Dieses Dokument wurde von **Christian Buth** erstellt.

Es ist auf meinen Internetseiten unter

http://www.Christian.Buth.mysite.de

frei erhältlich.

Sollten Sie Probleme mit der Anzeige haben oder einen Fehler entdecken, wenden Sie sich bitte an

cbuth@ix.urz.uni-heidelberg.de .

Physikalische Größen

Zusammensetzung einer physikalischen Größe

Im Zuge der Beschäftigung mit der Physik kommt man nicht umhin sich mit dem häufig verwendeten Begriff **physikalische Größe**[1] auseinanderzusetzen. Physikalische Größen, werden in Gleichungen durch sogenannte *Formelzeichen* repräsentiert. Das sind Abkürzungen von ihren meist lateinischen oder griechischen Namen. Die Größe *Weg* wird durch das Formelzeichen *s* dargestellt, welches eine Abkürzung des lateinischen Wortes spatium ist. Physikalische Größen werden kursiv gedruckt und als Produkt aus **Zahlenwert** und der entsprechenden **Einheit** angegeben:

$$u = \{u\} \cdot [u].$$

Das u ist hierbei die physikalische Größe. Möchte man nun in einer allgemeinen Gleichung, in der dir Größe u als Formelzeichen auftaucht, den reinen Zahlenwert der Größe verwenden, so setzt man sie in geschweifte Klammern: $\{u\}$. Häufig ist es besonders wichtig nur die Einheit zu betrachten. Hierzu schreibt man das Formelzeichen in eckige Klammern: $[u]$. Ein Beispiel wir die Zusammenhänge anschaulich darstellen:
Das Volumen eines Würfels mit der Kantenlänge $l = 10\ \mathrm{cm}$ beträgt $V = 1000\ \mathrm{cm}^3 = 1\ \mathrm{l}$ (Definition des Liters). Wie ist die physikalische Größe l zusammengesetzt? Als Zahlenwert erhält man 10: $\{l\} = 10$. Jetzt wird auch die imense Bedeutung der Angabe einer Einheit und gegebenenfalls eines Präfixes, wird im folgenden Teil erläutert, ersichtlich. Die simple Angabe von 10 kann alles bedeuten $10\ \mathrm{kg}$, 10 Äpfel oder auch $10\ \mathrm{cm}$. Erst durch die Multiplikation von 10 mit der Einheit $1\ \mathrm{cm}$ wird die Bedeutung des Sachverhaltes klar. Die Einheit ist also: $[l] = 1\ \mathrm{cm}$. Kompakt bedeutet das: $l = \{l\} \cdot [l] = 10 \cdot 1\ \mathrm{cm} = 10\ \mathrm{cm}$. Verfahren Sie mit dem ebenfalls oben angegebenen Volumen V gleichermaßen! Es ergibt sich, jenachdem welche der beiden Angaben des Volumens sie zugrundegelegt haben, als Zahlenwert: $\{V\} = 1000$ oder $\{V\} = 1$ und als Einheit $[V] = 1\ \mathrm{cm}^3$ oder $[V] = 1\ \mathrm{l}$. Im Normalfall schreibt man aber nicht Einheit und Zahlenwert einer Größe getrennt auf, sondern notiert einfach $l = 10\ \mathrm{cm}$ oder $V = 1000\ \mathrm{cm}^3 = 1\ \mathrm{l}$. Die Beschränkung auf die Einheit einer physikalischen Größe ist zum Beispiel bei Einheitenüberprüfungen notwendig. Eine Tabelle enthält für gewöhnlich nur Zahlen, im Tabellenkopf ist dann die Einheit anzugeben. Beachten Sie, daß die **Einheit einer Zahl**, die eins ist: $\left[\frac{1}{2}\right] = [\pi] = 1$. Mit Einheiten wird wie mit Variablen in der Mathematik gerechnet.

