5. Grössen und Einheiten

Physikalische Grösse = Zahlwert · Einheit

58 Eine physikalische Grösse ist eine Messgrösse. Messgrössen müssen genau definiert sein. Bei einer Messung wird abgezählt, wie oft eine gleichartige Vergleichsgrösse in der zu messenden Grösse enthalten ist. Ein bekanntes Beispiel ist die Längenmessung: Bei der Längenmessung wird abgezählt, wie oft die Vergleichsstrecke 1 Meter in der zu messenden Strecke abgetragen werden kann. Die vollständige Wiedergabe des Messresultates umfasst die Bezeichnung der **physikalischen Grösse** (die Messgrösse), die Angabe eines **Zahlwertes** und der **Einheit** (die Vergleichsgrösse). Das Resultat der Längenmessung könnte also lauten: Länge (Strecke) = 3.57 Meter, resp. ***s* = 3.57 m**. Zur besseren Unterscheidung werden die Symbole für physikalische Grössen *kursiv* gedruckt und die Einheiten normal.

physik. Grösse = Zahlwert · Einheit

Die Einheiten müssen genau und **reproduzierbar** festgelegt sein. Wir unterscheiden die Grundeinheiten und die abgeleiteten Einheiten. Für die **Grundeinheiten** (oder Basiseinheiten) sind Messverfahren definiert, die (im Prinzip) jederzeit und an jedem Ort eine Neukonstruktion der Einheit ermöglichen. Die zugehörigen physikalischen Grössen heissen **Grundgrössen** (oder Basisgrössen). Wir benötigen vorerst die 3 Grundgrössen **Länge**, **Masse** und **Zeit** (siehe Tabelle). Das vollständige Einheitensystem kennt 7 Grundgrössen, diese sind in der Tabellen–Sammlung, welche Ihnen zusätzlich abgegeben wird, zusammengestellt:

Grundgrössen der Mechanik

Grundgrössen	Einheiten	(alte) Definitionen	Messmethoden
Länge *l, s, x, ...*	**1 Meter** 1 m	Länge des Urmeters bei 0°C (internat. Meterprototyp, Paris) = zehnmillionster Teil des Erdmeridianquadrants	Vergleich mit Massstab
Zeit *t, T*	**1 Sekunde** 1 s	86'400-ster Teil eines mittleren Sonnentages	Zählen von periodischen Vorgängen (Pendeluhr, Sonne, Kristallschwingungen)
Masse m, m_1, ...	**1 Kilogramm** 1 kg	Masse des Urkilogramms (internationaler Kilogrammprototyp in Paris) = Masse von 1 Liter Wasser bei 4°C (siehe auch S. 22)	Vergleich mit Balkenwaage

Alle anderen physikalischen Grössen sind aus den Grundgrössen **abgeleitete Grössen**. Demzufolge haben sie **abgeleitete Einheiten**, welche aus den Grundeinheiten zusammengesetzt sind. Ein Ihnen bekanntes Beispiel ist die physikalische Grösse Geschwindigkeit. Diese abgeleitete Grösse ist aus den zwei Grundgrössen, Länge und Zeit zusammengesetzt: $v = s / t$. Die zugehörige abgeleitete Einheit ist ein Meter pro Sekunde = 1 m/s. Die vollständige Liste der abgeleiteten Einheiten finden Sie ebenfalls in der Tabellensammlung.

59 **?** Schlagen Sie in einem Lexikon die Stichwörter **Meter, Kilogramm** und **Sekunde** nach.

60 **?** Vervollständigen Sie die Tabelle rechts

61 **i** Dass die Festlegung des **Kilogramms** problematisch ist und nicht so eindeutig reproduzierbar, wie man es genre haben möchte, zeigt der unten abgdruckte Text aus der NZZ vom 17.7.1994.

physik. Grössen	Einheiten	Beispiele
……………	m	l = 3.57 m
Zeit	…………	t = 7 min = …………
Masse	…………	m = 300 g = …………
Volumen	m^3	V = 0.7 m^3
……………	m/s	v = 20 km/h = …………
……………	…………	A = 2.675 m^2
Dichte	kg/m^3	Wasser: ρ = …………

Vom Kleinsten zum Grössten

62 i Im Film *Zehn^{hoch}* wird Ihnen gezeigt, von welchen **Grössenordnungen** die Längenmessungen sind, die im Universum gemacht werden können. In der Tabellensammlung S. 15 werden zusätzlich die Grössenordnungen der im Universum vorkommenden Zeiten und Massen angegeben.

