

Kapitel A

Einleitung

“Humor ist die Einheit von Witz und Liebe..”
- William Makepeace Thackeray

In diesem einführenden Kapitel werden nicht die üblichen Fragen zur Lehre der Physik beantwortet, wie beispielsweise, was Physik ist und womit sie sich beschäftigt. Andernfalls könnte dies wie in der folgenden Filmsequenz enden (siehe Video: [Sheldon teaches Penny physics.](#)).

Stattdessen werden die Einheiten und deren wichtige Bedeutung für die Physik an erster Stelle betrachtet. Ein zweiter Abschnitt zur Genauigkeit von Ergebnissen wird die Einleitung abschliessen. Die nicht minder wichtigen Fragen werden hoffentlich im Laufe der Jahre intrinsisch beantwortet. Es ist wichtig, präzise zu bleiben und einheitliche Messungen durchzuführen.

Einheiten spielen in der Naturwissenschaft eine zentrale Rolle. Die meisten physikalischen Größen haben eine Einheit, von der oft auch als Dimension gesprochen wird. Niemand würde sagen: "Du bist 3 zu spät!" oder "Du hast das Ziel um 5 verfehlt!". In beiden Fällen ergeben die Aussagen keinen Sinn, ohne dass man die Einheiten hinzufügt. Derartige Unklarheiten können zwar in der Alltagssprache weniger gravierend sein, da der Zuhörer in der Regel nachfragen kann, aber in der Wissenschaft können sie schwerwiegende und kostspielige Folgen haben, wie das folgende Beispiel verdeutlicht.



Der Mars Climate Orbiter (MCO) war eine NASA-Sonde, die zum Mars geschickt wurde. Im Jahr 1999 ging sie verloren, weil es einen Einheitenfehler im Navigationssystem gab. Die Untersuchungskommission konnte schnell den Grund für den Verlust der Sonde feststellen. Aus den Telemetriedaten wurde ermittelt, dass der nächstgelegene Punkt zum Mars nicht bei 150 km, sondern nur bei 57 km lag. In dieser Höhe ist die Atmosphäre auf dem Mars bereits so dicht, dass die Sonde aufgrund von Reibungskräften und Hitze umgehend zerstört wurde. Die Ursache für diesen Navigationsfehler war schnell klar: Die NASA berechnete Impulse (eine physikalische Größe) im international gebräuchlichen Einheitssystem mit der Einheit Newton x Sekunde, während die Navigationssoftware des MCO vom Hersteller Lockheed Martin für das imperiale System mit der Impulseinheit Pound-force x Sekunde ausgelegt war, also um den Faktor 4.45 grösser.[1]

Dieses Beispiel verdeutlicht unmissverständlich, welche Auswirkungen Einheitenfehler haben können. In diesem Kapitel stellen wir die Grundlagen der Basiseinheiten - auch bekannt als SI-Einheiten - sowie die Präfixe vor, die oft zur Vereinfachung von grossen oder kleinen Zahlen verwendet werden.

1 Einheiten und Genauigkeit

Lernziele

- Sie wissen, wie eine physikalische Grösse zusammengesetzt ist.
 - Sie kennen die Basiseinheiten der Physik auswendig und können von anderen Einheiten umrechnen.
 - Sie verstehen, was mit der Erhaltung der Einheit gemeint ist, und wissen, wie man sie anwenden kann.
 - Sie kennen die wichtigsten Präfixe auswendig und können Resultate damit kurz und knapp aufschreiben.
 - Sie kennen die Regel der Genauigkeit und verstehen, weshalb man sie beachten muss.

Bevor wir uns mit dem Thema der Einheiten auseinandersetzen, müssen wir uns fragen, wozu wir überhaupt Einheiten benötigen und welchen Nutzen sie haben.

Bsp. i.

Überlegen Sie sich weshalb es Einheiten gibt und wofür die Einheiten gut sind? Gab es immer Einheiten? Gibt es vielleicht eine andere Möglichkeit ohne Einheiten? Lsg: –

Lsg: —

Lösung:

Die erste Formel in diesem Skript ist wohl auch gleich die berühmteste Formel überhaupt:

$$E = mc^2,$$

wobei E für die Energie, m für die Masse und c für die Lichtgeschwindigkeit¹ stehen. Da wir einen begrenzten Buchstabensatz haben, jedoch eine unüberschaubare Anzahl an Formeln, Variablen, Einheiten und ähnlichem, müssen wir eine Möglichkeit finden, um z. B. zwischen der Abkürzung m für Masse und der Abkürzung m für Meter zu unterscheiden². Es wird noch schwieriger, wenn man spezifische Größen abfragen möchte. Wie können Sie wissen, ob ich bei

$$m = ?$$

nach $m = 5 \text{ kg}$ (sprich: Die Masse m wiegt 5 kg.), $m = \text{kg}$ (sprich: Die Einheit von m ist das kg.) oder $m = \text{Meter}$ (sprich: Die Abkürzung m steht für Meter.) frage. Es gibt nur eine Möglichkeit, diese Vieldeutigkeit zu lösen: Wir benötigen Konventionen und/oder Definitionen.

In diesem Beispiel erkennt man, dass die Einheit Gramm ein Präfix hat, nämlich das "k" für Kilo. Das "k" erlaubt es uns, unsere Gewichtsangabe von 60 000 g kurz und einfach als 60 kg zu schreiben. Somit ist "k" für Kilo gleichbedeutend mit 1.000.

