

2 Einheiten physikalischer Größen

Als *physikalische Größen* bezeichnet man in den Naturwissenschaften qualitativ definierbare und quantitativ erfassbare charakteristische Eigenschaften von Objekten, wie etwa das Gewicht, die Länge, die Höchstleistung eines Motors, die Temperatur eines Körpers etc..

Jede dieser Größen wird durch eine Meßvorschrift definiert. Die Messung besteht in einem Vergleich der Größe mit einer als Einheit festgelegten Größe derselben Größenart. Das Ergebnis der Messung ist ein Produkt, das aus einer Zahl und der gewählten Einheit besteht.

Mit dem Symbol m für die Längeneinheit *Meter* bedeutet beispielsweise die Angabe $l = 7,5 \text{ m}$, das l gleich dem 7,5fachen eines Meters ist und zur Größenart *Länge* gehört.

Über Art und Zahl der Einheiten kann man grundsätzlich beliebige Vereinbarungen treffen. Es ist jedoch zweckmäßig, nur die Einheiten der Grundgrößenarten zu definieren. Sie werden als *Grund-* oder *Basiseinheiten* bezeichnet. Aus ihnen werden die Einheiten der übrigen Größen abgeleitet. Die Gesamtheit aller Basiseinheiten und abgeleiteten Einheiten bilden ein *Einheitensystem*.

In den technischen Naturwissenschaften wird in den letzten Jahrzehnten das international vereinbarte „Système International d’Unité“ (SI) benutzt, dessen Einheiten seit der Verabschiedung des Gesetzes über die Einheiten im Meßwesen am 2. 7. 1969 als gesetzliche Einheiten im geschäftlichen und amtlichen Verkehr in der Bundesrepublik Deutschland vorgeschrieben sind.

Tabelle 2.1. Basiseinheiten des Système International (Definitionen im Anhang A, Tabelle A1)

Größe	Einheit	Zeichen
Länge	Meter	m
Masse	Kilogramm	kg
Zeit	Sekunde	s
Elektrische Stromstärke	Ampère	A
Thermodynamische Temperatur	Kelvin	K
Lichtstärke	Candela	cd
Stoffmenge	Mol	mol

4 2 Einheiten physikalischer Größen

Das Système International, auch MKSA-System¹ genannt, legt zunächst die sieben in Tabelle 2.1 aufgeführten Basiseinheiten fest. Die sieben Einheiten reichen aus, um alle anderen physikalischen Größen zu beschreiben. Die Definitionen der Basiseinheiten sind im Anhang A in der Tabelle A1 nachzulesen. Die wichtigsten aus den Basiseinheiten abgeleiteten Einheiten sind zusammen mit einigen vor der Einführung des MKSA-Systems benutzten Einheiten in Tabelle 2.2 angegeben. Kommt bei der Berechnung der abgeleiteten Einheiten nur der Zahlenfaktor 1 vor, dann ist das Einheitensystem ein *kohärentes System*. Das Internationale Einheitensystem bildet mit seinen Basiseinheiten und den daraus abgeleiteten Einheiten ein solches vollständig kohärentes Einheitensystem.

Tabelle 2.2. Einige abgeleitete Einheiten des SI

Größe	Einheit	Zeichen	Definition	Einheit vor 1969	Einheitengleichung
Kraft	Newton	N	1 N = 1 kg m/s ²	kp	1 kp = 9,80665 N
Leistung	Watt	W	1 W = 1 N m/s	PS	1 PS = 735,49875 W
Energie	Joule	J	1 J = 1 Nm	cal	1 cal = 4,1855 J
Druck	Pascal	Pa	1 Pa = 1 N/m ²	1 at = kp/cm ²	1 kp/cm ² = 98066,5 Pa

In der letzten Spalte von Tabelle 2.2 sind Einheitengleichungen angegeben, die zur Umrechnung früher angewendeter Einheiten in die des MKSA-Systems dienen.

Beispiel 2.1

Die Druckeinheit Pa soll durch die Basiseinheiten des Internationalen Einheitensystems ausgedrückt werden.

Lösung

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N m}^{-2} = 1 \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-2}$$

Treten in Größengleichungen gleichartige Größen mit unterschiedlichen Einheiten auf, so müssen diese auf eine einzige auszuwählende Einheit umgerechnet werden. Dazu dienen *Einheitengleichungen*, die unterschiedliche Einheiten gleichartiger Größen miteinander verknüpfen.

