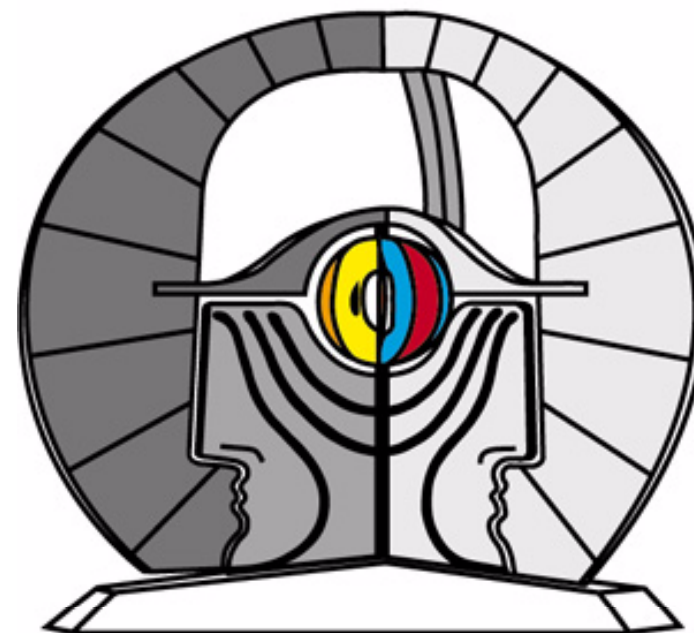


# Einführung in die Messtechnik

## Größen und Einheiten

Wolfgang Kessel  
Braunschweig



### Was ist eine "Größe"?

**Leonhard Euler (1707-1783)** ("Algebra": 1.Teil, 1.Abschnitt, Kapitel 1) :

1. "Zuvörderst wird alles dasjenige eine *Größe* genannt, was einer Vermehrung oder einer Verminderung fähig ist, oder wozu sich noch etwas hinzusetzen oder wovon sich etwas hinwegnehmen lässt.
  - Demnach ist eine Summe Geldes eine Größe, weil sich hinzusetzen oder hinwegnehmen lässt.
  - Ebenso ist auch ein Gewicht eine Größe u.dgl.m."

"Es gibt sehr viele verschiedene *Arten* von Größen, welche sich nicht wohl aufzählen lassen; und daher entstehen die verschiedenen Teile der Physik, deren jeder mit einer besonderen Art von Größen beschäftigt ist. Die Physik ist überhaupt nichts anderes, als eine Wissenschaft der Größen, welche Mittel ausfindig macht, wie man letztere ausmessen kann."

3. "Es lässt sich aber eine Größe nichts anders bestimmen oder ausmessen, als dass man eine andere Größe derselben Art als bekannt annimmt, und das *Verhältnis* angibt, in dem diese zu jener steht.
- Also wenn die Größe einer Summe Geldes bestimmt werden soll, so wird ein gewisses Stück Geld, wie z.B. ein Gulden, ein Rubel, ein Taler, oder ein Dukaten etc. als bekannt angenommen, und angegeben, wie viel solcher Stücke in jener Summe Geldes enthalten sind.
  - Ebenso, wenn die Größe eines Gewichts bestimmt werden soll, wird ein gewisses Gewicht, wie z.B. ein Pfund, ein Zentner, oder ein Lot etc. als bekannt angenommen und angegeben, wieviel derselben in dem vorigen Gewichte enthalten sind.
  - Soll aber eine Länge oder eine Weite ausgemessen werden, so pflegt man sich dazu einer gewissen bekannten Länge, welche ein Fuß genannt wird, zu bedienen."

4. "Bei Bestimmungen, oder Ausmessungen der Größen von allen Arten kommt es also darauf an, dass erstlich eine gewisse bekannte Größe von gleicher Art festgelegt werde, welche das Maß oder die *Einheit* genannt wird und lediglich von unserer Willkür abhängt; alsdann, dass man bestimme, in welchem Verhältnis die gegebene Größe zu diesem Maß stehe, welches stets durch Zahlen angegeben wird, so dass eine Zahl nichts anderes ist als das Verhältnis, in dem eine Größe zu einer anderen steht, welche als Einheit angenommen wird."

- **(Messbare) Größe** ((measurable) quantity) [nach VIM 1.1]  
Merkmal eines Objektes (Gegenstand, Substanz, Vorgang, Zustand), das qualitativ beschrieben und quantitativ ermittelt werden kann.

### BEISPIELE

- |                                 |                |
|---------------------------------|----------------|
| - Länge eines Stabes            | <b>1,38 m</b>  |
| - Dicke eines Brettes           | <b>1,9 cm</b>  |
| - Durchmesser einer Metallkugel | <b>6 mm</b>    |
| - Entfernung Graz-Leoben        | <b>73,6 km</b> |
| - Füllhöhe eines Tanks          | <b>12,3 m</b>  |

Jede dieser Größen  $X$  hat einen bestimmten Wert (spezielle Größe), gegeben durch Zahlenwert  $\{X\}$  und Einheit  $[X]$ , auf die sich der Zahlenwert bezieht. Die Gesamtheit der Größen gleicher Art bilden eine *Größenart*.

### BEISPIELE Größenarten

1. Die vorstehend aufgeführten (speziellen) Größen

- Längen,
- Dicken,
- Durchmesser,
- Entfernungen,
- Höhen

gehören zur gleichen Größenart **Länge**.

