

Physikalische Größen und Einheiten

1 Physikalische Größen

Alle Gleichungen in den Versuchsanleitungen sind mathematische Verknüpfungen physikalischer Größen (siehe auch DIN 1313). Jede physikalische Größe ist das Produkt eines Zahlenwertes mit einer Einheit (z.B. $Weg = 1 \text{ Meter}$ oder $elektrische \text{ Spannung} = 1 \text{ Volt}$).

In physikalischen und technischen Abhandlungen werden die Bezeichnungen der verwendeten Größen durch ein Symbol - das Formelzeichen - ersetzt. Viele dieser Formelzeichen (siehe auch Anhang 1) von physikalisch-technischen Größen sind international standardisiert (DIN 1304, bzw. ISO 31). Zur besseren Unterscheidung werden alle Formelzeichen, die für physikalische Größen stehen, in den Versuchsanleitungen, wie auch in Büchern und Zeitschriften, kursiv gedruckt (DIN 1338).

Alle physikalischen Größen werden als Potenzprodukte der 7 Basisgrößen (*Länge, Masse, Zeit, elektrische Stromstärke, Temperatur, Stoffmenge* und *Lichtstärke*) dargestellt. Dieses Potenzprodukt bezeichnet man als **Dimension** der jeweiligen Größe. Sie darf nicht mit der Einheit der Größe verwechselt werden und ist unabhängig vom Maßsystem.

Das Messen physikalisch-technischer Größen bedeutet einen Vergleich mit willkürlich, aber zweckmäßig festgelegten **Maßeinheiten**. Diese bilden in ihrer Gesamtheit ein Maß- oder Einheitensystem. Im Laufe der Zeit wurden viele Maßsysteme entwickelt, die aber häufig nur für bestimmte Teilbereiche der Physik oder Technik geeignet waren. Heute hat man sich weltweit auf die Verwendung des **Internationalen Maßsystems (SI)** geeinigt. Mit Einführung dieses Systems werden auf dem Gebiet der Einheiten erstmals klare Verhältnisse geschaffen und deren Anzahl erheblich reduziert.

2 Gleichungen

Zur Verknüpfung physikalischer Größen sollten grundsätzlich nur Größengleichungen verwendet werden. In ihnen steht jedes Formelzeichen (ausgenommen sind die mathematischen Symbole π , e , \ln , \sin etc.) für eine physikalische Größe und ist damit also das Produkt eines Zahlenwertes mit einer Einheit. Solche Gleichungen sind deshalb unabhängig von der verwendeten Einheit und gelten prinzipiell.

Bei Gleichungen, die Konstanten, Tabellenwerte o.ä. enthalten, ist es in der Regel zweckmäßig bestimmte Einheiten einzusetzen. Diese Gleichungen nennt man **zugeschnittene Größengleichungen**. Die zu verwendenden Einheiten werden durch einen Bruchstrich vom Formelzeichen abgetrennt. So schreibt man z.B. die Gleichung

$$\frac{m}{\text{kg}} = \frac{\rho}{\text{kg dm}^{-3}} \cdot \frac{V}{\text{dm}^3}, \quad (1)$$

da die Dichte in Tabellen üblicherweise in $\text{kg} \cdot \text{dm}^{-3}$ angegeben wird. Nach Einsetzen der Größen mit Einheiten kürzen sich die Einheiten weg.

