätsgrößen

Quantitätsgröße (Extensitätsgröße)

physikalische Größe, deren Werte auf die Fragen „Wie groß?", „Wie viel?" antworten, d. h., deren Ausprägungsgrade dem Körper als Ganzem, seinen Teilen aber nur mit den entsprechenden Bruchteilen zukommen (Bild 2/2)

■ Länge, Wärme, Verschiebungsdichte, Masse, Volumen

Verhältnisgröße

physikalische Größe, die durch das Verhältnis zweier gleichartiger physikalischer Größen definiert ist, speziell Verhältnis einer Größe zu einer Bezugsgröße, oder die als Argument von Funktionen benutzt werden darf

■ ebener Winkel $= \frac{\text{Kreisbogen}}{\text{Kreisradius}}$; $\varphi = \frac{b}{r}$

Wirkungsgrad $= \frac{\text{abgegebene Leistung}}{\text{aufgenommene Leistung}}$; $\eta = \frac{P_2}{P_1}$

Zählgröße

physikalische Größe, die durch Zählen bestimmt wird und zur quantitativen Kennzeichnung von Mengen dient. Zählgrößen können ebenfalls in der Form

Größe = Zahlenwert mal Einheit

dargestellt werden.

Zählgrößen treten auf im Zusammenhang mit

- Objekten, die räumlich oder zeitlich voneinander unterscheidbar sind,
  ■ Windungen, Umdrehungen, Atome, Spektrallinien
- Objekten, die nicht ohne Zerstörung des Ganzen voneinander entfernt oder nur indirekt gezählt werden können,
  ■ Zähne eines Zahnrades, Ladungsträger eines elektrischen Stromes
- gequantelten Eigenschaften von Objekten,
  ■ Freiheitsgrade eines schwingungsfähigen Systems
- zeitlich aufeinanderfolgenden Ereignissen.
  ■ Messungen, Umläufe, Schwingungen

Bei der Angabe von Zählgrößen wird häufig die Einheit Stück durch „1" ersetzt und diese Einheit weggelassen, so daß die Zählgrößen als unbenannte Zahlen erscheinen. In Größengleichungen dürfen Zählgrößen stets nur in Verbindung mit der Zähleinheit „1" angewendet werden. ↗ Zähleinheiten, S. 46.

■

Angabe	Zählgröße	Bedeutung
$n = 10$ $n = 15$	Umdrehungszahl Windungszahl	$n = 10$ Umdrehungen $n = 15$ Windungen

2/3

Bezogene Größe

Quotient aus zwei physikalischen Größen, die bei *einem* physikalischen Sachverhalt oder an *einem* Objekt auftreten. Der Begriff zur Bezeichnung der bezogenen Größe wird auf die im Zähler stehende Größe bezogen; die Größe im Nenner heißt „Bezugsgröße". Bezogene Größen sind von anderer Art und anderer Dimension als die im Zähler stehende Größe.

■ längenbezogene Masse $= \frac{\text{Masse}}{\text{Länge}}$; $m_l = \frac{m}{l}$

Dimension einer Größe

Ausdruck, der die Größe als Potenzprodukt aus den Basisgrößen mit dem Zahlenfaktor 1 darstellt.

■ $\dim v = \mathrm{L} \cdot \mathrm{T}^{-1}$
$\dim \varphi = \mathrm{L} \cdot \mathrm{L}^{-1}$
$\dim U = \mathrm{L}^2 \cdot \mathrm{M} \cdot \mathrm{T}^{-3} \cdot \mathrm{I}^{-1}$

2.3. Formelzeichen

Formelzeichen

die meist aus einem Buchstaben gebildeten Symbole zur Kennzeichnung der physikalischen Größen in Gleichungen

■ Wärme $Q = c \cdot m \cdot \Delta \vartheta$

Formelzeichen sind durch ISO- und DIN-Normen festgelegt.	■ DIN 1304 „Allgemeine Formelzeichen" (nach ISO/R 31)
Da es mehr physikalische Größen als Buchstaben gibt, läßt sich eine Mehrfachbelegung der Formelzeichen nicht vermeiden.	■ α kann bedeuten: ebener Winkel, Dämpfungskonstante, Längen-Temperatur-Koeffizient, Schallabsorptionsgrad
Indizes an Formelzeichen dürfen verwendet werden, um Größen gleicher Art oder besondere Zustände zu kennzeichnen.	■ U_l Leerlaufspannung, F_n Normalkomponente
Werden für eine Größe mehrere Zeichen angeführt, so ist das an erster Stelle stehende (international empfohlene) Zeichen zu bevorzugen.	■ ϱ, d W, A E, W Q, W

Tafel der Formelzeichen in Anlehnung an TGL 31549/02 – Entwurf

Zeichen	Bedeutung
Größen des Raumes und der Zeit	
α, β, γ	Winkel
Ω, ω	Raumwinkel
l	Länge
b	Breite
h	Höhe
r	Radius, Halbmesser
d	Durchmesser
s	Weglänge, Kurvenlänge
A, S	Fläche, Flächeninhalt, Oberfläche
S, q	Querschnitt, Querschnittsfläche
V	Volumen, Raum
t	Zeit, Zeitspanne, Dauer
ω, w	Winkelgeschwindigkeit
α	Winkelbeschleunigung
v	Geschwindigkeit
a	Beschleunigung
g	Fallbeschleunigung
Größen periodischer und verwandter Erscheinungen	
T	Periodendauer, Schwingungsdauer
f, ν	Frequenz, Periodenfrequenz
n	Drehzahl, Umlauffrequenz
ω	Kreisfrequenz, Winkelfrequenz
λ	Wellenlänge
α	Abklingkonstante
φ	Phasenverschiebungswinkel
c	Fortpflanzungsgeschwindigkeit einer Welle
Größen der Mechanik	
m	Masse
ϱ, d	Dichte, volumenbezogene Masse
v	Spezifisches Volumen
p	Impuls, Bewegungsgröße
J	Massenträgheitsmoment
F	Kraft
G, F	Gewichtskraft
M, T	Moment, Drehmoment
p	Druck
L	Drehimpuls
σ	Zug- oder Druckspannung, Normalspannung
τ	Schubspannung, Scherspannung
ε	Dehnung
μ, ν	Poisson-Zahl
E	Elastizitätsmodul

Zeichen	Bedeutung
K	Kompressionsmodul
G	Schubmodul
μ	Reibungszahl
W, A	Arbeit
E, W	Energie
P	Leistung
η	Wirkungsgrad
E_K	Kinetische Energie
E_p	Potentielle Energie
w	Energiedichte
η	Dynamische Viskosität
ν	Kinematische Viskosität
Größen der Wärme	
T, Θ	Temperatur (thermodynamische)
t, ϑ	Celsius-Temperatur
α, d_l	Temperaturkoeffizient für die Länge (Längen-Temperatur-Koeffizient, Längenausdehnungskoeffizient)
γ, β, d_v	Temperaturkoeffizient für das Volumen (Volumen-Temperatur-Koeffizient, Raumausdehnungskoeffizient)
Q, W	Wärme (Wärmemenge)
λ	Wärmeleitfähigkeit
C	Wärmekapazität
c	Spezifische Wärmekapazität
c_p	Spezifische Wärmekapazität bei konstantem Druck
c_v	Spezifische Wärmekapazität bei konstantem Volumen
S	Entropie
s	Spezifische Entropie
H	Enthalpie
h	Spezifische Enthalpie
U	Innere Energie
u	Spezifische innere Energie
G	Freie Enthalpie
H_o	Spezifischer Brennwert
H_u	Spezifischer Heizwert
Größen der Elektrizität und des Magnetismus	
Q	Elektrizitätsmenge, elektrische Ladung
E	Elektrische Feldstärke
U	Elektrische Spannung
D	Verschiebungsdichte
Ψ	Elektrischer Verschiebungsfluß
C	Elektrische Kapazität
ε	Dielektrizitätskonstante, Permittivität
ε_0	Elektrische Feldkonstante, Influenzkonstante
ε_r	Dielektrizitätszahl, relative Dielektrizitätskonstante

Zeichen	Bedeutung
I	Elektrische Stromstärke
H	Magnetische Feldstärke
M	Magnetisierung
B	Magnetische Flußdichte, Induktion
Φ	Magnetischer Fluß
L	Induktivität, Selbstinduktivität
μ	Permeabilität
μ_o	Magnetische Feldkonstante, Induktionskonstante
μ_r	Permeabilitätszahl, relative Permeabilität
R	Elektrischer Widerstand, Wirkwiderstand
G	Elektrischer Leitwert, Wirkleitwert
ϱ	Spezifischer elektrischer Widerstand
$\gamma, \sigma, \varkappa$	Elektrische Leitfähigkeit, Konduktivität
N	Windungszahl
Z	Scheinwiderstand
X	Blindwiderstand
Y	Scheinleitwert
B	Blindleitwert
P	Leistung, Wirkleistung
S, P_s	Scheinleistung
Q, P_q	Blindleistung

Größen optischer Strahlung und verwandter elektromagnetischer Strahlung

c	Lichtgeschwindigkeit
Q, Q_e, W	Strahlungsenergie
H, H_e	Bestrahlung
Q, Q_v	Lichtmenge
Φ, Φ_v	Lichtstrom
I, I_v	Lichtstärke
L, L_v	Leuchtdichte
E, E_v	Beleuchtungsstärke
n	Brechzahl
f	Brennweite

Größen der physikalischen Chemie

n	Stoffmenge
c_B	Stoffmengenkonzentration
n_{eq}	Stoffmenge der Äquivalente
M	Molare Masse
V_m	Molares Volumen
b, m	Molalität
U_m, E_m	Molare innere Energie
C_m	Molare Wärmekapazität
S_m	Molare Entropie
H_m	Molare Enthalpie
G_m	Molare freie Enthalpie
μ	Chemisches Potential
ν	Stöchiometrische Zahl
A	Affinität

Zeichen	Bedeutung
R	Molare Gaskonstante
k	Boltzmann-Konstante
z	Ladungszahl einer Ionenart
F	Faraday-Konstante
α	Dissoziationsgrad
π	Osmotischer Druck
Größen der Ionisierenden Strahlung	
Φ	Teilchenfluenz
F	Energiefluenz
X	Exposition
D	Energiedosis
A	Aktivität
l, λ	Mittlere freie Weglänge
σ	Wirkungsquerschnitt
Größen der allgemeinen Atom- und Kernphysik	
A	Nukleonenzahl, Massenzahl
Z	Protonenzahl, Ordnungszahl, Kernladungszahl
N	Neutronenzahl
e	Elementarladung
A_r	relative Atommasse
M_r	relative Molekülmasse
m_e	(Ruhe)masse eines Elektrons
m_p	(Ruhe)masse eines Protons
m_n	(Ruhe)masse eines Neutrons
h	Plancksches Wirkungsquantum
R_∞	Rydberg-Konstante
Δ	Massenüberschuß
B	Massendefekt
R	Kernradius
τ	Mittlere Lebensdauer
λ	Zerfallskonstante
$T_{1/2}$	Halbwertzeit
r_e	Radius des Elektrons
λ_c	Compton – Wellenlänge
n^+, n^-	Ionenzahldichte

2.4. Wortverbindungen bei der Kennzeichnung des Charakters physikalischer Größen

Besonderheiten bestimmter physikalischer Größen werden durch Wortverbindungen zwischen der Bezeichnung der physikalischen Größe und zusätzlichen Grund- oder Bestimmungswörtern ausgedrückt.

„-zahl"

Wortverbindungen mit dem Grundwort „-zahl" bezeichnen Verhältnisgrößen. Sie werden als Stoffkenngrößen angewendet und bringen das Verhältnis der Eigenschaft eines Mediums bei bestimmten Bedingungen zu der Eigenschaft eines Vergleichsmediums bei denselben Bedingungen zum Ausdruck. *Man beachte,* daß das Grundwort „-zahl" auch in Fällen verwendet wird, in denen keine Stoffkenngrößen erfaßt werden.	■ Brechzahl = $\frac{\text{Lichtgeschwindigkeit im Vakuum}}{\text{Lichtgeschwindigkeit im Medium}}$; $n = \frac{c_0}{c}$ Dielektrizitätszahl = $\frac{\text{Dielektrizitätskonstante}}{\text{elektrische Feldkonstante}}$; $\varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}$ Elastizitätszahl (besser Elastizitätsmodul) Schubzahl (besser Schubmodul)

„-grad"

Wortverbindungen mit dem Grundwort „-grad" bezeichnen Verhältnisgrößen, deren Optimalwert höchstens 1 (= 100%) ist. *Man beachte:* „Temperaturgrad" Einheit der Temperatur; „Winkelgrad" Einheit des ebenen Winkels	■ Wirkungsgrad = $\frac{\text{nutzbringende Arbeit}}{\text{aufzuwendende Arbeit}}$; $\eta = \frac{W_{auf}}{W_{nutz}}$ oder $\frac{\text{abgegebene Leistung}}{\text{aufgenommene Leistung}}$; $\eta = \frac{P_{ab}}{P_{auf}}$ Dissoziationsgrad = $\frac{\text{Konzentration des dissoziierten Stoffes in einer Lösung}}{\text{Ausgangskonzentration des Stoffes vor der Dissoziation in der Lösung}}$; $\alpha = \frac{C}{C_0}$

„-faktor"

Wortverbindungen mit dem Grundwort „-faktor" bezeichnen Verhältnisgrößen. Sie geben den Faktor an, mit dem eine Größe zu multiplizieren ist, um ihre Abweichung von einer Ausgangsgröße zu berücksichtigen. (Statt „-faktor" wird auch „-beiwert" benutzt.)	■ Leistungsfaktor = $\frac{\text{Scheinleistung}}{\text{Wirkleistung}}$; $\cos\varphi = \frac{S}{P}$ Widerstandsbeiwert = $\frac{\text{Widerstand}}{\text{Staudruck mal Bezugsfläche}}$; $C_W = \frac{W}{q \cdot A}$

„-konstante"

Wortverbindungen mit dem Grundwort „-konstante" bezeichnen • universelle, für physikalische Zusammenhänge charakteristische und als unveränderlich angesehene physikalische Größen (universelle Konstanten) oder	■ Gravitationskonstante allgemeine Gaskonstante Faraday-Konstante Dielektrizitätskonstante (elektrische Feldkonstante, Influenzkonstante)
• bei gegebenen Bedingungen unveränderliche physikalische Größen, die den Zustand oder das Verhalten bestimmter Stoffe, Systeme oder Strukturen betreffen (Stoffkonstanten)	Federkonstante Gitterkonstante Dosiskonstante Gleichgewichtskonstante (Säurekonstante, Basekonstante)

„-koeffizient"

Wortverbindungen mit dem Grundwort „-koeffizient" bezeichnen physikalische Größen, die den Einfluß einer Stoffeigenschaft oder eines physikalischen Systems auf einen physikalischen Zusammenhang kennzeichnen.	■ Dehnungskoeffizient $\frac{\text{relative Längenänderung}}{\text{Spannung}}$; $\frac{1}{E} = \frac{\Delta l}{\sigma \cdot l}$ Temperatur-Koeffizient für die Länge (Längen-Temperatur-Koeffizient, Längenausdehnungskoeffizient) = $\frac{\text{relative Längenänderung}}{\text{Temperaturänderung}}$; $\alpha = \frac{\Delta l}{\Delta T}$ Selbstinduktionskoeffizient = $\frac{\text{magnetischer Fluß}}{\text{elektrische Stromstärke}}$; $L = \frac{\Phi}{I}$

„-dichte"

Wortverbindungen mit dem Grundwort „-dichte" bezeichnen physikalische Größen, bei denen eine Strömungs- oder Flußgröße auf die Fläche oder das Volumen bezogen wird.	■ elektrische Stromdichte = $\frac{\text{elektrische Stromstärke}}{\text{Fläche}}$; $J = \frac{I}{A}$. Raumladungsdichte = $\frac{\text{elektrische Ladung}}{\text{Volumen}}$; $\varrho = \frac{Q}{V}$

„-strom"

Wortverbindungen mit dem Grundwort „-strom" bezeichnen zeitbezogene physikalische Größen. *Man beachte* die zeitbezogenen physikalischen Größen mit einem besonderen Namen: Geschwindigkeit — zeitbezogener Weg Beschleunigung — zeitbezogene Geschwindigkeit Winkelgeschwindigkeit — zeitbezogener Winkel Winkelbeschleunigung — zeitbezogene Winkelgeschwindigkeit Aktivität — zeitbezogene Anzahl radioaktiver Umwandlungen	■ Elektronenstrom (el. Stromstärke) = $\frac{\text{Elektrizitätsmenge}}{\text{Zeit}}$; $I = \frac{Q}{t}$ Energiestrom = Leistung = $\frac{\text{Energie (Arbeit)}}{\text{Zeit}}$; $P = \frac{W}{t}$ Wärmestrom = $\frac{\text{Wärme}}{\text{Zeit}}$; $\Phi = \frac{Q}{t}$ Lichtstrom = $\frac{\text{Lichtmenge}}{\text{Zeit}}$; $\Phi = \frac{Q}{t}$

„-maß"

Wortverbindungen mit dem Grundwort „-maß" bezeichnen ein logarithmiertes Verhältnis von • Energiegrößen (Größen, die der Energie proportional sind, z. B. Arbeit, Leistung) oder • Feldgrößen (Größen, deren Quadrate in linearen Systemen der Energie proportional sind, z. B. Geschwindigkeit), das zur Kennzeichnung der Eigenschaften eines Objektes dient.	■ lg Dämpfungsmaß = $20 \lg \frac{\text{Spannung 2}}{\text{Spannung 1}}$; $\lg U_v = 20 \lg \frac{U_2}{U_1}$ dB

2/4

„-bruch“, „-anteil“, „-gehalt“

Wortverbindungen mit den Grundwörtern „-bruch“, „-anteil“ oder „-gehalt“ kennzeichnen Zusammensetzungsvariable bestimmter Größen (z. B. Stoffmenge, Masse, Volumen) und sind die Namen für Verhältnisgrößen. Sie bezeichnen das Verhältnis des Anteils einer physikalischen Größe an der Summe verschiedener Anteile derselben physikalischen Größe. Die Grundwörter „-bruch“, „-anteil“ und „-gehalt“ werden synonym verwendet.	■ Stoffmengenanteil (Stoffmengengehalt): Stoffmengenanteil eines Stoffes an der Gesamtstoffmenge eines Stoffgemisches ■ Massenanteil (Massenbruch, Massengehalt): Massenanteil eines Stoffes an der Gesamtmasse eines Stoffgemisches ■ Volumenanteil (Volumenbruch, Volumengehalt): Volumenanteil eines Stoffes am Gesamtvolumen eines Stoffgemisches

„relativ“

Wortverbindungen mit dem Attribut „relativ“ bezeichnen Verhältnisse zweier Größen derselben Art. Die im Nenner des Quotienten stehende Bezugsgröße ist ein festgelegter Wert, z. B. Nennwert. Relative Größen dürfen nur mit dem Formelzeichen der Zählergröße und den Indizes rel, r oder * geschrieben werden.	■ relative Atommasse = $\dfrac{\text{Masse eines beliebigen Atoms}}{\text{12. Teil der Masse eines Atoms des Kohlenstoffisotops } {}^{12}_{6}\text{C}}$; $A_r = \dfrac{m_A}{\frac{1}{12} m_A \left({}^{12}_{6}\text{C}\right)}$

„normiert“

Wortverbindungen mit dem Attribut „normiert“ bezeichnen Verhältnisgrößen, bei denen sich die im Zähler des Quotienten stehende Größe auf eine von Fall zu Fall wechselnde Bezugsgröße im Nenner bezieht. *Man beachte*, daß statt „normiert“ oft fälschlich „reduziert“ (Index red) benutzt wird. Für diese Größen sollte möglichst eine besondere Schriftart gewählt werden.	■ normierter Druck = $\dfrac{\text{Druck}}{\text{kritischer Druck}}$; $p_n = \dfrac{p}{p_{krit.}}$ normierte Frequenz = $\dfrac{\text{Betriebsfrequenz}}{\text{Resonanzfrequenz}}$; $f_n = \dfrac{f}{f_{res}}$

„bezogen"

Wortverbindungen mit dem Attribut „bezogen" bezeichnen physikalische Größen zur Beschreibung eines physikalischen Sachverhalts, die sich als Quotient aus einer Ursprungsgröße und einer Bezugsgröße verschiedener Art darstellen lassen. Für bezogene Größen kann ein eigenes Wort und ein eigenes Formelzeichen angegeben werden.	■ volumenbezogene Masse = Dichte = $\frac{\text{Masse}}{\text{Volumen}}$; $\varrho = \frac{m}{V}$ stoffmengenbezogenes Volumen = molares Volumen = $\frac{\text{Volumen}}{\text{Stoffmenge}}$; $V_m = \frac{V}{n}$ zeitbezogener Weg = Geschwindigkeit = $\frac{\text{Weg}}{\text{Zeit}}$; $v = \frac{s}{t}$ ↗ weitere Beispiele auch unter Wortverbindungen mit „-strom"

„spezifisch"

Wortverbindungen mit dem Attribut „spezifisch" bezeichnen physikalische Größen, die eine Stoffeigenschaft beschreiben und • auf die Masse oder • auf geometrische Größen wie Länge, Fläche, Volumen bezogen sind.	■ spezifisches Volumen = $\frac{\text{Volumen}}{\text{Masse}}$; $v = \frac{V}{m}$ spezifische Wärmekapazität = $\frac{\text{Wärmekapazität}}{\text{Masse}}$; $c = \frac{C}{m}$ spezifische Aktivität = $\frac{\text{Aktivität}}{\text{Volumen}}$; $a = \frac{A}{V}$ spezifischer elektrischer Widerstand = $\frac{\text{el. Widerstand mal Fläche}}{\text{Länge}}$; $\varrho = \frac{R \cdot A}{l}$

„reduziert"

Wortverbindungen mit dem Attribut „reduziert" bezeichnen physikalische Größen, deren Wert auf einen vereinbarten Zustand oder auf eine vereinbarte Bedingung umgerechnet worden ist.	■ reduzierter Luftdruck als Ergebnis der Umrechnung eines in der Höhe h über dem Meeresspiegel gemessenen Luftdruckwertes auf den Wert, den er unter gleicher geographischer Breite in Meeresspiegelhöhe angenommen hätte.

„molar"

Wortverbindungen mit dem Attribut „molar" bezeichnen physikalische Größen, die Eigenschaften von Stoffen beschreiben und auf die Stoffmenge bezogen sind.	■ molare Masse = $\frac{\text{Masse}}{\text{Stoffmenge}}$; $M = \frac{m}{n}$ molare Wärmekapazität = $\frac{\text{Wärmekapazität}}{\text{Stoffmenge}}$; $C_m = \frac{C}{n}$

2.5. Einheiten

Begriff der Einheit

Einheiten sind physikalische Größen mit einem für die betreffende Größenart durch Konvention (Absprache) festgelegten, ganz bestimmten Wert. Sie sind in der DDR durch Gesetz verbindlich festgelegt.

Merkmale von Einheiten

(1) Einheiten sind Bestandteil der Definition physikalischer Größen. Kohärent abgeleitete Einheiten ergeben sich aus den Basiseinheiten und Definitionsgleichungen der abgeleiteten physikalischen Größen.	■ SI-Einheit der Basisgröße Masse ist das Kilogramm (1 kg). SI-Einheit der abgeleiteten Größe Geschwindigkeit ist das Meter je Sekunde ($1\ m \cdot s^{-1}$).
(2) Die Vielfachen und Teile einer Einheit sind spezielle Größen.	■ Spezielle Größen (Einheiten) der elektrischen Spannung sind z. B. 1 mV, 1 kV, 1 MV ...

Zur Bestimmung des Wertes einer physikalischen Größe ist es notwendig, daß die Definition der Einheit dargestellt und in praktische Meßmittel umgesetzt (weitergegeben) wird.

Definieren einer Einheit

Festlegung der Basiseinheit durch eine Wortdefinition oder bei abgeleiteten Einheiten durch eine Definitionsgleichung.

Fundamentale Darstellung der Einheit

Praktische Realisierung der Definition der Einheit mit der erforderlichen, technisch möglichen Genauigkeit durch Geräte geeigneten Meßprinzips und zweckentsprechender Ausführung. Die Realisierung der Einheit erfolgt in den staatlichen Einrichtungen für das Meßwesen. Sie ist meist mit der Bereitstellung aufwendiger Meßeinrichtungen verbunden. Der erforderliche Aufwand wächst in Abhängigkeit von den gestellten Genauigkeitsforderungen.

■ Fundamentale Darstellung der Einheit Meter

Jahr	Definition	Fundamentale Darstellung der Einheit
1889	Die Länge des Meterprototyps bei der Temperatur des schmelzenden Eises ist die metrische Einheit der Länge.	Der Internationale Meterprototyp besteht aus einer Legierung von 90 % Platin und einem auf 10^{-4} genauen Iridiumgehalt von 10 %. Sein Querschnitt hat eine nichtsymmetrische X-Form. An jeder Seite des Prototyps befinden sich in der neutralen Faser (das ist die Zone, die gegen Durchbiegung des Meßstabs invariant ist) drei Striche. Der Abstand zwischen den beiden jeweils mittleren bei einer Temperatur von 0 °C wird als Meter definiert. Die erreichbare Meßunsicherheit liegt zwischen 10^{-6} und 10^{-7} (Bilder 2/3 und 2/4).
1960	Das Meter ist gleich 1 650 763,73 Vakuumwellenlängen der Strahlung, die dem Übergang zwischen den Niveaus 2 p_{10} und 5 d_5 des Atoms Krypton 86 entspricht. Die 17. Generalkonferenz für Maß und Gewicht hat 1982 beschlossen: 1 m ist die Länge der Strecke, die Licht im Vakuum während der Dauer von 1/299 792 458 Sekunden durchläuft.	Die ausgewählte Spektrallinie des ^{86}Kr soll in einer Entladungslampe mit Glühkatode realisiert werden, die soviel ^{86}Kr mit einem Reinheitsgrad von mindestens 99 % enthält, daß bei einer Temperatur von 64 K die Anwesenheit von festem Krypton sichergestellt ist. Es wird weiter gefordert – die Lampe soll mit einer Kapillare mit einem inneren Durchmesser von 2 mm bis 4 mm und mit einer Wandstärke von ungefähr 1 mm versehen sein, – gemessen wird die von der positiven Säule an der Anodenseite emittierte Strahlung,

		– die Spektrallampe einschließlich der Kapillare taucht in ein Kühlbad, dessen Temperatur bis auf 1 K auf der des Tripelpunktes von Stickstoff (63 K) gehalten wird, – die Stromdichte in der Kapillare beträgt (0,3 ± 0,1) Ampere je Quadratzentimeter.

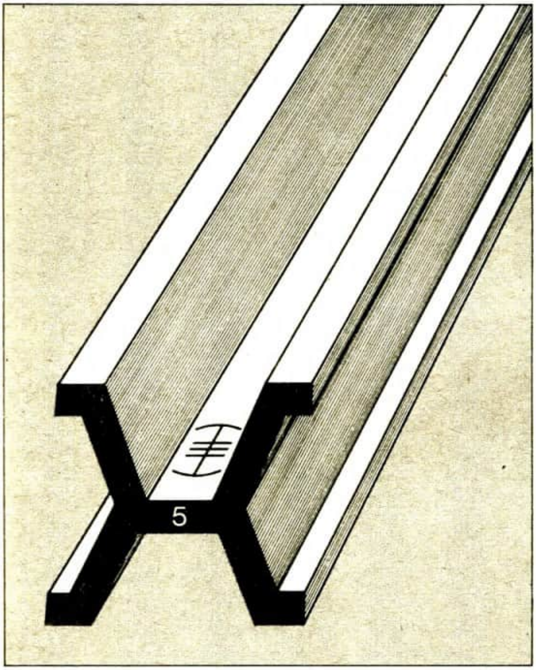
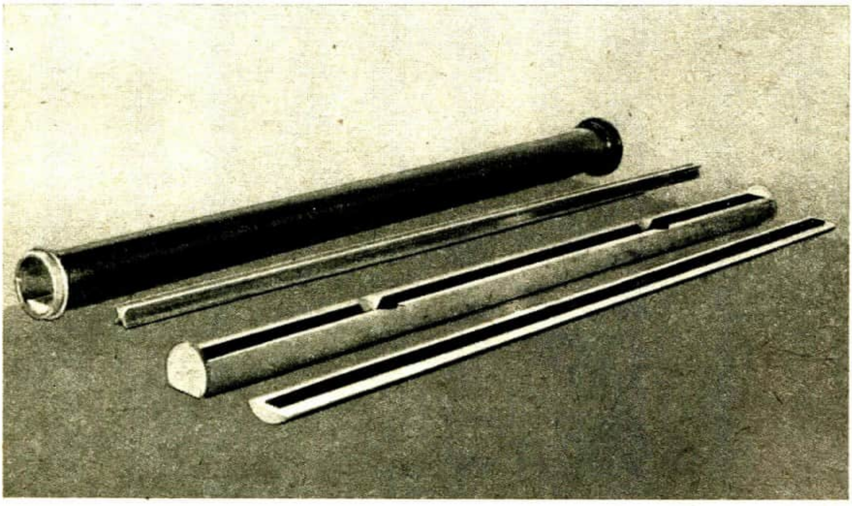
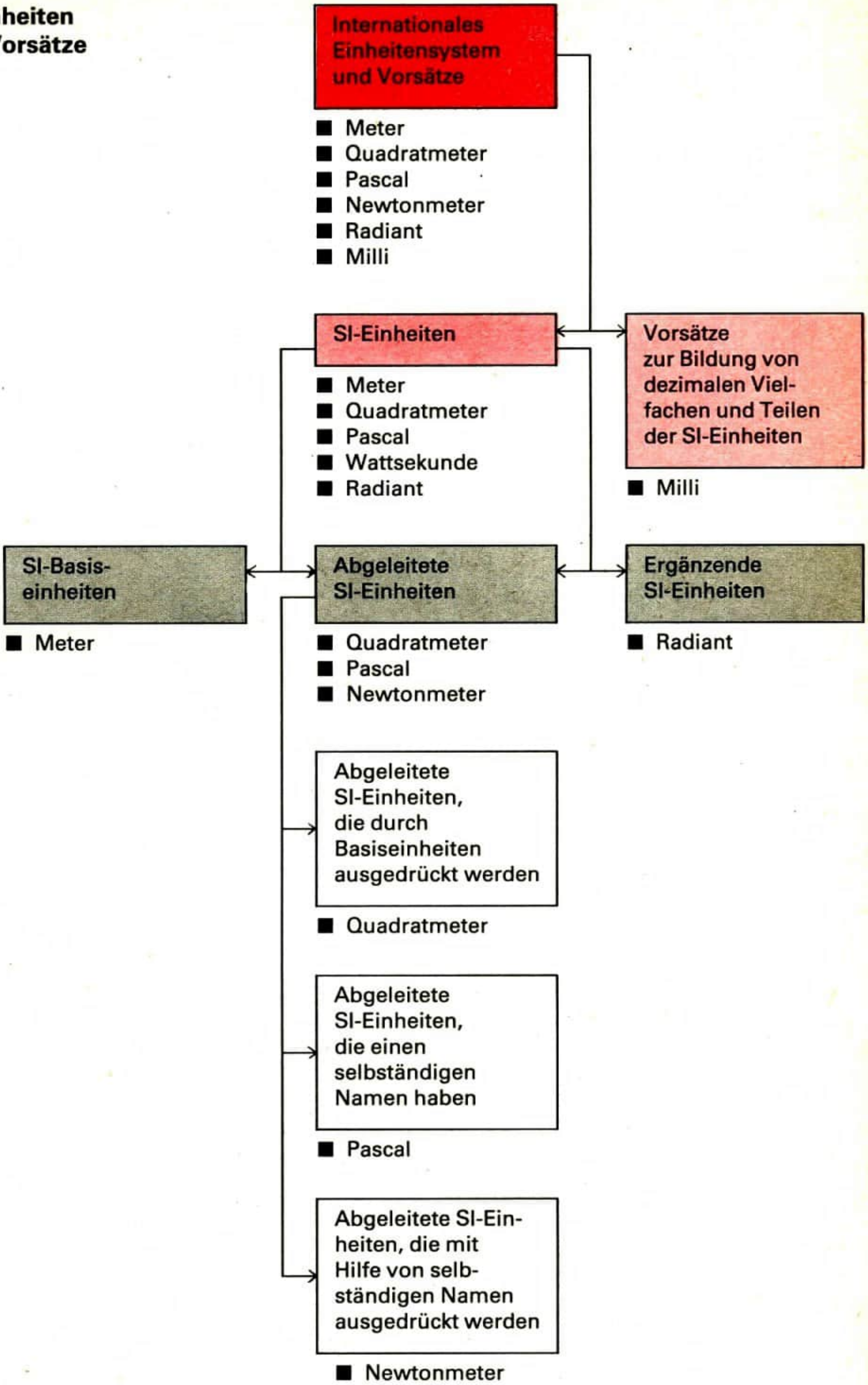


Bild 2/3 Urmeter (Strichmarkierungen)

Bild 2/4 Urmeter (Gesamtansicht)



SI-Einheiten und Vorsätze



2/5

Regeln für den Umgang mit Einheiten

Festlegung	■ Beispiel
Anstelle der Zusammenfassung eines *Einheitenproduktes* zu einem Wort dürfen auch zwei Einheiten durch das Wort „mal" verbunden werden.	Newtonmeter oder Newton mal Meter
Für *Einheitenquotienten* wird „je" empfohlen, wenn der physikalische Inhalt zum Ausdruck gebracht werden soll.	Meter je Sekunde statt Meter durch Sekunde
Für *Produkte im Nenner* ist statt des Bindewortes „mal" das Bindewort „und" zu bevorzugen, wenn keine Verwechslung mit einer Addition möglich ist.	Joule je Kilogramm und Kelvin
Die Bindewörter *„und"* und *„mal"* dürfen auch durch einen Bindestrich ersetzt werden.	Joule je Kilogramm-Kelvin
Die *Bildung zusammengesetzter Substantive* für Quotienten aus Einheiten ist nicht zulässig.	Falsch: Stundenkilometer Richtig: Kilometer je Stunde

Einheitenzeichen (Kurzzeichen der Einheit oder Einheitenkurzzeichen) sind gesetzlich festgelegte Symbole, die anstelle der Eínheitenbenennung verwendet werden dürfen.

■ 1 Sekunde = 1 s
1 Newtonmeter = 1 N · m

Regel	■ Beispiel
Als *Zeichen für eine beliebige Einheit* einer Größe wird das Formelzeichen der Größen in eckigen Klammern benutzt. Verbreitet noch anzutreffen, aber *nicht zulässig* ist eine Schreibweise, bei der die Einheit selbst in eckige oder runde Klammern gesetzt wird.	$[x]$ = Einheit der Größe x $[l]$ = m Nicht zulässig: $[\mathrm{cm} \cdot \mathrm{s}^{-1}]$ oder $(\mathrm{cm} \cdot \mathrm{s}^{-1})$ zur Kennzeichnung einer Einheit der Geschwindigkeit
Benennungen der Einheiten können durch ihre gesetzlich zugeordneten *Einheitenzeichen* ersetzt werden.	1 Ampere = 1 A

Regel	■ Beispiel
Für *Potenzprodukte* aus Einheitenzeichen sind folgende Schreibweisen zulässig: • Der *Punkt* als Multiplikationszeichen kann auf der Mittellinie (bei Schreibmaschinenschrift auch auf der Grundlinie) zwischen zwei Einheitenzeichen geschrieben werden.	N · m oder N . m W · s oder W . s
• Der Punkt darf weggelassen und durch einen *Zwischenraum* ersetzt werden, wenn das nicht zu Mißverständnissen führt.	N m A s
• *Ohne Punkt und Zwischenraum* darf das Einheitenprodukt nur in Ausnahmefällen geschrieben werden.	Wh, VA (als Einheit der Scheinleistung) und Ah (als Einheit der „Kapazität" von elektrochemischen Batterien) sowie ihre dezimalen Vielfachen und Teile (z. B. MWh)
Wenn eine *abgeleitete Einheit als Quotient* gebildet wird, können der waagerechte Bruchstrich oder negative Potenzexponenten verwendet werden.	$\frac{m}{s}$ oder $m \cdot s^{-1}$
Einheitenzeichen dürfen nur mit Einheitenzeichen, Einheitenbenennungen nur mit Einheitenbenennungen *kombiniert* werden.	Richtig: $km \cdot h^{-1}$; Kilometer je Stunde Falsch: km je Stunde; Kilometer/h
Das Einheitenzeichen ist mit *Zwischenraum* hinter den gesamten Zahlenwert der Größe in eine Zeile zu setzen. Der Zwischenraum entfällt bei hochgestellten Zeichen wie °, ′, ″, jedoch nicht bei °C.	Richtig: 1,50 m; 22 N Falsch: 1,50m; 22N Richtig: 180°, 20 °C Falsch: 180 °, 20° C
Bei Angabe von *Größen mit Toleranzen* ist der Zahlenwert mit seiner Toleranz in Klammern vor das Einheitenzeichen oder das Einheitenzeichen sowohl hinter den Zahlenwert als auch hinter die Toleranz zu setzen. Es ist auch zulässig, die Toleranz relativ (bezogen auf den Wert der Größe) anzugeben.	Richtig: (250,0 ± 0,1) kg oder 250,0 kg ± 0,1 kg Falsch: 250,0 ± 0,1 kg oder 250,0 kg ± 0,1 Richtig: 200,06 (1 ± 0,0004) mm oder 200,06 mm (1 ± 0,0004) oder 200,06 mm (1 ± 0,04 %) Falsch: 200,06 mm ± 0,04 %

2/5

Regel	■ Beispiel
Einheitenzeichen dürfen nicht mit *Indizes* und nicht in Verbindung mit anderen Kurzzeichen verwendet werden.	Richtig: $U_{\mathrm{eff}} = 220\ \mathrm{V}$ Falsch: $U = 220\ \mathrm{V}_{\mathrm{eff}}$
In Verbindung mit *Zahlenangaben* sollten vorwiegend nur Einheitenzeichen verwendet werden.	Eine Zeit von 15 s

SI-Basiseinheiten

SI-Basiseinheiten sind unabhängig voneinander gewählte, durch verbale Festlegungen definierte Einheiten, die die Grundlage (Basis) des SI (Système International d'Unités) bilden.

Tabelle der SI-Basiseinheiten

Größe	SI-Basiseinheit	
	Benennung	Einheitenzeichen
Länge	Meter	m
Masse	Kilogramm	kg
Zeit	Sekunde	s
elektrische Stromstärke	Ampere	A
Temperatur (thermodynamische)	Kelvin	K
Stoffmenge	Mol	mol
Lichtstärke	Candela	cd

Erläuterungen	■ Beispiele
Die für die Festlegung der Basiseinheiten erforderliche *Vorgabe* besteht in der • Angabe des Meßverfahrens, • freien Verfügung über den Betrag der Einheit.	Das Meßverfahren für Größen der Basisgrößenart Masse besteht in einem Vergleich ihrer Einheit bzw. deren Teilen oder/und Vielfachen mit der betrachteten Eigenschaft an einem anderen Körper mittels einer Hebelwaage. Als Einheit der Masse wird die Masse des Kilogramm-Prototyps verfügt.
Es ist anzustreben, daß die Einheiten der Basisgrößen zugleich die Basiseinheiten sind.	

Erläuterungen	■ Beispiele
Für die Wahl der Basiseinheiten ist ihre Darstellbarkeit, d. h. die praktische Realisierbarkeit der für sie festgelegten Definition, mit möglichst kleiner Unsicherheit entscheidend.	Darstellung des Meters durch • Urmeter mit einer Unsicherheit von $5 \cdot 10^{-1}$ µm • ^{86}Kr-Wellenlänge mit einer Unsicherheit von 10^{-3} µm
Die Definition der Basiseinheiten erfolgt auf unterschiedlicher Grundlage: • über Prototypen, • über Naturkonstanten, • über physikalische Gesetze, • über physikalische Zustände.	 Kilogramm Ampere über μ_0 (Induktionskonstante) Kelvin über Gasgesetz Candela über die Erstarrungstemperatur des Platins

Abgeleitete SI-Einheiten

Abgeleitete SI-Einheiten sind alle aus den Basiseinheiten des SI und gegebenenfalls aus den ergänzenden SI-Einheiten kohärent, d. h. als Potenzprodukt mit dem Zahlenfaktor 1, gebildeten Einheiten.

Abgeleitete SI-Einheiten können auf unterschiedliche Weise gebildet werden.

• *Sie können durch Basiseinheiten ausgedrückt werden.*

■

Größe	SI-Einheit	
	Benennung	Einheitenzeichen
Fläche	Quadratmeter	m^2
Geschwindigkeit	Meter je Sekunde	$\frac{m}{s}$
Beschleunigung	Meter je Sekundequadrat	$\frac{m}{s^2}$
Dichte	Kilogramm je Kubikmeter	$\frac{kg}{m^3}$
magnetische Feldstärke	Ampere je Meter	$\frac{A}{m}$

2/5

Größe	SI-Einheit	
	Benennung	Einheitenzeichen
Stoffmengen-konzentration	Mol je Kubikmeter	$\frac{\text{mol}}{\text{m}^3}$
spezifisches Volumen	Kubikmeter je Kilogramm	$\frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$

- *Sie können einen selbständigen Namen haben.*

Größe	SI-Einheit	
	Benennung	Einheitenzeichen
Kraft	Newton	N
Druck, Spannung	Pascal	Pa
Energie, Arbeit, Wärme	Joule	J
Celsius-Temperatur	Grad Celsius	°C
elektrische Kapazität	Farad	F
elektrischer Widerstand	Ohm	Ω
Lichtstrom	Lumen	lm
Aktivität (radioaktive)	Becquerel	Bq
Energiedosis	Gray	Gy

- *Sie können mit Hilfe von SI-Basiseinheiten und abgeleiteten SI-Einheiten mit selbständigem Namen ausgedrückt werden.*

Größe	SI-Einheit	
	Benennung	Einheitenzeichen
Moment einer Kraft (Kraftmoment)	Newtonmeter	$\text{N} \cdot \text{m}$
Wärmekapazität, Entropie	Joule je Kelvin	$\frac{\text{J}}{\text{K}}$
spezifische Wärme-kapazität, spezifische Entropie	Joule je Kilogramm und Kelvin	$\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$
spezifische Energie	Joule je Kilogramm	$\frac{\text{J}}{\text{kg}}$
elektrische Feldstärke	Volt je Meter	$\frac{\text{V}}{\text{m}}$

Größe	SI-Einheit	
	Benennung	Einheitenzeichen
elektrische Flußdichte, Verschiebung	Coulomb je Quadratmeter	$\frac{C}{m^2}$
molare innere Energie	Joule je Mol	$\frac{J}{mol}$
molare Entropie, molare Wärmekapazität	Joule je Mol und Kelvin	$\frac{J}{mol \cdot K}$
Energiedosisleistung	Gray je Sekunde	$\frac{Gy}{s}$

Erläuterungen	■ Beispiele
Abgeleitete Einheiten ergeben sich in der Regel aus den Einheitengleichungen der Definitionsgleichung der zugehörigen Größe.	$\text{Geschwindigkeit} = \frac{\text{Weg}}{\text{Zeit}}$ $v = \frac{s}{t}$ $[v] = \frac{\text{Meter}}{\text{Sekunde}}$
In die *Definition abgeleiteter Einheiten* gehen nur Basiseinheiten oder bereits definierte abgeleitete Einheiten ein.	$[p] = \frac{[F]}{[A]} = \frac{N}{m^2} = Pa = \frac{kg \cdot m}{m^2 \cdot s^2}$ $= \frac{kg}{s^2 \cdot m} = m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$
Gleichbenannte Einheiten für verschiedenartige Größen gleicher Art sind verschieden definiert.	$[\Phi] = Wb = V \cdot s;$ $[p] = Wb = N \cdot m \cdot A^{-1};$ verschiedene Definitionen für magnetischen Fluß und magnetische Polstärke nach Coulomb
Einheiten für Größen gleicher Art, die in unterschiedlichen Zusammenhängen auftreten und dabei unterschiedliche Bezeichnungen tragen, sind nur einmal definiert.	Gleiche Einheiten für Arbeit, Energie, Wärme

Erläuterungen	Beispiele
Die zur Gewinnung der *abgeleiteten Einheiten* benutzten Definitionsgleichungen gelten jeweils nur für einen besonders einfachen *Spezialfall* der Ermittlung der betreffenden physikalischen Größe; in anderen Fällen gelten andere, meist kompliziertere Gleichungen, die aber so beschaffen sind, daß sich alle auftretenden Einheiten auf die Einheit, die sich aus der Definitionsgleichung ergibt, zurückführen lassen.	Die mechanische Arbeit wird durch die Gleichung $W = \int_a^b \vec{F} \cdot d\vec{s}$ definiert; zur Gewinnung der Einheit wird die spezielle Definitionsgleichung $W = F \cdot s$ verwendet. Die Einheit der Kraft wird aus der Definitionsgleichung $F = m \cdot a$ abgeleitet: $[F] = [m] \cdot [a] = \mathrm{kg} \cdot \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$ Außer dieser Definitionsgleichung gelten in anderen speziellen Fällen z. B. die Gleichungen $F_G = m \cdot g$ für die Gewichtskraft, $F_g = \mu \cdot G$ für die Gleitreibungskraft, $F_R = m \cdot \frac{v^2}{r}$ für die Radialkraft usw. In allen Fällen ergibt sich für die Einheit $[F] = [F_G] = [F_g] = [F_R] = 1\ \mathrm{kg} \cdot \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$
Kohärente abgeleitete SI-Einheiten sind Einheiten, in deren Definitionsgleichung nur der Zahlenfaktor „1" vorkommt.	$[F] = \frac{1\ \mathrm{kg}}{\mathrm{m} \cdot \mathrm{s}^2}$ $[U] = 1\ \frac{\mathrm{W}}{\mathrm{A}} = 1\ \mathrm{m}^2 \cdot \mathrm{kg} \cdot \mathrm{s}^{-3} \cdot \mathrm{A}^{-1}$
Einheiten, die aus Definitionsgleichungen mit anderen Zahlenfaktoren hervorgehen, werden als *nichtkohärente Einheiten* bezeichnet.	$[t] = 1\ \mathrm{min} = 60\ \mathrm{s}$ $[l] = 1\ \mathrm{cm} = 10^{-2}\ \mathrm{m}$
Es ist statthaft, *für abgeleitete SI-Einheiten* entsprechend ihrer Darstellung als Potenzprodukt von SI-Basiseinheiten und abgeleiteten SI-Einheiten mit selbständigem Namen *andere Benennungen* zu bilden, um die Größe deutlicher zu kennzeichnen.	$\mathrm{A} \cdot \mathrm{s}$ anstelle C $\frac{\mathrm{kg} \cdot \mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$ anstelle N

Ergänzende SI-Einheiten

Ergänzende SI-Einheiten sind die Einheiten Radiant für den ebenen Winkel und Steradiant für den Raumwinkel.

Größe	SI-Einheit	
	Name	Einheitenzeichen
ebener Winkel räumlicher (Raum-) Winkel	Radiant Steradiant	rad sr

Erläuterungen	■ Beispiele
Die Größen *ebener Winkel* und *Raumwinkel* werden im allgemeinen als abgeleitete Größen aufgefaßt und sind dann Verhältnisgrößen. Daher dürfen die ergänzenden Einheiten Radiant und Steradiant durch die Einheit „Eins" ersetzt werden. Sie sind wie *Basiseinheiten* anzuwenden, wenn es der physikalische Sachverhalt verlangt.	$\varphi = \frac{b}{r}$ daraus folgt $[\varphi] = \frac{[b]}{[r]}$ $1\ \mathrm{rad} = \frac{1\ \mathrm{m}}{1\ \mathrm{m}} = 1$ Winkelgeschwindigkeit: $[\varphi] = \frac{\mathrm{rad}}{\mathrm{s}}$, aber: Frequenz $[f] = \frac{1}{\mathrm{s}}$

Vorsätze

Vorsätze sind Hilfsmittel zur Bildung von dezimalen Vielfachen oder Teilen von SI-Einheiten.

Faktor	Vorsatz	Vorsatzzeichen	■ Beispiel
10^{18}	Exa	E	10^{18} g = 1 Eg (Exagramm)
10^{15}	Peta	P	10^{15} V = 1 PV (Petavolt)
10^{12}	Tera	T	10^{12} Ha = 1 THz (Terahertz)
10^{9}	Giga	G	10^{9} W = 1 GW (Gigawatt)
10^{6}	Mega	M	10^{6} Pa = 1 MPa (Megapascal)
10^{3}	Kilo	k	10^{3} Ω = 1 kΩ (Kiloohm)
10^{2}	Hekto	h[1)]	10^{2} l = 1 hl (Hektoliter)
10^{1}	Deka	da[1)]	10^{1} g = 1 dag (Dekagramm)

[1)] Diese Einheiten dürfen *nur in bisher üblichen* Zusammensetzungen verwendet werden, z. B. hl, cm, dt, hPa, nicht aber daV (Dekavolt), cN (Zentinewton).

Faktor	Vorsatz	Vorsatzzeichen	■ Beispiel
10^{-1}	Dezi	d[1]	10^{-1} t = 1 dt (Dezitonne)
10^{-2}	Zenti	c[1]	10^{-2} m = 1 cm (Zentimeter)
10^{-3}	Milli	m	10^{-3} H = 1 mH (Millihenry)
10^{-6}	Mikro	µ	10^{-6} A = 1 µA (Mikroampere)
10^{-9}	Nano	n	10^{-9} T = 1 nT (Nanotesla)
10^{-12}	Pico	p	10^{-12} F = 1 pF (Picofarad)
10^{-15}	Femto	f	10^{-15} m = 1 fm (Femtometer)
10^{-18}	Atto	a	10^{-18} s = 1 as (Attosekunde)

[1] Diese Einheiten dürfen *nur in bisher üblichen* Zusammensetzungen verwendet werden, z. B. hl, cm, dt, nicht aber daV (Dekavolt), cN (Zentinewton).

Regeln für den Umgang mit Vorsätzen

Regel	■ Beispiel
Dezimale Vielfache und Teile von Einheiten mit selbständigem Namen werden durch Anfügen eines der genannten Vorsätze vor den Namen der Einheit gebildet. Dezimale Vielfache und Teile dürfen nicht gebildet werden, wenn dies für die betreffende Einheit durch die Bemerkung „Keine Vorsätze" ausgeschlossen ist.	Kilometer, Milliampere Nicht zulässig: ebener Winkel in Milligrad
Die *Vorsatzzeichen* zur Bildung von dezimalen Vielfachen und Teilen von Einheiten dürfen nur mit dem Einheitenzeichen verbunden werden.	Richtig: km, pF Nicht zulässig: Kilom, PikoF
Zwischen Vorsatzzeichen und Einheitenzeichen ist *kein Zwischenraum* zu lassen.	Richtig: km Falsch: k m
Vorsätze, die einer *ganzzahligen Potenz von Tausend* (10^{3n}) entsprechen, sind zu bevorzugen. Die Vorsätze Hekto, Deka, Dezi und Zenti sollen nur noch zur Bezeichnung von solchen Vielfachen und Teilen von Einheiten verwendet werden, die bereits üblich sind.	Vorzugsweise: km, mA, GHz, µg, MPa, kt Auch: hl, cl, dm, dag, hPa Nicht: dA, hHz, cN
Zur Bildung von Vielfachen und Teilen einer Einheit mit selbständigem Namen darf jeweils *nur ein Vorsatz* benutzt werden.	Richtig: Nanometer (nm) Gigawatt (GW) Falsch: Millimikrometer (mµm) Kilomegawatt (kMW)

Regel	■ Beispiel
Die *Kombination von Vorsatzzeichen und Einheitenzeichen* gilt als ein Symbol, das ohne Verwendung von Klammern in eine Potenz erhoben werden kann.	Richtig: $1\ \text{cm}^3 = (0{,}01\ \text{m})^3$ Falsch: $1\ \text{cm}^3 = 0{,}01\ \text{m}^3$
Dezimale Vielfache und Teile von Einheiten ohne selbständigen Namen werden gebildet, indem Vorsätze vor einen oder mehrere Namen der Einheiten angefügt werden, aus denen die Benennung zusammengesetzt ist. Vorsätze dürfen nicht vor Potenzbezeichnungen gesetzt werden.	Richtig: Kilometer je Sekunde ($\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$) Richtig: Kubikmegameter Falsch: Megakubikmeter
Dezimale Vielfache und Teile von abgeleiteten Einheiten ohne selbständigen Namen sollen vorzugsweise so gebildet werden, daß nur ein Vorsatz und dieser beim ersten Faktor im Zähler angewendet wird. Hiervon darf nur dann abgewichen werden, wenn besondere Gründe vorliegen.	Vorzugsweise: $\mu\Omega \cdot \text{m}$ (statt bisher $\Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1}$) Auch: $\text{A} \cdot \text{mm}^{-2}$, $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ nicht: $\text{kV} \cdot \text{km}^{-1}$
Es ist nicht statthaft, die *Vorsatzzeichen* als selbständige Einheiten zu benutzen.	Falsch: 1 Mikron = 1 μ Richtig: 1 Mikrometer = 1 μm

SI-fremde Einheiten

SI-fremde Einheiten sind Einheiten, die nicht zum SI gehören, d. h. daß ihre Beziehung zu den SI-Einheiten einen von Eins verschiedenen Faktor enthält.

Systemfremde unbefristet oder befristet zulässige Einheiten	■ Minute ■ Elektronenvolt ■ Bar

Allgemeingültige SI-fremde Einheiten	Auf Spezialgebieten gültige SI-fremde Einheiten	SI-fremde Einheiten mit befristeter Gültigkeitsdauer
■ Minute	■ Elektronenvolt	■ Bar

2/5

Allgemeingültige SI-fremde Einheiten

> Allgemeingültige SI-fremde Einheiten sind Einheiten mit selbständigem Namen, die neben den SI-Einheiten unbefristet und uneingeschränkt angewandt werden dürfen.

Größe	Benennung der Einheit	Einheitenzeichen	Definition der Einheit
Zeit	Minute	min	1 min = 60 s
Zeit	Stunde	h	1 h = 60 min = 3 600 s
Zeit	Tag	d	1 d = 24 h = 86 400 s
ebener Winkel	Grad	°	$1° = \left(\frac{\pi}{180}\right)$ rad
ebener Winkel	Minute	′	$1' = \left(\frac{1}{60}\right)^{\circ} = \left(\frac{\pi}{10\,800}\right)$ rad
ebener Winkel	Sekunde	″	$1'' = \left(\frac{1}{60}\right)' = \left(\frac{\pi}{648\,000}\right)$ rad
Volumen	Liter	l, L	$1\ l = 1\ dm^3 = 10^{-3}\ m^3$
Masse	Tonne	t	$1\ t = 10^3\ kg$

Auf Spezialgebieten gültige SI-fremde Einheiten

> Auf Spezialgebieten gültige SI-fremde Einheiten sind Einheiten, deren Anwendung unbefristet – jedoch nur in bestimmten Zweigen der Wissenschaft und Technik – zulässig ist.

■

Größe	Benennung der Einheit	Einheitenzeichen	Definition der Einheit	Spezialgebiete
Länge	astronomische Einheit	AE	$1\ AE = 1{,}49598 \cdot 10^{11}\ m$	Astronomie
Länge	Lichtjahr	ly	$1\ ly = 0{,}94605 \cdot 10^{16}\ m$	Astronomie
Länge	Parsec	pc	$1\ pc = 3{,}0857 \cdot 10^{16}\ m$	Astronomie

Größe	Benennung der Einheit	Einheitenzeichen	Definition der Einheit	Spezialgebiete
Brechkraft	Dioptrie	dpt	$1\ \text{dpt} = \frac{1}{\text{m}} = 1\ \text{m}^{-1}$	Optik
Fläche	Hektar	ha	$1\ \text{ha} = 1 \cdot 10^4\ \text{m}^2$	Flur- und Grundstücke
ebener Winkel	Gon	gon	$1\ \text{gon} = \frac{\pi}{200}\ \text{rad} =$ $1{,}570796 \cdot 10^{-2}\ \text{rad}$	Geodäsie
Masse	atomare Masseneinheit	u	$1\ \text{u} = 1{,}66057 \cdot 10^{-27}\ \text{kg}$	Atom- und Kernphysik
Energie	Elektronenvolt	eV	$1\ \text{eV} = 1{,}60219 \cdot 10^{-19}\ \text{J}$	Atom- und Kernphysik

SI-fremde Einheiten mit befristeter Gültigkeitsdauer

SI-fremde Einheiten mit befristeter Gültigkeitsdauer sowie alle davon abgeleiteten Einheiten sind Einheiten, die nur noch bis zu einem international festzulegenden Zeitpunkt gültig sind.

Größe	Benennung der Einheit	Einheitenzeichen	Definition der Einheit
Länge	Seemeile	sm	$1\ \text{sm} = 1\,852\ \text{m}$
Geschwindigkeit	Knoten	kn	$1\ \text{kn} = 1\ \frac{\text{sm}}{\text{h}} = 0{,}514444\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$
Masse	Karat	k	$1\ \text{k} = 2 \cdot 10^{-4}\ \text{kg}$
Druck	Bar	bar	$1\ \text{bar} = 1 \cdot 10^5\ \text{Pa}$

SI-fremde unzulässige Einheiten

SI-fremde unzulässige Einheiten
- Gauß
- Zentner
- atü

- **CGS-Einheiten mit selbst. Namen**
  - Gauß
- **Sonstige unzulässige Einheiten**
  - Zentner
- **Sondereinheiten**
  - atü

SI-Zähleinheiten

Zähleinheiten sind Sondereinheiten zur Einheit „1“ von Größen der Art Zählgröße.

Zähleinheiten
- Paar
  Windungen

- **Echte Zähleinheiten**
  - Paar
- **Zähleinheiten mit Sachbezug**
  - Windungen

Zähleinheiten mit Sachbezug sind Sondereinheiten von Größen der Art Zählgröße, in deren Namen oder Zeichen der spezielle Sachbezug angegeben ist. Man kann mit ihnen durch Verbindung mit anderen Einheiten weitere Sondereinheiten bilden.

Größe	Einheit	Zeichen der Sondereinheit
Drehzahl, Umlauffrequenz	$\frac{1}{\mathrm{min}}$	$\frac{\mathrm{U}}{\mathrm{min}}$
Windungsbelag	$\frac{1}{\mathrm{cm}}$	$\frac{\mathrm{w}}{\mathrm{cm}}$

Größe	Einheit	Zeichen der Sondereinheit
Schrittgeschwindigkeit	$\frac{1}{s}$	$\frac{bit}{s}$
magnetische Spannung	A	Aw
magnetische Feldstärke	$\frac{A}{m}$	$\frac{Aw}{m}$
magnetischer Widerstand	$\frac{A}{Wb}$	$\frac{Aw}{Wb}$
Elektronenflußdichte	$\frac{1}{m^2 \cdot s}$	$\frac{\text{Elektronen}}{m^2 \cdot s}$

Verhältniseinheiten

Verhältniseinheiten	■ Prozent, Dezibel

Einheiten für Verhältnisgrößen	Einheiten für logarithmierte Verhältnisgrößen
■ Prozent	■ Dezibel

Verhältniseinheiten sind die nach DIN 1301 T1 zulässigen Einheiten für Verhältnisgrößen.

Erläuterungen	■ Beispiele
Da Verhältnisgrößen als Quotient zweier gleichartiger Größen entstehen, läßt sich jede Verhältniseinheit durch eine unbenannte Zahl, die in einem Einheitensystem kohärente Verhältniseinheit durch die Zahl 1 darstellen.	$\eta = \frac{W_2}{W_1} = \frac{10\ N \cdot m}{12\ N \cdot m} = \frac{10}{12} \cdot 1$
Als Einheitenzeichen ist auch **1** zulässig. Bei der Verwendung der Verhältniseinheiten ist kenntlich zu machen, worauf sich die Angabe bezieht.	Massen- oder Volumenanteil in %

Einheiten für Verhältnisgrößen

Einheiten für Verhältnisgrößen sind die Einheiten Zahl 1, Prozent, Promille und Millionstel.

Name	Einheitenzeichen	Definition
Zahl 1	1 oder **1**	–
Prozent	%	$1\,\% = 1 \cdot 10^{-2}$
Promille	‰	$1\,‰ = 1 \cdot 10^{-3}$
Millionstel	ppm	$1\,\text{ppm} = 1 \cdot 10^{-6}$

Einheiten für logarithmierte Verhältnisgrößen

Einheiten für logarithmierte Verhältnisgrößen sind die Einheiten Dezibel und Neper.

Name	Einheitenzeichen	Definition
Dezibel	dB	$1\,\text{dB} = \frac{1}{20} \ln 10\,\text{Np} = 0{,}115129\,\text{Np}$
Neper	Np	$1\,\text{Np} = 2\,(\lg e)\,\text{dB} = 8{,}686\,\text{dB}$ (e = Basis der natürlichen Logarithmen)

Es gilt $\lg G_v = 10 \lg \frac{P_2}{P_1}\,\text{dB} = \frac{1}{2} \ln \frac{P_2}{P_1}\,\text{Np}$

$$\lg G_v = 20 \lg \frac{U_2}{U_1}\,\text{dB} = \ln \frac{U_2}{U_1}\,\text{Np}$$

G_v Verhältnis von zwei beliebigen gleichartigen Größen; P_1, P_2 Energiegrößen, z. B. Leistung; U_1, U_2 Feldgrößen, z. B. Spannung

Umrechnungsfaktoren

Umrechnungsfaktoren für Einheiten sind die Proportionalitätsfaktoren zwischen den verschiedenen Einheiten einer physikalischen Größe.

$1\,\text{h} = 60\,\text{min}$, Umrechnungsfaktor 60

$1\,\text{N} = 10^{-3}\,\text{kN}$, Umrechnungsfaktor 10^{-3}

$1\,\text{cal} \approx 4{,}19\,\text{J}$, Umrechnungsfaktor rund 4,19

Übersicht häufig benutzter Größen und Einheiten

3

3.1. Größen und Einheiten des Raumes und der Zeit

Länge

Formelzeichen: *l*

Benennung der Einheit: Einheitenzeichen: Definition der Einheit:	Meter m 1 m ist die Länge der Strecke, die Licht im Vakuum während der Dauer von $\frac{1}{299\,792\,458}$ Sekunden durchläuft.

Bemerkungen

① Auf Spezialgebieten gültige SI-fremde Einheiten:		
Lichtjahr (ly) astronomische Einheit (AE) Parsec (pc)	1 ly = $9{,}4605 \cdot 10^{15}$ m 1 AE = $1{,}49598 \cdot 10^{11}$ m 1 pc = $3{,}0857 \cdot 10^{16}$ m	Astronomie Astronomie Astronomie
② SI-fremde Einheit mit befristeter Gültigkeitsdauer:		
Seemeile (sm)	1 sm = 1852 m	Seefahrt und Schiffbau
③ Ungültige Einheiten:		
Ångström (Å) X-Einheit (XE) Mikron (oder My)	1 Å = $1 \cdot 10^{-10}$ m 1 XE = $1{,}00206 \cdot 10^{-13}$ m 1 μ = 10^{-6} m	} ungültig seit dem 1. 1. 1975 zu ersetzen durch 1 µm
④ Anstelle des Formelzeichens *l* können auch *b* für Breite, *h* für Höhe, *d* für Durchmesser, *r* für Radius und y_{max} für Amplitude verwendet werden.		

Fläche

Formelzeichen: *A*

Benennung der Einheit: Einheitenzeichen: Definition der Einheit:	Quadratmeter m^2 1 m^2 ist die Fläche eines Quadrates von der Seitenlänge 1 m.
Beziehung der Einheit zu den Basiseinheiten:	1 m^2 = 1 m · 1 m

Bemerkungen

① Auf Spezialgebieten gültige SI-fremde Einheit:		
Hektar (ha)	1 ha = 10^4 m^2	Flur- und Grundstücke
② Ungültige Einheiten:		
Ar (a) Barn (b)	1 a = 100 m^2 1 b = 10^{-28} m^2 = 100 fm^2	ungültig seit dem 1. 1. 1980
③ Nicht zulässige Einheitenzeichen:		
qm, qkm, qdm, qcm, qmm		
④ In sachbezogenen Zusammenhängen werden auch die Bezeichnungen Oberfläche bzw. Querschnittsfläche verwendet.		

Volumen

Formelzeichen: V

Benennung der Einheit:	**Kubikmeter**
Einheitenzeichen:	**m^3**
Definition der Einheit:	**1 m^3 ist das Volumen eines Würfels von der Kantenlänge 1 m.**
Beziehung der Einheit zu den Basiseinheiten:	**1 m^3 = 1 m · 1 m · 1 m**

Bemerkungen

① Allgemein gültige SI-fremde Einheit:		
Liter (l oder L)	1 l = 1 · 10^{-3} m^3	
② Als statistische Einheiten zugelassen:		
Festmeter (Fm) Schichtfestmeter (SFm) Registertonne (RT)	1 Fm = 1 m^3 1 SFm = 1 m^3 1 RT = 2,832 m^3	Holzwirtschaft Holzwirtschaft (keine Masse, sondern Volumeneinheit der Seefahrt)
③ Nicht zulässige Einheit:		
Normkubikmeter (Nm^3) für die Angabe von Gasvolumina im Normzustand (0 °C, 101 325 Pa). Es ist zu schreiben: V_n = 80 m^3 oder V = 80 m^3 (für 0 °C und 101 325 Pa)		
④ Nicht zulässige Einheitenzeichen: cbm, cdm, ccm, cmm, Ltr.		