Aus der Gleichung $m = 5 \text{ kg}$ ist ersichtlich, dass eine physikalische Grösse bestimmten Regeln folgt. Zur Erläuterung wird folgende Definition gegeben:

¹Die Lichtgeschwindigkeit misst etwa $c \approx 3 \cdot 10^8$ m/s. In diesem Fall wird die Geschwindigkeit mit dem Buchstaben c abgekürzt, da es sich um eine spezielle Geschwindigkeit handelt. In der Regel wird die Geschwindigkeit mit v abgekürzt.

²Sie erkennen bereits, dass es mir im Skript bereits gelingt, den Unterschied zu veranschaulichen. Abkürzungen für Variablen sind *kursiv*, die für Einheiten nicht.

Def. 1: (physikalische Grösse) Für eine physikalische Grösse G gilt

$$G = \{G\} \cdot [G],$$

wobei $\{G\}$ der Zahlenwert und $[G]$ die Einheit von G sind.

Betrachten wir dazu ein Beispiel aus der Physik. Wenn Ihnen das Thema unverständlich erscheint, seien Sie beruhigt. In diesem Fall geht es lediglich um die korrekte Anwendung von Symbolen in Gleichungen. Diese sind wichtig, um die verschiedenen Teile der Gleichung eindeutig zu identifizieren.

Am Anfang kann es sehr verwirrend sein, den Unterschied zwischen einer physikalischen Grösse, wie z.B. Länge, und einer physikalischen Einheit, wie z.B. Meter, zu verstehen. Eine hilfreiche Faustregel ist: *Physikalische Einheiten messen physikalische Größen*.

Bsp. ii.

Wir messen eine Strecke s und sie misst 5.7 m. Was sind a) die physikalische Grösse, b) der Zahlenwert und c) die Einheit. Schreiben Sie alle Lösungen mit den richtigen Symbolen auf. Lsg: -

Lsg: —

Lösung:

Eine Ausnahme wird vereinfachend von vielen Physiklehrenden akzeptiert: $G = 0$, anstelle von $G = 0 [G]$.



Angenommen, es gibt eine physikalische Grösse G , die nur aus einem Zahlenwert besteht. Ein Beispiel hierfür ist der Reibungskoeffizient. Welche Einheit besitzt G in diesem Fall?

Es mag den Anschein erwecken, dass es unzählige Einheiten gibt, jedoch zeigt sich, dass eine Unterscheidung zwischen Basis- und zusammengesetzten Einheiten notwendig ist.

1.1 Basiseinheiten

Das internationale Einheitssystem abgekürzt SI (vom französischen *Système international d'unités*) beruht auf sieben per Konvention festgelegten Basiseinheiten. In der nachfolgenden Tabelle sind die sieben Basiseinheiten aufgelistet³.

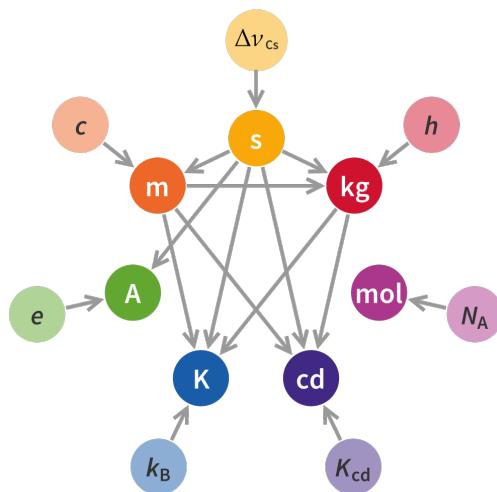
Phys. Grösse	Symbol	Einheit	Einheitszeichen
Masse	m	Kilogramm	kg
Zeit	t	Sekunde	s
Länge	l, s, h	Meter	m
Temperatur	T	Kelvin	K
Stromstärke	I	Ampère	A
Stoffmenge	n	Mol	mol
Lichtintensität	I_V	Candela	cd

³Das SI ist nicht das einzige System für Einheiten. Ein weiteres System, welche sehr verbreitet ist, ist das cgs-System. Es kommt mit nur drei Einheiten aus: centimeter, gramm und sekunde.

Die Basiseinheiten der Masse, Zeit und Temperatur können unabhängig von den anderen Einheiten objektiv definiert werden. Aktuell werden die Basiseinheiten wie folgt definiert, gemäss [2]:

- **kg:**
Das Kilogramm ist gleich der Masse des internationalen Kilogrammprototyps, sog. Urkilo. (Vgl. Film: [Neue Definition des Kilos von Veritasium1](#))
- **s:**
Das 9 192 631 770-fache der Periodendauer der dem Übergang zwischen den beiden Hyperfeinstruktur niveaus des Grundzustandes von Atomen des Caesium-Isotops ^{133}Cs entsprechenden Strahlung.
- **m:**
Länge der Strecke, die das Licht im Vakuum während der Dauer von $1/299\,792\,458$ Sekunden zurücklegt.
- **K:**
 $1/273.16$ der Temperatur des Tripelpunktes von Wasser genau definierter isotopischer Zusammensetzung⁴.
- **A:**
Stärke eines konstanten elektrischen Stroms, der durch zwei parallele, geradlinige, unendlich lange und im Vakuum im Abstand von 1 Meter voneinander angeordnete Leiter von vernachlässigbar kleinem, kreisförmigem Querschnitt fliesst und zwischen diesen Leitern pro Meter Leiterlänge die Kraft $2 \cdot 10^{-7}$ Newton hervorruft.
- **mol:**
Die Stoffmenge eines Systems, das aus ebenso viel Einzelteilchen besteht, wie Atome in 0.012 Kilogramm des Kohlenstoff-Isotops ^{12}C in ungebundenem Zustand enthalten sind.
- **cd:**
Die Lichtstärke in einer bestimmten Richtung einer Strahlungsquelle, die monochromatische Strahlung der Frequenz $540 \cdot 10^{12}$ Hertz aussendet und deren Strahlstärke in dieser Richtung $1/683$ Watt pro Steradian⁵ beträgt.