Skalare und vektorielle Größen

Physikalische Größen können entweder **Skalare** oder **Vektoren** sein. Unter Skalaren versteht man Größen, die durch die Angabe von Zahlenwert und Einheit vollständig beschrieben werden. Temperatur, Arbeit, Masse, Stoffmenge, Energie, Zeit, Wärmemenge, etc.

Eine andere Spezies sind die sogenannten vektoriellen Größen. Hier ist es neben dem Größenwert auch noch nötig ihre Richtung anzugeben. Weg, Kraft, Beschleunigung, Geschwindigkeit, etc. Es ist nämlich nicht egal welche Richtung beispielsweise die Geschwindigkeit hat. Ob es nach oben, unten, rechts, links oder sonst wohin geht, das ist sehr wichtig. Vektoren kennzeichnet man allgemein mit einem Pfeil über dem Formelzeichen einer physikalischen Größe. Für den Weg ist es dann: $\vec{s}$. Gelegentlich ist es nicht notwendig Die Richtung eines Vektors zu betrachten, denn die ist klar z. B. beim freien Fall. Dann schreibt man einfach die Größe ohne Vektorpfeil und rechnet nur mit den Beträgen der Vektoren.

---

[1]Eine physikalische Größe gibt eine Zustand an (z. B. Temperatur), beschreibt einen Vorgang (z. B. Geschwindigkeit) oder quantifiziert eine Eigenschaft eines Körpers (z. B. Masse).

Basisgrößen und abgeleitete Größen

Wenn man die Natur mathematisch beschreiben möchte, so kommt man nicht umhin die Einheiten einiger Größen zu definieren, ihren Wert willkürlich festzulegen! Die Größen, deren Einheiten auf diese Weise geschaffen worden sind, nennt man: **physikalische Basis-** oder **Grundgrößen**. Es existiert noch eine weitere Art von Größen, die als **abgeleiteten physikalischen Größen** bezeichnet werden, da sich ihre Einheiten aus denen mehreren Basisgrößen zusammensetzen. Diese neuen zusammengesetzten Einheiten erhalten zur Bequemlichkeit und Platzersparnis häufig einen neuen Namen. So nennt man die Einheit für die Kraft: $[F]=[m]\cdot[a]=1\,\frac{\mathrm{kg}\cdot\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}=1\ \mathrm{Newton}=1\ \mathrm{N}$. Abgeleitete Größen stellen die Hauptmasse an physikalischen Größen.

Die Beliebigkeit der Festlegungen der physikalischen Basisgrößen wird ihnen plastisch vor Augen geführt, wenn sie an die, ihnen sicherlich zu einigen Grundgrößen bekannte, Entstehungsgeschichte denken, so gab es für die Länge duzende von landestypischen Maßen, um einige zu nennen Elle, Fuß, Zoll, Meile oder auch das Meter. Auch die Einheit der Temperatur hat einige Veränderungen durchgemacht. Die Celsius-, Fahrenheit- oder Kelvinskala sind nur einige Beispiele. Eine vollständige Tabelle der sieben Basisgrößen der Physik:

Basisgröße	Name	Einheitenzeichen
Länge	das Meter	m
Masse	das Kilogramm	kg
Zeit	die Sekunde	s
Stromstärke	das Ampere	A
Temperatur	das Kelvin	K
Lichtstärke	die Candela	cd
Stoffmenge	das Mol	mol

.

Größengleichungen und Einheitengleichungen

Man unterscheidet im Bereich der Physik zwei grundverschiedene Formen von Gleichungen. Die erstere nennt sich **Größengleichung**. Sie beschreibt die Abhängigkeit physikalischer Größen voneinander. Sie entspricht am ehesten einer allgemeinen Gleichung mit Variablen aus der Mathematik. Ich möchte hier der Einfachheit einer Größengleichung angeben, beispielsweise die Berechnung des Volumens eines Quaders: $V=l\cdot b\cdot h$. Hier wird die Abhängigkeit der Größe Volumen von den Größen Länge, Breite und Höhe beschrieben.