2. Die elektrische Spannung  $V_0$  einer Monozelle ist eine (spezielle) Größe;  
ihr Wert ist **1,5 V**.

Sie ist durch den Zahlenwert  $\{V_0\} = 1,5$  und die  
Einheit  $[V_0] = \text{V}$  eindeutig bestimmt.

Alle elektrischen Spannungen ohne Bezugnahme auf bestimmte Messobjekte  
gehören zur gleichen Größenart **elektrische Spannung**.

I.Allg. ist es nicht schwer zwischen Größen und Größenarten zu unterscheiden. Es werden aber für Größen und Größenarten die gleichen Formelzeichen benutzt.

BEACHTEN In Gleichungen können durch Formelzeichen Beziehungen sowohl zwischen Größen als auch zwischen Größenarten ausgedrückt werden.

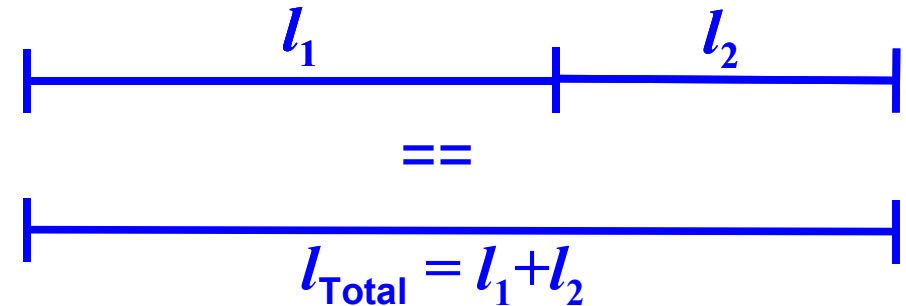
Was gemeint ist, ergibt sich aus dem Kontext (Zusammenhang) oder ist dort zu klären.

Ein praktikables Kriterium, ob Größen von der gleichen Art sind, ist ihre *Addierbarkeit*, d.h. ob

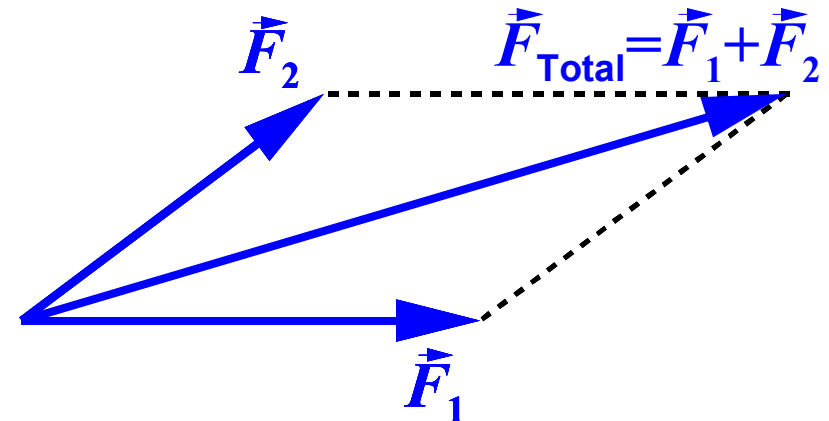
- es (zu mindest im Prinzip) eine (physikalische) *Operation* gibt, zwei Größen zu einer Gesamtgröße zusammenzufügen, und
- diese Operation unabhängig von der Reihenfolge mit mehreren Größen durchgeführt werden kann  
(Eigenschaft der Addition: *Kommutativität, Assoziativität*).

### BEISPIEL Addierbarkeit

1. Zwei Längen kann man durch gerichtetes Aneinanderlegen zu einer Gesamtlänge zusammenfügen.



2. Verschiebungen oder Kräfte (Größen mit Betrag und Richtung) werden nach dem sog. "Parallelogramm der Kräfte" addiert.



3. Das Zusammenfügen einer Fläche und eines Volumens ist demgegenüber physikalisch **nicht** sinnvoll.



## Was ist ein Größensystem?

Die meisten Größenarten sind durch bekannte Gesetzmäßigkeiten miteinander verknüpft.

Daher können nahezu alle Größenarten durch Beziehungen in Form mathematischer Gleichungen definieren werden.

### BEISPIEL **Größe Kraft**

Die Kraft  $F$ , die ein Körper erfährt, ist (Erfahrungstatsache) proportional zum Produkt aus seiner Masse  $m$  und der momentanen Beschleunigung  $a$  (II. Newtonsches Axiom).

$$\begin{aligned} F &\propto m \cdot a \\ &= K_F \cdot m \cdot a \end{aligned}$$

Die Proportionalitätskonstante  $K_F$  ist (grundsätzlich) unbestimmt. Die Definition der Größe **Kraft** wird so gewählt, dass gilt

$$K_F = 1$$

Übrig bleiben einige wenig Basisgrößenarten (Grund-Größenarten), die aus sich heraus verbal erklärt werden müssen.

- **Basisgröße** (base quantity) [VIM 1.3]  
eine der Größen des Größensystems, die aufgrund einer Vereinbarung als unabhängig von den anderen Größen gilt.