⑤ Es gilt: $1\ dm^3 = 1 \cdot 10^{-3}\ m^3 = 1\ l$. Da nach der bis 1964 gültigen Definition das Liter und das Kubikdezimeter sich um ungefähr 28 Millionstel unterschieden, ist zur Vermeidung von Verwechslungen das Liter nicht für Angaben mit einer relativen Unsicherheit $< 5 \cdot 10^{-5}$ zugelassen.

Ebener Winkel

Formelzeichen: $\alpha, \beta, \gamma, \varphi$

Benennung der Einheit:	Radiant
Einheitenzeichen:	rad
Definition der Einheit:	1 rad ist der ebene Winkel, der von zwei vom Mittelpunkt eines Kreises vom Radius 1 m ausgehenden Strahlen gebildet wird, die auf dem Umfang dieses Kreises einen Bogen der Länge 1 m einschließen.
Beziehung der Einheit zu den Basiseinheiten:	$1\ \text{rad} = \frac{1\ \text{m}}{1\ \text{m}}$

Bemerkungen

① Allgemein gültige SI-fremde Einheiten:		
Grad (°)	$1° = \frac{\pi}{180}\ \text{rad} = 1{,}745\,329 \cdot 10^{-2}\ \text{rad}$	
Minute (′)	$1' = \frac{\pi}{10\,800}\ \text{rad} = 2{,}908\,882 \cdot 10^{-4}\ \text{rad}$	
Sekunde (″)	$1'' = \frac{\pi}{648\,000}\ \text{rad} = 4{,}848\,137 \cdot 10^{-6}\ \text{rad}$	
② Auf Spezialgebieten gültige SI-fremde Einheit:		
Gon (gon)	$1\ \text{gon} = \frac{2\pi\ \text{rad}}{400} = 15{,}71\ \text{mrad}$	Geodäsie
③ Ungültige Einheiten:		
Neugrad (^{g})	$1^g = \frac{\pi}{2} \cdot 10^{-2}\ \text{rad}$	ungültig seit dem 1. 1. 1980
Neuminute (^{c})	$1^c = \frac{\pi}{2} \cdot 10^{-4}\ \text{rad}$	
Neusekunde (^{cc})	$1^{cc} = \frac{\pi}{2} \cdot 10^{-6}\ \text{rad}$	
④ Der Radiant stellt eine Verhältniseinheit dar; er wird als Quotient aus zwei Längen gebildet.		

⑤ Werden die Einheiten gekürzt, gehen Informationen verloren und verschiedenartige Größen können gleichbenannte Einheiten erhalten, z. B. Winkelgeschwindigkeit $\left(1\,\frac{\text{rad}}{\text{s}} = 1\,\frac{\text{m}}{\text{m}}\cdot\text{s}\right)$ und Umlauffrequenz ($1\ \text{s}^{-1}$)
⑥ Es gilt: 1 Vollwinkel = $4^{\llcorner} = 360° = 2\,\pi$ rad = 6,28 rad 1 rechter Winkel = $1^{\llcorner} = 90° = \frac{\pi}{2}$ rad = 1,57 rad
⑦ Der Vollwinkel $2\,\pi$ rad, der für die Angabe von Drehzahlen wichtig ist, hat noch keinen Eigennamen. Vorgeschlagen wurde plan (plenus angulus).

Umrechnungen

Einheit	rad	mrad	µrad	Grad	Minute	Sekunde
1 Radiant	1	10^3	10^6	57,3	3 438	206 265
1 Milliradiant	10^{-3}	1	10^3	$57{,}3\cdot10^{-3}$	3,438	206,246
1 Mikroradiant	10^{-6}	10^{-3}	1	$57{,}3\cdot10^{-6}$	$3{,}438\cdot10^{-3}$	0,206
1 Grad	$17{,}45\cdot10^{-3}$	17,45	$17{,}45\cdot10^3$	1	60	3 600
1 Minute	$0{,}291\cdot10^{-3}$	0,291	290,9	$16{,}67\cdot10^{-3}$	1	60
1 Sekunde	$4{,}85\cdot10^{-6}$	$4{,}85\cdot10^{-3}$	4,85	$278\cdot10^{-6}$	$16{,}67\cdot10^{-3}$	1

Raumwinkel

Formelzeichen Ω, ω

Benennung der Einheit:	Steradiant
Einheitenzeichen:	sr
Definition der Einheit:	1 sr ist der Raumwinkel, der von einer vom Mittelpunkt einer Kugel vom Radius 1 m ausgehenden Strahlenschar gebildet wird, die auf der Oberfläche dieser Kugel die Fläche $A = 1\ \text{m}^2$ einschließt.
Beziehung der Einheit zu den Basiseinheiten:	$1\ \text{sr} = \frac{1\ \text{m}^2}{1\ \text{m}^2}$

Bemerkungen

① Der Steradiant stellt eine Verhältnisgröße dar; er wird als Quotient aus zwei Flächen gebildet.

② Werden die Einheiten gekürzt, gehen Informationen verloren und verschiedenartige Größen können gleichbenannte Einheiten erhalten, z. B. Lichtstärke (1 cd) und Lichtstrom (1 cd · sr) oder Leuchtdichte (1 cd · m^{-2}) und Beleuchtungsstärke (1 cd · sr · m^{-2}).
③ Die Begrenzungslinie des Raumwinkels auf der Kugeloberfläche kann beliebig sein. Legt man eine kreisförmige Fläche zugrunde, so ist zu beachten, daß der Zahlenwert des Raumwinkels verschieden ist vom Zahlenwert des ebenen Öffnungswinkels des geschnittenen Kreiskegels (Bild 5/3, S. 118).
④ Es gilt: Raumwinkel der Kugel $4\pi \cdot \text{sr} = 12{,}56$ sr Raumwinkel der Halbkugel $2\pi \cdot \text{sr} = 6{,}28$ sr

Umrechnungen

Einheit	sr	Quadratgrad
1 Steradiant	1	3 283
1 Quadratgrad	$3{,}046 \cdot 10^{-4} = \left(\frac{\pi}{180}\right)^2$	1

Zeit

Formelzeichen: t

Benennung der Einheit: **Einheitenzeichen:** **Definition der Einheit:**	**Sekunde** **s** **1 s ist die Dauer von 9 192 631 770 Perioden der Strahlung, die dem Übergang zwischen den beiden Hyperfeinstrukturniveaus des Grundzustandes des Atoms Caesium 133 entspricht.**

Bemerkungen

① Vorsätze zur Bildung von dezimalen Teilen und Vielfachen dürfen nur in Verbindung mit der Einheit „Sekunde" verwendet werden.	
② Allgemein gültige SI-fremde Einheiten:	
Minute (min) Stunde (h) Tag (d)	1 min = 60 s 1 h = 60 min = 3 600 s 1 d = 24 h = 86 400 s
③ Nicht zulässige Einheitenzeichen:	
sec oder sek für Sekunde, ″ für Zeitsekunde, ′ für Zeitminute.	Das Einheitenzeichen a für Jahr wird nur angewandt, wenn keine Verwechslung mit dem Einheitenzeichen der Flächeneinheit Ar (a) möglich ist.

④ Für die Kalendereinheiten Woche, Monat und Jahr gelten folgende Umrechnungen:	

1 Woche (Wo.) = 7 d,
1 Monat (Mon.) = 28 d bis 31 d,
1 Jahr (a) = 365 d oder 366 d.
Es dürfen keine Vielfachen oder Teile gebildet werden.

⑤ Zeitpunkte (Uhrzeiten) dürfen in der Form $3^{h}\ 10^{min}\ 16^{s}$ oder in Fahrplänen in der Form 3.10 Uhr oder 3.10 geschrieben werden. Zeitspannen oder Zeitdauern sind in der Form 6 h 25 min 15 s zu schreiben.

⑥ Anstelle der Bezeichnung Zeit werden auch Bezeichnungen wie z. B. Zeitdauer und Zeitspanne zur sachbezogenen Kennzeichnung der Größe Zeit verwendet.

Umrechnungen

Einheit	s	min	h	d
1 Sekunde	1	$16{,}67\ \ 10^{-3}$	$0{,}278 \cdot 10^{-3}$	$11{,}6 \cdot 10^{-6}$
1 Minute	60	1	$16{,}67 \cdot 10^{-3}$	$0{,}694 \cdot 10^{-3}$
1 Stunde	3 600	60	1	$41{,}7 \cdot 10^{-3}$
1 Tag	86 400	1 440	24	1

Frequenz

Formelzeichen: f

Benennung der Einheit:	**Hertz**
Einheitenzeichen:	**Hz**
Definition der Einheit:	**1 Hz ist die Frequenz eines periodischen Vorgangs der Periodendauer 1 s.**
Beziehung der Einheit zu den Basiseinheiten:	**$1\ \mathrm{Hz} = 1\ \mathrm{s}^{-1}$**

Bemerkungen

① Die Frequenz wird definiert als Quotient aus der Anzahl der Vorgänge und der Zeit $f = \frac{N}{t}$

② Die Einheit Hertz wird vor allem im Zusammenhang mit der Messung von Schwingungen verwendet.

③ Die Kreisfrequenz wird nicht in Hertz, sondern in s^{-1} oder in $\frac{rad}{s}$ angegeben.	

Umrechnungen

Einheit	Hz	min^{-1}	h^{-1}
1 je Sekunde	1	60	3 600
1 je Minute	$16{,}67 \cdot 10^{-3}$	1	60
1 je Stunde	$0{,}278 \cdot 10^{-3}$	$16{,}67 \cdot 10^{-3}$	1

Geschwindigkeit

Formelzeichen: v

Benennung der Einheit: Einheitenzeichen: Definition der Einheit:	Meter je Sekunde $m \cdot s^{-1}$ $1\ m \cdot s^{-1}$ ist die Geschwindigkeit eines gleichförmig bewegten Körpers, der in 1 s den Weg 1 m zurücklegt.
Beziehung der Einheit zu den Basiseinheiten:	$1\ \frac{m}{s} = 1\ m \cdot s^{-1}$

Bemerkung

① SI-fremde Einheit mit befristeter Gültigkeitsdauer:		
Knoten (kn)	$1\ kn = 1\ sm \cdot h^{-1} = 0{,}514444\ m \cdot s^{-1}$	Seefahrt und Schiffbau

Winkelgeschwindigkeit

Formelzeichen: ω

Benennung der Einheit: Einheitenzeichen: Definition der Einheit:	Radiant je Sekunde $rad \cdot s^{-1}$ $1\ rad \cdot s^{-1}$ ist die Winkelgeschwindigkeit eines gleichförmig rotierenden Körpers, der sich während der Zeit 1 s um den Winkel 1 rad um seine Achse dreht.
Beziehung der Einheit zu den Basiseinheiten:	$1\ \frac{rad}{s} = 1\ m \cdot m^{-1} \cdot s^{-1}$

Bemerkung

① Bei Verwendung der Einheit Radiant für den Drehwinkel ist eine Verwechslung der Winkelgeschwindigkeit mit der Einheit $\frac{\text{Radiant}}{\text{Sekunde}}$ und der Frequenz mit der Einheit $\frac{1}{\text{Sekunde}}$ nicht mehr möglich. Der Drehzahl $\frac{1}{s}$ entspricht die Winkelgeschwindigkeit $2\pi \cdot \frac{1}{s} = 2\pi \cdot \frac{\text{rad}}{s}$.

Umrechnungen

Einheit	$° \cdot s^{-1}$	$\text{rad} \cdot h^{-1}$	$\text{rad} \cdot s^{-1}$
1 Grad je Sekunde	1	62,8	$17{,}45 \cdot 10^{-3}$
1 Radiant je Stunde	$15{,}92 \cdot 10^{-3}$	1	$0{,}278 \cdot 10^{-3}$
1 Radiant je Sekunde	57,3	3 600	1

Beschleunigung

Formelzeichen: *a*

Benennung der Einheit:	Meter je Quadratsekunde
Einheitenzeichen:	$m \cdot s^{-2}$
Definition der Einheit:	$1\ m \cdot s^{-2}$ ist die Beschleunigung eines sich geradlinig bewegenden Körpers, dessen Geschwindigkeit sich während der Zeit 1 s gleichmäßig um $1\ m \cdot s^{-1}$ ändert.
Beziehung der Einheit zu den Basiseinheiten:	$1\ \frac{m}{s^2} = 1\ m \cdot s^{-2}$

Bemerkungen

① Ungültige Einheiten:		
Gal (Gal)	$1\ \text{Gal} = 1 \cdot 10^{-2}\ m \cdot s^{-2}$	ungültig seit dem 1. 1. 1980

② Die Fallbeschleunigung ist die Beschleunigung, die Körpern im Schwerefeld der Erde erteilt wird. Sie hängt von der geographischen Breite, der Massenverteilung usw. ab und ist für genaue Berechnungen in Tabellen verzeichnet. Als Normwert gilt $g_n = 9{,}80665\ m \cdot s^{-2}$. Dieser Wert gilt angenähert für Meereshöhe unter 45° geographischer Breite. Wird eine Ungenauigkeit des Ergebnisses von $+0{,}034\ \%$ zugelassen, so kann mit dem Wert $9{,}81\ m \cdot s^{-2}$, bei einem zulässigen Fehler von $+2\ \%$ mit dem Wert von $10\ m \cdot s^{-2}$ gerechnet werden.

③	Über die Fallbeschleunigung sind die Masse und die Gewichtskraft miteinander verknüpft: $G = m \cdot g$. Da die Einheit der Kraft 1 Newton aus den Basiseinheiten über die Beziehung $1\ \mathrm{N} = 1\ \mathrm{kg} \cdot \mathrm{m} \cdot \mathrm{s}^{-2}$ hervorgeht, kann die gesetzlich nicht mehr zulässige Einheit Kilopond (kp) nach der Gleichung $1\ \mathrm{kp} = 9{,}81\ \mathrm{kg} \cdot \mathrm{m} \cdot \mathrm{s}^{-2} = 9{,}81\ \mathrm{N}$ umgerechnet werden.
④	Negative Beschleunigungen werden häufig als Verzögerungen bezeichnet.

Winkelbeschleunigung

Formelzeichen: α

Benennung der Einheit:	Radiant je Quadratsekunde
Einheitenzeichen:	$\mathrm{rad} \cdot \mathrm{s}^{-2}$
Definition der Einheit:	$1\ \mathrm{rad} \cdot \mathrm{s}^{-2}$ ist die Winkelbeschleunigung eines Körpers, dessen Winkelgeschwindigkeit sich während der Zeit 1 s gleichmäßig um $1\ \mathrm{rad} \cdot \mathrm{s}^{-1}$ ändert.
Beziehung der Einheit zu den Basiseinheiten:	$1\ \frac{\mathrm{rad}}{\mathrm{s}^2} = 1\ \mathrm{m} \cdot \mathrm{m}^{-1} \cdot \mathrm{s}^{-2}$

Bemerkungen

①	Wird $1\ \mathrm{rad} \cdot \mathrm{s}^{-2}$ durch $\frac{1}{\mathrm{s}^2}$ ersetzt, so gehen Informationen verloren.
②	Es gilt: $1\ \frac{°}{\mathrm{s}^2} = 1{,}745 \cdot 10^{-2}\ \frac{\mathrm{rad}}{\mathrm{s}^2}$; $1\ \frac{\mathrm{rad}}{\mathrm{s}^2} = 57{,}3\ \frac{°}{\mathrm{s}^2}$

3.2. Größen und Einheiten der Mechanik

Masse

Formelzeichen: m

Benennung der Einheit:	Kilogramm
Einheitenzeichen:	kg
Definition der Einheit:	1 kg ist die Masse des internationalen Kilogrammprototyps.

Bemerkungen

①	Als Basiseinheit der Mechanik ist das Kilogramm festgelegt.

② Allgemein gültige SI-fremde Einheit:		
Tonne (t)	$1\ t = 10^3\ kg = 1\,000\ kg$	
③ Auf Spezialgebieten gültige SI-fremde Einheit:		
atomare Masseneinheit (u)	$1\ u = 1{,}66057 \cdot 10^{-27}\ kg$	Atom- und Kernphysik
1 u ist der 12. Teil der Masse eines Atoms des Kohlenstoffs 12.		
④ SI-fremde Einheit mit befristeter Gültigkeitsdauer:		
Karat (k)	$1\ k = 2 \cdot 10^{-4}\ kg$	nur für Edelsteine
⑤ Ungültige Einheiten:		
Zentner Pfund	1 Ztr. = 50 kg 1 ℔ = 500 g	ungültig seit 1872

⑥ Das Kilogramm hat als einzige Basiseinheit bereits einen Vorsatz. Vielfache und Teile dürfen deshalb nur von den inkohärenten Einheiten Gramm (g) und Tonne (t) gebildet werden.

⑦ Häufig wird unzulässig Masse als Synonym für Menge benutzt und dann mit Gewicht bezeichnet. Die auf eine Masse im Schwerefeld der Erde ausgeübte Kraft soll exakt als Gewichtskraft bezeichnet werden; die Gewichtskraft kann mit Federkraftmessern bestimmt werden.

⑧ Sachverhalte, in denen Massen erfaßt werden oder mit denen Massen im Zusammenhang stehen, müssen richtig bezeichnet werden.

Richtig	Falsch
relative Atommasse	Atomgewicht
Dichte	Raumgewicht, spezifisches Gewicht
Trag- oder Ladefähigkeit	Trag- oder Ladegewicht
Flächenbelegung ($kg \cdot m^{-2}$)	Flächengewicht
Masse eines leeren Waggons	Leergewicht
Eigenmasse eines Körpers	Eigengewicht
Bruttomasse (Nettomasse)	Bruttogewicht (Nettogewicht)

⑨ Man beachte: Bei Neigungswaagen wird die Kraftwirkung zwischen Wägestücken und Erde ausgenutzt. Die Skale ist in Masseeinheiten geteilt.

⑩ Für den Zusammenhang zwischen Masse und Gewichtskraft findet man:

	Fallbeschleunigung g in $m \cdot s^{-2}$	Masse m in kg	Kraft F in N
Erde (Äquator)	9,78	70	685
Erde (Pol)	9,83	70	688
Erde (45°)	9,81	70	687
Mond	1,62	70	114
Sonne	274,0	70	19 180

Umrechnungen

Einheit	g	kg	dt	t	u
1 Gramm	1	10^{-3}	10^{-5}	10^{-6}	$6{,}02 \cdot 10^{23}$
1 Kilogramm	10^{3}	1	10^{-2}	10^{-3}	$6{,}02 \cdot 10^{26}$
1 Dezitonne	10^{5}	10^{2}	1	10^{-1}	$6{,}02 \cdot 10^{28}$
1 Tonne	10^{6}	10^{3}	10	1	$6{,}02 \cdot 10^{29}$
1 atomare Masseneinheit	$1{,}66057 \cdot 10^{-24}$	$11{,}66057 \cdot 10^{-27}$	$1{,}66057 \cdot 10^{-29}$	$1{,}66057 \cdot 10^{-30}$	1

Dichte

Formelzeichen: ϱ

Benennung der Einheit:	**Kilogramm je Kubikmeter**
Einheitenzeichen:	$\mathrm{kg \cdot m^{-3}}$
Definition der Einheit:	**$1\ \mathrm{kg \cdot m^{-3}}$ ist die Dichte eines homogenen Körpers, der das Volumen $1\ \mathrm{m^3}$ und die Masse 1 kg hat.**
Beziehung der Einheit zu den Basiseinheiten:	$1\ \frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m^3}} = 1\ \mathrm{m^{-3} \cdot kg}$

Bemerkungen

① Zwischen den Größen Wichte γ und Dichte ϱ gilt folgende Beziehung: $\gamma = \varrho \cdot g$ (g Fallbeschleunigung).
② Bei Festkörpern führt die Einheit $\mathrm{kg \cdot m^{-3}}$ zu sehr großen Zahlenwerten (z. B. $\varrho_{\mathrm{Stahl}} = 7\,850\ \mathrm{kg \cdot m^{-3}}$); hier empfiehlt es sich, die Einheit $\mathrm{kg \cdot dm^{-3}}$ oder $\mathrm{g \cdot cm^{-3}}$ zu verwenden ($\varrho_{\mathrm{Stahl}} = 7{,}85\ \mathrm{kg \cdot dm^{-3}}$ bzw. $7{,}85\ \mathrm{g \cdot cm^{-3}}$). Der Zahlenwert gibt dabei auch an, wieviel mal so groß die Dichte des betreffenden Stoffes ist wie die Dichte von Wasser ($\varrho_{\mathrm{H_2O}} = 1\ \mathrm{kg \cdot dm^{-3}}$ bzw. $1\ \mathrm{g \cdot cm^{-3}}$).
③ Es gilt: $1\ \mathrm{kg \cdot dm^{-3}} = 1\ \mathrm{kg \cdot l^{-1}} = 1\ \mathrm{g \cdot cm^{-3}} = 1\ \mathrm{g \cdot ml^{-1}} = 1\ \mathrm{t \cdot m^{-3}} = 1\,000\ \mathrm{kg \cdot m^{-3}}$ $1\ \mathrm{g \cdot l^{-1}} = 1\ \mathrm{kg \cdot m^{-3}}$

3/2

Kraft

Formelzeichen: F

Benennung der Einheit:	**Newton**
Einheitenzeichen:	**N**
Definition der Einheit:	**1 N ist die Kraft, die einem Körper mit der Masse 1 kg in der Wirkungsrichtung der Kraft die Beschleunigung $1\ \mathrm{m \cdot s^{-2}}$ erteilt (Bild 3/1).**
Beziehung der Einheit zu den Basiseinheiten:	**$1\ \mathrm{N} = 1\ \mathrm{m \cdot kg \cdot s^{-2}}$**

Bemerkungen

① Ungültige Einheiten:

Kilopond (kp)	$1\ \mathrm{kp} = 9{,}80665\ \mathrm{N} \approx 9{,}81\ \mathrm{N}$
Pond (p)	$1\ \mathrm{p} \approx 9{,}81 \cdot 10^{-3}\ \mathrm{N}$
Dyn (dyn)	$1\ \mathrm{dyn} = 10^{-5}\ \mathrm{N}$

② Die Umrechnung von 1 kp in 9,81 N ist mit einem Fehler von +0,34‰ behaftet.
In Fällen, in denen eine Ungenauigkeit von 2% zulässig ist, kann mit den Näherungswerten
$1\ \mathrm{kp} \approx 10\ \mathrm{N}$
$1\ \mathrm{p} \approx 10^{-2}\ \mathrm{N}$
gerechnet werden.

③ Newton wird ˈnjuːtən gesprochen.

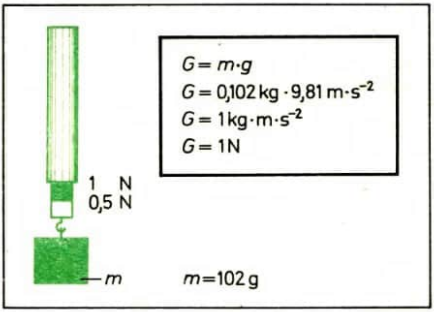


Bild 3/1 Federkraftmesser mit Teilung in Newton

Umrechnungen

Einheit	N	kp	p	dyn
1 Newton	1	0,1020	$0{,}102 \cdot 10^{3}$	10^{5}
1 Kilopond	9,80665	1	10^{3}	$9{,}81 \cdot 10^{5}$
1 Pond	$9{,}81 \cdot 10^{-3}$	10^{-3}	1	$9{,}81 \cdot 10^{2}$
1 Dyn	10^{-5}	$0{,}102 \cdot 10^{-5}$	$0{,}102 \cdot 10^{-2}$	1

Kraftmoment (Drehmoment, Biegemoment)

Formelzeichen: M

Benennung der Einheit: Einheitenzeichen: Definition der Einheit:	Newtonmeter $N \cdot m$ $1\,N \cdot m$ ist das Moment, das eine Kraft von 1 N, bezogen auf einen im Abstand 1 m vom Kraftvektor gelegenen Punkt, erzeugt.
Beziehung der Einheit zu den Basiseinheiten:	$1\,N \cdot m = 1\,m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$

Bemerkungen

① Ungültige Einheiten:
Kilopondmeter ($kp \cdot m$) Kilopondzentimeter ($kp \cdot cm$) Pondzentimeter ($p \cdot cm$)

Umrechnungen

Einheit	$N \cdot m = \frac{m^2 \cdot kg}{s^2}$	$kp \cdot m$	$p \cdot cm$
1 Newtonmeter	1	0,102	$0{,}102 \cdot 10^5$
1 Kilopondmeter	9,81	1	10^5
1 Pondzentimeter	$9{,}81 \cdot 10^{-5}$	10^{-5}	1

Druck, Spannung

Formelzeichen: p

Benennung der Einheit: Einheitenzeichen: Definition der Einheit:	Pascal Pa 1 Pa ist der Druck (die Spannung), der (die) durch eine auf die Fläche $1\,m^2$ senkrecht wirkende gleichmäßig verteilte Kraft 1 N erzeugt wird.
Beziehung der Einheit zu den Basiseinheiten:	$1\,Pa = 1\,\frac{N}{m^2} = 1\,m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$

Bemerkungen

① SI-fremde Einheit mit befristeter Gültigkeitsdauer:
Bar (bar) $1\,bar = 1 \cdot 10^5\,Pa$

② Unzulässige Einheiten seit dem 1. 1. 1978:		
Kilopond je Quadratmeter	$\frac{kp}{m^2}$	$1\,\frac{kp}{m^2} = 9{,}81$ Pa
Kilopond je Quadratzentimeter	$\frac{kp}{cm^2}$	$1\,\frac{kp}{cm^2} = 9{,}81 \cdot 10^4$ Pa
Meter Wassersäule	m WS	1 m WS = $9{,}81 \cdot 10^3$ Pa
Physikalische Atmosphäre	atm	1 atm = $1{,}013 \cdot 10^5$ Pa
Torr	Torr	1 Torr = $\frac{101\,325}{760}$ Pa = $1{,}333 \cdot 10^2$ Pa
Kilopond je Quadratmillimeter	$\frac{kp}{mm^2}$	$1\,\frac{kp}{mm^2} = 9{,}81 \cdot 10^6$ Pa

③ Die Kennzeichnung von Absolut-, Unter- oder Überdruck ist am Formelzeichen oder als Zusatz vorzunehmen.

Richtig	Falsch
$p_ü = 0{,}1$ Pa $p = 0{,}1$ MPa (u) $p = 0{,}1$ MPa (abs) $p_{abs} = 0{,}1$ MPa	$p = 0{,}1\ \mathrm{MPa}_ü$

④ Mechanische Spannungen und Festigkeiten konnten bis zum 31. 12. 1977 in

$\frac{kp}{cm^2}$ oder $\frac{kp}{mm^2}$ angegeben werden.

Es ist jetzt die Einheit $1\ \mathrm{MPa} = \frac{1\ \mathrm{N}}{\mathrm{mm}^2} = 10^6\ \frac{\mathrm{N}}{\mathrm{m}^2}$ zu verwenden.

$1\,\frac{kp}{cm^2} \approx 0{,}1$ MPa bzw. $1\,\frac{kp}{mm^2} \approx 10$ MPa

⑤ In der Meteorologie wird seit 1984 die Einheit Hektopascal (hPa) benutzt.
1 hPa = 1 mbar

⑥ Pascal wird pas'kal gesprochen.

Umrechnungen

Einheit	$Pa = \frac{N}{m^2} = \frac{kg}{m \cdot s^2}$	bar	$\frac{kp}{cm^2} = at$	atm	Torr = mm Hg	m WS	mm WS = $\frac{kp}{m^2}$
1 Pascal = 1 Newton je Quadratmeter = 1 Kilogramm je Meter·Quadratsekunde	1	10^{-5}	$1{,}020 \cdot 10^{-5}$	$9{,}87 \cdot 10^{-6}$	$7{,}50 \cdot 10^{-3}$	$1{,}02 \cdot 10^{-4}$	$1{,}02 \cdot 10^{-1}$
1 Bar	10^5	1	1,020	0,987	$7{,}50 \cdot 10^2$	$1{,}02 \cdot 10$	$1{,}02 \cdot 10^4$
1 Kilopond je Quadratzentimeter = 1 Atmosphäre	$9{,}81 \cdot 10^4$	0,981	1	0,968	$7{,}356 \cdot 10^2$	10	10^4
1 physikalische Atmosphäre	$1{,}013 \cdot 10^5$	1,013	1,033	1	$7{,}60 \cdot 10^2$	$1{,}033 \cdot 10$	$1{,}033 \cdot 10^4$
1 Torr = 1 Millimeter Quecksilbersäule	$1{,}333 \cdot 10^2$	$1{,}333 \cdot 10^{-3}$	$1{,}359 \cdot 10^{-3}$	$1{,}316 \cdot 10^{-3}$	1	$1{,}359 \cdot 10^{-2}$	$1{,}359 \cdot 10$
1 Meter Wassersäule	$0{,}981 \cdot 10^4$	$0{,}981 \cdot 10^{-1}$	0,1	$0{,}968 \cdot 10^{-1}$	$7{,}356 \cdot 10$	1	10^3
1 Millimeter Wassersäule = 1 Kilopond je Quadratmeter	9,807	$0{,}981 \cdot 10^{-4}$	10^{-4}	$0{,}968 \cdot 10^{-4}$	$7{,}356 \cdot 10^{-2}$	10^{-3}	1

3/2

Arbeit, Energie

Formelzeichen: *W, E*

Benennung der Einheit:	Joule
Einheitenzeichen:	J
Definition der Einheit:	1 J ist die Arbeit, die verrichtet wird, wenn sich der Angriffspunkt der Kraft 1 N in Richtung der Kraft um 1 m verschiebt.
Beziehung der Einheit zu den Basiseinheiten:	$1\ \text{J} = 1\ \text{N} \cdot \text{m} = 1\ \text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2}$

Bemerkungen

① Auf Spezialgebieten gültige SI-fremde Einheit:		
Elektronenvolt (eV)	$1\ \text{eV} = 1{,}60219 \cdot 10^{-19}\ \text{J}$	Atom- und Kernphysik
1 eV ist die Energie, die ein Elektron beim Durchlaufen einer Potentialdifferenz von 1 V im Vakuum aufnimmt.		
② Ungültige Einheit:		
Erg (erg)	$1\ \text{erg} = 1 \cdot 10^{-7}\ \text{J}$	ungültig seit dem 1. 1. 1980
③ Die Einheit Joule ist für jede Energieart anwendbar. Für mechanische Energien (Arbeiten) sind neben dem Joule das Newtonmeter (N · m), für elektrische Energien (Arbeiten) die Wattsekunde (W · s) zugelassen. Joule wird ʒu:l gesprochen.		

Umrechnungen ↗ S. 66

Leistung

Formelzeichen: *P*

Benennung der Einheit:	Watt
Einheitenzeichen:	W
Definition der Einheit:	1 W ist die Leistung eines gleichmäßig ablaufenden Vorgangs, bei dem in der Zeit 1 s die Arbeit 1 J (1 N · m; 1 W · s) verrichtet wird.
Beziehung der Einheit zu den Basiseinheiten:	$1\ \text{W} = 1\ \frac{\text{J}}{\text{s}} = 1\ \text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-3}$

Bemerkungen

① Ungültige Einheiten:	
Kilopondmeter je Sekunde $\left(\frac{\text{kpm}}{\text{s}}\right)$	$1\ \frac{\text{kpm}}{\text{s}} = 9{,}81\ \text{J} \cdot \text{s}^{-1}$
Pferdestärke (PS)	$1\ \text{PS} = 735{,}5\ \text{J} \cdot \text{s}^{-1}$
Erg je Sekunde $\left(\frac{\text{erg}}{\text{s}}\right)$	$1\ \frac{\text{erg}}{\text{s}} = 10^{-7}\ \text{J} \cdot \text{s}^{-1}$

Umrechnungen ↗ S. 66

Massenträgheitsmoment

Formelzeichen: J

Benennung der Einheit: Einheitenzeichen: Definition der Einheit:	Kilogrammquadratmeter $kg \cdot m^2$ $1\ kg \cdot m^2$ ist das Massenträgheitsmoment eines materiellen Punktes mit der Masse 1 kg bei einem Abstand von 1 m zur Drehachse.
Beziehung der Einheit zu den Basiseinheiten:	$1\ kg \cdot m^2 = 1\ m^2 \cdot kg$

Impuls

Formelzeichen: p

Benennung der Einheit: Einheitenzeichen: Definition der Einheit:	Kilogrammeter je Sekunde $kg \cdot m \cdot s^{-1}$ $1\ kg \cdot m \cdot s^{-1}$ ist der Impuls eines mit der Geschwindigkeit $1\ m \cdot s^{-1}$ sich bewegenden Körpers mit der Masse 1 kg.
Beziehung der Einheit zu den Basiseinheiten:	$1\ \frac{kg \cdot m}{s} = 1\ m \cdot kg \cdot s^{-1}$

Drehimpuls

Formelzeichen: L

Benennung der Einheit: Einheitenzeichen: Definition der Einheit:	Kilogrammquadratmeter je Sekunde $kg \cdot m^2 \cdot s^{-1}$ $1\ kg \cdot m^2 \cdot s^{-1}$ ist der Drehimpuls eines materiellen Punktes mit dem Impuls $1\ kg \cdot m \cdot s^{-1}$, der eine Kreisbahn mit dem Radius 1 m beschreibt.
Beziehung der Einheit zu den Basiseinheiten:	$1\ \frac{kg \cdot m^2}{s} = 1\ m^2 \cdot kg \cdot s^{-1}$

3/3

Umrechnungen: Einheiten der Arbeit und der Energie

Einheit	J	kWh
1 Joule 1 Newtonmeter 1 Wattsekunde	1	$2{,}778 \cdot 10^{-7}$
1 Kilowattstunde	$3{,}6 \cdot 10^{6}$	1
1 Kilokalorie	$4{,}187 \cdot 10^{3}$	$1{,}163 \cdot 10^{-3}$
1 Erg	10^{-7}	$2{,}778 \cdot 10^{-14}$
1 Kilopondmeter	9,80665	$2{,}724 \cdot 10^{-6}$
1 Elektronenvolt	$1{,}602 \cdot 10^{-19}$	$4{,}451 \cdot 10^{-26}$

Umrechnungen: Einheiten der Leistung

Einheit	W	$kpm \cdot s^{-1}$
1 Watt	1	0,1020
1 Kilopondmeter je Sekunde	9,81	1
1 Kalorie je Sekunde	4,187	0,4269
1 Kilokalorie je Stunde	1,163	0,1186
1 Erg je Sekunde	10^{-7}	$0{,}102 \cdot 10^{-7}$
1 Pferdestärke	$7{,}355 \cdot 10^{2}$	75

3.3. Größen und Einheiten der Wärme

Temperatur (thermodynamische)

Formelzeichen: T

Benennung der Einheit: Einheitenzeichen: Definition der Einheit:	Kelvin K 1 K ist der 273,16te Teil der (thermodynamischen) Temperatur des Tripelpunktes von Wasser (+0,01 °C).

	kcal	erg	kpm	eV
	$2{,}388 \cdot 10^{-4}$	10^{7}	0,1020	$6{,}241 \cdot 10^{18}$
	$8{,}598 \cdot 10^{2}$	$3{,}6 \cdot 10^{13}$	$3{,}671 \cdot 10^{5}$	$2{,}247 \cdot 10^{25}$
	1	$4{,}187 \cdot 10^{10}$	$4{,}269 \cdot 10^{2}$	$2{,}613 \cdot 10^{22}$
	$2{,}388 \cdot 10^{-11}$	1	$0{,}102 \cdot 10^{-7}$	$6{,}241 \cdot 10^{11}$
	$2{,}342 \cdot 10^{-3}$	$9{,}81 \cdot 10^{7}$	1	$6{,}121 \cdot 10^{19}$
	$3{,}827 \cdot 10^{-23}$	$1{,}602 \cdot 10^{-12}$	$1{,}634 \cdot 10^{-20}$	1

	$cal \cdot s^{-1}$	$kcal \cdot h^{-1}$	$erg \cdot s^{-1}$	PS
	0,2388	0,860	10^{7}	$1{,}360 \cdot 10^{-3}$
	2,342	8,432	$9{,}81 \cdot 10^{7}$	$1{,}333 \cdot 10^{-2}$
	1	3,6	$4{,}187 \cdot 10^{7}$	$5{,}692 \cdot 10^{-3}$
	0,2778	1	$1{,}163 \cdot 10^{7}$	$1{,}581 \cdot 10^{-3}$
	$0{,}2388 \cdot 10^{-7}$	$8{,}598 \cdot 10^{-8}$	1	$1{,}360 \cdot 10^{-10}$
	$1{,}757 \cdot 10^{2}$	$6{,}324 \cdot 10^{2}$	$7{,}355 \cdot 10^{9}$	1

Bemerkungen

① Ungültige Einheiten:	
Grad Kelvin (°K), Grad (grd) für Temperaturdifferenzen	ungültig seit dem 1. 1. 1980

② Das Kelvin ist die Einheit für Temperaturpunkte und für Temperaturdifferenzen. Es ist deshalb erforderlich anzugeben, worum es sich handelt, z. B.

Skalenwert $T_0 = 273{,}15$ K (Eispunkt des Wassers),

Temperaturdifferenz $\Delta T = 15$ K.

③ Die Differenz aus einer Temperatur T und der Temperatur $T_C = 273{,}15$ K wird als Celsius-Temperatur t (oder ϑ) bezeichnet:

$t = T - T_C$.

Die Celsius-Temperatur wird in Grad Celsius (°C) angegeben. Der Grad Celsius darf keine Vorsätze erhalten. Die Skale der Celsius-Temperatur hat den Eispunkt als Nullpunkt. Werte oberhalb 0 °C können mit +, Werte unterhalb müssen mit − gekennzeichnet werden.

④ Bei Angabe von Celsius-Temperaturen ist die Benennung Kelvin (Einheitenzeichen K) durch die Benennung Grad Celsius (Einheitenzeichen °C) zu ersetzen. Bei Angabe von Differenzen von Celsius-Temperaturen ist bevorzugt die Benennung Kelvin (Einheitenzeichen K) anzuwenden.

⑤ Temperaturpunkte können durch ihre Temperatur (in K) oder durch ihre Celsius-Temperatur (in °C) angegeben werden (Bild 3/2).

Beispiel: $T = 0\ \text{K} \triangleq \vartheta = -273{,}15\ °\text{C}$
$T = 273{,}15\ \text{K} \triangleq \vartheta = 0\ °\text{C}$

Zwischen Temperaturangaben in K und Angaben in °C darf kein Gleichheitszeichen gesetzt werden.

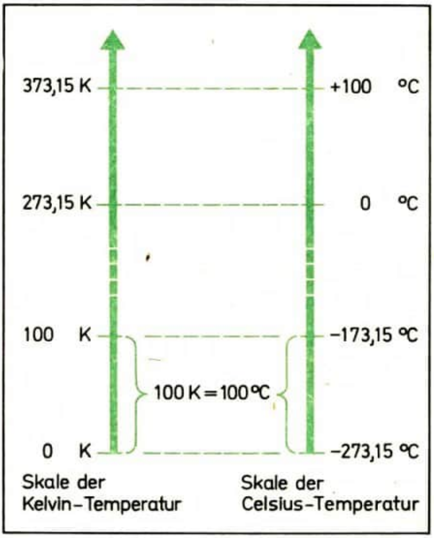


Bild 3/2 Gegenüberstellung von Kelvin- und Celsiusskale

⑥ Bei Temperatur*differenzen* gilt, weil Temperaturskale und Celsius-Temperaturskale gleiche Skalenteilung haben: 1 K = 1 °C

⑦ Bei abgeleiteten Einheiten, die das Kelvin enthalten und bei denen es sich um Temperaturdifferenzen handelt (z. B. Längen- und Volumen-Temperatur-Koeffizient, Wärmekapazität, spezifische Wärmekapazität, Wärmeleitfähigkeit) muß stets die Einheit Kelvin verwendet werden.

⑧ Temperaturtoleranzen sind vorzugsweise in Kelvin anzugeben:
$\vartheta = 100\ °\text{C} \pm 0{,}5$ K.
Die Angabe in Grad Celsius ist zulässig, wenn der Temperaturpunkt in °C angegeben ist, z. B. $\vartheta = (100 \pm 0{,}5)$ °C aber nicht:
$T = 373{,}15\ \text{K} \pm 0{,}5\ °\text{C}$ sondern $T = (373{,}15 \pm 0{,}5)$ K.

⑨ Die thermodynamische Temperaturskale wird für die Belange der praktischen Temperaturmessung durch die Temperaturskale nach TGL 29760 ersetzt, die nach der Internationalen Praktischen Temperaturskale von 1968 definiert ist.

⑩ Es gilt: $T = \{T\}\ \mathrm{K} \triangleq \vartheta = (\{T\} - 273{,}15)\ °\mathrm{C}$ oder als zugeschnittene Größengleichung geschrieben: $\frac{T}{\mathrm{K}} = \frac{\vartheta}{°\mathrm{C}} + 273{,}15 \qquad (1)$ $\frac{\vartheta}{°\mathrm{C}} = \frac{T}{\mathrm{K}} - 273{,}15 \qquad (2)$ z. B. $\vartheta = 20\ °\mathrm{C}$, dann folgt aus (1) $\frac{T}{\mathrm{K}} = \frac{20\ °\mathrm{C}}{°\mathrm{C}} + 273{,}15$ $T = 293{,}15\ \mathrm{K}$ $T = 293\ \mathrm{K}$, dann folgt aus (2) $\frac{\vartheta}{°\mathrm{C}} = \frac{293\ \mathrm{K}}{\mathrm{K}} - 273{,}15$ $\vartheta = 20\ °\mathrm{C}$

Wärme (Innere Energie, Enthalpie, freie Energie, Phasenumwandlungswärme, chemische Reaktionswärme)

Formelzeichen: *Q, W*

Benennung der Einheit:	Joule
Einheitenzeichen:	J
Definition der Einheit:	1 J ist die Wärme, die der unter „Arbeit, Energie" ↗ S. 64 definierten Einheit äquivalent ist.
Beziehung der Einheit zu den Basiseinheiten:	$1\ \mathrm{J} = 1\ \mathrm{m}^2 \cdot \mathrm{kg} \cdot \mathrm{s}^{-2}$

Bemerkungen

① Ungültige Einheit:		
Kalorie (cal)	$1\ \mathrm{cal} = 4{,}1868\ \mathrm{J} \approx 4{,}19\ \mathrm{J}$	ungültig seit dem 1. 1. 1980
② Zur Angabe thermischer Energien ist das Joule (J) zu verwenden.		
③ Zum Erwärmen von $\frac{1}{4{,}19}\ \mathrm{kg} = 0{,}239\ \mathrm{kg}$ Wasser von 14,5 °C auf 15,5 °C ist die Wärme 1 Joule erforderlich.		

3/3

Umrechnungen

Einheit	J	cal	kcal
1 Joule = 1 Newtonmeter = 1 Wattsekunde	1	0,2388	$0,2388 \cdot 10^{-3}$
1 Kalorie	4,1868	1	10^{-3}
1 Kilokalorie	$4,187 \cdot 10^{3}$	10^{3}	1

Spezifische Wärme (einer Phasenumwandlung, einer chemischen Reaktion)

Formelzeichen: w

Benennung der Einheit:	Joule je Kilogramm
Einheitenzeichen:	$\mathrm{J \cdot kg^{-1}}$
Definition der Einheit:	$1\ \mathrm{J \cdot kg^{-1}}$ ist die spezifische Wärme eines Prozesses, bei dem 1 kg eines Stoffes die Wärme 1 J erhält oder abgibt.
Beziehung der Einheit zu den Basiseinheiten:	$1\ \frac{\mathrm{J}}{\mathrm{kg}} = 1\ \mathrm{m^2 \cdot s^{-2}}$

Bemerkung

① Ungültige Einheit:		
Kalorie je Gramm ($\mathrm{cal \cdot g^{-1}}$)	$1\ \mathrm{cal \cdot g^{-1}} = 4,1868 \cdot 10^{3}\ \mathrm{J \cdot kg^{-1}}$	ungültig seit dem 1. 1. 1975

Wärmekapazität

Formelzeichen: C

Benennung der Einheit:	Joule je Kelvin
Einheitenzeichen:	$\mathrm{J \cdot K^{-1}}$
Definition der Einheit:	$1\ \mathrm{J \cdot K^{-1}}$ ist die Wärmekapazität eines Körpers, dessen Temperatur bei Zuführung der Wärme 1 J um 1 K erhöht wird.
Beziehung der Einheit zu den Basiseinheiten:	$1\ \frac{\mathrm{J}}{\mathrm{K}} = 1\ \mathrm{m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot K^{-1}}$

Bemerkungen

① Ungültige Einheit:	
Kalorie je Grad $\left(\frac{cal}{grd}\right)$	ungültig seit dem 1. 1. 1980
② Die Entropie hat ebenfalls die Einheit $\frac{J}{K}$. Man beachte aber, daß bei der Entropie im Nenner eine Temperatur und keine Temperaturänderung steht.	

Umrechnungen

Einheit	$J \cdot K^{-1}$	$kJ \cdot K^{-1}$	$cal \cdot grd^{-1}$	$kcal \cdot grd^{-1}$
1 Joule je Kelvin	1	10^{-3}	0,2388	$0{,}2388 \cdot 10^{-3}$
1 Kilojoule je Kelvin	10^3	1	$0{,}2388 \cdot 10^3$	0,2388
1 Kalorie je Grad	4,1886	$4{,}187 \cdot 10^{-3}$	1	10^{-3}
1 Kilokalorie je Grad	$4{,}187 \cdot 10^3$	4,1886	10^3	1

Spezifische Wärmekapazität

Formelzeichen: *c*

Benennung der Einheit:	Joule je Kilogramm mal Kelvin
Einheitenzeichen:	$J \cdot (kg \cdot K)^{-1}$
Definition der Einheit:	$1\ J \cdot (kg \cdot K)^{-1}$ ist die spezifische Wärmekapazität eines Stoffes von der Masse 1 kg und der Wärmekapazität $1\ J \cdot K^{-1}$.
Beziehung der Einheit zu den Basiseinheiten:	$1\ \frac{J}{kg \cdot K} = 1\ m^2 \cdot s^{-2} \cdot K^{-1}$

Bemerkungen

① Ungültige Einheit:		
Kalorie je Gramm und Grad	$cal \cdot g^{-1} \cdot grd^{-1}$	ungültig seit dem 1. 1. 1975
② Die spezifische Wärmekapazität ist die auf die Masse bezogene Wärmekapazität, d. h. 1 Joule je Kelvin und Kilogramm ist die spezifische Wärmekapazität eines Körpers mit der Masse 1 kg eines bestimmten Stoffes, dessen Temperatur um 1 K steigt, wenn ihm die Wärme 1 J zugeführt wird.		

Umrechnungen

Einheit	$J \cdot (kg \cdot K)^{-1}$	$kJ \cdot (kg \cdot K)^{-1}$	$cal \cdot (g \cdot grd)^{-1}$	$kcal \cdot (g \cdot grd)^{-1}$
1 Joule je Kilogramm mal Kelvin	1	10^{-3}	$0{,}239 \cdot 10^{-3}$	$0{,}239 \cdot 10^{-6}$
1 Kilojoule je Kilogramm mal Kelvin	10^{3}	1	0,2388	$0{,}239 \cdot 10^{-3}$
1 Kalorie je Gramm mal Grad	$4{,}187 \cdot 10^{3}$	4,1886	1	10^{-3}
1 Kilokalorie je Gramm mal Grad	$4{,}187 \cdot 10^{6}$	$4{,}187 \cdot 10^{3}$	10^{3}	1

Entropie

Formelzeichen: S

Benennung der Einheit	Joule je Kelvin
Einheitenzeichen:	$J \cdot K^{-1}$
Definition der Einheit:	$1\ J \cdot K^{-1}$ ist die Entropieänderung eines Systems, dem bei der Temperatur 1 K die Wärme 1 J reversibel zugeführt wird.
Beziehung der Einheit zu den Basiseinheiten:	$1 \frac{J}{K} = 1\ m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot K^{-1}$

Bemerkungen

①	Die Entropie besitzt die gleiche Einheit wie die Wärmekapazität. Man beachte, daß bei der Wärmekapazität im Nenner der Definitionsgleichung anstelle der Temperatur eine Temperaturänderung steht. Die Entropie ist eine Zustandsgröße.
②	Für praktische Zwecke interessiert vor allem die Entropieänderung ΔS.

Wärmeleitfähigkeit

Formelzeichen: λ

Benennung der Einheit:	**Watt je Meter und Kelvin**
Einheitenzeichen:	$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$
Definition der Einheit:	**$1\ W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ ist die Wärmeleitfähigkeit eines homogenen Stoffes, in dem sich beim Fließen eines Wärmestromes der Dichte $1\ W \cdot m^{-2}$ die Temperatur in Richtung des Wärmestromes auf 1 m um 1 K ändert.**
Beziehung der Einheit zu den Basiseinheiten:	$1\ \frac{W}{m \cdot K} = 1\ m \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot K^{-1}$

Bemerkung

① Ungültige Einheiten:		
Kalorie je Zentimeter mal Sekunde mal Kelvin	$\frac{cal}{cm \cdot s \cdot K}$	ungültig seit dem 1. 1. 1980
Kilokalorie je Meter mal Stunde mal Kelvin	$\frac{kcal}{m \cdot h \cdot K}$	

Längen-Temperatur-Koeffizient

Formelzeichen: α

Benennung der Einheit:	**Meter je Meter und Kelvin**
Einheitenzeichen:	$m \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$

Bemerkungen

① Der Längen-Temperatur-Koeffizient wird auch als linearer Ausdehnungskoeffizient bezeichnet. Die Bezeichnung lineare Wärmeausdehnungszahl sollte vermieden werden, da die Wortverbindung mit „-zahl" den Eindruck einer dimensionslosen Konstanten erweckt.

② Das Kürzen der Einheit Meter im Zähler und Nenner führt zur Einheit K^{-1}. Damit gehen Informationen über den Charakter der entsprechenden Größe verloren. Insbesondere wird eine Unterscheidung zwischen linearem und kubischem Ausdehnungskoeffizienten unmöglich.

③ Es gilt:

$$10^{-3}\ \frac{m}{m \cdot K} = 1\ \frac{mm}{m \cdot K} = 10^{3}\ \frac{\mu m}{m \cdot K}.$$

Volumen-Temperatur-Koeffizient

Formelzeichen: γ

Benennung der Einheit: Einheitenzeichen:	Kubikmeter je Kubikmeter und Kelvin $m^3 \cdot m^{-3} \cdot K^{-1}$

Bemerkungen

① Der Volumen-Temperatur-Koeffizient wird auch als kubischer Ausdehnungskoeffizient bezeichnet. Die Bezeichnung kubische Wärmeausdehnungszahl sollte vermieden werden, da die Wortbildung mit „-zahl" den Eindruck einer dimensionslosen Konstanten erweckt.

② Das Kürzen der Einheit Kubikmeter im Zähler und Nenner sollte unterbleiben, da die entstehende Einheit K^{-1} keine Information mehr darüber enthält, ob es sich um den linearen oder den kubischen Ausdehnungskoeffizienten handelt.

③ Zwischen linearem und kubischem Ausdehnungskoeffizienten besteht die Beziehung $\gamma \approx 3\alpha$.

④ Es gilt: $10^{-6} \frac{m^3}{m^3 \cdot K} = 1 \frac{cm^3}{m^3 \cdot K} = 10^3 \frac{mm^3}{m^3 \cdot K}$.

3.4. Größen und Einheiten der Elektrizität und des Magnetismus

Elektrische Stromstärke

Formelzeichen: I

Benennung der Einheit: Einheitenzeichen: Definition der Einheit:	Ampere A 1 A ist die Stärke des zeitlich unveränderlichen elektrischen Stromes durch zwei geradlinige, parallele, unendlich lange Leiter von vernachlässigbarem Querschnitt, die den Abstand 1 m haben und zwischen denen die durch den Strom elektrodynamisch hervorgerufene Kraft im leeren Raum je 1 m Länge der Doppelleitung $2 \cdot 10^{-7}$ N beträgt.

Bemerkungen

① Die „absolute" Definition des Ampere beruht auf der Kraft zwischen zwei stromdurchflossenen Leitern. Die Kraft berechnet sich nach der Gleichung

$$F = \frac{\mu_0 \cdot I^2 \cdot l}{2\pi \cdot r}.$$

Daraus wird der maßgebende Einfluß der magnetischen Feldkonstanten μ_0 (Permeabilität) erkennbar. Die Definition des Ampere ist deshalb gleichbedeutend mit der Festlegung dieser Konstanten. Es ist außerdem zu erkennen, daß die Definition des Ampere auch von der Festlegung der anderen Basiseinheiten abhängig ist.
② Aus meßtechnischen und praktischen Gründen wurde das Ampere als Basiseinheit festgelegt.

Elektrizitätsmenge, elektrische Ladung

Formelzeichen: Q

Benennung der Einheit:	Coulomb
Einheitenzeichen:	C
Definition der Einheit:	1 C ist die Elektrizitätsmenge, die während der Zeit 1 s bei einem zeitlich unveränderlichen Strom der Stärke 1 A durch den Querschnitt des Leiters fließt.
Beziehung der Einheit zu den Basiseinheiten:	$1\ \mathrm{C} = 1\ \mathrm{s} \cdot \mathrm{A}$

Bemerkungen

① Es ist zulässig, das Coulomb auch Amperesekunde (A · s) zu nennen.
② Die „Amperestundenkapazität" (Elektrizitätsmenge, die ein galvanisches Element abgeben kann) darf nicht mit der elektrischen Kapazität, z. B. eines Kondensators, verwechselt werden.
③ Coulomb wird ku'lō: gesprochen.

Umrechnungen

Einheit	C = A · s	Ah
1 Coulomb = 1 Amperesekunde	1	$0{,}278 \cdot 10^{-3}$
1 Amperestunde	3 600	1

Elektrische Verschiebung (Verschiebungsdichte)

Formelzeichen *D*

Benennung der Einheit:	Coulomb je Quadratmeter
Einheitenzeichen:	$C \cdot m^{-2}$
Definition der Einheit:	$1\ C \cdot m^{-2}$ ist die elektrische Verschiebung in einem Plattenkondensator, dessen beide parallel zueinander angeordnete, unendlich ausgedehnte Platten je $1\ m^2$ Fläche gleichmäßig mit der Elektrizitätsmenge 1 C aufgeladen sind.
Beziehung der Einheit zu den Basiseinheiten:	$1 \frac{C}{m^2} = 1\ m^{-2} \cdot s \cdot A$

Bemerkung

① Für den Plattenkondensator gilt, daß der Betrag der elektrischen Verschiebung des elektrischen Feldes gleich dem Betrag der Flächendichte der Ladungen auf den Platten dieses Kondensators ist.

Elektrische Energie

Formelzeichen: *E, W*

Benennung der Einheit:	Joule
Einheitenzeichen:	J
Definition der Einheit:	1 J ist die elektrische Energie, die der unter „Arbeit, Energie" (↗ S. 64) definierten Einheit äquivalent ist.
Beziehung der Einheit zu den Basiseinheiten:	$1\ J = 1\ m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$

Bemerkung

① Für elektrische Energien sind neben dem Joule die Wattsekunde ($W \cdot s$) und deren Vielfache und Teile zu verwenden.

Elektrische Leistung

Formelzeichen: *P*

Benennung der Einheit:	Watt
Einheitenzeichen:	W
Definition der Einheit:	1 W ist die elektrische Leistung eines Stromes, der in 1 s die elektrische Arbeit 1 J (= $1\ W \cdot s$) verrichtet.
Beziehung der Einheit zu den Basiseinheiten:	$1\ W = 1\ m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$

Bemerkungen

① Die elektrische Wirkleistung P wird in Watt (W) gemessen. Die elektrische Blindleistung Q oder P_q wird in Var (var) gemessen. Die elektrische Scheinleistung S oder P_s wird in Voltampere (VA) gemessen.
② Elektrische Wirkleistung, Blindleistung und Scheinleistung sind Vertreter unterschiedlicher Größenarten; sie dürfen deshalb nur nach der Gleichung $S^2 = P^2 + Q^2$ addiert werden. Beispiel: $P = 8$ W; $Q = 6$ var Falsch: $S = 8\ \mathrm{W} + 6\ \mathrm{var} = 14\ \mathrm{VA}$ Richtig: $S^2 = 64\ \mathrm{W}^2 + 36\ \mathrm{var}^2 = 100\ (\mathrm{VA})^2 = (10\ \mathrm{VA})^2$ $S = 10\ \mathrm{VA}$
③ Die Umrechnung der gesetzlich nicht mehr zulässigen Leistungseinheiten $\mathrm{kpm \cdot s^{-1}}$, $\mathrm{cal \cdot s^{-1}}$, $\mathrm{kcal \cdot h^{-1}}$, $\mathrm{erg \cdot s^{-1}}$ und PS in SI-Einheiten ↗ S. 66.

Elektrische Spannung

Formelzeichen: U

Benennung der Einheit: Einheitenzeichen: Definition der Einheit:	Volt V 1 V ist die elektrische Spannung zwischen zwei Punkten eines homogenen und gleichmäßig temperierten metallischen Leiters, in dem bei einem zeitlich unveränderlichen Strom der Stärke 1 A zwischen den beiden Punkten die Leistung 1 W umgesetzt wird.
Beziehung der Einheit zu den Basiseinheiten:	$1\ \mathrm{V} = 1\ \frac{\mathrm{W}}{\mathrm{A}} = 1\ \mathrm{m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}}$

Elektrische Feldstärke

Formelzeichen: E

Benennung der Einheit: Einheitenzeichen: Definition der Einheit:	Volt je Meter $\mathrm{V \cdot m^{-1}}$ $1\ \mathrm{V \cdot m^{-1}}$ ist die elektrische Feldstärke eines homogenen elektrischen Feldes, in dem der Spannungsabfall zwischen zwei Punkten im Abstand 1 m in Richtung des Feldvektors 1 V beträgt.
Beziehung der Einheit zu den Basiseinheiten:	$1\ \frac{\mathrm{V}}{\mathrm{m}} = 1\ \mathrm{m \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}}$

Elektrische Kapazität

Formelzeichen: C

Benennung der Einheit: Einheitenzeichen: Definition der Einheit: Beziehung der Einheit zu den Basiseinheiten:	Farad F 1 F ist die elektrische Kapazität eines Kondensators, der durch die Elektrizitätsmenge 1 C auf die Spannung 1 V aufgeladen wird. $1\,\mathrm{F} = 1\,\frac{\mathrm{C}}{\mathrm{V}} = 1\,\mathrm{m}^{-2} \cdot \mathrm{kg}^{-1} \cdot \mathrm{s}^{4} \cdot \mathrm{A}^{2}$

Dielektrizitätskonstante – elektrische Feldkonstante (Influenzkonstante)

Formelzeichen: ε *bzw.* ε_0

Benennung der Einheit: Einheitenzeichen: Definition der Einheit: Beziehung der Einheit zu den Basiseinheiten:	Farad je Meter $\mathrm{F} \cdot \mathrm{m}^{-1}$ $1\,\mathrm{F} \cdot \mathrm{m}^{-1}$ ist die Dielektrizitätskonstante eines Mediums, in dem die elektrische Feldstärke $1\,\mathrm{V} \cdot \mathrm{m}^{-1}$ eine elektrische Verschiebung $1\,\mathrm{C} \cdot \mathrm{m}^{-2}$ erzeugt. $1\,\frac{\mathrm{F}}{\mathrm{m}} = 1\,\mathrm{m}^{-3} \cdot \mathrm{kg}^{-1} \cdot \mathrm{s}^{4} \cdot \mathrm{A}^{2}$

Bemerkung

① Die Dielektrizitätskonstante wird gewöhnlich als das Produkt

$$\varepsilon = \varepsilon_r \cdot \varepsilon_0$$

angegeben.

ε_r relative Dielektrizitätskonstante (Dielektrizitätszahl; Einheit 1)

ε_0 elektrische Feldkonstante (Influenzkonstante)

$\varepsilon_0 = 8{,}8542 \cdot 10^{-12}\,\mathrm{F} \cdot \mathrm{m}^{-1}$

Elektrischer Widerstand

Formelzeichen: R

Benennung der Einheit: Einheitenzeichen: Definition der Einheit: Beziehung der Einheit zu den Basiseinheiten:	Ohm Ω 1 Ω ist der elektrische Widerstand zwischen zwei Punkten eines homogenen und gleichmäßig temperierten metallischen Leiters, durch den bei der Spannung 1 V zwischen den beiden Punkten ein zeitlich unveränderlicher Strom der Stärke 1 A fließt. $1\,\Omega = 1\,\frac{\mathrm{V}}{\mathrm{A}} = 1\,\mathrm{m}^{2} \cdot \mathrm{kg} \cdot \mathrm{s}^{-3} \cdot \mathrm{A}^{-2}$

Spezifischer elektrischer Widerstand

Formelzeichen: ϱ

Benennung der Einheit: Einheitenzeichen: Definition der Einheit:	Ohmmeter $\Omega \cdot m$ $1\ \Omega \cdot m$ ist der spezifische elektrische Widerstand eines homogenen Leiters mit dem Querschnitt $1\ m^2$ und der Länge 1 m, dessen Widerstand $1\ \Omega$ beträgt.
Beziehung der Einheit zu den Basiseinheiten:	$1\ \Omega \cdot m = 1\ m^3 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-2}$

Bemerkung

① Die Einheitengleichung zeigt, daß die Einheit Ohmmeter aus der ausführlichen Einheit $\frac{1\ \Omega \cdot m^2}{m}$ hervorgegangen ist.

Umrechnungen

Einheit	$\mu\Omega \cdot m$	$\Omega \cdot m$	$\frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$
1 Mikroohmmeter	1	10^{-6}	1
1 Ohmmeter	10^6	1	10^6
1 Ohm mal Quadratmillimeter je Meter	1	10^{-6}	1

Elektrischer Leitwert

Formelzeichen: G

Benennung der Einheit: Einheitenzeichen: Definition der Einheit:	Siemens S 1 S ist der elektrische Leitwert eines Leiters vom Widerstand $1\ \Omega$.
Beziehung der Einheit zu den Basiseinheiten:	$1\ S = 1\ \Omega^{-1} = 1\ m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^3 \cdot A^2$

Elektrische Leitfähigkeit

Formelzeichen: γ, δ, $\varkappa$

Benennung der Einheit: Einheitenzeichen: Definition der Einheit: Beziehung der Einheit zu den Basiseinheiten:	Siemens je Meter $S \cdot m^{-1}$ 1 $S \cdot m^{-1}$ ist die elektrische Leitfähigkeit eines homogenen Leiters mit dem Querschnitt 1 m^2 und der Länge 1 m, dessen Leitwert 1 S beträgt. $1\,\frac{S}{m} = 1\,m^{-3} \cdot kg^{-1} \cdot s^3 \cdot A^2$

Umrechnungen

Einheit	$\mu S \cdot m^{-1}$	$S \cdot m^{-1}$	$MS \cdot m^{-1} = S \cdot m \cdot mm^{-2} = m \cdot \Omega^{-1} \cdot mm^{-2}$
1 Mikrosiemens je Meter	1	10^{-6}	10^{-12}
1 Siemens je Meter	10^6	1	10^{-6}
1 Megasiemens je Meter = 1 Siemens mal Meter je Quadratmillimeter = 1 Meter je Ohm mal Quadratmillimeter	10^{12}	10^6	1

Magnetischer Fluß

Formelzeichen: Φ

Benennung der Einheit: Einheitenzeichen: Definition der Einheit: Beziehung der Einheit zu den Basiseinheiten:	Weber Wb 1 Wb ist der magnetische Fluß, der in einer ihn umschlingenden Windung die elektrische Spannung 1 V induziert, wenn er während der Zeit 1 s gleichmäßig auf Null abnimmt. $1\,Wb = 1\,V \cdot s = 1\,m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$

Bemerkungen

① Das Weber darf auch als Voltsekunde bezeichnet werden.		
② Ungültige Einheit:		
Maxwell (M)	$1\,M = 10^{-8}\,Wb$	ungültig seit 1958

Magnetische Induktion (magnetische Flußdichte)

Formelzeichen: B

Benennung der Einheit: Einheitenzeichen: Definition der Einheit:	Tesla T 1 T ist die magnetische Induktion eines homogenen magnetischen Flusses, der die Fläche 1 m^2 senkrecht mit der Stärke 1 Wb durchsetzt.
Beziehung der Einheit zu den Basiseinheiten:	$1\ T = 1\ \frac{Wb}{m^2} = 1\ kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$

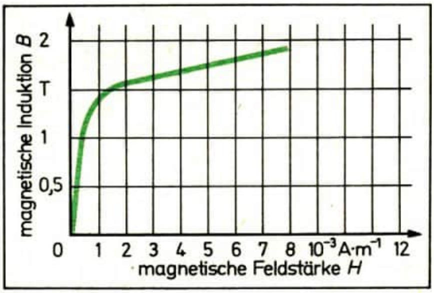


Bild 3/3 Zusammenhang zwischen magnetischer Induktion und magnetischer Feldstürke für eine bestimmte Stahlsorte

Bemerkungen

① Ungültige Einheit:		
Gauß (G, Gs)	$1\ G = 10^{-4}\ T$	ungültig seit 1958
② Für ferromagnetische Stoffe ist $B = f(H)$, weil $\mu_r = f(H)$ (Bild 3/3).		