Bis 2018 waren dies die Definitionen der Basiseinheiten. Doch bereits mit der Definition der Sekunde und des Meters über die Frequenz des Caesium-Isotops und der Lichtgeschwindigkeit hat man Naturkonstanten in die neuen Definitionen zugelassen. Heute sind nun alle Größen über Naturkonstanten definiert, das bedeutet, dass es keine Veränderung durch genaueres Messen mehr gibt. Das liegt daran, dass die Naturkonstanten bei einer bestimmten Messung festgelegt wurden und seither nicht mehr geändert wurden. Eine präzisere Messung der Lichtgeschwindigkeit würde lediglich Sekunde und Meter beeinflussen, nicht jedoch den Wert der Lichtgeschwindigkeit selbst. Die Grafik [3] veranschaulicht alle Abhängigkeiten mit den Naturkonstanten⁶:



Das folgende Beispiel soll den Unterschied zwischen Einheiten und physikalischen Größen etwas klarer verdeutlichen.

⁴Das Wasser genau definierter isotopischer Zusammensetzung ist das Vienna Standard Mean Ocean Water (VSMOW).

⁵Der Steradian (Einheitszeichen: sr, Kurzform Sterad) dient zur Angabe der Größe eines Raumwinkels. Der Raumwinkel von 1 Steradian umschließt auf der Fläche einer Kugel mit 1 m Radius eine Fläche von 1 m^2 [6].

⁶Bei c , h , e und k_B handelt es sich um fundamentale Naturkonstanten. $\Delta\nu_{\text{Cs}}$ ist eine universell reproduzierbare Frequenz, die unabhängig von einer Realisierungsvorschrift ist. N_A ist ein durch Übereinkunft festgelegter Zahlenwert, der möglichst genau dem Umrechnungsfaktor zwischen der atomaren Masseneinheit und der Einheit „Gramm“ entsprechen soll. K_{cd} ist ein ebenfalls willkürlich festgelegter Umrechnungsfaktor zwischen physikalischen und photobiologischen Größen.

Bsp. iii.

Welche der folgenden Aussagen sind wahr (w) respektive falsch (f). (Zutreffendes ankreuzen.)

w | f

- 0|0 Die Länge ist eine physikalische Grösse, deren Einheit der Meter m ist.
 - 0|0 Die Basiseinheit des elektrischen Stroms, ist das Ampere A.
 - 0|0 Die Lichtgeschwindigkeit c ist die Einheit der Geschwindigkeit v .
 - 0|0 Jede physikalische Grösse hat genau eine dazugehörige Einheit.
 - 0|0 Meter m ist eine Einheit, Masse m ist eine physikalische Grösse.
 - 0|0 Die Gleichung $N = \text{kg m/s}^2$ definiert die Einheit Newton und ist eine Einheitengleichung.
 - 0|0 Die Gleichung $F = ma$ ist ein physikalisches Gesetz.
 - 0|0 Eine Zahl hat die Einheit 1.

Überlegen Sie sich bei jeder Aussage, wieso diese war ist und weshalb nicht. Raten Sie bei keiner Aussage! Lsg: —

Lösung:

Natürlich sind das nicht alle Einheiten, die bekannt sind. Was ist zum Beispiel mit km/h? Diese Einheit ist zusammengesetzt und wird im nächsten Abschnitt gemeinsam mit anderen besprochen.

1.1.1 Zusammengesetzte Einheiten

Vielleicht sind Ihnen bereits auch andere Einheiten wie das Newton N für Kraft oder Pascal für Druck bekannt. Die Frage, die sich hier stellt, lautet: "Wie hängen diese und andere Einheiten mit den Basiseinheiten zusammen?"

Die Einheit der Geschwindigkeit im Straßenverkehr ist allgemein bekannt: Kilometer pro Stunde (km/h). Diese Einheit zeigt bereits, wie verschiedene Einheiten kombiniert werden können. Dabei wird der Quotient aus der Längeneinheit und der Zeiteinheit gebildet. Durch Multiplikation oder Division von Einheiten können beliebige zusammengesetzte Einheiten gebildet werden. Folgende Definition gibt hierzu weitere Informationen:

Def. 2: (Zusammengesetzte Einheit) Eine zusammengesetzte Einheit entsteht durch Multiplikation und/oder Division von Einheiten.

Beachten Sie, dass zusammengesetzte SI-Einheiten ebenfalls SI-Einheiten sind. In vielen Fällen erhalten zusammengesetzte Einheiten eine neue Abkürzung, wie diese beiden Beispiele zeigen:

- SI-Einheit der Kraft ist Newton, Abk. N, es gilt: $N \hat{=} \text{kg m/s}^2$,
 - SI-Einheit des Druckes ist Pascal, Abk. Pa, es gilt: $\text{Pa} \hat{=} \text{N/m}^2 = \text{kg/(m s}^2\text{)}$.