Bereich **Geometrie** (Beschreibung der Lage)

Basisgröße: **Länge** ( $l$ )

einige abgeleitete Größen:

**Fläche**

$$A = l_{\text{Width}} \cdot l_{\text{Length}}$$

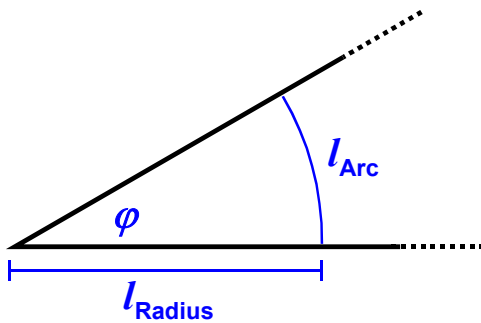
**Volumen**

$$V = A \cdot l_{\text{Height}}$$

**Winkel**

$$\varphi = l_{\text{Arc}} / l_{\text{Radius}}$$

BEACHTEN Winkel ist eine Verhältnissgröße (Einheit 1)



Der Winkel ist das Verhältnis der Länge des Bogens zum Radius mit dem der Kreis um den Scheitel geschlagen wird.

Bereich **Kinematik** (Beschreibung der Bewegung)

Basisgrößen: **Länge ( $l$ )**, **Zeitspanne ( $t$ )**

einige abgeleitete Größen: geometrische Größen

<b>Frequenz</b>	$f = 1 / t$
-----------------	-------------

<b>Geschwindigkeit</b>	$v = l / t$
------------------------	-------------

<b>Beschleunigung</b>	$a = v / t$
-----------------------	-------------

<b>Winkelgeschwindigkeit</b>	$\dot{\varphi} = 1 / t$
------------------------------	-------------------------

**ANMERKUNG** Es muss zwischen der Größe **Zeit** im Sinne von Zeitspanne (verflossene Zeit) und der Uhrzeit im Sinne von Datum (Zeitpunkt) unterschieden werden.

**BEACHTEN** Die Uhrzeit ist keine Größe: Uhrzeiten können nicht addiert werden!

Bereich **Dynamik** (Erklärung der Bewegung)

Basisgrößen: **Länge ( $l$ )**, **Zeitspanne ( $t$ )**, **Masse ( $m$ )**

einige abgeleitete Größen: kinematische Größen

**Kraft**

$$F = m \cdot l / t^2$$

**Arbeit**

$$W = F \cdot l$$

**Drehmoment**

$$M = F \cdot l$$

Bereich **Thermodynamik** (Beschreibung innerer Zustände)

Basisgrößen: Basisgrößen der Dynamik, **Temperatur ( $T$ )**

Bereich **Elektrodynamik** (Beschreibung/Erklärung elektromagnetischer Felder)

Basisgrößen: Basisgrößen der Thermodynamik, **elektrische Stromstärke ( $I$ )**

Bereich **physikalische Chemie** (Zustand/Zusammensetzung der Stoffe)

Basisgrößen: Basisgrößen der Elektrodynamik, **Stoffmenge ( $n$ )**,

Bereich **Leuchttechnik** (Beschreibung von Strahlungsfelder))

Basisgrößen: Basisgrößen der phys. Chemie, **Lichtstärke ( $I_V$ )**,

- **Größensystem** (system of quantities) [nach VIM 1.2]

Basisgrößen und die daraus abgeleiteten Größen bilden ein in sich geschlossenes Größensystems.

## BEISPIEL Größensysteme

Größensystem der

- Geometrie,
- Kinematik,
- Dynamik

USW..

- **Dimension (einer Größe)** (dimension(of a quantity)) [nach VIM 1.5]  
Potenzprodukt aus den Basisgrößenarten der Größe mit dem Zahlenfaktor **1**.

### ANMERKUNG

Dimensionen der Basisgrößenarten mit großen Buchstaben in serifenloser Groteskschrift (z.B. **Arial**) bezeichnet:

Länge

$$\dim(l) = L$$

Zeit

$$\dim(t) = T$$

Masse

$$\dim(m) = M$$

Temperatur

$$\dim(T) = \Theta$$

elektrische Stromstärke

$$\dim(I) = I$$

Stoffmenge

$$\dim(n) = N$$

**BEISPIEL Dimension der Größen Geschwindigkeit, Kraft**

$$\dim(v) = LT^{-1}$$

$$\dim(F) = MLT^{-2}$$

**ACHTUNG:** Größenart und Dimension sind nicht dasselbe.  
Es gibt einige Größen gleicher Dimension, aber zweifelsfrei verschiedener Größenarten.

### BEISPIEL Dimensionsgleichheit

Arbeit  $W$  und Drehmoment  $M$  besitzen die gleiche Dimension

$$\dim(W) = \mathbf{ML^2T^{-2}}$$

$$\dim(M) = \mathbf{ML^2T^{-2}}$$

Arbeit ist definiert als Produkt aus Kraft  $F$  in Richtung (*parallel*) des Weges und Länge  $l$  des Weges, längst dem die Kraft wirkt (Skalarprodukt).

$$W = \vec{F} \cdot \vec{l}$$

Drehmoment ist definiert als Produkt aus Kraft  $F$  und Länge  $l$  des Hebelarmes (*senkrechter* Abstand des Angriffspunktes der Kraft von der Drehachse), an dem die Kraft wirkt (Vektorprodukt).

$$\vec{M} = \vec{l} \times \vec{F}$$

Der Begriff der Dimension ist eigentlich entbehrlich.

Physikalische Definitionen und Gesetzmäßigkeiten lassen sich klarer und eindeutiger durch Größengleichungen und Einheiten-Vergleich ausdrücken.