Magnetische Feldstärke

Formelzeichen: H

Benennung der Einheit: Einheitenzeichen: Definition der Einheit:	Ampere je Meter $A \cdot m^{-1}$ $1\ A \cdot m^{-1}$ ist die magnetische Feldstärke im leeren Raum im Mittelpunkt eines unendlich langen Solenoids bei dem Strombelag $1\ A \cdot m^{-1}$.
Beziehung der Einheit zu den Basiseinheiten:	$1\ \frac{A}{m} = 1\ m^{-1} \cdot A$

Bemerkung

① Ungültige Einheit ist seit 1958 das Oersted (Oe).

➡ 3/4

Umrechnungen

Einheit	$A \cdot m^{-1}$	Oe
1 Ampere je Meter	1	$12{,}57 \cdot 10^{-3}$
1 Oersted	79,6	1

Induktivität

Formelzeichen: L

Benennung der Einheit:	Henry
Einheitenzeichen:	H
Definition der Einheit:	1 H ist die Induktivität einer geschlossenen Windung, die von einem Strom der Stärke 1 A durchflossen den magnetischen Fluß 1 Wb umschlingt.
Beziehung der Einheit zu den Basiseinheiten:	$1\,H = 1\,\frac{Wb}{A} = 1\,m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$

Bemerkung

① Henry wird 'hɛnri: (franz) oder 'henri (engl.) gesprochen.

Permeabilität – magnetische Feldkonstante (Induktionskonstante)

Formelzeichen: μ bzw. μ_0

Benennung der Einheit:	Henry je Meter
Einheitenzeichen:	$H \cdot m^{-1}$
Definition der Einheit:	$1\,H \cdot m^{-1}$ ist die Permeabilität eines Stoffes, in dem die magnetische Feldstärke $1\,A \cdot m^{-1}$ die Flußdichte 1 T erzeugt.
Beziehung der Einheit zu den Basiseinheiten:	$1\,\frac{H}{m} = 1\,m \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$

Bemerkungen

① Die Permeabilität ist das Produkt

$\mu = \mu_r \cdot \mu_0.$

μ_r relative Permeabilität (Permeabilitätszahl; Einheit 1)

μ_0 magnetische Feldkonstante (Induktionskonstante);

$\mu_0 = 12{,}566 \cdot 10^{-7}\,H \cdot m^{-1} = 4\pi \cdot 10^{-7}\,H \cdot m^{-1}$

② Die relative Permeabilität ist für ferromagnetische Stoffe eine Funktion der magnetischen Feldstärke. Es gilt: $B = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot H$ oder $\mu_r = \dfrac{B}{\mu_0 \cdot H}$ Den Zusammenhang zwischen B und H für eine bestimmte Stahlsorte zeigt das Bild 3/3, Seite 81.

3.5. Größen und Einheiten der optischen Strahlung

Lichtstärke

Formelzeichen: I, I_v

Benennung der Einheit: **Einheitenzeichen:**	**Candela** **cd**
Definition der Einheit:	**1 cd ist die in einer Richtung abgegebene Lichtstärke einer Lichtquelle, die eine monochromatische Strahlung der Frequenz $540 \cdot 10^{12}$ Hz ausstrahlt und deren Strahlstärke in dieser Richtung 1/683 Watt je Steradiant beträgt.**

Bemerkungen

① Der Index v (visuell) an den Formelzeichen der Größen der Lichttechnik weist darauf hin, daß diese Größen „physiologische" Größen sind, die die Wirkung des Lichtes auf das menschliche Auge beschreiben, im Unterschied zu den physikalischen Strahlungsgrößen, die die energetische Komponente erfassen.

② Bei der Messung lichttechnischer Größen mit physikalischen Empfängern (z. B. Fotoelement) muß die unterschiedliche spektrale Empfindlichkeit von Empfänger und Auge berücksichtigt werden.

③ Die lichttechnischen Größen sind mit den physikalischen Größen über den spektralen Hellempfindlichkeitsgrad $V(\lambda)$ des Auges, der von der Wellenlänge λ des Lichtes abhängt, verknüpft (Bild 3/4).

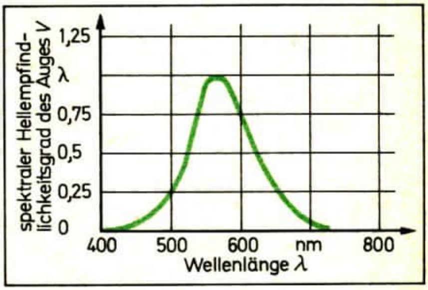


Bild 3/4
V-λ-Kurve

④ Lichtstärke und Lichtstrom haben die gleiche Dimension. Sie unterscheiden sich in der Einheit, wenn bei der Einheit des Lichtstromes der Raumwinkel mit angegeben wird.

3/5

Leuchtdichte

Formelzeichen: L, L_v

Benennung der Einheit: Einheitenzeichen: Definition der Einheit: Beziehung der Einheit zu den Basiseinheiten:	Candela je Quadratmeter $cd \cdot m^{-2}$ $1\ cd \cdot m^{-2}$ ist die Leuchtdichte der Fläche $1\ m^2$, die in Richtung der Flächennormalen mit der Lichtstärke 1 cd leuchtet. $1\ \frac{cd}{m^2} = 1\ m^{-2} \cdot cd$

Bemerkungen

① Ungültige Einheiten		
Stilb (sb)	$1\ sb = 10^4\ \frac{cd}{m^2}$	ungültig seit dem 1. 1. 1980
Apostilb (asb)	$1\ asb = 0{,}318\ \frac{cd}{m^2}$	
Nit (nt)	$1\ nt = 1\ \frac{cd}{m^2}$	

Umrechnungen

Einheit	$cd \cdot m^{-2}$	sb	asb	nt
1 Candela je Quadratmeter	1	10^{-4}	3,14	1
1 Stilb	10^4	1	$3{,}14 \cdot 10^4$	10^4
1 Apostilb	0,318	$0{,}318 \cdot 10^{-4}$	1	0,318
1 Nit	1	10^{-4}	3,14	1

Lichtstrom

Formelzeichen: Φ, Φ_v

Benennung der Einheit: Einheitenzeichen: Definition der Einheit: Beziehung der Einheit zu den Basiseinheiten:	Lumen lm 1 lm ist der Lichtstrom, den eine punktartige Lichtquelle der Lichtstärke 1 cd in den Raumwinkel 1 sr aussendet. $1\ lm = 1\ cd \cdot sr$

Bemerkungen

① Der Lichtstrom repräsentiert die Lichtleistung einer punktförmigen Lichtquelle. Wenn man ihn zur aufgenommenen elektrischen Leistung ins Verhältnis setzt, erhält man die Lichtausbeute $\eta = \frac{\Phi_v}{P_{el}}$, gemessen in $\frac{\text{Lumen}}{\text{Watt}}$ ($\text{lm} \cdot \text{W}^{-1}$).
② Obwohl Lichtstrom und Lichtstärke dimensionsgleich sind, ist eine Verwechslung ausgeschlossen, wenn beim Lichtstrom in die Einheit der Raumwinkel aufgenommen wird.

Beleuchtungsstärke

Formelzeichen: E, E_v

Benennung der Einheit:	Lux
Einheitenzeichen:	lx
Definition der Einheit:	1 lx ist die Beleuchtungsstärke auf der Fläche 1 m^2, auf die der Lichtstrom 1 lm auftrifft.
Beziehung der Einheit zu den Basiseinheiten:	$1\ \text{lx} = 1\ \frac{\text{lm}}{\text{m}^2} = 1\ \text{m}^{-2} \cdot \text{cd} \cdot \text{sr}$

Bemerkungen

① Unzulässige Einheit:		
Phot (ph)	$1\ \text{ph} = 10^4\ \text{lx} = 1\ \text{lm} \cdot \text{cm}^{-2}$	ungültig seit dem 1.1.1980
② Obwohl Beleuchtungsstärke und Leuchtdichte dimensionsgleich sind, ist eine Verwechslung nicht möglich, wenn bei der Beleuchtungsstärke in die Einheit der Raumwinkel aufgenommen wird.		

Umrechnungen

Einheit	lx	$\text{lm} \cdot \text{cm}^{-2}$	ph
1 Lux	1	10^{-4}	10^{-4}
1 Lumen je Quadratzentimeter	10^4	1	1
1 Phot	10^4	1	1

3.6. Größen und Einheiten der physikalischen Chemie

Stoffmenge

Formelzeichen: n

Benennung der Einheit: Einheitenzeichen: Definition der Einheit:	Mol mol 1 mol ist die Stoffmenge eines Systems, das aus so vielen gleichartigen elementaren Teilchen besteht, wie Atome in 0,012 kg des Kohlenstoffs 12 enthalten sind.

Bemerkungen

① Das Mol wird nicht mehr als (individuelle) Masseeinheit verwendet. Es dient vor allem zur Angabe von Konzentrationen.
② Bei der Verwendung des Mol muß die Art der elementaren Teilchen angegeben werden. Es können Atome, Moleküle, Ionen, Elektronen, andere Teilchen oder spezielle Gruppierungen solcher Teilchen (z. B. Formeleinheiten) sein.
③ Die Stoffmenge kann auch Objektmenge genannt werden. Objekte einer Objektmenge können auch Teilchen, die allein keinen Stoff bilden (Elektronen, Kationen, Anionen, Äquivalente, Photonen, Phononen u. a.), oder Formelumsätze sein.
④ In der analytischen Chemie ist es bei Titrationen üblich, die Stoffmengenkonzentration an chemischen Äquivalenten in einer Lösung anzugeben. Bei entsprechenden Berechnungen wird die Stoffmenge der Äquivalente n_{eq} benutzt. Sie ist das Produkt aus der Stoffmenge n in mol und der wirksamen Wertigkeit z: $n_{eq} = z \cdot n$.

Stoffmengenkonzentration

Formelzeichen: C_B

Benennung der Einheit: Einheitenzeichen: Definition der Einheit:	Mol je Kubikmeter $\mathrm{mol \cdot m^{-3}}$ $1\ \mathrm{mol \cdot m^{-3}}$ ist die Stoffmengenkonzentration eines Stoffes in einer Lösung, bei der in $1\ \mathrm{m^3}$ Lösung 1 mol des gelösten Stoffes enthalten ist.
Beziehung der Einheit zu den Basiseinheiten:	$1\ \frac{\mathrm{mol}}{\mathrm{m^3}} = 1\ \mathrm{m^{-3} \cdot mol}$

Bemerkungen

① Es gilt: $1\ \mathrm{mol \cdot dm^{-3}} = 1\ \mathrm{mol \cdot l^{-1}}$

② Die Stoffmengenkonzentration kann auch Objektmengenkonzentration genannt werden.
③ Objekte einer Objektmenge können auch Teilchen sein, die allein keinen Stoff bilden (Elektronen, Kationen, Anionen, Äquivalente u. a.).
④ Bei der Maßanalyse wird mit Normallösungen gearbeitet, die eine bestimmte Äquivalentkonzentration $c_{B,eq}$ besitzen. Zu Berechnungen können folgende Gleichungen benutzt werden: $c_{B,eq} = \frac{n_{eq}}{V}$ oder $c_{B,eq} = \frac{z \cdot n}{V}$.

Molare Masse

Formelzeichen: M

Benennung der Einheit:	Kilogramm je Mol
Einheitenzeichen:	$kg \cdot mol^{-1}$
Definition der Einheit:	$1\ kg \cdot mol^{-1}$ ist die molare Masse eines Körpers, von dem 1 mol die Masse 1 kg hat.
Beziehung der Einheit zu den Basiseinheiten:	$1\ \frac{kg}{mol} = 1\ kg \cdot mol^{-1}$

Bemerkung

① Die molare Masse ist mit dem molaren Volumen durch die Gleichung $M = \varrho \cdot V_m$ verknüpft.

Molares Volumen

Formelzeichen: V_m

Benennung der Einheit:	Kubikmeter je Mol
Einheitenzeichen:	$m^3 \cdot mol^{-1}$
Definition der Einheit:	$1\ m^3 \cdot mol^{-1}$ ist das molare Volumen eines homogenen Körpers, von dem 1 mol das Volumen $1\ m^3$ hat.
Beziehung der Einheit zu den Basiseinheiten:	$1\ \frac{m^3}{mol} = 1\ m^3 \cdot mol^{-1}$

Bemerkungen

① Das molare Volumen ist mit der molaren Masse durch die Gleichung $V_m = \frac{M}{\varrho}$ verknüpft.
② Das molare Volumen eines idealen Gases im Normzustand ($p = 1{,}013 \cdot 10^5$ Pa, $T = 273$ K) beträgt $V_m = 22{,}4\ m^3 \cdot kmol^{-1}$.

Molalität

Formelzeichen: b

Benennung der Einheit: Einheitenzeichen: Definition der Einheit:	Mol je Kilogramm $mol \cdot kg^{-1}$ $1\ mol \cdot kg^{-1}$ ist die Molalität einer Lösung, bei der in 1 kg Lösungsmittel 1 mol des gelösten Stoffes enthalten ist.
Beziehung der Einheit zu den Basiseinheiten:	$1\,\frac{mol}{kg} = 1\ kg^{-1} \cdot mol$

Molare innere Energie, molare Enthalpie

Formelzeichen: U_m, E_m, H_m

Benennung der Einheit: Einheitenzeichen: Definition der Einheit:	Joule je Mol $J \cdot mol^{-1}$ $1\ J \cdot mol^{-1}$ ist die molare innere Energie eines Stoffes, von dem 1 mol die innere Energie 1 J enthält.
Beziehung der Einheit zu den Basiseinheiten:	$1\,\frac{J}{mol} = 1\ m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot mol^{-1}$

Bemerkungen

① Zur Berechnung von molaren Reaktionsenthalpien wird meist das Formelzeichen ΔH_m verwendet.
② Die Einheit der molaren Enthalpie gilt auch für die molare Phasenumwandlungsenthalpie, molare Mischungsenthalpie, molare Reaktionsenthalpie, das chemische Potential und die molare freie Reaktionsenthalpie (Affinität).

Äquivalentkonzentration

Formelzeichen: $c_{B,eq}$

Benennung der Einheit: Einheitenzeichen: Definition der Einheit:	Mol je Liter $mol \cdot l^{-1}$ $1\ mol \cdot l^{-1}$ ist die Äquivalentkonzentration einer Lösung, bei der in 1 l Lösung die Stoffmenge der Äquivalente von 1 mol gelöst ist.
Beziehung der Einheit zu den Basiseinheiten:	$1\,\frac{mol}{l} = 1\ l^{-1} \cdot mol$

Stoffmengenanteil (Stoffmengengehalt, Stoffmengenbruch)

Formelzeichen: x_B

Benennung der Einheit: Einheitenzeichen: Definition der Einheit:	Eins oder Prozent 1 oder % oder mmol · mol^{-1} 1 % = 1 · 10^{-2}

Bemerkungen

① Bei Verwendung der Verhältniseinheiten ist auf jeden Fall kenntlich zu machen, worauf sich die Angabe bezieht, z. B. Stoffmengenanteil in %.
② Ältere Bezeichnungen für den Stoffmengenanteil sind Molenbruch und Molprozent.

Massenanteil (Massengehalt, Massenbruch)

Formelzeichen: w_B

Benennung der Einheit: Einheitenzeichen: Definition der Einheit:	Eins oder Prozent 1 oder % oder mg · g^{-1} 1 % = 1 · 10^{-2}

Bemerkung

① Eine ältere Bezeichnung für den Massenanteil ist Masseprozent.

Volumenanteil (Volumengehalt, Volumenbruch)

Formelzeichen: φ_B

Benennung der Einheit: Einheitenzeichen: Definition der Einheit:	Eins oder Prozent 1 oder % oder ml · l^{-1} 1 % = 1 · 10^{-2}

Bemerkung

① Eine ältere Bezeichnung für Volumenanteil ist Volumenprozent.

3.7. Größen und Einheiten der ionisierenden Strahlung

Teilchenfluenz

Formelzeichen: Φ

Benennung der Einheit:	Eins je Quadratmeter
Einheitenzeichen:	$1\ m^{-2}$
Definition der Einheit:	$1\ m^{-2}$ ist die Teilchenfluenz, bei der im Mittel 1 Teilchen einer ionisierenden Strahlung in eine Kugel mit der Querschnittsfläche $1\ m^2$ eintritt.
Beziehung der Einheit zu den Basiseinheiten:	$\frac{1}{m^2} = 1\ m^{-2}$

Bemerkung

① Unter Teilchen ionisierender Strahlung werden sowohl direkt ionisierende Teilchen (α-Teilchen, Elektronen) als auch indirekt ionisierende Teilchen (Photonen, Neutronen) verstanden.

Energiefluenz

Formelzeichen: F

Benennung der Einheit:	Joule je Quadratmeter
Einheitenzeichen:	$J \cdot m^{-2}$
Definition der Einheit:	$1\ J \cdot m^{-2}$ ist die Energiefluenz, bei der die Summe der Energien (außer Ruheenergien) aller Teilchen einer ionisierenden Strahlung, die gleichmäßig in eine Kugel mit der Querschnittsfläche $1\ m^2$ eintreten, 1 J ist.
Beziehung der Einheit zu den Basiseinheiten:	$1 \frac{J}{m^2} = 1\ kg \cdot s^{-2}$

Aktivität

Formelzeichen: A

Benennung der Einheit:	Becquerel
Einheitenzeichen:	Bq
Definition der Einheit:	1 Bq ist die Aktivität einer radioaktiven Strahlungsquelle, bei der sich im Mittel 1 Atomkern eines radioaktiven Nuklids in der Zeit 1 s umwandelt.
Beziehung der Einheit zu den Basiseinheiten:	$1\ Bq = 1\ s^{-1}$

Bemerkungen

① Ungültige Einheit:		
Curie (Ci)	1 Ci = $3{,}7 \cdot 10^{10}$ Bq	ungültig seit dem 1. 1. 1980
② Becquerel wird bɛkə'rɛl gesprochen.		

Umrechnungen

Einheit	Bq	GBq	mBq	Ci
1 Becquerel	1	10^{-9}	10^{3}	$0{,}27 \cdot 10^{-10}$
1 Gigabecquerel	10^{9}	1	10^{12}	$0{,}27 \cdot 10^{-1}$
1 Millibecquerel	10^{-3}	10^{-12}	1	$0{,}27 \cdot 10^{-13}$
1 Curie	$3{,}7 \cdot 10^{10}$	37	$3{,}7 \cdot 10^{13}$	1

Exposition (Ionendosis)

Formelzeichen: X

Benennung der Einheit:	Coulomb je Kilogramm
Einheitenzeichen:	$C \cdot kg^{-1}$
Definition der Einheit:	1 $C \cdot kg^{-1}$ ist die Exposition, bei der die Summe der elektrischen Ladungen aller in trockener Luft erzeugten Ladungsträger eines Vorzeichens 1 C ist, wenn die durch Röntgen- oder γ-Strahlung in 1 kg Luft gleichmäßig freigesetzten Elektronen (Negatronen und Positronen) in Luft vollständig abgebremst werden.
Beziehung der Einheit zu den Basiseinheiten:	$1 \frac{C}{kg} = 1\ kg^{-1} \cdot s \cdot A$

Bemerkungen

① Ungültige Einheit:		
Röntgen (R)	1 R = $2{,}58 \cdot 10^{-4}\ C \cdot kg^{-1}$	ungültig seit dem 1. 1. 1980
② Die Exposition kennzeichnet die von ionisierender Strahlung in einem Stoff erzeugte Ladung.		

3/7

Umrechnungen

Einheit	$C \cdot kg^{-1}$	$mC \cdot kg^{-1}$	R
1 Coulomb je Kilogramm	1	10^3	$3{,}88 \cdot 10^3$
1 Millicoulomb je Kilogramm	10^{-3}	1	3,88
1 Röntgen	$2{,}58 \cdot 10^{-4}$	$2{,}58 \cdot 10^{-1}$	1

Energiedosis

Formelzeichen: D

Benennung der Einheit:	Gray
Einheitenzeichen:	Gy
Definition der Einheit:	1 Gy ist die Energiedosis, bei der durch die ionisierende Strahlung einer homogen verteilten Materie der Masse 1 kg die Energie 1 J gleichmäßig zugeführt wird.
Beziehung der Einheit zu den Basiseinheiten:	$1\ Gy = 1\ \frac{J}{kg} = 1\ m^2 \cdot s^{-2}$

Bemerkungen

① Ungültige Einheit:

Rad (rd); Rem (rem)	$1\ rd = 1\ rem = 10^{-2}\ Gy$	ungültig seit dem 1. 1. 1980

② Die Energiedosis kennzeichnet die einem Körper durch eine ionisierende Strahlung beliebiger Art zugeführte Energie. Es gilt: 1 Gy ist die Energiedosis, die von einer ionisierenden Strahlung beliebiger Art der Energie 1 J auf 1 kg des bestrahlten Stoffes übertragen wird.

③ Gray wird grei: gesprochen.

Umrechnungen

Einheit	Gy	mGy	kGy	rd
1 Gray	1	10^3	10^{-3}	10^2
1 Milligray	10^{-3}	1	10^{-6}	10^{-1}
1 Kilogray	10^3	10^6	1	10^5
1 Rad	10^{-2}	10	10^{-5}	1

Rechnen mit physikalischen Größen 4

4.1. Festlegungen über das Rechnen mit physikalischen Größen

Addition und Subtraktion

Im allgemeinen dürfen nur Größen gleicher Art addiert bzw. subtrahiert werden.

■ $I_{ges} = I_1 + I_2 = 0{,}5\ \text{A} + 1{,}0\ \text{A} = 1{,}5\ \text{A}$

$m = m_1 - m_2 = 3\ \text{kg} - 1{,}2\ \text{kg} = 1{,}8\ \text{kg}$

Aber nicht: $\eta = \eta_1 + \eta_2 = 0{,}5 + 0{,}8 = 1{,}3$

Multiplikation und Division

Physikalische Größen gleicher oder verschiedener Größenart dürfen multipliziert und dividiert werden.

■ $A = l \cdot l = l^2$

$W = F \cdot s$

$\eta = \dfrac{W_2}{W_1}$

$v = \dfrac{s}{t}$

Exponent, Argument, Logarithmus

Eine physikalische Größe darf nicht als Exponent oder als Argument einer Funktion auftreten und darf nicht logarithmiert werden. Durch Hinzufügen eines geeigneten Faktors muß der Exponent oder das Argument zu einer Verhältnisgröße mit der Dimension „1" gemacht werden.

■ Falsch: e^t Richtig: $e^{\frac{t}{RC}}$

Falsch: $\sin \omega$ Richtig: $\sin \omega \cdot t$

Falsch: $\ln x$ Richtig: $\ln \dfrac{x}{x_0}$

4/1

Teilschritte beim Rechnen mit physikalischen Größen und Größengleichungen

Schrittfolge	Erläuterung der Teilschritte am Beispiel
① **Analysieren der Aufgabenstellung**	Wie groß ist die elektrische Spannung, die in einer Spule mit 1000 Windungen und einem Spulendurchmesser von 6 cm induziert wird, wenn die Spule innerhalb 0,01 min in ein Magnetfeld mit der magnetischen Flußdichte 3 T gebracht wird?
Ermittle die gegebenen Größen!	Gegeben: $N = 1000$ $d = 6\ \mathrm{cm}$ $\Delta t = 0{,}01\ \mathrm{min}$ $\Delta B = 3\ \mathrm{T}$
Ermittle die gesuchte Größe!	Gesucht: U_{ind}
② **Vorbereiten der Berechnung**	
Forme die gegebenen Größen so um, daß sie als Produkte von Zahlenwert, SI-Einheit(en) und evtl. Zehnerpotenzen erscheinen!	$N = 1000 = 10^3$ $d = 6\ \mathrm{cm} = 6 \cdot 10^{-2}\ \mathrm{m}$ $\Delta t = 0{,}01\ \mathrm{min} = 0{,}6\ \mathrm{s} = 6 \cdot 10^{-1}\ \mathrm{s}$ $\Delta B = 3\ \mathrm{T}$
Schreibe die Definitionsgleichung der gesuchten Größe und die Gleichungen der zur Berechnung erforderlichen, aber nicht gegebenen Größen auf!	Lösung: $U_{\mathrm{ind}} = N \cdot \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$ $\qquad$ $A = \frac{d^2}{4} \cdot \pi$ $\Delta \Phi = \Delta B \cdot A$
Kombiniere diese Gleichungen so, daß die gesuchte Größe als Produkt oder Quotient der gegebenen Größen erscheint!	$U_{\mathrm{ind}} = N \cdot \frac{\Delta B \cdot d^2 \cdot \pi}{4 \cdot \Delta t}$
③ **Durchführen der Berechnung**	

③ Durchführen der Berechnung	
Setze die Werte der gegebenen Größen in die Größengleichung ein!	$U_{ind} = 10^3 \cdot \frac{3\,T \cdot 6^2 \cdot 10^{-4}\,m^2 \cdot 3{,}14}{4 \cdot 6 \cdot 10^{-1}\,s}$
Ordne die Glieder der Größengleichung im Zähler und im Nenner nach – Zahlenwerten, – Zehnerpotenzen, – Einheiten!	$U_{ind} = \frac{3 \cdot 6^2 \cdot 3{,}14 \cdot 10^3 \cdot 10^4\,T \cdot m^2}{4 \cdot 6 \cdot 10^{-1}\,s}$
Kürze die – Zahlenwerte, – Zehnerpotenzen, – Einheiten!	$U_{ind} = 3 \cdot 3 \cdot 1{,}57\,T \cdot m^2 \cdot s^{-1}$
Forme die ermittelte Einheit in eine Einheit der gesuchten Größe um!	$[U_{ind}] = \frac{T \cdot m^2}{s} = \frac{Wb}{m^2} \cdot \frac{m^2}{s} = \frac{V \cdot s}{s} = V$ $[U_{ind}] = V$
Führe die Einheitenprobe aus! (D. h. vergleiche die ermittelte Einheit mit der Einheit der gesuchten Größe!)	Bei Nichtübereinstimmung Rechengang abbrechen, Fehler im Vorangehenden suchen!
Führe die Berechnung unter Beachtung der Zehnerpotenzen aus!	$U_{ind} = 14{,}1\,V$
④ Angeben des Ergebnisses	
Schreibe den Wert (das Produkt aus Zahlenwert und Einheit) der gesuchten Größe nieder!	$\underline{\underline{U_{ind} = 14{,}1\,V}}$
Prüfe das Ergebnis im Hinblick auf die Aufgabenstellung! Runde sinnvoll und formuliere den Antwortsatz!	Ergebnis: In der Spule wird eine Spannung von etwa 14 V induziert.

4/2

4.2. Physikalische Gleichungen

Physikalische Gleichungen geben Beziehungen zwischen

- physikalischen Größen oder
- Einheiten oder
- Zahlenwerten

wieder. Die in ihnen stehenden Formelzeichen symbolisieren Größen, Einheiten oder Zahlenwerte.

Größengleichungen

Größengleichungen sind universell anwendbare Gleichungen, in denen

- die Formelzeichen Größen bedeuten,
- die Gleichungen unabhängig von den verwendeten Einheiten gelten,
- beim Übergang zur Zahlenrechnung für Formelzeichen Größen, d. h. die jeweiligen Produkte aus Zahlenwert und Einheit eingesetzt werden müssen,
- der physikalische Sachverhalt am einfachsten, übersichtlichsten und am allgemeinsten ohne Rücksicht auf die bei der Zahlenrechnung zu verwendenden Einheiten dargestellt werden kann.

Sie sind daher bevorzugt anzuwenden.

Sie dienen zur mathematischen Darstellung

a) des gesetzmäßigen Zusammenhanges zwischen physikalischen Größen oder
b) der Definition abgeleiteter physikalischer Größen.

a) $x = x_{\mathrm{m}} \cdot \sin \omega \cdot t$

b) $R = \dfrac{U}{I}$; $\varrho = R \cdot \dfrac{A}{l}$

Neben den miteinander verknüpften Größen können in Größengleichungen noch

- Formelzeichen für unbenannte Zahlen (π, e, ...) und/oder
- mathematische Operationszeichen (+, −, ...) und/oder
- Zeichen für mathematische Funktionen (sin, lg, ...)

stehen.

Rechnen mit Größengleichungen

① Die Werte physikalischer Größen, die zu den in den Gleichungen angegebenen Größen gehören, sind in die Größengleichung als Produkte aus Zahlenwert und Einheit einzusetzen.	■ $R = 50\ \Omega = 50\ \frac{\text{V}}{\text{A}}$; $I = 0{,}1\ \text{A}$ $U = R \cdot I$ $U = 50\ \Omega \cdot 0{,}1\ \text{A}$ $U = 5\ \text{V}$
② Addition und Subtraktion in Größengleichungen sind nur zulässig für physikalische Größen gleicher Art, die in derselben Einheit gegeben sind.	■ $R_1 = 50\ \Omega$; $R_2 = 100\ \Omega$ $R_{ges} = 50\ \Omega + 100\ \Omega$ $R_{ges} = 150\ \Omega$ Aber nicht: $R_1 = 10\ \text{k}\Omega$; $R_2 = 100\ \Omega$ $R_{ges} = 10\ \text{k}\Omega + 100\ \Omega$ $R_{ges} \neq 110\ \Omega$
③ Physikalische Größen verschiedener oder gleicher Art dürfen in Größengleichungen miteinander multipliziert und/oder dividiert werden; zugelassen sind das Potenzieren und in bestimmten Fällen das Radizieren.	■ $A = 3\ \text{m} \cdot 4\ \text{m} = 12\ \text{m}^2$ $W = 5\ \text{N} \cdot 8\ \text{m} = 40\ \text{N} \cdot \text{m}$ $v = \frac{50\ \text{km}}{1\ \text{h}} = 50\ \frac{\text{km}}{\text{h}}$ $\eta = \frac{10\ \text{W}}{12\ \text{W}} = 0{,}833$ $V = (3\ \text{m})^3 = 27\ \text{m}^3$ $v = \sqrt{2 \cdot 9{,}81\ \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 5\ \text{m}} = 9{,}9\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$
④ Mit Zahlenwerten und Einheiten physikalischer Größen wird in Größengleichungen entsprechend den Regeln der Mathematik verfahren.	■ $Q = c \cdot m \cdot \Delta\vartheta$ $Q = 4{,}19\ \text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K}) \cdot 3\ \text{kg} \cdot 15\ \text{K}$ $Q = 4{,}19 \cdot 3 \cdot 15 \cdot \text{kJ} \cdot \text{kg} \cdot \text{K}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ $Q \approx 189\ \text{kJ}$
⑤ Bei Größengleichungen mit speziellen physikalischen Größen ist zu beachten, daß die Einheiten als Faktoren nicht weggelassen werden dürfen.	■ Die Dichte des Wassers ist $\varrho = 1\ \text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ aber nicht $\varrho = 1$.

⑥ Größengleichungen können nach einer beliebigen der in ihnen verknüpften Größen umgeformt werden.	■ $W_{kin} = \frac{m}{2} \cdot v^2$ $v = \sqrt{\frac{2\,W_{kin}}{m}}$ $v = \sqrt{\frac{2 \cdot 40\ \mathrm{N \cdot m}}{5\ \mathrm{kg}}}$ $v = \sqrt{16\,\frac{\mathrm{kg \cdot m^2}}{\mathrm{kg \cdot s^2}}}$ $v = 4\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$
⑦ Größengleichungen sind einheiteninvariant, d. h., die Größen können in jeder beliebigen Einheit der betreffenden Größe in die Gleichungen eingesetzt werden.	■ $F = m \cdot a = 5\ \mathrm{kg} \cdot 2\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s^2}} = 10\ \mathrm{N}$ $F = m \cdot a = 5\,000\ \mathrm{g} \cdot 6\,480\,\frac{\mathrm{km}}{\mathrm{h^2}} = 10\ \mathrm{N}$

Einheitengleichungen

Einheitengleichungen sind universell anwendbare Größengleichungen, die den Zusammenhang zwischen Einheiten angeben. Sie dienen

a) zur Definition von Einheiten,
b) zur Definition abgeleiteter Einheiten oder
c) zur Herstellung von Umrechnungsbeziehungen für verschiedene Einheiten von Größen derselben Art.

■ a) $1\ \mathrm{N} = 1\ \mathrm{m \cdot kg \cdot s^{-2}}$

b) $1\ \mathrm{Pa} = 1\ \mathrm{N \cdot m^{-2}}$
$1\ \mathrm{C} = 1\ \mathrm{A \cdot s}$

c) $1\ \mathrm{km} = 10^3\ \mathrm{m}$
$1\ \mathrm{u} = 1{,}66057 \cdot 10^{-27}\ \mathrm{kg}$
$60\ \mathrm{min} = 1\ \mathrm{h}$
$5\ \mathrm{h} = 18\,000\ \mathrm{s}$

Rechnen mit Einheitengleichungen

① Einheitengleichungen werden im allgemeinen so geschrieben, daß der Zahlenwert auf der linken Seite gleich 1 ist und die Zahlenwerte auf der rechten Seite zu einem Faktor zusammengefaßt werden, dem Umrechnungsfaktor.	■ $1\ \mathrm{cal} = 4{,}1868\ \mathrm{J}$ $1\ \mathrm{Torr} = 1{,}333224 \cdot 10^2\ \mathrm{Pa}$ $1\ \mathrm{Ci} = 3{,}7 \cdot 10^{10}\ \mathrm{Bq}$ $1\ \mathrm{Mp} = 9{,}80665 \cdot 10^3\ \mathrm{N}$ $= 9{,}80665\ \mathrm{kN}$

② Eine Einheitenanalyse über eine Einheitengleichung beinhaltet qualitative und quantitative Aussagen.	■ „10 mV" beinhaltet die qualitative Aussage „elektrische Spannung" **und** die quantitative Aussage „10 mV = 0,01 V" $U = \frac{F \cdot s}{Q}$ Größengleichung $[U] = \frac{[F] \cdot [s]}{[Q]}$ Einheitengleichung $\left.\begin{array}{l} \mathrm{V} = \frac{\mathrm{N \cdot m}}{\mathrm{C}} \\ \mathrm{V} = \frac{\mathrm{W \cdot s}}{\mathrm{A \cdot s}} \\ \mathrm{V} = \frac{\mathrm{V \cdot A \cdot s}}{\mathrm{A \cdot s}} \\ \mathrm{V} = \mathrm{V} \end{array}\right\}$ Einheitenanalyse

Zugeschnittene Größengleichungen

Zugeschnittene Größengleichungen sind Größengleichungen, in denen die Größen durch eine zugehörige Einheit dividiert erscheinen.

■ $$\frac{v}{\mathrm{m \cdot s^{-1}}} = \frac{s/\mathrm{m}}{t/\mathrm{s}} = \frac{2\,000}{40} = 50$$

$$\frac{T}{\mathrm{K}} = 273{,}15 + \frac{\vartheta}{{}^\circ\mathrm{C}}$$

$$\frac{p}{\mathrm{Pa}} = \frac{F/\mathrm{N}}{A/\mathrm{m}^2}$$

Rechnen mit zugeschnittenen Größengleichungen

① Zugeschnittene Größengleichungen sind einheiteninvariant, d. h., die Gleichung bleibt auch dann richtig, wenn für die verknüpften Größen spezielle physikalische Größen mit anderen als den in den Quotienten stehenden Einheiten eingesetzt werden.	■ $\frac{p}{\mathrm{Pa}} = \frac{15\ \mathrm{kN/N}}{15\,000\ \mathrm{cm^2/m^2}}$ $\frac{p}{\mathrm{Pa}} = 10\,000$
② Zugeschnittene Größengleichungen bedeuten dann einen Vorteil beim Rechnen, wenn die physikalischen Größen in den durch die Größengleichung vorgegebenen Einheiten eingesetzt werden.	■ Wünscht man das Ergebnis einer Berechnung von $s = \frac{g}{2} \cdot t^2$ in km und wurden die Zeiten in min gemessen, dann empfiehlt sich folgende zugeschnittene Größengleichung:

Sie haben den Nachteil, daß sie stets komplizierter aufgebaut sind als Größengleichungen oder Zahlenwertgleichungen.	$s = \frac{g}{2} \cdot t^2 = \frac{5\ \text{m}}{\text{s}^2} \cdot t^2$ $s = \frac{5\ \text{m}}{\text{s}^2} \cdot t^2 \cdot \frac{3\,600\ \text{s}^2}{\text{min}^2} \cdot \frac{\text{km}}{10^3\ \text{m}}$ $s = 18 \cdot \left(\frac{t}{\text{min}}\right)^2 \text{km}$ für $t = 1$ min folgt $s = 18 \cdot 1\ \text{km}$ $s = 18\ \text{km}$ für $t = 2$ min folgt $s = 18 \cdot 4\ \text{km}$ $s = 72\ \text{km}$
③ Zugeschnittene Größengleichungen werden zweckmäßig in der Form $v = 3{,}6 \frac{s/\text{m}}{t/\text{s}} \text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ geschrieben. Das bedeutet: Sind der Weg in Meter und die Zeit in Sekunden gegeben, dann ergibt sich die Geschwindigkeit in Kilometer je Stunde, wenn der Quotient aus Weg und Zeit mit dem Faktor 3,6 multipliziert wird.	■ $v = 3{,}6 \cdot \frac{500\ \text{m/m}}{50\ \text{s/s}} \cdot \text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ $v = 36\ \text{km} \cdot \text{h}^{-1}$

Beispielaufgaben 5

5.1. Beispielaufgaben zu Größen des Raumes und der Zeit

5.1.1. Länge

Art der Einheit	Formelzeichen	Benennung der Einheit	Einheitenzeichen	Einheitengleichung
Basiseinheit	l	Meter	m	$[l] = 1\,\mathrm{m}$
Zulässige und übliche Vielfache und Teile der Einheit				
pm, nm, µm, mm, cm, dm, km				

Berechnung des Weges bei einer geradlinigen, gleichmäßig beschleunigten Bewegung aus Beschleunigung und Zeit

Zum Berechnen benutzt man das Weg-Zeit-Gesetz der geradlinigen, gleichmäßig beschleunigten Bewegung.

$s = \frac{a}{2} \cdot t^2 + v_0 \cdot t + s_0$	s zurückgelegter Weg, z. B. in m a Beschleunigung, z. B. in $\mathrm{m \cdot s^{-2}}$ t benötigte Zeit, z. B. in s v Geschwindigkeit, z. B. in $\mathrm{m \cdot s^{-1}}$ s_0, v_0 Werte von s, v zur Zeit $t = 0$, z. B. in m bzw. $\mathrm{m \cdot s^{-1}}$

■ Ein von einer E-Lok gezogener Personenzug erfährt aus dem Stand ($v_0 = 0$) eine zeitlich konstante Beschleunigung von $0{,}8\ \mathrm{m \cdot s^{-2}}$. Welchen Weg legt er in der Zeit $t = 5$ s zurück?

Gegeben:

$a = 0{,}8\ \mathrm{m \cdot s^{-2}}$

$t = 5\ \mathrm{s}$

$v_0 = 0$

$s_0 = 0$

Gesucht: s

Lösung:

$$s = \frac{a}{2} \cdot t^2$$

$$s = \frac{0{,}8\ \mathrm{m \cdot s^{-2}} \cdot 5\ \mathrm{s} \cdot 5\ \mathrm{s}}{2}$$

$$\underline{\underline{s = 10\ \mathrm{m}}}$$

Ergebnis: Der Personenzug legt aus dem Stand bei dieser Beschleunigung einen Weg von 10 m zurück.

5/1

Berechnung des Weges bei einer gleichmäßig beschleunigten Bewegung aus Geschwindigkeit und Zeit

Zum Berechnen benutzt man das Weg-Zeit-Gesetz und das Geschwindigkeit-Zeit-Gesetz der geradlinigen, gleichmäßig beschleunigten Bewegung.

Weg-Zeit-Gesetz der geradlinigen, gleichmäßig beschleunigten Bewegung	**Geschwindigkeit-Zeit-Gesetz der geradlinigen, gleichmäßig beschleunigten Bewegung**
$s = \frac{a}{2} \cdot t^2 + v_0 \cdot t + s_0$	$v = a \cdot t + v_0$

$$s = \frac{v - v_0}{2t} \cdot t^2 + v_0 \cdot t + s_0$$

$$s = \frac{v + v_0}{2} \cdot t + s_0$$

s	zurückgelegter Weg, z. B. in m
a	Beschleunigung, z. B. in $m \cdot s^{-2}$
t	benötigte Zeit, z. B. in s
v	Geschwindigkeit, z. B. in $m \cdot s^{-1}$
s_0, v_0	Werte von s, v zur Zeit $t = 0$

■ Ein Personenkraftwagen wird aus einer Anfangsgeschwindigkeit $v_0 = 20\ km \cdot h^{-1}$ gleichmäßig beschleunigt und erreicht nach 14,5 s eine Geschwindigkeit von $100\ km \cdot h^{-1}$. Welcher Weg wird während dieser Zeit zurückgelegt?

Gegeben:

$t = 14{,}5\ s$

$v_0 = 20\ km \cdot h^{-1} = \frac{20}{3{,}6}\ m \cdot s^{-1}$

$v = 100\ km \cdot h^{-1} = \frac{100}{3{,}6}\ m \cdot s^{-1}$

$s_0 = 0$

Gesucht:

s

Lösung:

$$s = \frac{v + v_0}{2} \cdot t + s_0$$

$$s = \frac{\frac{100}{3{,}6}\ m \cdot s^{-1} + \frac{20}{3{,}6}\ m \cdot s^{-1}}{2} \cdot 14{,}5\ s$$

$$s = \frac{120}{3{,}6 \cdot 2}\ m \cdot s^{-1} \cdot 14{,}5\ s$$

$$\underline{\underline{s \approx 240\ m}}$$

Ergebnis: Der zurückgelegte Weg beträgt rund 240 m.

Berechnung von Steighöhen beim schrägen Wurf

Zum Berechnen benutzt man die Gleichung für die Steighöhe beim schrägen Wurf.

$s_h = \frac{v_0^2 \cdot \sin^2 \alpha}{2\,g}$	s_h maximale Steighöhe, z. B. in m v_0 Anfangsgeschwindigkeit, z. B. in $m \cdot s^{-1}$ α Abwurfwinkel, z. B. in Grad g Fallbeschleunigung, z. B. in $m \cdot s^{-2}$

Ein Schlagball wird unter einem Winkel $\alpha = 40°$ mit einer Anfangsgeschwindigkeit $v_0 = 35\ m \cdot s^{-1}$ abgeworfen. Bis zu welcher maximalen Höhe s_h steigt der Ball?

Gegeben:

$g = 9{,}81\ m \cdot s^{-2}$

$v_0 = 35\ m \cdot s^{-1}$

$\alpha = 40°$

$\sin \alpha = 0{,}6428$

Gesucht: s_h

Lösung:

$$s_h = \frac{v_0^2 \cdot \sin^2 \alpha}{2\,g}$$

$$s_h = \frac{35\ m \cdot s^{-1} \cdot 35\ m \cdot s^{-1} \cdot 0{,}6428 \cdot 0{,}6428}{2 \cdot 9{,}81\ m \cdot s^{-2}}$$

$$\underline{\underline{s_h \approx 26\ m}}$$

Ergebnis: Der Schlagball steigt bis zu einer Höhe von 26 m.

Berechnung von Längenänderungen bei Temperaturänderungen

Zum Berechnen der Längenänderung infolge der Erwärmung oder Abkühlung eines Körpers benutzt man die Gleichung

$\Delta l = l_0 \cdot \alpha \cdot \Delta\vartheta$	Δl Längenänderung, z. B. in m l_0 Ausgangslänge, z. B. in m α Längen-Temperatur-Koeffizient, z. B. in K^{-1} $\Delta\vartheta$ Temperaturänderung, z. B. in K

Infolge der Längenänderung fester Körper bei Temperaturänderung ist die Länge eines Meßbandes nur für eine bestimmte Temperatur genau bestimmt. Wie ändert sich die für $\vartheta_1 = 20\,°C$ ermittelte Länge eines 20-m-Stahlbandmaßes, wenn es bei einer Temperatur $\vartheta_2 = -20\,°C$ verwendet wird?

Gegeben:

$\vartheta_1 = 20\,°C$

$\vartheta_2 = -20\,°C$

$\Delta\vartheta = 40\ K$

$l_0 = 20{,}00\ m$

$\alpha_{Stahl} = 16{,}0 \cdot 10^{-6}\ K^{-1}$

Gesucht: Δl

Lösung:

$$\Delta l = l_0 \cdot \alpha \cdot \Delta\vartheta$$

$$\Delta l = 16{,}0 \cdot 10^{-6}\ K^{-1} \cdot 20{,}00\ m \cdot 40\ K$$

$$\Delta l = 0{,}0128\ m$$

$$\underline{\underline{\Delta l = 12{,}8\ mm}}$$

Ergebnis: Das Meßband wird um 12,8 mm kürzer.

5/1

Berechnung einer Durchbiegung

Zum Berechnen der Durchbiegung eines homogenen, zweiseitig gelagerten Stabes mit kreisförmigem Querschnitt benutzt man die Gleichung für die Durchbiegung und die Gleichung für die Fläche des Querschnitts.

Gleichung zur Berechnung der Durchbiegung	Gleichung zur Berechnung der Querschnittsfläche
$f = \dfrac{l^3 \cdot F}{12 \cdot E \cdot A \cdot r^2}$	$A = r^2 \cdot \pi$

$$f = \frac{l^3 \cdot F}{12 \cdot E \cdot r^4 \cdot \pi}$$

f maximale Durchbiegung, z. B. in m
l Länge des homogenen Stabes, z. B. in m
F Kraft, z. B. in N
E Elastizitätsmodul des Stabmaterials, z. B. in $N \cdot m^{-2}$
A Querschnittsfläche des Stabes, z. B. in m^2
r Radius des Stabquerschnitts, z. B. in m

Auf einen Barrenholm mit kreisförmigem Querschnitt, einem Durchmesser von 42 mm und einer Länge von 2,0 m zwischen den Rohrsäulen wird in der Mitte des Holms von einem Turner beim einarmigen Handstand eine Kraft von 650 N ausgeübt. Wie groß ist die Durchbiegung des Holmes bei einem Elastizitätsmodul $E = 0{,}12 \cdot 10^{11}\ N \cdot m^{-2}$?

Gegeben:
$d = 42\ mm = 42 \cdot 10^{-3}\ m$
$l = 2{,}0\ m$
$F = 650\ N$
$E = 0{,}12 \cdot 10^{11}\ N \cdot m^{-2}$

Gesucht:
f

Lösung:

$$f = \frac{l^3 \cdot F}{12 \cdot E \cdot r^4 \cdot \pi}$$

$$f = \frac{2{,}0\ m \cdot 2{,}0\ m \cdot 2{,}0\ m \cdot 650\ N}{12 \cdot 0{,}12 \cdot 10^{11}\ N \cdot m^{-2} \cdot (21 \cdot 10^{-3}\ m)^4 \cdot 3{,}14}$$

$$f = 0{,}059\ m$$

$$\underline{\underline{f = 5{,}9\ cm}}$$

Ergebnis: Der Barrenholm biegt sich unter dieser Gewichtskraft um etwa 6 cm durch.

Berechnung des Radius der Kreisbahn eines senkrecht zu den Feldlinien in ein homogenes Magnetfeld eintretenden Elektronenstrahles

Zum Berechnen des Radius der Kreisbahn senkrecht zu den Feldlinien eines homogenen Magnetfeldes eintretender geladener Teilchen benutzt man die Gleichung

$r = \frac{m}{e} \cdot \frac{v}{B}$	r	Radius der Kreisbahn, z. B. in m
	m	Masse der Teilchen, z. B. in kg
	e	Ladung der Teilchen, z. B. in C
	v	Geschwindigkeit, mit der die Teilchen senkrecht in das homogene Magnetfeld eintreten, z. B. in $m \cdot s^{-1}$
	B	magnetische Induktion des Magnetfeldes, z. B. in T

■ Ein Elektronenstrahl tritt senkrecht zu den Feldlinien in ein homogenes Magnetfeld mit der magnetischen Flußdichte $B = 2{,}0 \cdot 10^{-3}$ T mit einer Anfangsgeschwindigkeit $v = 2{,}0 \cdot 10^{7}\ m \cdot s^{-1}$ ein. Wie groß ist der Radius der Kreisbahn, die die Ladungsträger in diesem Feld beschreiben?

Gegeben:

$$\frac{e}{m} = 1{,}76 \cdot 10^{11}\ C \cdot kg^{-1}$$
$$B = 2{,}0 \cdot 10^{-3}\ T = 2{,}0 \cdot 10^{-3}\ V \cdot s \cdot m^{-2}$$
$$v = 2{,}0 \cdot 10^{7}\ m \cdot s^{-1}$$

Gesucht:

r

Lösung:

$$r = \frac{m}{e} \cdot \frac{v}{B}$$

$$r = \frac{2{,}0 \cdot 10^{7}\ m \cdot s^{-1}}{1{,}76 \cdot 10^{11}\ C \cdot kg^{-1} \cdot 2{,}0 \cdot 10^{-3}\ V \cdot s \cdot m^{-2}}$$

$$r = 0{,}57 \cdot 10^{-1}\ \frac{kg \cdot m^{2} \cdot m}{V \cdot A \cdot s^{3}}$$

$$r = 0{,}057\ \frac{W}{W} \cdot m$$

$$r = 0{,}057\ m$$

$$\underline{\underline{r = 5{,}7\ cm}}$$

Ergebnis: Der vom Elektronenstrahl durchlaufene Halbkreis hat einen Radius von 5,7 cm.

5/1

Berechnung des Radius eines Atomkerns aus der relativen Atommasse

Zum Berechnen des Radius eines Atomkerns benutzt man die Gleichung

$R \approx r_0 \cdot \sqrt[3]{A_r}$	R Radius des Atomkerns, z. B. in m r_0 $1{,}3 \cdot 10^{-15}$ m A_r relative Atommasse

■ Wie groß ist der Radius des Atomkerns eines Aluminiumatoms?

Gegeben:
$r_0 = 1{,}3 \cdot 10^{-15}$ m
$A_r = 27$

Gesucht:
R

Lösung:
$R \approx r_0 \cdot \sqrt[3]{A_r}$
$R \approx 1{,}3 \cdot 10^{-15}\ \text{m} \cdot \sqrt[3]{27}$
$R \approx 1{,}3 \cdot 10^{-15} \cdot 3\ \text{m}$
$\underline{\underline{R \approx 3{,}9 \cdot 10^{-15}\ \text{m}}}$

Ergebnis: Der Radius des Atomkerns eines Aluminiumatoms mit der relativen Atommasse $A_r = 27$ beträgt etwa $3{,}9 \cdot 10^{-15}$ m.

Berechnung einer Wellenlänge aus der Frequenz

Zum Berechnen der Wellenlänge einer elektromagnetischen Welle benutzt man die Gleichung für die Ausbreitungsgeschwindigkeit einer Welle.

$c = \lambda \cdot f$	c Ausbreitungsgeschwindigkeit der Welle, z. B. in $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ λ Wellenlänge, z. B. in m f Frequenz, z. B. in Hz

■ Wie groß ist die Wellenlänge der vom Sender Dresden bei einer Frequenz von 1 043 kHz ausgestrahlten elektromagnetischen Welle?

Gegeben:
$f = 1\,043\ \text{kHz} = 1\,043 \cdot 10^3\ \text{s}^{-1}$
$c = 3{,}00 \cdot 10^8\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

Gesucht:
λ

Lösung:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

$$\lambda = \frac{3{,}00 \cdot 10^8\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}}{1\,043 \cdot 10^3\ \text{s}^{-1}}$$

$$\underline{\underline{\lambda \approx 288\ \text{m}}}$$

Ergebnis: Der Sender Dresden sendet mit einer Wellenlänge von rund 288 m im Mittelwellenbereich.

Berechnung einer Länge aus einem Maßstab

Der Maßstab gibt das Verhältnis der gezeichneten Länge (Abbildungsgröße) zur tatsächlichen Länge (Gegenstandsgröße) an. Zum Berechnen der zu zeichnenden Länge benutzt man die Gleichung für den Maßstab

$M = \frac{a}{g}$	M Maßstab a Abbildungsgröße, z. B. in mm g Gegenstandsgröße, z. B. in mm

■ Zur Herstellung einer 1 300 mm breiten Treppenstufe soll eine technische Zeichnung angefertigt werden. Dabei ist der Maßstab 1 : 10 anzuwenden. Wie breit ist die Treppenstufe zu zeichnen?

Gegeben:
$M = 1:10$
$g = 1\,300$ mm

Gesucht:
a

Lösung:

$$M = \frac{a}{g}$$

$$a = M \cdot g$$

$$a = \frac{1}{10} \cdot 1\,300 \text{ mm}$$

$$\underline{\underline{a = 130 \text{ mm}}}$$

Ergebnis: Die Treppenstufe ist 130 mm breit zu zeichnen.

Berechnung eines Schneidspalts

Zum Berechnen des optimalen Schneidspalts von Handhebelscheren benutzt man die Gleichung

$b = 0{,}1 \cdot s$	b optimaler Schneidspalt, z. B. in m s Dicke des zu schneidenden Materials, z. B. in m

■ Ein Stahlblech mit einer Dicke von 5,0 mm wird mit einer Handhebelschere getrennt. Wie groß ist der optimale Schneidspalt?

Gegeben:
$s = 5{,}0 \text{ mm} = 5{,}0 \cdot 10^{-3}$ m

Gesucht:
b

Lösung:

$$b = 0{,}1 \cdot 5{,}0 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$b = 5 \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

$$\underline{\underline{b = 0{,}5 \text{ mm}}}$$

Ergebnis: Der optimale Schneidspalt beträgt 0,5 mm.

5/1

Berechnung der Klemmlänge eines Niets aus Nietschaftlänge und Nietkopfzugabe

Zum Berechnen der Klemmlänge eines Niets benutzt man die Gleichungen für die Nietschaftlänge und die Nietkopfzugabe.

Gleichung zur Berechnung der Nietschaftlänge	Gleichung zur Berechnung der Nietkopfzugabe
$l = s + z$	$z = 1{,}5 \cdot d$

$$l = s + 1{,}5\ d$$

$$s = l - 1{,}5\ d$$

l Nietschaftlänge, z. B. in mm
s Klemmlänge, z. B. in mm
z Nietkopfzugabe, z. B. in mm
d Nietdurchmesser, z. B. in mm

Zum Verbinden von Stahlplatten stehen Halbrundniete mit einem Durchmesser von 8 mm und einer Nietschaftlänge von 40 mm zur Verfügung. Wie groß ist die Klemmlänge?

Gegeben:

$l = 40$ mm
$d = 8$ mm

Gesucht:

s

Lösung:

$s = l - 1{,}5 \cdot d$

$s = (40 - 1{,}5 \cdot 8)$ mm

$s = (40 - 12)$ mm

$\underline{\underline{s = 28 \text{ mm}}}$

Ergebnis: Die Klemmlänge beträgt 28 mm.

Berechnung eines Bohrerdurchmessers bei gefordertem Innengewinde

Zum Berechnen des Bohrerdurchmessers für ein gefordertes Innengewinde benutzt man die Gleichung

$d_B = d - P$	d_B Durchmesser des Bohrers, z. B. in mm d Nenndurchmesser des geforderten Innengewindes, z. B. in mm P Steigung, z. B. in mm

Zur Herstellung eines Innengewindes M 6 mit der Steigung 1 mm ist ein Gewindekernloch zu bohren. Welchen Durchmesser muß der zu verwendende Bohrer haben?

Gegeben:
$d = 6{,}0$ mm
$P = 1{,}0$ mm

Gesucht:
d_B

Lösung:
$d_B = d - P$
$d_B = (6{,}0 - 1{,}0)$ mm
$\underline{\underline{d_B = 5{,}0 \text{ mm}}}$

Ergebnis: Es ist ein Bohrer mit einem Durchmesser von 5 mm zu verwenden.

5.1.2. Fläche

Art der Einheit	Formelzeichen	Benennung der Einheit	Einheitenzeichen	Einheitengleichung
abgeleitete Einheit	A	Quadratmeter	m^2	$[A] = [l]^2$ $1\,m^2 = 1\,m \cdot 1\,m$
Zulässige und übliche Vielfache und Teile der Einheit				
μm^2, mm^2, cm^2, dm^2, km^2				

5/1

Berechnung der Querschnittsfläche eines zylindrischen Drahtes aus seinem Durchmesser

Zum Berechnen der Querschnittsfläche eines zylindrischen Drahtes benutzt man die Gleichung zur Berechnung einer Kreisfläche:

$A = \pi \cdot \frac{d^2}{4}$	A Querschnittsfläche, z. B. in mm^2 d Durchmesser des Kreises, z. B. in mm

■ Mit einer Feinmeßschraube wird der Durchmesser eines zylindrischen Drahtes zu $d = 3{,}12$ mm bestimmt. Wie groß ist seine Querschnittsfläche?

Gegeben:
$d = 3{,}12$ mm

Gesucht:
A

Lösung:

$$A = \frac{d^2}{4} \cdot \pi$$

$$A = \frac{(3{,}12\ \text{mm})^2 \cdot 3{,}14}{4}$$

$$\underline{\underline{A = 7{,}64\ \text{mm}^2}}$$

Ergebnis: Die Querschnittsfläche des Drahtes beträgt 7,64 mm^2.

5.1.3. Volumen

Art der Einheit	Formelzeichen	Benennung der Einheit	Einheitenzeichen	Einheitengleichung
abgeleitete Einheit	V	Kubikmeter	m^3	$[V] = [l]^3$ $1\ m^3 =$ $1\ m \cdot 1\ m \cdot 1\ m$
Zulässige und übliche Vielfache und Teile der Einheit				
mm^3, cm^3, dm^3, km^3; µl, ml, cl, dl, l, hl				

Berechnung der Volumenänderung auf Grund einer Temperaturänderung

Zum Berechnen der Volumenänderung bei Temperaturänderung benutzt man die entsprechende Gleichung und die Gleichung zur Berechnung einer Temperaturdifferenz.

Gleichung zur Berechnung der Volumenänderung bei Temperaturänderung	Gleichung zur Berechnung einer Temperaturdifferenz
$\Delta V = \gamma \cdot V_0 \cdot \Delta\vartheta$	$\Delta\vartheta = \vartheta_2 - \vartheta_1$

$$\Delta V = \gamma \cdot V_0 (\vartheta_2 - \vartheta_1)$$

ΔV Volumenänderung, z. B. in m^3 γ Volumen-Temperatur-Koeffizient, z. B. in K^{-1} V_0 Anfangsvolumen, z. B. in m^3	$\Delta\vartheta$ Temperaturänderung, z. B. in K ϑ_1 Anfangstemperatur, z. B. in °C ϑ_2 Endtemperatur, z. B. in °C

Eine Warmwasserheizung ist mit 1 000 l Wasser gefüllt.
Wieviel Wasser tritt in das Überlaufgefäß ein, wenn das Wasser von 20 °C auf 80 °C erwärmt wird? Volumen-Temperatur-Koeffizient des Wassers:
$\gamma_W = 18 \cdot 10^{-5}\ K^{-1}$

Gegeben:

$V_0 = 1\,000$ l

$\vartheta_1 = 20$ °C

$\vartheta_2 = 80$ °C

$\gamma_W = 18 \cdot 10^{-5}\ K^{-1}$

Gesucht:

ΔV

Lösung:

$\Delta V = \gamma_W \cdot V_0 (\vartheta_2 - \vartheta_1)$

$\Delta V = 18 \cdot 10^{-5}\ K^{-1} \cdot 1\,000\ l \cdot (80\ °C - 20\ °C)$

$\Delta V = 18 \cdot 1\,000 \cdot 60 \cdot 10^{-5}\ K^{-1} \cdot l \cdot K$

$\Delta V = 1\,080\,000 \cdot 10^{-5}\ l$

$\Delta V = 10{,}8\ l$

$\underline{\underline{\Delta V \approx 11\ l}}$

Ergebnis: In das Überlaufgefäß treten etwa 11 l Wasser ein.

Berechnung des Volumens eines idealen Gases aus Druck und Temperatur

Zum Berechnen des Volumens eines idealen Gases aus Druck und Temperatur für zwei verschiedene Zustände benutzt man die Gleichung

$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2}$	p_1, p_2 Druck in den Zuständen 1 und 2, z. B. in Pa V_1, V_2 Volumen in den Zuständen 1 und 2, z. B. in l T_1, T_2 Temperatur in den Zuständen 1 und 2, z. B. in K

5/1

Die Kelvin-Temperatur T ergibt sich aus der Celsius-Temperatur ϑ nach der Gleichung:

$$\frac{T}{\mathrm{K}} = \frac{\vartheta}{^\circ\mathrm{C}} + 273{,}15.$$

■ Eine Sauerstoffflasche wurde bei der Temperatur $\vartheta = 20\,^\circ\mathrm{C}$ unter einem Druck $p_1 = 15$ MPa gefüllt. Ihr Fassungsvermögen beträgt 50 l. Welches Volumen Sauerstoff mit einem Druck $p_2 = 0{,}4$ MPa ist bei einer Temperatur $\vartheta = 30\,^\circ\mathrm{C}$ verfügbar?

Gegeben:

$p_1 = 15\ \mathrm{MPa} = 15 \cdot 10^6\ \mathrm{Pa}$
$p_2 = 0{,}4\ \mathrm{MPa} = 0{,}4 \cdot 10^6\ \mathrm{Pa}$
$V_1 = 50\ \mathrm{l}$
$\vartheta_1 = 20\,^\circ\mathrm{C};\ T_1 \approx 293\ \mathrm{K}$
$\vartheta_2 = 30\,^\circ\mathrm{C};\ T_2 \approx 303\ \mathrm{K}$

Gesucht:

V_2

Lösung:

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2}$$

$$V_2 = \frac{p_1 \cdot V_1 \cdot T_2}{T_1 \cdot p_2}$$

$$V_2 = \frac{15 \cdot 10^6\ \mathrm{Pa} \cdot 50\ \mathrm{l} \cdot 303\ \mathrm{K}}{293\ \mathrm{K} \cdot 0{,}4 \cdot 10^6\ \mathrm{Pa}}$$

$$V_2 = \frac{15 \cdot 50 \cdot 303 \cdot 10^6\ \mathrm{Pa} \cdot \mathrm{l} \cdot \mathrm{K}}{293 \cdot 0{,}4 \cdot 10^6\ \mathrm{K} \cdot \mathrm{Pa}}$$

$$\underline{\underline{V_2 \approx 1{,}94 \cdot 10^3\ \mathrm{l}}}$$

Ergebnis: Bei der Temperatur 30 °C sind 1 940 l Sauerstoff mit einem Druck von 0,4 MPa verfügbar.

Berechnung des Volumens eines Stoffes aus dem Volumen eines anderen Stoffes bei chemischen Reaktionen

Zum Berechnen des Volumens eines Stoffes aus dem Volumen eines anderen Stoffes bei chemischen Reaktionen sind die Stoffmengen der Ausgangsstoffe und der Reaktionsprodukte aus chemischen Gleichungen zu entnehmen. Da bei gasförmigen Stoffen direkte Proportionalität zwischen der Stoffmenge und dem Volumen besteht, ist für diese Berechnung folgende Gleichung zu benutzen:

$\frac{V_1}{V_2} = \frac{n_1}{n_2}$	V_1 gesuchtes Volumen, z. B. in l V_2 gegebenes Volumen, z. B. in l n_1 Stoffmenge des Stoffes, dessen Volumen gesucht ist, z. B. in mol n_2 Stoffmenge des Stoffes, dessen Volumen gegeben ist, z. B. in mol

Welches Volumen Ammoniak kann bei der Reaktion von 6 l Wasserstoff mit Stickstoff (vollständiger Umsatz) hergestellt werden?

Gegeben:

$V_2 = 6\,\text{l}$

$n_1 = 2\,\text{mol}$ Index 1 $\triangleq NH_3$

$n_2 = 3\,\text{mol}$ Index 2 $\triangleq H_2$

Gesucht:

V_1

Lösung:

$3\,H_2 + N_2 \rightarrow 2\,NH_3$

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{n_1}{n_2}$$

$$V_1 = \frac{n_1 \cdot V_2}{n_2}$$

$$V_1 = \frac{2\,\text{mol} \cdot 6\,\text{l}}{3\,\text{mol}}$$

$$\underline{\underline{V_1 = 4\,\text{l}}}$$

Ergebnis: Aus 6 l Wasserstoff können bei vollständigem Umsatz 4 l Ammoniak hergestellt werden.

Berechnung des Volumens eines Stoffes aus der Masse eines anderen Stoffes bei chemischen Reaktionen

Zum Berechnen des Volumens eines Stoffes aus der Masse eines anderen Stoffes bei chemischen Reaktionen sind die Stoffmengen der Ausgangsstoffe und der Reaktionsprodukte aus chemischen Gleichungen zu entnehmen. Da bei chemischen Reaktionen Proportionalität zwischen der Stoffmenge und der Masse sowie zwischen der Stoffmenge und dem Volumen besteht, ist für diese Berechnung folgende Gleichung zu benutzen, die sich aus der Definitionsgleichung des molaren Volumens und der Definitionsgleichung der molaren Masse ergibt:

$\frac{V_1}{m_2} = \frac{n_1}{n_2} \cdot \frac{V_m}{M_2}$	V_1 gesuchtes Volumen, z. B. in l m_2 gegebene Masse, z. B. in g n_1 Stoffmenge des Stoffes, dessen Volumen gesucht ist, z. B. in mol n_2 Stoffmenge des Stoffes, dessen Masse gegeben ist, z. B. in mol V_m molares Volumen des Stoffes, dessen Volumen gesucht ist, z. B. in $\text{l} \cdot \text{mol}^{-1}$ M_2 molare Masse des Stoffes, dessen Masse gegeben ist, z. B. in $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$

5/1

■ Bei der Reaktion von Chlorwasserstoffsäure mit 10 g Kalziumkarbonat wird in einem Gasentwickler Kohlendioxid hergestellt. Berechne das Volumen des entstehenden Kohlendioxids!