Rechnen mit Zehnerpotenzen und Einheiten

63 i Damit man die unvorstellbar kleinen oder grossen Zahlenwerte, welche Messgrössen haben können, auch lesbar darstellen kann, benötigt man die **wissenschaftliche Schreibweise**: Die Zahl wird als Produkt von einer **Dezimalzahl** mit einer Ziffer (verschieden von null) vor dem Komma mit einer **Zehnerpotenzen** geschrieben.

Beispiel: Anzahl Atome in 12 g Kohlenstoff:
602'200'000'000'000'000'000'000 = $6.022 \cdot 10^{23}$

Bei Messgrössen mit Einheiten können die Zehnerpotenzen auch durch **Vorsilben** ausgedrückt werden, welche der Einheit vorangestellt werden. Eine Liste der Vorsilben finden Sie ebenfalls in der Tabellensammlung.

Beispiel: Distanz Erde–Sonne r_{ES} :
$r_{ES} = 1.50 \cdot 10^{11}$ m = 150 Gm

Sie sollen nun das Rechnen mit Zehnerpotenzen, Vorsilben, Einheiten und das Darstellen in der wissensch. Schreibweise üben. Merken Sie Sich zuerst die folgenden **Regeln** für das Rechnen mit Zehnerpotenzen:

$\mathbf{10^0 = 1}$	$10^1 = 10$ $10^2 = 100$
$\mathbf{10^a \cdot 10^b = 10^{a+b}}$	$100 \cdot 10 = 1000$ $10^2 \cdot 10^1 = 10^3$
$\mathbf{10^{-a} = \frac{1}{10^a}}$	$0.001 = \frac{1}{1000}$ $10^{-3} = \frac{1}{10^3}$
$\mathbf{\frac{10^a}{10^b} = 10^{a-b}}$	$\frac{10^8}{10^5} = 10^8 \cdot 10^{-5}$ $= 10^{8-5} = 10^3$
$\mathbf{(10^a)^b = 10^{a \cdot b}}$	$(10^3)^2 = 10^{3 \cdot 2} = 10^6$

64 R Schreiben Sie (das Ergebnis) in **wissenschaftlicher Schreibweise: $1.7 \cdot 10^4 \cdot 200 = 3.4 \cdot 10^6$**

2'000'000 =

0.00002 =

$10^3 \cdot 10^{-4} =$

$809 \cdot 10^{-2} \cdot 23 \cdot 10^3 =$

$10^2 \cdot 10^3 =$

$0.02 \cdot 10^{-2} \cdot 540 =$

$65.8 + 0.042 \cdot 10^{-2} =$

65 R Üben Sie den Umgang mit dem **Taschenrechner** bei folgenden Rechnungen, deren Resultate Sie wieder in **wissenschaftlicher Schreibweise** angeben sollen. (Können Sie 10^3 korrekt eintippen?)

$10^3 \cdot 10^{14} =$

$0.02 \cdot 10^{-2} \cdot 10^{23} =$

$(10^{-2})^5 =$

$9 \cdot 10^9 \cdot \frac{10^{-7} \cdot 10^{-8}}{(10^{-3})^2} =$

66 R Verwandeln Sie in die **Grundeinheiten** (m, kg, s) und schreiben Sie in wissenschaftlicher Schreibweise. **0.2 g = 0.0002 kg = $2 \cdot 10^{-4}$ kg**

458 km =

$876 \cdot 10^5$ g =

345 nm =

3 h 23 min =

45.7 Mm =

34.1 µg =

$2 \cdot 10^5$ km =

67 R Schreiben Sie mit geeigneter **Vorsilbe**.

$345 \cdot 10^{-5}$ g = $3.45 \cdot 10^{-3}$ g = 3.45 mg

$0.453 \cdot 10^9$ m =

45673 mm =

0.00056 Mm =

$7.2 \cdot 10^4$ cm =

10^{-9} km =

68 R Verwandeln Sie in die verlangten **Einheiten.**

22 µs = $22 \cdot 10^{-6}$ s = $2.2 \cdot 10^{-5}$ s

$$45\ \mathrm{m/s} = \frac{45\ \mathrm{m}}{\mathrm{s}} = \frac{45 \cdot 10^{-3}\ \mathrm{km}}{\frac{1}{3600}\ \mathrm{h}}$$

$$= \frac{45 \cdot 10^{-3} \cdot 3600\ \mathrm{km}}{\mathrm{h}} = 45 \cdot 3.6\ \mathrm{km/h} = 162\ \mathrm{km/h}$$

$$2000\ \mathrm{kg/m^3} = \frac{2000 \cdot 1000\ \mathrm{g}}{(100\ \mathrm{cm})^3} = \frac{2 \cdot 10^6\ \mathrm{g}}{10^6\ \mathrm{cm}^3} = 2\ \mathrm{g/cm^3}$$

$$145'700\ \mathrm{s^{-1}} = 145.7 \cdot 10^3\ \frac{1}{\mathrm{s}} = 145.7\ \mathrm{kHz}$$