Eine gewisse praktische Bedeutung kommt der Dimension einer Größe beim Auffinden von Fehlern in physikalischen Gleichungen zu (*Dimensionskontrolle*):

- In einer Gleichung müssen die Ausdrücke (z.B. Potenzprodukte von Größenarten) beiderseits des Gleichheitszeichens gleich sein.

Summen und Differenzen können nur von Ausdrücken mit gleichen Dimensionen gebildet werden;

- In bestimmten mathematischen Ausdrücken (z.B. als Exponent einer Potenz (Exponential-,  $e$ -Funktion), Numerus eines Logarithmus (Logarithmus-,  $\ln$ -Funktion) können nur Ausdrücke der Dimension **1** (oft nicht ganz korrekt dimensionslose Ausdrücke genannt) auftreten.



### Bezeichnung von Größen und Größenarten

Physikalische Gesetzmäßigkeiten werden in Form mathematischer Gleichungen geschrieben. Dabei werden Symbole (Formelzeichen, fast ausschließlich Buchstaben) an Stelle von Namen für die Größenarten verwendet.

Es gibt weniger Buchstaben als physikalische Größen, so dass gleiche Buchstaben für unterschiedliche Größen verwendet werden müssen.

Es sollte jedoch vermieden werden unterschiedliche Buchstaben für Größen der gleichen Art zu verwenden (Ausnahme: **Längen**).

#### BEISPIEL **Größe Kraft**

Kräfte sollten immer mit dem Buchstaben  $F$  bezeichnet werden.

Verschiedene, spezielle Kräfte sollten mit unterschiedlichen Indizes identifiziert werden, etwa

Gewichtskraft  $F_{\text{Weight}}$

Federkraft  $F_{\text{Spring}}$

## Schreibweise von Größen

Im Buchdruck werden Formelzeichen für Größen kursiv in einer Schrift mit Serifen (z.B. **TimesNewRoman**) geschrieben.

Für Indizes (und Exponenten) an Formelzeichen gilt

- bezeichnen sie Objekte, sind sie groß zu schreiben;
- verweisen sie auf Eigenschaften, ist Kleinschreibung zu verwenden;
- beziehen sie sich auf Größen, ist die Schreibweise von Größen zu benutzen.

### BEISPIEL Indizes

$F_t$  - Tangentialkomponente einer Kraft;

$R_0$  - Widerstand eines Leiters bei der Referenztemperatur  $\vartheta_0 = 23^\circ\text{C}$ ;

$A_1, A_2$  - Querschnittsflächen an der Stelle **1** resp. **2**;

$d_{\text{Ball}}$  - Durchmesser der Kugel;

$l_\vartheta$  - Länge bei der Temperatur  $\vartheta$ .

## Spezielle Symbole

Bei periodischen zeitabhängigen Größen, z.B. in der Wechselstromlehre, werden spezielle Werte (Merkmale) durch die Schreibweise unterschieden.

### BEISPIEL **spezielle Wechselwerte**

Augenblickswert	$X$
Scheitelwert (Amplitude)	$\hat{X}$
Effektivwert	$X_{\text{eff}}$

*Stromgrößen* oder *Größenraten* (Quotient aus einer Größe und der Zeit, zeitliche Ableitung von Größen) werden häufig mit dem Symbol der Größe und einem darüber gesetzten Punkt bezeichnet (Newtonsche Schreibweise).

### BEISPIEL **Stromgrößen**

Massestrom	$\frac{m}{t} = \dot{m}$	Pulsrate	$\frac{n}{t} = \dot{n}$
Wärmestrom	$\frac{Q}{t} = \dot{Q}$		

### Wie sind die Einheiten festgelegt?

So wie Basisgrößen und abgeleitete Einheiten ein Größensystem bilden, bilden die Einheiten, die zur Quantifizierung von Größen benötigt werden, ein System aus Basiseinheiten und abgeleitete Einheiten (Einheitensystem).

- **Basiseinheit** (base unit (of measurement)) [VIM 1.13]

Einheit einer Basisgröße in einem Größensystem.

Ein Einheitensystem wird kohärent genannt, wenn alle abgeleiteten Einheiten (Einheiten der abgeleiteten Größen des zugrunde liegenden Größensystems)

Potenzprodukte der Basiseinheiten mit dem Zahlenfaktor **1** sind.

- **Internationales Einheitensystem, SI** (Système International d'Unités) (International System of Units) [VIM 1.12]

das von der Generalkonferenz für Maß und Gewicht (CGPM, Conférence Général des Poids et Mésure) angenommene und empfohlene kohärente Einheitensystem.

Seit 1983 gilt für die 52 Signatarstaaten der Meterkonvention:

### **SI-Einheitensystem: mechanische Größen**

(Geometrie, Kinematik, Dynamik)

Basisgröße	Formelzeichen	Basiseinheit		Defintion (siehe auch DIN 1301)
		Name	Zeichen	
<b>Länge</b>	<i>l</i>	<b>Meter</b>	<b>m</b>	Das Meter ist die Länge der Strecke, die Licht im Vakuum während der Dauer von <b>1/299 792 458 Sekunden</b> durchläuft.
<b>Masse</b>	<i>m</i>	<b>Kilogramm</b>	<b>kg</b>	Das Kilogramm ist die Einheit der Masse; es ist gleich der Masse des Internationalen Kilogrammprototyps.
<b>Zeit</b>	<i>t</i>	<b>Sekunde</b>	<b>s</b>	Die Sekunde ist das <b>9 192 631 770</b> -fache der Periodendauer der dem Übergang zwischen den beiden Hyperfeinstruktur-niveaus des Grundzustandes von Atomen des Nuklids <sup>133</sup> C entsprechenden Strahlung.