Die zweite Form von Gleichung ist die **Einheitengleichung**. Mit ihrer Hilfe ist es möglich die Einheit einer abgeleiteten Größe zu bestimmen. Hierzu zieht man die oben erwähnte Größengleichung heran und formt sie derart um, daß die physikalische Größe, deren Einheit ermittelt werden soll, vereinzelt auf der linken Seite steht. Bei der obigen Gleichung ist dies bereits der Fall. Nun setzt man alle Größen in eckige Klammern [§1.1]: $[V]=[l]\cdot[b]\cdot[h]$. Das Einsetzen der Einheiten der Größen, meist ohne Präfix [§1.5], führt zu dem Ergebnis, der Einheit der auf der linken Seite vereinzelt stehenden Größe: $[V]=1\ \mathrm{m}\cdot 1\ \mathrm{m}\cdot 1\ \mathrm{m}=1\ \mathrm{m}^3$.

Präfixe als Ersatz für die wissenschaftliche Notation

Unter „wissenschaftlicher Notation„ versteht man die Synthese einer Zahl aus einem Multiplikator und einer Zehnerpotenz: $5\cdot 10^3$. Dies hat den Vorteil einer kompakten Schreibweise, die auch bei sehr großen Werte in ihrer Länge nicht wesentlich zunimmt. Das obige Beispiel ist gleichbedeutend mit 5000 hingegen $2{,}998\cdot 10^8\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$ (Lichtgeschwindigkeit im Vakuum) würde ausgeschrieben schon sehr an Umfang gewinnen.

Potenzen im Bereich von 20 sind in der Physik, häufig in der Astrophysik bei Längenangaben, keine Besonderheit. Man kann sich nun schon mit diesem Mittel der Verkürzung zufrieden geben. In den Naturwissenschaften geht man aber noch einen Schritt weiter, man gibt prominenten Zehnerpotenzen Namen:

Präfix	Kürzel	Faktor
exa-	E	10^{18}
peta-	P	10^{15}
tera-	T	10^{12}
giga-	G	10^{9}
mega-	M	10^{6}
kilo-	k	10^{3}
hecto-	h	10^{2}
deca-	da	10^{1}

Präfix	Kürzel	Faktor
deci-	d	10^{-1}
centi-	c	10^{-2}
milli-	m	10^{-3}
micro-	µ	10^{-6}
nano-	n	10^{-9}
pico-	p	10^{-12}
femto-	f	10^{-15}
atto-	a	10^{-18}

.

Häufig findet man auch etwas andere Schreibweisen der Präfixe: hekto (hecto), deka (deca), dezi (deci), zenti (centi), mikro (micro) und piko (pico).
Der Ersatz von Zehnerpotenzen durch ein Präfix vor die Einheit ermöglicht einem eine verkürzte übersichtlichere Schreibweise. Man setzt vor die spezielle Einheit lediglich ein Kürzel und es ist der gleiche Effekt, als wenn man die Zehnerpotenz als Multiplikator hinzugefügt hätte. Ein Dialog auf dem Markt vereinfacht sich also von: „Ich hätt' gerne $2 \cdot 10^3 \text{g}$ Kartoffeln" zu „Ich hätt' gerne zwei Kilo(gramm) Kartoffeln".
Um eine Zahl ohne Präfix z. B. $0{,}000000000160217733 \text{ C}$ (Elementarladung) in eine Zahl mit Präfix umzuwandeln, schreibe man die Größe erst einmal in Potenzschreibweise: $1{,}60217733 \cdot 10^{-19} \text{ C}$. Nun suche man das Präfix, dessen Zehnerpotenz am nächsten an der der Zahl liegt, in diesem Fall atto- mit 10^{-18}. Man dividiere nun die Zehnerpotenz der Zahl durch die Zehnerpotenz des Präfixes und erhält: $1{,}60217733 \cdot \frac{10^{-19}}{10^{-18}} \text{ C} = 1{,}60217733 \cdot 10^{-1} \text{ aC} = 0{,}160217733 \text{ aC}$. Die resultierende Restzehnerpotenz ist nun $10^{-1} = 0{,}1$. Vor die Einheit muß jetzt nur noch die Abkürzung des Präfix geschrieben werden und es ergibt sich, wie bereits oben angeführt: $0{,}160217733 \text{ aC}$.
Rückgängigmachen des beschriebenen Vorganges ist trivial. Man sucht lediglich aus der obenstehenden Tabelle, die man im Kopf haben sollte, die zu dem Kürzel gehörige Zehnerpotenz heraus und multipliziert die Zahl damit. Das Kürzel muß danach natürlich von der Einheit entfernt werden: $1{,}60217733 \cdot 10^{-1} \text{ aC} = 1{,}60217733 \cdot 10^{-1} \cdot 10^{-18} \text{ C} = 1{,}60217733 \cdot 10^{-19} \text{ C}$.