Gegeben:

$n_1 = 1\ \text{mol}$

$V_m = 22{,}4\ \text{l} \cdot \text{mol}^{-1}$ Index 1 ≙ CO_2

$m_2 = 10\ \text{g}$ Index 2 ≙ $CaCO_3$

$n_2 = 1\ \text{mol}$

$M_2 = 100\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$

Gesucht:

V_1

Lösung:

$CaCO_3 + 2\,HCl \rightarrow CaCl_2 + H_2O + CO_2$

$$\frac{V_1}{m_2} = \frac{n_1 \cdot V_m}{n_2 \cdot M_2}$$

$$V_1 = \frac{n_1 \cdot V_m \cdot m_2}{n_2 \cdot M_2}$$

$$V_1 = \frac{1\ \text{mol} \cdot 22{,}4\ \text{l} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot 10\ \text{g}}{1\ \text{mol} \cdot 100\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}}$$

$$\underline{\underline{V_1 = 2{,}2\ \text{l}}}$$

Ergebnis: Aus 10 g Kalziumkarbonat lassen sich 2,2 l Kohlendioxid herstellen.

Berechnung des Volumens einer Lösung aus dem Volumen der anderen Lösung und den Stoffmengenkonzentrationen der beiden Lösungen

Zum Berechnen des Volumens einer Lösung aus dem Volumen der anderen Lösung und den Stoffmengenkonzentrationen der beiden Lösungen benutzt man folgende Gleichung:

$c_{B,1} \cdot V_1 = c_{B,2} \cdot V_2$	$c_{B,1}$	Stoffmengenkonzentration der herzustellenden Lösung, z. B. in $\text{mol} \cdot \text{l}^{-1}$
	V_1	gesuchtes Volumen, z. B. in l
	$c_{B,2}$	Stoffmengenkonzentration der bekannten Lösung, z. B. in $\text{mol} \cdot \text{l}^{-1}$
	V_2	Volumen der bekannten Lösung, z. B. in l

■ Aus einer 14 M Äthansäurelösung sollen 700 ml einer 0,5 M Äthansäurelösung durch Verdünnen mit Wasser hergestellt werden. Welches Volumen der konzentrierten Äthansäurelösung wird benötigt?

Gegeben:

$c_{B,1} = 14\ \text{mol} \cdot \text{l}^{-1}$

$c_{B,2} = 0{,}5\ \text{mol} \cdot \text{l}^{-1}$

$V_2 = 700\ \text{ml}$

Gesucht:

V_1

Lösung:

$$c_{B,1} \cdot V_1 = c_{B,2} \cdot V_2$$

$$V_1 = \frac{c_{B,2} \cdot V_2}{c_{B,1}}$$

$$V_1 = \frac{0{,}5\ \text{mol} \cdot \text{l}^{-1} \cdot 700\ \text{ml}}{14\ \text{mol} \cdot \text{l}^{-1}}$$

$$\underline{\underline{V_1 = 25\ \text{ml}}}$$

Ergebnis: Zur Herstellung von 700 ml 0,5 M Äthansäurelösung werden 25 ml einer 14 M Äthansäurelösung benötigt.

5.1.4. Ebener Winkel

Art der Einheit	Formelzeichen	Benennung der Einheit	Einheitenzeichen	Einheitengleichung
ergänzende Einheit	$\alpha, \beta, \gamma, \varphi$	Radiant	rad	$[\varphi] = \frac{[l]}{[l]}$ $1\ \mathrm{rad} = \frac{1\ \mathrm{m}}{1\ \mathrm{m}} = 1\ \mathrm{m} \cdot \mathrm{m}^{-1}$
Zulässige und übliche Vielfache und Teile der Einheit				
µrad, mrad — °, ′, ″				

Berechnung des Winkels, der zu einem Kreisbogen mit dem Radius *r* gehört

Zum Berechnen des Winkels, der zu einem Kreisbogen mit dem Radius r gehört (Bild 5/1), benutzt man die Gleichung

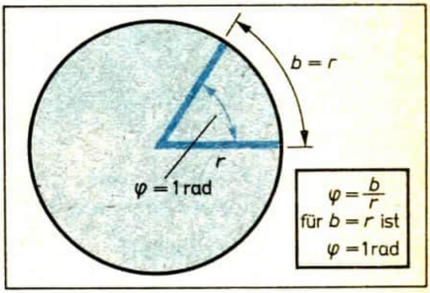


Bild 5/1

$\varphi = \frac{b}{r}$ Es gilt: $1\ \mathrm{rad} = 57{,}3°$	φ ebener Winkel, z. B. in rad b Kreisbogen, z. B. in m r Radius des Kreises, z. B. in m

Welchen Winkel überstreicht der 40 cm lange Zeiger einer Turmuhr, dessen Spitze einen Weg von 1,2 m zurücklegt?

Gegeben:

$b = 1{,}2\ \mathrm{m}$

$r = 40\ \mathrm{cm} = 40 \cdot 10^{-2}\ \mathrm{m}$

Gesucht:

φ

Lösung:

$$\varphi = \frac{b}{r}$$

$$\varphi = \frac{1{,}2\ \mathrm{m}}{40 \cdot 10^{-2}\ \mathrm{m}}$$

$$\varphi = 3\ \mathrm{rad}$$

Da $1\ \mathrm{rad} = 57{,}3°$ folgt

$$\varphi = \frac{57{,}3°}{1\ \mathrm{rad}} \cdot 3\ \mathrm{rad}$$

$$\underline{\underline{\varphi = 172°}}$$

Ergebnis: Der Zeiger der Turmuhr überstreicht einen Winkel von 172°.

5/1

Berechnung des Neigungswinkels aus der Radial- und Fallbeschleunigung

Zum Berechnen des Neigungswinkels einer überhöhten Kurve benutzt man die Gleichungen für die Radialbeschleunigung bei der Kreisbewegung und für den Zusammenhang zwischen Radial- und Fallbeschleunigung.

Gleichung zur Berechnung der Radialbeschleunigung bei der Kreisbewegung	**Gleichung für den Zusammenhang zwischen Radial- und Fallbeschleunigung**
$a_r = \dfrac{v^2}{r}$	$a_r = g \cdot \tan\alpha$

$$\tan\alpha = \frac{v^2}{r \cdot g}$$

a_r Radialbeschleunigung, z. B. in $m \cdot s^{-2}$
v Bahngeschwindigkeit, z. B. in $m \cdot s^{-1}$
r Krümmungsradius der Bahn, z. B. in m
g Fallbeschleunigung, z. B. in $m \cdot s^{-2}$
α Neigungswinkel der Kurve, z. B. in °

■ Welchen Neigungswinkel muß die Überhöhung einer Kurve mit dem Radius $r = 30$ m einer Rennrodelbahn erhalten, wenn man Geschwindigkeiten von $v = 80\,\frac{\text{km}}{\text{h}}$ erwartet?

Gegeben:

$r = 30$ m

$v = 80 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1} = \frac{80}{3{,}6}\,\text{m} \cdot \text{s}^{-1} = 22{,}2\,\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

$g = 9{,}81\,\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$

Gesucht:

α

Lösung:

$$\tan\alpha = \frac{v^2}{r \cdot g}$$

$$\tan\alpha = \frac{(22{,}2\,\text{m} \cdot \text{s}^{-1})^2}{30\,\text{m} \cdot 9{,}81\,\text{m} \cdot \text{s}^{-2}}$$

$$\tan\alpha = \frac{22{,}2 \cdot 22{,}2\,\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}}{30 \cdot 9{,}81\,\text{m} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}}$$

$$\tan\alpha = 1{,}67$$

$$\underline{\underline{\alpha = 59^\circ}}$$

Ergebnis: Der Neigungswinkel der Kurve gegen die Horizontale muß etwa 60° betragen.

Berechnung des Brechungswinkels von Licht aus Einfallswinkel und Brechzahlen

Zum Berechnen des Brechungswinkels eines Lichtstrahles beim Übergang von einem Stoff mit der Brechzahl n_1 in einen Stoff mit der Brechzahl n_2 benutzt man das Snelliussche Brechungsgesetz (Bild 5/2):

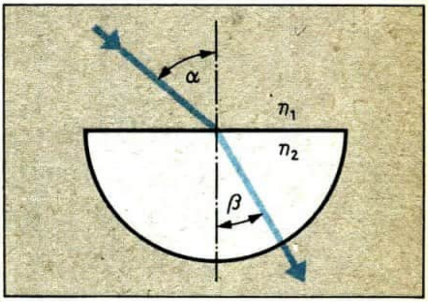


Bild 5/2

$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{n_2}{n_1} = n$	α Einfallswinkel des Lichtstrahles, z. B. in ° β Brechungswinkel des Lichtstrahles, z. B. in ° n_1, n_2 Brechungszahlen der Stoffe 1 und 2

Licht der Wellenlänge $\lambda = 589{,}3$ mm fällt aus Luft unter einem Winkel $\alpha = 50°$ auf einen Halbrundkörper aus Polystyrol ($n = 1{,}59$). Wie groß ist der Brechungswinkel?

Gegeben:
$n_1 = 1$
$n_2 = 1{,}59$
$\alpha = 50°$

Gesucht:
β

Lösung:

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{n_2}{n_1}$$

$$\sin\beta = \frac{n_1}{n_2} \cdot \sin\alpha$$

$$\sin\beta = \frac{1}{1{,}59} \cdot \sin 50°$$

$$\sin\beta = \frac{1}{1{,}59} \cdot 0{,}766$$

$$\sin\beta = 0{,}482$$

$$\underline{\underline{\beta = 29°}}$$

Ergebnis: Das Licht verläuft im Polystyrolkörper unter einem Winkel $\beta = 29°$ gegen das Einfallslot.

5.1.5. Raumwinkel

Art der Einheit	Formelzeichen	Benennung der Einheit	Einheitenzeichen	Einheitengleichung
ergänzende Einheit	Ω	Steradiant	sr	$[\Omega] = \frac{[A]}{[A]}$ $1\ \text{sr} = \frac{1\ \text{m}^2}{1\ \text{m}^2}$

5/1

Berechnung des Raumwinkels aus Kugelfläche und Kugelradius

Zum Berechnen des Raumwinkels (Bild 5/3) benutzt man die Gleichung

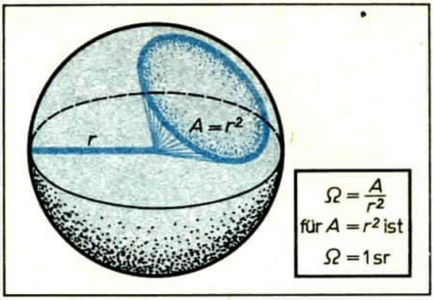


Bild 5/3

$\Omega = \frac{A}{r^2}$	Ω Raumwinkel, z. B. in sr A Quadratfläche auf einer Kugel, z. B. in cm^2 r Kugelradius, z. B. in cm

Gesucht ist der Raumwinkel eines vom Brennpunkt einer Sammellinse ausgehenden Lichtkegels, der in einer Entfernung von 20 cm eine Fläche von 628 cm^2 beleuchtet.

Gegeben:
$A = 628\,cm^2$
$r = 20\,cm$

Gesucht:
Ω

Lösung:

$$\Omega = \frac{A}{r^2}$$

$$\Omega = \frac{628 \cdot cm^2}{(20 \cdot cm)^2}$$

$$\Omega = \frac{628\,cm^2}{400\,cm^2}$$

$$\Omega = 1{,}57\,\frac{cm^2}{cm^2}$$

$$\underline{\underline{\Omega = 1{,}57\,sr}}$$

Ergebnis: Das Licht fällt unter einem Raumwinkel von 1,57 sr auf die 20 cm entfernte Fläche.

5.1.6. Zeit

Art der Einheit	Formelzeichen	Benennung der Einheit	Einheitenzeichen	Einheitengleichung
Basiseinheit	t	Sekunde	s	$[t] = 1\,s$
Zulässige und übliche Vielfache und Teile der Einheit				
ns, µs, ms, ks – min, h, d; Wo., Mon., a (zulässige Kalendereinheiten)				

Berechnung der Steigzeit beim schrägen Wurf

Zum Berechnen der Steigzeit eines Körpers, der unter einem Winkel α gegen die Horizontale mit der Anfangsgeschwindigkeit v_0 abgeworfen wird, benutzt man die Gleichung

$t = \frac{1}{g} \cdot v_0 \cdot \sin\alpha$	t Steigzeit, z. B. in s g Fallbeschleunigung, z. B. in $m \cdot s^{-2}$ v_0 Anfangsgeschwindigkeit, z. B. in $m \cdot s^{-1}$ α Abwurfwinkel, z. B. in °

■ Ein Schlagball wird unter einem Winkel $\alpha = 45°$ mit einer Anfangsgeschwindigkeit $v_0 = 25\ m \cdot s^{-1}$ abgeworfen. Wie lange steigt der Ball?

Gegeben:

$\alpha = 45°$

$v_0 = 25\ m \cdot s^{-1}$

$g = 9{,}81\ m \cdot s^{-2}$

Gesucht:

t

Lösung:

$$t = \frac{1}{g} \cdot v_0 \cdot \sin\alpha$$

$$t = \frac{25\ m \cdot s^{-1} \cdot \sin 45°}{9{,}81\ m \cdot s^{-2}}$$

$$t = \frac{25 \cdot 0{,}7071\ m \cdot s^{-1}}{9{,}81\ m \cdot s^{-2}}$$

$$\underline{\underline{t = 1{,}8\ s}}$$

Ergebnis: Der Ball erreicht nach 1,8 s seine größte Höhe.

Berechnung der Schwingungsdauer einer elektromagnetischen Schwingung aus Induktivität und elektrischer Kapazität

Zum Berechnen der Schwingungsdauer einer elektromagnetischen Schwingung benutzt man die Thomsonsche Schwingungsgleichung.

$T = 2\pi\sqrt{L \cdot C}$	T Schwingungsdauer einer elektromagnetischen Schwingung, z. B. in s L Selbstinduktivität der Schwingkreisspule, z. B. in H C elektrische Kapazität des Schwingkreiskondensators, z. B. in F

■ Ein Schwingkreis besteht aus einer Spule mit einer Selbstinduktivität $L = 2{,}00\ mH$ und einem Kondensator mit der elektrischen Kapazität $C = 500\ pF$. Wie groß ist die Periodendauer der elektromagnetischen Schwingung?

5/1

Gegeben:

$$L = 2{,}00\ \mathrm{mH} = 2{,}00 \cdot 10^{-3}\ \mathrm{H} = 2{,}00 \cdot 10^{-3}\ \frac{\mathrm{V \cdot s}}{\mathrm{A}}$$

$$C = 500\ \mathrm{pF} = 500 \cdot 10^{-12}\ \mathrm{F} = 500 \cdot 10^{-12}\ \frac{\mathrm{A \cdot s}}{\mathrm{V}}$$

Gesucht:

T

Lösung:

$$T = 2\pi\sqrt{L \cdot C}$$

$$T = 2 \cdot 3{,}14\ \sqrt{2{,}00 \cdot 10^{-3}\ \frac{\mathrm{V \cdot s}}{\mathrm{A}} \cdot 500 \cdot 10^{-12} \cdot \frac{\mathrm{A \cdot s}}{\mathrm{V}}}$$

$$T = 6{,}28\ \sqrt{2{,}00 \cdot 500 \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-12}\ \frac{\mathrm{V \cdot s \cdot A \cdot s}}{\mathrm{A \cdot V}}}$$

$$T = 6{,}28\ \sqrt{10^{-12}\ \frac{\mathrm{V \cdot s \cdot A \cdot s}}{\mathrm{A \cdot V}}}$$

$$T = 6{,}28 \cdot 10^{-6}\ \mathrm{s}$$

$$\underline{\underline{T = 6{,}28\ \mu\mathrm{s}}}$$

Ergebnis: Die Periodendauer der elektromagnetischen Schwingung beträgt 6,28 µs.

Berechnung der Halbwertzeit aus der Zerfallskonstanten

Zum Berechnen der Zeit, in der die Hälfte der Teilchen eines radioaktiven Nuklids zerfällt, benutzt man das statistische Gesetz des radioaktiven Zerfalls

$T_{\frac{1}{2}} = \frac{\ln 2}{\lambda}$	$T_{\frac{1}{2}}$ Halbwertzeit, z. B. in s λ Zerfallskonstante, z. B. in s^{-1}

Die Zerfallskonstante des im Unterricht verwendeten β-Strahlers ^{137}Cs beträgt $\lambda = 267 \cdot 10^{-3}\ \mathrm{s}^{-1}$. Mit welcher Halbwertzeit zerfällt dieses Nuklid?

Gegeben:

$\lambda = 267 \cdot 10^{-3}\ \mathrm{s}^{-1}$

Gesucht:

$T_{\frac{1}{2}}$

Lösung:

$$T_{\frac{1}{2}} = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

$$T_{\frac{1}{2}} = \frac{0{,}693}{267 \cdot 10^{-3}\ \mathrm{s}^{-1}}$$

$$T_{\frac{1}{2}} = 2{,}595 \cdot 10^{6}\ \mathrm{s}$$

$$T_{\frac{1}{2}} = 2{,}595 \cdot 10^{6} \cdot \frac{1}{86\,400}\ \mathrm{a}$$

$$\underline{\underline{T_{\frac{1}{2}} = 30\ \mathrm{a}}}$$

Ergebnis: Die Halbwertzeit des Nuklids ^{137}Cs beträgt 30 Jahre.

5.1.7. Frequenz

Art der Einheit	Formelzeichen	Benennung der Einheit	Einheitenzeichen	Einheitengleichung
abgeleitete Einheit	f	Hertz	Hz	$[f] = \frac{1}{[t]}$ $1\,\text{Hz} = \frac{1}{1\,\text{s}}$ $= 1\,\text{s}^{-1}$
Zulässige und übliche Vielfache und Teile der Einheit				
kHz, MHz, GHz — $\frac{1}{\text{min}}, \frac{1}{\text{h}}, \frac{\text{U}}{\text{s}}, \frac{\text{U}}{\text{min}}, \frac{\text{U}}{\text{h}}$				

Berechnung der Frequenz aus der Anzahl der Vorgänge und der Zeit

Zum Berechnen der Frequenz benutzt man die Gleichung

$f = \frac{N}{t}$	f Frequenz, z. B. in Hz N Anzahl der Vorgänge t Zeit, z. B. in s

Mit welcher Frequenz schwingt eine Stimmgabel, die in 15 s 1905 Schwingungen ausführt?

Gegeben:
$N = 1\,905$
$t = 15\,\text{s}$

Gesucht:
f

Lösung:

$$f = \frac{N}{t}$$

$$f = \frac{1\,905}{15\,\text{s}}$$

$$f = 127\,\text{s}^{-1}$$

$$\underline{\underline{f = 127\,\text{Hz}}}$$

Ergebnis: Die Stimmgabel schwingt mit der Frequenz 127 Hz.

Berechnung der Drehzahl für ein Keilriemengetriebe aus den Durchmessern der Riemenscheiben und der Drehzahl der Antriebsscheibe

Zum Berechnen der Drehzahl für ein Keilriemengetriebe benutzt man, bei Vernachlässigung des Schlupfes, die Gleichung für die Verhältnisse der Durchmesser der Riemenscheiben und ihrer Drehzahlen.

$i = \frac{d_2}{d_1} = \frac{n_1}{n_2}$	i Übersetzungsverhältnis d_2 Durchmesser des getriebenen Rades, z. B. in mm d_1 Durchmesser des Antriebsrades, z. B. in mm n_1 Drehzahl des Antriebsrades, z. B. in min^{-1} n_2 Drehzahl des getriebenen Rades, z. B. in min^{-1}

■ Ein Elektromotor mit einer Nenndrehzahl von 925 min^{-1} treibt über ein Keilriemengetriebe ein Gebläse an. Die Keilriemenscheibe auf der Motorwelle hat einen mittleren Durchmesser von 100 mm, der mittlere Durchmesser der Keilriemenscheibe des Gebläses beträgt 80 mm. Welche Drehzahl erreicht das Gebläse bei Vernachlässigung des Riemenschlupfes?

Gegeben:

$d_1 = 100$ mm

$d_2 = 80$ mm

$n_1 = 925\ \text{min}^{-1}$

Gesucht:

n_2

Lösung:

$$\frac{d_2}{d_1} = \frac{n_1}{n_2}$$

$$n_2 = \frac{d_1 \cdot n_1}{d_2}$$

$$n_2 = \frac{100\ \text{mm} \cdot 925\ \text{min}^{-1}}{80\ \text{mm}}$$

$$\underline{\underline{n_2 = 1\,156\ \text{min}^{-1}}}$$

Ergebnis: Die Drehzahl des Gebläses beträgt rund $1{,}16 \cdot 10^3\ \text{min}^{-1}$

Berechnung der Schlupfdrehzahl aus Drehzahl, Frequenz und Anzahl der Polpaare

Zum Berechnen der Schlupfdrehzahl benutzt man die Gleichungen zur Berechnung der Schlupfdrehzahl und der Nenndrehzahl.

Gleichung zur Berechnung der Schlupfdrehzahl	Gleichung zur Berechnung der Nenndrehzahl
$n_s = n_d - n$	$n_d = \frac{f}{p}$

$$n_s = \frac{f}{p} - n$$

n_s Schlupfdrehzahl, z. B. in s^{-1}
n_d Nenndrehzahl, z. B. in s^{-1}
n Drehfeldzahl, z. B. in s^{-1}
f Netzfrequenz, z. B. in Hz
p Anzahl der Polpaare

Zum Antrieb einer Kreiselpumpe wird ein Drehstrom-Kurzschlußläufermotor mit 2 Polpaaren in Dreieckschaltung betrieben. Der Motor hat bei einer Netzfrequenz von 50 Hz eine Drehzahl von 1 425 min^{-1}. Wie groß ist die Schlupfdrehzahl?

Gegeben:

$p = 2$

$n = 1\,425\ min^{-1} = 23{,}75\ s^{-1}$

$f = 50\ Hz = 50\ s^{-1}$

Gesucht:

n_s

Lösung:

$$n_s = \frac{f}{p} - n$$

$$n_s = \frac{50\ s^{-1}}{2} - 23{,}75\ s^{-1}$$

$$n_s = 1{,}25\ s^{-1}$$

$$\underline{\underline{n_s = 75\ min^{-1}}}$$

Ergebnis: Die Schlupfdrehzahl des Motors beträgt 75 min^{-1}.

Berechnung der Eigenfrequenz der ungedämpften harmonischen Schwingung eines Federschwingers aus *i* parallelgeschalteten Federn

Zum Berechnen der Eigenfrequenz der ungedämpften harmonischen Schwingung eines Federschwingers benutzt man die Gleichungen zur Berechnung der Eigenfrequenz und zur Berechnung der Federkonstante eines Systems parallelgeschalteter Federn.

Gleichung zur Berechnung der Eigenfrequenz der ungedämpften harmonischen Schwingung eines Federschwingers	Gleichung zur Berechnung der Federkonstante eines Systems parallelgeschalteter Federn
$f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{m}}$	$k = \sum_{i=1}^{n} k_i$

$$f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} k_i}{m}}$$

f Eigenfrequenz der ungedämpften harmonischen Schwingung, z. B. in Hz
k Federkonstante (Richtgröße), z. B. in $N \cdot m^{-1}$
m Masse des schwingenden Körpers, z. B. in kg
k_i Richtgröße (Federkonstante) der i-ten Feder, z. B. in $N \cdot m^{-1}$
i Anzahl der Federn

Zu berechnen ist die Eigenfrequenz der ungedämpften harmonischen Schwingung eines Federschwingers aus 5 parallelgeschalteten Federn mit der Federkonstanten $k = 12\ N \cdot m^{-1}$ (für jede Feder), an dem sich ein Körper mit der Masse $m = 5{,}0$ kg befindet.

5/1

Gegeben:

$k = 12\ \mathrm{N \cdot m^{-1}} = 12\ \mathrm{kg \cdot s^{-2}}$

$m = 5{,}0\ \mathrm{kg}$

$n = 5$

Gesucht:

f

Lösung:

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{5} k_i}{m}}$$

$$f = \frac{1}{2 \cdot 3{,}14} \cdot \sqrt{\frac{5 \cdot 12\ \mathrm{kg \cdot s^{-2}}}{5{,}0\ \mathrm{kg}}}$$

$$f = \frac{1}{6{,}28} \cdot \sqrt{12\ \mathrm{s^{-2}}}$$

$$f = \frac{3{,}46}{6{,}28}\ \mathrm{s^{-1}}$$

$$\underline{\underline{f = 0{,}55\ \mathrm{Hz}}}$$

Ergebnis: Die Eigenfrequenz des schwingenden Systems von Federn beträgt etwa 0,6 Hz.

5.1.8. Geschwindigkeit

Art der Einheit	Formelzeichen	Benennung der Einheit	Einheitenzeichen	Einheitengleichung
abgeleitete Einheit	v	Meter je Sekunde	$\mathrm{m \cdot s^{-1}}$	$[v] = \frac{[s]}{[t]}$ $\frac{1\ \mathrm{m}}{1\ \mathrm{s}} = 1\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$
Zulässige und übliche Vielfache und Teile der Einheit				
$\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{min}}, \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{h}}, \frac{\mathrm{km}}{\mathrm{h}}$				

Berechnung der Durchschnittsgeschwindigkeit aus Weg und Zeit

Zum Berechnen der Durchschnittsgeschwindigkeit einer geradlinigen Bewegung aus Weg und Zeit benutzt man die Gleichung

$\bar{v} = \frac{s - s_0}{t - t_0}$	$\bar{v}$ Durchschnittsgeschwindigkeit der geradlinigen Bewegung, z. B. in $\mathrm{m \cdot s^{-1}}$ s zurückgelegter Weg, z. B. in m t benötigte Zeit, z. B. in s s_0 der zur Zeit t_0 bereits zurückgelegte Weg, z. B. in m t_0 Zeitpunkt zu Beginn des Ablaufs

■ Mit welcher Durchschnittsgeschwindigkeit durchfuhr ein Motorradfahrer eine geschlossene Ortschaft, wenn für die Meßstrecke von 210 m eine Zeit von 15,2 s gemessen wurde?

Gegeben:

$s = 210\ \mathrm{m}$

$s_0 = 0$

$t = 15{,}2\ \mathrm{s}$

$t_0 = 0$

Gesucht:

$\bar{v}$

Lösung:

$$\bar{v} = \frac{s - s_0}{t - t_0}$$

$$\bar{v} = \frac{210\ \mathrm{m}}{15{,}2\ \mathrm{s}}$$

$$\bar{v} = 13{,}8\ \mathrm{m} \cdot \mathrm{s}^{-1}$$

$$\underline{\underline{\bar{v} = 49{,}7\ \mathrm{km} \cdot \mathrm{h}^{-1}}}$$

Ergebnis: Die Durchschnittsgeschwindigkeit betrug $49{,}7\ \mathrm{km} \cdot \mathrm{n}^{-1}$.

Berechnung der Geschwindigkeit beim freien Fall aus Weg und Fallbeschleunigung

Zum Berechnen der Geschwindigkeit beim freien Fall aus Weg und Fallbeschleunigung benutzt man das Weg-Zeit-Gesetz und das Geschwindigkeit-Zeit-Gesetz einer geradlinigen, gleichmäßig beschleunigten Bewegung.

Weg-Zeit-Gesetz des freien Falls	**Geschwindigkeit-Zeit-Gesetz des freien Falls**
$s = \frac{g}{2} \cdot t^2$	$v = g \cdot t$
	$t = \frac{v}{g}$

$$s = \frac{g}{2} \cdot \frac{v^2}{g^2}$$

$$s = \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

$$v^2 = 2 \cdot g \cdot s$$

$$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot s}$$

s zurückgelegter Weg, z. B. in m	t benötigte Zeit, z. B. in s
g Fallbeschleunigung, z. B. in $\mathrm{m} \cdot \mathrm{s}^{-2}$	v Geschwindigkeit, z. B. in $\mathrm{m} \cdot \mathrm{s}^{-1}$

5/1

■ Ein Stein fällt aus 10 m Höhe. Welche Geschwindigkeit erreicht er beim Auftreffen auf die Erde? (Die Luftreibung werde vernachlässigt, das Ergebnis ist in $km \cdot h^{-1}$ anzugeben.)

Gegeben:	*Lösung:*
$s = 10\ m$	$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$
$g = 9{,}81\ m \cdot s^{-2}$	$v = \sqrt{2 \cdot 9{,}81\ m \cdot s^{-2} \cdot 10\ m}$
Gesucht:	$v = 14\ m \cdot s^{-1}$
v	$\underline{\underline{v = 50{,}4\ km \cdot h^{-1}}}$

Ergebnis: Die Geschwindigkeit des Steines beim Auftreffen auf die Erde beträgt etwa $50\ km \cdot h^{-1}$.

Berechnung der Geschwindigkeit beim freien Fall aus Weg und Zeit

Zum Berechnen der Geschwindigkeit beim freien Fall aus Weg und Zeit benutzt man das Weg-Zeit-Gesetz und das Geschwindigkeit-Zeit-Gesetz einer geradlinigen, gleichmäßig beschleunigten Bewegung.

Weg-Zeit-Gesetz des des freien Falls	**Geschwindigkeit-Zeit-Gesetz des freien Falls**
$s = \frac{g}{2} \cdot t^2$	$v = g \cdot t$
$g = \frac{2 \cdot s}{t^2}$	

$$v = \frac{2 \cdot s}{t^2} \cdot t$$

$$v = \frac{2 \cdot s}{t}$$

s zurückgelegter Weg, z. B. in m
g Fallbeschleunigung, z. B. in $m \cdot s^{-2}$
t benötigte Zeit, z. B. in s
v Geschwindigkeit, z. B. in $m \cdot s^{-1}$

■ Welche Geschwindigkeit erreicht ein aus 10 m Höhe herabfallender Stein? Die Fallzeit beträgt 1,4 s. (Die Luftreibung werde vernachlässigt, das Ergebnis ist in $km \cdot h^{-1}$ anzugeben.)

Gegeben:

$s = 10\ \text{m}$

$t = 1{,}4\ \text{s}$

Gesucht:

v

Lösung:

$$v = \frac{2 \cdot s}{t}$$

$$v = \frac{20\ \text{m}}{1{,}4\ \text{s}}$$

$$v = 14\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$\underline{\underline{v = 50{,}4\ \text{km} \cdot \text{h}^{-1}}}$$

Ergebnis: Der Stein erreicht beim Auftreffen auf die Erde eine Geschwindigkeit von etwa 50 km · h^{-1}.

Berechnung von Schnittgeschwindigkeiten bei kreisförmigen Schnittbewegungen

Zum Berechnen von Schnittgeschwindigkeiten bei kreisförmigen Schnittbewegungen benutzt man die Gleichungen zur Berechnung der Bahngeschwindigkeit bei Kreisbewegung mit konstanter Drehzahl und zur Berechnung der Kreisfrequenz.

Gleichung zur Berechnung der Bahngeschwindigkeit bei Kreisbewegung mit konstanter Drehzahl	Gleichung zur Berechnung der Kreisfrequenz	Zusammenhang zwischen Radius und Durchmesser
$v = \omega \cdot r$	$\omega = 2 \cdot \pi \cdot n$	$r = \frac{d}{2}$

$$v = 2 \cdot \pi \cdot n \cdot r$$

$$v = 2 \cdot \pi \cdot n \cdot \frac{d}{2}$$

$$\boxed{v = \pi \cdot n \cdot d}$$

- v Schnittgeschwindigkeit (Bahngeschwindigkeit), z. B. in m · s^{-1}
- ω Winkelgeschwindigkeit, z. B. in rad · s^{-1}
- n Drehzahl, z. B. in s^{-1}
- r Radius, z. B. in m
- d Durchmesser, z. B. in m

5/1

Beim Bohren eines Werkstückes aus legiertem Stahl mit einem Spiralbohrer vom Durchmesser 30 mm beträgt die Drehzahl 90 min^{-1}. Wie groß ist die Schnittgeschwindigkeit? (Das Ergebnis ist in $m \cdot min^{-1}$ anzugeben.)

Gegeben:

$d = 30 \text{ mm} = 30 \cdot 10^{-3} \text{ m}$

$n = 90 \text{ min}^{-1}$

Gesucht:

v

Lösung:

$v = \pi \cdot d \cdot n$

$v = 3{,}14 \cdot 30 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot 90 \text{ min}^{-1}$

$\underline{\underline{v = 8{,}5 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}}}$

Ergebnis: Die Schnittgeschwindigkeit des Bohrers beträgt $8{,}5 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$.

5.1.9. Winkelgeschwindigkeit

Art der Einheit	Formelzeichen	Benennung der Einheit	Einheitenzeichen	Einheitengleichung
abgeleitete Einheit	ω	Radiant je Sekunde	$rad \cdot s^{-1}$	$[\omega] = \frac{[\varphi]}{[t]}$ $\frac{1 \text{ rad}}{1 \text{ s}} = 1 \text{ m} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$
Zulässige und übliche Vielfache und Teile der Einheit				
$\frac{°}{s}, \frac{rad}{h}$				

Berechnung der Winkelgeschwindigkeit bei einer Kreisbewegung aus der Bahngeschwindigkeit

Zum Berechnen der Winkelgeschwindigkeit bei einer Kreisbewegung und bei konstanter Drehzahl aus der Bahngeschwindigkeit benutzt man die Gleichung

$\omega = \frac{v}{r}$	ω Winkelgeschwindigkeit, z. B. in $rad \cdot s^{-1}$ v Bahngeschwindigkeit, z. B. in $m \cdot s^{-1}$ r Kreisbahnradius, z. B. in m

■ Eine Raumstation bewegt sich mit einer Bahngeschwindigkeit $v \approx 7{,}9 \cdot 10^3\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$ auf einer Kreisbahn mit einem Radius von etwa $6{,}5 \cdot 10^6\ \mathrm{m}$ mit konstanter Drehzahl. Wie groß ist die Winkelgeschwindigkeit?

Gegeben:

$v \approx 7{,}9 \cdot 10^3\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$

$r \approx 6{,}5 \cdot 10^6\ \mathrm{m}$

Gesucht:

ω

Lösung:

$$\omega = \frac{v}{r}$$

$$\omega \approx \frac{7{,}9 \cdot 10^3\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}}{6{,}5 \cdot 10^6\ \mathrm{m}}$$

$$\underline{\underline{\omega \approx 1{,}2 \cdot 10^{-3}\ \mathrm{rad \cdot s^{-1}}}}$$

Ergebnis: Die Raumstation durchläuft in der Zeit von 1 s einen Winkel von etwa 0,1°.

5.1.10. Beschleunigung

Art der Einheit	Formelzeichen	Benennung der Einheit	Einheitenzeichen	Einheitengleichung
abgeleitete Einheit	a	Meter je Sekundequadrat	$\mathrm{m \cdot s^{-2}}$	$[a] = \frac{[v]}{[t]}$ $\frac{1\ \mathrm{m}}{1\ \mathrm{s}^2} =$ $= 1\ \mathrm{m \cdot s^{-2}}$
Zulässige und übliche Vielfache und Teile der Einheit				
$\frac{\mathrm{cm}}{\mathrm{s}^2}$				

Berechnung der Beschleunigung eines Körpers längs einer geneigten Ebene

Zum Berechnen der Beschleunigung, die ein Körper längs einer geneigten Ebene erfährt, benutzt man die Gleichung

$s = g \cdot \sin\alpha$	a Beschleunigung eines Körpers auf einer um den Winkel α geneigten Ebene, z. B. in $\mathrm{m \cdot s^{-2}}$ g Fallbeschleunigung, z. B. in $\mathrm{m \cdot s^{-2}}$ α Neigungswinkel der geneigten Ebene, z. B. in °

■ Wie groß ist die Beschleunigung, die ein Körper bei reibungsfreier Abwärtsbewegung auf einer geneigten Ebene mit dem Neigungswinkel $\alpha = 30°$ erfährt?

Gegeben:
$\alpha = 30°$
$g = 9{,}81\ \mathrm{m \cdot s^{-2}}$

Gesucht:
a

Lösung:
$a = g \cdot \sin\alpha$
$a = 9{,}81\ \mathrm{m \cdot s^{-2}} \cdot \sin 30°$
$a = 9{,}81 \cdot 0{,}5\ \mathrm{m \cdot s^{-2}}$
$\underline{\underline{a = 4{,}9\ \mathrm{m \cdot s^{-2}}}}$

Ergebnis: Die Beschleunigung der Kugel beträgt $4{,}9\ \mathrm{m \cdot s^{-2}}$.

Berechnung der Radialbeschleunigung eines Körpers bei Kreisbewegung aus dem Radius der Kreisbahn und der Bahngeschwindigkeit

Zum Berechnen der Radialbeschleunigung, die ein Körper auf einer Kreisbahn mit dem Radius r und bei einer Bahngeschwindigkeit v erfährt, benutzt man die Gleichung

$a_r = \frac{v^2}{r}$	a_r Radialbeschleunigung auf einer Kreisbahn mit dem Radius r, z. B. in $\mathrm{m \cdot s^{-2}}$ v Bahngeschwindigkeit, z. B. in $\mathrm{m \cdot s^{-1}}$ r Kreisbahnradius, z. B. in m

■ Die Gondel eines Karussells durchläuft mit einer Geschwindigkeit von $2\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$ ungefähr eine Kreisbahn. Die Entfernung des Massenmittelpunktes der Gondel bis zum Drehpunkt beträgt 4,5 m. Wie groß ist die Radialbeschleunigung?

Gegeben:
$v = 2\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$
$r = 4{,}5\ \mathrm{m}$

Gesucht:
a_r

Lösung:

$$a_r = \frac{v^2}{r}$$

$$a_r = \frac{(2\ \mathrm{m \cdot s^{-1}})^2}{4{,}5\ \mathrm{m}}$$

$$a_r = \frac{2 \cdot 2\ \mathrm{m^2 \cdot s^{-2}}}{4{,}5\ \mathrm{m}}$$

$$\underline{\underline{a_r = 0{,}9\ \mathrm{m \cdot s^{-2}}}}$$

Ergebnis: Die Radialbeschleunigung der Gondel beträgt $0{,}9\ \mathrm{m \cdot s^{-2}}$.

Berechnung der Beschleunigung eines geladenen Teilchens im homogenen elektrischen Feld eines Plattenkondensators

Zum Berechnen der Beschleunigung eines geladenen Teilchens im homogenen elektrischen Feld aus Kondensatorspannung und Plattenabstand benutzt man das Newtonsche Grundgesetz, die Gleichung zur Berechnung der elektrischen Feldstärke im homogenen elektrischen Feld und die Gleichung zur Berechnung der elektrischen Feldstärke im homogenen elektrischen Feld eines Plattenkondensators.

Gleichung zur Berechnung der Beschleunigung eines Körpers mit der Masse *m* durch eine Kraft (Newtonsches Grundgesetz)	Gleichung zur Berechnung der elektrischen Feldstärke im homogenen elektrischen Feld	Gleichung zur Berechnung der elektrischen Feldstärke im homogenen Feld eines Plattenkondensators
$F = m \cdot a$	$E = \frac{F}{Q} = \frac{F}{e}$	$E = \frac{U}{d}$

$$F = e \cdot E$$

$$a = \frac{e}{m} \cdot E$$

$$a = \frac{e}{m} \cdot \frac{U}{d}$$

F	beschleunigende Kraft, z. B. in N
m	Masse des Teilchens, z. B. in kg
E	elektrische Feldstärke, z. B. in $V \cdot m^{-1}$
Q	elektrische Ladung, z. B. in C
e	Elementarladung, z. B. in C
U	Kondensatorspannung, z. B. in V
d	Abstand der Kondensatorplatten, z. B. in m
a	Beschleunigung des geladenen Teilchens im homogenen elektrischen Feld, z. B. in $m \cdot s^{-2}$

■ Gesucht ist die Beschleunigung, die ein Proton im homogenen elektrischen Feld eines Plattenkondensators mit der Spannung $U = 1{,}0$ kV bei einem Plattenabstand $d = 10$ cm erfährt.

5/1

Gegeben:

$U = 1{,}0\ \text{kV} = 1{,}0 \cdot 10^3\ \text{V} = 10^3\ \text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-3} \cdot \text{A}^{-1}$

$\frac{e}{m} = 9{,}58 \cdot 10^7\ \text{C} \cdot \text{kg}^{-1} = 9{,}58 \cdot 10^7\ \text{A} \cdot \text{s} \cdot \text{kg}^{-1}$

$d = 10\ \text{cm} = 1{,}0 \cdot 10^{-1}\ \text{m}$

Gesucht:

a

Lösung:

$$a = \frac{e \cdot U}{m \cdot d}$$

$$a = 9{,}58 \cdot 10^7\ \text{A} \cdot \text{s} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \frac{10^3\ \text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-3} \cdot \text{A}^{-1}}{10^{-1}\ \text{m}}$$

$$a = \frac{9{,}58 \cdot 10^7 \cdot 10^3}{10^{-1}}\ \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$$

$$\underline{\underline{a = 9{,}6 \cdot 10^{11}\ \text{m} \cdot \text{s}^{-2}}}$$

Ergebnis: Die Beschleunigung, die das Proton erfährt, beträgt $9{,}6 \cdot 10^{11}\ \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$.

5.1.11. Winkelbeschleunigung

Art der Einheit	Formelzeichen	Benennung der Einheit	Einheitenzeichen	Einheitengleichung
abgeleitete Einheit	α	Radiant je Sekundequadrat	$\text{rad} \cdot \text{s}^{-2}$	$[\alpha] = \frac{[\omega]}{[t]}$ $\frac{1\ \text{rad}}{1\ \text{s} \cdot 1\ \text{s}} =$ $= \frac{1\ \text{rad}}{1\ \text{s}^2} =$ $1\ \text{m} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$
Zulässige und übliche Vielfache und Teile der Einheit				
$\frac{°}{\text{s}^2}$				

Berechnung der konstanten Winkelbeschleunigung aus einer Winkelgeschwindigkeit bei gleichmäßig beschleunigter Kreisbewegung

Zum Berechnen der konstanten Durchschnittswinkelbeschleunigung benutzt man die Gleichung

$\alpha = \frac{\omega - \omega_0}{t - t_0}$	α	Winkelbeschleunigung, z. B. in rad · s^{-2}
	ω	Winkelgeschwindigkeit, z. B. in rad · s^{-1}
	t	Zeit, z. B. in s
	ω_0	Winkelgeschwindigkeit zur Zeit t_0, z. B. in rad · s^{-1}
	t_0	Wert von t zur Zeit $t = 0$, z. B. in s

■ Mit welcher konstanten Winkelbeschleunigung müssen die Räder eines Fahrzeuges abgebremst werden, die mit einer Winkelgeschwindigkeit von 15 rad · s^{-1} rotieren und in 5 s zum Stillstand kommen sollen? (Es wird eine gleichmäßig beschleunigte Kreisbewegung vorausgesetzt.)

Gegeben:

$\omega_0 = 15 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$

$\omega = 0$

$t = 5 \text{ s}$

$t_0 = 0$

Gesucht:

α

Lösung:

$$\alpha = \frac{\omega - \omega_0}{t - t_0}$$

$$\alpha = \frac{-15 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}}{5 \text{ s}}$$

$$\underline{\underline{\alpha = -3 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-2}}}$$

Ergebnis: Die Räder müssen mit einer Winkelbeschleunigung von 3 rad · s^{-2} abgebremst werden.

Berechnung einer Winkelbeschleunigung aus Massenträgheitsmoment und beschleunigendem Drehmoment

Zum Berechnen der Winkelbeschleunigung aus dem Massenträgheitsmoment und dem beschleunigenden Drehmoment benutzt man das dynamische Grundgesetz für konstantes Massenträgheitsmoment.

$M = J \cdot \alpha$	α	Winkelbeschleunigung, z. B. in rad · s^{-2}
	M	beschleunigendes Drehmoment, z. B. in N · m
	J	Massenträgheitsmoment, z. B. in kg · m^2

■ Auf ein Schwungrad mit einem konstanten Massenträgheitsmoment $J = 52{,}8 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ wirkt ein beschleunigendes Drehmoment $M = 90 \text{ N} \cdot \text{m}$. Wie groß ist die Winkelbeschleunigung?

Gegeben:

$J = 52{,}8 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$

$M = 90 \text{ N} \cdot \text{m} = 90 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$

Gesucht:

α

Lösung:

$$M = J \cdot \alpha$$

$$\alpha = \frac{M}{J}$$

$$\alpha = \frac{90 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}}{52{,}8 \text{ kg} \cdot \text{m}^2}$$

$$\underline{\underline{\alpha = 1{,}7 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-2}}}$$

Ergebnis: Die Winkelbeschleunigung beträgt 1,7 rad · s^{-2}.

5/2

5.2. Beispielaufgaben zu Größen der Mechanik

5.2.1. Masse

Art der Einheit	Formelzeichen	Benennung der Einheit	Einheitenzeichen	Einheitengleichung
Basiseinheit	m	Kilogramm	kg	$[m] = 1$ kg
Zulässige und übliche Vielfache und Teile der Einheit				
µg, mg, Mg — dt, t, kt, Mt				

Berechnung der Masse aus Beschleunigung und wirkender Kraft

Zum Berechnen der Masse aus der ihr durch eine Kraft erteilten Beschleunigung wird das Newtonsche Grundgesetz benutzt.

Falls m = konst. gilt: $F = m \cdot a$	F Kraft auf einen Körper, z. B. in N m Masse des Körpers, z. B. in kg a Beschleunigung des Körpers, z. B. in $m \cdot s^{-2}$

■ Wie groß ist die Masse eines mit 4 Personen besetzten Pkw „Trabant", bei dem durch eine Bremskraft $F = -5\,370$ N eine Bremsverzögerung $a = -6{,}0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ bewirkt wird?

Gegeben:
$F = -5\,370 \text{ N} = -5\,370 \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$
$a = -6{,}0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$

Gesucht:
m

Lösung:

$$F = m \cdot a$$

$$m = \frac{F}{a}$$

$$m = \frac{-5\,370 \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}}{-6{,}0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}}$$

$$\underline{\underline{m = 895 \text{ kg}}}$$

Ergebnis: Der Pkw hat eine Masse von etwa 900 kg.

Berechnung der Masse aus der Stoffmenge

Zum Berechnen der Masse aus der Stoffmenge wird die Definitionsgleichung der molaren Masse benutzt.

$M = \frac{m}{n}$	M molare Masse, z. B. in $g \cdot mol^{-1}$ m Masse, z. B. in g n Stoffmenge, z. B. in mol

■ Berechne die Masse von 2 mol Aluminium!

Gegeben:
$n = 2\ \mathrm{mol}$
$M = 27\ \mathrm{g \cdot mol^{-1}}$

Gesucht:
m

Lösung:
$$M = \frac{m}{n}$$
$$m = n \cdot M$$
$$m = 2\ \mathrm{mol} \cdot 27\ \mathrm{g \cdot mol^{-1}}$$
$$\underline{\underline{m = 54\ \mathrm{g}}}$$

Ergebnis: 2 mol Aluminium entsprechen einer Masse von 54 g.

Berechnung der Masse aus Stoffmengenkonzentration und Volumen

Zum Berechnen der Masse aus Stoffmengenkonzentration und Volumen werden die Definitionsgleichungen der Stoffmengenkonzentration und der molaren Masse benutzt.

Definitionsgleichung der Stoffmengenkonzentration	**Definitionsgleichung der molaren Masse**
$c_B = \frac{n}{V}$	$M = \frac{m}{n}$
	$n = \frac{m}{M}$

$$c_B = \frac{m}{V \cdot M}$$

$$m = c_B \cdot M \cdot V$$

c_B Stoffmengenkonzentration, z. B. in $\mathrm{mol \cdot l^{-1}}$	V Volumen, z. B. in l
n Stoffmenge, z. B. in mol	m Masse, z. B. in g
	M molare Masse, z. B. in $\mathrm{g \cdot mol^{-1}}$

■ Welche Masse des Natriumchlorids wird zur Herstellung von 0,5 l einer 0,1 M Natriumchloridlösung gebraucht?

Gegeben:
$c_B = 0{,}1\ \mathrm{mol \cdot l^{-1}}$
$M = 58{,}45\ \mathrm{g \cdot mol^{-1}}$
$V = 0{,}5\ \mathrm{l}$

Gesucht:
m

Lösung:
$$m = c_B \cdot M \cdot V$$
$$m = 0{,}1\ \mathrm{mol \cdot l^{-1}} \cdot 58{,}45\ \mathrm{g \cdot mol^{-1}} \cdot 0{,}5\ \mathrm{l}$$
$$\underline{\underline{m = 2{,}9\ \mathrm{g}}}$$

Ergebnis: Es werden 2,9 g wasserfreies Natriumchlorid benötigt.

5/2

Bemerkung

Bei Berechnungen mit Äquivalentkonzentrationen ist noch die wirksame Wertigkeit z zu berücksichtigen. Da $c_B = \frac{c_{B,eq}}{z}$ ist, benutzt man zur Berechnung der Masse folgende Gleichung:

$$m = \frac{c_{B,eq} \cdot M \cdot V}{z}.$$

Berechnung der durch Elektrolyse abgeschiedenen Masse eines Stoffes

Zum Berechnen der Masse von Stoffen, die durch Elektrolyse abgeschieden werden, werden das 1. Faradaysche Gesetz und die Definitionsgleichung der molaren Masse benutzt.

1. Faradaysches Gesetz	Definitionsgleichung der molaren Masse	Gleichung zur Berücksichtigung des Wirkungsgrades
$I \cdot t = F \cdot n \cdot z$	$M = \frac{m}{n}$	$m' = \eta \cdot m$

$$n = \frac{m}{M}$$

$$I \cdot t = \frac{F \cdot m \cdot z}{M}$$

$$m = \frac{I \cdot t \cdot M}{F \cdot z}$$

$$\boxed{m' = \frac{I \cdot t \cdot M \cdot \eta}{F \cdot z}}$$

I	elektrische Stromstärke, z. B. in A
t	Zeit, z. B. in s
F	Faradaysche Konstante, z. B. in $C \cdot mol^{-1}$
n	Stoffmenge, z. B. in mol
z	Wertigkeit des abgeschiedenen Stoffes
M	molare Masse, z. B. in $g \cdot mol^{-1}$
m	Masse bei einem Wirkungsgrad von 100 %, z. B. in kg
m'	tatsächlich abgeschiedene Masse, z. B. in kg
η	Wirkungsgrad

■ Eine Elektrolysezelle zur Herstellung von Aluminium wird mit einer Stromstärke von 100 kA bei einem Wirkungsgrad von 80 % betrieben. Wie groß ist die Tagesproduktion von Aluminium?

Gegeben:

$I = 100\ \text{kA} = 10^5\ \text{A}$

$t = 24\ \text{h} = 86\,400\ \text{s}$

$M = 27\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$

$F = 96\,485\ \text{C} \cdot \text{mol}^{-1} = 96\,485\ \text{A} \cdot \text{s} \cdot \text{mol}^{-1}$

$z = 3$

$\eta = 0{,}8$

Gesucht:

m'

Lösung:

$$m' = \frac{I \cdot t \cdot M \cdot \eta}{F \cdot z}$$

$$m' = \frac{10^5\ \text{A} \cdot 86\,400\ \text{s} \cdot 27\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot 0{,}8}{96\,485\ \text{A} \cdot \text{s} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot 3}$$

$m' \approx 645\,000\ \text{g}$

$\underline{\underline{m' \approx 650\ \text{kg}}}$

Ergebnis: Die Tagesproduktion von Aluminium beträgt rund 650 kg.

Berechnung der Masse eines Stoffes aus der Masse eines anderen Stoffes bei chemischen Reaktionen

Zum Berechnen der Masse eines Stoffes aus der Masse eines anderen Stoffes bei chemischen Reaktionen sind die Stoffmengen der Ausgangsstoffe und der Reaktionsprodukte aus chemischen Gleichungen zu entnehmen. Da bei chemischen Reaktionen Proportionalität zwischen den Massen und den entsprechenden Stoffmengen besteht, ist für diese Berechnung folgende Gleichung zu benutzen, die sich aus der Definitionsgleichung der molaren Masse ergibt:

$\frac{m_1}{m_2} = \frac{n_1 \cdot M_1}{n_2 \cdot M_2}$	m_1 gesuchte Masse, z. B. in g m_2 gegebene Masse, z. B. in g n_1 Stoffmenge des Stoffes, dessen Masse gesucht ist, z. B. in mol M_1 molare Masse des Stoffes, dessen Masse gesucht ist, z. B. in $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ n_2 Stoffmenge des Stoffes, dessen Masse gegeben ist, z. B. in mol M_2 molare Masse des Stoffes, dessen Masse gegeben ist, z. B. in $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$

Welche Masse des Eisen(III)-oxids muß bei der Reaktion mit Aluminium eingesetzt werden, damit 280 g Eisen entstehen?

Gegeben:

$m_2 = 280$ g   Index 1 ≙ Fe_2O_3

$M_2 = 56\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ Index 2 ≙ Fe

$n_2 = 2$ mol

$M_1 = 160\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$

$n_1 = 1$ mol

Gesucht:

m_1

Lösung:

$Fe_2O_3 + 2\ Al \rightarrow Al_2O_3 + 2\ Fe$

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{n_1 \cdot M_1}{n_2 \cdot M_2}$$

$$m_1 = \frac{n_1 \cdot M_1 \cdot m_2}{n_2 \cdot M_2}$$

$$m_1 = \frac{1\ \text{mol} \cdot 160\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot 280\ \text{g}}{2\ \text{mol} \cdot 56\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}}$$

$$\underline{\underline{m_1 = 400\ \text{g}}}$$

Ergebnis: Zur Herstellung von 280 g Eisen werden 400 g Eisen(III)-oxid benötigt.

5.2.2. Dichte

Art der Einheit	Formelzeichen	Benennung der Einheit	Einheitenzeichen	Einheitengleichung
abgeleitete Einheit	ϱ	Kilogramm je Kubikmeter	$\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	$[\varrho] = \frac{[m]}{[V]}$ $\frac{1\ \text{kg}}{1\ \text{m}^3} =$ $= 1\ \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$
Zulässige und übliche Vielfache und Teile der Einheit				
$\text{kg} \cdot \text{dm}^{-3}$, $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$, $\text{Mg} \cdot \text{m}^{-3}$ — $\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$, $\text{kg} \cdot \text{l}^{-1}$ — $\text{t} \cdot \text{m}^{-3}$				

Berechnung der Dichte aus Masse und Volumen

Zum Berechnen der Dichte von zylindrischen Körpern benutzt man neben der Definitionsgleichung der Dichte auch die Gleichung für das Volumen.

Gleichung zur Berechnung der Dichte	Gleichung zur Berechnung des Volumens zylindrischer Körper
$\varrho = \frac{m}{V}$	$V = A \cdot l$

$$\varrho = \frac{m}{A \cdot l}$$

ϱ Dichte, z. B. in $kg \cdot m^{-3}$
m Masse, z. B. in kg
V Volumen des Körpers, z. B. in m^3
A Querschnittsfläche des Körpers, z. B. in m^2
l Länge des Körpers, z. B. in m

Ein Profilstab aus Metall hat einen Querschnitt $A = 18{,}6\ cm^2$ und eine Länge $l = 1{,}55$ m. Seine Masse beträgt 7,8 kg. Aus welchem Material könnte der Stab bestehen?

Gegeben:

$A = 18{,}6\ cm^2 = 18{,}6 \cdot 10^{-4}\ m^2$

$l = 1{,}55$ m

$m = 7{,}8$ kg

Gesucht:

ϱ

Lösung:

$$\varrho = \frac{m}{A \cdot l}$$

$$\varrho = \frac{7{,}8\ kg}{18{,}6 \cdot 10^{-4}\ m^2 \cdot 1{,}55\ m}$$

$$\varrho = \frac{7{,}8\ kg}{18{,}6 \cdot 1{,}55 \cdot 10^{-4}\ m^3}$$

$$\varrho = 2{,}7 \cdot 10^3\ kg \cdot m^{-3}$$

$$\underline{\underline{\varrho = 2{,}7\ g \cdot cm^{-3}}}$$

Ergebnis: Der Profilstab könnte aus Aluminium bestehen.

Berechnung der Dichte aus der molaren Masse und dem molaren Volumen

Zum Berechnen der Dichte aus der molaren Masse und dem molaren Volumen benutzt man die Gleichung

$\varrho = \frac{M}{V_m}$	ϱ Dichte, z. B. in $g \cdot l^{-1}$ (im Normzustand) M molare Masse, z. B. in $g \cdot mol^{-1}$ V_m molares Volumen, z. B. in $l \cdot mol^{-1}$

5/2

- Berechne die Dichte von Sauerstoff!

Gegeben:
$M = 32\ \mathrm{g \cdot mol^{-1}}$
$V_m = 22{,}4\ \mathrm{l \cdot mol^{-1}}$

Gesucht:
ϱ

Lösung:

$$\varrho = \frac{M}{V_m}$$

$$\varrho = \frac{32\ \mathrm{g \cdot mol^{-1}}}{22{,}4\ \mathrm{l \cdot mol^{-1}}}$$

$$\underline{\underline{\varrho = 1{,}4\ \mathrm{g \cdot l^{-1}}}}$$

Ergebnis: Die Dichte von Sauerstoff beträgt $1{,}4\ \mathrm{g \cdot l^{-1}}$.

5.2.3. Kraft

Art der Einheit	Formelzeichen	Benennung der Einheit	Einheitenzeichen	Einheitengleichung
abgeleitete Einheit	F	Newton	N	$[F] = [m] \cdot [a]$ $1\ \mathrm{N} =$ $1\ \mathrm{kg} \cdot 1\ \mathrm{m \cdot s^{-2}}$ $= 1\ \mathrm{kg \cdot m \cdot s^{-2}}$
Zulässige und übliche Vielfache und Teile der Einheit				
µN, mN, kN, MN				

Berechnung der Gleitreibungskraft

Zum Berechnen der Gleitreibungskraft benutzt man die folgenden Gleichungen:

Gleichung zur Berechnung der Gleitreibungskraft	Gleichung zur Berechnung der Normalkraft	Gleichung zur Berechnung der Gewichtskraft
$F_R = \mu \cdot F_N$	$F_N = m \cdot g \cdot \cos\alpha$	$G = m \cdot g$

$$F_R = \mu \cdot G \cdot \cos\alpha$$

F_R Gleitreibungskraft, z. B. in N
μ Gleitreibungszahl
F_N Normalkraft, z. B. in N
α Winkel zwischen Normal- und Gewichtskraft, z. B. in °
G Gewichtskraft, z. B. in N
g Fallbeschleunigung, z. B. in $\mathrm{m \cdot s^{-2}}$

■ Eine Holzkiste ist auf einem waagerechten trockenen Holzboden ($\mu = 0{,}4$) gleichförmig zu verschieben. Sie hat die Gewichtskraft von 500 N. Welche Gleitreibungskraft muß überwunden werden?

Gegeben:	*Gesucht:*	*Lösung:*
$G = 500$ N	F_R	$F_R = \mu \cdot G \cdot \cos\alpha$
$\mu = 0{,}4$		$F_R = 0{,}4 \cdot 500\ \text{N} \cdot \cos 0°$
$\alpha = 0°$		$\underline{\underline{F_R = 200\ \text{N}}}$

Ergebnis: Es muß eine Gleitreibungskraft von 200 N überwunden werden.

Berechnung der Eintreibkraft eines Keils

Zum Berechnen der Eintreibkraft wendet man den Satz von der Gleichheit der mechanischen Arbeit auf einen Keil an.

$F_e \cdot l = F_v\,(h - a)$	F_e Eintreibkraft des Keils, z. B. in N l Keillänge, z. B. in m F_v Vorspannkraft, z. B. in N h große Keilhöhe, z. B. in m a kleine Keilhöhe, z. B. in m

■ Ein Keil zum Spalten von Wurzelholz hat eine Länge von $l = 250$ mm, seine große Keilhöhe beträgt $h = 30$ mm, die kleine Keilhöhe $a = 25$ mm (Bild 5/4). Die Vorspannkraft beträgt 20 kN. Welche Eintreibkraft ist aufzubringen?

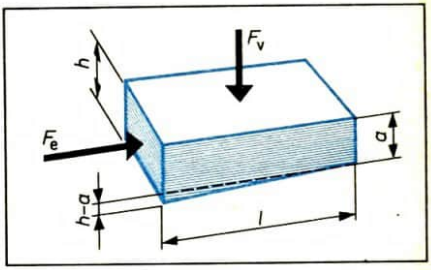


Bild 5/4 Keil mit Angabe der Bestimmungsstücke

Gegeben:

$F_v = 20\ \text{kN} = 2 \cdot 10^4\ \text{N}$

$a = 25$ mm

$h = 30$ mm

$l = 250$ mm

Gesucht:

F_e

Lösung:

$$F_e \cdot l = F_v\,(h - a)$$

$$F_e = F_v \cdot \frac{h - a}{l}$$

$$F_e = \frac{2 \cdot 10^4\ \text{N}\ (30 - 25)\ \text{mm}}{250\ \text{mm}}$$

$$F_e = \frac{2 \cdot 5 \cdot 10^4\ \text{N} \cdot \text{mm}}{250\ \text{mm}}$$

$$\underline{\underline{F_e = 400\ \text{N}}}$$

Ergebnis: Es ist eine Eintreibkraft von 400 N erforderlich.

5/2

Berechnung der Umfangskraft einer Welle

Zum Berechnen der Umfangskraft, die durch eine Welle übertragen werden darf, benutzt man die spezielle Gleichung für das Drehmoment einer Kraft, die senkrecht zur Verbindungslinie zwischen Drehpunkt und Angriffspunkt der Kraft gerichtet ist

Spezielle Gleichung zur Berechnung des Drehmomentes	**Gleichung für den Zusammenhang zwischen Radius und Durchmesser eines Kreises**
$M_t = F_u \cdot r$	$r = \frac{d}{2}$

$$F_u = \frac{2\,M_t}{d}$$

M_t zulässiges Drehmoment, z. B. in N · m
F_u maximale Umfangskraft, z. B. in N
r Radius der Welle, z. B. in m
d Durchmesser des Kreises, z. B. in m

Beim Bohren wirkt an einem Spiralbohrer von 8 mm Durchmesser ein Drehmoment von 2,7 N · m. Wie groß ist die wirkende Umfangskraft der Welle?

Gegeben:

$M = 2{,}7\ \mathrm{N \cdot m}$

$d = 8\ \mathrm{mm} = 8 \cdot 10^{-3}\ \mathrm{m}$

Gesucht:

F_u

Lösung:

$$F_u = \frac{2 \cdot M_t}{d}$$

$$F_u = \frac{2 \cdot 2{,}7\ \mathrm{N \cdot m}}{8 \cdot 10^{-3}\ \mathrm{mm}}$$

$$\underline{\underline{F_u = 675\ \mathrm{N}}}$$

Ergebnis: Die Umfangskraft am Bohrer beträgt 675 N.

Berechnung der Radialkraft aus der Kreisfrequenz

Zum Berechnen der Radialkraft aus der Kreisfrequenz benutzt man die entsprechenden Gleichungen

Gleichung zur Berechnung der Radialkraft	**Definitionsgleichung der Kreisfrequenz**
$F_r = m \cdot \omega^2 \cdot r$	$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$

$$F_r = 4 \cdot \pi^2 \cdot m \cdot r \cdot f^2$$

F_r Radialkraft, z. B. in N
m Masse des Körpers, z. B. in kg
ω Kreisfrequenz, z. B. in s^{-1}
r Radius der Kreisbahn, z. B. in m
f Umlauffrequenz, z. B. in s^{-1}

■ In einem Freihandversuch soll eine Bierflasche mit der Gewichtskraft $G = 8$ N durch einen an einem Faden ($r = 50$ cm) umlaufenden Gummistopfen mit der Masse $m = 100$ g angehoben werden (Bild 5/5). Die Umlauffrequenz des Stopfens betrage $f = 2{,}0\ s^{-1}$. Reicht die auftretende Radialkraft zum Anheben aus?

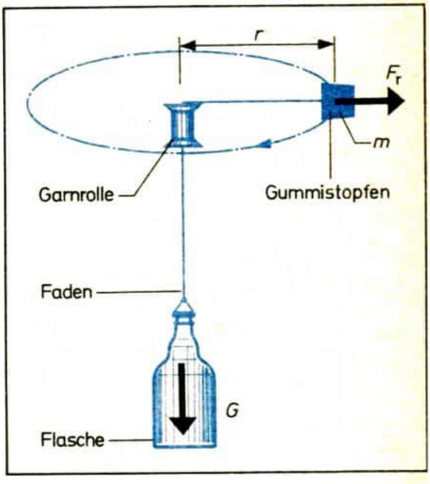


Bild 5/5 Freihandversuch zur Radialkraft

Gegeben:
$f = 2{,}0\ s^{-1}$
$m = 100\ g = 0{,}1\ kg$
$r = 50\ cm = 0{,}5\ m$

Gesucht:
F_r

Lösung:
$F_r = 4 \cdot \pi^2 \cdot m \cdot r \cdot f^2$
$F_r = 4 \cdot \pi^2 \cdot 0{,}1\ kg \cdot 0{,}5\ m \cdot 4{,}0\ s^{-2}$
$F_r = 7{,}9\ kg \cdot m \cdot s^{-2}$
$\underline{\underline{F_r = 7{,}9\ N}}$

Ergebnis: Die Radialkraft ist etwas kleiner als die aufzubringende Gewichtskraft. Sie reicht nicht zum Anheben aus.

