

1

Mit zweierlei Maß gemessen



Als im 17. und 18. Jahrhundert noch jeder Landesfürst sein Recht auf Münz- und Maßfreiheit wahrnahm, gab es nahezu 132 verschiedene Ellenmaße (die Elle bezeichnet den Abstand zwischen der Spitze des Zeigefingers und dem Ellenbogen eines Armes). Kaufte nun jemand Stoff, so wurde in einer Handelsstadt mit einem hölzernen Stab, der Leinwand-Elle (63 cm) abgemessen. Fühlte sich ein Händler unbeobachtet, griff er schon mal unauffällig zu der kürzeren Handels-Elle (58 cm) und maß damit weiter. Er hatte mit zweierlei Maß gemessen.



Glaubst du, dass so etwas heute passieren kann? Zentimetermaßstäbe, Uhren und Waagen sind immer geeicht (TÜV-geprüft und verlässlich). Der Weg zu einer einheitlichen Messung war ein langer Weg .

In diesem Kapitel möchte dich mitnehmen auf diesen Weg über

- ⊙ menschengemachte Messgrößen
- ⊙ Reaktionszeiten
- ⊙ Absprachen in der Physik
- ⊙ erste Formeln

1



Was ist eigentlich eine Sekunde?

Wie schnell ein Mensch reagiert, kann über Leben und Tod entscheiden. Mit dem folgenden Versuch kannst du ohne großen technischen Aufwand die Reaktionszeit messen.

Versuch 1

Die jeweilige Testperson (dein Großvater oder Bruder oder ...) soll ein nach unten fallendes Lineal möglichst schnell auffangen. Dazu hältst du als der Tester (linke Hand) ein Lineal zwischen Daumen und Zeigefinger deiner Versuchsperson (rechte Hand). Lenke die Versuchsperson etwas ab und lasse das Lineal fallen.

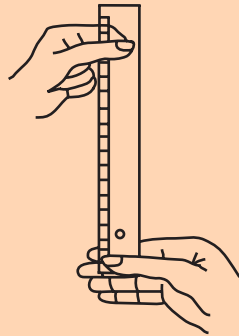


Abb. 1.1: Ermittlung der Reaktionszeit

Je schneller die Testperson zugreift, desto geringer ist die Falltiefe des Lineals und desto kürzer ist die Reaktionszeit.

Versuch 2

Wiederhole diesen Versuch mit einer Spielkarte aus einem Skatblatt.

Versuch 3

Fühle deinen Puls am Handgelenk (lege dazu den Zeige- und Mittelfinger der linken Hand gleichzeitig auf die Innenseite des rechten Unterarms direkt unterhalb des Handgelenkes). Wenn das nicht gleich klappt, bitte doch einen Erwachsenen um Hilfe.



Menschliche Maße

Deine *Messungen* liefern vielleicht 11 cm Fallstrecke des Lineals, das in der Regel ein guter Wert für eine Reaktionszeit ist.

Ein Physiker ist bei seiner Arbeit auf Messungen angewiesen. Zu jeder Messung benötigt er eine Messgröße, eine Maßeinheit und ein Messgerät.

Was denkst du, wird Zeit in Zentimeter angegeben? Welche Messgeräte sich für die Zeit- und Längenmessung eignen und in welcher Maßeinheit diese Größen heute nach internationalen Vereinbarungen ermittelt werden, erfährst du auf einer Reise durch die Geschichte der *Maßbänder*, die von Menschen entdeckt und festgelegt wurden.

Menschliche Maße

Eine Sekunde entspricht etwa der Dauer eines Herzschlages als auch dem Zeitbedarf eines menschlichen Schrittes beim normalen Gehen. Der Schiedsrichter in einem Fußballspiel schreitet bei einem Freistoß die neun Meter mit weiten Schritten ab, seine Schrittweite beträgt etwa ein Meter. Ebenso wie das Meter und die Sekunde scheint auch das Kilogramm eine menschliche Größe zu sein.

