1 Messung und Maßeinheiten

1 Die metrischen Vorsilben (Mikro, Piko, Nano, . . .) sind zum einfachen Nachschlagen auf dem vorderen Innendeckel des Lehrbuchs wiedergegeben (vergleiche auch Tabelle 1-2).

(a) Da $1\,\text{km} = 1 \times 10^3\,\text{m}$ und $1\,\text{m} = 1 \times 10^6\,\mu\text{m}$ sind, gilt

$$1\,\text{km} = 10^3\,\text{m} = (10^3\,\text{m})(10^6\,\mu\text{m/m}) = 10^9\,\mu\text{m}\,.$$

Der gegebene Messwert ist 1,0 km (zwei signifikante Stellen), woraus folgt, dass unser Ergebnis als $1{,}0 \times 10^9\,\mu\text{m}$ geschrieben werden sollte.

(b) Wir berechnen die Anzahl der Mikrometer in 1 Zentimeter. Da $1\,\text{cm} = 10^{-2}\,\text{m}$ sind, gilt

$$1\,\text{cm} = 10^{-2}\,\text{m} = (10^{-2}\,\text{m})(10^6\,\mu\text{m/m}) = 10^4\,\mu\text{m}\,.$$

Wir schließen, dass der Bruchteil eines Zentimeters, der $1{,}0\,\mu\text{m}$ entspricht, $1{,}0 \times 10^{-4}$ ist.

(c) Da $1\,\text{yd} = (3\,\text{ft})(0{,}3048\,\text{m/ft}) = 0{,}9144\,\text{m}$ ist, gilt

$$1{,}0\,\text{yd} = (0{,}91\,\text{m})(10^6\,\mu\text{m/m}) = 9{,}1 \times 10^5\,\mu\text{m}\,.$$

3 Indem wir die gegebenen Umrechnungsfaktoren verwenden, erkennen wir,

(a) dass der Abstand d *in Rods*

$$d = 4{,}0\,\text{Furlongs} = \frac{(4{,}0\,\text{Furlongs})(201{,}168\,\text{m/Furlong})}{5{,}0292\,\text{m/Rod}} = 160\,\text{Rods}$$

sein muss

(b) und dass der Abstand *in Chains*

$$d = \frac{(4{,}0\,\text{Furlongs})(201{,}168\,\text{m/Furlong})}{20{,}17\,\text{m/Chain}} = 40\,\text{Chains}$$

sein muss.

5 In Anhang E findet man verschiedene Formeln der Geometrie.

(a) Der Umfang einer Kugel mit Radius R beträgt $2\pi R$. Setzen Sie folgenden Wert für R in die Formel ein:

$$R = \left(6{,}37 \times 10^6\,\text{m}\right)\left(10^{-3}\,\text{km/m}\right) = 6{,}37 \times 10^3\,\text{km}\,.$$

Berechnen Sie damit den Umfang und behalten Sie drei signifikante Stellen. Sie sollten $4{,}00 \times 10^4\,\text{km}$ erhalten.

Halliday Physik. Lösungen zur Bachelor Edition.

(b) Die Oberfläche einer Kugel ist gegeben durch $4\pi R^2$, die Erdoberfläche beträgt daher

$$4\pi R^2 = 4\pi \left(6{,}37 \times 10^3\,\text{km}\right)^2 = 5{,}10 \times 10^8\ \text{km}^2\ .$$

(c) Das Volumen einer Kugel ist gegeben durch $\frac{4\pi}{3} R^3$, das Volumen der Erde beträgt daher

$$\frac{4\pi}{3} R^3 = \frac{4\pi}{3} \left(6{,}37 \times 10^3\,\text{km}\right)^3 = 1{,}08 \times 10^{12}\ \text{km}^3\ .$$

7 Das Volumen des Eises ist das Produkt der Fläche A des Halbkreises und der Dicke des Halbkreises. Die Fläche A ist die halbe Fläche eines Kreises mit Radius R, also $A = \pi R^2/2$. Wenn wir mit D die Dicke des Eises bezeichnen, beträgt sein Volumen V also

$$V = \frac{\pi}{2} R^2 D\ .$$

Nun drücken wir alle Größen in der Einheit cm aus:

$$R = (2000\,\text{km}) \left(\frac{10^3\ \text{m}}{1\ \text{km}}\right) \left(\frac{10^2\ \text{cm}}{1\ \text{m}}\right) = 2000 \times 10^5\ \text{cm}\ .$$

und

$$D = (3000\,\text{m}) \left(\frac{10^2\ \text{cm}}{1\ \text{m}}\right) = 3000 \times 10^2\,\text{cm}\ .$$