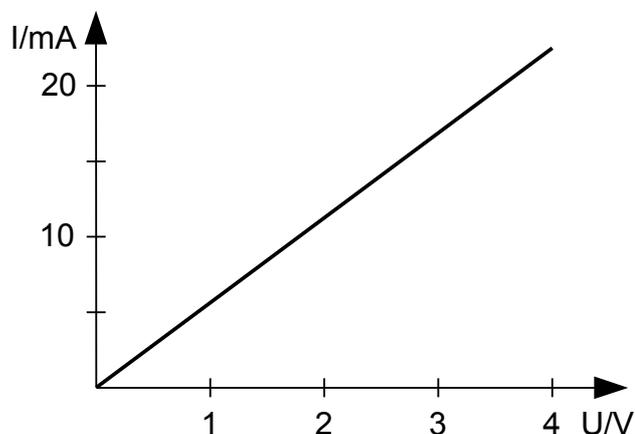


Abb. 1: Achsenbeschriftung in einem Diagramm

Auch die Beschriftung von Tabellenköpfen und Koordinatenachsen erfolgt im Sinne von zugeschnittenen Größengleichungen. Der an den entsprechenden Stellen stehende Quotient aus physikalischer Größe und Einheit ist der Zahlenwert der betreffenden Größe. In der Tabelle oder an der Koordinatenachse dürfen demzufolge auch nur Zahlenwerte stehen (siehe Abb.1).

Hinweis: Die Angabe von Einheiten innerhalb eckiger Klammern ist grundsätzlich **falsch** und darf nicht verwendet werden!

3 Das Internationale Einheitensystem (SI)

3.1 Basiseinheiten

Das Internationale Einheitensystem (SI - Système International d'Unités, ISO 1000, DIN 1301) ist das für die Anwendung in allen Ländern empfohlene System von Einheiten für physikalische und technische Größen. Das SI umfasst die Basiseinheiten und die aus ihnen kohärent abgeleiteten Einheiten sowie einige ergänzende Einheiten.

Die **Basiseinheiten** sind die Einheiten der bereits erwähnten 7 Basisgrößen (Tab.1).

Basisgröße	Formelzeichen	Basiseinheit	Einheitenzeichen
Länge	l, s, r	Meter	m
Masse	m	Kilogramm	kg
Zeit	t	Sekunde	s
elektr. Stromstärke	I	Ampere	A
Temperatur	T	Kelvin	K
Stoffmenge	n	Mol	mol
Lichtstärke	I	Candela	cd

Tabelle 1: SI-Basiseinheiten

3.2 Kohärent abgeleitete Einheiten

Kohärent abgeleitete Einheiten werden als Potenzprodukte mit dem Zahlenfaktor 1 aus den Basiseinheiten gebildet. Die wichtigsten von ihnen haben eigene Namen (z.B. Watt, Joule, Lux, Newton etc.). Jeder dieser Einheiten ist ein Einheitenzeichen zugeordnet (DIN 1301, siehe auch Anhang 1). Die Kurzzeichen der von Personennamen abgeleiteten Einheitennamen werden immer groß, die anderen klein geschrieben (z.B. W, J, N, aber lx etc.).

Ein allgemeines Zeichen für eine Einheit ist das in eckige Klammern gesetzte Symbol dieser Größe, z.B. ist $[l]$ = Längeneinheit (z.B. Meter), $[U]$ = Einheit der elektr. Spannung (z.B. Volt).

Die meisten Einheiten des früheren „Technischen Maßsystems“ sind inkohärent abgeleitet, also nur mit Hilfe von Zahlenfaktoren auf die Basiseinheiten zurückzuführen und damit SI-fremd. Dazu gehört z.B. das Kilopond: $1 \text{ kp} = 9,81 \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$.

Vorsatz	Zeichen	Bedeutung	Vorsatz	Zeichen	Bedeutung
Deka	da	10^1	Dezi	d	10^{-1}
Hekto	h	10^2	Zenti	c	10^{-2}
Kilo	k	10^3	Milli	m	10^{-3}
Mega	M	10^6	Mikro	:	10^{-6}
Giga	G	10^9	Nano	n	10^{-9}
Tera	T	10^{12}	Piko	p	10^{-12}
Peta	P	10^{15}	Femto	f	10^{-15}
Exa	E	10^{18}	Atto	a	10^{-18}
Zetta	Z	10^{21}	Zepto	z	10^{-21}
Yotta	Y	10^{24}	Yokto	y	10^{-24}

Tabelle 2: Einheitenvorsätze

Für den praktischen Gebrauch sind die SI-Einheiten häufig zu groß oder zu klein. Es dürfen dann von ihnen dezimale Vielfache oder Teile durch besondere Vorsätze (Tab. 2) gebildet werden, sofern dies nicht im Einzelfall ausdrücklich ausgeschlossen ist (z.B. bei kg).