Wir nehmen täglich ungefähr ein Kilogramm feste und ein Kilogramm flüssige Nahrung zu uns und müssen diese Massen auch täglich wieder abgeben. Vielleicht sind unsere Armmuskeln deshalb vorsorglich mit einer Muskelkraft ausgestattet, die es uns erlaubt, ein Kilogramm Zucker oder Mehl mühelos zu heben.

Nun kannst du dir vorstellen, dass der Puls ebenso wie die Schrittweite von Menschen unterschiedlich sein können, ganz zu schweigen von der Menge, die wir täglich so »verputzen«.

Die Zeitmessung

Zeiten werden mit Uhren gemessen. Diese zählen Vorgänge, die sich regelmäßig wiederholen, wie Schwingungen von Pendeln oder Quarzen.



1



Für die Zeiteinheiten werden noch heute Bezeichnungen von Vorgängen benutzt, die schon im Altertum verwendet wurden: Mond und Sonne bestimmen den ständig wiederkehrenden Tageslauf, die Mondphasen und den Jahreslauf.



Es gelten heute die Beziehungen:

$$1 \text{ d (Tag)} = 24 \text{ h (Stunden)} = 1440 \text{ min (Minuten)} = 86400 \text{ s (Sekunden)}$$

Die Maßeinheit für die Zeit ist die Sekunde. Lege ich die Bewegung der Erde um die Sonne zugrunde, dann wird die Sekunde wie folgt festgelegt.



1 Sekunde (1 s) ist der 86400ste Teil eines mittleren Sonnentages.

Bei Abschluss von Kaufverträgen, die an einen Termin gebunden sind, gilt diese Festlegung immer noch, denn Kaufleute haben eine etwas andere Zeitrechnung.



Das Wirtschaftsjahr besitzt 360 Tage mit 12 Monaten, wobei jeder Monat mit gleich vielen Tagen (nämlich 30) berücksichtigt wird. 24 Stunden machen einen Tag aus, 60 Minuten eine Stunde und 60 Sekunden eine Minute. Wir rechnen:

$$\text{Ein Jahr: } 1a = 60 \cdot 60 \cdot 24 \cdot 30 \cdot 12s = 86400s.$$

Das Formelsymbol (auch Größensymbol) für den Zeitraum ein Jahr ist: 1 a (lat. Anno).

Heutzutage ermittelt man Zeiten (eben auch Reaktionszeiten) mit elektronischen Präzisionsuhren, deren Anzeigewerte von Menschen und Witterung unabhängig sind.

Atomuhren gehen noch genauer



Abb. 1.2: Anzeige eines digitalen Weckers

Eine einfache Form von Uhren, die Sonnenuhr, war bereits vor 6000 Jahren in Gebrauch. Man steckte einen Stab (Gnomon) in den Boden und las die Zeit aus der Lage des Schattens ab. Wenn der Schatten eines Stabes oder Säule (Obelisk) am kürzesten war, so war es Mittag. Die Römer teilten die Zeit zwischen zwei Sonnenhöchstständen in 24 Stunden auf.

Atomuhren gehen noch genauer

Schwingung von Pendeln, Drehung der Erde, jetzt dreht sich auch mir schon der Kopf.

Den Wissenschaftlern aber noch lange nicht. In der Geschichte der Zeitmessung hat eine Erhöhung der Taktfrequenz von Uhren immer zu höherer Genauigkeit von Uhren geführt. Kannst du dich noch an alte Pendeluhren erinnern, die jede Woche einmal aufgezogen werden mussten und jeweils etwa eine Minute nachgingen?

Die besten Uhren im Pariser Observatorium funktionieren bisher mit einer Abweichung von einer Sekunde alle 52 000 000 (also 52 Millionen) Jahre. Waren es früher Pendel (auch in einer Taschenuhr finden wir ein Pendel, nur ist dieses drehbar gelagert und wird Unruh genannt), die eine Uhr antrieben, sind es heute Vibrationen von Kristallen und Schwingungen von Atomen.