Einheitenumwandlung

Bei der Beschäftigung mit physikalischen Problemen wird man häufig vor die Aufgabe gestellt Einheiten mit Präfix in solche ohne und umgekehrt umzuwandeln. Auch im täglichen Leben treten immer wieder solche Erfordernisse auf. So zum Beispiel beim Abwiegen von Zutaten zu einem Kuchen. Angenommen es sollen $1{,}5 \text{ kg}$ Mehl eingewogen werden. Die Wage zeigt das Gewicht aber nur in Gramm an. Intuitiv und ohne zu überlegen führt der Bäcker eine Einheitenumwandlung durch: $1{,}5 \text{ kg} = 1500 \text{ g}$. An diesem Beispiel ist schon eine wichtige Gegebenheit zu erkennen:

Wandelt man eine größere in eine kleinere Einheit um, so multipliziert man den Größenwert mit einem Faktor.

Umgekehrt gilt natürlich auch:

Wandelt man eine kleinere in eine größere Einheit um, so dividiert man den Größenwert durch einen Wert.

Der Wert, mit dem im ersten Fall multipliziert wird, und durch den im zweiten Fall dividiert wird ist bei den gleichen zu wandelnden Größen, die nur in verschiedener Reihenfolge auftreten, identisch. Wenn man den Vorgang der Umwandlung noch weiter formalisiert, so ist man auch in der Lage komplizierte Einheitenumwandlungen durchzuführen, bei denen sich das Ergebnis nicht mehr so leicht angeben läßt, wie in dem oben angeführten Musterbeispiel.
Als ersten Schritt hierzu wird nicht mehr intuitiv gearbeitet, sonder algebraisch. Ausgehen werde ich hierbei von $1{,}5\ \mathrm{kg}$ Mehl. Mit welchem algebraischen Ausdruck muß ich nun $1{,}5\ \mathrm{kg}$ multiplizieren, damit man $1500\ \mathrm{g}$ als Ergebnis erhält? Die Lösung ist überraschend, wie ich meine, auch überraschend einfach. Da mit Einheiten, wie mit Variablen in der Mathematik gerechnet wird, so kann man $1{,}5\ \mathrm{kg}$ mit einem Bruch erweitern, der ausgerechnet eins ergibt. Es gilt ja die Gleichung: $1000\ \mathrm{g} = 1\ \mathrm{kg}$, die man sofort, auch für jede beliebige mit oder ohne Präfix versehene Größe aufstellen kann. Dividiert man nun durch $1\ \mathrm{kg}$, so erhält man den benötigten Multiplikator eins: $\frac{1000\ \mathrm{g}}{1\ \mathrm{kg}} = 1$. Sie werden sich jetzt vielleicht fragen, warum der nicht durch $1000\ \mathrm{g}$ geteilt hat, ist ja auch möglich, aber hier nicht sinnvoll. Es soll ja von Kilogramm nach Gramm umgewandelt werden. Gramm soll im Zähler stehen, Kilogramm muß sich wegkürzen. Da die Einheit Kilogramm bei der Ausgangsgröße $1{,}5\ \mathrm{kg}$ im Zähler steht, so muß die Einheit Kilogramm bei dem Multiplikator im Nenner stehen, sonst kürzen sich die beiden ja nicht weg! Lange Rede kurzer Sinn: $1{,}5\ \mathrm{kg} \cdot \frac{1000\ \mathrm{g}}{1\ \mathrm{kg}} = 1500\ \mathrm{g}$. In umgekehrter Umwandlungsrichtung ergibt sich dann $1500\ \mathrm{g} \cdot \frac{1\ \mathrm{kg}}{1000\ \mathrm{g}} = 1{,}5\ \mathrm{kg}$.