### SI-Einheitensystem: elektrische & thermische Größen

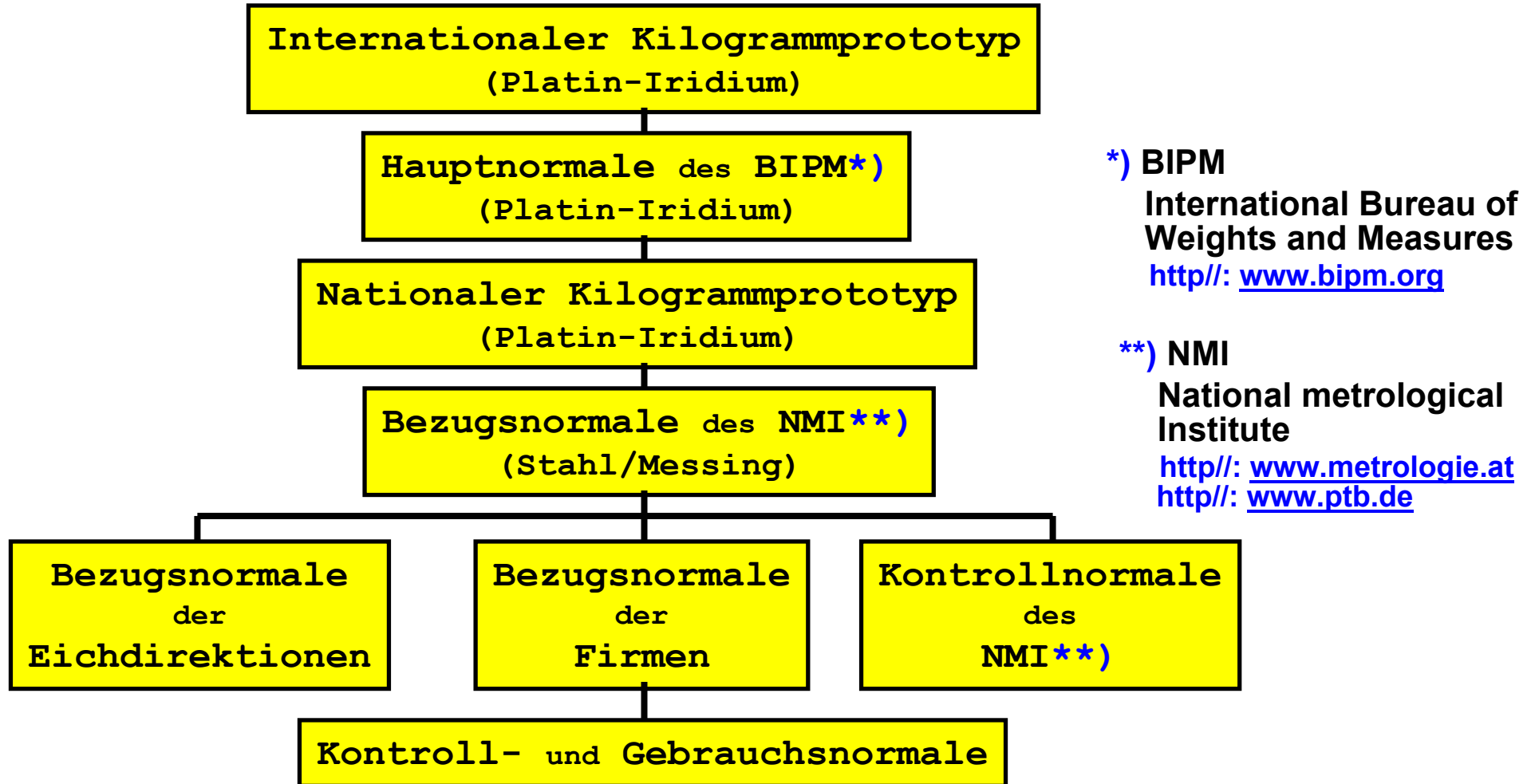
(Elektrodynamik, Thermodynamik)

Basisgröße	Formelzeichen	Basiseinheit		Defintion (siehe auch DIN 1301)
		Name	Zeichen	
<b>elektrische Stromstärke</b>	<b><i>I</i></b>	<b>Ampere</b>	<b>A</b>	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 $2 \cdot 10^{-7}$ <b>Newton</b> hervorrufen würde.
<b>Temperatur</b>	<b><i>T</i></b>	<b>Kelvin</b>	<b>K</b>	Das Kelvin, die Einheit der thermodynamischen Temperatur, ist der <b>273,16</b> -te Teil der thermodynamischen Temperatur des Tripelpunktes des Wassers.

## SI-Einheitensystem: Stoffmenge & Lichtstärke

Basisgröße	Formelzeichen	Basiseinheit		Defintion (siehe auch DIN 1301)
		Name	Zeichen	
Stoffmenge	<i>n</i>	Mol	mol	Das <b>Mol</b> ist die Stoffmenge eines Systems, das aus ebensoviel Einzelteilchen besteht, wie Atome in <b>0,012 Kilogramm</b> des Kohlenstoffnuklids <sup>12</sup> C enthalten sind. Bei Benutzung des <b>Mol</b> müssen die Einzelteilchen spezifiziert sein und können Atome, Moleküle, Ionen, Elektronen sowie andere Teilchen oder Gruppen solcher Teilchen genau angegebener Zusammensetzung sein.
Lichtstärke	<i>I<sub>v</sub></i>	Candela	cd	Die Candela ist die Lichtstärke in einer bestimmten Richtung einer Strahlungsquelle, die monochromatische Strahlung der Frequenz <b>540·10<sup>12</sup> Hertz</b> aussendet und deren Strahlstärke in dieser Richtung <b>1/683 Watt</b> durch Steradian beträgt.