$7 \cdot 10^3$ mm^2 =	cm^2
1.3 kg/m^3 =	g/cm^3
51.3 µm =	mm
10^4 mm^3 =	cm^3
7 g/cm^3 =	kg/m^3
150 Mio km =	m
45 m/s =	km/s
16 m^2 =	cm^2
0.002 m^3 =	cm^3
145’700 s^{-1} =	kHz
55 MHz =	s^{-1}
19 g cm^{-3} =	kg · m^{-3}

Sinnvolle und sinnlose Ziffern

69 i Immer wieder wird von Schülerinnen und Schülern die Frage gestellt, wie viele Dezimalstellen beim Aufschreiben eines Resultates erforderlich seien. Das lässt sich aber einfach so nicht beantworten, denn die Zahl der sinnvollen Dezimalstellen hängt davon ab, wie viele relevante Ziffern vor dem Komma stehen, oder welches die erste von Null verschiede Ziffer hinter dem Komma ist. Vielmehr ist zu fragen, wie viele Ziffern bei der Angabe einer physikalischen Grösse relevant sind. Dies wiederum hängt, und das haben Sie bei der Erforschung des Schnurpendels im Kapitel 1 deutlich gesehen, von der Messgenauigkeit ab. Deshalb halten wir uns an die erste Faustregel (Kasten).

Haben wir ein Problem zu lösen, bei welchem zu den Messunsicherheiten keine konkreten Angaben gemacht werden, so können wir auch davon ausgehen, dass die "letzte" Ziffer unsicher ist. Werden mehrere Grössen angegeben mit unterschiedlicher Zifferzahl, so ist diejenige die unsicherste, die am wenigsten relevante Ziffern hat. Das Ergebnis kann (meistens) nicht genauer sein als die unsicherste Vorgabe, deshalb schreiben wir dieses mit so vielen Ziffern auf, wie die ungenauste Vorgabe ist. Allerdings muss hier oft mit gesundem Menschenverstand auf Grund des Textes entschieden werden, ob die Zifferzahl wirklich etwas über die Genauigkeit der Angabe aussagt. Wenn es etwa heisst, dass ein Pendel eine Länge von genau einem Meter habe, so bedeutet das wohl, dass die Länge 1.00 m oder 1.000 m oder gar 1.0000 m beträgt.

Faustregeln

Eine physikalische Grösse schreiben wir dann so auf, dass auf Grund der Messfehler, nur eine oder zwei Ziffern unsicher sind.

Das Ergebnis schreiben wir in der Regel mit so vielen relevanten Ziffern auf, wie in jener vorgegebenen Grösse mit der geringsten Zahl relevanter Ziffern.

Damit nicht zu grobe Rundungsfehler entstehen, verwenden wir für Zwischenergebnisse mindestens eine Ziffer mehr, als beim Schlussresultat.

70 R Geben Sie die folgenden Zahlen entweder mit der verlangten Anzahl relevanter Ziffern an, oder schreiben Sie so viele relevante Ziffern auf, wie die prozentuale (relative) Genauigkeit verlangt.

	2 relevante Ziffern	4 relevante Ziffern		rel. Genauigkeit	
0.000075645 s			193'386 m	10 %	
498.7362 m			15 g	1 %	
$20.045 \cdot 10^6$ kg			904.056 kg	0.1 %	
2 m/s			0.0030482 m	1 %	

71 R Geben Sie die Ergebnisse der folgenden Rechnungen nur mit den relevanten Ziffern an.

a) Länge = 2.3 m ; Breite = 0.138 m ; Höhe = 1.009 m ; Volumen ≈

b) Länge = 2.300 m ; Breite = 0.138 m ; Höhe = 1.009 m ; Volumen ≈

c) Strecke = 2.34 km ; benötigte Zeit = 400 s ; Geschwindigkeit ≈ …………… m/s ≈ …………… km/h

d) $0.00000345 \cdot 0.0000042 \cdot 1.0045 \approx$

e) $0.00000345 - 0.0000042 + 1.0045 \approx$