Ein Beispiel für eine zusammengesetzte Einheit, die keine SI-Einheit ist, ist die Geschwindigkeit in Kilometern pro Stunde (km/h). Es gibt noch unzählige weitere Kombinationen von Einheiten, auf die wir auf unserem Weg durch die Physik stossen werden.

Zurück zur Ursprungsgleichung $E = mc^2$: Gibt es einen Zusammenhang zwischen der Einheit von E und der Einheit von mc^2 ? Um dies zu klären, betrachten wir das folgende Beispiel. Hierfür greifen wir erneut auf die berühmte Formel von Albert Einstein zurück.

Bsp. iv.

Was ist die Einheit der Energie (z. B. der Ruheenergie $E = mc^2$) ausgedrückt in Basiseinheiten? Tipp: $[c] = \text{m/s}$
Lsg: —

Lsg: —

Lösung:

Dieses Beispiel verdeutlicht, dass aus den Einheiten einer Gleichung Rückschlüsse auf andere Größen gezogen werden können. Daraus folgt das hier formulierte Gesetz:

Ges. 1: (Erhaltung der Einheit) In einer physikalischen Gleichung ($A = B$) muss die (zusammengesetzte) Einheit von A gleich der von B sein, d. h.

$$A = B \Rightarrow [A] = [B].$$

Dieses Gesetz besagt lediglich, dass die Einheiten auf beiden Seiten einer Gleichung identisch sein müssen. Es ist einfacher, als es auf den ersten Blick scheinen mag.

1.1.2 Dimensionsanalyse

Die Dimensionsanalyse, auch Analyse der Einheiten genannt, ist ein Verfahren zur Überprüfung oder im besten Fall zur Entdeckung physikalischer Formeln. Mit Hilfe des Gesetzes der Erhaltung physikalischer Einheiten und dem Wissen darüber, welche Einheit mit einer bestimmten Grösse verbunden ist, können abgeleitete Formeln verifiziert werden. Das Überprüfen der Einheiten dient als Kontrolle des eigenen Ergebnisses und sollte immer angewendet werden. Hierzu ein Beispiel:

Bsp. v.

Angenommen nach einer längeren Rechnung finden wir für eine Kraft die folgende Formel:

$$F = \frac{mv^2}{r},$$

wobei v die Geschwindigkeit und r der Radius ist. Überprüfen Sie, ob die Einheiten dieser Gleichung stimmen.
Lsg: –

$J_{\text{Sg}} =$

Lösung:

Durch die Dimensionsanalyse können auch Einheiten für Größen bestimmt werden, die man noch nicht kennt, wie das folgende Beispiel zeigt.

Bsp. vi.

Wie wir schon bald zeigen werden, hängt die rücktreibende Kraft einer Feder proportional (\sim) von deren Längenänderung (Δy) bezüglich der Ruhelage ab, d. h.

$$F \sim \Delta y.$$

Um aus dieser Proportionalität eine Gleichung zu bekommen, brauchen wir noch einen Proportionalitätsfaktor, nennen wir ihn D , d. h.

$$F = D\Delta y.$$

Doch welche Einheit hat D ?

Lsg: —

Lösung:

Der zweite und wohl wichtigere Grund, weshalb sich die Dimensionsanalyse in der Physik durchgesetzt hat, ist ihre Fähigkeit, Formeln - bis auf eine Konstante - abzuleiten. Hierfür ist lediglich das Wissen über die Abhängigkeiten erforderlich, die häufig durch ein gutes Experiment beobachtbar sind. Um dies zu verdeutlichen, betrachten wir ein einfaches Beispiel.

Bsp. vii.

Die Dichte eines Körpers hängt von dessen Volumen (V) und deren Masse (m) ab. Die Einheit der Dichte (ρ) ist

$$[\varrho] = \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}.$$

Bestimmen Sie die Definition der Dichte.

Lsg.: —

Lösung:

Das bisher von uns angewendete Verfahren ist streng genommen keine Methode, sondern lediglich eine zufällige und ausdauernde Variante der Dimensionsanalyse.

Für eine erfolgreiche Dimensionsanalyse sind Kenntnisse der Potenzrechnung und die Fähigkeit, lineare Gleichungssysteme lösen zu können, notwendig. Da dies Themen sind, die erst später im Mathematikunterricht behandelt werden, wird dieses Thema zu einem späteren Zeitpunkt wieder aufgegriffen und behandelt.

Abschliessend ist es mir wichtig auf den folgenden Unterschied aufmerksam zu machen.

Die meisten physikalischen Größen haben mehrere physikalische Gleichungen, doch jede physikalische Größe hat genau eine SI-Einheit.

Betrachten wir zum Beispiel die Energie, dann kennen wir (oder werden wir noch kennenlernen) die Formeln dafür.

- die Ruheenergie einer Masse $E = mc^2$,
 - die innere Energie $U = \frac{f}{2}k_{\text{B}}T$
 - die Lageenergie einer Masse $E = mgh$ usw.

Doch die Energie hat nur eine Einheit: $[E] = \text{kg} (\text{m}/\text{s})^2$.

1.2 Präfixe

Wie bereits erwähnt, sind uns einige Präfixe bewusst oder unbewusst aus dem Alltag bekannt. Sie haben sogar in der Jugendsprache festen Anklang gefunden, wie zum Beispiel *Das ist mega!* oder *Mega klein!*.

Diese Präfixe entsprechen jeweils einer Potenz von 10 und werden durch einen einzelnen Buchstaben abgekürzt. Die Tabelle enthält die wichtigsten Präfixe⁷.