5/2

Berechnung der Zugkraft an einer Schraubenverbindung

Zum Berechnen der maximalen Zugkraft an einer Schraubenverbindung kann bei Kenntnis der zulässigen Zugspannung des Materials die Gleichung für die Zugspannung benutzt werden:

$\sigma_Z = \frac{F}{A}$	σ_Z Zugspannung, z. B. in Pa F Zugkraft, z. B. in N A Querschnitt des Materials, z. B. in m^2

■ Eine Schraubenverbindung M 8 mit einem Kernquerschnitt von 32,8 mm^2 hat eine zulässige Zugspannung von 50 MPa. Mit welcher Zugkraft darf diese Verbindung belastet werden?

Gegeben:

$A = 32{,}8\ mm^2 = 32{,}8 \cdot 10^{-6}\ m^2$

$\sigma_Z = 50\ MPa = 50 \cdot 10^6\ N \cdot m^{-2}$

Gesucht:

F

Lösung:

$$\sigma_Z = \frac{F}{A}$$

$$F = \sigma_Z \cdot A$$

$$F = 50 \cdot 10^6\ N \cdot m^{-2} \cdot 32{,}8 \cdot 10^{-6}\ m^2$$

$$\underline{\underline{F = 1640\ N}}$$

Ergebnis: Die Verbindung darf mit einer Zugkraft von 1,64 kN belastet werden.

Berechnung der Kraft zwischen zwei punktförmigen, elektrisch geladenen Körpern

Zum Berechnen der Kraft, mit der zwei punktförmige, elektrisch geladene Körper mit gleicher elektrischer Ladung aufeinander wirken, benutzt man das Coulombsche Gesetz.

Coulombsches Gesetz	**Spezialfall**
$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon_r} \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$	$Q_1 = Q_2 = Q$

$$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon_r} \cdot \frac{Q^2}{r^2}$$

F Kraft zwischen den zwei geladenen Körpern, z. B. in N
ε_0 elektrische Feldkonstante (Influenzkonstante), z. B. in $F \cdot m^{-1}$
ε_r Dielektrizitätskonstante
Q, Q_1, Q_2 Punktladungen, z. B. in C

■ Zwei elektrisch geladene Körper von je 10^{-5} C befinden sich im Abstand von 2 m. Mit welcher Kraft wirken die beiden Körper im Vakuum aufeinander?

Gegeben:

$Q = 1{,}0 \cdot 10^{-5}\,\mathrm{C} = 10^{-5}\,\mathrm{A \cdot s}$

$r = 2{,}0\,\mathrm{m}$

$\varepsilon_0 = 8{,}85 \cdot 10^{-12}\,\mathrm{F \cdot m^{-1}} = 8{,}85 \cdot 10^{-12}\,\mathrm{A \cdot s \cdot V^{-1} \cdot m^{-1}}$

$\varepsilon_r = 1$

Gesucht:

F

Lösung:

$$F = \frac{1}{4\,\pi\,\varepsilon_0\,\varepsilon_r} \cdot \frac{Q^2}{r^2}$$

$$F = \frac{10^{-5}\,\mathrm{A \cdot s} \cdot 10^{-5}\,\mathrm{A \cdot s}}{4 \cdot 3{,}14 \cdot 8{,}85 \cdot 10^{-12}\,\mathrm{A \cdot s \cdot V^{-1} \cdot m^{-1}} \cdot 2{,}0\,\mathrm{m} \cdot 2{,}0\,\mathrm{m}}$$

$$F = \frac{10^{-10}\,\mathrm{A \cdot s}}{4 \cdot 3{,}14 \cdot 8{,}85 \cdot 2{,}0 \cdot 2{,}0 \cdot 10^{-12}\,\mathrm{V^{-1} \cdot m}}$$

$$F = \frac{10^2}{444{,}6} \cdot \frac{\mathrm{V \cdot A \cdot s}}{\mathrm{m}}$$

$$F = 0{,}22\,\frac{\mathrm{N \cdot m}}{\mathrm{m}}$$

$$\underline{\underline{F = 0{,}22\,\mathrm{N}}}$$

Ergebnis: Die Körper wirken im Vakuum mit einer Kraft von 0,22 N aufeinander.

5.2.4. Kraftmoment

Art der Einheit	Formelzeichen	Benennung der Einheit	Einheitenzeichen	Einheitengleichung
abgeleitete Einheit	M	Newtonmeter	N · m	$[M] = [F] \cdot [l]$ $1\,\mathrm{N} \cdot 1\,\mathrm{m} =$ $1\,\mathrm{m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}}$
Zulässige und übliche Vielfache und Teile der Einheit				
mN · m, N · cm, kN · m				

5/2

Berechnung des Drehmoments einer Welle

Zum Berechnen des Drehmoments einer Welle benutzt man die spezielle Gleichung des Kraftmoments für den Fall, daß die Richtungen der Kraft und des Radius senkrecht zueinander verlaufen.

Spezielle Gleichung des Kraftmoments für den Fall, daß der Winkel zwischen Kraft und Radius 90° beträgt	**Gleichung für den Zusammenhang zwischen Radius und Durchmesser eines Kreises**
$M = F \cdot r$	$r = \frac{d}{2}$

$$M = F \cdot \frac{d}{2}$$

M Drehmoment einer Welle, z. B. in $N \cdot m$
F Umfangskraft, z. B. in N
r Radius der Welle, z. B. in m
d Durchmesser der Welle, z. B. in m

■ An einer Welle mit einem Durchmesser von 12 mm wirkt eine Umfangskraft von 2,26 kN. Wie groß ist das Drehmoment an der Welle?

Gegeben:
$F = 2{,}26\ \text{kN} = 2{,}26 \cdot 10^3\ \text{N}$
$d = 12\ \text{mm} = 12 \cdot 10^{-3}\ \text{m}$

Gesucht:
M

Lösung:

$$M = F \cdot \frac{d}{2}$$

$$M = \frac{2{,}26 \cdot 10^3\ \text{N} \cdot 12 \cdot 10^{-3}\ \text{m}}{2}$$

$$M = \frac{2{,}26 \cdot 12 \cdot 10^3 \cdot 10^{-3}\ \text{N} \cdot \text{m}}{2}$$

$$\underline{\underline{M = 13{,}6\ \text{N} \cdot \text{m}}}$$

Ergebnis: Das Drehmoment an der Welle beträgt 13,6 N · m.

Berechnung des Torsionsmoments einer Welle aus der Leistung und der Drehzahl

Zum Berechnen des Torsionsmoments einer Welle aus Leistung und Drehzahl benutzt man die spezielle Gleichung für das Drehmoment für den Fall, daß die Richtungen von F und r senkrecht zueinander verlaufen, die Gleichung für den Zusammenhang von Bahn- und Winkelgeschwindigkeit, die Gleichung zur Berechnung der Leistung aus Kraft und Geschwindigkeit und die Gleichung zur Berechnung der Kreisfrequenz.

Spezielle Gleichung zur Berechnung des Torsionsmoments für $F \perp r$	Gleichung zur Berechnung der Leistung aus Kraft und Geschwindigkeit	Gleichung für den Zusammenhang zwischen Bahn- und Winkelgeschwindigkeit	Gleichung zur Berechnung der Kreisfrequenz
$M = F \cdot r$	$P = F \cdot v$	$v = \omega \cdot r$	$\omega = 2 \cdot \pi \cdot n$

$$M = \frac{P \cdot r}{v}$$

$$M = \frac{P}{\omega}$$

$$\boxed{M = \frac{P}{2 \cdot \pi \cdot n}}$$

M Torsionsmoment, z. B. in N · m
F Kraft, z. B. in N
r senkrechter Abstand zwischen Drehachse und Wirkungslinie der Kraft, z. B. in m
P Leistung, z. B. in $\mathrm{N \cdot m \cdot s^{-1}}$
v Bahngeschwindigkeit, z. B. in $\mathrm{m \cdot s^{-1}}$
ω Winkelgeschwindigkeit, z. B. in $\mathrm{rad \cdot s^{-1}}$
n Frequenz, z. B. in $\mathrm{s^{-1}}$

■ Das Motorrad JAWA 350, Modell 634-8, bringt bei 5 250 Umdrehungen in der Minute eine Leistung von 17,5 kW. Wie groß ist das Torsionsmoment an der Kurbelwelle?

Gegeben:
$P = 17{,}5\ \mathrm{kW} = 17{,}5 \cdot 10^3\ \mathrm{W} = 17{,}5 \cdot 10^3\ \mathrm{N \cdot m \cdot s^{-1}}$
$n = 5\,250\ \mathrm{min^{-1}} = 87{,}5\ \mathrm{s^{-1}}$

Gesucht:
M_t

Lösung:

$$M_t = \frac{P}{2 \cdot \pi \cdot n}$$

$$M_t = \frac{17{,}5 \cdot 10^3\ \mathrm{N \cdot m \cdot s^{-1}}}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 87{,}5\ \mathrm{s^{-1}}}$$

$$\underline{\underline{M_t = 31{,}8\ \mathrm{N \cdot m}}}$$

Ergebnis: Das Torsionsmoment an der Kurbelwelle beträgt 31,8 N · m.

5.2.5. Druck, Spannung

Art der Einheit	Formelzeichen	Benennung der Einheit	Einheitenzeichen	Einheitengleichung
abgeleitete Einheit	p	Pascal	Pa	$[p] = \frac{[F]}{[A]}$ $1\ \mathrm{Pa} = \frac{1\ \mathrm{N}}{1\ \mathrm{m}^2} =$ $1\ \mathrm{m}^{-1} \cdot \mathrm{kg} \cdot \mathrm{s}^{-2}$
Zulässige und übliche Vielfache und Teile der Einheit				
µPa, mPa, hPa, kPa, MPa				

Berechnung des Druckes

Zum Berechnen des Druckes benutzt man die Definitionsgleichung des Druckes $p = \frac{F}{A}$ und die Gleichung für die spezielle Fläche, auf die die Druckkraft wirkt.

Definitionsgleichung des Druckes	**Gleichung zur Berechnung der Fläche eines Kreises**
$p = \frac{F}{A}$	$A = \frac{d^2}{4} \cdot \pi$

$$p = \frac{4 \cdot F}{d^2 \cdot \pi}$$

p Druck, z. B. in Pa
F Druckkraft, z. B. in N
A Druckfläche, z. B. in m^2
d Durchmesser eines Kreises, z. B. in m

■ Wie groß ist der Druck in einer Sektflasche, in der auf die Fläche des Korkens mit einem Durchmesser von 2,0 cm eine Schubkraft von 150 N wirkt?

Gegeben:
$F = 150\ \mathrm{N}$
$d = 2{,}0\ \mathrm{cm} = 2{,}0 \cdot 10^{-2}\ \mathrm{m}$
Gesucht:
p

Lösung:

$$p = \frac{4 \cdot F}{d^2 \cdot \pi}$$

$$p = \frac{4 \cdot 150\ \text{N}}{(2{,}0 \cdot 10^{-2}\ \text{m})^2 \cdot 3{,}14}$$

$$p = \frac{600\ \text{N}}{4{,}0 \cdot 3{,}14 \cdot 10^{-4}\ \text{m}^2}$$

$$p \approx 480 \cdot 10^3\ \text{N} \cdot \text{m}^{-2}$$

$$\underline{\underline{p \approx 480\ \text{kPa}}}$$

Ergebnis: Der Druck in einer Sektflasche beträgt etwa 480 kPa.

Berechnung des Gesamtdruckes in einer Flüssigkeit aus der Dichte der Flüssigkeit und der Höhe der Flüssigkeitssäule

Zum Berechnen des Gesamtdruckes in einer Flüssigkeit aus der Dichte und der Höhe der Flüssigkeitssäule benutzt man die Gleichung zur Berechnung des Gesamtdruckes und das Gesetz zur Berechnung des Schweredruckes. Bei der Berechnung des Gesamtdruckes ist der auf die Flüssigkeit wirkende Luftdruck zu berücksichtigen.

Gleichung zur Berechnung des Gesamtdruckes	**Gesetz zur Berechnung des Schweredruckes**
$p = p_s + p_0$	$p_s = \varrho \cdot g \cdot h$

$$p = \varrho \cdot g \cdot h + p_0$$

p_s Schweredruck, z. B. in Pa
ϱ Dichte der Flüssigkeit, z. B. in $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$
g Fallbeschleunigung, z. B. in $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$
h Höhe der Flüssigkeitssäule, z. B. in m
p_0 Luftdruck, z. B. in Pa
p Gesamtdruck, z. B. in Pa

■ Ein etwa 1 m langes Rohr wird bis zu einer Höhe von 760 mm mit Quecksilber gefüllt. Auf die Quecksilberoberfläche wirkt ein Luftdruck $p_0 = 1\,010$ hPa. Wie groß ist der Gesamtdruck am Boden des Gefäßes ($\varrho_{Hg} = 13{,}6\ \text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)?

5/2

Gegeben:

$h \quad = 760\ \text{mm} = 760 \cdot 10^{-3}\ \text{m}$

$\varrho_{Hg} = 13{,}6\ \text{g} \cdot \text{cm}^{-3} = 13{,}6 \cdot 10^3\ \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$

$p_0 \quad = 1010\ \text{hPa} = 101 \cdot 10^3\ \text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$

$g \quad = 9{,}81\ \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$

Gesucht:

p

Lösung:

$p = \varrho \cdot g \cdot h + p_0$

$p = 13{,}6 \cdot 10^3\ \text{kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot 9{,}81\ \text{m} \cdot \text{s}^{-2} \cdot 760 \cdot 10^{-3}\ \text{m} + 101 \cdot 10^3\ \text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$

$p = 13{,}6 \cdot 9{,}81 \cdot 760 \cdot 10^3 \cdot 10^{-3}\ \text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-2} + 101 \cdot 10^3\ \text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$

$p = 101\,400\ \text{Pa} + 101\,000\ \text{Pa}$

$p = 202\,400\ \text{Pa}$

$\underline{\underline{p \approx 202\ \text{kPa}}}$

Ergebnis: Der Gesamtdruck am Boden des Gefäßes beträgt etwa 202 kPa.

Berechnung der mechanischen Spannung

Zum Berechnen der mechanischen Spannung in einem festen Körper aus seinem Elastizitätsmodul und der relativen Längenänderung benutzt man das Hookesche Gesetz und die Gleichung zur Berechnung der Dehnung.

Hookesches Gesetz	**Gleichung zur Berechnung der Dehnung**
$\sigma = \varepsilon \cdot E$	$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$

$$\sigma = \frac{\Delta l \cdot E}{l}$$

σ Spannung, z. B. in Pa
ε Dehnung (relative Längenänderung)
E Elastizitätsmodul, z. B. in $\text{N} \cdot \text{m}^{-2}$
Δl Längenänderung unter Wirkung der Kraft, z. B. in m
l Ausgangslänge, z. B. in m

■ Gesucht ist die Spannung in einem 10,00 m langen Kupferdraht, dessen Länge sich unter der Wirkung einer Kraft um 8 mm ändert ($E_{Cu} = 1{,}2 \cdot 10^{11}\ \text{N} \cdot \text{m}^{-2}$).

Gegeben:

$\Delta l = 8\,\text{mm} = 8 \cdot 10^{-3}\,\text{m}$

$l = 10{,}00\,\text{m}$

$E_{Cu} = 1{,}2 \cdot 10^{11}\,\text{N} \cdot \text{m}^{-2}$

Gesucht:

σ

Lösung:

$$\sigma = \frac{\Delta l \cdot E}{l}$$

$$\sigma = \frac{8 \cdot 10^{-3}\,\text{m} \cdot 1{,}2 \cdot 10^{11}\,\text{N} \cdot \text{m}^{-2}}{10{,}00\,\text{m}}$$

$$\sigma = 8 \cdot 1{,}2 \cdot 10^{7}\,\text{N} \cdot \text{m}^{-2}$$

$$\underline{\underline{\sigma = 9{,}6 \cdot 10^{7}\,\text{Pa}}}$$

Ergebnis: Die mechanische Spannung im Kupferdraht beträgt 96 MPa.

Berechnung der Scherspannung

Zum Berechnen der Scherspannung benutzt man die Definitionsgleichung der Scherspannung $\tau = \frac{F_t}{A}$ und die spezielle Gleichung für die auf Zug beanspruchte Fläche.

Definitionsgleichung der Scherspannung	**Gleichung zur Berechnung der Überlappungsfläche**
$\tau = \frac{F_t}{A}$	$A = b \cdot l$

$$\tau = \frac{F_t}{b \cdot l}$$

τ Scherspannung, z. B. in Pa
F_t tangentiale Zugkraft, z. B. in N
A Fläche, z. B. in m^2
b, l Seitenlängen der Fläche, z. B. in m

■ Zwei Stahlbleche mit einer Länge von 50 mm sind durch Kleben verbunden worden. Die Breite der Klebefuge bei Überlappung beträgt 10 mm (Bild 5/6). Die Klebverbindung wird mit einer Zugkraft von 100 N beansprucht. Wie groß ist die Scherspannung?

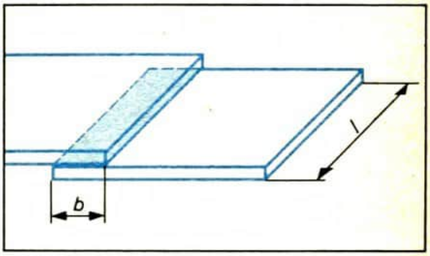


Bild 5/6 Überlappende Bleche

5/2

Gegeben:
$b = 10\ \text{mm} = 10 \cdot 10^{-3}\ \text{m}$
$l = 50\ \text{mm} = 50 \cdot 10^{-3}\ \text{m}$
$F_t = 100\ \text{N}$

Gesucht:
τ

Lösung:

$$\tau = \frac{F_t}{b \cdot l}$$

$$\tau = \frac{100\ \text{N}}{10 \cdot 10^{-3}\ \text{m} \cdot 50 \cdot 10^{-3}\ \text{m}}$$

$$\underline{\underline{\tau = 0{,}2 \cdot 10^{6}\ \text{N} \cdot \text{m}^{-2} = 0{,}2\ \text{MPa.}}}$$

Ergebnis: Die Scherspannung beträgt 0,2 MPa.

5.2.6. Arbeit, Energie

Art der Einheit	Formelzeichen	Benennung der Einheit	Einheitenzeichen	Einheitengleichung
abgeleitete Einheit	*W, A, E, W*	Joule	J	$[W] = [F] \cdot [s]$ $1\ \text{J} = 1\ \text{N} \cdot \text{m}$ $= 1\ \text{W} \cdot \text{s} =$ $1\ \text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2}$
Zulässige und übliche Vielfache und Teile der Einheit				
mJ, kJ, MJ, GJ, TJ — mN · m, kN · m				

Berechnung der Verschiebungsarbeit

Zum Berechnen der Verschiebungsarbeit kann unter der Bedingung, daß Kraft- und Verschiebungsrichtung übereinstimmen und die Kraft längs des Weges konstant ist, die spezielle Gleichung zur Berechnung der Arbeit benutzt werden.

$W = F \cdot s$	W Verschiebungsarbeit, z. B. in N · m F Kraft, z. B. in N s Weg, z. B. in m

■ Welche Arbeit wird beim gleichförmigen Verschieben eines Wagens mit der Kraft $F = 50$ N um 4 m verrichtet?

Gegeben:
$F = 50\ \text{N}$
$s = 4\ \text{m}$

Gesucht:
W

Lösung:
$W = F \cdot s$
$W = 50\ \text{N} \cdot 4\ \text{m}$
$W = 50 \cdot 4\ \text{N} \cdot \text{m}$
$\underline{\underline{W = 200\ \text{N} \cdot \text{m}}}$

Ergebnis: Beim Verschieben des Wagens wird eine Arbeit von 200 N · m verrichtet.

Berechnung der Spannarbeit an einer elastischen Feder

Zum Berechnen der zum Spannen einer Feder aufgewendeten Arbeit kann die Gleichung für die Spannarbeit benutzt werden.

$W_F = \frac{1}{2} F_F \cdot s$	W_F Spannarbeit, z. B. in N · m F_F Spannkraft, z. B. in N s durch die Kraft hervorgerufene Verlängerung der Feder, z. B. in m

■ Welche Spannarbeit war aufzuwenden, wenn ein Expander aus der entsprechenden Lage heraus bei einer Kraft $F_F = 50$ N um 10 cm gedehnt wurde?

Gegeben:

$s = 10 \text{ cm} = 10 \cdot 10^{-2} \text{ m}$

$F_F = 50 \text{ N}$

Gesucht:

W_F

Lösung:

$$W_F = \frac{1}{2} F_F \cdot s$$

$$W_F = \frac{1}{2} \cdot 50 \text{ N} \cdot 10 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$\underline{\underline{W_F = 2{,}5 \text{ N} \cdot \text{m}}}$$

Ergebnis: Die zum Spannen der Feder erforderliche Arbeit beträgt 2,5 N · m.

Berechnung der kinetischen Energie

Zum Berechnen der kinetischen Energie kann die Definitionsgleichung der kinetischen Energie benutzt werden.

$W_{kin} = \frac{m}{2} \cdot v^2$	W_{kin} kinetische Energie, z. B. in N · m m Masse des Körpers, z. B. in kg v Geschwindigkeit des Körpers, z. B. in $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

■ Ein Pkw „Trabant" mit der Masse von 750 kg fährt mit einer Geschwindigkeit $v = 80 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. Wie groß ist die kinetische Energie?

Gegeben:

$m = 750 \text{ kg}$

$v = 80 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1} = 22{,}2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Gesucht:

W_{kin}

Lösung:

$$W_{kin} = \frac{m}{2} \cdot v^2$$

$$W_{kin} = \frac{750 \text{ kg} \cdot (22{,}2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1})^2}{2}$$

$$W_{kin} = \frac{750 \cdot 22{,}2 \cdot 22{,}2 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}}{2}$$

$$W_{kin} \approx 180\,000 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$\underline{\underline{W_{kin} \approx 180 \text{ kN} \cdot \text{m}}}$$

Ergebnis: Die kinetische Energie des Fahrzeuges beträgt etwa 180 kN · m.

5/2

Berechnung der Rotationsenergie eines Körpers

Zum Berechnen der Rotationsenergie benutzt man die Gleichung zur Berechnung der Rotationsenergie, die spezielle Gleichung zur Berechnung des Trägheitsmoments des rotierenden Körpers und die Gleichung zur Berechnung der Winkelgeschwindigkeit. Für einen rotierenden Kreiszylinder gilt bei Drehung um die Symmetrieachse:

Gleichung zur Berechnung der Rotationsenergie	**Gleichung zur Berechnung des Trägheitsmoments eines (homogenen) Vollzylinders bei Drehung um die Symmetrieachse**	**Gleichung zur Berechnung der Winkelgeschwindigkeit**
$W = \frac{1}{2} \cdot J \cdot \omega^2$	$J = \frac{m}{2} \cdot r^2$	$\omega = 2 \cdot \pi \cdot n$

$$W = \frac{1}{2} \cdot \frac{m}{2} \cdot r^2 \cdot \omega^2$$

$$W = \frac{1}{2} \cdot \frac{m}{2} \cdot r^2 \cdot 4 \cdot \pi^2 \cdot n^2$$

$$W = m \cdot r^2 \cdot \pi^2 \cdot n^2$$

W Rotationsenergie, z. B. in $N \cdot m$
J Massenträgheitsmoment, z. B. in $kg \cdot m^2$
ω Winkelgeschwindigkeit, z. B. in $rad \cdot s^{-1}$
m Masse, z. B. in kg
r Radius, z. B. in m
n Drehzahl des Körpers, z. B. in s^{-1}

■ Der Teller eines Plattenspielers hat eine Masse $m = 0{,}5$ kg. Sein Durchmesser beträgt $d = 20$ cm. Welche Rotationsenergie besitzt er bei einer Drehzahl $n = 33\frac{1}{3}\ \text{min}^{-1}$?

Gegeben:
$m = 0{,}5$ kg
$r = 10\ \text{cm} = 10 \cdot 10^{-2}$ m
$n = 33\frac{1}{3}\ \text{min}^{-1} = 0{,}56\ \text{s}^{-1}$

Gesucht:
W

Lösung:

$W = m \cdot r^2 \cdot \pi^2 \cdot n^2$

$W = 0{,}5\ \text{kg} \cdot (10^{-1}\ \text{m})^2 \cdot (3{,}14)^2 \cdot (0{,}56\ \text{s}^{-1})^2$

$W = 0{,}5 \cdot 3{,}14 \cdot 3{,}14 \cdot 0{,}56 \cdot 0{,}56 \cdot 10^{-2}\ \text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$

$\underline{\underline{W = 16\ \text{mN} \cdot \text{m}}}$

Ergebnis: Die Rotationsenergie des Plattentellers beträgt 16 mN · m.

5.2.7. Leistung

Art der Einheit	Formelzeichen	Benennung der Einheit	Einheitenzeichen	Einheitengleichung
abgeleitete Einheit	P	Watt	W	$[P] = \frac{[W]}{[t]}$ $1\ \text{W} = \frac{1\ \text{J}}{1\ \text{s}} =$ $1\ \text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-3}$
Zulässige und übliche Vielfache und Teile der Einheit				
µW, mW, kW, MW, GW				

Berechnung der Leistung aus Arbeit und Zeit

Zum Berechnen einer konstanten Leistung muß die Definitionsgleichung der Leistung mit der jeweils speziellen Definitionsgleichung der Arbeit und der Gleichung für die Gewichtskraft kombiniert werden.

Definitionsgleichung für konstante Leistung	**Gleichung zur Berechnung der Hubarbeit (Verschiebungsarbeit)**	**Gleichung zur Berechnung der Gewichtskraft**
$P = \frac{W}{t}$	$W = G \cdot h$	$G = m \cdot g$
	$P = \frac{m \cdot g \cdot h}{t}$	

P Leistung, z. B. in W	h Weg, z. B. in m
W Arbeit, z. B. in N · m	m Masse, z. B. in kg
t Zeit, z. B. in s	g Fallbeschleunigung, z. B. in $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$
G Gewichtskraft, z. B. in N	

➡ 5/2

■ Ein Kran hebt ein Betonfertigteil mit der Masse 2 t in 60 s in eine Höhe von 15 m. Wie groß ist die vom Motor aufzubringende Leistung?

Gegeben:

$m = 2{,}0\ \text{t} = 2{,}0 \cdot 10^3\ \text{kg}$

$g = 9{,}81\ \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$

$t = 60\ \text{s}$

$h = 15\ \text{m}$

Gesucht:

P

Lösung:

$$P = \frac{m \cdot g \cdot h}{t}$$

$$P = \frac{2{,}0 \cdot 10^3\ \text{kg} \cdot 9{,}81\ \text{m} \cdot \text{s}^{-2} \cdot 15\ \text{m}}{60\ \text{s}}$$

$$P = \frac{2{,}0 \cdot 9{,}81 \cdot 15 \cdot 10^3\ \text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}}{60\ \text{s}}$$

$$P = 4{,}9\ \frac{\text{kN} \cdot \text{m}}{\text{s}}$$

$$\underline{\underline{P \approx 5\ \text{kW}}}$$

Ergebnis: Die vom Motor zu bringende Leistung muß 5 kW betragen.

Berechnung der Leistung eines Motors aus Kraftmoment und Drehzahl

Zum Berechnen der Leistung aus der Drehzahl und dem Kraftmoment eines Motors benutzt man die spezielle Gleichung des Kraftmoments für $F \perp r$, die Gleichungen zur Berechnung der Leistung, für den Zusammenhang zwischen Bahn- und Winkelgeschwindigkeit und zur Berechnung der Kreisfrequenz.

Spezielle Gleichung zur Berechnung des Kraftmoments für $F \perp r$	**Gleichung zur Berechnung der Leistung aus Kraft und Geschwindigkeit**	**Gleichung für den Zusammenhang zwischen Bahn- und Winkelgeschwindigkeit bei konstanter Drehzahl**	**Gleichung zur Berechnung der Kreisfrequenz**
$M = F \cdot r$	$P = F \cdot v$	$v = \omega \cdot r$	$\omega = 2 \cdot \pi \cdot n$

$$P = \frac{M}{r} \cdot v$$

$$P = M \cdot \omega$$

$$P = M \cdot 2 \cdot \pi \cdot n$$

M	Kraftmoment, z. B. in $N \cdot m$
F	Kraft, z. B. in N
r	senkrechter Abstand zwischen Drehachse und Wirkungslinie der Kraft, z. B. in m
P	Leistung, z. B. in W
v	Bahngeschwindigkeit, z. B. in $m \cdot s^{-1}$
ω	Winkelgeschwindigkeit, z. B. in $rad \cdot s^{-1}$
n	Frequenz, z. B. in s^{-1}

■ Gesucht ist die Leistung eines Motors, der bei einer Drehzahl von $3\,600\ min^{-1}$ ein Kraftmoment von $50\ N \cdot m$ erzeugt!

Gegeben:
$M = 50\ N \cdot m$
$n = 3\,600\ min^{-1} = 60\ s^{-1}$

Gesucht:
P

Lösung:

$P = M \cdot 2\pi \cdot n$

$P = 50\ N \cdot m \cdot 2 \cdot 3{,}14 \cdot 60\ s^{-1}$

$P = 50 \cdot 2 \cdot 3{,}14 \cdot 60\ N \cdot m \cdot s^{-1}$

$P = 19\ kN \cdot m \cdot s^{-1}$

$\underline{\underline{P = 19\ kW}}$

Ergebnis: Der Motor bringt eine Leistung von 19 kW.

5.2.8. Massenträgheitsmoment

Art der Einheit	Formelzeichen	Benennung der Einheit	Einheitenzeichen	Einheitengleichung
abgeleitete Einheit	J	Kilogrammquadratmeter	$kg \cdot m^2$	$[J] = [m] \cdot [l]^2$ $1\ kg \cdot 1\ m^2 = 1\ kg \cdot m^2$

Berechnung des Massenträgheitsmoments einer Kugel bezüglich einer Symmetrieachse

Zum Berechnen des Massenträgheitsmoments einer homogenen Kugel bezüglich der Drehung um eine Symmetrieachse benutzt man die Gleichung

$J = \frac{2}{5} \cdot m \cdot r^2$	J	Massenträgheitsmoment, z. B. in $kg \cdot m^2$
	m	Masse der Kugel, z. B. in kg
	r	Kugelradius, z. B. in m

■ Gesucht ist das Massenträgheitsmoment der als homogen angenommenen Erdkugel bezüglich der Erdachse.

5/2

Gegeben:

$m = 5{,}96 \cdot 10^{24}\ \text{kg} \approx 6 \cdot 10^{24}\ \text{kg}$

$R = 6{,}37 \cdot 10^{6}\ \text{m} \approx 6{,}4 \cdot 10^{6}\ \text{m}$

Gesucht:

J

Lösung:

$$J = \frac{2}{5} \cdot m \cdot r^2$$

$$J \approx \frac{2}{5} \cdot 6 \cdot 10^{24}\ \text{kg} \cdot (6{,}4 \cdot 10^{6}\ \text{m})^2$$

$$J \approx \frac{2}{5} \cdot 6 \cdot 6{,}4 \cdot 6{,}4 \cdot 10^{24} \cdot 10^{12}\ \text{kg} \cdot \text{m}^2$$

$$\underline{\underline{J \approx 100 \cdot 10^{36}\ \text{kg} \cdot \text{m}^2}}$$

Ergebnis: Das gesuchte Massenträgheitsmoment ist rund $100 \cdot 10^{36}$ kg · m².

Berechnung des Massenträgheitsmoments einer Scheibe bezüglich einer durch ihren Mittelpunkt parallel verlaufenden auf der Scheibe senkrecht stehenden Achse

Zum Berechnen benutzt man den Satz von Steiner.

$J = J_0 + m \cdot d^2$	J Massenträgheitsmoment, z. B. in kg · m² J_0 Massenträgheitsmoment der Scheibe bezüglich der durch ihren Mittelpunkt verlaufenden auf der Scheibe senkrecht stehenden Achse, z. B. in kg · m² m Masse der Scheibe, z. B. in kg d Abstand der beiden parallelen Achsen, z. B. in m

■ Eine Kreisscheibe mit der Masse $m = 10$ kg besitzt bezüglich einer durch ihren Mittelpunkt verlaufenden auf der Scheibe senkrecht stehenden Drehachse das Massenträgheitsmoment $J_0 = 3{,}20$ kg · m². Wie groß ist das Massenträgheitsmoment, wenn sie um eine im Abstand von 5,0 cm parallele Achse rotiert?

Gegeben:

$J_0 = 3{,}20\ \text{kg} \cdot \text{m}^2$

$m = 10{,}0\ \text{kg}$

$d = 5{,}0\ \text{cm} = 5 \cdot 10^{-2}\ \text{m}$

Gesucht:

J

Lösung:

$$J = J_0 + m \cdot d^2$$

$$J = 3{,}20\ \text{kg} \cdot \text{m}^2 + 10{,}0\ \text{kg} \cdot (5 \cdot 10^{-2}\ \text{m})^2$$

$$J = (3{,}20 + 10{,}0 \cdot 25 \cdot 10^{-4})\ \text{kg} \cdot \text{m}^2$$

$$J = (3{,}20 + 0{,}0250)\ \text{kg} \cdot \text{m}^2$$

$$\underline{\underline{J = 3{,}23\ \text{kg} \cdot \text{m}^2}}$$

Ergebnis: Das Massenträgheitsmoment bei der Rotation der Kreisscheibe um diese Achse beträgt 3,23 kg · m².

5.2.9. Impuls

Art der Einheit	Formelzeichen	Benennung der Einheit	Einheitenzeichen	Einheitengleichung
abgeleitete Einheit	p	Kilogrammmeter je Sekunde	$kg \cdot m \cdot s^{-1}$	$[p] = [m] \cdot [v]$ $1\ kg \cdot 1\ \frac{m}{s} =$ $1\ kg \cdot m \cdot s^{-1}$

Berechnung des Impulses aus der Masse und der Geschwindigkeit

Zum Berechnen des Impulses aus der Masse des Körpers und seiner Geschwindigkeit benutzt man die Gleichung

$p = m \cdot v$	p Impuls, z. B. in $kg \cdot m \cdot s^{-1}$ m Masse, z. B. in kg v Geschwindigkeit, z. B. in $m \cdot s^{-1}$

Eine Kugel mit der Masse $m = 100$ g stößt zentral und elastisch gegen eine Reihe gleichartiger Kugeln. Die aufprallende Kugel hat eine Geschwindigkeit $v = 5\ m \cdot s^{-1}$. Wie groß ist der an die Kugelreihe übertragene Impuls?

Gegeben:
$m = 100\ g = 0{,}1\ kg$
$v = 5\ m \cdot s^{-1}$

Gesucht:
p

Lösung:
$p = m \cdot v$
$p = 0{,}1\ kg \cdot 5\ m \cdot s^{-1}$
$\underline{\underline{p = 0{,}5\ kg \cdot m \cdot s^{-1}}}$

Ergebnis: Die Kugelreihe überträgt einen Impuls von $0{,}5\ kg \cdot m \cdot s^{-1}$.

Berechnung des Impulses eines Lichtquants

Zum Berechnen des Impulses von Lichtquanten benutzt man die Gleichung für die de Broglie-Wellenlänge.

$\lambda = \frac{h}{p}$	λ Wellenlänge des Strahlungsquants im Vakuum, z. B. in m h Plancksches Wirkungsquantum, z. B. in $J \cdot s$ p Impuls des Strahlungsquants, z. B. in $kg \cdot m \cdot s^{-1}$

Die blaue Spektrallinie M_β der Balmer-Serie des Wasserstoffatoms hat die Wellenlänge $\lambda = 486{,}13$ nm. Welcher Impuls wird durch die Photonen dieser Lichtstrahlung übertragen?

5/2

Gegeben:

$\lambda = 486{,}13\ \text{nm} = 486{,}13 \cdot 10^{-9}\ \text{m} = 4{,}8613 \cdot 10^{-7}\ \text{m}$

$h = 6{,}626 \cdot 10^{-34}\ \text{J} \cdot \text{s} = 6{,}626 \cdot 10^{-34}\ \text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$

Gesucht:

p

Lösung:

$$p = \frac{h}{\lambda}$$

$$p = \frac{6{,}626 \cdot 10^{-34}\ \text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}}{4{,}8613 \cdot 10^{-7}\ \text{m}}$$

$$\underline{\underline{p = 1{,}36 \cdot 10^{-27}\ \text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}}}$$

Ergebnis: Der Impuls der Photonen dieser Lichtstrahlung beträgt $1{,}36 \cdot 10^{-27}\ \text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$.

5.2.10. Drehimpuls

Art der Einheit	Formelzeichen	Benennung der Einheit	Einheitenzeichen	Einheitengleichung
abgeleitete Einheit	L	Kilogramm mal Quadratmeter je Sekunde	$\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	$[L] = [p] \cdot [l]$ $1\,\frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}} \cdot 1\ \text{m} = 1\ \text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1} = 1\ \text{N} \cdot \text{m} \cdot \text{s}$

Berechnung des Drehimpulses einer Kugel aus Trägheitsmoment und Rotationsfrequenz

Zum Berechnen des Drehimpulses aus Trägheitsmoment und Rotationsfrequenz benutzt man die Gleichung für den Drehimpuls und die Gleichung für die Kreisfrequenz.

Gleichung zur Berechnung des Drehimpulses	**Gleichung zur Berechnung der Kreisfrequenz**
$L = J \cdot \omega$	$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$

$$L = J \cdot 2 \cdot \pi \cdot f$$

L Drehimpuls, z. B. in $\text{N} \cdot \text{m} \cdot \text{s}$
J Trägheitsmoment, z. B. in $\text{kg} \cdot \text{m}^2$
ω Kreisfrequenz, z. B. in s^{-1}
f Frequenz, z. B. in s^{-1}

■ Wie groß ist der Drehimpuls der Erde bezüglich der Erdachse, wenn das Trägheitsmoment der Erde $J = 9{,}7 \cdot 10^{37}\ \mathrm{kg \cdot m^2}$ beträgt und die Erde mit der Frequenz $f \approx \frac{1}{24}\ \mathrm{h^{-1}}$ um ihre Achse rotiert ($\frac{1}{f} = T = 86\,164\ \mathrm{s}$; mittlerer Sternentag)?

Gegeben:

$J = 9{,}7 \cdot 10^{37}\ \mathrm{kg \cdot m^2}$

$f \approx \frac{1}{24}\ \mathrm{h^{-1}} \approx \frac{1}{86 \cdot 10^3}\ \mathrm{s^{-1}}$

Gesucht:

L

Lösung:

$L = J \cdot 2 \cdot \pi \cdot f$

$L \approx 9{,}7 \cdot 10^{37}\ \mathrm{kg \cdot m^2} \cdot 2 \cdot 3{,}14 \cdot \frac{1}{86 \cdot 10^3}\ \mathrm{s^{-1}}$

$L \approx \frac{9{,}7 \cdot 2 \cdot 3{,}14 \cdot 10^{37}}{86 \cdot 10^3}\ \mathrm{kg \cdot m^2 \cdot s^{-1}}$

$\underline{\underline{L \approx 7{,}0 \cdot 10^{33}\ \mathrm{kg \cdot m^2 \cdot s^{-1}}}}$

Ergebnis: Der Drehimpuls der Erde beträgt etwa $7{,}0 \cdot 10^{33}\ \mathrm{kg \cdot m^2 \cdot s^{-1}}$.

5.3. Beispielaufgaben zu Größen der Wärme

5.3.1. Temperatur

Art der Einheit	Formelzeichen	Benennung der Einheit	Einheitenzeichen	Einheitengleichung
Basiseinheit	T	Kelvin (↗ S. 68)	K	$[T] = 1\ \mathrm{K}$
Zulässige und übliche Vielfache und Teile der Einheit				
mK, kK				

Berechnung der Temperatur beim Wärmeausgleich zweier Körper unterschiedlicher Temperatur

Zum Berechnen der Temperatur beim Wärmeausgleich zweier Körper unterschiedlicher Temperatur benutzt man die Gleichung zum Berechnen der Wärme und die Gleichung für den Wärmeaustausch.

5/3

Gleichung zum Berechnen der Wärme für den		Temperaturdifferenzen zwischen der Temperatur nach dem Wärmeausgleich und der Temperatur des		Gesetz über den Wärmeaustausch (Richmannsche Regel)
wärmeaufnehmenden Körper 1	wärmeabgebenden Körper 2	Körpers 1	Körpers 2	
$Q_{auf} = c_1 m_1 \Delta\vartheta_1$	$Q_{ab} = c_2 m_2 \Delta\vartheta_2$	$\Delta\vartheta_1 = \vartheta_m - \vartheta_1$	$\Delta\vartheta_2 = \vartheta_2 - \vartheta_m$	$Q_{auf} = Q_{ab}$

$$Q_{auf} = c_1 m_1 (\vartheta_m - \vartheta_1) \qquad Q_{ab} = c_2 m_2 (\vartheta_2 - \vartheta_m)$$

$$c_1 m_1 (\vartheta_m - \vartheta_1) = c_2 m_2 (\vartheta_2 - \vartheta_m)$$

$$\vartheta_m = \frac{c_1 m_1 \vartheta_1 + c_2 m_2 \vartheta_2}{c_1 m_1 + c_2 m_2}$$

Q_{auf}; Q_{ab}	vom Körper 1 aufgenommene bzw. vom Körper 2 abgegebene Wärme, z. B. in J
ϑ_m	Mischungstemperatur, z. B. in °C
c_1; c_2	spezifische Wärmekapazität des wärmeaufnehmenden Körpers 1 und des wärmeabgebenden Körpers 2, z. B. in $J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$
m_1; m_2	Masse des wärmeaufnehmenden Körpers 1 und des wärmeabgebenden Körpers 2, z. B. in kg
ϑ_1; ϑ_2	Temperatur des wärmeaufnehmenden Körpers 1 und des wärmeabgebenden Körpers 2, z. B. in °C

■ Welche Endtemperatur ϑ_e stellt sich ein, wenn man 150 g Bleischrot ($c_{Pb} = 126\ J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$) von 100 °C in 1 000 g Wasser ($c_{H_2O} = 4\,190\ J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$) von 30 °C bringt?

Gegeben:

$m_1 = m_{H_2O} = 1\,000\ g = 1{,}000\ kg$

$m_2 = m_{Pb} = 150\ g = 0{,}150\ kg$

$c_1 = c_{H_2O} = 4\,190\ J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$

$c_2 = c_{Pb} = 126\ J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$

$\vartheta_1 = \vartheta_{H_2O} = 30\ °C$

$\vartheta_2 = \vartheta_{Pb} = 100\ °C$

Gesucht:

$\vartheta_e = \vartheta_m$

Lösung:

$$\vartheta_m = \frac{c_1 \cdot m_1 \cdot \vartheta_1 + c_2 \cdot m_2 \cdot \vartheta_2}{c_1 \cdot m_1 + c_2 \cdot m_2}$$

$$\vartheta_m = \frac{126\ \text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \cdot 0{,}150\ \text{kg} \cdot 100\ °\text{C} + 4\,190\ \text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \cdot 1{,}000\ \text{kg} \cdot 30\ °\text{C}}{126\ \text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \cdot 0{,}150\ \text{kg} + 4\,190\ \text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \cdot 1{,}000\ \text{kg}}$$

$$\vartheta_m = \frac{(126 \cdot 0{,}150 \cdot 100 + 4\,190 \cdot 1{,}000 \cdot 30)\ \text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \cdot °\text{C}}{(126 \cdot 0{,}150 + 4\,190 \cdot 1{,}000)\ \text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}}$$

$$\vartheta_m = \frac{127\,590\ °\text{C}}{4\,208{,}9}$$

$$\underline{\underline{\vartheta_m = 30{,}3\ °\text{C}}}$$

Ergebnis: Die Endtemperatur beträgt 30,3 °C.

5.3.2. Wärme

Art der Einheit	Formelzeichen	Benennung der Einheit	Einheitenzeichen	Einheitengleichung
abgeleitete Einheit	Q, W	Joule	J	$[Q] = [m] \cdot [H]$ $1\ \text{J} = 1\ \text{kg} \cdot 1\ \frac{\text{J}}{\text{kg}}$ $1\ \text{J} = 1\ \text{N} \cdot \text{m} = 1\ \text{W} \cdot \text{s} = 1\ \text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2}$
Zulässige und übliche Vielfache und Teile der Einheit				
mJ, kJ, MJ, GJ, TJ				

Berechnung der Wärme aus der Masse und der Temperaturveränderung

Zum Berechnen der Wärme aus Masse und Temperaturveränderung benutzt man die folgende Gleichung:

$Q = c \cdot m \cdot \Delta T$	Q Wärme, z. B. in J c spezifische Wärmekapazität, z. B. in $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ m Masse, z. B. in kg ΔT Temperaturdifferenz in K

■ Wieviel Wärme ist erforderlich, um 2 l Wasser von 20 °C bis zum Sieden zu erhitzen?

5/3

Gegeben:

$m = 2\,l = 2\,kg$

$\Delta T = 80\,K$

$c = 4{,}187\,kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$

Gesucht:

Q

Lösung:

$Q = c \cdot m \cdot \Delta T$

$Q = 4{,}187\,kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1} \cdot 2\,kg \cdot 80\,K$

$Q = 4{,}187 \cdot 2 \cdot 80\,kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1} \cdot kg \cdot K$

$\underline{\underline{Q = 669{,}9\,kJ}}$

Ergebnis: Zum Erwärmen des Wassers bis zum Sieden ist eine Wärme von 670 kJ erforderlich.

**Berechnung der Wärme,
die bei der Verbrennung eines Stoffes abgegeben wird**

Zum Berechnen der Wärme, die bei der Verbrennung eines Stoffes abgegeben wird, benutzt man bei Kenntnis des Heizwerts des Stoffes die Gleichung

$Q = m \cdot H$	Q Wärme, z. B. in J m Masse, z. B. in kg H Heizwert, z. B. in $J \cdot kg^{-1}$

■ Gesucht ist die Wärme, die bei der Verbrennung von 1 t Braunkohlenbriketts (Heizwert $H = 21{,}0\,MJ \cdot kg^{-1}$) entsteht.

Gegeben:

$m = 1\,t = 1\,000\,kg = 1{,}0 \cdot 10^3\,kg$

$H = 21{,}0\,MJ \cdot kg^{-1}$

Gesucht:

Q

Lösung:

$Q = m \cdot H$

$Q = 1{,}0 \cdot 10^3\,kg \cdot 21{,}0\,MJ \cdot kg^{-1}$

$Q = 1{,}0 \cdot 10^3 \cdot 21{,}0\,kg \cdot MJ \cdot kg^{-1}$

$Q = 21{,}0 \cdot 10^3\,MJ$

$\underline{\underline{Q = 21{,}0\,GJ}}$

Ergebnis: 1 t Braunkohlenbriketts hat einen Heizwert von 21,0 GJ.

5.3.3. Wärmekapazität

Art der Einheit	Formelzeichen	Benennung der Einheit	Einheitenzeichen	Einheitengleichung
abgeleitete Einheit	C	Joule je Kelvin	$J \cdot K^{-1}$	$[C] = \frac{[Q]}{[T]}$ $\frac{1\,J}{1\,K} = 1\,m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot K^{-1}$
Zulässige und übliche Vielfache und Teile der Einheit				
$kJ \cdot K^{-1}$				

Berechnung der Wärmekapazität eines Kalorimeters (Wasserwert)

Zum Berechnen der Wärmekapazität eines Kalorimeters aus der Masse des Kalorimetergefäßes, des in ihm befindlichen Wassers, des Thermometers, des Rührers usw. und der jeweiligen spezifischen Wärmekapazität benutzt man die Gleichung

$C = \sum_{i=1}^{n} m_i c_i$	C Wärmekapazität, z. B. in $J \cdot K^{-1}$ m_i Masse des Kalorimetergefäßes, des darin befindlichen Wassers, . . ., z. B. in kg m_K Masse des Kalorimeters, z. B. in kg m_W Masse des Wassers, z. B. in kg c_i spezifische Wärmekapazität des Kalorimetergefäßes, des darin befindlichen Wassers, . . ., z. B. in $J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$ c_K spezifische Wärmekapazität des Kalorimeters, z. B. in $kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$ c_W spezifische Wärmekapazität des Wassers, z. B. in $kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$

■ Wie groß ist die Wärmekapazität eines Kalorimeters aus Aluminium ($c_K = 0{,}896\ kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$) und der Masse $m_K = 27{,}05$ g, in dem sich 185,95 g Wasser ($c_W = 4{,}19\ kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$) befinden?

Gegeben:

$m_K = 27{,}05\ g = 27{,}05 \cdot 10^{-3}\ kg$
$c_K = 0{,}896\ kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$
$m_W = 185{,}95\ g = 185{,}95 \cdot 10^{-3}\ kg$
$c_W = 4{,}19\ kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$

Gesucht:

C

Lösung:

$$C = \sum_{i=1}^{n} m_i c_i$$
$$C = m_K c_K + m_W c_W$$
$$C = 27{,}05 \cdot 10^{-3}\ kg \cdot 0{,}896\ kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1} + 185{,}95 \cdot 10^{-3}\ kg \cdot 4{,}19\ kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$$
$$C = 27{,}05 \cdot 0{,}896 \cdot 10^{-3}\ kJ \cdot K^{-1} + 185{,}95 \cdot 4{,}19 \cdot 10^{-3}\ kJ \cdot K^{-1}$$
$$C = (24{,}2 + 779{,}13) \cdot 10^{-3}\ kJ \cdot K^{-1}$$
$$\underline{\underline{C \approx 800\ J \cdot K^{-1}}}$$

Ergebnis: Die Wärmekapazität des wassergefüllten Kalorimeters beträgt etwa 800 $J \cdot K^{-1}$.

5.3.4. Spezifische Wärmekapazität

Art der Einheit	Formelzeichen	Benennung der Einheit	Einheitenzeichen	Einheitengleichung
abgeleitete Einheit	c	Joule je Kelvin und Kilogramm	$J \cdot K^{-1} \cdot kg^{-1}$	$[c] = \frac{[C]}{[m]}$ $\frac{1\ J}{K \cdot kg} = \frac{1\ J \cdot K^{-1}}{1\ kg} = 1\ m^2 \cdot s^{-2} \cdot K^{-1}$
Zulässige und übliche Vielfache und Teile der Einheit				
$kJ \cdot K^{-1} \cdot kg^{-1}$				

Berechnung der spezifischen Wärmekapazität

Zum Berechnen der spezifischen Wärmekapazität kann die Definitionsgleichung der spezifischen Wärmekapazität benutzt werden.

$c = \frac{C}{m}$	c spezifische Wärmekapazität, z. B. in $J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$ C Wärmekapazität, z. B. in $J \cdot K^{-1}$ m Masse des Stoffes, z. B. in kg

■ Aus welchem Stoff besteht ein fester Körper, dessen Masse 13 kg beträgt und der eine Wärmekapazität von $5\ kJ \cdot K^{-1}$ besitzt?

Gegeben:

$m = 13\ kg$

$C = 5\ kJ \cdot K^{-1} = 5 \cdot 10^3\ J \cdot K^{-1}$

Gesucht:

c

Lösung:

$$c = \frac{C}{m}$$

$$c = \frac{5 \cdot 10^3\ J \cdot K^{-1}}{13\ kg}$$

$$\underline{\underline{c = 385\ J \cdot K^{-1} \cdot kg^{-1}}}$$

Ergebnis: Der Körper besteht aus Messing.

Berechnung der spezifischen Wärmekapazität eines Gases bei konstantem Volumen und konstantem Druck

Zum Berechnen der spezifischen Wärmekapazitäten bei konstantem Volumen bzw. konstantem Druck können folgende Gleichungen benutzt werden:

Gleichung zur Berechnung der spezifischen Wärmekapazität bei konstantem Volumen $c_v = \frac{f}{2} \cdot \frac{R}{M}$	c_v, c_p	spezifische Wärmekapazität bei konstantem Volumen bzw. konstantem Druck, z. B. in $J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$
	f	Anzahl der Freiheitsgrade eines Moleküls des Gases
	R	molare Gaskonstante, z. B. in $J \cdot kmol^{-1} \cdot K^{-1}$
Gleichung zur Berechnung der spezifischen Wärmekapazität bei konstantem Druck $c_p = \frac{R}{M} + c_v$	M	molare Masse, z. B. in $kg \cdot kmol^{-1}$

■ Zu berechnen sind die spezifischen Wärmekapazitäten von molekularem Stickstoff (N_2) bei konstantem Volumen und konstantem Druck.

Gegeben:

$R = 8{,}31 \cdot 10^3\ J \cdot kmol^{-1} \cdot K^{-1}$

$f = 5$

$M = 28\ kg \cdot kmol^{-1}$

Gesucht:

c_v

c_p

Lösung:

a) $$c_v = \frac{f \cdot R}{2 \cdot M}$$

$$c_v = \frac{8{,}31 \cdot 10^3\ J \cdot kmol^{-1} \cdot K^{-1} \cdot 5}{2 \cdot 28\ kg \cdot kmol^{-1}}$$

$$c_v = \frac{8{,}31 \cdot 5 \cdot 10^3}{2 \cdot 28}\ J \cdot K^{-1} \cdot kg^{-1}$$

$$\underline{\underline{c_v = 742\ J \cdot K^{-1} \cdot kg^{-1}}}$$

b) $$c_p = \frac{R}{M} + c_v$$

$$c_p = \frac{8{,}31 \cdot 10^3\ J \cdot kmol^{-1} \cdot K^{-1}}{28\ kg \cdot kmol^{-1}} + 742\ J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$$

$$c_p = (297 + 742)\ J \cdot K^{-1} \cdot kg^{-1}$$

$$\underline{\underline{c_p = 1\,039\ J \cdot K^{-1} \cdot kg^{-1}}}$$

Ergebnis: Die spezifischen Wärmekapazitäten für molekularen Stickstoff sind bei konstantem Volumen $c_v = 742\ J \cdot K^{-1} \cdot kg^{-1}$, bei konstantem Druck $c_p = 1\,039\ J \cdot K^{-1} \cdot kg^{-1}$.

5.3.5. Entropie

Art der Einheit	Formelzeichen	Benennung der Einheit	Einheitenzeichen	Einheitengleichung
abgeleitete Einheit	S	Joule je Kelvin	$\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{K}}$	$[S] = \frac{[Q]}{[T]}$ $\frac{1\,\mathrm{J}}{1\,\mathrm{K}} = 1\,\mathrm{m}^2 \cdot \mathrm{kg} \cdot \mathrm{s}^{-2} \cdot \mathrm{K}^{-1}$
Zulässige und übliche Vielfache und Teile der Einheit				
$\mathrm{kJ} \cdot \mathrm{K}^{-1}$				

Berechnung der Entropieänderung bei Temperaturänderung und Phasenumwandlung

Zum Berechnen der Entropieänderung benutzt man die Gleichung

$$\Delta S = S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{dQ}{T}.$$

Unter Benutzung der Grundgleichung der Wärmelehre und der Gleichung zur Berechnung der Wärme beim Sieden erhält man die Gleichungen zur Berechnung der einzelnen Anteile an der Gesamtentropieänderung.

Gleichung zur Berechnung der Entropieänderung beim Erwärmen eines Körpers von A_1 auf A_2	**Gleichung zur Berechnung der Entropieänderung beim Verdampfen des Körpers bei A_2**	**Gleichung zur Berechnung der Gesamtentropieänderung**
$\Delta S_1 = c \cdot m \cdot \ln \frac{T_2}{T_1}$	$\Delta S_2 = \frac{m \cdot r}{T_2}$	$\Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2$

$$\Delta S = m\left(c \cdot \ln \frac{T_2}{T_1} + \frac{q_r}{T_2}\right)$$

ΔS	Entropieänderung, z. B. in $\mathrm{J} \cdot \mathrm{K}^{-1}$
c	spezifische Wärmekapazität, z. B. in $\mathrm{J} \cdot \mathrm{kg}^{-1} \cdot \mathrm{K}^{-1}$
m	Masse, z. B. in kg
T_1, T_2	Anfangs- bzw. Endtemperatur, z. B. in K
q_r	spezifische Verdampfungswärme, z. B. in $\mathrm{J} \cdot \mathrm{kg}^{-1}$
ΔS_1	Entropieänderung beim Erwärmen, z. B. in $\mathrm{J} \cdot \mathrm{K}^{-1}$
ΔS_2	Entropieänderung beim Verdampfen, z. B. in $\mathrm{J} \cdot \mathrm{K}^{-1}$

■ 1 g Wasser von 0 °C wird in Dampf von 100 °C umgewandelt. Wie groß ist die Entropieänderung?

Gegeben:

$m = 1\ \text{g} = 10^{-3}\ \text{kg}$

$c = 4{,}19 \cdot 10^3\ \text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

$q_r = 2{,}26 \cdot 10^6\ \text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$

$T_2 = 373\ \text{K}$

$T_1 = 273\ \text{K}$

Gesucht:

ΔS

Lösung:

$$\Delta S = m\left(c \cdot \ln \frac{T_2}{T_1} - \frac{q_r}{T_2}\right)$$

$$\Delta S = 10^{-3}\ \text{kg}\left(4{,}19 \cdot 10^3\ \text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \ln \frac{373\ \text{K}}{273\ \text{K}} + \frac{2{,}26 \cdot 10^6\ \text{J} \cdot \text{kg}^{-1}}{373\ \text{K}}\right)$$

$$\Delta S = \left(4{,}19 \ln 1{,}37 + \frac{2{,}26 \cdot 10^3}{373}\right) \text{J} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$\Delta S = (4{,}19 \cdot 0{,}3121 + 6{,}1)\ \text{J} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$\underline{\underline{\Delta S = 7{,}4\ \text{J} \cdot \text{K}^{-1}}}$$

Ergebnis: Die Entropieänderung beträgt $7{,}4\ \text{J} \cdot \text{K}^{-1}$.

5.3.6. Wärmeleitfähigkeit

Art der Einheit	Formelzeichen	Benennung der Einheit	Einheitenzeichen	Einheitengleichung
abgeleitete Einheit	λ	Watt je Meter und Kelvin	$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	$[\lambda] = \frac{[Q]}{[l] \cdot [T]}$ $\frac{1\ \text{W}}{1\ \text{m} \cdot 1\ \text{K}} = 1\ \text{m} \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-3} \cdot \text{K}^{-1}$

Berechnung der Wärmeleitfähigkeit

Zum Berechnen der Wärmeleitfähigkeit benutzt man die Gleichung für die Wärmeleitung.

$Q = \lambda \cdot \frac{A \cdot t \cdot \Delta T}{l}$	Q transportierte Wärme, z. B. in J λ Wärmeleitfähigkeit, z. B. in $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ A Querschnittsfläche des Wärmestroms $P = \frac{W_W}{t}$, z. B. in m^2 t Zeit, z. B. in s ΔT Temperaturdifferenz, z. B. in K l Länge, z. B. in m

■ Durch die 3 mm dicke und 3,6 m^2 große Glasscheibe eines Blumenfensters dringt in einer Zeit von 3 h eine Wärme von 400 MJ nach außen. Die Zimmertemperatur liegt um 25 K über der Außentemperatur. Wie groß ist die Wärmeleitfähigkeit des Glases?

Gegeben:

$Q = 400\ \text{MJ} = 400 \cdot 10^6\ \text{W} \cdot \text{s}$

$l = 3\ \text{mm} = 3 \cdot 10^{-3}\ \text{m}$

$A = 3{,}6\ \text{m}^2$

$\Delta T = 25\ \text{K}$

$t = 3\ \text{h} = 10\,800\ \text{s}$

Gesucht:

λ

Lösung:

$$Q = \lambda \cdot \frac{A \cdot t \cdot \Delta T}{l}$$

$$\lambda = \frac{Q \cdot l}{A \cdot t \cdot \Delta T}$$

$$\lambda = \frac{400 \cdot 10^6\ \text{W} \cdot \text{s} \cdot 3 \cdot 10^{-3}\ \text{m}}{3{,}6\ \text{m}^2 \cdot 10\,800\ \text{s} \cdot 25\ \text{K}}$$

$$\lambda = \frac{400 \cdot 3 \cdot 10^3\ \text{W} \cdot \text{s} \cdot \text{m}}{3{,}6 \cdot 10\,800 \cdot 25\ \text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{K}}$$

$$\underline{\underline{\lambda = 1{,}23\ \frac{\text{W}}{\text{K} \cdot \text{m}}}}$$

Ergebnis: Die Wärmeleitfähigkeit des Fensterglases beträgt $1{,}23\ \text{W} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$.

5.3.7. Längen-Temperatur-Koeffizient

Art der Einheit	Formelzeichen	Benennung der Einheit	Einheitenzeichen	Einheitengleichung
abgeleitete Einheit	α	Meter je Meter und Kelvin	$m \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$	$[\alpha] = \frac{[l]}{[l] \cdot [T]}$ $\frac{1\ m}{1\ m \cdot 1\ K} = 1\ m \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$
Zulässige und übliche Vielfache und Teile der Einheit				
$\mu m \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$, $mm \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$				

Berechnung des Längen-Temperatur-Koeffizienten

Zum Berechnen des Längen-Temperatur-Koeffizienten fester Körper benutzt man in den meisten Fällen die Definitionsgleichung des Längen-Temperatur-Koeffizienten.

$\alpha = \frac{\Delta l}{l \cdot \Delta T}$	α Längen-Temperatur-Koeffizient, z. B. in $m \cdot K^{-1} \cdot m^{-1}$ Δl Längenänderung, z. B. in m l Ausgangslänge, z. B. in m ΔT Temperaturänderung, z. B. in K

■ Eine Brücke hat eine Stützweite von 120 m. Man rechnet zwischen Sommer und Winter mit Temperaturen von maximal +40 °C und minimal −30 °C. Welchen Längen-Temperatur-Koeffizienten hat das Material, wenn die Längenänderung bei diesem Temperaturunterschied 10 cm beträgt?

Gegeben:

$l = 120\ \mathrm{m}$

$\left.\begin{array}{l} \vartheta_1 = 40\ {}^\circ\mathrm{C} \\ \vartheta_2 = -30\ {}^\circ\mathrm{C} \end{array}\right\} \Delta T = 70\ \mathrm{K}$

$\Delta l = 10\ \mathrm{cm} = 10 \cdot 10^{-2}\ \mathrm{m}$

Gesucht:

α

Lösung:

$$\alpha = \frac{\Delta l}{l \cdot \Delta T}$$

$$\alpha = \frac{10 \cdot 10^{-2}\ \mathrm{m}}{120\ \mathrm{m} \cdot 70\ \mathrm{K}}$$

$$\underline{\underline{\alpha = 1{,}2 \cdot 10^{-5}\ \mathrm{m} \cdot \mathrm{K}^{-1} \cdot \mathrm{m}^{-1}}}$$

Ergebnis: Der Längen-Temperatur-Koeffizient beträgt $1{,}2 \cdot 10^{-5}\ \mathrm{m} \cdot \mathrm{K}^{-1} \cdot \mathrm{m}^{-1}$.

5.3.8. Volumen-Temperatur-Koeffizient

Art der Einheit	Formelzeichen	Benennung der Einheit	Einheitenzeichen	Einheitengleichung
abgeleitete Einheit	γ	Kubikmeter je Kubikmeter und Kelvin	$m^3 \cdot m^{-3} \cdot K^{-1}$	$[\gamma] = \frac{[V]}{[V] \cdot [T]}$ $\frac{1\ m^3}{1\ m^3 \cdot 1\ K} = 1\ m^3 \cdot K^{-1} \cdot m^{-3}$
Zulässige und übliche Vielfache und Teile der Einheit				
$cm^3 \cdot m^{-3} \cdot K^{-1}$, $mm^3 \cdot m^{-3} \cdot K^{-1}$				

5/4

Berechnung des Volumen-Temperatur-Koeffizienten

Zum Berechnen des Volumen-Temperatur-Koeffizienten benutzt man die Definitionsgleichung des Volumen-Temperatur-Koeffizienten.

$\gamma = \frac{\Delta V}{V \cdot \Delta T}$	γ Volumen-Temperatur-Koeffizient, z. B. in $m^3 \cdot K^{-1} \cdot m^{-3}$ ΔV Volumenänderung, z. B. in m^3 V Ausgangsvolumen, z. B. in m^3 ΔT Temperaturänderung, z. B. in K

■ Bei Erwärmung der in einer Flasche mit 15 l Fassungsvermögen enthaltenen Luft von 0 °C auf 80 °C entweichen 4,4 l Luft. Wie groß ist der Volumen-Temperatur-Koeffizient der Luft, wenn von der Ausdehnung der Flasche abgesehen wird?

Gegeben:

$V = 15\ l = 15 \cdot 10^{-3}\ m^3$

$\Delta V = 4{,}4\ l = 4{,}4 \cdot 10^{-3}\ m^3$

$\Delta T = 80\ K$

Gesucht:

γ

Lösung:

$$\gamma = \frac{\Delta V}{V \cdot \Delta T}$$

$$\gamma = \frac{4{,}4 \cdot 10^{-3}\ m^3}{15 \cdot 10^{-3}\ m^3 \cdot 80\ K}$$

$$\gamma = \frac{4{,}4\ m^3}{15 \cdot 80\ m^3 \cdot K}$$

$$\underline{\underline{\gamma = \frac{1}{273}\ m^3 \cdot K^{-1} \cdot m^{-3}}}$$

Ergebnis: Der Volumen-Temperatur-Koeffizient der Luft beträgt $\frac{1}{273}\ m^3 \cdot K^{-1} \cdot m^{-3}$.