Da Einheiten mit Vorsatz inkohärent sind, gelten sie nicht als SI-Einheiten, sind aber gesetzliche und damit gültige Einheiten.

3.3 Gesetzliche Einheiten

Folgende Einheiten wurden als gesetzlich festgelegt und dürfen deshalb in Wissenschaft und Technik verwendet werden¹:

1. die SI-Einheiten (Basiseinheiten nach Tab. 1 und abgeleitete Einheiten),
2. SI-Einheiten mit Vorsatz nach Tab. 2 für dezimale Vielfache und Teile,
3. SI-fremde Einheiten für bestimmte Anwendungen.

Zu den letzteren gehören z.B. Einheiten wie Bar, Minute, Stunde, sowie die in speziellen Bereichen verwendeten Einheiten wie Seemeile, Lichtjahr, Hektar, etc. Die gesetzlich zulässigen Einheiten der wichtigsten im Praktikum benutzten physikalischen Größen sind im Anhang 1 aufgeführt.

4 Zahlen

4.1 Schreibweise

Für die Zahlenangaben bei physikalischen oder technischen Meßgrößen gelten eine Reihe von Regeln die in verschiedenen DIN-Normen festgelegt sind (DIN 1333 und DIN 5477).

Als **Dezimalzeichen** ist vorzugsweise das **Komma** zu verwenden (alternativ kann auch noch der Punkt benutzt werden). Zur besseren Lesbarkeit von Zahlenangaben dürfen die Zahlen vom Dezimalzeichen ausgehend in Gruppen von jeweils 3 Ziffern aufgeteilt werden. Die Trennung dieser Gruppen erfolgt durch ein Leerzeichen. Punkt oder Komma sind hier nicht erlaubt.

Bei der Angabe von Messwerten sollte die Zahlenangabe durch Wahl eines passenden Vorsatzes vor die Einheit (siehe Tab. 2) immer so erfolgen, dass sich ein Zahlenwert in dem Bereich 0,1 ... 1000 ergibt. Wird die Schreibweise mit Zehnerpotenzen verwendet, ist ein durch 3 teilbarer Exponent zu bevorzugen.

Bsp.: $m = 0,827\ 35 \cdot 10^6\ \text{g}$ oder $m = 827,35 \cdot 10^3\ \text{g}$
 (nicht $m = 8,273\ 5 \cdot 10^5\ \text{g}$)

4.2 Runden

Beim Runden wird die letzte Stelle, die nach dem Runden bei der Zahl verbleibt, Rundestelle genannt. Für das Runden gilt folgende Regel (DIN 1333):

- Steht rechts neben der Rundestelle eine der Ziffern 0 bis 4, so wird abgerundet,
- steht rechts neben der Rundestelle eine der Ziffern 5 bis 9, so wird aufgerundet.

Bsp.:	zu rundende Zahl:	8,579 413	8,579 613
	Rundestelle:	↑	↑
	Rundeverfahren:	Abrunden	Aufrunden
	gerundete Zahl:	8,579	8,580

4.3 Messunsicherheiten

Messwerte sind grundsätzlich mit einer Unsicherheit behaftet. Diese Unsicherheit wird entweder explizit angegeben (siehe dazu auch die Hinweise zur „Fehlerabschätzung und Fehlerrechnung“ in den Praktikumsunterlagen) oder durch geeignetes Runden deutlich gemacht.