Präfix	Symbol	Potenz	Seit	Präfix	Symbol	Potenz	Seit
deci	d	10^{-1}	1795				
centi	c	10^{-2}	1795	hecto	h	10^2	1795
milli	m	10^{-3}	1795	kilo	k	10^3	1795
micro	μ	10^{-6}	1964	mega	M	10^6	1960
nano	n	10^{-9}	1960	giga	G	10^9	1960
pico	p	10^{-12}	1960	tera	T	10^{12}	1960
femto	f	10^{-15}	1964	peta	P	10^{15}	1975

In Zukunft werden wir, wenn möglich, grosse und/oder sehr kleine Zahlen abkürzen. Hier ist ein einfaches Beispiel.

Bsp. viii.

50 g einer Masse wird vollständig in Energie umgewandelt. Wie gross ist die Ruheenergie dieser Masse? Schreiben Sie das Resultat möglichst kurz! $c \approx 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ Lsg: $E \approx 4.5 \text{ PJ}$

Lsg: $E \approx 4.5 \text{ PJ}$

Natürlich kommt es häufig vor, dass man Präfixe hinzufügen oder entfernen möchte, um mit Basiseinheiten rechnen zu können. Anhand zweier wichtiger Umrechnungen soll dies im folgenden Beispiel verdeutlicht werden.

Bsp. ix.

Rechnen Sie alle Größen um, sodass sie in ihren Basiseinheiten geschrieben werden können. a) 3.6 km/h und b) 1 g/cm³. Potenzen so weit wie möglich vereinfachen! Lsg: a) 1 m/s, b) 1000 kg/m³

Lsg: a) 1 m/s, b) 1000 kg/m³

⁷Das metrische System wurde 1795 mit sechs Präfixe eingeführt. Die anderen Daten beziehen sich auf eine Anerkennung durch das CGPM (Conférence Générale des Poids et Mesures).

Lösung:	

Es lässt sich also festhalten, dass die Anzahl der Dezimalstellen von der Genauigkeit des Messinstruments abhängt. Bei Verwendung eines Messbands mit Zentimetereinteilung ist ein Messwert von vermutlich 1.5 cm zu erwarten, während bei Verwendung eines Schullineals mit Millimetereinteilung ein Messwert von 1.4 cm zu erwarten ist.

Dieses Beispiel enthält noch eine weitere Schwierigkeit. Es wird behauptet, dass die Seitenlängen der Katheten je 1 cm sind. Doch wie wird dies bestimmt? Vielleicht sind sie 0.99 cm oder 1.001 cm. Dies hätte zur Folge, dass die Hypotenuse ebenfalls eine leicht andere Länge hätte. Gehen wir davon aus, dass wir die Seitenlängen auf zwei Stellen genau kennen, d. h. also je 1.0 cm. In diesem Fall würde eine angemessene Angabe des Ergebnisses wie folgt aussehen: $c \approx 1.4$ cm. Eine höhere Anzahl von Stellen würde keinen Mehrwert bieten, da diese auf Messungen beruhen, die nicht bekannt sind und somit ungenau sein können.

Dies können wir in mathematischer Schreibweise wie folgt allgemein formulieren:

Satz 1: (Anzahl Stellen) Wenn n_1, n_2, \dots, n_k mit $n_i \in \mathbb{N}$, $\forall i$ die Anzahl Stellen der gegebenen oder gemessenen Größen G_1, G_2, \dots, G_k sind, dann muss die Anzahl der Stellen des Resultats

$$n_R \leq \min(n_1, \dots, n_k)$$

sein.

Die exakte Bestimmung der Anzahl von Stellen ist nicht immer trivial und kann zu Unklarheiten führen. Dies soll anhand des folgenden Beispiels verdeutlicht werden:

Bsp. xi.

Geben Sie für jede Zahl die Anzahl der relevanten Stellen an. a) 250 000, b) 25, c) 0.105, d) 0.01320, e) 1 005 und f) 21.0. Lsg: –

Lösung:	

Es ist zu beachten, dass nur Ziffern gezählt werden, wenn die kleinste Stelle ungleich null ist. Anders gesagt, werden nur die Stellen gezählt, bis zur kleinsten Stelle, die von null verschieden ist. Im Folgenden wird das zuvor dargestellte Vorgehen anhand eines Beispiels illustriert.

Bsp. xii.

51 g Masse werde vollständig in Energie umgewandelt. Bestimme Sie die maximale Menge an Energie. (Lichtgeschwindigkeit $c = 299\,792\,458$ m/s) Lsg: $E \approx 4.6$ PJ

Lösung:

Damit haben wir die Einleitung abgeschlossen und können nun endlich mit unserem Thema beginnen: der Mechanik. Wir werden uns bemühen, wichtige Begriffe und Zusammenhänge verständlich zu erklären, ohne dabei unnötig komplexe Terminologie zu verwenden. Die Mechanik bildet das Herzstück der Physik, denn sie beschäftigt sich mit der Bewegung von Körpern und den Kräften, die auf sie einwirken. Dieser Bereich ist äusserst wichtig, jedoch auch anspruchsvoll in der Theorie.

Zusammenfassung Kapitel A1

- Jede physikalische Grösse hat eine wohldefinierte Form. Dazu gehört die physikalische Grösse G , einen Zahlenwert $\{G\}$ und die zur Grösse gehörende Einheit $[G]$. Daraus erhält man:

$$G = \{G\} [G].$$

Eine Ausnahme spielt hier der Zahlenwert null. Da wird häufig kurz $G = 0$ notiert.