5.4. Beispielaufgaben zu Größen der Elektrizität und des Magnetismus

5.4.1. Elektrische Stromstärke

Art der Einheit	Formelzeichen	Benennung der Einheit	Einheitenzeichen	Einheitengleichung
Basiseinheit	I	Ampere	A	$[I] = 1\ A$
Zulässige und übliche Vielfache und Teile der Einheit				
nA, µA, mA, kA				

Berechnung der elektrischen Stromstärke aus der Elektrizitätsmenge

Zum Berechnen der elektrischen Stromstärke benutzt man, wenn die Elektrizitätsmenge bekannt ist, die in einer bestimmten Zeit in einem elektrischen Leiter transportiert wird, und die elektrische Stromstärke im Leiter konstant ist, die spezielle Gleichung der Elektrizitätsmenge.

$Q = I \cdot t$	Q Elektrizitätsmenge, z. B. in C I konstante elektrische Stromstärke, z. B. in A t Zeit, z. B. in s

■ Durch einen elektrischen Leiter fließt in der Zeit $t = 50$ ms eine Elektrizitätsmenge $Q = 0{,}3$ C ab. Wie groß ist die konstante elektrische Stromstärke im Leiter?

Gegeben:
$Q = 0{,}3\ \text{C} = 3 \cdot 10^{-1}\ \text{A} \cdot \text{s}$
$t\ = 50\ \text{ms} = 50 \cdot 10^{-3}\ \text{s}$

Gesucht:
I

Lösung:

$$I = \frac{Q}{t}$$

$$I = \frac{3 \cdot 10^{-1}\ \text{A} \cdot \text{s}}{50 \cdot 10^{-3}\ \text{s}}$$

$$\underline{\underline{I = 6\ \text{A}}}$$

Ergebnis: Im Leiter fließt ein konstanter elektrischer Strom mit der Stromstärke 6 A.

Berechnung einer elektrischen Stromstärke aus der elektrischen Spannung und dem elektrischen Widerstand

Zum Berechnen der elektrischen Stromstärke aus elektrischer Spannung und elektrischem Widerstand benutzt man das Ohmsche Gesetz, das Widerstandsgesetz und die spezielle Gleichung zur Berechnung der Querschnittsfläche des Leiters.

5/4

Ohmsches Gesetz	Widerstandsgesetz	Gleichung zur Berechnung der Fläche eines Kreises
$I = \frac{U}{R}$	$R = \varrho \cdot \frac{l}{A}$	$A = \frac{\pi}{4} \cdot d^2$

$$I = \frac{U \cdot d^2 \cdot \pi}{4 \cdot \varrho \cdot l}$$

I elektrische Stromstärke, z. B. in A
U elektrische Spannung, z. B. in V
R elektrischer Widerstand, z. B. in Ω
ϱ spezifischer elektrischer Widerstand des Leitermaterials, z. B. in $\Omega \cdot m$
l Länge des Leiters, z. B. in m
A Querschnittsfläche des Leiters, z. B. in m^2
d Durchmesser des Leiters, z. B. in m

■ An einem Aluminiumdraht mit der Länge $l = 500$ m und dem Durchmesser $d = 0{,}8$ mm liegt eine Spannung $U = 60$ V an. Wie groß ist die zu erwartende elektrische Stromstärke ($\varrho_{Al} = 2{,}53 \cdot 10^{-8}\ \Omega \cdot m$)?

Gegeben:

$U = 60\ V$

$l = 500\ m = 5{,}00 \cdot 10^2\ m$

$d = 0{,}80\ mm = 8{,}0 \cdot 10^{-4}\ m$

$\varrho_{Al} = 2{,}53 \cdot 10^{-8}\ \Omega \cdot m = 2{,}53 \cdot 10^{-8}\ V \cdot m \cdot A^{-1}$

Gesucht:

I

Lösung

$$I = \frac{U \cdot d^2 \cdot \pi}{4 \cdot \varrho \cdot l}$$

$$I = \frac{60\ V \cdot (8 \cdot 10^{-4}\ m)^2 \cdot 3{,}14}{4 \cdot 2{,}53 \cdot 10^{-8}\ V \cdot m \cdot A^{-1} \cdot 5{,}00 \cdot 10^2\ m}$$

$$I = \frac{60 \cdot 64 \cdot 10^{-8} \cdot 3{,}14\ V \cdot m^2 \cdot A}{4 \cdot 2{,}53 \cdot 5{,}00 \cdot 10^{-8} \cdot 10^2\ V \cdot m^2}$$

$$\underline{\underline{I = 2{,}4\ A}}$$

Ergebnis: Im Aluminiumdraht wird ein elektrischer Strom mit der Stromstärke von etwa 2,4 A zu erwarten sein.

Berechnung der effektiven elektrischen Stromstärke in einem Wechselstromkreis

Zum Berechnen der effektiven elektrischen Stromstärke in einem Wechselstromkreis benutzt man die Gleichung

$I_{eff} = \frac{I_{max}}{\sqrt{2}}$	I_{eff} Effektivwert der elektrischen Stromstärke, z. B. in A I_{max} Maximalwert der elektrischen Stromstärke (Scheitelwert), z. B. in A

■ Wie groß ist der von einem Strommeßgerät angezeigte Effektivwert der elektrischen Stromstärke in einem Wechselstromkreis mit der Scheitelstromstärke (Maximalwert der elektrischen Stromstärke) $I_{max} = 8{,}5$ A?

Gegeben:
$I_{max} = 8{,}5$ A

Gesucht:
I_{eff}

Lösung:

$$I_{eff} = \frac{I_{max}}{\sqrt{2}}$$

$$I_{eff} = \frac{8{,}5\ \text{A}}{\sqrt{2}}$$

$$I_{eff} = \frac{8{,}5\ \text{A}}{1{,}414}$$

$$\underline{\underline{I_{eff} = 6{,}0\ \text{A}}}$$

Ergebnis: Das Strommeßgerät zeigt eine elektrische Stromstärke von 6 A an.

Berechnung des Momentanwertes einer elektrischen Stromstärke

Zum Berechnen des Momentanwertes der elektrischen Stromstärke eines Wechselstromes benutzt man die Gleichung für den Zusammenhang zwischen dem Momentanwert der elektrischen Stromstärke und ihrem Maximalwert und die Definitionsgleichung für die Kreisfrequenz.

Gleichung zur Berechnung des Momentanwertes einer elektrischen Stromstärke	**Gleichung zur Berechnung der Kreisfrequenz**
$I = I_{max} \sin \omega \cdot t$	$\omega = 2\pi \cdot f$

$$I = I_{max} \sin 2\pi \cdot f \cdot t$$

I Momentanwert der elektrischen Stromstärke, z. B. in A
I_{max} maximale elektrische Stromstärke (Scheitelwert), z. B. in A
ω Kreisfrequenz, z. B. in Hz
t Zeit, z. B. in s
f Frequenz des Wechselstromes, z. B. in Hz

5/4

Der Momentanwert der elektrischen Stromstärke eines Wechselstromes mit der Frequenz $16\frac{2}{3}$ Hz zum Zeitpunkt $t = 0$ beträgt $I_0 = 0$, sein Maximalwert $I_{max} = 6{,}0$ A. Zu berechnen ist der Momentanwert der elektrischen Stromstärke 2,5 ms nach dem Durchlaufen der Nullage!

Gegeben:

$f \quad = 16\frac{2}{3}\,\mathrm{Hz} = 16\frac{2}{3}\,\mathrm{s^{-1}}$

$I_{max} = 6{,}0\,\mathrm{A}$

$t \quad = 2{,}5\,\mathrm{ms} = 2{,}5 \cdot 10^{-3}\,\mathrm{s}$

Gesucht:

I

Lösung:

$I = I_{max} \cdot \sin 2\pi \cdot f \cdot t$

$I = 6{,}0\,\mathrm{A} \cdot \sin\,(2\pi \cdot 16\frac{2}{3}\,\mathrm{s^{-1}} \cdot 2{,}5 \cdot 10^{-3}\,\mathrm{s})$

$I = 6{,}0\,\mathrm{A} \cdot \sin\,(2 \cdot 3{,}14 \cdot 16\frac{2}{3} \cdot 2{,}5 \cdot 10^{-3}\,\mathrm{s^{-1}} \cdot \mathrm{s})$

$I = 6{,}0\,\mathrm{A} \cdot \sin 0{,}262$

$I = 6{,}0\,\mathrm{A} \cdot \sin 15^\circ$

$I = 6{,}0\,\mathrm{A} \cdot 0{,}2588$

$\underline{\underline{I = 1{,}55\,\mathrm{A}}}$

Ergebnis: Die momentane elektrische Stromstärke zu diesem Zeitpunkt beträgt 1,55 A.

5.4.2. Elektrizitätsmenge (elektrische Ladung)

Art der Einheit	Formelzeichen	Benennung der Einheit	Einheitenzeichen	Einheitengleichung
abgeleitete Einheit	Q	Coulomb	C	$[Q] = [I] \cdot [t]$ $1\,\mathrm{C} = 1\,\mathrm{A} \cdot 1\,\mathrm{s} = 1\,\mathrm{A \cdot s}$
Zulässige und übliche Vielfache und Teile der Einheit				
pC, nC, μC, kC — A · h				

Berechnung der Elektrizitätsmenge aus der elektrischen Leistung

Zum Berechnen der Elektrizitätsmenge aus der elektrischen Leistung benutzt man die Definitionsgleichung der elektrischen Leistung und die spezielle Gleichung zur Berechnung der Elektrizitätsmenge für I = const.

Spezielle Gleichung der Elektrizitätsmenge für I = const.	Definitionsgleichung der elektrischen Leistung
$Q = I \cdot t$	$P = U \cdot I$

$$Q = \frac{P \cdot t}{U}$$

Q Elektrizitätsmenge, z. B. in C
I elektrische Stromstärke, z. B. in A
P elektrische Leistung, z. B. in W
t Zeit, z. B. in s
U elektrische Spannung, z. B. in V

■ Durch ein Versehen wurde versäumt, das Standlicht eines Pkw abzuschalten. Welche Elektrizitätsmenge wurde bei einer Leuchtdauer von 4 h dem Akkumulator des Pkw entnommen, wenn bei einer Betriebsspannung von 6 V jede der beiden Glühlampen eine Leistung von 40 W aufnimmt?

Gegeben:
$U = 6\ \text{V}$
$P = 2 \cdot 40\ \text{W} = 80\ \text{W} = 80\ \text{V} \cdot \text{A}$
$t = 4\ \text{h}$

Gesucht:
Q

Lösung:

$$Q = \frac{P \cdot t}{U}$$

$$Q = \frac{80\ \text{V} \cdot \text{A} \cdot 4\ \text{h}}{6\ \text{V}}$$

$$Q = \frac{80 \cdot 4\ \text{V} \cdot \text{Ah}}{6\ \text{V}}$$

$$\underline{\underline{Q = 53{,}3\ \text{Ah}}}$$

Ergebnis: Dem Akkumulator wurde eine Elektrizitätsmenge von 53 Ah entnommen.

5/4

Berechnung der Elektrizitätsmenge bei einer elektrolytischen Abscheidung

Zum Berechnen der Elektrizitätsmenge bei einer elektrolytischen Abscheidung benutzt man das 1. Faradaysche Gesetz in der Form:

$Q = \frac{m}{\ddot{A}}$	Q Elektrizitätsmenge, z. B. in C m Masse des elektrolytisch abgeschiedenen Stoffes, z. B. in kg $\ddot{A}$ elektrochemisches Äquivalent, z. B. in $kg \cdot C^{-1}$

Gesucht ist die Elektrizitätsmenge, die erforderlich ist, um aus einere Kupfer(II)-chloridlösung an der Katode 5 g Kupfer abzuscheiden (elektrochemisches Äquivalent des Kupfers $\ddot{A} = 3{,}06 \cdot 10^{-7}\ kg \cdot C^{-1}$).

Gegeben:

$m = 5\ g = 5 \cdot 10^{-3}\ kg$

$\ddot{A} = 3{,}06 \cdot 10^{-7}\ kg \cdot C^{-1}$

Gesucht:

Q

Lösung:

$$Q = \frac{m}{\ddot{A}}$$

$$Q = \frac{5 \cdot 10^{-3}\ kg}{3{,}06 \cdot 10^{-7}\ kg \cdot C^{-1}}$$

$$Q = 1{,}63 \cdot 10^{4}\ C$$

$$\underline{\underline{Q = 16{,}3\ kC}}$$

Ergebnis: Die zum Abschneiden von 5 g Kupfer aus einer Kupfer(II)-chlorid-d lösung erforderliche Elektrizitätsmenge beträgt 16,3 kC.

5.4.3. Elektrische Verschiebung (Verschiebungsdichte)

Art der Einheit	Formelzeichen	Benennung der Einheit	Einheitenzeichen	Einheitengleichung
abgeleitete Einheit	D	Coulomb je Quadratmeter	$C \cdot m^{-2}$	$[D] = \frac{[Q]}{[A]}$ $\frac{1\ C}{1\ m^2} = 1\ m^{-2} \cdot s \cdot A$

Berechnung der elektrischen Verschiebung

Zum Berechnen der elektrischen Verschiebung benutzt man, wenn die influenzierte Elektrizitätsmenge und die Fläche der die influenzierten Ladungen tragenden Platten bekannt sind, die spezielle Gleichung der elektrischen Verschiebung.

$D = \frac{Q}{A}$	D elektrische Verschiebung, z. B. in $C \cdot m^{-2}$ Q influenzierte elektrische Ladung, z. B. in C A Fläche, z. B. in m^2

An einem flachen, um eine horizontale Achse drehbaren Plattenkondensator mit der Plattenfläche $A = 2\ m^2$ zeigt beim Drehen der Platten im elektrischen Feld der Erde von der horizontalen in die vertikale Lage, d. h. abwechselnd senkrecht und parallel zu den elektrischen Feldlinien, ein angeschlossenes Galvanometer bei jedem Wechsel einen Stromstoß $Q = 2{,}3 \cdot 10^{-9}\ A \cdot s$. Wie groß ist die elektrische Verschiebung des Erdfeldes?

Gegeben:
$Q = 2{,}3 \cdot 10^{-9}\ A \cdot s$
$A = 2\ m^2$

Gesucht:
D

Lösung:

$$D = \frac{Q}{A}$$

$$D = \frac{2{,}3 \cdot 10^{-9}\ A \cdot s}{2\ m^2}$$

$$D = 1{,}15 \cdot 10^{-9}\ A \cdot s \cdot m^{-2}$$

$$\underline{\underline{D = 1{,}15\ nC \cdot m^{-2}}}$$

Ergebnis: Die elektrische Verschiebung des Erdfeldes beträgt etwa $1\ nC \cdot m^{-2}$.

Berechnung der elektrischen Verschiebung für das Feld einer Punktladung

Zum Berechnen der elektrischen Verschiebung des Feldes einer Punktladung im Abstand r benutzt man die Gleichung

$D_r = \frac{Q}{4\pi \cdot r^2}$	D_r elektrische Verschiebung im Abstand r von einer Punktladung, z. B. in $C \cdot m^{-2}$ Q elektrische Ladung des Körpers, z. B. in C r Abstand, z. B. in m

5/4

Zu Berechnen ist die elektrische Verschiebung für das Feld einer Holundermarkkugel mit der elektrischen Ladung $Q = 1{,}7$ nC im Abstand $r = 6$ cm!

Gegeben:

$Q = 1{,}7\ \text{nC} = 1{,}7 \cdot 10^{-9}\ \text{C}$

$r\ = 6\ \text{cm} = 6 \cdot 10^{-2}\ \text{m}$

Gesucht:

D_r

Lösung:

$$D_r = \frac{Q}{4\pi \cdot r^2}$$

$$D_r = \frac{1{,}7 \cdot 10^{-9}\ \text{C}}{4 \cdot 3{,}14 \cdot (6 \cdot 10^{-2}\ \text{m})^2}$$

$$D_r = \frac{1{,}7 \cdot 10^{-9}\ \text{C}}{4 \cdot 3{,}14 \cdot 36 \cdot 10^{-4}\ \text{m}^2}$$

$$D_r = 0{,}0037 \cdot 10^{-5}\ \text{C} \cdot \text{m}^{-2}$$

$$\underline{\underline{D_r = 37\ \text{nC} \cdot \text{m}^{-2}}}$$

Ergebnis: Im Abstand $r = 6$ cm besitzt das elektrische Feld der geladenen Holundermarkkugel eine elektrische Verschiebung $D_r = 37\ \text{nC} \cdot \text{m}^{-2}$.

5.4.4. Elektrische Energie

Art der Einheit	Formelzeichen	Benennung der Einheit	Einheitenzeichen	Einheitengleichung
abgeleitete Einheit	*E*, *W*	Joule	J	$[W] = [F] \cdot [s]$ $1\ \text{J} = 1\ \text{N} \cdot 1\ \text{m} =$ $= 1\ \text{W} \cdot \text{s} =$ $= 1\ \text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2}$
Zulässige und übliche Vielfache und Teile der Einheit				
mJ, kJ, MJ, GJ, TJ — Wh, kWh, MWh, GWh, TWh				

Berechnung der in einem Plattenkondensator gespeicherten elektrischen Energie aus elektrischer Spannung und elektrischer Kapazität

Zum Berechnen der elektrischen Energie des elektrischen Feldes eines Plattenkondensators benutzt man die Gleichung für den Zusammenhang zwischen elektrischer Energie und elektrischer Spannung und die Definitionsgleichung der elektrischen Kapazität.

Gleichung zur Berechnung der elektrischen Energie eines Plattenkondensators	Definitionsgleichung der elektrischen Kapazität
$W = \frac{1}{2} Q \cdot U$	$C = \frac{Q}{U}$

$$W = \frac{1}{2} C \cdot U^2$$

- W elektrische Energie eines Plattenkondensators, z. B. in W · s
- Q im Kondensator gespeicherte Elektrizitätsmenge, z. B. in C
- U an den Kondensatorplatten anliegende elektrische Spannung, z. B. in V
- C elektrische Kapazität des Plattenkondensators, z. B. in F

Wie groß ist die im elektrischen Feld eines Plattenkondensators mit der elektrischen Kapazität $C = 2{,}0\ \mu\text{F}$ gespeicherte Energie, der mit einer elektrischen Spannung $U = 400$ V aufgeladen wurde?

Gegeben:

$U = 400\ \text{V}$

$C = 2{,}0\ \mu\text{F} = 2{,}0 \cdot 10^{-6}\ \text{F}$

$= 2{,}0 \cdot 10^{-6} \frac{\text{A} \cdot \text{s}}{\text{V}}$

Gesucht:

W

Lösung:

$$W = \frac{1}{2} C \cdot U^2$$

$$W = \frac{2{,}0 \cdot 10^{-6}\ \text{A} \cdot \text{s} \cdot \text{V}^{-1} \cdot (400\ \text{V})^2}{2}$$

$$W = \frac{2{,}0 \cdot 160\,000 \cdot 10^{-6}\ \text{A} \cdot \text{s} \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{V}^2}{2}$$

$$W = 16 \cdot 10^{-2}\ \text{W} \cdot \text{s}$$

$$\underline{\underline{W = 160\ \text{mW} \cdot \text{s}}}$$

Ergebnis: Im elektrischen Feld des Plattenkondensators ist eine elektrische Energie von 160 mW · s gespeichert.

Berechnung der Energie des Magnetfeldes einer langgestreckten Zylinderspule

Zum Berechnen der Energie des Magnetfeldes einer langgestreckten Zylinderspule benutzt man die Gleichung für den Zusammenhang zwischen der Energie des Magnetfeldes, der Induktivität und der elektrischen Stromstärke.

$W_m = \frac{1}{2} L \cdot I^2$	W_m Energie des Magnetfeldes, z. B. in J L Induktivität der Spule, z. B. in H I elektrische Stromstärke, z. B. in A

5/4

Gesucht ist die Energie des Magnetfeldes einer langgestreckten Zylinderspule, die von einem elektrischen Strom mit der Stromstärke $I = 5{,}0$ mA durchflossen wird und eine Induktivität $L = 0{,}75$ H besitzt.

Gegeben:

$I = 5{,}0 \text{ mA} = 5{,}0 \cdot 10^{-3}\text{ A}$

$L = 0{,}75 \text{ H} = 0{,}75 \text{ V} \cdot \text{A}^{-1} \cdot \text{s}$

Gesucht:

W_m

Lösung:

$$W_m = \frac{1}{2} L \cdot I^2$$

$$W_m = \frac{0{,}75 \text{ V} \cdot \text{A}^{-1} \cdot \text{s} \cdot (5{,}0 \cdot 10^{-3}\text{ A})^2}{2}$$

$$W_m = \frac{0{,}75 \cdot 25{,}0 \cdot 10^{-6} \cdot \text{V} \cdot \text{A}^{-1} \cdot \text{s} \cdot \text{A}^2}{2}$$

$$W_m = 9{,}375 \cdot 10^{-6}\text{ V} \cdot \text{s} \cdot \text{A}$$

$$\underline{\underline{W_m \approx 9{,}4 \cdot 10^{-6}\text{ J}}}$$

Ergebnis: Die Energie des Magnetfeldes der Spule beträgt etwa $9{,}4 \cdot 10^{-6}$ J.

Berechnung der Strahlungsenergie von Quanten

Zum Berechnen der Strahlungsenergie von Quanten benutzt man das 2. Bohrsche Postulat und die Gleichung über den Zusammenhang zwischen Frequenz und Wellenlänge elektromagnetischer Wellen.

2. Bohrsches Postulat	**Gleichung für den Zusammenhang zwischen Frequenz und Wellenlänge elektromagnetischer Wellen**
$W = h \cdot f$	$f = \frac{c}{\lambda}$

$$W = h \cdot \frac{c}{\lambda}$$

W Strahlungsenergie von Quanten, z. B. in $\text{W} \cdot \text{s}$
h Plancksches Wirkungsquantum, z. B. in $\text{J} \cdot \text{s}$
f Frequenz, z. B. in Hz
c Lichtgeschwindigkeit im Vakuum, z. B. in $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
λ Wellenlänge, z. B. in m

Die rote Spektrallinie der Balmer-Serie des Wasserstoffatoms hat die Wellenlänge $\lambda = 656{,}28$ nm. Wie groß ist die Energie eines Photons?

Gegeben:

$\lambda = 656{,}28 \text{ nm} = 656{,}28 \cdot 10^{-9} \text{ m}$

$h = 6{,}6252 \cdot 10^{-34} \text{ W} \cdot \text{s}^2$

$c = 3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Gesucht:

W

Lösung:

$$W = h \cdot \frac{c}{\lambda}$$

$$W = \frac{6{,}6252 \cdot 10^{-34} \text{ W} \cdot \text{s}^2 \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}{656{,}28 \cdot 10^{-9} \text{ m}}$$

$$W = \frac{6{,}6252 \cdot 3 \cdot 10^{-34} \cdot 10^8 \text{ W} \cdot \text{s}^2 \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}}{656{,}28 \cdot 10^{-9} \text{ m}}$$

$$W = 0{,}3 \cdot 10^{-18} \text{ W} \cdot \text{s}$$

$$\underline{\underline{W = 0{,}3 \text{ aW} \cdot \text{s}}}$$

Ergebnis: Das Photon besitzt eine Energie von 0,3 aW · s.

5.4.5. Elektrische Leistung

Art der Einheit	Formelzeichen	Benennung der Einheit	Einheitenzeichen	Einheitengleichung
abgeleitete Einheit	P	Watt	W	$[P] = \frac{[W]}{[t]}$ $1 \text{W} = \frac{1 \text{J}}{1 \text{s}} = 1 \text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-3}$
Zulässige und übliche Vielfache und Teile der Einheit				
µW, mW, kW, MW, GW				

Berechnung der elektrischen Leistung eines Gleichstromes

Zum Berechnen der elektrischen Leistung eines Gleichstromes aus elektrischer Spannung und elektrischer Stromstärke benutzt man die Gleichung

$P = U \cdot I$	P elektrische Leistung eines Gleichstromes, z. B. in W U elektrische Spannung, z. B. in V I elektrische Stromstärke, z. B. in A

5/4

■ Eine elektrische 220-Volt-Gleichstromleitung ist mit 16 A abgesichert. Welche elektrische Leistung kann abgenommen werden?

Gegeben:	*Gesucht:*
$I = 16\ \text{A}$	P
$U = 220\ \text{V}$	

Lösung:

$P = U \cdot I$

$P = 16\ \text{A} \cdot 220\ \text{V}$

$P = 3\,520\ \text{V} \cdot \text{A}$

$\underline{\underline{P = 3{,}52\ \text{kW}}}$

Ergebnis: Es kann eine elektrische Leistung von 3,5 kW abgenommen werden.

Berechnung der elektrischen Leistung eines elektrischen Gerätes

Zum Berechnen der elektrischen Leistung benutzt man, wenn die Betriebsstromstärke und der elektrische Widerstand bekannt sind, die Gleichung zur Berechnung der elektrischen Leistung eines Gleichstromes, die Definitionsgleichung des elektrischen Widerstandes, das Widerstandsgesetz und die spezielle Gleichung für die Querschnittsfläche des Leiters.

Gleichung zur Berechnung der elektrischen Leistung eines Gleichstromes	**Definitionsgleichung des elektrischen Widerstandes**	**Widerstandsgesetz**	**Gleichung zur Berechnung der Fläche eines kreisförmigen Querschnitts**
$P = U \cdot I$	$R = \frac{U}{I}$	$R = \varrho \cdot \frac{l}{A}$	$A = \frac{\pi}{4} d^2$

$$P = I^2 \cdot \varrho \cdot \frac{4\,l}{d^2 \cdot \pi}$$

- P elektrische Leistung, z. B. in W
- U elektrische Spannung, z. B. in V
- I elektrische Stromstärke, z. B. in A
- R elektrischer Widerstand, z. B. in Ω
- ϱ spezifischer elektrischer Widerstand des Leitermaterials, z. B. in $\Omega \cdot \text{m}$
- l Leiterlänge, z. B. in m
- A Querschnittsfläche des Leiters, z. B. in m^2
- d Durchmesser des Leiters, z. B. in m

Die Glühwendel eines elektrischen Ofens besteht aus 60 m Manganindraht ($\varrho = 0{,}43 \cdot 10^{-6}\,\Omega \cdot \mathrm{m}$) mit einem Durchmesser $d = 0{,}6$ mm. Es fließt ein Gleichstrom mit der elektrischen Stromstärke 6 A. Wie groß ist die elektrische Leistung des Ofens?

Gegeben:

$I = 6$ A

$l = 60$ m

$d = 0{,}6\ \mathrm{mm} = 0{,}6 \cdot 10^{-3}\ \mathrm{m}$

$\varrho = 0{,}43 \cdot 10^{-6}\,\Omega \cdot \mathrm{m} = 0{,}43 \cdot 10^{-6}\ \mathrm{V \cdot A^{-1} \cdot m}$

Gesucht:

P

Lösung:

$$P = I^2 \cdot \varrho \cdot \frac{4\,l}{d^2 \cdot \pi}$$

$$P = \frac{(6\ \mathrm{A})^2 \cdot 0{,}43 \cdot 10^{-6}\,\Omega \cdot \mathrm{m} \cdot 4 \cdot 60\ \mathrm{m}}{(0{,}6 \cdot 10^{-3}\ \mathrm{m})^2 \cdot 3{,}14}$$

$$P = \frac{36 \cdot 0{,}43 \cdot 4 \cdot 60 \cdot 10^{-6}\ \mathrm{A^2 \cdot V \cdot A^{-1} \cdot m^2}}{0{,}36 \cdot 10^{-6} \cdot 3{,}14\ \mathrm{m^2}}$$

$$P = 3\,287\ \mathrm{W}$$

$$\underline{\underline{P \approx 3{,}3\ \mathrm{kW}}}$$

Ergebnis: Die elektrische Leistung des elektrischen Ofens beträgt etwa 3,3 kW.

Berechnung der Wirk-, Blind- und Scheinleistung eines Wechselstromes

Zum Berechnen der Wirk-, Blind- und Scheinleistung eines Wechselstromes benutzt man die Gleichungen

$P = I_{\mathrm{eff}} \cdot U_{\mathrm{eff}} \cdot \cos\varphi$ $Q = I_{\mathrm{eff}} \cdot U_{\mathrm{eff}} \cdot \sin\varphi$ $S = I_{\mathrm{eff}} \cdot U_{\mathrm{eff}}$ **Zur Kontrolle können die ermittelten Ergebnisse in die Gleichung $S^2 = P^2 + Q^2$ eingesetzt werden.**	P I_{eff} U_{eff} φ S Q	**Wirkleistung, z. B. in W** **Effektivwert der elektrischen Stromstärke, z. B. in A** **Effektivwert der elektrischen Spannung, z. B. in V** **Phasenverschiebung zwischen elektrischer Stromstärke und elektrischer Spannung, z. B. in °** **Scheinleistung, z. B. in VA** **Blindleistung, z. B. in var**

Gesucht sind Wirk-, Blind- und Scheinleistung eines Elektromotors, der bei 220 V Klemmenspannung einen Wechselstrom mit einer elektrischen Stromstärke von 0,8 A aufnimmt und den elektrischen Leistungsfaktor $\cos\varphi = 0{,}75$ hat.

Gegeben:

$I_{eff} = 0{,}8\ \text{A}$

$U_{eff} = 220\ \text{A}$

$\cos\varphi = 0{,}75$

$\varphi = 41{,}4°$

$\sin\varphi = 0{,}66$

Gesucht:

P, Q, S

Lösung:

$P = I_{eff} \cdot U_{eff} \cdot \cos\varphi$

$P = 0{,}8\ \text{A} \cdot 220\ \text{V} \cdot 0{,}75$

$P = 0{,}8 \cdot 220 \cdot 0{,}75\ \text{V} \cdot \text{A}$

$\underline{\underline{P = 132\ \text{W}}}$

$Q = I_{eff} \cdot U_{eff} \cdot \sin\varphi$

$Q = 0{,}8\ \text{A} \cdot 220\ \text{V} \cdot 0{,}66$

$Q = 0{,}8 \cdot 220 \cdot 0{,}66\ \text{V} \cdot \text{A}$

$\underline{\underline{Q = 116\ \text{var}}}$

$S = I_{eff} \cdot U_{eff}$

$S = 0{,}8\ \text{A} \cdot 220\ \text{V}$

$S = 0{,}8 \cdot 220\ \text{VA}$

$\underline{\underline{S = 176\ \text{VA}}}$

Kontrolle:

Es gilt

$S^2 = P^2 + Q^2$

$S^2 = (132\ \text{W})^2 + (116\ \text{var})^2$

$S^2 = 17\,424\ \text{W}^2 + 13\,456\ \text{var}^2$

$S^2 = 30\,880\ (\text{VA})^2$

$\underline{\underline{S = 176\ \text{VA}}}$

Ergebnis:

Für den Elektromotor ergeben sich eine
Wirkleistung von 132 W, eine
Blindleistung von 116 var und eine
Scheinleistung von 176 VA.

Berechnung der Antriebsleistung eines Elektromotors

Zum Berechnen der Antriebsleistung eines Elektromotors benutzt man, wenn sein Drehmoment und seine Drehzahl bekannt sind, die Gleichungen zur Berechnung der Leistung und der Kreisfrequenz.

Gleichung zur Berechnung der Leistung für konstantes Drehmoment und konstante Drehzahl	**Gleichung zur Berechnung der Kreisfrequenz**
$P = M \cdot \omega$	$\omega = 2 \cdot \pi \cdot n$

$$P = M \cdot 2 \cdot \pi \cdot n$$

P Antriebsleistung, z. B. in W
M Drehmoment, z. B. in N · m
ω Kreisfrequenz, z. B. in Hz
n Drehzahl, z. B. in s^{-1}

Der Elektromotor einer Handbohrmaschine liefert ein Drehmoment von 0,102 N · m bei einer Drehzahl von 11 200 min^{-1}. Wie groß ist die Antriebsleistung des Motors?

Gegeben:

$M = 0{,}102\ \mathrm{N \cdot m}$

$n = 11\,200\ \mathrm{min^{-1}} = 186{,}7\ \mathrm{s^{-1}}$

Gesucht:

P

Lösung:

$P = M \cdot 2 \cdot \pi \cdot n$

$P = 0{,}102\ \mathrm{N \cdot m} \cdot 2 \cdot 3{,}14 \cdot 186{,}7\ \mathrm{s^{-1}}$

$P = 120\ \mathrm{N \cdot m \cdot s^{-1}}$

$\underline{\underline{P = 120\ \mathrm{W}}}$

Ergebnis: Die Antriebsleistung des Elektromotors beträgt 120 W.

5.4.6. Elektrische Spannung

Art der Einheit	Formelzeichen	Benennung der Einheit	Einheitenzeichen	Einheitengleichung
abgeleitete Einheit	U	Volt	V	$[U] = \frac{[W]}{[Q]}$ $1\ \mathrm{V} = \frac{1\ \mathrm{W}}{1\ \mathrm{A}} =$ $1\ \mathrm{m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}}$
Zulässige und übliche Vielfache und Teile der Einheit				
µV, mV, kV, MV				

Berechnung der elektrischen Spannung aus elektrischer Stromstärke und elektrischem Widerstand

Zum Berechnen der elektrischen Spannung aus elektrischer Stromstärke und elektrischem Widerstand benutzt man die Definitionsgleichung des elektrischen Widerstandes und, falls der elektrische Widerstand nicht direkt gegeben ist, das Widerstandsgesetz.

Gleichung zur Berechnung des Gesamtwiderstandes	Definitionsgleichung des elektrischen Widerstandes	Widerstandsgesetz	Gleichung zur Berechnung einer kreisförmigen Querschnittsfläche
$R = R_{Kl} + R_{Dr}$	$R = \frac{U}{I}$	$R_{Dr} = \frac{\varrho \cdot l}{A}$	$A = \frac{\pi}{4} \cdot d^2$

$$U = I\,(R_{Kl} + R_{Dr})$$

$$R_{Dr} = \frac{4 \cdot \varrho \cdot l}{d^2 \cdot \pi}$$

$$U = I\left(R_{Kl} + \frac{4 \cdot \varrho \cdot l}{d^2 \cdot \pi}\right)$$

R elektrischer Gesamtwiderstand, z. B. in Ω
R_{Kl} elektrischer Widerstand der Klingel, z. B. in Ω
R_{Dr} elektrischer Widerstand der Doppelleitung, z. B. in Ω
U elektrische Spannung, z. B. in V
I elektrische Stromstärke, z. B. in A
ϱ spezifischer elektrischer Widerstand des Leitermaterials, z. B. in $\Omega \cdot m$
l Länge des elektrischen Leiters, z. B. in m
A Querschnittsfläche des Leitungsdrahtes, z. B. in m^2
d Durchmesser des elektrischen Leiters, z. B. in m

Eine elektrische Klingel, deren Spule einen elektrischen Widerstand von 5 Ω hat, wird über eine 100 m lange Doppelleitung aus Kupferdraht mit einem Durchmesser von 0,6 mm betrieben. Im Leitungsdraht fließt ein elektrischer Strom mit einer elektrischen Stromstärke von 800 mA. Welche elektrische Spannung hat die Batterie ($\varrho_{Cu} = 0{,}017 \cdot 10^{-6}\ \Omega \cdot m$)?

Gegeben:

$I = 800\ mA = 800 \cdot 10^{-3}\ A$
$R_{Kl} = 5\ \Omega = 5\ V \cdot A^{-1}$
$\varrho_{Cu} = 0{,}017 \cdot 10^{-6}\ \Omega m = 0{,}017 \cdot 10^{-6}\ V \cdot A^{-1} \cdot m$
$l = 2 \cdot 100\ m = 2 \cdot 10^2\ m$
$d = 0{,}6\ mm = 6 \cdot 10^{-4}\ m$

Gesucht:

U

Lösung:

$$U = \left(R_{Kl} + \frac{4 \cdot \varrho_{Cu} \cdot l}{d^2 \cdot \pi}\right) \cdot I$$

$$U = \left(5\,\Omega + \frac{4 \cdot 0{,}017 \cdot 10^{-6}\,\Omega \cdot m \cdot 2 \cdot 10^2\,m}{(6 \cdot 10^{-4}\,m)^2 \cdot 3{,}14}\right) \cdot 800 \cdot 10^{-3}\,A$$

$$U = \left(5\,\Omega + \frac{4 \cdot 0{,}017 \cdot 2 \cdot 10^{-6} \cdot 10^2\,\Omega \cdot m \cdot m}{6 \cdot 6 \cdot 3{,}14 \cdot 10^{-8}\,m \cdot m}\right) \cdot 800 \cdot 10^{-3}\,A$$

$$U = \left(5\,\Omega + \frac{0{,}136 \cdot 10^{-4}}{113{,}0 \cdot 10^{-8}}\right) \cdot 800 \cdot 10^{-3}\,A$$

$$U = (5\,\Omega + 12{,}0\,\Omega) \cdot 800 \cdot 10^{-3}\,A$$

$$U = 17 \cdot 800 \cdot 10^{-3}\,\Omega \cdot A$$

$$\underline{\underline{U = 13{,}6\,V}}$$

Ergebnis: Die Klingelbatterie hat eine elektrische Spannung von etwa 14 V.

Berechnung der maximalen elektrischen Spannung eines Wechselstromes

Zum Berechnen des Maximalwertes der elektrischen Spannung eines Wechselstromes benutzt man die Beziehung zwischen dem Effektivwert und dem Maximalwert (Scheitelwert) der elektrischen Spannung eines Wechselstromes.

$U_{eff} = \frac{U_{max}}{\sqrt{2}}$	U_{eff} Effektivwert der elektrischen Wechselspannung, z. B. in V U_{max} Maximalwert der elektrischen Wechselspannung, z. B. in V

■ Ein Dreheisenmeßgerät zeigt die effektive Spannung eines Wechselstromes. Die Anzeige beträgt 42 V. Wie groß ist die maximale Spannung?

Gegeben:
$U_{eff} = 42\,V$

Gesucht:
U_{max}

Lösung:

$$U_{max} = U_{eff} \cdot \sqrt{2}$$

$$U_{max} = 42\,V \cdot 1{,}414$$

$$\underline{\underline{U_{max} = 59{,}4\,V}}$$

Ergebnis: Der Scheitelwert der Spannung beträgt 59,4 V.

Berechnung der Strangspannung in einem Vierleitersystem

Zum Berechnen der Strangspannung aus der Leiterspannung in einem Vierleitersystem benutzt man die Gleichung

$U = \frac{U_L}{\sqrt{3}}$	U Strangspannung, d. h. elektrische Spannung zwischen einem Außenleiter und dem Mittelpunktleiter, z. B. in V U_L elektrische Leiterspannung, z. B. in V

5/4

Die Leiterspannung in einem Vierleitersystem beträgt 380 V. Wie hoch ist die Strangspannung?

Gegeben:
$U_L = 380$ V

Gesucht:
U

Lösung:

$$U = \frac{U_L}{\sqrt{3}} \qquad U = \frac{380\ \text{V}}{\sqrt{3}} \qquad \underline{\underline{U = 220\ \text{V}}}$$

Ergebnis: Die Strangspannung im Vierleitersystem beträgt 220 V.

Berechnung der in einer Spule induzierten elektrischen Spannung

Zum Berechnen der durchschnittlichen elektrischen Spannung, die in einer Spule mit N Windungen induziert wird, wenn sich der die Spule durchsetzende magnetische Fluß ändert, benutzt man das Induktionsgesetz für diesen speziellen Fall, die spezielle Gleichung für die Änderung der magnetischen Flußdichte durch eine senkrecht zur magnetischen Flußdichte liegende Windungsfläche beim Eindringen der Spule in das homogene Magnetfeld sowie die Gleichung zur Berechnung der Windungsfläche.

Induktionsgesetz zur Berechnung der durchschnittlichen induzierten elektrischen Spannung	**Gleichung zur Berechnung der Änderung des magnetischen Flusses durch eine senkrecht zur magnetischen Flußdichte liegende Windungsfläche**	**Gleichung zur Berechnung einer kreisförmigen Windungsfläche**
$U_{ind} = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$	$\Delta \Phi = \Delta B \cdot A$	$A = \frac{\pi}{4} \cdot d^2$

$$U_{ind} = -N \frac{\Delta B \cdot A}{\Delta t}$$

$$U_{ind} = -N \frac{\Delta B \cdot d^2 \cdot \pi}{4 \cdot \Delta t}$$

U_{ind} durchschnittliche, in der Spule induzierte elektrische Spannung, z. B. in V
N Windungszahl der Spule
$\Delta \Phi$ Änderung des magnetischen Flusses, z. B. in Wb
ΔB Änderung der magnetischen Flußdichte, z. B. in T
A Windungsfläche, z. B. in m^2
d Durchmesser der Windungsfläche, z. B. in m
Δt Zeitdifferenz, z. B. in s

Eine Spule mit 500 Windungen und einem Spulendurchmesser von 2 cm wird innerhalb einer Zeit von 0,5 s mit senkrecht zur magnetischen Flußdichte liegender Windungsfläche in ein homogenes Magnetfeld mit der magnetischen Flußdichte $B = 3$ T geschoben. Wie groß ist die durchschnittliche induzierte elektrische Spannung?

Gegeben:

$N = 500$

$d = 2\ \text{cm} = 2 \cdot 10^{-2}\ \text{m}$

$\Delta t = 0{,}5\ \text{s}$

$\Delta B = 3\ \text{T} = 3\ \text{V} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-2}$

Gesucht:

U_{ind}

Lösung:

$$U_{\text{ind}} = -N \frac{\Delta B \cdot d^2 \cdot \pi}{4 \cdot \Delta t}$$

$$U_{\text{ind}} = -\frac{5 \cdot 10^2 \cdot 3\ \text{V} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-2} \cdot (2 \cdot 10^{-2}\ \text{m})^2 \cdot 3{,}14}{4 \cdot 5 \cdot 10^{-1}\ \text{s}}$$

$$U_{\text{ind}} = -\frac{5 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 3{,}14 \cdot 10^2 \cdot 10^{-4}\ \text{V} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{m}^2}{4 \cdot 5 \cdot 10^{-1}\ \text{s}}$$

$$U_{\text{ind}} = -9{,}42 \cdot 10^{-1}\ \text{V}$$

$$\underline{\underline{U_{\text{ind}} \approx -0{,}9\ \text{V}}}$$

Ergebnis: Die in der Spule induzierte elektrische Spannung beträgt 0,9 V. (Das Vorzeichen gibt an, daß der Induktionsstrom so gerichtet ist, daß das durch ihn erzeugte Magnetfeld dem ursprünglichen entgegenwirkt; Lenzsches Gesetz).

5.4.7. Elektrische Feldstärke

Art der Einheit	Formelzeichen	Benennung der Einheit	Einheitenzeichen	Einheitengleichung
abgeleitete Einheit	E	Volt je Meter	$\text{V} \cdot \text{m}^{-1}$	$[E] = \frac{[U]}{[l]}$ $\frac{1\ \text{V}}{1\ \text{m}} = 1\ \text{m} \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-3} \cdot \text{A}^{-1}$
Zulässige und übliche Vielfache und Teile der Einheit				
$\frac{\text{kV}}{\text{m}}, \frac{\text{V}}{\text{cm}}$				

5/4

Berechnung der elektrischen Feldstärke eines Plattenkondensators aus der anliegenden Spannung und dem Plattenabstand

Zum Berechnen der elektrischen Feldstärke des homogenen elektrischen Feldes eines Plattenkondensators benutzt man die spezielle Beziehung zwischen elektrischer Spannung und elektrischer Feldstärke.

$E = \frac{U}{l}$	E elektrische Feldstärke, z. B. in $V \cdot m^{-1}$ U elektrische Spannung an den Kondensatorplatten, z. B. in V l Abstand der Kondensatorplatten, z. B. in m

Die Klemmen einer Flachbatterie ($U = 4{,}5$ V) werden mit zwei kleinen, parallel angeordneten Kondensatorplatten, deren Abstand 2 cm beträgt, verbunden. Wie groß ist die elektrische Feldstärke zwischen den Kondensatorplatten?

Gegeben:
$U = 4{,}5\ V$
$l = 2\ cm = 2 \cdot 10^{-2}\ m$

Gesucht:
E

Lösung:

$$E = \frac{U}{l}$$

$$E = \frac{4{,}5\ V}{2 \cdot 10^{-2}\ m}$$

$$\underline{\underline{E = 2{,}25 \cdot 10^{-2}\ V \cdot m^{-1}}}$$

Ergebnis: Die elektrische Feldstärke zwischen den Kondensatorplatten beträgt etwa $3 \cdot 10^{-2}\ V \cdot m^{-1} = 3\ V \cdot cm^{-1}$.

Berechnung der elektrischen Feldstärke eines Plattenkondensators aus der vom elektrischen Feld auf einen elektrisch geladenen Probekörper ausgeübten Kraft

Zum Berechnen der elektrischen Feldstärke eines Plattenkondensators aus der vom elektrischen Feld auf einen elektrisch geladenen Probekörper ausgeübten Kraft benutzt man die Definitionsgleichung der elektrischen Feldstärke.

$E = \frac{F}{Q}$	E elektrische Feldstärke, z. B. in $V \cdot m^{-1}$ F Kraft auf einen elektrisch geladenen Probekörper, z. B. in N Q elektrische Ladung des Probekörpers, z. B. in C

■ Zum Verschieben einer elektrisch geladenen Seifenblase mit der elektrischen Ladung $Q = 2{,}5 \cdot 10^{-10}$ C im homogenen Feld eines Plattenkondensators ist eine Kraft von 0,5 mN erforderlich. Wie groß ist die elektrische Feldstärke?

Gegeben:

$F = 0{,}5 \text{ mN} = 0{,}5 \cdot 10^{-3} \text{ N}$

$Q = 2{,}5 \cdot 10^{-10} \text{ C} = 2{,}5 \cdot 10^{-10} \text{ A} \cdot \text{s}$

Gesucht:

E

Lösung:

$$E = \frac{F}{Q}$$

$$E = \frac{0{,}5 \cdot 10^{-3} \text{ N}}{2{,}5 \cdot 10^{-10} \text{ A} \cdot \text{s}}$$

$$E = 0{,}2 \cdot 10^{7} \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{A} \cdot \text{s} \cdot \text{m}}$$

$$E = 0{,}2 \cdot 10^{7} \frac{\text{W} \cdot \text{s}}{\text{A} \cdot \text{s} \cdot \text{m}}$$

$$E = 0{,}2 \cdot 10^{7} \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}$$

$$\underline{\underline{E = 20 \text{ kV} \cdot \text{cm}^{-1}}}$$

Ergebnis: Die Seifenblase wurde in einem elektrischen Feld mit der elektrischen Feldstärke von etwa 20 kV · cm^{-1} verschoben.

5.4.8. Elektrische Kapazität

Art der Einheit	Formelzeichen	Benennung der Einheit	Einheitenzeichen	Einheitengleichung
abgeleitete Einheit	C	Farad	F	$[C] = \frac{[Q]}{[U]}$ $1 \text{ F} = \frac{1 \text{ C}}{1 \text{ V}} =$ $1 \text{ m}^{-2} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{4} \cdot \text{A}^{2}$
Zulässige und übliche Vielfache und Teile der Einheit				
pF, nF, µF, mF				

Berechnung der elektrischen Kapazität eines Plattenkondensators aus der elektrischen Ladung und der elektrischen Spannung

Zum Berechnen der elektrischen Kapazität eines Plattenkondensators benutzt man die Definitionsgleichung der elektrischen Kapazität.

$C = \frac{Q}{U}$	C elektrische Kapazität eines Plattenkondensators, z. B. in F Q elektrische Ladung des Plattenkondensators, z. B. in C U an den Kondensatorplatten anliegende elektrische Spannung, z. B. in V

5/4

Zu berechnen ist die elektrische Kapazität eines Plattenkondensators, auf den eine elektrische Ladung von 300 μC bei einer elektrischen Spannung von 200 V aufgebracht wurde.

Gegeben:	*Gesucht:*
$Q = 300\ \mu\text{C} = 3 \cdot 10^{-4}\ \text{C}$	C
$U = 200\ \text{V}$	

Lösung:

$$C = \frac{Q}{U}$$

$$C = \frac{3 \cdot 10^{-4}\ \text{C}}{200\ \text{V}}$$

$$C = 1{,}5 \cdot 10^{-6}\ \frac{\text{A} \cdot \text{s}}{\text{V}}$$

$$\underline{\underline{C = 1{,}5\ \mu\text{F}}}$$

Ergebnis: Der Kondensator hat eine elektrische Kapazität von 1,5 μF.

Berechnung der elektrischen Kapazität eines Plattenkondensators aus der im elektrischen Feld gespeicherten Energie

Zum Berechnen der elektrischen Kapazität eines Plattenkondensators aus der im homogenen Feld des Kondensators gespeicherten elektrischen Energie benutzt man die Definitionsgleichung der elektrischen Kapazität und die Gleichung zur Berechnung der im elektrischen Feld des Plattenkondensators gespeicherten Energie.

Definitionsgleichung der elektrischen Kapazität	**Gleichung zur Berechnung der im homogenen elektrischen Feld gespeicherten Energie**
$C = \frac{Q}{U}$	$W = \frac{1}{2} Q \cdot U$

$$C = \frac{2W}{U^2}$$

C elektrische Kapazität des Kondensators, z. B. in F
Q elektrische Ladung, z. B. in C
U an den Kondensatorplatten anliegende elektrische Spannung, z. B. in V
W im homogenen Feld des Kondensators gespeicherte elektrische Energie, z. B. in W · s

Ein Kondensator wurde mit einer elektrischen Spannung $U = 400$ V aufgeladen. In ihm ist eine elektrische Energie von 0,4 W · s gespeichert. Wie groß ist seine elektrische Kapazität?

Gegeben:
$W = 0{,}4\ \text{W} \cdot \text{s} = 0{,}4\ \text{V} \cdot \text{A} \cdot \text{s}$
$U = 400\ \text{V}$

Gesucht:
C

Lösung:

$$C = \frac{2\,W}{U^2}$$

$$C = \frac{2 \cdot 0{,}4\ \text{V} \cdot \text{A} \cdot \text{s}}{(400\ \text{V})^2}$$

$$C = \frac{0{,}8\ \text{V} \cdot \text{A} \cdot \text{s}}{160\,000\ \text{V}^2}$$

$$C = 5 \cdot 10^{-6}\ \text{F}$$

$$\underline{\underline{C = 5\ \mu\text{F}}}$$

Ergebnis: Der Kondensator hat eine elektrische Kapazität von 5 µF.

5.4.9. Dielektrizitätskonstante – Permittivität

Art der Einheit	Formelzeichen	Benennung der Einheit	Einheitenzeichen	Einheitengleichung
abgeleitete Einheit	ε	Farad je Meter	$\text{F} \cdot \text{m}^{-1}$	$[\varepsilon] = \frac{[Q]}{[A] \cdot [E]}$ $\frac{1\ \text{C}}{1\ \text{m}^2 \cdot 1\ \text{V} \cdot \text{m}^{-1}} =$ $1\frac{\text{C}}{\text{V} \cdot \text{m}} =$ $1\ \text{m}^{-3} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^4 \cdot \text{A}^2$

Berechnung einer relativen Dielektrizitätskonstanten

Zum Berechnen der relativen Dielektrizitätskonstanten ε_r benutzt man die Definitionsgleichung der Dielektrizitätskonstanten, in der man ε durch das Produkt aus ε_0 (elektrische Feldkonstante) und ε_r (relative Dielektrizitätskonstante) ersetzt, die Definitionsgleichung der elektrischen Kapazität und die Gleichung zur Berechnung der elektrischen Feldstärke des homogenen elektrischen Feldes eines Plattenkondensators.

5/4

Definitionsgleichung der Dielektrizitätskonstanten	Gleichung zur Berechnung der Dielektrizitätskonstanten	Definitionsgleichung der elektrischen Kapazität	Gleichung zur Berechnung der elektrischen Feldstärke des homogenen Feldes eines Plattenkondensators
$\varepsilon = \frac{Q}{A \cdot E}$	$\varepsilon = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r$	$C = \frac{Q}{U}$	$E = \frac{U}{d}$

$$\varepsilon_r = \frac{C \cdot d}{\varepsilon_0 \cdot A}$$

ε Dielektrizitätskonstante, z. B. in $C \cdot V^{-1} \cdot m^{-1}$
Q elektrische Ladung, z. B. in C
A Plattenfläche, z. B. in m^2
E elektrische Feldstärke, z. B. in $V \cdot m^{-1}$
ε_0 elektrische Feldkonstante (Influenzkonstante), z. B. in $F \cdot m^{-1}$
ε_r relative Dielektrizitätskonstante (Dielektrizitätszahl)
C elektrische Kapazität eines Plattenkondensators, z. B. in F
U elektrische Spannung, z. B. in V
d Abstand der Kondensatorplatten, z. B. in m

■ Aus welchem Stoff könnte das Dielektrikum sein, das sich zwischen den Platten eines Kondensators befindet, der bei einer Plattenfläche von 200 cm^2 und einem Plattenabstand von 0,035 cm eine elektrische Kapazität von 1 nF besitzt?

Gegeben:

$A = 200\ cm^2 = 2 \cdot 10^{-2}\ m^2$

$d = 0{,}035\ cm = 35 \cdot 10^{-5}\ m$

$C = 1{,}00\ nF = 10^{-9}\ F$

$\varepsilon_0 = 8{,}854 \cdot 10^{-12}\ F \cdot m^{-1}$

Gesucht:

ε_r

Lösung:

$$\varepsilon_r = \frac{C \cdot d}{\varepsilon_0 \cdot A}$$

$$\varepsilon_r = \frac{10^{-9}\ F \cdot 35 \cdot 10^{-5}\ m}{8{,}854 \cdot 10^{-12}\ F \cdot m^{-1} \cdot 2 \cdot 10^{-2}\ m^2}$$

$$\varepsilon_r = \frac{35 \cdot 10^{-9} \cdot 10^{-5}\ F \cdot m}{8{,}854 \cdot 2 \cdot 10^{-12} \cdot 10^{-2}\ F \cdot m^{-1} \cdot m^2}$$

$$\varepsilon_r = \frac{35}{8{,}854 \cdot 2}$$

$$\underline{\underline{\varepsilon_r = 1{,}98}}$$

Ergebnis: Die relative Dielektrizitätskonstante ist 1,98. Das Dielektrikum zwischen den Kondensatorplatten könnte Papier oder Paraffin sein.

5.4.10. Elektrischer Widerstand

Art der Einheit	Formelzeichen	Benennung der Einheit	Einheitenzeichen	Einheitengleichung
abgeleitete Einheit	R	Ohm	Ω	$[R] = \frac{[U]}{[I]}$ $1\ \Omega = \frac{1\ \mathrm{V}}{1\ \mathrm{A}} =$ $1\ \mathrm{m}^2 \cdot \mathrm{kg} \cdot \mathrm{s}^{-3} \cdot \mathrm{A}^{-2}$
Zulässige und übliche Vielfache und Teile der Einheit				
$\mu\Omega$, $\mathrm{m}\Omega$, $\mathrm{k}\Omega$, $\mathrm{M}\Omega$				

Berechnung des elektrischen Widerstandes aus elektrischer Spannung und elektrischer Stromstärke

Zum Berechnen des elektrischen Widerstandes aus elektrischer Spannung und elektrischer Stromstärke kann die Definitionsgleichung des elektrischen Widerstandes benutzt werden.

$R = \frac{U}{I}$	R elektrischer Widerstand, z. B. in Ω U elektrische Spannung, z. B. in V I elektrische Stromstärke, z. B. in A

■ Eine Kleinspannungsglühlampe trägt die Angaben 3,8 V; 0,2 A. Wie groß ist der elektrische Widerstand ihrer Glühwendel?

Gegeben:
$U = 3{,}8\ \mathrm{V}$
$I = 0{,}2\ \mathrm{A}$

Gesucht:
R

Lösung:

$$R = \frac{U}{I}$$

$$R = \frac{3{,}8\ \mathrm{V}}{0{,}2\ \mathrm{A}}$$

$$\underline{\underline{R = 19\ \Omega}}$$

Ergebnis: Die Glühwendel hat einen elektrischen Widerstand von 19 Ω.

Berechnung des elektrischen Widerstandes aus dem Widerstandsgesetz

Zum Berechnen des elektrischen Widerstandes benutzt man das Widerstandsgesetz, wenn die Länge und die Querschnittsfläche des Leiters sowie das Leitermaterial bekannt sind. Die Querschnittsfläche kann aus der für das Leitermaterial spezifischen Gleichung für die Querschnittsfläche ermittelt werden.

Widerstandsgesetz	Gleichung zur Berechnung einer kreisförmigen Querschnittsfläche
$R = \varrho \cdot \frac{l}{A}$	$A = \frac{\pi}{4} d^2$

$$R = \frac{4 \cdot \varrho \cdot l}{d^2 \cdot \pi}$$

R elektrischer Widerstand, z. B. in Ω
ϱ spezifischer elektrischer Widerstand des Leitermaterials, z. B. in Ω · m
l Länge des Leiters, z. B. in m
A Querschnittsfläche des Leiters, z. B. in m^2
d Durchmesser des kreisförmigen Leiterquerschnitts, z. B. in m

■ Wie groß ist der elektrische Widerstand eines Aluminiumdrahtes mit einer Länge $l = 400$ m und einem Durchmesser $d = 0{,}80$ mm ($\varrho_{Al} = 2{,}53 \cdot 10^{-8}\ \Omega \cdot m$)?

Gegeben:

$l = 400$ m
$d = 0{,}80\ mm = 8{,}0 \cdot 10^{-4}$ m
$\varrho_{Al} = 2{,}53 \cdot 10^{-8}\ \Omega \cdot m$

Gesucht:
R

Lösung:

$$R = \frac{4 \cdot \varrho \cdot l}{d^2 \cdot \pi}$$

$$R = \frac{4 \cdot 2{,}53 \cdot 10^{-8}\ \Omega \cdot m \cdot 400\ m}{(8{,}0 \cdot 10^{-4})^2 \cdot 3{,}14}$$

$$R = \frac{4 \cdot 2{,}53 \cdot 400 \cdot 10^{-8}\ \Omega \cdot m^2}{64{,}0 \cdot 3{,}14 \cdot 10^{-8}\ m^2}$$

$$\underline{\underline{R = 20{,}1\ \Omega}}$$

Ergebnis: Der Aluminiumdraht hat einen elektrischen Widerstand von etwa 20 Ω.

Berechnung des Vorwiderstandes eines Spannungsmeßgerätes bei Meßbereichserweiterung

Zum Berechnen des Vorwiderstandes eines Spannungsmeßgerätes benutzt man die Gleichung

$R_V = \frac{R_i\,(U - U_1)}{U_1}$	R_V Vorwiderstand, z. B. in Ω R_i Innenwiderstand des Meßgerätes, z. B. in Ω U geforderte elektrische Spannung, z. B. in V U_1 elektrische Spannung, für die das Meßgerät ausgelegt ist, z. B. in V

■ Der Meßbereich eines Drehspulmeßgerätes für 100 mV und mit einem Innenwiderstand von 50 Ω soll auf einen Meßbereich von 500 V erweitert werden (Bild 5/7). Welchen elektrischen Widerstand muß der Vorwiderstand besitzen?

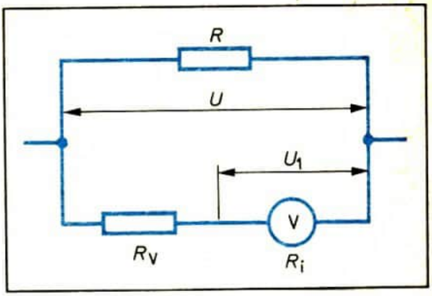


Bild 5/7

Gegeben:

$R_i = 50\ \Omega$

$U_1 = 100\ \text{mV} = 0{,}1\ \text{V}$

$U = 500\ \text{V}$

Gesucht:

R_V

Lösung:

$$R_V = \frac{R_i\,(U - U_1)}{U_1}$$

$$R_V = \frac{50\ \Omega\ (500\ \text{V} - 0{,}1\ \text{V})}{0{,}1\ \text{V}}$$

$$R_V = \frac{50\ \Omega \cdot 499{,}9\ \text{V}}{0{,}1\ \text{V}}$$

$$\underline{\underline{R_V = 250\ \text{k}\Omega}}$$

Ergebnis: Der Vorwiderstand muß einen elektrischen Widerstand von 250 kΩ haben.

5.4.11. Spezifischer elektrischer Widerstand

Art der Einheit	Formelzeichen	Benennung der Einheit	Einheitenzeichen	Einheitengleichung
abgeleitete Einheit	ϱ	Ohmmeter	Ω · m	$[\varrho] = \frac{[R] \cdot [A]}{[l]}$ $1\ \Omega \cdot \text{m} = \frac{1\ \Omega \cdot 1\ \text{m}^2}{1\ \text{m}}$ $= 1\ \text{m}^3 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-3} \cdot \text{A}^{-2}$
Zulässige und übliche Vielfache und Teile der Einheit				
Ω · cm, μΩ · m				

Berechnung des spezifischen elektrischen Widerstandes eines elektrischen Leiters

Zum Berechnen des spezifischen elektrischen Widerstandes eines elektrischen Leiters benutzt man die Definitionsgleichung des spezifischen elektrischen Widerstandes und, wenn die Querschnittsfläche des elektrischen Leiters nicht bekannt ist, die Gleichung zur Berechnung der Querschnittsfläche.

5/4

Definitionsgleichung des spezifischen elektrischen Widerstandes	Gleichung zur Berechnung einer kreisförmigen Querschnittsfläche
$\varrho = \frac{R \cdot A}{l}$	$A = \frac{\pi}{4} d^2$

$$\varrho = \frac{R \cdot d^2 \cdot \pi}{4\,l}$$

ϱ spezifischer elektrischer Widerstand, z. B. in $\Omega \cdot \mathrm{m}$
R elektrischer Widerstand des Leiters, z. B. in Ω
A Querschnittsfläche, z. B. in m^2
l Länge des elektrischen Leiters, z. B. in m
d Durchmesser der Querschnittsfläche des Leitermaterials, z. B. in m

■ Aus welchem Stoff könnte ein Draht bestehen, der bei einer Länge $l = 11{,}3$ m und einem Durchmesser $d = 0{,}5$ mm einen elektrischen Widerstand $R = 5{,}0\ \Omega$ besitzt?

Gegeben:

$l = 11{,}3\ \mathrm{m}$

$d = 0{,}50\ \mathrm{mm} = 5 \cdot 10^{-4}\ \mathrm{m}$

$R = 5{,}0\ \Omega$

Gesucht:

ϱ

Lösung:

$$\varrho = \frac{R \cdot d^2 \cdot \pi}{4 \cdot l}$$

$$\varrho = \frac{5{,}0\ \Omega \cdot (5 \cdot 10^{-4}\ \mathrm{m})^2 \cdot 3{,}14}{4 \cdot 11{,}3\ \mathrm{m}}$$

$$\varrho = \frac{5{,}0 \cdot 25 \cdot 3{,}14 \cdot 10^{-8}\ \Omega \cdot \mathrm{m}^2}{4 \cdot 11{,}3\ \mathrm{m}}$$

$$\varrho = 8{,}68 \cdot 10^{-8}\ \Omega \cdot \mathrm{m}$$

$$\underline{\underline{\varrho \approx 8{,}7 \cdot 10^{-8}\ \Omega \cdot \mathrm{m}}}$$

Ergebnis: Der Draht könnte aus Eisen bestehen.

5.4.12. Elektrischer Leitwert

Art der Einheit	Formelzeichen	Benennung der Einheit	Einheitenzeichen	Einheitengleichung
abgeleitete Einheit	G	Siemens	S	$[G] = \frac{1}{[R]}$ $1\,S = \frac{1}{1\,\Omega} = 1\,\frac{A}{V} =$ $1\,m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^3 \cdot A^2$
Zulässige und übliche Vielfache und Teile der Einheit				
µS, mS, kS				

Berechnung des elektrischen Leitwertes eines elektrischen Leiters

Zum Berechnen des elektrischen Leitwertes eines elektrischen Leiters aus seiner elektrischen Leitfähigkeit benutzt man die Definitionsgleichung des elektrischen Leitwertes, das Widerstandsgesetz und die Definitionsgleichung der elektrischen Leitfähigkeit.

Definitionsgleichung des elektrischen Leitwertes	Widerstandsgesetz	Definitionsgleichung der elektrischen Leitfähigkeit
$G = \frac{1}{R}$	$R = \varrho \cdot \frac{l}{A}$	$\gamma = \frac{1}{\varrho}$

$$G = \gamma \cdot \frac{A}{l}$$

G elektrischer Leitwert, z. B. in S
R elektrischer Widerstand, z. B. in Ω
ϱ spezifischer elektrischer Widerstand, z. B. in $\Omega \cdot m$
l Länge des elektrischen Leiters, z. B. in m
A Querschnittsfläche des Leitermaterials, z. B. in m^2
γ elektrische Leitfähigkeit des Leitermaterials, z. B. in $S \cdot m^{-1}$

■ Eine 400 m lange elektrische Leitung hat einen Drahtquerschnitt von 6 mm^2 und eine elektrische Leitfähigkeit $\gamma = 59 \cdot 10^6\ S \cdot m^{-1}$. Wie groß ist der elektrische Leitwert?