Wir erhalten also

$$V = \frac{\pi}{2} \left(2000 \times 10^5\ \text{cm}\right)^2 \left(3000 \times 10^2\ \text{cm}\right) = 1{,}9 \times 10^{22}\,\text{cm}^3\ .$$

9 Wir verwenden die in Anhang D gefundenen Umrechnungsfaktoren.

$$1\ \text{acre} \cdot \text{ft} = (43{,}560\,\text{ft}^2) \cdot \text{ft} = 43{,}560\,\text{ft}^3\ .$$

Da 2 in = (1/6) ft sind, beträgt das Volumen des Wassers, das während des Gewitters fiel,

$$V = (26\,\text{km}^2)(1/6\,\text{ft}) = (26\,\text{km}^2)(3281\,\text{ft/km})^2(1/6\,\text{ft}) = 4{,}66 \times 10^7\ \text{ft}^3\ .$$

Also haben wir

$$V = \frac{4{,}66 \times 10^7\ \text{ft}^3}{4{,}3560 \times 10^4\ \text{ft}^3/\text{acre} \cdot \text{ft}} = 1{,}1 \times 10^3\,\text{acre} \cdot \text{ft}\,.$$

11 Wir verwenden die in Anhang D gefundenen Umrechnungsfaktoren und die Definitionen der SI-Vorsilben aus Tabelle 1-2 (die auch auf dem vorderen Innendeckel des Lehrbuchs aufgelistet sind). Dabei steht „ns“ für die Einheit Nanosekunden, „ps“ für die Einheit Pikosekunden und so weiter.

(a) 1 m = 3,281 ft und 1 s = 10^9 ns. Also haben wir

$$3{,}0 \times 10^8\ \text{m/s} = \left(\frac{3{,}0 \times 10^8\ \text{m}}{\text{s}}\right) \left(\frac{3{,}281\ \text{ft}}{\text{m}}\right) \left(\frac{\text{s}}{10^9\ \text{ns}}\right) = 0{,}98\,\text{ft/ns}\,.$$

(b) Verwenden wir 1 m = 10^3 mm und 1 s = 10^{12} ps, erhalten wir

$$\begin{aligned} 3{,}0 \times 10^8\ \text{m/s} &= \left(\frac{3{,}0 \times 10^8\ \text{m}}{\text{s}}\right) \left(\frac{10^3\ \text{mm}}{\text{m}}\right) \left(\frac{\text{s}}{10^{12}\ \text{ps}}\right) \\ &= 0{,}30\ \text{mm/ps}\ . \end{aligned}$$

13 Keine der Uhren geht genau 24 h innerhalb eines Intervalls von 24 h weiter, aber das ist nicht das wichtigste Kriterium, um ihre Qualität bei der Messung von Zeitintervallen zu beurteilen. Wichtig ist, dass die Uhr in jedem 24 h-Intervall um den gleichen Betrag weitergeht. Die abgelesene Zeit kann dann leicht angepasst werden, um das richtige Intervall zu erhalten. Wenn jedoch die abgelesene Zeit von einem 24 h-Intervall zum nächsten hin- und her springt, kann sie nicht angepasst werden, weil man unmöglich sagen kann, wie groß die Korrektur sein müsste. Im Folgenden sind die Korrekturen (in Sekunden) angegeben, die für jede Uhr für jedes 24 h-Intervall auf die angezeigte Zeit angewandt werden muss. Die Einträge wurden ermittelt, indem die am Ende des Intervalls angezeigte Zeit von der zum Beginn subtrahiert wurde.

Uhr	So -Mo	Mo -Di	Di -Mi	Mi -Do	Do -Fr	Fr -Sa
A	−16	−16	−15	−17	−15	−15
B	−3	+5	−10	+5	+6	−7
C	−58	−58	−58	−58	−58	−58
D	+67	+67	+67	+67	+67	+67
E	+70	+55	+2	+20	+10	+10

Uhren C und D sind beide gute Zeitmesser in dem Sinn, dass jede bei ihrer täglichen Abweichung (bezüglich WWF Zeit) konsistent ist; also können C und D leicht mit einfachen und vorhersagbaren Korrekturen „perfekt“ gemacht werden. Die Korrektur für Uhr C ist kleiner als die für Uhr D, daher bewerten wir Uhr C als beste und Uhr D als zweitbeste. Die Korrektur, die auf Uhr A angewandt werden muss, liegt im Bereich von 15 s bis 17 s. Für Uhr B liegt sie im Bereich von −5 s bis +10 s, für Uhr E im Bereich von −70 s bis −2 s. Nach C und D besitzt A den kleinsten Korrekturbereich, B den zweitkleinsten und E den größten. Von der besten zur schlechtesten Uhr lautet die Reihenfolge C, D, A, B, E.

