

Mass und Messen

Am Anfang der Zivilisation stand die Messkunst. Unsere Vorfahren lernten die Messtechnik anzuwenden, als sie sesshaft wurden, Häuser bauten und Felder bestellten. Die ersten Masseinheiten waren Naturmasse wie Schritt, Elle, Zoll, Fuss usw. Im Laufe der Zeit wuchs die Zahl der verwendeten Einheiten zu einer unüberschaubaren Fülle an. Deshalb wurde im Jahre 1875 von 17 Staaten die Meterkonvention abgeschlossen, der heute 40 Staaten angehören. 1960 wurde von der 11. internationalen Konferenz für Mass und Gewicht das Internationale Einheitensystem (SI) angenommen, das heute in vielen Staaten verbindlich eingeführt ist (siehe weiter unten).

Eine physikalische Grösse (z.B.: Länge, Masse, Zeit) beschreibt eine einzelne, genau definierte Eigenschaft einer Erscheinung qualitativ und quantitativ.

Masszahl, Masseinheit

Messen heisst, die zu messende Grösse mit einer festgelegten Masseinheit zu vergleichen.

Bsp.: Wenn die Länge eines Gegenstandes gemessen werden soll, dann heisst die Frage, wie oft eine Einheitslänge in der zu messenden Länge enthalten ist.



In der zu messenden Länge ist die Einheitslänge 3.5 Mal enthalten.

Ist die Einheitslänge 1 m (Meter), so ist die zu messende Länge also $3.5 \cdot 1 \text{ m} = 3.5 \text{ m}$

Im SI-System ist die Länge eine Basisgrösse. Ihre Masseinheit ist der Meter.

Früher wurde der Meter als 40-millionster Teil des Erdumfanges am Äquator definiert, heute verwendet man dazu Eigenschaften von Atomen.

Grösse = Masszahl · Masseinheit

Bsp.: $3.5 \text{ m} = 3.5 \cdot 1 \text{ m}$
Die Grösse 3.5 m ist das Produkt aus der Masszahl 3.5 und der Masseinheit 1 m.

$$62.8 \text{ kg} = 62.8 \cdot 1 \text{ kg}$$

$$0.34 \text{ s} = 0.34 \cdot 1 \text{ s}$$

SI-Einheitensystem

Masseinheiten dienen zur Bestimmung des Wertes von physikalischen Grössen. Ein Einheitensystem ist ein Satz von Regeln, welcher angibt, wie die Masseinheit jeder in Naturwissenschaft und Technik verwendeten Grösse widerspruchsfrei festgelegt wird. Das heute weltweit angewandte Einheitensystem ist das Internationale Einheitensystem, auf Französisch *Système International d'Unités* (SI). Es wurde von der 11. Generalkonferenz für Mass und Gewicht (CGPM) im Jahre 1960 eingeführt. In der Folge löste das SI eine Reihe, vor allem in den Naturwissenschaften verwendete Einheitensysteme ab und machte fortan die zum Teil komplizierten Umrechnungen zwischen verschiedenen Systemen überflüssig.

Im Internationalen Einheitensystem unterscheidet man zwei Klassen von Einheiten, die **Basiseinheiten** und die **abgeleiteten Einheiten**.

Basiseinheiten

| SI-Basisgrösse | | SI-Basiseinheit | |
|-----------------------------|-------|-----------------|-----|
| Länge | l | Meter | m |
| Masse | m | Kilogramm | kg |
| Zeit | t | Sekunde | s |
| Elektrische Stromstärke | I | Ampère | A |
| Thermodynamische Temperatur | T | Kelvin | K |
| Stoffmenge | n | Mol | mol |
| Lichtstärke | I_v | Candela | cd |

Der Meter (m) ist die Länge der Strecke, die Licht im Vakuum während der Dauer 1/299'792'458 Sekunden durchläuft. (1983)

Das Kilogramm (kg) ist gleich der Masse des Internationalen Kilogrammprototyps. (1889)

Die Sekunde (s) ist das 9'192'631'770-fache der Periodendauer der dem Übergang zwischen den beiden Hyperfeinstruktur-niveaus des Grundzustandes von Atomen des Nuklids ^{133}Cs entsprechenden Strahlung. (1967)

Das Ampère (A) ist die Stärke eines zeitlich unveränderlichen elektrischen Stromes, der, durch zwei im Vakuum parallel im Abstand 1 Meter voneinander angeordnete, geradlinige, unendlich lange Leiter von vernachlässigbar kleinem, kreisförmigem Querschnitt fliessend, zwischen diesen Leitern je 1 Meter Leiterlänge die Kraft $2 \cdot 10^{-7}$ Newton hervorrufen würde. (1948)

Das Kelvin (K) ist der 273.16-te Teil der thermodynamischen Temperatur des Tripelpunktes von Wasser. (1967)

Das Mol (mol) ist die Stoffmenge eines Systems, das aus ebenso vielen Einzelteilchen besteht, wie Atome in 0.012 Kilogramm des Nuklids ^{12}C enthalten sind.