- Es gibt insgesamt *sieben* Basiseinheiten in der Physik, wobei wir in der Mechanik für den Anfang mit lediglich drei Basiseinheiten auskommen werden. Nämlich die Einheiten für die Länge $[l] = \text{m}$, Zeit $[t] = \text{s}$ und die Masse $[m] = \text{kg}$.

Wir verwenden das sogenannte metrische System, welches auch *Système international d'unités* genannt wird.

- Eine *zusammengesetzte Einheit* wird durch Multiplikation und/oder Division von Einheiten definiert. Häufig werden für zusammengesetzte Einheiten Abkürzungen verwendet, wie z. B. das Newton $\text{N} \hat{=} \text{kg m/s}^2$.
- Da beide Seiten einer physikalischen Gleichung die gleiche (zusammengesetzte) Einheit haben, d. h.

$$A = B \quad \Rightarrow \quad [A] = [B]$$

können dadurch gewisse Formeln überprüft, hergeleitet oder Einheiten von Grössen abgeleitet werden.

- Präfixe* wie z. B. centi oder mega werden dazu verwendet, Ausdrücke mit grossen Zahlen zu vereinfachen. Präfixe stehen immer für eine *10er Potenz*.
- In der Physik gibt es keine exakten Resultate. Die Genauigkeit eines Resultats hängt davon ab, wie genau man messen kann und wie genau man seine bekannten Grössen kennt.

Konzeptfragen Kapitel A1

1. Entscheiden Sie, ob es sich bei den Begriffen um physikalische Einheiten oder um Größen handelt und ordnen Sie diese zu.

Massen	<input type="checkbox"/>	Einheit
Geschwindigkeit	<input type="checkbox"/>	Einheit
Meter	<input type="checkbox"/>	Einheit
Kilogramm	<input type="checkbox"/>	Einheit
Zeit	<input type="checkbox"/>	Einheit
Sekunde	<input type="checkbox"/>	Einheit
Kraft	<input type="checkbox"/>	Größen
Kilometer pro Stunde	<input type="checkbox"/>	Größen
Newton	<input type="checkbox"/>	Größen
Pascal	<input type="checkbox"/>	Größen

2. Eine besonders schnelle Schnecke legt in einer Stunde 3.6 m zurück. Wie schnell ist sie?
- Die Geschwindigkeit der Schnecke ist 0.001 m/s.
 - Die Geschwindigkeit der Schnecke ist 1 mm/s.
 - Die Geschwindigkeit der Schnecke ist 0.00036 km/h.
 - Die Geschwindigkeit der Schnecke ist 0.0036 km/h.
 - Die Geschwindigkeit der Schnecke ist 0.036 km/h.
 - Die Geschwindigkeit der Schnecke ist 0.0001 m/s.
3. Jede physikalische Größe hat eine Einheit, die durch eine nicht redundante Kombination von Basiseinheiten dargestellt werden kann.
- Ja das stimmt!
 - Nein, das stimmt nicht!
 - Ja, sofern man die Naturkonstanten nicht berücksichtigt.
 - Nein, da die Einheiten von gewissen Größen durch SI-Einheiten darstellt werden.
4. Wir betrachten eine Reibungskraft F , die kubisch von der Geschwindigkeit v abhängt, d.h. $F = kv^3$. Welche SI-Einheiten hat der Reibungskoeffizient k ?
- $[k] = \text{kg s}^{-1}$
 - $[k] = \text{kg s m}^{-2}$
 - $[k] = \text{kg m}^{-1}$
 - $[k] = \text{kg s}^{-2}$

Aufgaben Kapitel A1

Weitere einfachere Aufgaben mit ausführlichen Lösungen findet man unter:

<https://www.dropbox.com/sh/m9vlo6gwqli3nds/AABWhKMXUJG70jsXx7ovB-fDa?dl=0> in den Anhängen A, C & E.



- Wieviel Energie steckt in $m = 5\text{ ng}$ Masse, wenn sie vollständig in Energie umgewandelt wird? (Geben Sie das Resultat so kurz wie möglich an.)

Lsg: $E \approx 0.45\text{ MJ}$

- Rechnen Sie alle Größen um, sodass sie in ihren SI-Einheiten ohne Präfixe (Ausnahme: Kilogramm) geschrieben werden können. Potenzen so weit wie möglich vereinfachen!

a. $v = 3\text{ m/min}$

d. $m = 18\text{ fg}$

g. $P = 1\text{ kJ/ms}$

b. $l = 5\text{ }\mu\text{m}$

e. $V = 3\ell$

c. $T = 10\text{ nK}$

f. $\varrho = 12\text{ g/cm}^3$

h. $E = 20\text{ g km}^2/\text{h}^2$

Lsg: a. $v = 0.05\text{ m/s}$ b. $l = 5 \cdot 10^{-6}\text{ m}$ c. $T = 10 \cdot 10^{-9}\text{ K}$ d. $m = 18 \cdot 10^{-18}\text{ kg}$ e. $V = 0.003\text{ m}^3$
f. $\varrho = 12 \cdot 10^3\text{ kg/m}^3$ g. $P = 10^6\text{ J/s}$ h. $E \approx 1.54 \cdot 10^{-3}\text{ J}$

- In den folgenden Teilaufgaben sollen Sie eine Formel für die jeweilige Größe finden, wobei Sie lediglich auf die Einheiten achten müssen.

a. Schreiben Sie eine Formel der Frequenz f hin, sofern $[f] = 1/\text{s} = \text{Hz}$ ist.

b. Schreiben Sie eine Formel der Beschleunigung a hin, sofern $[a] = \text{m/s}^2$ ist.

c. Schreiben Sie eine Formel für die Periode T als Funktion von der Länge l und der Erdbeschleunigung g hin, sofern $[T] = \text{s}$ ist.

d. Schreiben Sie eine Formel für die Zentripetalbeschleunigung a_z als Funktion der Geschwindigkeit v und des Radius r hin.