Wie groß ist die Geschwindigkeit eines Autos in $\frac{\mathrm{km}}{\mathrm{h}}$, wenn es sich mit $1\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$ langsam fortbewegt? Intuitiv ist da nichts mehr zu machen. Das Ergebnis muß nach der oben beschriebenen Art und Weise Stück für Stück ermittelt werden. Als Erstes nehme ich mir die Einheim Meter vor: $1\ \mathrm{km} = 1000\ \mathrm{m} \Leftrightarrow \frac{1\ \mathrm{km}}{1000\ \mathrm{m}} = 1$. Multipliziert mit $1\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$ ergibt sich: $1\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}} \cdot \frac{1\ \mathrm{km}}{1000\ \mathrm{m}} = 1\ \frac{1\ \mathrm{km}}{1000\ \mathrm{s}}$. Nun die Sekunden: $1\ h = 60\ \mathrm{min} = 60^2 \mathrm{s} = 3600\ \mathrm{s} \Leftrightarrow \frac{3600\ \mathrm{s}}{1\ \mathrm{h}} = 1$. Multipliziert mit $1\ \frac{1\ \mathrm{km}}{1000\ \mathrm{s}}$ ergibt sich die endgültige Lösung: $1\ \frac{1\ \mathrm{km}}{1000\ \mathrm{s}} \cdot \frac{3600\ \mathrm{s}}{1\ \mathrm{h}} = 1\ \frac{3600\ \mathrm{km}}{1000\ \mathrm{h}} = 3{,}6\ \frac{\mathrm{km}}{\mathrm{h}}$. Normalerweise bricht man den Vorgang nicht in solch kleine Stück auf, sondern schreibt einfach:

$$\boxed{1\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}} \cdot \frac{1\ \mathrm{km}}{1000\ \mathrm{m}} \cdot \frac{3600\ \mathrm{s}}{1\ \mathrm{h}} = 3{,}6\ \frac{\mathrm{km}}{\mathrm{h}}}.$$

Nicht ohne Absicht liegt nun auch eine allgemeine Gleichung zur Umwandlung von $\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$ in $\frac{\mathrm{km}}{\mathrm{h}}$ vor. Man multipliziert einfach beide Seiten mit einem Zahlenwert in $\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$ und erhält dann ein Ergebnis in $\frac{\mathrm{km}}{\mathrm{h}}$. Es soll ermittelt werden, wieviel $14\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$ in $\frac{\mathrm{km}}{\mathrm{h}}$ sind: $14\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}} = 14 \cdot 3{,}6\ \frac{\mathrm{km}}{\mathrm{h}} \approx 50\ \frac{\mathrm{km}}{\mathrm{h}}$.

Möchte man wissen, wieviel $50\,\frac{\text{km}}{\text{h}}$ in $\frac{\text{m}}{\text{s}}$ sind, so dividiere man die oben stehende eingerahmte Gleichung durch 3,6. Nun noch den Zahlenwert in $\frac{\text{km}}{\text{h}}$ einsetzen, fertig: $50\,\frac{\text{km}}{\text{h}} = 50 \cdot \frac{1}{3{,}6}\,\frac{\text{m}}{\text{s}} \approx 14\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$.