15 Wir müssen Meter in astronomische Einheiten und Sekunden in Minuten umrechnen. Dabei benutzen wir

$$\begin{aligned} 1000\,\mathrm{m} &= 1\,\mathrm{km} \\ 1\,\mathrm{AU} &= 1{,}50 \times 10^8\,\mathrm{km} \\ 60\,\mathrm{s} &= 1\,\mathrm{min}\,. \end{aligned}$$

Also gilt:

$$\left(\frac{3{,}0 \times 10^8\,\mathrm{m}}{\mathrm{s}}\right)\left(\frac{1\,\mathrm{km}}{1000\,\mathrm{m}}\right)\left(\frac{\mathrm{AU}}{1{,}50 \times 10^8\,\mathrm{km}}\right)\left(\frac{60\,\mathrm{s}}{\mathrm{min}}\right) = 0{,}12\,\mathrm{AU/min}\,.$$

17 Der letzte Tag der 20 Jahrhunderte ist um folgenden Wert länger als der erste Tag:

$$(20\,\text{Jahrhunderte})(0{,}001\,\mathrm{s}/\text{Jahrhundert}) = 0{,}02\,\mathrm{s}\,.$$

Der durchschnittliche Tag während der 20 Jahrhunderte ist $(0 + 0{,}02)/2 = 0{,}01$ s länger als der erste Tag. Da die Zunahme gleichmäßig geschieht, ist der kumulative Effekt T:

$$\begin{aligned} T &= (\text{durchschnittliche Längenzunahme eines Tages})(\text{Anzahl der Tage}) \\ &= \left(\frac{0{,}01\,\mathrm{s}}{\text{Tag}}\right)\left(\frac{365{,}25\,\text{Tage}}{\text{Jahr}}\right)(2000\,\text{Jahre}) \\ &= 7305\,\mathrm{s}, \end{aligned}$$

oder ungefähr zwei Stunden.

19 Wenn M_E die Masse der Erde, m die durchschnittliche Masse eines Atoms in der Erde und N die Anzahl der Atome bezeichnet, dann ist $M_E = Nm$ oder $N = M_E/m$. Unter Verwendung von Anhang D wandeln wir die Masse m in Kilogramm um ($1\,\mathrm{u} = 1{,}661 \times 10^{-27}\,\mathrm{kg}$). Also ergibt sich

$$N = \frac{M_E}{m} = \frac{5{,}98 \times 10^{24}\,\mathrm{kg}}{(40\,\mathrm{u})(1{,}661 \times 10^{-27}\,\mathrm{kg/u})} = 9{,}0 \times 10^{49}\,.$$

21 Wir führen die Bezeichnung der Dichte ein (die die Studierenden wahrscheinlich aus anderen Kursen kennen):

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

und wandeln in SI-Einheiten um: $1\,\mathrm{g} = 1 \times 10^{-3}\,\mathrm{kg}$.

(a) Für die Volumenumrechnung erhalten wir $1\,\mathrm{cm}^3 = (1\times 10^{-2}\,\mathrm{m})^3 = 1\times 10^{-6}\,\mathrm{m}^3$. Also ist die Dichte in kg/m^3

$$1\,\mathrm{g/cm}^3 = \left(\frac{1\,\mathrm{g}}{\mathrm{cm}^3}\right)\left(\frac{10^{-3}\,\mathrm{kg}}{\mathrm{g}}\right)\left(\frac{\mathrm{cm}^3}{10^{-6}\,\mathrm{m}^3}\right) = 1\times 10^3\,\mathrm{kg/m}^3\,.$$

Also beträgt die Masse eines Kubikmeters Wasser 1000 kg.