Lsg: a. $f = \frac{1}{T}$ b. $a = \frac{l}{t^2}$ c. $T \sim \sqrt{\frac{l}{g}}$ d. $a_z = \frac{v^2}{r}$

- Geben Sie die folgenden Sätze als Formeln an.

a. Die Einheit von der Energie ist Joule.

b. Die Definition der Geschwindigkeit ist Weg durch Zeit.

c. Die Einheit der Energie pro Meter ist gleich der Einheit der Kraft (F).

d. Das Newton'sche Gesetz lautet: Kraft ist gleich der Masse mal die Beschleunigung (a).

Lsg: a. $[E] = J$ b. $v = \frac{s}{t}$ c. $[F] = [E]/m$ d. $F = ma$

- Die Gravitationskraft folgt der Formel $F = G \cdot \frac{m_1 m_2}{r^2}$, wobei $[F] = [E]/\text{m}$, $[r] = \text{m}$, $[m_1] = \text{kg}$ und $[m_2] = \text{kg}$ ist. Aus welchen Basiseinheiten ist G zusammengesetzt, damit die Gleichung physikalisch sinnvoll ist?

Lsg: $[G] = \text{m}^3/(\text{kg} \cdot \text{s}^2)$

- Sie haben gelernt, dass die Bewegungsenergie einer Masse durch die Formel: $E = \frac{1}{2}mv^2$ berechnet werden kann. Bestimmen Sie die Bewegungsenergie einer Biene, wenn folgende Größen gegeben sind: $m = 180\text{ mg}$ und $v = 90.3\text{ dm/s}$.

Lsg: $E \approx 7.3\text{ mJ}$

Literaturverzeichnis

- [1] URL: http://de.wikipedia.org/wiki/Mars_Climate_Orbiter, Juni 2012
- [2] URL: http://de.wikipedia.org/wiki/Internationales_Einheitensystem, Juni 2012
- [3] Wikipetzi, IngenieroLoco - Eigenes Werk. Based on File: Relations between new SI units definitions.png, CC BY-SA 4.0,
URL: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=40278935>
- [4] CMS Collaboration, *Combination of results on the rare decays $B_{(s)}^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-$ from the CMS and LHCb experiments*, CMS-PAS-BPH-13-007
- [5] Aoyama, Tatsumi and Hayakawa, Masashi and Kinoshita, Toichiro and Nio, Makiko, *Tenth-Order QED Contribution to the Electron g-2 and an Improved Value of the Fine Structure Constant*, Phys. Rev. Lett. Vol. 109, 2012, 10.1103/PhysRevLett.109.111807
- [6] URL: <http://de.wikipedia.org/wiki/Steradian>, Juni 2012
- [7] Aristoteles,
- [8] Galileo Galilei, *De motu*, 1590
- [9] DMK/DPK, *Formeln und Tafeln*, Orell Füssli, 7. Auflage, 1997
- [10] F. A. Brockhaus, *Der grosse Brockhaus*, 16. Auflage, 1955
- [11] URL: <http://www.quartets.de/acad/firstlaw.html>, September 2013
- [12] URL: <http://www.educ.ethz.ch/unt/um/phy/me/kreis/index>
- [13] Lewis C. Epstein, *Denksport Physik*, dtv, 9. Auflage, 2011
- [14] Harry Nussbaumer, *Astronomie*, 7. Auflage, 1999, vdf Hochschulverlag AG
- [15] URL: <http://lexikon.astronomie.info/mars/beobachtung2012/>, April 2013
- [16] Matthias Bartelmann, *Das Standardmodell der Kosmologie, Teil 1 und Teil 2 in Sterne und Weltraum*, Ausgabe: August 2007
- [17] Roman Sexl et al. *Einführung in die Physik - Band 1 & 2*, 3. korrigierte Auflage 2009, Sauerländer Verlag AG
- [18] Paul A. Tipler, *Physik*, Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg, Berlin, Oxford, 2. Auflage, 1994
- [19] URL: <https://www.etsy.com/ch/listing/1230366346/precision-made-scientific-mechanical>
- [20] Hans Kammer, Irma Mgelandze, *Physik für Mittelschulen*, 1. Auflage 2010, hep Verlag AG
- [21] URL: <https://www.auto-motor-und-sport.de/news/aerodynamik-report-spritsparmodelle-aus-dem-windkanal>
- [22] Wikipedia, URL: <http://de.wikipedia.org/wiki/Fluid>, August 2013
- [23] Basiswissen Schule Physik, Duden Paetec, Berlin 2010
- [24] URL: <http://www.schulserver.hessen.de/>, Oktober 2013
- [25] URL: <http://www.leifiphysik.de>, September 2013
- [26] URL: <http://photos.zoochat.com>, Semptember 2013