¹ Gesetz über Einheiten im Messwesen vom 22. Februar 1985 (BGBl. I S. 408), letzte Änderung vom 10. März 2000 BGBl. I S. 214

Bei der Angabe von Messwerten mit Unsicherheiten gelten folgende Rundungsregeln:

- Die Unsicherheit wird an der ersten von 0 verschiedenen Stelle gerundet, außer wenn diese ein 1 oder 2 ist. In diesem Fall ist an der Stelle rechts daneben zu runden.
- Unsicherheiten werden immer aufgerundet.
- Der Messwert wird an der gleichen Stelle gerundet wie die Unsicherheit.

Bsp.: Ergebnis einer Messung mit Fehlerabschätzung: $U = 5,384\ 12\ \text{V} \pm 0,046\ 9\ \text{V}$
 Rundung der Unsicherheit an der 2. Stelle: $\Delta U = 0,05\ \text{V}$
 Rundung des Messwertes an der gleichen Stelle: $U = 5,38\ \text{V}$
 Endergebnis: $U = (5,38 \pm 0,05)\ \text{V}$

Soll die Unsicherheit nicht explizit angegeben werden, so ist an der Stelle zu runden, die um eins weiter links steht als oben beschrieben, um Ziffern mit zweifelhafter Sicherheit an der letzten Stelle zu vermeiden. Bei Rundungen links vom Dezimalzeichen ist mit einer entsprechenden Anzahl Nullen aufzufüllen.

Bei der Umrechnung von Größenwerten, die in veralteten Einheiten angegeben sind, verfährt man nach den gleichen Regeln.

Bsp.: Messwert: $P = (75,0 \pm 0,5)\ \text{PS}$
 Umrechnung: $P = (55,1625 \pm 0,3678)\ \text{kW}$
 Rundung: $P = (55,2 \pm 0,4)\ \text{kW}$

Der Zahlenwert von Größenverhältnissen (Quotienten aus Größen gleicher Dimension) darf durch Abspalten eines Faktor 10^{-2} oder 10^{-3} umgeformt werden. Statt des Faktors 10^{-2} schreibt man dann das Zeichen % (Prozent), statt 10^{-3} das Zeichen ‰ (Promille). Unsicherheiten werden häufig unter Benutzung dieser Zeichen angegeben. Dabei muss immer eindeutig sein, auf welchen Wert sich diese Angabe bezieht. Da Angaben in Prozent oder Promille immer dimensionslos sind, ist bei der Verwendung auf die richtige Schreibweise zu achten.

Bsp.: $m = (8,580 \pm 0,004)\ \text{kg} = 8,580\ \text{kg} \cdot (1 \pm 0,05\%)$

Literatur:

- Kröttsch: Physikalisches Praktikum, Kap. 1.1, 1.2, 1.5
 Walcher: Praktikum der Physik, Kap. 1.1 (Teubner, Stuttgart)
 Walther (Hrsg.): Technische Formeln für die Praxis (Fachbuchverlag Leipzig)
 German, Drath: Handbuch SI-Einheiten (Vieweg, Braunschweig)