## Hierarchie der SI-Massen-Normale





### Celsius-Temperatur

Aufgrund der Art und Weise, wie Temperaturskalen allgemein definiert werden, ist es üblich, thermodynamische Temperaturwerte als Differenz von einem festgelegten Bezugswert (Eispunkt) anzugeben.

Diese Temperaturdifferenz, Celsius-Temperatur, ist definiert durch

$$\mathcal{G} = T - T_0$$

$T$  - (thermodynamische) Temperatur;

$T_0 = 273,15 \text{ K}$  – Bezugswert der Celsius-Skale, Eispunkt;

$\mathcal{G}, t$  - Celsius-Temperatur ( $[\mathcal{G}] = ^\circ\text{C}$ );

### BEISPIELE Temperaturdifferenzen, Temperaturpunkte

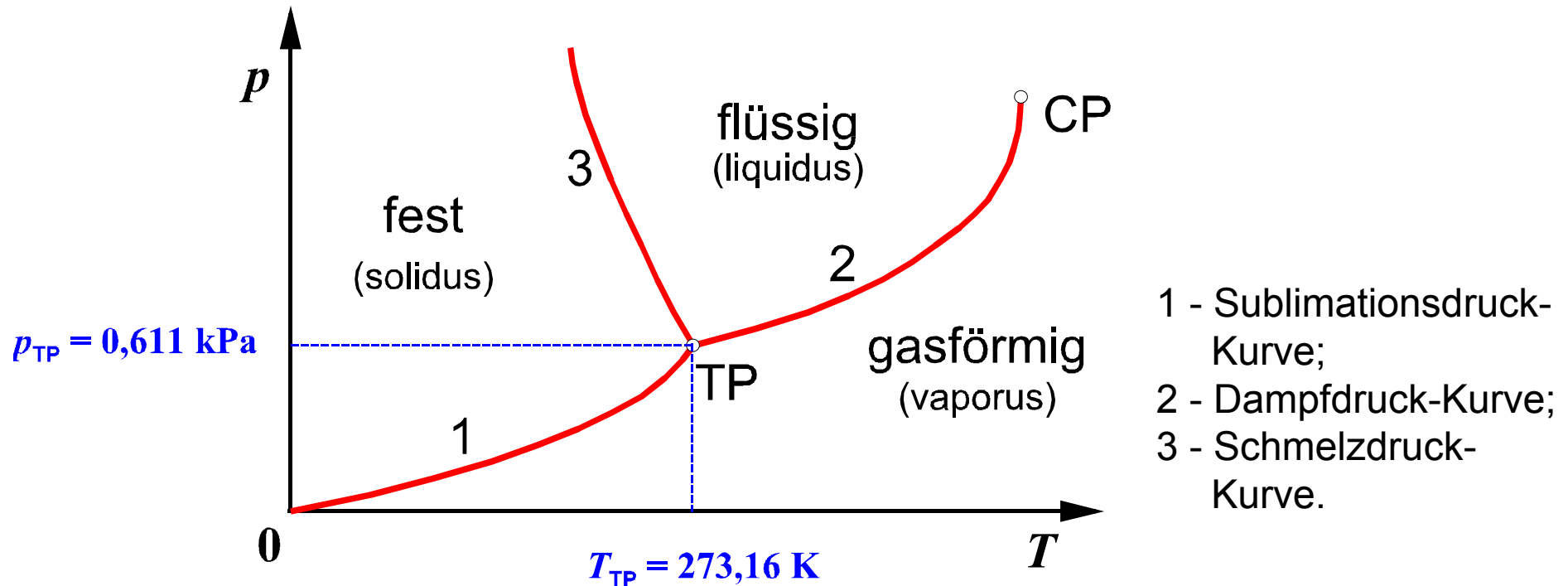
... eine Temperaturzunahme von **5 K**;

Thermometer: Messbereich  **$-40^\circ\text{C} \dots 50^\circ\text{C}$** ,

Messspanne **90 K**.

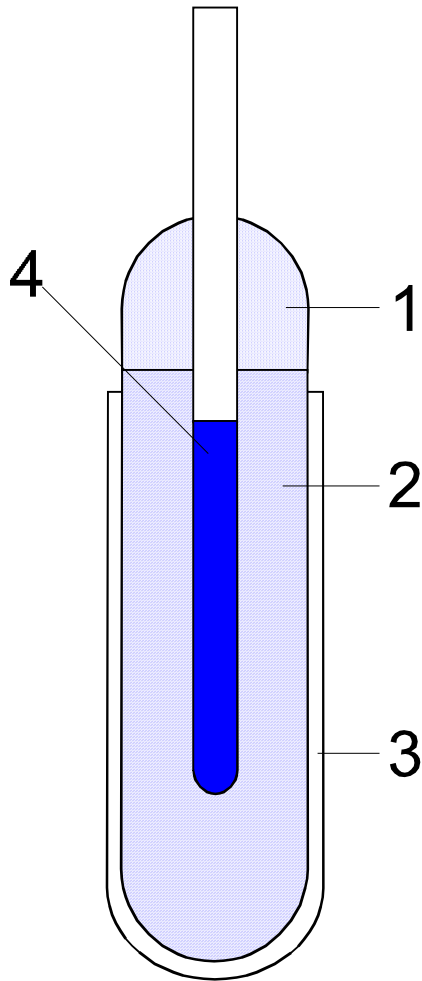
### Tripelpunkt des Wassers

im Zustandsdiagramm eindeutig definierter thermodynamischer Zustand, bei dem sich Eis, Wasser und Wasserdampf miteinander im Gleichgewicht befinden.