- [27] URL: <http://www.lab-laborfachhandel.de>, Oktober 2013
- [28] Bissig Michael, *Schwimmwelt, Schwimmen lernen - Schwimmtechnik optimieren*, Schulverlag, Bern,
- [29] URL: https://elearning.physik.uni-frankfurt.de/data/FB13-PhysikOnline/lm_data/lm_282/auto/kap09/cd259.htm, März 2014
- [30] URL: <https://www.vibos.de/veranstaltung/physik-teil-3-von-4-schwingungen-und-wellen>, März 2024
- [31] URL: <https://lp.uni-goettingen.de/get/text/707>
- [32] E.F.F. Chladni, *Die Akustik*, Taschenbuch Auflage 2012, Nabu Press
- [33] URL: <http://ephex.phys.ethz.ch>, Februar 2015
- [34] URL: <http://aufzurwahrheit.com/physik/quantenmechanik-5461.html>, März 2015
- [35] M. Cagnet, M. Françon, J.C. Thierr, *Atlas opitscher Erscheinungen*, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York 1962
- [36] Bruno Cappeli et al. *Physik anwenden und verstehen*, Orell Füssli Verlag AG, 2004
- [37] Richard P. Feynman, *QED - Die seltsame Theorie des Lichts und der Materie*, Piper, 3. Auflage, 2018
- [38] Keith Johnson, *Physics for You: Revised National Curriculum Edition of GCSE*, Nelson Thornes, 2001
- [39] URL: <https://tu-dresden.de/mn/physik/ressourcen/dateien/studium/lehrveranstaltungen/praktika/pdf/TA.pdf?lang=en>, Juli 2018
- [40] Wolfgang Demtröder, *Experimentalphysik 1 - Mechanik und Wärme*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2. Auflage, 1998
- [41] Unbekannt, *Engraving of Joule's apparatus for measuring the mechanical equivalent of heat*, Harper's New Monthly Magazine, No. 231, August, 1869
- [42] URL: <http://www.tf.uni-kiel.de>, März 2014
- [43] URL: [http://de.wikipedia.org/wiki/Entropie_\(Thermodynamik\)](http://de.wikipedia.org/wiki/Entropie_(Thermodynamik)), März 2014
- [44] URL: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:20070616_Dampfmaschine.jpg, März 2014
- [45] URL: <http://en.wikipedia.org/wiki/Image:Bcoulomb.png>, März 2014
- [46] URL: <http://www.bader-frankfurt.de/widerstandscode.htm>, August 2014
- [47] Carl D. Anderson, *The Positive Electron*. Physical Review 43 (6): 491–494
- [48] URL: <http://pgd5.physik.hu-berlin.de/elektrostatik/ele12.htm>, Oktober 2014
- [49] URL: <http://www.aip.org/history/lawrence/radlab.htm>, Oktober 2014
- [50] URL: http://www.solstice.de/grundl_d_tph/exp_besch/exp_besch_04.html, Oktober 2014
- [51] URL: <https://lp.uni-goettingen.de/get/text/6639>, Oktober 2017
- [52] URL: <https://de.serlo.org/52586/elektromagnetische-wellen>, Oktober 2017
- [53] URL: https://de.wikipedia.org/wiki/Elektromagnetisches_Spektrum, August 2022
- [54] URL: <https://de.wikipedia.org/wiki/Zahnradmethode>, September 2022
- [55] URL: <https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Double-Rainbow.jpg>, November 2023
- [56] URL: <https://de.wikipedia.org/wiki/Regenbogen>, April 2024
- [57] Proton-Proton Kollision, CERN, Lucas Taylor
- [58] Ze'ev Rosenkranz, *Albert Einstein – Derrière l'image*, Verlag Neue Zürcher Zeitung, 2005.
- [59] Albert Einstein, *Zur Elektrodynamik bewegter Körper*, Annalen der Physik 17 (10): 891–921.
- [60] Albert Einstein, *Über die spezielle und die allgemeine Relativitätstheorie*, Springer-Verlag, 23. Auflage, 1988

- [61] Wikipedia, https://de.wikipedia.org/wiki/Relativitat_der_Gleichzeitigkeit, August 2018
- [62] URL: <http://static.a-z.ch>, März 2015
- [63] Max Planck, *Vom Relativen zum Absoluten*, Naturwissenschaften Band 13, 1925
- [64] A. H. Compton, *The Spectrum of Scattered X-Rays*, Physical Review 22 (5 1923), S. 409–413
- [65] URL: <http://www.peter-glowatzki.de>, Mai 2015
- [66] James Franck, *Transformation of Kinetic Energy of Free Electrons into Excitation Energy of Atoms by Impacts*, Nobel Lectures, Physics 1922-1941
- [67] URL: <http://www.leifiphysik.de/themenbereiche/quantenobjekt-elektron/versuche>, Mai 2015
- [68] David Prutchi, Shanni Prutchi, *Exploring Quantum Physics through Hands-on Projects*, Wiley, 1 edition (February 7, 2012)
- [69] URL: <http://w3.ppp1.gov/>, September 2015
- [70] O. Hofling, Physik. Band II Teil 1, Mechanik, Wärme. 15. Auflage. Ferd. Dummfers Verlag, Bonn 1994
- [71] Kovalente Atomradien auf Basis der Cambridge Structural Database
URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Cambridge_Structural_Database, April 2018
- [72] G. Audi und A.H. Wapstra, Nuclear Physics A595, 409 (1995)
- [73] URL: <https://de.wikipedia.org/wiki/Gammastrahlung>, April 2018
- [74] URL: <http://www.wn.de/Muenster/2012/07/Das-Wunder-von...>, Juni 2012
- [75] L. Susskind und G. Hrabovsky, *The Theoretical Minimum - What you need to know to start doing physics*, Basic Books, 2014