Anhang 1: Übersicht über wichtige gesetzliche Einheiten

Mechanische Einheiten				
Größe	Formelzeichen	Einheit	Zeichen	Vor-satz
Arbeit, Energie	W	Joule = $N \cdot m = W \cdot s = kg \cdot m^2 \cdot s^{-2}$	J	ja
Beschleunigung	a	$m \cdot s^{-2}$		
Dichte	ρ	$kg \cdot m^{-3}$ $kg \cdot dm^{-3} = g \cdot cm^{-3} = 10^3 kg \cdot m^{-3}$		
Drehimpuls	L	$N \cdot m \cdot s = kg \cdot m^2 \cdot s^{-1}$		
Drehmoment, Kraftmoment	M	$N \cdot m = kg \cdot m^2 \cdot s^{-2}$		
Drehzahl	n	s^{-1} min^{-1}		nein nein
Druck, mech. Spannung	p	Pascal = $N \cdot m^{-2}$	Pa	ja
Elastizitätsmodul	E	Pascal = $N \cdot m^{-2}$	Pa	ja
Fläche	A	m^2 $Ar = 100 m^2$ $Hektar = 100 a = 10^4 m^2$	a ha	ja nein nein
Frequenz	f	Hertz = s^{-1}	Hz	ja
Geschwindigkeit	v	$m \cdot s^{-1}$		
Impuls	p	$N \cdot s = kg \cdot m \cdot s^{-1}$		
Kompressionsmodul	K	Pascal = $N \cdot m^{-2}$	Pa	ja
Kraft	F	Newton = $kg \cdot m \cdot s^{-2}$	N	ja
Kreisfrequenz	ω	s^{-1}		
Länge	l, s, r	Meter (Basiseinheit)	m	ja
Leistung, Energiestrom	P	Watt = $kg \cdot m^2 \cdot s^{-3}$	W	ja
Masse	m	Kilogramm (Basiseinheit) Gramm = $10^{-3} kg$ Tonne = $10^3 kg$	kg g t	nein ja ja
Raumwinkel	Ω	Steradian = $m^2 \cdot m^{-2} = 1$	sr	ja
Schubmodul, Torsionsmodul	G	Pascal = $N \cdot m^{-2}$	Pa	ja
Trägheitsmoment	J	$kg \cdot m^2$		
Viskosität (dynamisch)	η	$Pa \cdot s = kg \cdot (m \cdot s)^{-1}$ (Poise = $0,1 Pa \cdot s$)	(P)	ja
Volumen	V	m^3 Liter = $dm^3 = 10^{-3} m^3$	l	ja ja
Winkel (eben)	$\alpha, \beta, \gamma, \dots$	Radian = $m \cdot m^{-1} = 1$ Grad = $1,745329 \cdot 10^{-2} rad$	rad °	ja nein
Winkelgeschwindigkeit	ω	$rad \cdot s^{-1} = s^{-1}$		ja
Zeit	t	Sekunde (Basiseinheit) Minute = 60 s Stunde = 60 min = 3600 s Tag = 24 h = 1440 min = 86400 s	s min h d	ja - - -

Elektrische Einheiten				
Größe	Formelzeichen	Einheit	Zeichen	Vor-satz
Dielektrizitätskonstante	ϵ	$F \cdot m^{-1} = s^4 \cdot A^2 \cdot kg^{-1} \cdot m^{-3}$		
Feldstärke	E	$V \cdot m^{-1} = kg \cdot m \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$		
Kapazität	C	Farad = $C \cdot V^{-1} = s^4 \cdot A^2 \cdot kg^{-1} \cdot m^{-2}$	F	ja
Ladung	Q	Coulomb = $A \cdot s$	C	ja
Leitwert	G	Siemens = $\Omega^{-1} = s^3 \cdot A^2 \cdot kg^{-1} \cdot m^{-2}$	S	ja
Spannung, Potentialdifferenz	U	Volt = $W \cdot A^{-1} = kg \cdot m^2 \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$	V	ja
spezifischer Widerstand	ρ	$\Omega \cdot m = kg \cdot m^3 \cdot s^{-3} \cdot A^{-2}$		
Stromdichte	J	$A \cdot m^{-2}$		
Stromstärke	I	Ampere (Basiseinheit)	A	ja
Verschiebungsdichte	D	$C \cdot m^{-2} = A \cdot s \cdot m^{-2}$		
Widerstand	R	Ohm = $V \cdot A^{-1} = kg \cdot m^2 \cdot s^{-3} \cdot A^{-2}$	Ω	ja