1

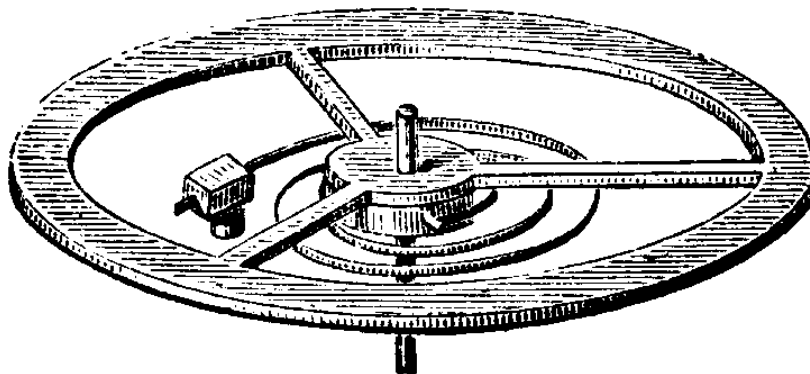
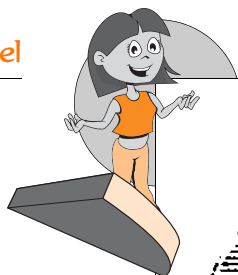


Abb. 1.3: Unruh (Drehpendel)



Grundlagen zur Zeitmessung

Die Hin- und Herbewegung eines *Pendels* wird *Schwingung* genannt. *Schwingende Kristalle* zeigen Schwingungen von 1000 bis mehreren Millionen Schwingungen pro Sekunde.

Atome können noch viel »schneller« schwingen.

Seit 1967 gilt: Eine Sekunde ist dann vergangen, wenn ein Cäsium-Atom sich gerade 9.192.631.770 Mal hin- und herbewegt hat.

Die Längenmessung

Zum Messen von Längen benutzen wir die Skala auf einem Lineal, Maßband oder Zollstock. Die kleinste auf der Skala markierte Länge ist die Einheit. Das Messergebnis besteht dann aus der Angabe von Vielfachen dieser Einheit.



Vielfaches einer Einheit

1,83 m Körpergröße bedeutet 183 Mal 1 cm. Genauer sieht es dann so aus:

1,835 m Körpergröße bedeutet 1835 Mal 1 mm.

Was man unter Körpermaßen versteht

Unser Maß- und Gewichtssystem wurde nach der Französischen Revolution von der Pariser Akademie der Wissenschaften festgelegt. Als Maßeinheit für die Länge entschied man sich für das Meter.

Ein Meter (1 m) ist jene Länge, die ein in Paris gelagerter Platinstab (das so genannte Pariser Urmeter) bei 0° C hat. Es ist etwa der zehnmillionste Teil eines Viertels des Erdumfanges (so ein Viertel nennt man Erdmeridianquadrant).

Diese Vereinbarung war äußerst wichtig und notwendig. Bei der Benutzung von Längeneinheiten gab es früher erhebliche Unsicherheiten. Jedes Königreich legte nach eigenen Gutdünken Körpermaße fest.

Was man unter Körpermaßen versteht

Körpermaße bestimmten schon im Altertum die Längenmessung. Elle und Fuß haben wir den Ägyptern zu verdanken, die Griechen führten das Stadion (180 m) ein, nämlich eine Strecke, die ein geübter Läufer schnell zurücklegen kann.