Bei Verwendung des Mols müssen die Einzelteilchen spezifiziert sein und können Atome, Moleküle, Ionen, Elektronen sowie andere Teilchen oder Gruppen solcher Teilchen genau angegebener Zusammensetzung sein. (1971)

Die Candela (cd) ist die Lichtstärke, mit der $1/600'000 \text{ m}^2$ der Oberfläche eines schwarzen Strahlers bei der Temperatur des beim Druck $101'325 \text{ N/m}^2$ erstarrenden Platins senkrecht zu seiner Oberfläche leuchtet. (1967)

Beispiele abgeleiteter Einheiten

| Abgeleitete Grösse | | SI-Einheit | | |
|-------------------------|---|------------|----|--|
| Kraft | F | Newton | N | $= \text{m} \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2}$ |
| Druck | p | Pascal | Pa | $= \text{m}^{-1} \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2}$ |
| Energie | W | Joule | J | $= \text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2}$ |
| Leistung | P | Watt | W | $= \text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-3}$ |
| Elektrische Ladung | Q | Coulomb | C | $= \text{A} \cdot \text{s}$ |
| Elektrische Spannung | U | Volt | V | $= \text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-3} \cdot \text{A}^{-1}$ |
| Elektrischer Widerstand | R | Ohm | | $= \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^4 \cdot \text{A}^2$ |

Dezimale Vielfache und Teile von Einheiten

| | Faktor | | Vorsatz | Zeichen |
|----------------|---------------------------|--------------|---------|---------|
| Trillionenfach | 1'000'000'000'000'000'000 | = 10^{18} | Exa | E |
| Billiardenfach | 1'000'000'000'000'000 | = 10^{15} | Peta | P |
| Billionenfach | 1'000'000'000'000 | = 10^{12} | Tera | T |
| Milliardenfach | 1'000'000'000 | = 10^9 | Giga | G |
| Millionenfach | 1'000'000 | = 10^6 | Mega | M |
| Tausendfach | 1'000 | = 10^3 | Kilo | k |
| Hundertfach | 100 | = 10^2 | Hekto | h |
| Zehnfach | 10 | = 10^1 | Deka | da |
| Zehntel | 0.1 | = 10^{-1} | Dezi | d |
| Hundertstel | 0.01 | = 10^{-2} | Zenti | c |
| Tausendstel | 0.001 | = 10^{-3} | Milli | m |
| Millionstel | 0.000'001 | = 10^{-6} | Mikro | μ |
| Milliardstel | 0.000'000'001 | = 10^{-9} | Nano | n |
| Billionstel | 0.000'000'000'001 | = 10^{-12} | Piko | p |
| Billiardstel | 0.000'000'000'000'001 | = 10^{-15} | Femto | f |
| Trillionstel | 0.000'000'000'000'000'001 | = 10^{-18} | Atto | a |

Bsp.: 1 Zentimeter = 1 cm = 0.01 m = 10^{-2} m
 1 Nanosekunde = 1 ns = 0.000'000'001 s = 10^{-9} s
 1 Megawatt = 1 MW = 1'000'000 W = 10^6 W
 1 Kilojoule = 1 kJ = 1'000 J = 10^3 J

Physikalische Grössen werden häufig in der **Zehnerpotenzdarstellung** angegeben.

Bsp.: $3'572 \text{ m} = 3.572 \cdot 10^3 \text{ m}$
 $426.48 \text{ kg} = 4.2648 \cdot 10^2 \text{ kg}$
 $299'000'000 \text{ s} = 2.99 \cdot 10^8 \text{ s}$
 $0.000'264 \text{ m} = 2.64 \cdot 10^{-4} \text{ m}$

Messfehler, signifikante Stellen

Alle Zahlenangaben von physikalischen Grössen beruhen letztlich auf Messungen und sind daher grundsätzlich mit Messfehlern behaftet.