### Tripelpunktzelle

Realisiert wird der Tripelpunkt des Wassers mit einer speziellen Tripelpunktzelle, die mit entgastem destilliertem Wasser befüllt ist.



- 1 - Wasserdampf;
- 2 - Wasser;
- 3 - Eismantel;
- 4 - Thermometerraum mit Kontaktfluid.

Er liegt bei  $\vartheta_{TP} = 0,009\,93 \cdot (1 \pm 5 \cdot 10^{-3}) \text{ } ^\circ\text{C}$

### Physikalische Zusammenhänge

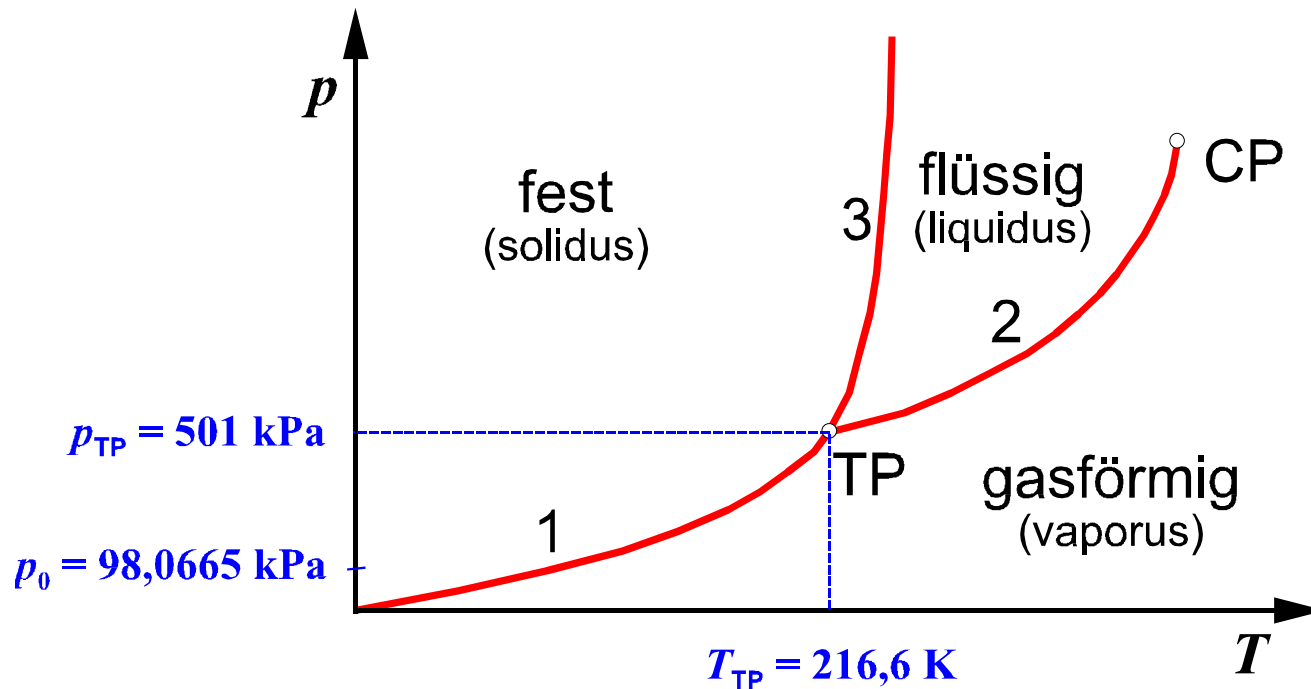
$$p + f = c + 2 \quad (\text{Gibbsche Phasenregel})$$

- $p$  - Anzahl der Phasen;
- $f$  - Anzahl der Freiheitsgrade;
- $c$  - Anzahl der Stoffkomponenten.

1-Stoffsystem ( $c = 1$ ; Wasser, Kohlendioxid):

Phasen	Freiheitsgrade	Zustandsgebiete
1	2	dampförmig flüssig fest
2	1	Dampfdruck-Kurve Schmelzdruck-Kurve Sublimationsdruck-Kurve
3	0	Tripelpunkt

## Zustandsdiagramm des Kohlendioxids



- 1 - Sublimationsdruck-Kurve;
- 2 - Dampfdruck-Kurve;
- 3 - Schmelzdruck-Kurve.