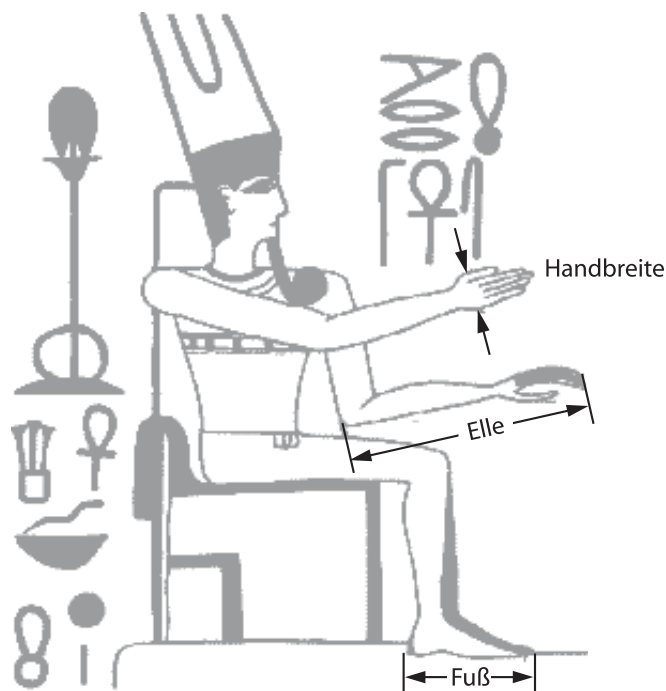


Abb. 1.4:
Entstehung von
Körpermaßen

1



Die Römer fügten zur Messung großer Entfernungen in ihrem Straßennetz die Meile als neues Längenmaß hinzu.

Zu Lebzeiten versuchten Könige immer wieder, in ihrem Reich das Messwesen zu vereinheitlichen, wie Karl der Große mit der Einheit Fuß seiner Schuhgröße. Viele Herrscher nahmen sich des Problems an. Heinrich I. von England führte im Jahre 1101 die Längeneinheit Yard (Abstand von seiner Nasenspitze bis zum Daumen seines ausgestreckten Armes) und Inch (Breite seines Daumens) ein. Eine aus heutiger Sicht witzige Idee ersann Eduard II. von England, indem er drei hintereinander gelegte Gerstenkörner zur Länge von einem Zoll erklärte.



Abb. 1.5:
Yard und Inch

An Stelle eines Körpermaßes schlug der Mathematiker J. Kölbel ein Naturmaß vor: 16 Männer groß und klein, die nach einer Messe der Reihe nach aus der Kirche kommen, stellen ihre Füße hintereinander. Der sechzehnte Teil der Gesamtlänge sollte dann ein Fuß sein.

Ludwig XVI. von Frankreich beendete 1793 das große Durcheinander der Maßeinheiten durch ein Dekret, in dem die neue Längeneinheit 1 Meter (nach dem griechischen Wort metron für Maß) als der zehnmillionste Teil des Erdmeridianquadranten festgelegt wird.

Dieser Naturmaßstab wurde dann noch 1799 durch einen Urmeterstab aus Platin ersetzt, da so ein Vergleich und Anfertigen weiterer Maßstäbe leicht möglich war. Wissenschaft und Technik zwangen mit ihrer wachsenden Anforderung dazu, ab 1960 den Metallstab durch eine im Labor jederzeit erzeugbare Länge mit größerer Genauigkeit zu ersetzen.