Magnetische Einheiten				
Größe	Formelzeichen	Einheit	Zeichen	Vor-satz
Feldstärke	H	$A \cdot m^{-1}$ (Oersted = $79,577 A \cdot m^{-1}$)	(Oe)	
Fluss	Φ	Weber = $V \cdot s = kg \cdot m^2 \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$ (Maxwell = $10^{-8} Wb$)	Wb (M)	ja
Induktion, Flussdichte	B	Tesla = $Wb \cdot m^{-2} = kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$ (Gauß = $10^{-4} T$)	T (G)	ja
Induktivität	L	Henry = $Wb \cdot A^{-1} = kg \cdot m^2 \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$	H	ja
Permeabilität	μ	$H \cdot m^{-1} = kg \cdot m \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$		

Einheiten aus der Wärmelehre				
Größe	Formelzeichen	Einheit	Zeichen	Vor-satz
Celsius-Temperatur	t	Grad Celsius ($t = T - 273,15 K$)	$^{\circ}C$	nein
Temperatur	T	Kelvin (Basiseinheit)	K	ja
Temperaturdifferenz	ΔT	Kelvin	K	ja
Wärmekapazität	C	$J \cdot K^{-1} = W \cdot s \cdot K^{-1} = kg \cdot m^2 \cdot s^{-2} \cdot K^{-1}$		
Wärmekapazität (spez.)	c	$J \cdot (kg \cdot K)^{-1} = m^2 \cdot s^{-2} \cdot K^{-1}$		
Wärmeleitfähigkeit	λ	$W \cdot (m \cdot K)^{-1} = kg \cdot m \cdot s^{-3} \cdot K^{-1}$		
Wärmemenge	Q	Joule = $W \cdot s = N \cdot m = kg \cdot m^2 \cdot s^{-2} \cdot K^{-1}$	J	ja

Einheiten aus der Optik				
Größe	Formelzeichen	Einheit	Zeichen	Vorsatz
Beleuchtungsstärke	E	Lux = lm m ⁻² = cd sr m ⁻²	lx	ja
Leuchtdichte	L	cd m ⁻²	(sb)	ja
Lichtstärke	I	Candela (Basiseinheit)	cd	ja
Lichtstrom	Φ	Lumen = cd sr	lm	ja

Einheiten aus der Atomphysik				
Größe	Formelzeichen	Einheit	Zeichen	Vorsatz
Aktivität	A	Becquerel = s ⁻¹ (Curie = 3,7 · 10 ¹⁰ Bq)	Bq (Ci)	ja ja
Äquivalentdosis	D_q	Sievert = J kg ⁻¹ (Rem = 10 ⁻² Sv)	Sv (rem)	ja ja
Energiedosis	D	Gray = J kg ⁻¹ = m ² s ⁻² (Rad = 10 ⁻² Gy)	Gy (rd)	ja ja
Ionendosis	X	C kg ⁻¹ = A s kg ⁻¹ (Röntgen = 2,56 · 10 ⁻⁴ C kg ⁻¹)	(R)	ja

Einheiten aus der Chemie				
Größe	Formelzeichen	Einheit	Zeichen	Vorsatz
Molare Masse	M	kg mol ⁻¹		
Molares Volumen	V_m	m ³ mol ⁻¹		
Molare Wärmekapazität	C_m	J mol ⁻¹ K ⁻¹ = kg m ² s ⁻² mol ⁻¹ K ⁻¹		
Stoffmenge	n	Mol (Basiseinheit)	Mol	ja

Die in Klammern gesetzten Einheiten sind nicht mehr zulässige Einheiten und dürfen deshalb auch nicht mehr verwendet werden. In der letzten Spalte ist unter Vorsatz vermerkt, ob mit der jeweiligen Einheit ein Vorsatz nach Tab. 2 benutzt werden darf (ja) oder nicht (nein).