Die Genauigkeit eines Messwertes drückt sich nicht durch die Anzahl Dezimalstellen nach dem Komma aus, sondern durch die Anzahl **signifikanter Stellen**. Signifikante Stellen sind alle Stellen (Vor- und Nachkommastellen) eines Zahlenwertes ausser sogenannte führende Nullen.

Bsp.: Die Messwerte 248 cm, 2.48 m und 0.00248 km sind gleich genau. Sie haben zwar eine unterschiedliche Anzahl Dezimalstellen (0, 2 und 5) jedoch eine gemeinsame Anzahl signifikanter Stellen (3).

| Bsp.: | Zahlenwert | Anz. signifikanter Stellen | Zahlenwert | Anz. signifikanter Stellen |
|-------|------------|----------------------------|-------------------------|----------------------------|
| | 3.1415 | 5 | 0.06 | 1 |
| | 27.1 | 3 | 0.0631 | 3 |
| | 27.13 | 4 | 0.060 | 2 |
| | 27.130 | 5 | 0.0600 | 3 |
| | 27.000 | 5 | $7 \cdot 10^2$ | 1 |
| | 27.0 | 3 | $7.0 \cdot 10^2$ | 2 |
| | 27 | 2 | $4.30 \cdot 10^{-6}$ | 3 |
| | 200 | 3 | $4.300 \cdot 10^{-6}$ | 4 |
| | 200.0 | 4 | $4.30012 \cdot 10^{-6}$ | 6 |
| | 200.00 | 5 | 0 | 1 |
| | 200.01 | 5 | 0.0 | 2 |

Der absolute Fehler eines Messwertes ohne Fehlerangabe ist eine Einheit der letzten signifikanten Stelle.

| | | | |
|-------|------------------------------------|----------|--|
| Bsp.: | $s = 2.1 \text{ cm}$ | bedeutet | $s = (2.1 \pm 0.1) \text{ cm}$ |
| | $s = 2.10 \text{ cm}$ | bedeutet | $s = (2.10 \pm 0.01) \text{ cm}$ |
| | $v = 2.998 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ | bedeutet | $v = (2.998 \pm 0.001) \cdot 10^8 \text{ m/s}$ |
| | $v = 3.0 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ | bedeutet | $v = (3.0 \pm 0.1) \cdot 10^8 \text{ m/s}$ |
| | $m = 50 \text{ kg}$ | bedeutet | $m = (50 \pm 1) \text{ kg}$ |
| | $P = 5 \text{ kW}$ | bedeutet | $P = (5 \pm 1) \text{ kW}$ |
| | $P = 5000 \text{ W}$ | bedeutet | $P = (5000 \pm 1) \text{ W}$ |
| | $t = 5.00 \text{ s}$ | bedeutet | $t = (5.00 \pm 0.01) \text{ s}$ |

Bei der **Addition** und **Subtraktion** von Messwerten ist im Resultat die kleinste in den Summanden vorkommende Anzahl Dezimalen anzugeben.

Bsp.: $12 \text{ s} + 1.3 \text{ s} = 13 \text{ s}$
Der erste Summand hat 0 Dezimalstellen und der zweite 1. Daher ist das Resultat mit 0 Dezimalstellen anzugeben.

$$2.78 \text{ m} - 0.6 \text{ m} = 2.2 \text{ m}$$

Der erste Summand hat 2 Dezimalstellen und der zweite 1. Daher ist das Resultat mit 1 Dezimalstelle anzugeben.

Bei der **Multiplikation** und **Division** von Messwerten ist im Resultat die kleinste in den Faktoren vorkommende Anzahl signifikanter Stellen anzugeben.

Bsp.: $7.40 \text{ m/s} \cdot 3.142 \text{ s} = 23.3 \text{ m}$
(Taschenrechner: $7.4 \cdot 3.142 = 23.2508$)
Der erste Faktor enthält 3 signifikante Stellen und der zweite 4. Daher ist das Resultat mit 3 signifikanten Stellen anzugeben.

$$\frac{87.3 \text{ kg} \cdot 0.02 \text{ m/s}}{14.28 \text{ s}} = 0.1 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2$$

$$\left(\text{Taschenrechner: } \frac{87.3 \cdot 0.02}{14.28} = 0.12226891... \right)$$

87.3 kg enthält 3 signifikante Stellen, 0.02 m/s enthält 1 signifikante Stelle, und 14.28 s enthält 4 signifikante Stellen. Daher ist das Resultat mit 1 signifikanter Stelle anzugeben.