Was man unter Körpermaßen versteht

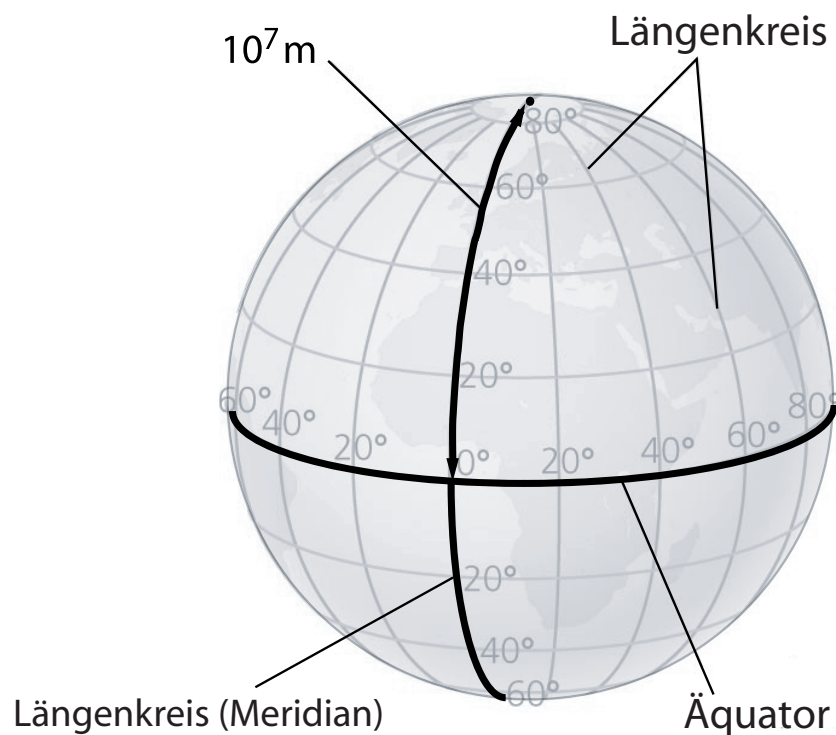


Abb. 1.6: Ein Viertel des Erdumfangs

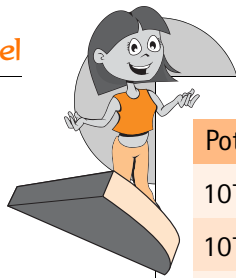
Heute wird die Längeneinheit als die Strecke festgelegt, die Licht in der Zeit $t = 1/299\,792\,458$ s zurücklegt. Die Lichtgeschwindigkeit mit dem Zahlenwert »299 792 458« ist eine Naturkonstante.

Weil die Längeneinheit 1 m für viele Zwecke zu groß oder zu klein ist, sind davon auch Vielfache oder Teile mit der Zahl 10 erlaubt. Sie werden durch Buchstaben vor der Einheit angegeben:

$$1 \text{ m} = 100 \text{ cm} = 1000 \text{ mm}$$



1



Potenz	Name	Zeichen
10^{-1}	Dezi	d
10^{-2}	Zenti	c
10^{-3}	Milli	m
10^{-6}	Mikro	μ
10^{-9}	Nano	n
10^{-12}	Piko	p
10^{-15}	Femto	f
10^{-18}	Atto	a
10^{-21}	Zepto	z
10^{-24}	Yocto	y

Für den Fall, dass es mal mehr sein soll, gibt es diese Vorsätze:

Potenz	Name	Zeichen
10^{24}	Yotta	Y
10^{21}	Zetta	Z
10^{18}	Exa	E
10^{15}	Peta	P
10^{12}	Tera	T
10^9	Giga	G
10^6	Mega	M
10^3	Kilo	k
10^2	Hekto	h
10^1	Deka	da



Masse statt Klasse

Ich möchte dich jetzt nicht noch weiter mit der Geschichte der Maßstäbe langweilen, aber dennoch zur Angabe der Menge (der Physiker nennt die Menge einer Sache die *Masse eines Stoffes*) so viel:

Bring mir bitte ein halbes Pfund Butter und drei Pfund Tomaten mit, hätte dir wahrscheinlich deine Urgroßmutter auf einen Einkaufszettel geschrieben. Unter einem Pfund verstehen wir in Deutschland 500 Gramm, in England beträgt ein Pound 453,6 Gramm.

Auch hier musste eine Regelung her. Das »Urkilogramm« wird in einem Labor bei Paris unter einer doppelten Käseglocke aufbewahrt; eine Kopie dieses Urkilogramm befindet sich auch in Deutschland und wird etwa alle zehn Jahre mit dem Urkilogramm aus Paris verglichen.

Auf die Verständigung kommt es an

1998 ging folgende spektakuläre Mitteilung durch die Presse:

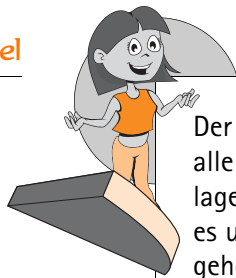
»Fehler bei der Umrechnung führten zum Verglühen der Sonde Mars Climate Orbiter ...