Anhang 2: Umrechnungen von Einheiten

In den nachfolgenden Tabellen (gesetzliche Einheiten sind fett hervorgehoben) sind die wichtigsten Umrechnungsfaktoren zwischen den SI-Einheiten und anderen älteren, aber häufig in Tabellenwerken noch verwendeten Einheiten aufgeführt. Nach Möglichkeit sollten diese Einheiten heute nicht mehr verwendet werden. Bei der Rechnung mit Größen in diesen Einheiten sollte man sich immer an den Grundsatz halten, in allen Gleichungen die Einheiten der Größen mitzuschreiben. So können auch bei Verwendung veralteter Einheiten keine Fehler entstehen.

Kraft					
N	kp	Mp	p	dyn	
1	0,102	$1,02 \cdot 10^{-4}$	102	10^5	
9,81	1	10^{-3}	10^3	$9,81 \cdot 10^5$	
$9,81 \cdot 10^3$	10^3	1	10^6	$9,91 \cdot 10^8$	
$9,81 \cdot 10^{-3}$	10^{-3}	10^{-6}	1	981	
10^{-5}	$1,02 \cdot 10^{-6}$	$1,02 \cdot 10^{-9}$	$1,02 \cdot 10^{-3}$	1	

Arbeit, Energie					
J	kp · m	kWh	kcal	erg	eV
1	0,102	$2,78 \cdot 10^{-7}$	$2,39 \cdot 10^{-4}$	10^7	$6,24 \cdot 10^{18}$
9,81	1	$2,72 \cdot 10^{-6}$	$2,34 \cdot 10^{-3}$	$9,81 \cdot 10^7$	$6,12 \cdot 10^{19}$
$3,6 \cdot 10^6$	$3,67 \cdot 10^5$	1	860	$3,6 \cdot 10^{13}$	$2,25 \cdot 10^{25}$
4187	427	$1,16 \cdot 10^{-3}$	1	$4,19 \cdot 10^{10}$	$2,61 \cdot 10^{22}$
10^{-7}	$1,02 \cdot 10^{-8}$	$2,78 \cdot 10^{-14}$	$2,39 \cdot 10^{-11}$	1	$6,24 \cdot 10^{11}$
$1,6 \cdot 10^{-19}$	$1,63 \cdot 10^{-20}$	$4,45 \cdot 10^{-26}$	$3,83 \cdot 10^{-23}$	$1,6 \cdot 10^{-12}$	1

Leistung					
W	kW	kp · m · s ⁻¹	PS	cal · s ⁻¹	kcal · h ⁻¹
1	10^{-3}	0,102	$1,36 \cdot 10^{-3}$	0,239	0,86
10^3	1	102	1,36	239	860
9,81	$9,81 \cdot 10^{-3}$	1	$1,33 \cdot 10^{-2}$	2,34	8,43
735,5	0,7355	75	1	175,7	632
4,187	$4,19 \cdot 10^{-3}$	0,427	$5,69 \cdot 10^{-3}$	1	3,6
1,16	$1,16 \cdot 10^{-3}$	0,119	$1,58 \cdot 10^{-3}$	0,278	1

Druck					
Pa = N · m⁻²	at = kp · cm ⁻²	atm	bar	Torr	mm WS = kp · m ⁻²
1	$1,02 \cdot 10^{-5}$	$9,87 \cdot 10^{-6}$	10^{-5}	$7,5 \cdot 10^{-3}$	0,102
$9,81 \cdot 10^4$	1	0,968	0,981	736	10^4
$1,013 \cdot 10^5$	1,033	1	1,013	760	$1,033 \cdot 10^4$
10^5	1,02	0,987	1	750	$1,02 \cdot 10^4$
133	$1,36 \cdot 10^{-3}$	$1,32 \cdot 10^{-3}$	$1,33 \cdot 10^{-3}$	1	13,6
9,81	10^{-4}	$9,68 \cdot 10^{-5}$	$9,81 \cdot 10^{-5}$	$7,36 \cdot 10^{-2}$	1