5/4

Gegeben:

$l = 400\ \text{m}$

$A = 6{,}0\ \text{mm}^2 = 6 \cdot 10^{-6}\ \text{m}^2$

$\gamma = 59 \cdot 10^6\ \text{S} \cdot \text{m}^{-1}$

Gesucht:

G

Lösung:

$$G = \gamma \cdot \frac{A}{l}$$

$$G = \frac{59 \cdot 10^6\ \text{S} \cdot \text{m}^{-1} \cdot 6 \cdot 10^{-6}\ \text{m}^2}{400\ \text{m}}$$

$$G = \frac{59 \cdot 6 \cdot 10^6 \cdot 10^{-6}\ \text{S} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{m}^2}{400\ \text{m}}$$

$$\underline{\underline{G = 0{,}9\ \text{S}}}$$

Ergebnis: Der elektrische Leitwert des Drahtleiters beträgt 0,9 S.

5.4.13. Elektrische Leitfähigkeit

Art der Einheit	Formelzeichen	Benennung der Einheit	Einheitenzeichen	Einheitengleichung
abgeleitete Einheit	γ	Siemens je Meter	$\text{S} \cdot \text{m}^{-1}$	$[\gamma] = \frac{[G]}{[l]}$ $1\ \frac{\text{S}}{\text{m}} = 1\ \text{m}^{-3} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^3 \cdot \text{A}^2$
Zulässige und übliche Vielfache und Teile der Einheit				
$\frac{\mu\text{S}}{\text{m}}, \frac{\text{mS}}{\text{m}}, \frac{\text{S}}{\text{cm}}, \frac{\text{MS}}{\text{m}}$				

Berechnung der elektrischen Leitfähigkeit

Zum Berechnen der elektrischen Leitfähigkeit eines Leitermaterials benutzt man die Definitionsgleichung der elektrischen Leitfähigkeit, die Definitionsgleichung des elektrischen Widerstandes und, falls die Querschnittsfläche des elektrischen Leiters nicht gegeben ist, die für die Querschnittsfläche des entsprechenden Leiters spezifische Gleichung.

Definitionsgleichung der elektrischen Leitfähigkeit	Definitionsgleichung des elektrischen Widerstandes
$\gamma = \frac{l}{R \cdot A}$	$R = \frac{U}{I}$

$$\gamma = \frac{I \cdot l}{U \cdot A}$$

γ elektrische Leitfähigkeit, z. B. in $S \cdot m^{-1}$
R elektrischer Widerstand, z. B. in Ω
I elektrische Stromstärke, z. B. in A
l Länge des elektrischen Leiters, z. B. in m
U elektrische Spannung, z. B. in V
A Querschnittsfläche des Leitermaterials, z. B. in m^2

In einem elektrischen Leitungsdraht von 5000 m Länge und mit einer Querschnittsfläche von 6 mm^2 fließt bei einer elektrischen Spannung $U = 140$ V ein elektrischer Strom mit der Stärke $I = 6{,}0$ A. Welche elektrische Leitfähigkeit besitzt das Material und woraus besteht der Draht?

Gegeben:

$U = 140$ V
$I = 6{,}0$ A
$l = 5000 \text{ m} = 5 \cdot 10^3 \text{ m}$
$A = 6{,}0 \text{ mm}^2 = 6 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$

Gesucht:

γ

Lösung:

$$\gamma = \frac{I \cdot l}{U \cdot A}$$

$$\gamma = \frac{6{,}0 \text{ A} \cdot 5 \cdot 10^3 \text{ m}}{140 \text{ V} \cdot 6 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2}$$

$$\underline{\underline{\gamma = 0{,}4 \cdot 10^8 \text{ S} \cdot \text{m}^{-1}}}$$

Ergebnis: Die elektrische Leitfähigkeit beträgt $0{,}4 \cdot 10^8 \text{ S} \cdot \text{m}^{-1}$. Der Leitungsdraht besteht aus Aluminium.

5.4.14. Magnetischer Fluß

Art der Einheit	Formelzeichen	Benennung der Einheit	Einheitenzeichen	Einheitengleichung
abgeleitete Einheit	Φ	Weber	Wb	$[\Phi] = [B] \cdot [A]$ $1 \text{ Wb} = 1 \text{ V} \cdot \text{s} = 1 \text{ m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{A}^{-1}$
Zulässige und übliche Vielfache und Teile der Einheit				
µWb, mWb, kWb				

5/4

Berechnung des magnetischen Flusses durch eine von einem Draht umspannte Fläche

Zum Berechnen des magnetischen Flusses, der eine von einem Draht umspannte Fläche senkrecht durchsetzt, benutzt man die spezielle Gleichung des magnetischen Flusses durch die Fläche A senkrecht zum Magnetfeld und für B = const. und, falls die magnetische Induktion nicht gegeben ist, die Gleichung zur Berechnung der magnetischen Induktion und, falls die Windungsfläche nicht gegeben ist, die Gleichung der jeweiligen vom magnetischen Fluß durchsetzten Fläche.

Gleichung zur Berechnung des magnetischen Flusses durch die Fläche *A* senkrecht zum Magnetfeld und für *B* = const.	Gleichung zur Berechnung der magnetischen Induktion	Gleichung zur Berechnung der Fläche eines Quadrates
$\Phi = B \cdot A$	$B = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot H$	$A = a^2$

$$\Phi = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot H \cdot a^2$$

- Φ magnetischer Fluß durch eine Fläche A, z. B. in Wb
- B magnetische Induktion, z. B. in T
- A Windungsfläche, z. B. in m^2
- μ_0 magnetische Feldkonstante (Induktionskonstante), z. B. in $H \cdot m^{-1}$
- μ_r relative Permeabilität (Permeabilitätszahl)
- H magnetische Feldstärke, z. B. in $A \cdot m^{-1}$
- a Seitenlänge einer quadratischen Fläche, z. B. in m

■ Ein Draht in Form eines Quadrates mit der Seitenlänge a = 5 cm befindet sich in einem homogenen Magnetfeld mit der magnetischen Feldstärke $H = 50 \cdot 10^3\ A \cdot m^{-1}$. Die vom Draht umspannte Fläche wird senkrecht vom Magnetfeld durchsetzt. Wie groß ist der magnetische Fluß durch die vom Draht umspannte Fläche?

Gegeben:

$\mu_0 = 12{,}566 \cdot 10^{-7}\ H \cdot m^{-1} = 12{,}566 \cdot 10^{-7}\ V \cdot s \cdot A^{-1} \cdot m^{-1}$

$\mu_r = 1$

$H = 50 \cdot 10^3\ A \cdot m^{-1}$

$a = 5\ cm = 5 \cdot 10^{-2}\ m$

Gesucht:

Φ

Lösung:

$\Phi = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot H \cdot a^2$

$\Phi = 12{,}566 \cdot 10^{-7}\,\mathrm{V \cdot s \cdot A^{-1} \cdot m^{-1}} \cdot 1 \cdot 50 \cdot 10^3\,\mathrm{A \cdot m^{-1}} \cdot (5 \cdot 10^{-2}\,\mathrm{m})^2$

$\Phi = 12{,}566 \cdot 50 \cdot 5 \cdot 5 \cdot 10^{-7} \cdot 10^3 \cdot 10^{-4}\,\mathrm{V \cdot s \cdot A^{-1} \cdot A}$

$\Phi = 15\,708 \cdot 10^{-8}\,\mathrm{V \cdot s}$

$\Phi \approx 0{,}2 \cdot 10^{-3}\,\mathrm{Wb}$

$\underline{\underline{\Phi \approx 0{,}2\,\mathrm{mWb}}}$

Ergebnis: Der magnetische Fluß durch die vom Draht umspannte Fläche beträgt etwa 0,2 mWb.

5.4.15. Magnetische Induktion – Magnetische Flußdichte

Art der Einheit	Formelzeichen	Benennung der Einheit	Einheitenzeichen	Einheitengleichung
abgeleitete Einheit	B	Tesla	T	$[B] = \frac{[F]}{[I] \cdot [l]}$ $1\,\mathrm{T} = \frac{1\,\mathrm{Wb}}{\mathrm{m}^2} = \frac{1\,\mathrm{V \cdot s}}{\mathrm{m}^2}$ $= 1\,\mathrm{kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}}$
Zulässige und übliche Vielfache und Teile der Einheit				
nT, µT, mT				

Berechnung der magnetischen Flußdichte in einer Spule

Spezielle Gleichung zur Berechnung der konstanten magnetischen Flußdichte	**Gleichung zur Berechnung einer Kreisfläche**
$B = \frac{\Phi}{A}$	$A = \frac{\pi}{4} \cdot d^2$

$$B = \frac{4 \cdot \Phi}{d^2 \cdot \pi}$$

B magnetische Flußdichte, z. B. in T
A Windungsfläche der Spule, z. B. in m^2
Φ magnetischer Fluß, z. B. in Wb
d Durchmesser der vom magnetischen Fluß durchsetzten Kreisfläche, z. B. in m

5/4

Zum Berechnen der konstanten magnetischen Flußdichte im homogenen Feld im Inneren einer Spule benutzt man die für diesen Fall spezielle Gleichung der magnetischen Flußdichte und, falls die Querschnittsfläche nicht gegeben ist, die Gleichung der jeweils spezifischen Fläche.

Wie groß ist die konstante magnetische Flußdichte in einer Spule mit einem Durchmesser $d = 4$ cm, in deren Innerem ein magnetischer Fluß $\Phi = 2{,}0 \cdot 10^{-6}$ Wb besteht?

Gegeben:

$d = 4 \text{ cm} = 4 \cdot 10^{-2} \text{ m}$

$\Phi = 2{,}0 \cdot 10^{-6} \text{ Wb}$

Gesucht:

B

Lösung:

$$B = \frac{4 \cdot \Phi}{d^2 \cdot \pi}$$

$$B = \frac{4 \cdot 2{,}0 \cdot 10^{-6} \text{ Wb}}{(4 \cdot 10^{-2} \text{ m})^2 \cdot 3{,}14}$$

$$B = \frac{4 \cdot 2{,}0 \cdot 10^{-6} \text{ Wb}}{16 \cdot 3{,}14 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2}$$

$$B = 1{,}6 \cdot 10^{-3} \text{ T}$$

$$\underline{\underline{B = 1{,}6 \text{ mT}}}$$

Ergebnis: Die magnetische Flußdichte der Spule beträgt $B = 1{,}6$ mT.

5.4.16. Magnetische Feldstärke

Art der Einheit	Formelzeichen	Benennung der Einheit	Einheitenzeichen	Einheitengleichung
abgeleitete Einheit	H	Ampere je Meter	$\text{A} \cdot \text{m}^{-1}$	$[H] = \frac{[I]}{[l]}$ $\frac{1\text{ A}}{1\text{ m}} = 1\text{ A} \cdot \text{m}^{-1}$
Zulässige und übliche Vielfache und Teile der Einheit				
$\frac{\text{A}}{\text{mm}}, \frac{\text{A}}{\text{cm}}, \frac{\text{kA}}{\text{m}}$				

Berechnung der magnetischen Feldstärke im Inneren einer langgestreckten eisenfreien Zylinderspule

Zum Berechnen der magnetischen Feldstärke im Inneren einer langgestreckten eisenfreien Zylinderspule benutzt man die spezielle Gleichung

$H = \frac{I \cdot N}{l}$	H magnetische Feldstärke, z. B. in $A \cdot m^{-1}$ I elektrische Stromstärke des Spulenstromes, z. B. in A N Windungszahl der Spule l Länge der Spule, z. B. in m

■ Welche magnetische Feldstärke erzeugt ein Strom mit einer Stärke von 2,0 A in einer langen eisenfreien Zylinderspule (l = 15 cm) mit 1500 Windungen?

Gegeben:

$I = 2{,}0\ A$

$l = 15\ cm = 15 \cdot 10^{-2}\ m$

$N = 1500 = 15 \cdot 10^2$

Gesucht:

H

Lösung:

$$H = \frac{I \cdot N}{l}$$

$$H = \frac{2{,}0\ A \cdot 15 \cdot 10^2}{15 \cdot 10^{-2}\ m}$$

$$H = 2{,}0 \cdot 10^4\ A \cdot m^{-1}$$

$$\underline{\underline{H = 20\ kA \cdot m^{-1}}}$$

Ergebnis: Die Spule erzeugt ein Magnetfeld mit der magnetischen Feldstärke von 20 $kA \cdot m^{-1}$

Berechnung der magnetischen Feldstärke in einem Punkt außerhalb eines elektrischen Leiters

Zum Berechnen der magnetischen Feldstärke im Abstand a von einem stromdurchflossenen elektrischen Leiter benutzt man die Gleichung

$H = \frac{I}{2 \cdot \pi \cdot a}$	H magnetische Feldstärke in $A \cdot m^{-1}$ I elektrische Stromstärke des Leiterstromes, z. B. in A a Abstand, in dem die magnetische Feldstärke bestimmt werden soll, vom elektrischen Leiter, z. B. in m

5/4

Ein sehr langer elektrischer Leiter wird von einem elektrischen Strom mit der Stromstärke 6,0 A durchflossen. Gesucht ist die magnetische Feldstärke in 3,0 cm Entfernung vom elektrischen Leiter!

Gegeben:

$I = 6{,}0\ \mathrm{A}$

$a = 3{,}0\ \mathrm{cm} = 3{,}0 \cdot 10^{-2}\ \mathrm{m}$

Gesucht:

H

Lösung:

$$H = \frac{I}{2 \cdot \pi \cdot a}$$

$$H = \frac{6{,}0\ \mathrm{A}}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 3{,}0 \cdot 10^{-2}\ \mathrm{m}}$$

$$H = 0{,}318 \cdot 10^{2}\ \mathrm{A \cdot m^{-1}}$$

$$\underline{\underline{H = 32\ \mathrm{A \cdot m^{-1}}}}$$

Ergebnis: In 3,0 cm Entfernung vom Leiter beträgt die magnetische Feldstärke $H = 32\ \mathrm{A \cdot m^{-1}}$.

5.4.17. Induktivität

Art der Einheit	Formelzeichen	Benennung der Einheit	Einheitenzeichen	Einheitengleichung
abgeleitete Einheit	L	Henry	H	$[L] = \frac{[\Phi]}{[I]}$ $1\ \mathrm{H} = \frac{1\ \mathrm{Wb}}{\mathrm{A}} = \frac{1\ \mathrm{V \cdot s}}{\mathrm{A}} = 1\ \mathrm{m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}}$
Zulässige und übliche Vielfache und Teile der Einheit				
pH, nH, µH, mH				

Berechnung der Induktivität einer eisengefüllten Zylinderspule

Zum Berechnen der Induktivität einer eisengefüllten Spule benutzt man die Gleichung

$L = \frac{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot N^2 \cdot A}{l}$	L Induktivität, z. B. in H μ_0 magnetische Feldkonstante (Induktionskonstante), z. B. in $\mathrm{H \cdot m^{-1}}$ μ_r relative Permeabilität (Permeabilitätszahl) N Windungszahl der Spule A Spulenquerschnittsfläche, z. B. in $\mathrm{m^2}$ l Spulenlänge, z. B. in m

Eine eisengefüllte Zylinderspule ($\mu_r = 3\,400$) mit 1500 Windungen und einem Querschnitt von 25 cm² hat eine Länge von 10 cm. Wie groß ist die Induktivität der Spule?

Gegeben:

$\mu_0 = 12{,}566 \cdot 10^{-7}\ \mathrm{H \cdot m^{-1}}$

$\mu_r = 3\,400$

$N = 1500$

$A = 25\ \mathrm{cm}^2 = 25 \cdot 10^{-4}\ \mathrm{m}^2$

$l = 10\ \mathrm{cm} = 10^{-1}\ \mathrm{m}$

Gesucht:

L

Lösung:

$$L = \frac{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot N^2 \cdot A}{l}$$

$$L = \frac{12{,}566 \cdot 10^{-7}\ \mathrm{H \cdot m^{-1}} \cdot 3\,400 \cdot (1500)^2 \cdot 25 \cdot 10^{-4}\ \mathrm{m}^2}{10^{-1}\ \mathrm{m}}$$

$$L = \frac{12{,}566 \cdot 3\,400 \cdot 2\,250\,000 \cdot 25 \cdot 10^{-7} \cdot 10^{-4}\ \mathrm{H \cdot m^{-1} \cdot m^2}}{10^{-1}\ \mathrm{m}}$$

$$L = 24\,032\,475 \cdot 10^{-5}\ \mathrm{H}$$

$$\underline{\underline{L = 240\ \mathrm{H}}}$$

Ergebnis: Die Induktivität der eisengefüllten Zylinderspule beträgt 240 H.

5.4.18. Permeabilität – Induktionskonstante

Art der Einheit	Formelzeichen	Benennung der Einheit	Einheitenzeichen	Einheitengleichung
abgeleitete Einheit	μ	Henry je Meter	$\mathrm{H \cdot m^{-1}}$	$[\mu] = \frac{[B]}{[H]}$ $\frac{1\ \mathrm{H}}{\mathrm{m}} = \frac{1\ \mathrm{Wb}}{\mathrm{A \cdot m}} =$ $1\ \mathrm{m \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}}$

Berechnung der Permeabilitätszahl (relativen Permeabilität) eines Eisenkerns

Zum Berechnen der Permeabilitätszahl des Eisenkerns einer stromdurchflossenen Spule benutzt man die Definitionsgleichung der Permeabilität, die Gleichung für den Zusammenhang zwischen Permeabilität, magnetischer Feldkonstante und relativer Permeabilität und die Gleichung zur Berechnung der magnetischen Feldstärke einer langgestreckten eisenfreien Zylinderspule.

5/4

Definitionsgleichung der Permeabilität	**Gleichung zur Berechnung der Permeabilität aus magnetischer Feldkonstante und relativer Permeabilität**	**Gleichung zur Berechnung der magnetischen Feldstärke im Inneren einer langgestreckten eisenfreien Zylinder- oder Ringspule mit *N* Windungen**
$\mu = \frac{B}{H}$	$\mu = \mu_0 \cdot \mu_r$	$H = N \cdot \frac{I}{l}$

$$\mu_r = \frac{B \cdot l}{\mu_0 \cdot I \cdot N}$$

- μ Permeabilität, z. B. in $H \cdot m^{-1}$
- B magnetische Flußdichte, z. B. in T
- H magnetische Feldstärke, z. B. in $A \cdot m^{-1}$
- μ_0 magnetische Feldkonstante (Induktionskonstante), z. B. in $H \cdot m^{-1}$
- μ_r relative Permeabilität (Permeabilitätszahl)
- N Windungszahl der Spule
- I elektrische Stromstärke des Spulenstromes, z. B. in A
- l Spulenlänge, z. B. in m

Auf einem geschlossenen Eisenkern mit den in Bild 5/8 angegebenen Abmessungen befinden sich 1000 Windungen.
Die Spule wird von einem elektrischen Strom mit der elektrischen Stromstärke $I = 2{,}5$ A durchflossen. Die magnetische Flußdichte beträgt $B = 3$ T.
Welche relative Permeabilität hat der Eisenkern?

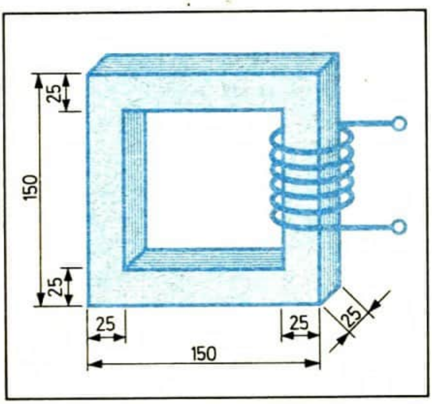


Bild 5/8 Spule mit Eisenkern

Gegeben:

$I = 2{,}5\ \text{A}$

$B = 3\ \text{T} = 3\ \text{V} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-2}$

$N = 1000 = 10^3$

$\mu_0 = 12{,}566 \cdot 10^{-7}\ \text{H} \cdot \text{m}^{-1} = 12{,}566 \cdot 10^{-7}\ \text{V} \cdot \text{s} \cdot \text{A}^{-1}\ \text{m}^{-1}$

$l = (2 \cdot 150\ \text{mm} + 2 \cdot 100\ \text{mm}) = 500\ \text{mm} = 5 \cdot 10^{-1}\ \text{m}$

Gesucht:

μ_r

Lösung:

$$\mu_r = \frac{B \cdot l}{\mu_0 \cdot I \cdot N}$$

$$\mu_r = \frac{3\ \text{V} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-2} \cdot 5 \cdot 10^{-1}\ \text{m}}{12{,}566 \cdot 10^{-7}\ \text{V} \cdot \text{s} \cdot \text{A}^{-1} \cdot \text{m}^{-1} \cdot 2{,}5\ \text{A} \cdot 10^3}$$

$$\mu_r = \frac{3 \cdot 5 \cdot 10^{-1}\ \text{V} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{m}}{12{,}566 \cdot 2{,}5 \cdot 10^{-7} \cdot 10^3\ \text{V} \cdot \text{s} \cdot \text{A}^{-1} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{A}}$$

$$\mu_r = 477{,}5 \frac{\text{V} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{m}}{\text{V} \cdot \text{s} \cdot \text{A}^{-1} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{A}}$$

$$\underline{\underline{\mu_r \approx 480}}$$

Ergebnis: Die relative Permeabilität beträgt für diesen Eisenkern $\mu_r \approx 480$.

5.5. Beispielaufgaben zu Größen der optischen Strahlung

5.5.1. Lichtstärke

Art der Einheit	Formelzeichen	Benennung der Einheit	Einheitenzeichen	Einheitengleichung
Basiseinheit	I_v	Candela	cd	$[I_v] = 1\ \text{cd}$
Zulässige und übliche Vielfache und Teile der Einheit				
mcd, kcd				

5/5

Berechnung der Lichtstärke aus der Beleuchtungsstärke

Zum Berechnen der Lichtstärke aus der Beleuchtungsstärke und dem Abstand der Lichtquelle von der beleuchteten Fläche kann die folgende Gleichung benutzt werden:

$I_v = E \cdot r^2 \cdot \cos\varphi$	I_v Lichtstärke, z. B. in cd E Beleuchtungsstärke, z. B. in lx r Abstand der Lichtquelle von der beleuchteten Fläche, z. B. in m φ Winkel zwischen der Strahlrichtung und der Flächennormalen der bestrahlten Fläche, z. B. in °

Eine Glühlampe hängt in einer Höhe von 1,2 m über einem Tisch. Die günstigste Beleuchtungsstärke beim Lesen beträgt 50 Lux. Welche Lichtstärke muß die Glühlampe haben?

Gegeben:

$E = 50$ lx

$r = 1{,}2$ m

$\varphi = 0°$

Gesucht:

I_v

Lösung:

$I_v = E \cdot r^2 \cdot \cos\varphi$

$I_v = 50\ \text{lx} \cdot (1{,}2\ \text{m})^2 \cdot 1$

$I_v = 72{,}0\ \text{lx} \cdot \text{m}^2$

$\underline{\underline{I_v = 72{,}0\ \text{cd}}}$

Ergebnis: Die Lichtstärke der Glühlampe muß etwa 72 cd betragen.

5.5.2. Lichtstrom

Art der Einheit	Formelzeichen	Benennung der Einheit	Einheitenzeichen	Einheitengleichung
abgeleitete Einheit	Φ_v	Lumen	lm	$[\Phi_v] = [I_v] \cdot [\Omega]$ $1\ \text{lm} = 1\ \text{cd} \cdot 1\ \text{sr} = 1\ \text{lx} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{sr}$
Zulässige und übliche Vielfache und Teile der Einheit				
mlm, klm				

Berechnung des Lichtstromes aus der Beleuchtungsstärke

Zum Berechnen des Lichtstromes aus der Beleuchtungsstärke benutzt man die Gleichungen zur Berechnung des Lichtstromes und zur Berechnung der Lichtstärke.

Gleichung zur Berechnung des Lichtstromes	Gleichung zur Berechnung der Lichtstärke
$\Phi_v = I_v \cdot \Omega$	$I_v = E \cdot r^2 \cdot \cos\varphi$

$$\Phi_v = E \cdot r^2 \cdot \Omega \cdot \cos\varphi$$

Φ_v Lichtstrom, z. B. in lm
I_v Lichtstärke, z. B. in cd
Ω Raumwinkel, z. B. in sr
E Beleuchtungsstärke, z. B. in lx
r Abstand der Lichtquelle von der bestrahlten Fläche, z. B. in m
φ Winkel zwischen der Strahlrichtung und der Flächennormalen der bestrahlten Fläche, z. B. in °

Eine als punktförmiger Strahler angenommene Glühlampe ruft im senkrechten Abstand von 3 m eine Beleuchtungsstärke von 5,3 lx hervor. Wie groß ist der ausgesandte Lichtstrom?

Gegeben:	*Gesucht:*	*Lösung:*
$E = 5{,}3\ \text{lx}$	Φ_v	$\Phi_v = E \cdot r^2 \cdot \Omega \cdot \cos\varphi$
$r = 3\ \text{m}$		$\Phi_v = 5{,}3\ \text{lx} \cdot (3\ \text{m})^2 \cdot 4\pi\,\text{sr} \cdot 1$
$\Omega = 4\pi\,\text{sr}$		$\Phi_v = 5{,}3 \cdot 9 \cdot 4 \cdot 3{,}14\ \text{lx} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{sr}$
$\varphi = 0°$		$\underline{\underline{\Phi_v \approx 600\ \text{lm}}}$

Ergebnis: Der von der Glühlampe hervorgerufene Lichtstrom beträgt etwa 600 lm.

5.5.3. Beleuchtungsstärke

Art der Einheit	Formelzeichen	Benennung der Einheit	Einheitenzeichen	Einheitengleichung
abgeleitete Einheit	E	Lux	lx	$[E] = \frac{[\Phi_v]}{[A]}$ $1\ \text{lx} = \frac{1\ \text{lm}}{1\ \text{m}^2} = 1\ \text{cd} \cdot \text{sr} \cdot \text{m}^{-2}$
Zulässige und übliche Vielfache und Teile der Einheit				
mlx, klx — $\text{lm} \cdot \text{cm}^{-2}$				

5/5

Berechnung der Beleuchtungsstärke aus dem Lichtstrom

Zum Berechnen der Beleuchtungsstärke aus dem Lichtstrom benutzt man die speziellen Gleichungen der Beleuchtungsstärke und des Lichtstromes für einen konstanten Lichtstrom sowie die Gleichung zur Berechnung des Raumwinkels unter dem die Lichtquelle von der beleuchteten Fläche aus erscheint.

Spezielle Gleichung zur Berechnung der Beleuchtungsstärke für kleine Raumwinkel	**Spezielle Gleichung zur Berechnung des Lichtstromes für I_v = const.**	**Gleichung zur Berechnung des Raumwinkels für eine beleuchtete Kugelfläche unter dem Winkel φ zwischen der Strahlrichtung und der Flächennormalen der bestrahlten Fläche**
$E = \frac{\Phi_v}{A}$	$\Phi_v = I_v \cdot \Omega$	$\Omega = \frac{A}{s^2} \cdot \cos\varphi$

$$E = \frac{I_v \cdot \Omega}{A}$$

$$E = \frac{I_v \cdot \cos\varphi}{s^2}$$

E Beleuchtungsstärke, z. B. in lx
Φ_v Lichtstrom, z. B. in lm
A beleuchtete Fläche, z. B. in m^2
I_v Lichtstärke, z. B. in cd
Ω Raumwinkel, unter dem die Lichtquelle von der beleuchteten Fläche aus erscheint, z. B. in sr
φ Winkel zwischen der Strahlrichtung und der Flächennormalen der bestrahlten Fläche, z. B. in °
s Abstand der Lichtquelle vom Rand der beleuchteten Fläche, z. B. in m
s_1 senkrechter Abstand der Lichtquelle vom Bestrahlungspunkt, z. B. in m
s_2 Abstand der Lichtquelle vom Rand der beleuchteten Fläche, z. B. in m
d Durchmesser der beleuchteten Fläche, z. B. in m^2

Eine kreisförmige Tischplatte wird von einer Leuchte, die über ihrem Mittelpunkt in 1,2 m Abstand angebracht ist, beleuchtet. Wie groß ist die Beleuchtungsstärke im
a) Mittelpunkt der Tischplatte,
b) am Rand der Tischplatte,
wenn der Tisch einen Durchmesser von 1,5 m besitzt und die Lichtstärke der Glühlampe 110 cd beträgt?

Gegeben:
$I_v = 110$ cd
$s_1 = 1{,}2$ m
$\varphi_1 = 0°$
$d = 1{,}5$ m

Gesucht:
E_1 und E_2

Lösung a)

$$E_1 = \frac{I_v \cos\varphi_1}{s_1^2}$$

$$E_1 = \frac{110\ \text{cd}}{(1{,}2\ \text{m})^2}$$

$$E_1 = \frac{110\ \text{cd}}{1{,}2 \cdot 1{,}2\ \text{m}^2}$$

$$\underline{\underline{E_1 = 76{,}4\ \text{lx}}}$$

Lösung b)

1. Ermittlung des Abstandes der Lichtquelle vom Rand der beleuchteten Fläche

$$s_2 = \sqrt{\left(\frac{d}{2}\right)^2 + s_1^2}$$

$$s_2 = \sqrt{(0{,}75\ \text{m})^2 + (1{,}2\ \text{m})^2}$$

$$s_2 = \sqrt{(0{,}5625 + 1{,}44)\ \text{m}^2}$$

$$\underline{\underline{s_2 = 1{,}41\ \text{m}}}$$

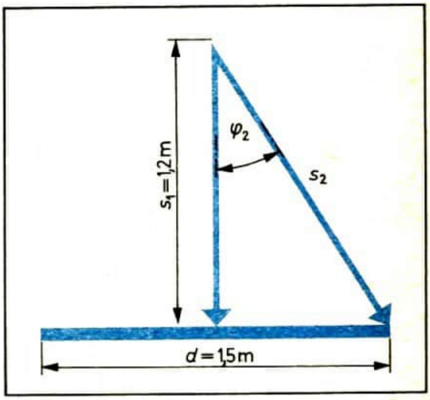


Bild 5/9 Ermittlung des Abstandes der Lichtquelle vom Rand der beleuchteten Fläche

2. Berechnung der Beleuchtungsstärke

$$E_2 = \frac{I_v \cdot \cos\varphi_2}{s_2^2} \qquad \cos\varphi_2 = \frac{s_1}{s_2}$$

$$E_2 = \frac{I_v \cdot s_1}{s_2^2 \cdot s_2}$$

$$E_2 = \frac{110\ \text{cd} \cdot 1{,}2\ \text{m}}{(1{,}41\ \text{m})^2 \cdot 1{,}41\ \text{m}}, \qquad E_2 = \frac{110 \cdot 1{,}2\ \text{cd} \cdot \text{m}}{1{,}41 \cdot 1{,}41 \cdot 1{,}41\ \text{m}^3}, \qquad \underline{\underline{E_2 = 47{,}1\ \text{lx}}}$$

Ergebnis: Die Beleuchtungsstärken in der Mitte und am Rand der Tischplatte betragen 76,4 lx bzw. 47,1 lx.

5.6. Beispielaufgaben zu Größen der physikalischen Chemie

5.6.1. Stoffmenge (Objektmenge)

Art der Einheit	Formelzeichen	Benennung der Einheit	Einheitenzeichen	Einheitengleichung
Basiseinheit	n	Mol	mol	$[n] = 1$ mol
Zulässige und übliche Vielfache und Teile der Einheit				
mmol, kmol				

Berechnung der Stoffmenge aus der Teilchenanzahl

Zum Berechnen der Stoffmenge aus der Teilchenanzahl benutzt man folgende Gleichung:

$n = \frac{N}{N_A}$	n Stoffmenge, z. B. in mol N Teilchenanzahl eines Stoffes N_A Avogadrosche Konstante, z. B. in mol^{-1}

■ Berechne die Stoffmenge eines Tropfens Octadecansäurelösung, wenn in einem Tropfen dieser Lösung $6{,}43 \cdot 10^{16}$ Moleküle enthalten sind!

Gegeben:

$N = 6{,}43 \cdot 10^{16}$

$N_A = 6{,}025 \cdot 10^{23}\ mol^{-1}$

Gesucht:

n

Lösung:

$$n = \frac{N}{N_A}$$

$$n = \frac{6{,}43 \cdot 10^{16}}{6{,}025 \cdot 10^{23}\ mol^{-1}}$$

$$\underline{\underline{n = 1{,}067 \cdot 10^{-7}\ mol}}$$

Ergebnis: Die Stoffmenge eines Tropfens Octadecansäurelösung beträgt $1{,}067 \cdot 10^{-7}$ mol.

Berechnung der Stoffmenge aus der Masse

Zum Berechnen der Stoffmenge aus der Masse eines Stoffes benutzt man die Definitionsgleichung der molaren Masse.

$M = \frac{m}{n}$	M molare Masse, z. B. in $g \cdot mol^{-1}$ m Masse, z. B. in g n Stoffmenge, z. B. in mol

Welcher Stoffmenge entsprechen 51 g Aluminiumoxid?

Gegeben:
$m = 51\ \text{g}$
$M = 102\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$

Gesucht:
n

Lösung:

$$M = \frac{m}{n}$$

$$n = \frac{m}{M}$$

$$n = \frac{51\ \text{g}}{102\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}}$$

$$\underline{\underline{n = 0{,}5\ \text{mol}}}$$

Ergebnis: 51 g Aluminiumoxid entsprechen einer Stoffmenge von 0,5 mol.

Berechnung der Stoffmenge aus dem Volumen und der Stoffmengenkonzentration

Zum Berechnen der Stoffmenge aus dem Volumen einer Lösung und der Stoffmengenkonzentration benutzt man die Definitionsgleichung der Stoffmengenkonzentration.

$c_B = \frac{n}{V}$	c_B Stoffmengenkonzentration des Stoffes B, z. B. in $\text{mol} \cdot \text{l}^{-1}$ n Stoffmenge des Stoffes B, z. B. in mol V Volumen der Lösung, z. B. in l

Zur Neutralisation einer Äthansäurelösung ist ein Volumen von 23 ml einer 0,1 M Natriumhydroxidlösung verbraucht worden. Berechne die Stoffmenge der gelösten Äthansäure!

Gegeben:
$V = 23\ \text{ml} = 23 \cdot 10^{-3}\ \text{l}$
$c_B = 0{,}1\ \text{mol} \cdot \text{l}^{-1}$

Gesucht:
n

Lösung:

$$c_B = \frac{n}{V}$$

$$n = V \cdot c_B$$

$$n = 23 \cdot 10^{-3}\ \text{l} \cdot 0{,}1\ \text{mol} \cdot \text{l}^{-1}$$

$$\underline{\underline{n = 2{,}3 \cdot 10^{-3}\ \text{mol}}}$$

Ergebnis: Die Stoffmenge der gelösten Äthansäure beträgt $2{,}3 \cdot 10^{-3}$ mol.

5/6

Berechnung der Stoffmenge eines Stoffes im chemischen Gleichgewicht aus der Gleichgewichtskonstanten und den Stoffmengen der anderen Stoffe

Zum Berechnen der Stoffmenge eines Stoffes im chemischen Gleichgewicht aus der Gleichgewichtskonstanten und den Stoffmengen der anderen Stoffe geht man von der Gleichung des Massenwirkungsgesetzes aus.

$\frac{c_C^{\nu_C} \cdot c_D^{\nu_D}}{c_A^{\nu_A} \cdot c_B^{\nu_B}} = K_c$	$c_{A,B,C,D}$	**Stoffmengenkonzentrationen der Stoffe A, B, C, D**
	$\nu_{A,B,C,D}$	**Stöchiometriezahlen der Stoffe A, B, C, D**
	K_c	**Gleichgewichtskonstante**

Für Berechnungen zu chemischen Gleichgewichten, bei denen in den entsprechenden chemischen Gleichungen die Änderung der Stöchiometriezahlen gleich Null ist ($\Delta\nu = 0$), können in die Gleichung des Massenwirkungsgesetzes auf Grund der Proportionalität zwischen den Konzentrationen und den Stoffmengen auch die Stoffmengen eingesetzt werden.

$\frac{n_C \cdot n_D}{n_A \cdot n_B} = K_c$	$n_{A,B,C,D}$	**Stoffmengen der Stoffe A, B, C, D**
	K_c	**Gleichgewichtskonstante**

■ Welche Stoffmenge von Äthansäureäthylester ist im chemischen Gleichgewicht vorhanden, wenn 5 mol Äthansäure und 3 mol Äthanol miteinander reagieren? Die Gleichgewichtskonstante für diese chemische Reaktion beträgt bei 25 °C $K_c = 4$.

Gegeben:

$n_{CH_3COOH} = 5$ mol

$n_{C_2H_5OH} = 2$ mol

$K_c = 4$

Gesucht:

$n_{CH_3COOC_2H_5}$

Lösung:

$$\frac{n_{CH_3COOC_2H_5} \cdot n_{H_2O}}{n_{CH_3COOH} \cdot n_{C_2H_5OH}} = K_c$$

$$\frac{n^2}{(5\ \text{mol} - n)\,(3\ \text{mol} - n)} = 4$$

$$\underline{\underline{n = 2{,}4\ \text{mol}}}$$

Ergebnis: Bei der chemischen Reaktion von 5 mol Äthansäure und 3 mol Äthanol sind im chemischen Gleichgewicht 2,4 mol Äthansäureäthylester vorhanden.

5.6.2. Stoffmengenkonzentration

Art der Einheit	Formelzeichen	Benennung der Einheit	Einheitenzeichen	Einheitengleichung
abgeleitete Einheit	c_B	Mol je Kubikmeter	$mol \cdot m^{-3}$	$[c_B] = \frac{[n]}{[V]}$ $\frac{1\ mol}{1\ m^3} = 1\ mol \cdot m^{-3}$
Zulässige und übliche Vielfache und Teile der Einheit				
$mol \cdot dm^{-3}$, $mol \cdot l^{-1}$, $kmol \cdot m^{-3}$				

Berechnung der Stoffmengenkonzentration einer Lösung aus der Masse und dem Volumen

Zum Berechnen der Stoffmengenkonzentration aus der Masse und dem Volumen benutzt man die Definitionsgleichungen der Stoffmengenkonzentration und der molaren Masse.

Definitionsgleichung der Stoffmengenkonzentration	**Definitionsgleichung der molaren Masse**
$c_B = \frac{n}{V}$	$M = \frac{m}{n}$
$c_B = \frac{m}{M \cdot V}$	
c_B Stoffmengenkonzentration des Stoffes B, z. B. in $mol \cdot l^{-1}$ n Stoffmenge, z. B. in mol	V Volumen, z. B. in l M molare Masse, z. B. in $g \cdot mol^{-1}$ m Masse, z. B. in g

■ 73 g Chlorwasserstoff sind in 2 l Chlorwasserstoffsäurelösung enthalten. Berechne die Stoffmengenkonzentration der Lösung!

Gegeben:

$m = 73\ g$

$M = 36{,}5\ g \cdot mol^{-1}$

$V = 2\ l$

Gesucht:

c_B

Lösung:

$$c_B = \frac{m}{M \cdot V}$$

$$c_B = \frac{73\ g}{36{,}5\ g \cdot mol^{-1} \cdot 2\ l}$$

$$\underline{\underline{c_B = 1\ mol \cdot l^{-1}}}$$

Ergebnis: Die Stoffmengenkonzentration der Chlorwasserstoffsäurelösung beträgt $1\ mol \cdot l^{-1}$.

5/6

Berechnung der Stoffmengenkonzentration einer Lösung aus dem Volumen dieser Lösung sowie der Stoffmengenkonzentration und dem Volumen der Maßlösung

Zum Berechnen der Stoffmengenkonzentration einer Analysenlösung aus dem Volumen dieser Lösung und dem verbrauchten Volumen der bekannten Maßlösung benutzt man folgende Gleichung, da die Stoffmengenkonzentrationen den Volumen umgekehrt proportional sind.

$\frac{c_{B,1}}{c_{B,2}} = \frac{V_2}{V_1}$	$c_{B,1}$ Stoffmengenkonzentration der Analysenlösung, z. B. in $mol \cdot l^{-1}$ $c_{B,2}$ Stoffmengenkonzentration der Maßlösung, z. B. in $mol \cdot l^{-1}$ V_2 Volumen der Maßlösung, z. B. in l V_1 Volumen der Analysenlösung, z. B. in l

■ Für 10 ml Salpetersäurelösung wurden bei der Titration 4,8 ml 1 M Natriumhydroxidlösung verbraucht. Berechne die Stoffmengenkonzentration der Salpetersäurelösung!

Gegeben:

$c_{B,2} = 1\ mol \cdot l^{-1}$

$V_2 = 4{,}8\ ml$

$V_1 = 10\ ml$

Gesucht:

$c_{B,1}$

Lösung:

$$\frac{c_{B,1}}{c_{B,2}} = \frac{V_2}{V_1}$$

$$c_{B,1} = \frac{c_{B,2} \cdot V_2}{V_1}$$

$$c_{B,1} = \frac{1\ mol \cdot l^{-1} \cdot 4{,}8\ ml}{10\ ml}$$

$$\underline{\underline{c_{B,1} = 0{,}48\ mol \cdot l^{-1}}}$$

Ergebnis: Die Stoffmengenkonzentration der Salpetersäurelösung beträgt $0{,}48\ mol \cdot l^{-1}$.

Berechnung der Wasserstoff-Ionenkonzentration aus dem *p*H-Wert

Zum Berechnen der Wasserstoff-Ionenkonzentration aus dem *p*H-Wert benutzt man die Definitionsgleichung des *p*H-Wertes.

$pH = -\lg \frac{c_{H^+}}{mol \cdot l^{-1}}$	*p*H negativer dekadischer Logarithmus des Zahlenwertes für die Wasserstoff-Ionenkonzentration c_{H^+} Stoffmengenkonzentration der Wasserstoff-Ionen, z. B. in $mol \cdot l^{-1}$

Der pH-Wert einer wäßrigen Lösung ist 3,5. Berechne die Wasserstoff-Ionenkonzentration der Lösung!

Gegeben:

$pH = 3{,}5$

Gesucht:

C_{H^+}

Lösung:

$$-\lg \frac{C_{H^+}}{\text{mol} \cdot \text{l}^{-1}} = pH$$

$$\lg \frac{C_{H^+}}{\text{mol} \cdot \text{l}^{-1}} = -3{,}5$$

$$\lg \frac{C_{H^+}}{\text{mol} \cdot \text{l}^{-1}} = 0{,}5 - 4$$

$$\frac{C_{H^+}}{\text{mol} \cdot \text{l}^{-1}} = 3{,}16 \cdot 10^{-4}$$

$$\underline{\underline{C_{H^+} = 3{,}16 \cdot 10^{-4}\ \text{mol} \cdot \text{l}^{-1}}}$$

Ergebnis: Die Wasserstoff-Ionenkonzentration der Lösung beträgt $3{,}16 \cdot 10^{-4}\ \text{mol} \cdot \text{l}^{-1}$.

5.6.3. Molare Masse

Art der Einheit	Formelzeichen	Benennung der Einheit	Einheitenzeichen	Einheitengleichung
abgeleitete Einheit	M	Kilogramm je Mol	$\text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$	$[M] = \frac{[m]}{[n]}$ $\frac{1\ \text{kg}}{1\ \text{mol}} = 1\ \text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$
Zulässige und übliche Vielfache und Teile der Einheit				
$\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$, $\text{g} \cdot \text{kmol}^{-1}$, $\text{kg} \cdot \text{kmol}^{-1}$				

Berechnung der molaren Masse aus der Masse und dem Volumen

Zum Berechnen der molaren Masse aus dem Volumen und der Masse benutzt man die Definitionsgleichungen der molaren Masse und des molaren Volumens.

Definitionsgleichung der molaren Masse	**Definitionsgleichung des molaren Volumens**
$M = \frac{m}{n}$	$V_m = \frac{V}{n}$

$$M = \frac{m \cdot V_m}{V}$$

M molare Masse, z. B. in $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ m Masse, z. B. in g n Stoffmenge, z. B. in mol	V_m molares Volumen, z. B. in $\text{l} \cdot \text{mol}^{-1}$ V Volumen, z. B. in l

5/6

Beim Verdunsten von 0,04 g Methanol wurde ein Volumen von 28 ml im Normzustand ermittelt. Berechne die molare Masse von Methanol!

Gegeben:

$m = 0{,}04\ \mathrm{g} = 40 \cdot 10^{-3}\ \mathrm{g}$

$V = 28\ \mathrm{ml} = 28 \cdot 10^{-3}\ \mathrm{l}$

$V_m = 22{,}4\ \mathrm{l} \cdot \mathrm{mol}^{-1}$

Gesucht:

M

Lösung:

$$M = \frac{m \cdot V_m}{V}$$

$$M = \frac{40 \cdot 10^{-3}\ \mathrm{g} \cdot 22{,}4\ \mathrm{l} \cdot \mathrm{mol}^{-1}}{28 \cdot 10^{-3}\ \mathrm{l}}$$

$$\underline{\underline{M = 32\ \mathrm{g} \cdot \mathrm{mol}^{-1}}}$$

Ergebnis: Die molare Masse von Methanol beträgt $32\ \mathrm{g} \cdot \mathrm{mol}^{-1}$.

Berechnung der molaren Masse mit Hilfe der allgemeinen Zustandsgleichung des idealen Gases

Zum Berechnen der molaren Masse kann die allgemeine Zustandsgleichung des idealen Gases in Verbindung mit der Definitionsgleichung der molaren Masse benutzt werden.

Allgemeine Zustandsgleichung des idealen Gases	**Definitionsgleichung der molaren Masse**
$p \cdot V = n \cdot R \cdot T$	$M = \frac{m}{n}$
	$n = \frac{m}{M}$

$$p \cdot V = \frac{m}{M} \cdot R \cdot T$$

$$M = \frac{m \cdot R \cdot T}{p \cdot V}$$

p Gasdruck, z. B. in Pa
V Volumen, z. B. in m^3
n Stoffmenge, z. B. in mol
R molare Gaskonstante, z. B. in $\mathrm{J} \cdot \mathrm{mol}^{-1} \cdot \mathrm{K}^{-1}$
T Temperatur, z. B. in K
M molare Masse, z. B. in $\mathrm{g} \cdot \mathrm{mol}^{-1}$
m Masse, z. B. in g

Eine Masse von 0,180 g Benzen ergab beim Verdampfen ein Volumen von 58,6 ml. Für den Dampfdruck wurden 96,8 kPa ermittelt; die Temperatur betrug 296 K. Berechne die molare Masse den Benzens!

Gegeben:

$m = 0{,}180\ \mathrm{g} = 180 \cdot 10^{-6}\ \mathrm{kg}$

$V = 58{,}6\ \mathrm{ml} = 58{,}6 \cdot 10^{-3}\ \mathrm{l}$

$p = 96{,}8\ \mathrm{kPa} = 96{,}8 \cdot 10^{3}\ \mathrm{kg \cdot s^{-2} \cdot m^{-1}}$

$T = 296\ \mathrm{K}$

$R = 8{,}31\ \mathrm{J \cdot mol^{-1} \cdot K^{-1}} = 8{,}31\ \mathrm{kg \cdot m^2 \cdot s^{-2} \cdot mol^{-1} \cdot K^{-1}}$

Gesucht:

M

Lösung:

$$M = \frac{m \cdot R \cdot T}{p \cdot V}$$

$$M = \frac{180 \cdot 10^{-6}\ \mathrm{kg} \cdot 8{,}31\ \mathrm{kg \cdot m^2 \cdot s^{-2} \cdot mol^{-1} \cdot K^{-1}} \cdot 296\ \mathrm{K}}{96{,}8 \cdot 10^{3}\ \mathrm{kg \cdot s^{-2} \cdot m^{-1}} \cdot 58{,}6 \cdot 10^{-3}\ \mathrm{l}}$$

$$M = \frac{180 \cdot 8{,}31 \cdot 296 \cdot 10^{-6}\ \mathrm{kg^2 \cdot m^2 \cdot s^{-2} \cdot mol^{-1}}}{96{,}8 \cdot 58{,}6\ \mathrm{kg \cdot s^{-2} \cdot m^{-1} \cdot l}}$$

$$M \approx 78 \cdot 10^{-3}\ \mathrm{kg \cdot mol^{-1}}$$

$$\underline{\underline{M \approx 78\ \mathrm{g \cdot mol^{-1}}}}$$

Ergebnisse: Die molare Masse des Benzens beträgt rund $78\ \mathrm{g \cdot mol^{-1}}$.

5.6.4. Molares Volumen

Art der Einheit	Formelzeichen	Benennung der Einheit	Einheitenzeichen	Einheitengleichung
abgeleitete Einheit	V_m	Kubikmeter je Mol	$\mathrm{m^3 \cdot mol^{-1}}$	$[V_m] = \frac{[V]}{[n]}$ $\frac{1\ \mathrm{m^3}}{1\ \mathrm{mol}} = 1\ \mathrm{m^3 \cdot mol^{-1}}$
Zulässige und übliche Vielfache und Teile der Einheit				
$\mathrm{m^3 \cdot kmol^{-1}}$, $\mathrm{l \cdot mol^{-1}}$				

Berechnung des molaren Volumens aus dem Volumen und der Masse

Zum Berechnen des molaren Volumens aus dem Volumen und der Masse benutzt man die Definitionsgleichungen des molaren Volumens und der molaren Masse.

5/6

Definitionsgleichung des molaren Volumens	Definitionsgleichung der molaren Masse
$V_m = \frac{V}{n}$	$M = \frac{m}{n}$
	$n = \frac{m}{M}$

$$V_m = \frac{V \cdot M}{m}$$

V_m molares Volumen, z. B. in $l \cdot mol^{-1}$ V Volumen, z. B. in l	n Stoffmenge, z. B. in mol M molare Masse, z. B. in $g \cdot mol^{-1}$ m Masse, z. B. in g

Bei der Reaktion von Chlorwasserstoffsäure mit Calciumkarbonat wurde eine Masse von 0,661 g Kohlendioxid ermittelt, das im Normzustand ein Volumen von 347 ml einnahm. Berechne das molare Volumen des Kohlendioxids!

Gegeben:

$V = 347 \text{ ml} = 0{,}347 \text{ l}$

$M = 44 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

$m = 0{,}681 \text{ g}$

Gesucht:

V_m

Lösung:

$$V_m = \frac{V \cdot M}{m}$$

$$V_m = \frac{0{,}347 \text{ l} \cdot 44 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}}{0{,}681 \text{ g}}$$

$$\underline{\underline{V_m = 22{,}4 \text{ l} \cdot \text{mol}^{-1}}}$$

Ergebnis: Das molare Volumen von Kohlendioxid beträgt $22{,}4 \text{ l} \cdot \text{mol}^{-1}$.

5.6.5. Molalität

Art der Einheit	Formelzeichen	Benennung der Einheit	Einheitenzeichen	Einheitengleichung
abgeleitete Einheit	b, m	Mol je Kilogramm	$\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$	$[b] = \frac{[n]}{[m]}$ $\frac{1 \text{ mol}}{1 \text{ kg}} = 1 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$
Zulässige und übliche Vielfache und Teile der Einheit				
$\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$, $\text{mol} \cdot \text{t}^{-1}$, $\text{kmol} \cdot \text{kg}^{-1}$				

Berechnung der Molalität einer Lösung

Zum Berechnen der Molalität einer Lösung benutzt man, wenn die Masse des zu lösenden Stoffes und die Masse des Lösungsmittels bekannt sind, die Definitionsgleichungen der Molalität und der molaren Masse.

Definitionsgleichung der Molalität	**Definitionsgleichung der molaren Masse**
$b = \dfrac{n}{m_{LM}}$	$M = \dfrac{m}{n}$
	$n = \dfrac{m}{M}$

$$b = \frac{m}{m_{LM} \cdot M}$$

b	Molalität der Lösung, z. B. in $mol \cdot kg^{-1}$
n	Stoffmenge, z. B. in mol
m_{LM}	Masse des Lösungsmittels, z. B. in kg
M	molare Masse des zu lösenden Stoffes, z. B. in $g \cdot mol^{-1}$
m	Masse des zu lösenden Stoffes, z. B. in g

■ In 100 g Wasser werden 10 g Magnesiumchlorid gelöst. Berechne die Molalität der Lösung!

Gegeben:

$m = 10\ g$

$M = 95{,}21\ g \cdot mol^{-1}$

$m_{LM} = 100\ g$

Gesucht:

b

Lösung:

$$b = \frac{m}{m_{LM} \cdot M}$$

$$b = \frac{10\ g}{0{,}1\ kg \cdot 95{,}21\ g \cdot mol^{-1}}$$

$$\underline{\underline{b = 1{,}05\ mol \cdot kg^{-1}}}$$

Ergebnis: Die Molalität der Magnesiumchloridlösung beträgt $1{,}05\ mol \cdot kg^{-1}$.

5.6.6. Molare Enthalpie

Art der Einheit	Formelzeichen	Benennung der Einheit	Einheitenzeichen	Einheitengleichung
abgeleitete Einheit	H_m	Joule je Mol	$J \cdot mol^{-1}$	$[H_m] = \frac{[H]}{[n]}$ $\frac{1\ J}{1\ mol} =$ $1\ m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot mol^{-1}$
Zulässige und übliche Vielfache und Teile der Einheit				
$kJ \cdot mol^{-1}$				

Berechnung der molaren Bildungsenthalpie aus der Masse und der Wärmekapazität

Zum Berechnen der molaren Bildungsenthalpie aus der Masse und der Wärmekapazität benutzt man die Definitionsgleichung der molaren Bildungsenthalpie, die Gleichungen zur Berechnung der Wärme und der Wärmekapazität sowie die Definitionsgleichung der molaren Masse.

Definitionsgleichung der molaren Bildungsenthalpie	1. Hauptsatz der Wärmelehre für isobare Prozesse	Gleichung zur Berechnung der Wärme	Gleichung zur Berechnung der Wärmekapazität	Definitionsgleichung der molaren Masse
$\Delta H_{m,B} = \frac{\Delta H_B}{n}$	$Q = \Delta H_B$	$Q = c \cdot m \cdot \Delta T$	$C = \frac{Q}{\Delta T}$	$M = \frac{m}{n}$

$$\Delta H_{m,B} = \frac{c \cdot m \cdot \Delta T}{n} \qquad C = c \cdot m \qquad n = \frac{m}{M}$$

$$\Delta H_{m,B} = \frac{C \cdot \Delta T}{n}$$

$$\Delta H_{m,B} = \frac{C \cdot \Delta T \cdot M}{m}$$

$\Delta H_{m,B}$	molare Bildungsenthalpie, z. B. in $kJ \cdot mol^{-1}$
ΔH_B	Bildungsenthalpie, z. B. in kJ
n	Stoffmenge, z. B. in mol
Q	Wärme, z. B. in kJ
c	spezifische Wärmekapazität, z. B. in $J \cdot g^{-1} \cdot K^{-1}$
m	Masse, z. B. in g
ΔT	Temperaturdifferenz, z. B. in K
C	Wärmekapazität, z. B. in $J \cdot K^{-1}$
M	molare Masse, z. B. in $g \cdot mol^{-1}$

Die Reaktion von 2,8 g Eisen und 1,6 g Schwefel hatte einen Temperaturanstieg des Kalorimeterwassers um 2,1 K zur Folge. Die Wärmekapazität des Kalorimeters einschließlich des darin befindlichen Wassers beträgt $2{,}35\ kJ \cdot K^{-1}$. Berechne die molare Bildungsenthalpie von Eisen(II)-sulfid!

Gegeben:

$m = 4{,}4\ g$

$M = 88\ g \cdot mol^{-1}$

$C = 2{,}35\ kJ \cdot K^{-1}$

$\Delta T = 2{,}1\ K$

Gesucht:

$\Delta H_{m,B}$

Lösung:

$$\Delta H_{m,B} = \frac{C \cdot \Delta T \cdot M}{m}$$

$$\Delta H_{m,B} = \frac{2{,}35\ kJ \cdot K^{-1} \cdot 2{,}1\ K \cdot 88\ g \cdot mol^{-1}}{4{,}4\ g}$$

$$\underline{\underline{\Delta H_{m,B} \approx 99\ kJ \cdot mol^{-1}}}$$

Ergebnis: Bei der Reaktion von Eisen und Schwefel zu Eisen(II)-sulfid werden rund $99\ kJ \cdot mol^{-1}$ an die Umgebung abgegeben; die molare Bildungsenthalpie beträgt demnach etwa $-99\ kJ \cdot mol^{-1}$.

Berechnung der molaren Neutralisationsenthalpie aus dem Volumen und der spezifischen Wärmekapazität

Zum Berechnen der molaren Neutralisationsenthalpie aus dem Volumen und der spezifischen Wärmekapazität benutzt man die Definitionsgleichungen der molaren Neutralisationsenthalpie, die Gleichungen zur Berechnung der Wärmebilanz aus Wärme des Wassers und des Kalorimetergefäßes sowie zur Berechnung der Dichte.

5/6

Definitionsgleichung der molaren Neutralisationsenthalpie	1. Hauptsatz der Wärmelehre für isobare Prozesse	Gleichung zur Berechnung der Wärmebilanz aus Wärme des Wassers und des Kalorimetergefäßes	Gleichung zur Berechnung der Dichte
$\Delta H_{m,N} = \frac{\Delta H_N}{n}$	$Q = \Delta H_N$	$Q = c \cdot m \cdot \Delta T + C\Delta T$	$\varrho = \frac{m}{V}$

$$\Delta H_{m,N} = \frac{c \cdot m \cdot \Delta T + C\Delta T}{n}$$

$$m = \varrho \cdot V$$

$$\Delta H_{m,N} = \frac{(\varrho \cdot V \cdot c + C)\,\Delta T}{n}$$

$\Delta H_{m,N}$	molare Neutralisationsenthalpie, z. B. in $kJ \cdot mol^{-1}$
ΔH_N	Neutralisationsenthalpie, z. B. in kJ
n	Stoffmenge, z. B. in mol
Q	Wärme, z. B. in kJ
c	spezifische Wärmekapazität des Wassers, z. B. in $J \cdot g^{-1} \cdot K^{-1}$
m	Masse, z. B. in g
ΔT	Temperaturdifferenz, z. B. in K
C	Wärmekapazität des Reaktionsgefäßes, z. B. in $J \cdot K^{-1}$
ϱ	Dichte des Stoffgemisches, z. B. in $g \cdot mol^{-1}$
V	Volumen des Stoffgemisches, z. B. in ml

■ 100 ml Natriumhydroxidlösung und 100 ml Chlorwasserstoffsäure, die je 0,1 mol der entsprechenden Stoffe enthalten, werden in ein Dewargefäß gefüllt. Die gemessene Temperaturdifferenz betrug 6,4 K, die Wärmekapazität des Dewargefäßes beträgt $76\ J \cdot K^{-1}$. Berechne die molare Neutralisationsenthalpie!

Gegeben:

$V = 200$ ml

$\Delta T = 6{,}4$ K

$n = 0{,}1$ mol

$C = 76\ J \cdot K^{-1}$

$c = 4{,}19\ J \cdot g^{-1} \cdot K^{-1}$

$\varrho = 1\ g \cdot ml^{-1}$

Gesucht:

$\Delta H_{m,N}$

Lösung:

$$\Delta H_{m,N} = \frac{(\varrho \cdot V \cdot c + C)\,\Delta T}{n}$$

$$\Delta H_{m,N} = \frac{(1\ \mathrm{g \cdot ml^{-1}} \cdot 200\ \mathrm{ml} \cdot 4{,}19\ \mathrm{J \cdot g^{-1} \cdot K^{-1}} + 76 \cdot \mathrm{J \cdot K^{-1}}) \cdot 6{,}4\ \mathrm{K}}{0{,}1\ \mathrm{mol}}$$

$$\Delta H_{m,N} = 58\,496\ \mathrm{J \cdot mol^{-1}}$$

$$\underline{\underline{\Delta H_{m,N} \approx 59\ \mathrm{kJ \cdot mol^{-1}}}}$$

Ergebnis: Bei der Neutralisation von Natriumhydroxidlösung mit Chlorwasserstoffsäurelösung wurden rund 59 kJ · mol^{-1} an die Umgebung abgegeben; die molare Neutralisationsenthalpie beträgt rund -59 kJ · mol^{-1}.

Berechnung einer molaren Reaktionsenthalpie aus den molaren Bildungsenthalpien

Zum Berechnen der molaren Reaktionsenthalpie einer chemischen Reaktion benutzt man das Hesssche Gesetz, nach dem die Differenz zwischen den molaren Bildungsenthalpien aller Reaktionsprodukte und den molaren Bildungsenthalpien aller Ausgangsstoffe zu bilden ist. Grundlage für die Berechnung ist die chemische Gleichung.
Unter Berücksichtigung der Stöchiometriezahlen gilt:

$$\alpha\,\mathrm{AB} + \beta\,\mathrm{CD} \rightarrow \gamma\,\mathrm{AC} + \delta\,\mathrm{BD}$$

Daraus folgt für die molare Reaktionsenthalpie:

$$\Delta H_{m,R} = (\gamma \Delta H_{m,B(AC)} + \delta \Delta H_{m,B(BD)}) - (\alpha \Delta H_{m,B(AB)} + \beta \Delta H_{m,B(CD)})$$

$\Delta H_{m,R}$	molare Reaktionsenthalpie, z. B. in kJ · mol^{-1}
$\Delta H_{m,B(AB)}$, $\Delta H_{m,B(CD)}$	molare Bildungsenthalpien der Ausgangsstoffe, z. B. in kJ · mol^{-1}
$\Delta H_{m,B(AC)}$, $\Delta H_{m,B(BD)}$	molare Bildungsenthalpien der Reaktionsprodukte, z. B. in kJ · mol^{-1}
$\alpha, \beta, \gamma, \delta$	Stöchiometriezahlen

■ Die molare Reaktionsenthalpie für die Reaktion von Calciumkarbid und Wasser ist zu berechnen. Die molaren Bildungsenthalpien sind aus Tabellen zu entnehmen.

5/6

Gegeben:

$\Delta H_{m,B(CaC_2)} = -62{,}7\ kJ \cdot mol^{-1}$

$\Delta H_{m,B(H_2O)} = -285{,}8\ kJ \cdot mol^{-1}$

$\Delta H_{m,B(Ca(OH)_2)} = -986{,}2\ kJ \cdot mol^{-1}$

$\Delta H_{m,B(C_2H_2)} = +226{,}7\ kJ \cdot mol^{-1}$

Gesucht:

$\Delta H_{m,R}$

Lösung:

$CaC_2 + 2\ H_2O \rightarrow Ca(OH)_2 + C_2H_2$

$\Delta H_{m,R} = (\Delta H_{m,B(Ca(OH)_2)} + \Delta H_{m,B(C_2H_2)}) - (\Delta H_{m,B(CaC_2)} + 2\,\Delta H_{m,B(H_2O)})$

$\Delta H_{m,R} = [(-986{,}2 + 226{,}7) - (-62{,}7 + 2 \cdot -285{,}8)]\ kJ \cdot mol^{-1}$

$\underline{\underline{\Delta H_{m,R} = -125{,}2\ kJ \cdot mol^{-1}}}$

Ergebnis: Die molare Reaktionsenthalpie für die Reaktion von Calciumkarbid und Wasser beträgt $-125{,}2\ kJ \cdot mol^{-1}$.

5.6.7. Stoffmengenanteil (Stoffmengengehalt, Stoffmengenbruch)

Art der Einheit	Formelzeichen	Benennung der Einheit	Einheitenzeichen	Einheitengleichung
Verhältniseinheit	$\varkappa_B$	**Eins oder Prozent**	**1 oder %**	$[\varkappa_B] = \frac{[n_B]}{[n_G]}$
Zulässige und übliche Vielfache und Teile der Einheit				
$mol \cdot kmol^{-1}$, $mmol \cdot mol^{-1}$ oder ‰				

Berechnung des Stoffmengenanteils eines Stoffes in einem Stoffgemisch

Zum Berechnen des Stoffmengenanteils eines Stoffes in einem Stoffgemisch benutzt man die Definitionsgleichung des Stoffmengenanteils.

$\varkappa_B = \frac{n_B}{n_G}$	$\varkappa_B$ **Stoffmengenanteil des Stoffes B, z. B. in %** n_B **Stoffmenge des Stoffes B, z. B. in mol** n_G **Stoffmenge des Stoffgemisches G, z. B. in mol**

Ein Stoffgemisch besteht aus 0,028 mol Toluen und 0,041 mol Aceton. Berechne den Stoffmengenanteil des Toluens im Stoffgemisch!

Gegeben:

$n_T = 0{,}028$ mol

$n_A = 0{,}041$ mol

Gesucht:

x_T

Lösung:

$$x_T = \frac{n_T}{n_T + n_A}$$

$$x_T = \frac{0{,}028 \text{ mol}}{0{,}028 \text{ mol} + 0{,}041 \text{ mol}}$$

$$\underline{\underline{x_T = 0{,}406 = 40{,}6\,\%}}$$

Ergebnis: Der Stoffmengenanteil des Toluens im Toluen-Aceton-Gemisch beträgt 40,6 %.

5.6.8. Massenanteil (Massengehalt, Massenbruch)

Art der Einheit	Formelzeichen	Benennung der Einheit	Einheitenzeichen	Einheitengleichung
Verhältniseinheit	w_B	Eins oder Prozent	1 oder %	$[w_B] = \frac{[m_B]}{[m_G]}$
Zulässige und übliche Vielfache und Teile der Einheit				
$kg \cdot kg^{-1}$, $mg \cdot g^{-1}$, $g \cdot kg^{-1}$ oder ‰				

Berechnung des Massenanteils eines Stoffes in einem Stoffgemisch aus der Masse dieses Stoffes und der Masse des Stoffgemisches

Zum Berechnen des Massenanteils eines Stoffes in einem Stoffgemisch aus der Masse dieses Stoffes und der Masse des Stoffgemisches benutzt man die Definitionsgleichung des Massenanteils.