... aber auch die Amerikaner hatten einige Rückschläge (bei der Raumfahrt) zu verkraften, wobei der peinlichste Fehler sich bei der Mars-Climat-Orbiter-Mission ereignete. Die NASA-Mitarbeiter machten Fehler bei der Umrechnung von Einheiten und der Marsboden war dann da, wo er eigentlich nicht sein sollte. Wie konnte dies geschehen?

Die Firma Lockheed Astronautics fertigte ein Computerprogramm mit den Werten im englischen Maß (Pound, Inch, ...), während das ebenfalls am Projekt beteiligte Jet Propulsion Laboratory ein Computermodell erstellte, das Werte im metrischen Maß (Kilogramm, Meter, Sekunde, ...) erwartete.«



1



Der peinliche Vorfall der Mars-Mission zeigt dir, wie wichtig es ist, dass alle Welt mit gleichem Maß misst. Das neue Maß Meter wurde zur Grundlage des internationalen metrischen dezimalen Maßsystems. 1960 wurde es unter dem Namen »Systeme International d'Unites« (SI) aus der Taufe gehoben, das auf sieben Basiseinheiten, darunter Kilogramm, Meter und Sekunde beruht.

Die SI-Einheiten im Einzelnen

Basisgröße	Basiseinheit	Zeichen	Definition
Länge	Meter	m	Das Meter ist die Länge der Strecke, die Licht im Vakuum während der Dauer von $1/299792458$ Sekunden durchläuft.
Masse	Kilogramm	kg	Das Kilogramm ist die Einheit der Masse; es ist gleich der Masse des Internationalen Kilogrammprototyps.
Zeit	Sekunde	s	Die Sekunde ist das 9192631770 fache der Periodendauer der dem Übergang zwischen den beiden Hyperfeinstruktur-niveaus des Grundzustandes von Atomen des Nuklids ^{133}Cs entsprechenden Strahlung.
elektrische Stromstärke	Ampere	A	Das Ampere ist die Stärke eines konstanten elektrischen Stromes, der, durch zwei parallele, geradlinige, unendlich lange und im Vakuum im Abstand von einem Meter voneinander angeordnete Leiter von vernachlässigbar kleinem, kreisförmigem Querschnitt fließend, zwischen diesen Leitern je einem Meter Leiterlänge die Kraft $2 \cdot 10^{-7}$ (0,0000002) Newton hervorrufen würde.

Die Verständigung auf internationale Einheiten



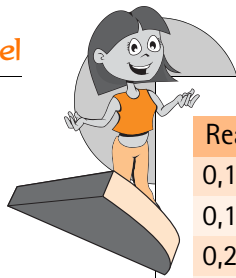
Basisgröße	Basiseinheit	Zeichen	Definition
Temperatur	Kelvin	K	Das Kelvin, die Einheit der thermodynamischen Temperatur, ist der 273,16te Teil der thermodynamischen Temperatur des Tripelpunktes des Wassers.
Stoffmenge	Mol	mol	Das Mol ist die Stoffmenge eines Systems, das aus ebenso viel Einzelteilchen besteht, wie Atome in 0,012 Kilogramm des Kohlenstoffnuklids ^{12}C enthalten sind. Bei Benutzung des Mol müssen die Einzelteilchen spezifiziert sein und können Atome, Moleküle, Ionen, Elektronen sowie andere Teilchen oder Gruppen solcher Teilchen genau angegebener Zusammensetzung sein.
Lichtstärke	Candela	cd	Die Candela ist 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/Steradian beträgt.

Die Verständigung auf internationale Einheiten

Wie wir Reaktionszeiten messen, hast du in dem Eingangsversuch kennen gelernt.

Reaktionszeit	Fallstrecke in cm	Bewertung
	0	
0,13 s	9	hervorragend
0,15 s	11	sehr gut

1



Reaktionszeit	Fallstrecke in cm	Bewertung
0,17 s	14	gut
0,18 s	16	in Ordnung
0,20 s	20	mäßig
0,22 s	24	unterdurchschnittlich
0,25 s	30	schlecht

Das Lineal lässt sich somit neu skalieren, es können dann »Zeiten« statt »Fallstrecken« abgelesen werden. Die einzelnen Messgrößen hängen also voneinander ab, sind über Gesetze miteinander verknüpft. Mit anderen Worten, kennst du die Fallstrecke, kannst du (später) die Reaktionszeit berechnen.