(b) Wir dividieren die Masse des Wassers durch die Zeit, die es dauert, um es zu entleeren. Die Masse wird aus $M = \rho V$ (das Produkt des Volumens des Wassers und seiner Dichte) bestimmt:

$$M = (5700\,\mathrm{m}^3)(1\times 10^3\,\mathrm{kg/m}^3) = 5{,}70\times 10^6\,\mathrm{kg}\,.$$

Die Zeit ist $t = (10\,\mathrm{h})(3600\,\mathrm{s/h}) = 3{,}6\times 10^4\,\mathrm{s}$, also ist die *Massenflussrate* R

$$R = \frac{M}{t} = \frac{5{,}70\times 10^6\,\mathrm{kg}}{3{,}6\times 10^4\,\mathrm{s}} = 158\,\mathrm{kg/s}\,.$$

23 Wir führen die Bezeichnung der Dichte ein (die die Studierenden wahrscheinlich aus anderen Kursen kennen):

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

und wandeln in SI-Einheiten um: $1000\,\mathrm{g} = 1\,\mathrm{kg}$ und $100\,\mathrm{cm} = 1\,\mathrm{m}$.

(a) Die Dichte ρ einer Eisenprobe ist daher

$$\rho = \left(7{,}87\,\mathrm{g/cm}^3\right)\left(\frac{1\,\mathrm{kg}}{1000\,\mathrm{g}}\right)\left(\frac{100\,\mathrm{cm}}{1\,\mathrm{m}}\right)^3\,,$$

was $\rho = 7870\,\mathrm{kg/m}^3$ liefert. Wenn wir die Zwischenräume zwischen den dicht gepackten Kugeln vernachlässigen, dann ist die Dichte eines einzelnen Eisenatoms die gleiche wie die einer Eisenprobe. Das heißt, wenn M die Masse und V das Volumen eines Atoms sind, dann erhalten wir:

$$V = \frac{M}{\rho} = \frac{9{,}27\times 10^{-26}\,\mathrm{kg}}{7{,}87\times 10^3\,\mathrm{kg/m}^3} = 1{,}18\times 10^{-29}\,\mathrm{m}^3\,.$$

(b) Wir setzen $V = 4\pi R^3/3$, wobei R der Radius (Anhang E enthält verschiedene geometrische Formeln) eines Atoms ist. Lösen wir nach R auf, erhalten wir

$$R = \left(\frac{3V}{4\pi}\right)^{1/3} = \left(\frac{3(1{,}18\times 10^{-29}\,\mathrm{m}^3)}{4\pi}\right)^{1/3} = 1{,}41\times 10^{-10}\,\mathrm{m}\,.$$

Der Abstand zwischen den Mittelpunkten von Atomen ist das Doppelte des Radius, oder $2{,}82\times 10^{-10}$ m.

24 Die metrischen Vorsilben (Mikro, Piko, Nano, . . .) sind zum einfachen Nachschlagen auf dem vorderen Innendeckel des Lehrbuchs wiedergegeben (vergleiche auch Tabelle 1-2). Die Oberfläche A jedes Sandkorns vom Radius $r = 50\,\mu\mathrm{m} = 50\times 10^{-6}$ m ist gegeben durch $A = 4\pi(50\times 10^{-6})^2 = 3{,}14\times 10^{-8}\,\mathrm{m}^2$ (Anhang E enthält verschiedene Formeln aus der Geometrie). Wir führen die Bezeichnung der Dichte ein (die die Studierenden wahrscheinlich aus anderen Kursen kennen):

$$\rho = \frac{m}{V}\,,$$

sodass die Masse aus $m = \rho V$ mit $\rho = 2600\,\mathrm{kg/m}^3$ bestimmt werden kann. Unter Verwendung von $V = 4\pi r^3/3$ ergibt sich daher für die Masse jedes Sandkorns

$$m = \left(\frac{4\pi\left(50\times 10^{-6}\,\mathrm{m}\right)^3}{3}\right)\left(2600\,\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3}\right) = 1{,}36\times 10^{-9}\,\mathrm{kg}\,.$$

Wir bemerken, dass die angegebene Oberfläche 6 m^2 beträgt (weil ein Würfel sechs gleiche Seiten besitzt). Die Anzahl N der Kugeln (die Sandkörner), die eine Gesamtfläche von 6 m^2 besitzen, ist gegeben durch

$$N = \frac{6\,\mathrm{m}^2}{3{,}14\times 10^{-8}\,\mathrm{m}^2} = 1{,}91\times 10^8\,.$$

Daher ist die Gesamtmasse M gegeben durch

$$M = Nm = \left(1{,}91\times 10^8\right)\left(1{,}36\times 10^{-9}\,\mathrm{kg}\right) = 0{,}260\,\mathrm{kg}\,.$$