$w_B = \frac{m_B}{m_G}$	w_B Massenanteil des Stoffes B, z. B. in % m_B Masse des Stoffes B, z. B. in g m_G Masse des Stoffgemisches G, z. B. in g

10 g Natriumchlorid werden in 90 g Wasser gelöst. Berechne den Massenanteil des Natriumchlorids in der Lösung!

5/6

Gegeben:

$m_{NaCl} = 10\ g$

$m_{NaCl\text{-}Lösg.} = m_{NaCl} + m_{H_2O} = 100\ g$

Gesucht:

w_{NaCl}

Lösung:

$$w_{NaCl} = \frac{m_{NaCl}}{m_{NaCl\text{-}Lösg.}}$$

$$w_{NaCl} = \frac{10\ g}{100\ g}$$

$$\underline{\underline{w_{NaCl} = 0{,}1 = 10\,\%}}$$

Ergebnis: Der Massenanteil des Natriumchlorids in der Natriumchloridlösung beträgt 10 %, d. h., die Natriumchloridlösung ist 10 %ig.

Berechnung des Massenanteils eines Elementes in einer Verbindung

Zum Berechnen des Massenanteils eines Elementes in einer Verbindung benutzt man die Gleichungen des Massenanteils und der molaren Masse.

Definitionsgleichung des Massenanteils	**Definitionsgleichung der molaren Masse**
$w_B = \frac{m_B}{m_G}$	$M = \frac{m}{n}$
	$m = n \cdot M$

$$w_B = \frac{n_B \cdot M_B}{n_G \cdot M_G}$$

w_B Massenanteil des Elementes B, z. B. in %
n_B Stoffmenge des Elementes B, z. B. in mol
M_B molare Masse des Elementes B, z. B. in $g \cdot mol^{-1}$
n_G Stoffmenge der Verbindung G, z. B. in mol
M_G molare Masse der Verbindung G, z. B. in $g \cdot mol^{-1}$

■ Berechne den Massenanteil des Elementes Eisen in der Verbindung Eisen(II)-oxid FeO!

Gegeben:

$n_{Fe} = 1\ mol$

$M_{Fe} = 56\ g \cdot mol^{-1}$

$n_{FeO} = 1\ mol$

$M_{FeO} = 72\ g \cdot mol^{-1}$

Gesucht:

w_{Fe}

Lösung:

$$w_{Fe} = \frac{n_{Fe} \cdot M_{Fe}}{n_{FeO} \cdot M_{FeO}}$$

$$w_{Fe} = \frac{1\ mol \cdot 56\ g \cdot mol^{-1}}{1\ mol \cdot 72\ g \cdot mol^{-1}}$$

$$\underline{\underline{w_{Fe} = 0{,}778 = 77{,}8\,\%}}$$

Ergebnis: In der Verbindung Eisen(II)-oxid beträgt der Massenanteil des Elementes Eisen 77,8 %.

Berechnung des Massenanteils eines Stoffes in einer Lösung aus zwei Lösungen mit bekannten Massenanteilen der Stoffe

Zum Berechnen des Massenanteils eines Stoffes in einer Lösung aus zwei Lösungen mit bekannten Massenanteilen der Stoffe benutzt man die Mischungsgleichung.

$m_1 \cdot w_1 + m_2 \cdot w_2 = (m_1 + m_2)\, w_3$ $w_3 = \dfrac{m_1 \cdot w_1 + m_2 \cdot w_2}{m_1 + m_2}$	w_3	Massenanteil eines Stoffes in der herzustellenden Lösung, z. B. in %
	m_1	Masse der Lösung I, z. B. in g
	w_1	Massenanteil des Stoffes in der Lösung I, z. B. in %
	m_2	Masse der Lösung II, z. B. in g
	w_2	Massenanteil des Stoffes in der Lösung II, z. B. in %

■ 20 g einer 37 %igen Chlorwasserstoffsäure werden mit 60 g Wasser verdünnt. Berechne den Massenanteil des Chlorwasserstoffs in der Chlorwasserstoffsäure!

Gegeben:

$m_{HCl} = 20\ g$
$w_{HCl} = 37\ \%$
$m_{H_2O} = 60\ g$
$w_{H_2O} = 0\ \%$

Gesucht:

w_3

Lösung:

$$w_3 = \frac{m_{HCl} \cdot w_{HCl} + m_{H_2O} \cdot w_{H_2O}}{m_{HCl} + m_{H_2O}}$$

$$w_3 = \frac{20\ g \cdot 37\ \% + 60\ g \cdot 0\ \%}{20\ g + 60\ g}$$

$$w_3 = \frac{740\ \%}{80}$$

$$\underline{\underline{w_3 \approx 9{,}2\ \%}}$$

Ergebnis: Der Massenanteil des Chlorwasserstoffs in der Chlorwasserstoffsäure beträgt etwa 9,2 %.

5.6.9. Volumenanteil (Volumengehalt, Volumenbruch)

Art der Einheit	Formelzeichen	Benennung der Einheit	Einheitenzeichen	Einheitengleichung
Verhältniseinheit	φ_B	Eins oder Prozent	1 oder %	$[\varphi_B] = \frac{[V_B]}{[V_G]}$
Zulässige und übliche Vielfache und Teile der Einheit				
$cm^3 \cdot l^{-1}$, $l \cdot m^{-3}$ oder ‰				

Berechnung des Volumenanteils eines Gases in einem Gasgemisch aus dem Volumen dieses Gases und dem Volumen des Gasgemisches

Zum Berechnen des Volumenanteils eines Gases in einem Gasgemisch aus dem Volumen dieses Gases und dem Volumen des Gasgemisches benutzt man die Definitionsgleichung des Volumenanteils.

$\varphi_B = \frac{V_B}{V_G}$	φ_B Volumenanteil des Gases B, z. B. in % V_B Volumen des Gases B, z. B. in ml V_G Volumen des Gasgemisches G, z. B. in ml

■ Bei der Analyse von 50 ml eines Stadtgas-Luft-Gemisches wurden 2,8 ml Kohlenmonoxid ermittelt. Berechne den Volumenanteil des Kohlenmonoxids im Stadtgas-Luft-Gemisch!

Gegeben:

$V_{CO} = 2{,}8$ ml

$V_{Stadtg./Luft} = 50$ ml

Gesucht:

φ_{CO}

Lösung:

$$\varphi_{CO} = \frac{V_{CO}}{V_{Stadtg./Luft}}$$

$$\varphi_{CO} = \frac{2{,}8\ \text{ml}}{50\ \text{ml}}$$

$$\underline{\underline{\varphi_{CO} = 0{,}056 = 5{,}6\,\%}}$$

Ergebnis: Der Volumenanteil des Kohlenmonoxids im Stadtgas-Luft-Gemisch beträgt 5,6 %.

5.6.10. *p*H-Wert

Berechnung des *p*H-Wertes aus der Wasserstoff-Ionenkonzentration

Zum Berechnen des *p*H-Wertes aus der Wasserstoff-Ionenkonzentration benutzt man die Definitionsgleichung des *p*H-Wertes.

$pH = -\lg \frac{c_{H^+}}{mol \cdot l^{-1}}$	*p*H negativer dekadischer Logarithmus des Zahlenwertes für die Wasserstoff-Ionenkonzentration c_{H^+} Stoffmengenkonzentration der Wasserstoff-Ionen in $mol \cdot l^{-1}$

■ Die Stoffmengenkonzentration der Wasserstoff-Ionen in einer wäßrigen Säurelösung beträgt $2{,}4 \cdot 10^{-3}\ mol \cdot l^{-1}$. Berechne den *p*H-Wert!

Gegeben:
$c_{H^+} = 2{,}4 \cdot 10^{-3}\ mol \cdot l^{-1}$

Gesucht:
*p*H

Lösung:

$$pH = -\lg \frac{c_{H^+}}{mol \cdot l^{-1}}$$

$$pH = -\lg \frac{2{,}4 \cdot 10^{-3}\ mol \cdot l^{-1}}{mol \cdot l^{-1}}$$

$$pH = -\lg 2{,}4 - \lg 10^{-3}$$

$$pH = -0{,}38 + 3$$

$$\underline{\underline{pH = 2{,}62}}$$

Ergebnis: Der *p*H-Wert der Säurelösung beträgt 2,62.

Berechnung des *p*H-Wertes aus einer Gleichgewichtskonstanten

Zum Berechnen des *p*H-Wertes aus einer Gleichgewichtskonstanten aus der Gleichung des Massenwirkungsgesetzes benutzt man die Definitionsgleichung des *p*H-Wertes und den Zusammenhang zwischen der Wasserstoff-Ionenkonzentration und der Säurekonstanten. Unter bestimmten Bedingungen ergibt sich vereinfacht:

Vereinfachte Gleichung zur Berechnung der Wasserstoff-Ionenkonzentration	**Definitionsgleichung des *p*H-Wertes**
$c_{H^+} = \sqrt{K_S \cdot c_{H^+,o}}$	$pH = -\lg \frac{c_{H^+}}{mol \cdot l^{-1}}$

$$pH = -\lg \frac{\sqrt{K_S \cdot c_{H^+,o}}}{mol \cdot l^{-1}}$$

c_{H^+} Wasserstoff-Ionenkonzentration in $mol \cdot l^{-1}$ K_S Säurekonstante in $mol \cdot l^{-1}$	$c_{H^+,o}$ Ausgangskonzentration der Säure in $mol \cdot l^{-1}$

5/7

- Die Säurekonstante der Äthansäure beträgt $1{,}8 \cdot 10^{-5}\ \mathrm{mol \cdot l^{-1}}$. Berechne den *p*H-Wert einer 0,1 M Äthansäurelösung!

Gegeben:

$K_S = 1{,}8 \cdot 10^{-5}\ \mathrm{mol \cdot l^{-1}}$

$c_{H^+,O} = 0{,}1\ \mathrm{mol \cdot l^{-1}}$

Gesucht:

*p*H

Lösung:

$$pH = -\lg \frac{\sqrt{K_S \cdot c_{H^+,O}}}{\mathrm{mol \cdot l^{-1}}}$$

$$pH = -\lg \frac{\sqrt{1{,}8 \cdot 10^{-5}\ \mathrm{mol \cdot l^{-1}} \cdot 0{,}1\ \mathrm{mol \cdot l^{-1}}}}{\mathrm{mol \cdot l^{-1}}}$$

$$pH = -\lg \frac{\sqrt{1{,}8 \cdot 10^{-6}\ \mathrm{mol^2 \cdot l^{-2}}}}{\mathrm{mol \cdot l^{-1}}}$$

$$pH = -\lg 1{,}34 \cdot 10^{-3}$$

$$pH = -0{,}13 + 3$$

$$\underline{\underline{pH = 2{,}87}}$$

Ergebnis: Der *p*H-Wert der 0,1 M Äthansäurelösung beträgt 2,87.

5.7. Beispielaufgaben zu Größen der ionisierenden Strahlung

5.7.1. Teilchenfluenz

Art der Einheit	Formelzeichen	Benennung der Einheit	Einheitenzeichen	Einheitengleichung
abgeleitete Einheit	Φ	Eins je Quadratmeter	$\mathrm{m^{-2}}$	$[\Phi] = \frac{1}{[A]}$ $\frac{1}{1\ \mathrm{m^2}} = 1\ \mathrm{m^{-2}}$
Zulässige und übliche Vielfache und Teile der Einheit				
$\mathrm{cm^{-2}}$				

Berechnung der Teilchenfluenz

Zum Berechnen der Teilchenfluenz benutzt man den Zusammenhang zwischen der Teilchenfluenz und der Aktivität und die spezielle Gleichung zur Berechnung der Oberfläche des Strahlers.

Definitionsgleichung der Teilchenfluenz	Gleichung zur Berechnung der Oberfläche eines punktförmigen Strahlers	Gleichung zur Berechnung der emittierten Teilchenanzahl
$\Phi = \frac{N}{S}$	$S = 4 \cdot \pi \cdot r^2$	$N = A \cdot t \cdot n$

$$\Phi = \frac{A \cdot t \cdot n}{4 \cdot \pi \cdot r^2}$$

Φ Teilchenfluenz, z. B. in m^{-2}
N Anzahl der emittierten Teilchen
S Oberfläche des Strahlers, z. B. in m^2
r Abstand vom Strahler, z. B. in m
A Aktivität des Strahlers, z. B. in Bq
t Strahlungsdauer, z. B. in s
n Anzahl der je Zerfallsakt emittierten Quanten

■ Wie groß ist die Teilchenfluenz in 1,2 m Abstand eines als punktförmig angesehenen ^{60}Co-Präparats mit der Aktivität $A = 3{,}7 \cdot 10^7$ Bq, das je Zerfallsakt 2 γ-Quanten aussendet?

Gegeben:

$A = 3{,}7 \cdot 10^7 \text{ Bq} = 3{,}7 \cdot 10^7 \text{ s}^{-1}$

$t = 1 \text{ s}$

$r = 1{,}2 \text{ m}$

$n = 2$

Gesucht:

Φ

Lösung:

$$\Phi = \frac{A \cdot t \cdot n}{4\,\pi \cdot r^2}$$

$$\Phi = \frac{3{,}7 \cdot 10^7 \text{ s}^{-1} \cdot 1 \text{ s} \cdot 2}{4\,\pi \cdot (1{,}2 \text{ m})^2}$$

$$\Phi = \frac{3{,}7 \cdot 10^7 \cdot 2 \text{ s}^{-1} \cdot \text{s}}{4 \cdot 3{,}14 \cdot 1{,}44 \text{ m}^2}$$

$$\Phi = 409{,}1 \cdot 10^4 \text{ m}^{-2}$$

$$\underline{\underline{\Phi = 409 \text{ cm}^{-2}}}$$

Ergebnis: Die Teilchenfluenz beträgt in 1,2 m Abstand von der Strahlenquelle 409 cm^{-2}.

5.7.2. Energiedosis

Art der Einheit	Formelzeichen	Benennung der Einheit	Einheitenzeichen	Einheitengleichung
abgeleitete Einheit	D	Gray	Gy	$[D] = \frac{[W]}{[m]}$ $1\ \mathrm{Gy} = \frac{1\ \mathrm{J}}{1\ \mathrm{kg}} =$ $1\ \mathrm{m}^2 \cdot \mathrm{s}^{-2}$
Zulässige und übliche Vielfache und Teile der Einheit				
pGy, µGy, mGy, kGy				

Berechnung der Energiedosis

Zum Berechnen der Energiedosis benutzt man, wenn die emittierte Strahlungsenergie und die Masse der emittierten Substanz bekannt sind, die Definitionsgleichung

$D = \frac{W}{m}$	D Energiedosis, z. B. in Gy W emittierte Strahlungsenergie, z. B. in J m Masse der bestrahlten Substanz, z. B. in kg

Gesucht ist die Energiedosis einer Strahlung, die auf einen bestrahlten Stoff mit der Masse 0,1 kg durch eine ^{60}Co-Strahlung übertragen wird, die bei jedem Zerfallsakt 2 γ-Quanten mit einer Energie W_γ von jeweils $2{,}0 \cdot 10^{-13}$ J emittiert.

Gegeben:

$W_\gamma = 2 \cdot 2{,}0 \cdot 10^{-13}\ \mathrm{J} = 4{,}0 \cdot 10^{-13}\ \mathrm{J}$

$m = 0{,}1\ \mathrm{kg}$

Gesucht:

D

Lösung:

$$D = \frac{W_\gamma}{m}$$

$$D = \frac{4{,}0 \cdot 10^{-13}\ \mathrm{J}}{0{,}1\ \mathrm{kg}}$$

$$D = 40 \cdot 10^{-13}\ \mathrm{J} \cdot \mathrm{kg}^{-1}$$

$$\underline{\underline{D = 4\ \mathrm{pGy}}}$$

Ergebnis: Auf den Körper wird durch die γ-Quanten eine Strahlungsenergie von 4 pGy übertragen.

5.7.3. Aktivität

Art der Einheit	Formelzeichen	Benennung der Einheit	Einheitenzeichen	Einheitengleichung
abgeleitete Einheit	A	Becquerel	Bq	$[A] = \frac{1}{[t]}$ $1\ \text{Bq} = \frac{1}{1\ \text{s}} = 1\ \text{s}^{-1}$
Zulässige und übliche Vielfache und Teile der Einheit				
mBq, kBq, MBq, GBq, TBq, PBq, EBq				

Berechnung der Aktivität eines β-Strahlers

Zum Berechnen der Aktivität eines Strahlers benutzt man im einfachsten Fall die Definitionsgleichung der Aktivität.

$A = \frac{N}{t}$	A Aktivität, z. B. in Bq N Anzahl der emittierten Teilchen t Emissionsdauer, z. B. in s

■ Wie groß ist die Aktivität eines reinen β-Strahlers, der 500 β-Teilchen in einer Sekunde emittiert?

Gegeben:

$N = 500$

$t = 1\ \text{s}$

Gesucht:

A

Lösung:

$$A = \frac{N}{t}$$

$$A = \frac{500}{1\ \text{s}}$$

$$A = 500\ \text{s}^{-1}$$

$$\underline{\underline{A = 500\ \text{Bq}}}$$

Ergebnis: Die Aktivität des β-Strahlers beträgt 500 Bq.

5.7.4. Exposition

Art der Einheit	Formelzeichen	Benennung der Einheit	Einheitenzeichen	Einheitengleichung
abgeleitete Einheit	X	Coulomb je Kilogramm	$C \cdot kg^{-1}$	$[X] = \frac{[Q]}{[m]}$ $\frac{1\,C}{1\,kg} = 1\,kg^{-1} \cdot s \cdot A$
Zulässige und übliche Vielfache und Teile der Einheit				
$\mu C \cdot kg^{-1}$, $mC \cdot kg^{-1}$				

Berechnung der Exposition

Zum Berechnen der Exposition benutzt man die Gleichung

$X = \frac{K_\gamma \cdot A \cdot t}{r^2}$	X Exposition, z. B. in $C \cdot kg^{-1}$ K_γ Dosiskonstante für γ-Strahlen-Emission z. B. in $C \cdot m^2 \cdot kg^{-1} \cdot h^{-1} \cdot Bq^{-1}$ A Aktivität, z. B. in Bq t Bestrahlungszeit, z. B. in h r Entfernung zwischen Strahler und Empfänger, z. B. in m

■ Als maximal erlaubte Tagesdosis für einen Menschen, der ständig radioaktiver Strahlung ausgesetzt ist, werden gegenwärtig $25{,}8 \cdot 10^{-8}\,C \cdot kg^{-1} \cdot d^{-1}$ angesetzt. Es ist zu berechnen, ob diese Dosisleistung überschritten wird, wenn mit $7{,}4 \cdot 10^7$ Bq Radium 30 min lang in einem Abstand von 1 m gearbeitet wird. Die Dosiskonstante für die γ-Strahlenemission des Radiums beträgt $K_\gamma = 5{,}86 \cdot 10^{-15}\,C \cdot m^2 \cdot kg^{-1} \cdot h^{-1} \cdot Bq^{-1}$.

Gegeben:

$K_\gamma = 5{,}86 \cdot 10^{-15}\ \mathrm{C \cdot m^2 \cdot kg^{-1} \cdot h^{-1} \cdot Bq^{-1}}$

$r\ = 1\ \mathrm{m}$

$t\ = 30\ \mathrm{min} = 0{,}5\ \mathrm{h}$

$A\ = 7{,}4 \cdot 10^7\ \mathrm{Bq}$

Gesucht:

X

Lösung:

$$X = \frac{K_\gamma \cdot A \cdot t}{r^2}$$

$$X = \frac{5{,}86 \cdot 10^{-15}\ \mathrm{C \cdot m^2 \cdot kg^{-1} \cdot h^{-1} \cdot Bq^{-1}} \cdot 7{,}4 \cdot 10^7\ \mathrm{Bq} \cdot 0{,}5\ \mathrm{h}}{(1\ \mathrm{m})^2}$$

$$X = \frac{5{,}86 \cdot 7{,}4 \cdot 0{,}5 \cdot 10^{-15} \cdot 10^7\ \mathrm{C \cdot kg^{-1}}}{1}$$

$$\underline{\underline{X = 21{,}7 \cdot 10^{-8}\ \mathrm{C \cdot kg^{-1}}}}$$

Ergebnis: Die erlaubte Tagesdosis wird nicht überschritten.

Umrechnungstabellen 6

Umrechnung der Winkeleinheit Grad in die Winkeleinheit Radiant

°	0	1	2	3	4
0	0	0,0175	0,0349	0,0524	0,0698
10	0,1745	0,1920	0,2094	0,2269	0,2443
20	0,3491	0,3665	0,3840	0,4014	0,4189
30	0,5236	0,5410	0,5585	0,5759	0,5934
40	0,6981	0,7156	0,7330	0,7505	0,7679
50	0,8727	0,8901	0,9076	0,9250	0,9425
60	1,0472	1,0646	1,0821	1,0995	1,1170
70	1,2217	1,2391	1,2566	1,2741	1,2915
80	1,3962	1,4137	1,4311	1,4486	1,4661
90	1,5708	1,5882	1,6057	1,6231	1,6406
100	1,7453	1,7628	1,7802	1,7977	1,8151

In der linken Spalte stehen die Zehner, in der Kopfzeile die Einer des Winkels in Grad. Im Mittelfeld kann der entsprechende Winkel in Radiant abgelesen werden.

Umrechnung der Winkeleinheit Radiant in die Winkeleinheit Grad

rad	0	0,1	0,2	0,3	0,4
0	0	5,73	11,46	17,19	22,92
1	57,30	63,03	68,75	74,48	80,21
2	114,59	120,32	126,05	131,78	137,51
3	171,89	177,62	183,35	189,08	194,81
4	229,18	234,91	240,64	246,37	252,10
5	286,48	292,21	297,94	303,67	309,40
6	343,77	349,50	355,23	360,96	366,69

In der linken Spalte stehen die Einer, in der Kopfzeile die Zehntel des Winkels in Radiant. Im Mittelfeld kann der entsprechende Winkel in Grad abgelesen werden.

$1° = 17{,}453 \text{ mrad} = \frac{2\pi}{360} \text{ rad}$

°	5	6	7	8	9
0	0,0873	0,1047	0,1222	0,1396	0,1571
10	0,2618	0,2792	0,2967	0,3142	0,3316
20	0,4363	0,4538	0,4712	0,4887	0,5061
30	0,6109	0,6283	0,6458	0,6632	0,6807
40	0,7854	0,8029	0,8203	0,8377	0,8552
50	0,9599	0,9774	0,9948	1,0123	1,0297
60	1,1344	1,1519	1,1693	1,1868	1,2043
70	1,3090	1,3264	1,3439	1,3613	1,3788
80	1,4835	1,5011	1,5184	1,5359	1,5533
90	1,6580	1,6755	1,6929	1,7104	1,7278
100	1,8326	1,8500	1,8675	1,8850	1,9024

Ablesebeispiele: 76° = 1,3264 rad
136° = 100° + 36° = 1,7453 rad + 0,6283 rad = 2,3736 rad
5,9° = 0,10297 rad

1 rad = 57,296°

rad	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0	28,65	34,38	40,11	45,84	51,57
1	85,94	91,67	97,40	103,13	108,86
2	143,24	148,97	154,70	160,43	166,16
3	200,54	206,26	211,99	217,72	223,45
4	257,83	263,56	269,29	275,02	280,75
5	317,13	320,86	326,59	332,32	338,05
6	372,42	378,15	383,88	389,61	395,34

Ablesebeispiele: 5,4 rad = 309,40°
0,62 rad = 35,523°

6

Umrechnung der Geschwindigkeitseinheit Meter je Sekunde in Kilometer je Stunde

$m \cdot s^{-1}$	0	1	2	3	4
0	—	3,6	7,2	10,8	14,4
10	36,0	39,6	43,2	46,8	50,4
20	72,0	75,6	79,2	82,8	86,4
30	108,0	111,6	115,2	118,8	122,4
40	144,0	147,6	151,2	154,8	158,4
50	180,0	183,6	187,2	190,8	194,4
60	216,0	219,6	223,2	226,8	230,4
70	252,0	255,6	259,2	262,8	266,4
80	288,0	291,6	295,2	298,8	302,4
90	324,0	327,6	331,2	334,8	338,4

In der linken Spalte stehen die Zehner, in der Kopfzeile die Einer der Geschwindigkeit in Meter je Sekunde. Im Mittelfeld kann die entsprechende Geschwindigkeit in Kilometer je Stunde abgelesen werden.

Umrechnung der Geschwindigkeitseinheit Kilometer je Stunde in Meter je Sekunde

$km \cdot h^{-1}$	0	1	2	3	4
0	—	0,2778	0,5556	0,8333	1,1111
10	2,7778	3,0556	3,3333	3,6111	3,8889
20	5,5556	5,8333	6,1111	6,3889	6,6667
30	8,3333	8,6111	8,8889	9,1667	9,4445
40	11,1111	11,3889	11,6667	11,9445	12,2222
50	13,8889	14,1667	14,4445	14,7222	15,0000
60	16,6667	16,9445	17,2222	17,5000	17,7778
70	19,4445	19,7222	20,0000	20,2778	20,5556
80	22,2222	22,5000	22,7778	23,0556	23,3334
90	25,0000	25,2778	25,5556	25,8334	26,1111

In der linken Spalte stehen die Zehner, in der Kopfzeile die Einer der Geschwindigkeit in Kilometer je Stunde. Im Mittelfeld kann die entsprechende Geschwindigkeit in Meter je Sekunde abgelesen werden.

$1\ m \cdot s^{-1} = 3{,}6\ km \cdot h^{-1}$

$m \cdot s^{-1}$	5	6	7	8	9
0	18,0	21,6	25,2	28,8	32,4
10	54,0	57,6	61,2	64,8	68,4
20	90,0	93,6	97,2	100,8	104,4
30	126,0	129,6	133,2	136,8	140,4
40	162,0	165,6	169,2	172,8	176,4
50	198,0	201,6	205,2	208,8	212,4
60	234,0	237,6	241,2	244,8	248,4
70	270,0	273,6	277,2	280,8	284,4
80	306,0	309,6	313,2	316,8	320,4
90	342,0	345,6	349,2	352,8	356,4

Ablesebeispiele: $68\ m \cdot s^{-1} = 244{,}8\ km \cdot h^{-1}$
$14\ m \cdot s^{-1} = 50{,}4\ km \cdot h^{-1}$
$2{,}3\ m \cdot s^{-1} = 8{,}28\ km \cdot h^{-1}$

$1\ km \cdot h^{-1} = 0{,}27778\ m \cdot s^{-1}$

$km \cdot h^{-1}$	5	6	7	8	9
0	1,3889	1,6667	1,9444	2,2222	2,5000
10	4,1667	4,4444	4,7222	5,0000	5,2778
20	6,9445	7,2222	7,5000	7,7778	8,0556
30	9,7222	10,0000	10,2778	10,5556	10,8333
40	12,5000	12,7778	13,0556	13,3333	13,6111
50	15,2778	15,5556	15,8334	16,1111	16,3889
60	18,0556	18,3334	18,6111	18,8889	19,1667
70	20,8334	21,1111	21,3889	21,6667	21,9445
80	23,6111	23,8889	24,1667	24,4445	24,7222
90	26,3889	26,6667	26,9445	27,2222	27,5000

Ablesebeispiele: $50\ km \cdot h^{-1} = 13{,}8889\ m \cdot s^{-1}$
$14\ km \cdot h^{-1} = 3{,}8889\ m \cdot s^{-1}$
$7{,}2\ km \cdot h^{-1} = 2{,}0000\ m \cdot s^{-1}$

Umrechnung der Krafteinheit Kilopond in Newton (Pond in Millinewton oder Megapond in Kilonewton)

kp	0	1	2	3	4
0	—	9,8067	19,6133	29,4200	39,2266
10	98,0665	107,8731	117,6798	127,4864	137,2931
20	196,1330	205,9396	215,7463	225,5529	235,3596
30	294,1995	304,0061	313,8128	323,6194	333,4261
40	392,2660	402,0726	411,8793	421,6859	431,4926
50	490,3325	500,1391	509,9458	519,7524	529,5591
60	588,3990	598,2056	608,0123	617,8189	627,6256
70	686,4655	696,2721	706,0788	715,8854	725,6921
80	784,5320	794,3386	804,1453	813,9520	823,7586
90	882,5985	892,4051	902,2118	912,0184	921,8251

In der linken Spalte stehen die Zehner, in der Kopfzeile die Einer der Kraft in Kilopond (oder Pond oder Megapond). Im Mittelfeld kann die Kraft in Newton (oder Millinewton oder Kilonewton) abgelesen werden.
Es entsprechen einander: kp und N
p und mN
Mp und kN

Umrechnung der Arbeitseinheit (Energieeinheit) Kalorie in Joule (Kilokalorie in Kilojoule)

cal	0	1	2	3	4
0	—	4,187	8,374	12,560	16,747
10	41,868	46,055	50,242	54,428	58,615
20	83,736	87,923	92,110	96,296	100,483
30	125,604	129,791	133,978	138,164	142,351
40	167,472	171,659	175,846	180,032	184,219
50	209,340	213,527	217,714	221,900	226,087
60	251,208	255,395	259,582	263,768	267,955
70	293,076	297,263	301,450	305,636	309,823
80	334,944	339,131	343,318	347,504	351,691
90	376,812	380,999	385,186	389,372	393,559

In der linken Spalte stehen die Zehner, in der Kopfzeile die Einer der Energie in Kalorien (oder Kilokalorien). Im Mittelfeld kann die Energie in Joule (oder Kilojoule) abgelesen werden.
Es entsprechen einander: cal und J
kcal und kJ

1 kp = 9,80665 N

kp	5	6	7	8	9
0	49,0333	58,8399	68,6466	78,4532	88,2599
10	147,0998	156,9064	166,7130	176,5197	186,3263
20	245,1662	254,9729	264,7795	274,5862	284,3928
30	343,2327	353,0394	362,8460	372,6527	382,4594
40	441,2992	451,1059	460,9125	470,7192	480,5258
50	539,3658	549,1724	558,9790	568,7857	578,5923
60	637,4323	647,2389	657,0455	666,8522	676,6588
70	735,4987	745,3054	755,1120	764,9187	774,7253
80	833,5652	843,3719	853,1785	862,9852	872,7918
90	931,6317	941,4384	951,2450	961,0517	970,8583

Ablesebeispiele: 46 kp = 451,1059 N
25 p = 245,1662 mN
72 Mp = 706,0788 kN
4,6 kp = 45,1106 N

1 kcal = 4,1868 kJ

cal	5	6	7	8	9
0	20,934	25,121	29,308	33,494	37,681
10	62,802	66,989	71,176	75,362	79,549
20	104,670	108,857	113,044	117,230	121,417
30	146,538	150,725	154,912	159,098	163,285
40	188,406	192,593	196,780	200,966	205,153
50	230,274	234,461	238,648	242,834	247,021
60	272,142	276,329	280,516	284,702	288,889
70	314,010	318,197	322,384	326,570	330,757
80	355,878	360,065	364,252	368,438	372,625
90	397,746	401,933	406,120	410,306	414,493

Ablesebeispiele: 56 cal = 234,461 J
560 cal = 2 344,61 J
5 600 cal = 23 446,1 J
56 kcal = 234,461 kJ
0,240 kcal = 1,00483 kJ

Umrechnung der Druckeinheit Millitorr in Pascal (Torr in Kilopascal)

mTorr	0	10	20	30	40
0	—	1,333	2,666	4,000	5,333
100	13,332	14,665	15,999	17,332	18,665
200	26,664	27,998	29,331	30,664	31,997
300	39,997	41,330	42,663	43,996	45,330
400	53,329	54,662	55,995	57,329	58,662
500	66,661	67,994	69,328	70,661	71,994
600	79,993	81,327	82,660	83,993	85,326
700	93,326	94,659	95,992	97,325	98,659
800	106,658	107,991	109,324	110,658	111,991
900	119,990	121,323	122,657	123,990	125,323

In der linken Spalte stehen die Hunderter, in der Kopfzeile die Zehner des Druckes in Millitorr (oder Torr). Im Mittelfeld kann der Druck in Pascal (oder Kilopascal) abgelesen werden.
Es entsprechen einander: mTorr und Pa
Torr und kPa

Umrechnung der Druckeinheit Millibar in Kilopascal (Bar in Megapascal)

mbar	0	10	20	30	40
0	—	1	2	3	4
100	10	11	12	13	14
200	20	21	22	23	24
300	30	31	32	33	34
400	40	41	42	43	44
500	50	51	52	53	54
600	60	61	62	63	64
700	70	71	72	73	74
800	80	81	82	83	84
900	90	91	92	93	94
1 000	100	101	102	103	104

In der linken Spalte stehen die Hunderter, in der Kopfzeile die Zehner des Druckes in Millibar (oder Bar). Im Mittelfeld kann der Druck in Kilopascal (oder Megapascal) abgelesen werden.
Es entsprechen einander: mbar und kPa
bar und MPa

1 Torr = 133,3224 Pa

mTorr	50	60	70	80	90
0	6,666	7,999	9,333	10,666	11,999
100	19,998	21,332	22,665	23,998	25,331
200	33,331	34,664	35,997	37,330	38,664
300	46,663	47,996	49,329	50,663	51,996
400	59,995	61,328	62,662	63,995	65,328
500	73,327	74,661	75,994	77,327	78,660
600	86,660	87,993	89,326	90,659	91,992
700	99,992	101,325	102,658	103,992	105,325
800	113,324	114,657	115,991	117,324	118,657
900	126,656	127,990	129,323	130,656	131,989

Ablesebeispiele: 550 mTorr = 73,327 Pa
760 Torr = 101,325 kPa

1 mbar = 100 Pa

mbar	50	60	70	80	90
0	5	6	7	8	9
100	15	16	17	18	19
200	25	26	27	28	29
300	35	36	37	38	39
400	45	46	47	48	49
500	55	56	57	58	59
600	65	66	67	68	69
700	75	76	77	78	79
800	85	86	87	88	89
900	95	96	97	98	99
1000	105	106	107	108	109

Ablesebeispiele: 520 mbar = 52 kPa
760 bar = 76 MPa

Umrechnung der Druckeinheit Kilopond je Quadratzentimeter bzw. technische Atmosphären in Kilopascal (Kilopond je Quadratmeter in 10^{-1} Pascal)

$kp \cdot cm^{-2}$	0	0,1	0,2	0,3	0,4
0	—	9,81	19,61	29,42	39,23
1	98,07	107,87	117,68	127,49	137,29
2	196,13	205,94	215,75	225,55	235,36
3	294,20	304,01	313,81	323,62	333,43
4	392,27	402,07	411,88	421,69	431,49
5	490,33	500,14	509,95	519,75	529,56
6	588,40	598,21	608,01	617,82	627,63
7	686,47	696,27	706,08	715,89	725,69
8	784,53	794,34	804,15	813,95	823,76
9	882,60	892,41	902,21	912,02	921,83

In der linken Spalte stehen die Einer, in der Kopfzeile die Zehntel des Druckes in Kilopond je Quadratzentimeter, technischen Atmosphären (oder Kilopond je Quadratmeter). Im Mittelfeld kann der Druck in Kilopascal (bzw. 10^{-1} Pascal) abgelesen werden.
Es entsprechen einander: $kp \cdot cm^{-2}$ und kPa
at und kPa
$kp \cdot m^{-2}$ und 10^{-1} Pa

Umrechnung der Druckeinheit physikalische Atmosphäre in Kilopascal

atm	0	0,01	0,02	0,03	0,04
0	—	1,013	2,027	3,040	4,053
0,1	10,133	11,146	12,159	13,172	14,186
0,2	20,265	21,278	22,292	23,305	24,318
0,3	30,398	31,411	32,424	33,437	34,451
0,4	40,530	41,543	42,557	43,570	44,583
0,5	50,663	51,676	52,689	53,702	54,716
0,6	60,795	61,808	62,822	63,835	64,848
0,7	70,928	71,941	72,954	73,967	74,981
0,8	81,060	82,073	83,087	84,100	85,113
0,9	91,193	92,206	93,219	94,232	95,246
1,0	101,325	—			

In der linken Spalte stehen die Zehntel, in der Kopfzeile die Hundertstel des Druckes in physikalischen Atmosphären. Im Mittelfeld kann der Druck in Kilopascal abgelesen werden.

$1\ kp \cdot cm^{-2} = 1\ at = 9{,}80665 \cdot 10^4\ Pa$

$kp \cdot cm^{-2}$	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0	49,04	58,84	68,65	78,45	88,26
1	147,10	156,91	166,71	176,52	186,33
2	245,17	254,97	264,78	274,59	284,39
3	343,23	353,04	362,85	372,65	382,46
4	441,30	451,11	460,91	470,72	480,53
5	539,37	549,17	558,98	568,79	578,59
6	637,43	647,24	657,05	666,85	676,66
7	735,50	745,31	755,11	764,92	774,73
8	833,57	843,37	853,18	862,99	872,79
9	931,63	941,44	951,25	961,05	970,86

Ablesebeispiele: $5{,}5\ kp \cdot cm^{-2} = 539{,}37\ kPa$
$1{,}6\ at = 156{,}91\ kPa$
$5{,}5\ kp \cdot m^{-2} = 539{,}37 \cdot 10^{-1}\ Pa = 53{,}937\ Pa$

1 atm = 101,325 kPa

atm	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0	5,066	6,080	7,093	8,106	9,119
0,1	15,199	16,212	17,225	18,289	19,252
0,2	25,331	26,345	27,358	28,371	29,384
0,3	35,464	36,477	37,490	38,504	39,517
0,4	45,596	46,610	47,623	48,636	49,649
0,5	55,729	56,742	57,755	58,769	59,782
0,6	65,861	66,875	67,888	68,901	69,914
0,7	75,994	77,007	78,020	79,034	80,047
0,8	86,126	87,140	88,153	89,166	90,179
0,9	96,259	97,272	98,285	99,299	100,312
1,0					

Ablesebeispiele: 0,55 atm = 55,729 kPa
3,2 atm = 324,24 kPa

Umrechnung der Leistungseinheit Pferdestärke in Kilowatt (Kilonewton · Meter je Sekunde)

PS	0	1	2	3	4
0	—	0,735	1,471	2,206	2,942
10	7,355	8,090	8,826	9,561	10,297
20	14,710	15,445	16,181	16,916	17,652
30	22,065	22,800	23,536	24,271	25,007
40	29,420	30,155	30,891	31,626	32,362
50	36,775	37,510	38,246	38,981	39,717
60	44,130	44,865	45,601	46,336	47,072
70	51,485	52,220	52,956	53,691	54,427
80	58,840	59,575	60,311	61,046	61,782
90	66,195	66,930	67,666	68,401	69,137

In der linken Spalte stehen die Zehner, in der Kopfzeile die Einer der Leistung in Pferdestärken. Im Mittelfeld kann die Leistung in Kilowatt (oder Kilonewton mal Meter je Sekunde) abgelesen werden.

Umrechnung der Leistungseinheit Kilopondmeter je Sekunde in Watt

$kp \cdot m \cdot s^{-1}$	0	1	2	3	4
0	—	9,807	19,613	29,420	39,227
10	98,067	107,873	117,680	127,486	137,293
20	196,133	205,940	215,746	225,553	235,360
30	294,200	304,006	313,813	323,619	333,426
40	392,266	402,073	411,879	421,686	431,493
50	490,333	500,139	509,946	519,752	529,559
60	588,399	598,206	608,012	617,819	627,626
70	686,466	696,272	706,079	715,885	725,692
80	784,532	794,339	804,145	813,952	823,759
90	882,599	892,405	902,212	912,018	921,825

In der linken Spalte stehen die Zehner, in der Kopfzeile die Einer der Leistung in Kilopondmeter je Sekunde. Im Mittelfeld kann die Leistung in Watt abgelesen werden.

1 PS = 0,735499 kW

PS	5	6	7	8	9
0	3,677	4,413	5,148	5,884	6,619
10	11,032	11,768	12,503	13,239	13,974
20	18,387	19,123	19,858	20,594	21,329
30	25,742	26,478	27,213	27,949	28,684
40	33,097	33,833	34,568	35,304	36,039
50	40,452	41,188	41,923	42,659	43,394
60	47,807	48,543	49,278	50,014	50,749
70	55,162	55,898	56,633	57,369	58,104
80	62,517	63,253	63,899	64,724	65,459
90	69,872	70,608	71,343	72,079	72,814

Ablesebeispiel: **46 PS = 33,833 kW**

1 kp · m · s^{-1} = 9,80665 W

kp·m·s^{-1}	5	6	7	8	9
0	49,033	58,840	68,647	78,453	88,260
10	147,100	156,906	166,713	176,520	186,326
20	245,166	254,973	264,780	274,586	284,393
30	343,233	353,039	362,846	372,653	382,459
40	441,299	451,106	460,913	470,719	480,526
50	539,366	549,172	558,979	568,786	578,592
60	637,432	647,239	657,046	666,852	676,659
70	735,499	745,305	755,112	764,919	774,725
80	833,565	843,372	853,179	862,985	872,792
90	931,632	941,438	951,245	961,052	970,858

Ablesebeispiele: 94 kp · m · s^{-1} = 921,825 W = 0,922 kW
620 kp · m · s^{-1} = 6080,12 W = 6,080 kW

Zur historischen Entwicklung der Maße und Meßgeräte

7

Aus der Geschichte der Metrologie

Jahr	Ereignis
um 300 v. u. Z.	Ein Teil der griechischen Maße wird von den Römern übernommen.
789	Die Benutzung gleicher Längenmaße und Wägestücke für das fränkische Reich wird durch Karl den Großen vorgeschrieben.
1215	Festsetzung eines einheitlichen Meß- und Gewichtswesens in England durch die Magna Charta
1795 bis 1799	In Frankreich werden das Meter und das Kilogramm mit den Normalen „Mètre des archives" und „Kilogramme des archives" gesetzlich eingeführt.
1816	In Preußen werden einheitliche Maße geschaffen; die Maß- und Gewichtsordnung bestimmt als grundlegende Längeneinheit den preußischen Fuß.
1831	Der deutsche Mathematiker, Astronom und Physiker K. F. Gauß begründet in Göttingen das absolute Einheitensystem mit den Grundeinheiten Millimeter, Milligramm und Sekunde.
1835	Der deutsche Physiker W. Weber begründet die Messung des elektrischen Stromes in absoluten Einheiten.
1836	Der deutsche Mathematiker, Astronom und Physiker K. F. Gauß bezieht die erdmagnetische Feldstärke auf die Grundeinheiten Zentimeter, Gramm und Sekunde.
1861	Durch eine von der Deutschen Bundesversammlung berufene Kommission wird ein Gutachten über die Einführung gleichen Maßes und Gewichtes in den deutschen Bundesstaaten erarbeitet und die Annahme des Meters empfohlen.

1868	Durch die Maß- und Gewichtsordnung des Norddeutschen Bundes werden vom metrischen System das Meter und das Kilogramm als grundlegende Einheiten eingeführt.
1870	In Paris tritt die Internationale Meterkommission zum ersten Male zusammen mit dem Ziel der Sicherung, Vervollkommnung und Verbreitung des metrischen Systems.
1872	An der 2. Zusammenkunft der Internationalen Meterkommission nehmen 18 europäische und 9 amerikanische Staaten teil. Es wird ein ständiges Internationales Komitee für Maße und Gewichte eingesetzt. In Deutschland wird das metrische System eingeführt.
1875	Zwischen 17 Staaten wird auf der Meterkonferenz die internationale „Meterkonvention" abgeschlossen. Sie stellt das erste internationale metrologische Vertragswerk dar. Ihr gehören gegenwärtig 44 Staaten an.
1881	Der 1. Internationale Elektrizitätskongreß in Paris führt die elektrischen Einheiten Ampere, Volt und Ohm ein. Er nimmt das von dem deutschen Physiker W. Weber begründete absolute elektrische Maßsystem an.
1887	In Deutschland wird die Physikalisch-Technische Reichsanstalt zur Organisation und Kontrolle des Meßwesens in Deutschland gegründet.
1908	Die internationale „Londoner Konferenz" vereinbart die elektrischen Normale (Int. Weston-Element, Normalwiderstände).
1955	Die Internationale Organisation für Gesetzliches Meßwesen wird mit der Aufgabe gegründet, die Vorschriften und Regeln des gesetzlichen Meßwesens international anzugleichen. Ihr gehören inzwischen 40 Staaten und einige internationale wissenschaftlich-technische Organisationen an.
1958	Mit der „Tafel der gesetzlichen Einheiten" werden die im Gesetz über die elektrischen Maßeinheiten von 1898 festgelegten Einheiten für die DDR außer Kraft gesetzt und durch die „absoluten" Einheiten ersetzt.
1960	Auf der 11. Generalkonferenz für Maß und Gewicht wird der Name: Internationales Einheitensystem (Système International d'Unités; abgekürzt in allen Sprachen: SI) eingeführt. Die Wellenlängendefinition der Einheit Meter wird angenommen.

1974	Die DDR wird gleichberechtigtes Mitglied der internationalen Meterkonvention.
1980	Mit der TGL 31548 „Einheiten physikalischer Größen" wird in der DDR die Einführung des SI abgeschlossen.

Aus der Geschichte der Längenmessung

Jahr	Ereignis
um 2100 v. u. Z.	Älteste bekannte Längeneinheit auf der Statue des sumerischen Fürsten Gudea (1 Fuß ist in 16 Fingerbreiten eingeteilt). Daneben wird die Elle von 30 Fingerbreiten verwendet.
um 2000 v. u. Z.	In Ägypten gilt als Längeneinheit: 1 Fuß = 16 Zoll (Fingerbreiten) = 307,86 mm; $1\frac{1}{2}$ Fuß = 1 Elle („geringe Elle").
228 v. u. Z.	Bestimmung des Erdumfanges durch den griechischen Gelehrten Eratosthenes
um 150 v. u. Z.	Der Astronom Hipparch von Nicäa gibt erstmals die Lage von Orten nach Längen- und Breitengrad an.
1627	Guß des Kepler-Kessels als Universalmaß für Länge, Volumen und Masse
1631	Der französische Mathematiker P. Vernier erfindet den Nonius.
1664	Der niederländische Physiker und Mathematiker Chr. Huygens schlägt vor, die Länge des Sekundenpendels als Grundeinheit der Längenmaße zu wählen. Einige Jahre danach berücksichtigt er in seiner Definition die Abhängigkeit des Sekundenpendels von der geographischen Breite.
1799	Ein Meteretalon wird im Staatsarchiv in Paris hinterlegt (Archivmeter); das Meter ist etwa der 10millionste Teil eines Meridiankreises der Erde. Als Maßverkörperung wurde vom Pariser Chemiker Janetti ein Endmaßstab aus Platin hergestellt und von Lenoir justiert. Er verkörpert bei 0 °C die vereinbarte Länge.

1827	Der französische Physiker und Astronom J. Babinet schlägt vor, die Wellenlänge eines bestimmten Lichtes als Grundlage für eine natürliche Längeneinheit zu wählen.
1869	Bildung einer französischen Kommission für die Herstellung internationaler Kopien des Urmeters (Archivmeter).
1889	Der neue Meterprototyp wird an die Mitgliedsländer der Meterkonvention ausgegeben.
1952	Das beratende Komitee für die Definition des Meters wird gegründet. Es arbeitet die neue Meterdefinition aus.
1960	Die 11. Generalkonferenz für Maß und Gewicht löst den Internationalen Meterprototyp ab durch die Definition des Meters auf der Basis einer Lichtwellenlänge. (↗ S. 31).
1982	Die 17. Generalkonferenz für Maß und Gewicht nimmt eine neue Definition des Meters an (↗ S. 49).

Aus der Geschichte der Zeitmessung

Jahr	Ereignis
um 10000 v.u.Z.	Schattennadel bekannt
um 5000 v.u.Z.	Die Sumerer in Mesopotamien verwenden Sonnenstabuhren.
um 3000 v.u.Z.	Sonnenuhren in China. Die Ägypter kennen Wasseruhren in Form von Ein- und Auslaufuhren.
um 2000 v.u.Z.	Die Stäbe einfacher Sonnenuhren werden durch Obelisken ersetzt; es gibt tragbare Treppensonnenuhren. In Ägypten werden die „Nadeln des Pharao" zur Zeitanzeige benutzt.
776 v.u.Z.	Beginn der Zeitrechnung der Griechen nach Olympiaden
237 v.u.Z.	In Ägypten wird das Sonnenjahr mit 365 Tagen und 1 Schalttag eingeführt.

532	Der römische Abt Dionysius Eriguus datiert erstmalig die Jahre unserer Zeitrechnung entsprechend.
622	Beginn der mohammedanischen Zeitrechnung
ab 1345	Die erste Sanduhr (Stundenglas) ist sicher nachweisbar (vermutlich schon im 13. Jahrhundert erfunden, Erfinder unbekannt). Zentren der Sanduhrenherstellung in Venedig und Nürnberg
um 1400	Uhr mit Zugfeder
1510	Der deutsche Schlosser und Uhrentechniker P. Henlein baut eine kleine Federuhr von der Größe eines kleinen Balles (das „Nürnberger Ei") mit 40 Stunden Gangzeit.
1583	Der italienische Naturforscher G. Galilei untersucht den Schwingungsvorgang und stellt die Abhängigkeit der Schwingungsdauer von der Pendellänge fest.
1656 bis 1657	Erfindung der Pendeluhr mit Spindelhemmung durch Ankersteuerung durch den niederländischen Physiker und Mathematiker Chr. Huygens
1764	Der englische Erfinder J. Harrisson baut das erste Schiffschronometer; er erhält dafür den 1714 von der englischen Regierung ausgesetzten Preis.
1845	Der deutsche Uhrmacher F. A. Lange begründet die Präzisionsuhrenindustrie in Glashütte.
1853	Erster Versuch mit elektromagnetischen Uhren; erste öffentliche elektromagnetische Uhr am Rathaus zu Brüssel
1880	Der französische Physiker und Chemiker P. Curie entdeckt, daß bestimmte Kristalle, z. B. Quarz, bei Druck, Dehnung und Verdrehung auf ihren Flächen elektrische Ladungen zeigen.
1927	Wissenschaftler der USA finden, daß in einem Ammoniakmolekül (NH_3) das Stickstoffatom mit gleichbleibender Frequenz schwingt.
1929	W. A. Marrison (USA) erfindet die Quarzuhr.

1945	Es wird festgestellt, daß Zäsium bei inneratomaren Vorgängen Mikrowellen mit einer sehr konstanten Frequenz von 9,192 GHz aussendet. Daraus wurde die Zäsium-Atomuhr entwickelt.
1950	Hersh-Berger, Norton, Lyons, Huston und Hergerling verbessern die Zeitmessung, indem sie zur Stabilisierung der Schwingungen Absorptionslinien bestimmter Gase und Dämpfe im cm-Gebiet benutzen. Erste MASER von den sowjetischen Physikern Bassow und Prochorow im Lebedew-Institut Moskau und von Townes in den USA
1952	Erste Zäsium-Atomuhr in den USA
1956	Die Definition der Sekunde als 86400ster Teil des mittleren Sonnentages wird durch die Stundendefinition der Ephemeridenzeit abgelöst.
1967	Die 13. Generalkonferenz für Maß und Gewicht beschließt: „Die Sekunde ist die Dauer von 9192631770 Perioden der Strahlung, die dem Übergang zwischen den beiden Hyperfeinstrukturniveaus des Grundzustandes des Zäsium-Atoms 133 entspricht."
1971	Die 14. Generalkonferenz für Maß und Gewicht beschließt, eine atomare Zeitskale („Internationale Atomzeit") als Folge der atomaren Definition der Sekunde festzulegen.

Aus der Geschichte der Geschwindigkeitsmessung

Jahr	Ereignis
bis Mittelalter	Die Geschwindigkeit von Schiffen wird durch „Gissung", d. h. aus der Bildung von mehr oder weniger großem Kielschaum geschätzt.
um 1450	Der Philosoph, Theologe und Kardinal Nikolaus von Kues schlägt vor, bei der Ermittlung der Geschwindigkeit von Schiffen von der rohen Schätzung zur Messung überzugehen und dazu am Bug des Schiffes einen Apfel ins Wasser zu werfen und mit einer Wasseruhr die Zeit zu messen, die er braucht, um achteraus zu gelangen (Riegelungslog).
1577	H. Cole erfindet das Log: ein Holzscheit wird ins Wasser geworfen.

1676	Der dänische Astronom O. Römer bestimmt die Lichtgeschwindigkeit aus der Verfinsterung zweier Jupitermonde.
um 1820	Der von dem französischen Physiker D. F. J. Arago entdeckte Wirbelstromeffekt wird zur Konstruktion eines Wirbelstromdrehzahlmessers (Tachometer) benutzt.
1850	Der französische Physiker L. Foucault bestimmt die Lichtgeschwindigkeit mittels eines rotierenden Spiegels.

Aus der Geschichte der Massebestimmung

Jahr	Ereignis
um 9000 v.u.Z.	Wägestücke in zylindrischer Form in Oberägypten
um 900 v.u.Z.	Als Wägestücke werden Metallbarren oder Scheiben benutzt.
3. Jh. v.u.Z.	Die Etrusker besitzen Waagen mit versetzbaren Wägestücken („Laufgewichtswaagen").
1718	Die Leipziger Heuwaage ermöglicht die Wägung von Frachtwagen und Ladung (als ungleicharmige Waage konstruiert, als Schnellwaage bezeichnet).
1799	Als „Gewichts"-Einheit Kilogramm (richtig: Masseeinheit) wurde die Masse eines Kubikdezimeters destillierten Wassers bei seiner größten Dichte vereinbart. Das Kilogrammetalon wird im Staatsarchiv in Paris hinterlegt (Archivkilogramm). Hierfür wurde von Janetti eine Maßverkörperung aus Platin hergestellt und von Fortin justiert. (↗ S. 256)
um 1800	Lombardische Waagenbauer bauen Dezimalwaagen; aus Brückenwaagen entwickeln sich die Ratswaagen (Fuhrwerkswaagen).
1856	Der Deutsche Zollverein führt das „Zollpfund" zu 500 g ein und gewinnt damit den ersten Anschluß an das metrische System.
1868	Zentner und Pfund werden als Masseeinheiten in Deutschland abgeschafft.

1889	Deutschland erhält den Urkilogramm-Prototyp Nr. 22. (Er befindet sich heute im ASMW der DDR.)
1901	Die 3. Generalkonferenz für Maß und Gewicht setzt fest: 1 l = 1 kg reines luftfreies Wasser bei +4 °C. Nach dieser Definition wurde ermittelt: 1 l = 1,000028 dm^3. Die 12. Generalkonferenz (1964) definierte neu: 1 l = 1 dm^3.
1918	Die Sowjetmacht setzt das alte System der Masseeinheiten mit Berkowetz, Pud, Funt, Lut usw. außer Kraft und ersetzt die alten Einheiten durch das Kilogramm.
1939	Um die Mißverständnisse zwischen Masseeinheit (Kilogramm) und Gewichtseinheit zu beseitigen, wird in Deutschland als Krafteinheit im Technischen Maßsystem das Kilopond eingeführt.
1954	Die 10. Generalkonferenz für Maß und Gewicht legt als Masseeinheit das Kilogramm und als Krafteinheit das Newton fest.

Aus der Geschichte der Temperaturmessung

Jahr	Ereignis
um 120 v. u. Z.	Der griechische Mathematiker, Geodät und Techniker Heron von Alexandria benutzt ein auf der Luftausdehnung beruhendes Thermoskop.
Anfang 18. Jh.	Der niederländische Physiker und Naturforscher van Musschenbroek konzipiert wahrscheinlich als erster den Gedanken, die Wärmeausdehnung von Metallen zur Bestimmung von Temperaturen auszunutzen.
1703	Der französische Naturforscher G. Amontons konstruiert das erste Luftthermometer.
1714	Der Physiker G. D. Fahrenheit führt das Quecksilberthermometer und eine Temperaturskale ein.
1740	Der schwedische Astronom und Physiker A. Celsius führt eine Teilung der Skale in 100 Teile ein; er legt 0 °C als Siedepunkt des Wasser und 100 °C als Gefrierpunkt fest. Im Jahre 1927 kehrte man die Zuordnung der Werte um.

um 1760	Der englische Physiker und Chemiker J. Black begründet die Messung der Wärmemenge (Kalorimetrie); er mißt Schmelz- und Verdampfungswärme verschiedener Stoffe.
1782	J. Six vereinigt Maximum- und Minimum-Thermometer zu einem Gerät.
1818	Der dänische Physiker H. Chr. Oersted entdeckt die Abhängigkeit der Erwärmung vom Ohmschen Widerstand des Leiters.
1821	Der englische Chemiker und Physiker H. Davy entdeckt die Thermoelektrizität; er konstruiert das erste Thermoelement.
1840	Der deutsche Physiker Chr. Poggendorf entwickelt ein Thermoelement aus Neusilber und Eisen zur Messung der Körpertemperatur.
1840	Der russische Chemiker H. H. Hess entdeckt das Gesetz der konstanten Wärmesummen, wonach die Enthalpieänderung nur vom Ausgangs- und Endzustand eines Systems abhängt.
1886	Der deutsche Chemiker H. Seger entwickelt die Seger-Kegel.
1924	Die Wärmeeinheit Kilokalorie (15°-Kalorie) wird in Deutschland gesetzlich.
1967	Die 13. Generalkonferenz für Maß und Gewicht legt für die Einheit der Temperatur und der Temperaturdifferenz den einheitlichen Namen Kelvin (Kurzzeichen K) fest.

Aus der Geschichte der Messung elektrischer Größen

Jahr	Ereignis
1832	Der deutsche Mathematiker, Astronom und Physiker K. F. Gauß und der deutsche Physiker W. Weber definieren die elektrischen und magnetischen Einheiten durch Zurückführung auf mechanische Einheiten (↗ S. 254).
1898	In das deutsche Gesetz über die elektrischen Maßeinheiten werden das internationale Ohm und das internationale Ampere übernommen. „1 Ohm ist der Widerstand einer Quecksilbersäule von der Temperatur des schmelzenden Eises, deren Länge bei durchweg gleichem, 1 mm^2 gleich zu achtendem Querschnitt

	106,3 cm und deren Masse 14,4521 g beträgt." „1 Ampere ist der Strom, welcher bei dem Durchgang durch eine wäßrige Lösung von $AgNO_3$ in einer Sekunde 0,00118 g Silber niederschlägt."
1901	Giorgi schlägt vor, neben die drei mechanischen Grundeinheiten nur eine elektrische Grundeinheit zu stellen.
1908	In London findet eine internationale Konferenz über elektrische Einheiten und Normale statt. Entsprechend den gestiegenen meßtechnischen Anforderungen werden für die Länge des Quecksilberfadens 106,300 cm (Quecksilber-Ohm) und für den Silberniederschlag 0,0011800 g (Silber-Ampere) festgelegt. Als Spannungsnormal wird das Internationale Weston-Element mit einer elektromotorischen Kraft von 1,01830 internat. Volt bei 20 °C zur Annahme empfohlen.
1927	Die Organe der Meterkonvention übernehmen die Entwicklung und Überwachung der elektrischen Maße (durch diese Organe wurden bisher nur die mechanischen Einheiten überwacht).
1948	Die 9. Generalkonferenz für Maß und Gewicht bestätigt den Wechsel der Definitionen der elektrischen Einheiten. Als elektrische Basiseinheit wird das absolute Ampere vorgeschlagen. Die Definition ist identisch mit der Festsetzung für die absolute Permeabilität des Vakuums: $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}\ N \cdot A^{-2}$

Aus der Geschichte der Messung lichttechnischer Größen

Jahr	Ereignis
Mitte des 18. Jh.	Erste Versuche, eine Einheit der Lichtstärke zu finden
1884	Die von dem deutschen Elektrotechniker F. v. Hefner-Alteneck konstruierte, mit Amylazetat betriebene Flamme liefert eine Lichtstärke hoher Konstanz. 1 Hefnerkerze (HK) = 0,903 cd (bei Farbtemperatur 2 043 K)
1909	Die USA, Großbritannien und Frankreich beschließen, die Internationale Kerze (IK) als Einheit der Lichtstärke anzunehmen. Die IK wird durch eine Gruppe von Kohlefadenlampen einer Farbtemperatur von 2 050 K definiert.

1913	Die Internationale Lichtmeßkommission in Zürich setzt fest: 1 Hefner-Kerze = 0,9009 Pentankerze (England) = 0,093 Carcel-Kerze (Frankreich) = 0,9009 IK
1942	In Deutschland wird die „Neue Kerze" (NK, später Candela) als Einheit der Lichtstärke eingeführt.
1948	Die Candela (cd) wird als neue Lichtstärkeeinheit von der 9. Generalkonferenz für Maß und Gewicht angenommen.
1960	Die Candela wird eine der Basiseinheiten des Internationalen Einheitensystems (SI).
1979	Die Candela wird neu definiert. Die neue Definition wird von der 16. Generalkonferenz für Maß und Gewicht angenommen (↗ S. 83).

Aus der Geschichte der Bestimmung von Stoffmengen

Jahr	Ereignis
1811	Der italienische Physiker A. Avogadro nimmt in gleichen Raumteilen verschiedener Gase (unter gleichem Druck und bei gleicher Temperatur) gleich viel Moleküle an (Avogadrosche Molekularhypothese).
1834	Der englische Physiker und Chemiker M. Faraday entdeckt den quantitativen Zusammenhang zwischen dem Stoffumsatz und der Elektrizitätsmenge und formuliert die nach ihm benannten Faradayschen Gesetze.
1865	Der österreichische Physiker J. Loschmidt bestimmt durch die nach ihm benannte Zahl das absolute Gewicht und die Anzahl der Moleküle in einem Gas.
1867	Der norwegische Chemiker und Mathematiker C. M. Guldberg und der norwegische Naturforscher P. Waage entdecken das Massenwirkungsgesetz.
1954	Die Internationale Union für reine und angewandte Physik stellt die Notwendigkeit fest, eine Einheit der Stoffmenge zu definieren.

1971	Von der 14. Generalkonferenz für Maß und Gewicht wird die Einheit der Stoffmenge Mol als 7. Basiseinheit in das Internationale Einheitensystem (SI) eingeführt.

Aus der Geschichte der Messung radioaktiver Strahlung

Jahr	Ereignis
1910	Vom Radiologischen Kongreß in Brüssel wird das Curie als diejenige Menge Radon eingeführt, die in einem abgeschlossenen Raum mit 1 g Radium im radioaktiven Gleichgewicht steht.
1928	Das Röntgen und das Rad werden erstmals definiert.
1930	Die Definition des Curie wird auf alle Zerfallsprodukte des Radiums ausgedehnt.
1951	Die Aktivität wird neu definiert: $1\ \mathrm{Ci} = 0{,}37 \cdot 10^{11}\ \mathrm{s}^{-1}$
1953	Die Einheiten Röntgen und Rad werden neu definiert.
1960	Dem Isotop 12 des Kohlenstoffs wird der Wert 12 zugeordnet, es entsteht eine vereinheitlichte, nicht mehr auf ^{16}O gegründete Skale der relativen Atommassen.
1975	Von der 15. Generalkonferenz für Maß und Gewicht werden die Namen Becquerel (Bq) für die SI-Einheit der Aktivität und Gray (Gy) für die SI-Einheit der Energiedosis angenommen.

Register

R

F

G

H

I

J

K

L

M

R

S

T

U

V

W

X

Z

Quellennachweis der Abbildungen:
Werkfoto Amt für Standardisierung, Meßwesen und Warenprüfung, Berlin: Bild 2/4

Abgeleitete SI-Einheiten mit selbständigem Namen

Größe	**Benennung der Einheit**
Frequenz	Hertz
Kraft	Newton
Druck	Pascal
Arbeit, Energie, Wärme	Joule
Leistung	Watt
Elektrizitätsmenge, elektr. Ladung	Coulomb
Elektrische Spannung	Volt
Elektrische Kapazität	Farad
Elektrischer Widerstand	Ohm
Elektrischer Leitwert	Siemens
Magnetischer Fluß	Weber
Magnetische Induktion	Tesla
Induktivität	Henry
Lichtstrom	Lumen
Beleuchtungsstärke	Lux
Energiedosis	Gray
Aktivität	Becquerel

Einheitenzeichen	Beziehung zu anderen SI-Einheiten
Hz	$1\,Hz = 1\,s^{-1}$
N	$1\,N = 1\,m \cdot kg \cdot s^{-2}$
Pa	$1\,Pa = 1\,N \cdot m^{-2} = 1\,m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$
J	$1\,J = 1\,N \cdot m = 1\,m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$
W	$1\,W = 1\,J \cdot s^{-1} = 1\,m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$
C	$1\,C = 1\,s \cdot A$
V	$1\,V = 1\,W \cdot A^{-1} = 1\,m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$
F	$1\,F = 1\,C \cdot V^{-1} = 1\,m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^4 \cdot A^2$
Ω	$1\,\Omega = 1\,V \cdot A^{-1} = 1\,m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-2}$
S	$1\,S = 1 \cdot \Omega^{-1} = 1\,m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^3 \cdot A^2$
Wb	$1\,Wb = 1\,V \cdot s = 1\,m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
T	$1\,T = 1\,Wb \cdot m^{-2} = 1\,kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
H	$1\,H = 1\,Wb \cdot A^{-1} = 1\,m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$
lm	$1\,lm = 1\,cd \cdot sr$
lx	$1\,lx = 1\,lm \cdot m^{-2} = 1\,m^{-2} \cdot cd \cdot sr$
Gy	$1\,Gy = 1\,J \cdot kg^{-1} = 1\,m^2 \cdot s^{-2}$
Bq	$1\,Bq = 1\,s^{-1}$

Kurzwort: 021707 Wissenssp. Groessen
ISBN 3-06-021707-6