Einige der dezimalen Vielfachen von SI-Einheiten haben, weil häufig benutzt, eigene Bezeichnungen und Zeichen. Es sind dies die Volumeneinheit Liter, die Masseneinheit Tonne und die Druckeinheit *Bar* [bar]². Sie sind durch folgende Einheitengleichungen mit den SI-Einheiten verknüpft:

$$\begin{aligned} 1 \text{ Liter} &= 1 \text{ l} = 10^{-3} \text{ m}^3 \\ 1 \text{ Tonne} &= 1 \text{ t} = 10^3 \text{ kg} \\ 1 \text{ Bar} &= 1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa} = 10^5 \text{ N / m}^2 \end{aligned}$$

¹ MKSA ist eine Abkürzung für Meter, Kilogramm, Sekunde, Ampère

² Von *Baros* (griechisch): Schwere, Gewicht.

Beispiel 2.2

Es sollen zwei mit unterschiedlichen Einheiten angegebene Längen $L_1 = 100 \text{ m}$ und $L_2 = 23,4 \text{ Seemeilen}$ addiert und das Ergebnis in km angegeben werden.

Lösung

Mit den Einheitengleichungen $1 \text{ m} = 10^{-3} \text{ km}$ und $1 \text{ Seemeile} = 1 \text{ sm} = 1,852 \text{ km}$ erhält man

$$L = L_1 + L_2 = 100 \text{ m} + 23,4 \text{ sm} = 100 \cdot (10^{-3} \text{ km}) + 23,4 \cdot (1,852 \text{ km}) = 43,437 \text{ km} .$$

Beispiel 2.3

Man leite die Einheitengleichung zur Umrechnung der noch häufig benutzten Einheit PS (Pferdestärke) in Watt (W) ab.

Lösung

Definition: Ein PS ist die Leistung, die aufzuwenden ist, um ein Gewicht von 75 kp in einer Sekunde einen Meter zu heben. Mit dieser Definition ergibt sich

$$1 \text{ PS} = \frac{75 \text{ kp} \cdot 1 \text{ m}}{\text{s}} = \frac{75 \cdot (9,80665 \text{ N}) \cdot 1 \text{ m}}{\text{s}} = 735,499 \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{s}} = 735,499 \text{ W} .$$

Bei Verwendung der in den Tabellen 2.1 und 2.2 angegebenen Einheiten erhält man in einigen Disziplinen der Naturwissenschaften sehr große, beispielsweise bei Entfernungsangaben in der Astronomie, oder sehr kleine Maßzahlen wie etwa für Abstände in der Atomphysik. Um diese unhandlich großen oder kleinen Zahlen auf eine besser überschaubare Form zu bringen, stellt man sie in der halblogarithmischen Form dar mit Mantisse und einer zweckmäßig ausgewählten Zehnerpotenz und setzt die Zehnerpotenzen in Gestalt von „Vorsätzen“ vor die Einheiten. Die *Vorsätze*, auch *Präfixe* genannt, sind aus dem Griechischen entlehnte Silben und symbolisieren die Faktoren, mit denen die Ausgangseinheiten zu multiplizieren sind. Sie sind im Anhang A, Tabelle A2 angegeben.

Im älteren Schrifttum angelsächsischer Autoren werden häufig angelsächsische Einheiten benutzt. Die wichtigsten sind zusammen mit den für die Umrechnung in die SI-Einheiten benötigten Einheitengleichungen im Anhang A, Tabelle A3 zu finden.

Beispiel 2.4

Es sind umzurechnen:

- 0,62 PS in kW
- 427 MW in PS
- 10^{-2} m in Nanometer
- 4,2 Gt in kg
- 1,02 bar in hPa
- 34078 cal in pJ

Lösung

- $0,62 \text{ PS} = 0,62 \cdot 735 \text{ W} = 455,7 \text{ W} = 455,7 \cdot 10^{-3} \text{ kW} = 0,4557 \text{ kW}$
- $427 \text{ MW} = 427 \cdot 10^3 \text{ kW} = 427 \cdot 10^3 \cdot 1,36 \text{ PS} = 580720 \text{ PS}$
- $10^{-2} \text{ m} = 10^{-2} \cdot 10^9 \text{ nm} = 10^7 \text{ nm}$
- $4,2 \text{ Gt} = 4,2 \cdot 10^9 \text{ to} = 4,2 \cdot 10^9 \cdot 10^3 \text{ kg} = 4,2 \cdot 10^{12} \text{ kg}$
- $1,02 \text{ bar} = 1,02 \cdot 10^5 \text{ Pa} = 1,02 \cdot 10^5 \cdot 10^{-2} \text{ hPa} = 1020 \text{ hPa}$
- $34078 \text{ cal} = 34078 \cdot 4,1855 \text{ J} = 1,4263 \cdot 10^5 \text{ J} = 1,4263 \cdot 10^5 \cdot 10^{12} \text{ pJ} = 1,4263 \cdot 10^{17} \text{ pJ}$