Wie schätzen wir unsere Ergebnisse ein? Zeiten von 0,5 s bis 1 s sind Reaktionszeiten, die im täglichen Leben wie Straßenverkehr und Sport üblich sind.

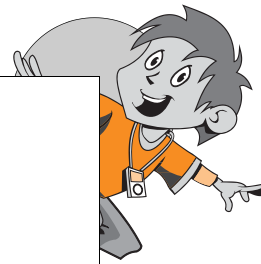
Wie Physiker messen

Größe	Basiseinheit	Formelsymbol	Einheitenzeichen	Beispiel
Länge	Meter	s	m	s = 5 m
Zeit	Sekunde	t	s	t = 30 s
Masse	Kilogramm	m	kg	m = 7,5 kg

Messen bedeutet Vergleichen. Wenn jemand behauptet, dass ein Koffer doppelt so schwer ist wie ein anderer, wird keine Einheit angegeben.

Wenn du dich auf Einheiten für das Messen mit deinen Mitmenschen einigst, beispielsweise auf die Massen-Einheit Kilogramm, dann kannst du über deine Messergebnisse sprechen, ohne dass die betreffenden Gegenstände greifbar sein müssen.





Von Größengleichungen und Formelsymbolen

Wendest du diese Basiseinheiten in deinen zukünftigen Erfindungen, Aufsätzen und Protokollen an, dann kann auch ein Leser z.B. aus Asien deine Messdaten in folgendem Protokoll lesen, ohne den Text verstehen zu müssen.

»Über einen Zeitraum von bereits $t = 333 \text{ s}$ halte ich die Einkaufstasche der Masse $m = 2,3 \text{ kg}$ in einer Höhe von $s = 0,75 \text{ m}$.«

Gemäß Vereinbarung teilst du mit diesem Text eine Zeit von 333 Sekunden, eine Masse von 2,3 Kilogramm und eine Strecke (Höhe) von 0,75 Metern mit.



t	=	333 s
s	=	0,75 m
m	=	2,3 kg

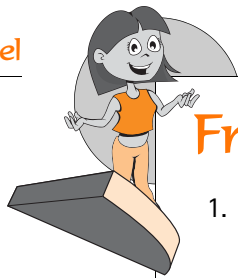
Du hast nun ganz automatisch Größengleichungen verwendet und kannst dich mit Physikern verständigen.

Zusammenfassung

Der Physiker ist bei seiner Arbeit auf Messungen angewiesen. Zu jeder Messung benötigt man eine Maßeinheit und ein Messgerät. Erst wenn beides vorhanden ist, kann die Messung durchgeführt werden. Daher hast du in diesem Kapitel gelernt,

- ◇ wie man Reaktionszeiten misst
- ◇ was man unter Körpermaßen versteht
- ◇ wie Herrscher und Könige das Messwesen beeinflussten
- ◇ wie sich die international vereinbarten physikalischen Einheiten entwickeln
- ◇ dass Physiker mit Formelsymbolen und Größengleichungen umgehen

1



Fragen und Aufgaben

1. Finde dich mit deinen Freunden zusammen und ermittle die Länge »ein Fuß« nach dem Verfahren des Mathematikers J. Köbel.
2. Wie viele deiner Daumen passen auf einen Fuß?
3. Mit Hilfe einer Tabellenkalkulation kannst du alte und neue Maße ineinander umrechnen. Das Hilfemenü der Tabellenkalkulation hilft dir da weiter.
4. Klebe auf ein Lineal gemäß der Formelbox die Reaktionszeiten. Jetzt hast du ein Reaktionszeitmessgerät.
5. Ein Juwelier handelt Edelsteine in Karat. Worum handelt es sich dabei?