Anhang 3: wichtige physikalische Konstanten

Lichtgeschwindigkeit (Vakuum)	c_0	= 299 792,458 · 10 ³ m · s ⁻¹ (exakt)
elektrische Feldkonstante (= $(\mu_0 \cdot c^2)^{-1}$)	ϵ_0	= 8,854 187 817 62... · 10 ⁻¹² F · m ⁻¹ (exakt)
magnetische Feldkonstante (= $4\pi \cdot 10^{-7}$ H · m ⁻¹)	μ_0	= 1,256 637 061 44... · 10 ⁻⁶ H · m ⁻¹ (exakt)
Normalfallbeschleunigung	g_n	= 9,806 65 m · s ⁻² (exakt)
Gravitationskonstante	γ	= 6,673 84 (80) · 10 ⁻¹¹ N · m ² · kg ⁻²
Gaskonstante, molare	R	= 8,314 4621 (75) J · mol ⁻¹ · K ⁻¹
Avogadro-Konstante	N_A	= 6,022 141 29 (27) · 10 ²³ mol ⁻¹
Loschmidt-Konstante (0°C, 101,325 kPa)	N_L	= 2,686 7805 (24) · 10 ²⁵ m ⁻³
Boltzmann-Konstante	k_b	= 1,380 6488 (13) · 10 ⁻²³ J · K ⁻¹
Stephan-Boltzmann-Konstante	σ	= 5,670 373 (21) · 10 ⁻⁸ W · m ⁻² · K ⁻⁴
Normvolumen, molares (0°C, 101,325 kPa)	V_{mn}	= 22,413 968 (20) · 10 ⁻³ m ³ · mol ⁻¹
magnetisches Flussquant	Φ_0	= 2,067 833 758 (46) · 10 ⁻¹⁵ Wb
Josephson-Konstante	K_1	= 483 597,870 (11) · 10 ⁹ Hz · V ⁻¹
Faraday-Konstante	F	= 96 485,3365 (21) C · mol ⁻¹
von-Klitzing-Konstante	R_K	= 25 812,807 4434 (84) Ω
Planck-Konstante	h	= 6,626 069 57 (29) · 10 ⁻³⁴ J · s
Rydberg-Konstante	R_∞	= 1,097 373 156 8539 (55) · 10 ⁷ m ⁻¹
Feinstruktur-Konstante (inverse)	α^{-1}	= 137,035 999 074 (44)
Compton-Wellenlänge	λ_C	= 2,426 310 2389 (16) · 10 ⁻¹² m
elektrische Elementarladung	e	= 1,602 176 565 (35) · 10 ⁻¹⁹ C
Elektronruhemasse	m_e	= 9,109 382 91 (40) · 10 ⁻³¹ kg
Elektronenradius	r_e	= 2,817 940 3267 (27) · 10 ⁻¹⁵ m
Atomare Masseneinheit	u	= 1,660 538 921 (73) · 10 ⁻²⁷ kg
Protonenruhemasse	m_p	= 1,672 621 777 (74) · 10 ⁻²⁷ kg
Neutronenruhemasse	m_n	= 1,674 927 351 (74) · 10 ⁻²⁷ kg
Spez. Elektronenladung	$e_0 \cdot m_e^{-1}$	= -1,758 820 088 (39) · 10 ¹¹ C · kg ⁻¹

Die Zahlenwerte dieser Übersicht entstammen der *NIST Reference of Constants, Units and Uncertainty* (<http://physics.nist.gov/cuu/Constants/index.html>) und stellen die aktuellsten Werte (2010 CODATA) dar.

Die Ziffern in Klammern hinter einem Zahlenwert bezeichnen die Unsicherheit in den letzten Stellen des Wertes. Die Unsicherheit ist als einfache Standardabweichung gegeben (Beispiel: Die Angabe 6,672 59 (85) ist gleichbedeutend mit 6,672 59 ± 0,000 85).