### SI-Einheitensystem: einige abgeleitete Einheiten (Auswahl)

abgeleitete Größe	Formel- zeichen	Einheit	
		Name	Zeichen
<b>Fläche</b>	$A$	<b>Quadratmeter</b>	$\text{m}^2$
<b>Volumen</b>	$V$	<b>Kubikmeter</b>	$\text{m}^3$
<b>Geschwindigkeit</b>	$v$	<b>Meter durch Sekunde</b>	$\text{m/s}$
<b>Beschleunigung</b>	$a$	<b>Meter durch Sekundequadrat</b>	$\text{m/s}^2$
<b>Wellenzahl</b>	$k$	<b>reziproke Länge</b>	$1/\text{m}$
<b>spezifisches Volumen</b>	$v$		$1/\text{m}^3$
<b>Dichte</b>	$\rho$		$\text{kg/m}^3$
<b>elektr. Stromdichte</b>	$j$		$\text{A/m}^2$
<b>magnet. Feldstärke</b>	$H$		$\text{A/m}$
<b>Stoffmengenkonzentration</b>	$c_B$		$\text{mol/m}^3$
<b>Leuchtdichte</b>	$L_V$		$\text{cd/m}^2$
<b>Massenanteil</b>			$\text{kg/kg}=1$

**SI-Einheitensystem: abgeleitete Einheiten mit eigenen Namen (1)**

abgeleitete Größe	Formel- zeichen	Einheit		Beziehungen
		Name	Zeichen	
<b>ebener Winkel</b>	$\alpha, \varphi$	<b>Radian</b>	<b>rad</b>	$\text{m/m}; 1$
<b>räumlicher Winkel</b>	$\Omega, \omega$	<b>Steradian</b>	<b>sr</b>	$\text{m}^2/\text{m}^2; 1$
<b>Frequenz</b>	$f, \nu$	<b>Hertz</b>	<b>Hz</b>	$\text{s}^{-1}$
<b>Kraft</b>	$F$	<b>Newton</b>	<b>N</b>	$\text{m} \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2}$
<b>Druck, mechan. Spannung</b>	$p$ $\sigma$	<b>Pascal</b>	<b>Pa</b>	$\text{N}/\text{m}^2; \text{m}^{-1} \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2}$
<b>Arbeit, Energie, Wärmemenge</b>	$W$ $E$ $Q$	<b>Joule</b>	<b>J</b>	$\text{N} \cdot \text{m}; \text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2}$
<b>Leistung</b>	$P$	<b>Watt</b>	<b>W</b>	$\text{J}/\text{s}; \text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-3}$
<b>elektr. Ladung, elektr. Fluss</b>	$Q$ $\Psi$	<b>Coulomb</b>	<b>C</b>	$\text{s} \cdot \text{A}$
<b>elektr. Potential, elektromotor. Kraft</b>	$\varphi$ $E, V_0$	<b>Volt</b>	<b>V</b>	$\text{W}/\text{A}; \text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-3} \cdot \text{A}^{-1}$

### SI-Einheitensystem: abgeleitete Einheiten mit eigenen Namen (2)

abgeleitete Größe	Formelzeichen	Einheit		Beziehungen
		Name	Zeichen	
elektr. Kapazität	$C$	Farad	F	$C/V; m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^4 A^2$
elektr. Widerstand	$R$	Ohm	$\Omega$	$V/A; m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-2}$
elektr. Leitfähigkeit	$\sigma$	Siemens	S	$A/V; m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^3 \cdot A^2$
magnet. Fluss	$\Phi$	Weber	Wb	$V \cdot s; m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
magnet. Flussdichte	$B$	Tesla	T	$Wb/m^2; kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
Induktivität	$L$	Henry	H	$Wb/A; m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
Celsius Temperatur	$\vartheta$	Grad Celsius	$^{\circ}C$	K
Lichtstrom	$\Phi_V$	Lumen	lm	$cd \cdot sr; cd$
Beleuchtungsstärke	$E_V$	Lux	lx	$lm/m^2; cd \cdot m^{-2}$
Aktivität einer radioaktiven Substanz	$A$	Becquerel	Bq	$1/s; s^{-1}$
Energiedosis	$D$	Gray	Gy	$J/kg; m^2 \cdot s^{-2}$
Äquivalentdosis	$H$	Sievert	Sv	$J/kg; m^2 \cdot s^{-2}$



### Schreibweise von Einheiten

Im Buchdruck werden Zahlenwerte und Einheiten ähnlich wie Größen in einer Schrift mit Serifen (z.B. **TimesNewRoman**) geschrieben, jedoch normal, steil.

Einheiten, deren Bezeichnung von Eigennamen abgeleitet sind, werden mit großen (Anfangs-)Buchstaben geschrieben (z.B. **N**, **Pa**, **V**, **A**); alle anderen schreibt man klein.

Bei Einheiten, die als Potenzprodukt aus anderen Einheiten gebildet sind, wird empfohlen, entsprechende Multiplikationszeichen zu verwenden, um Verwechslungen mit Vorsätzen sicher auszuschliessen.

#### BEISPIELE Schreibweise von Einheiten

empfohlen für Meter je Sekunde

zulässig

**unzulässig**

Verwechslungsgefahr mit  $(\text{ms})^{-1} = 1/\text{ms}$  (**Eins durch Millisekunde**).

$$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}, \text{m/s}, \frac{\text{m}}{\text{s}}$$
$$\text{m s}^{-1}$$
$$\text{ms}^{-1}$$

**Zulässige, unterstützte SI-fremde Einheiten:**

Name	Zeichen	Wert
<b>Minute (Zeit)</b>	<b>min</b>	<b>1 min = 60 s</b>
<b>Stunde</b>	<b>h</b>	<b>1 h = 60 min = 3600 s</b>
<b>Tag</b>	<b>d</b>	<b>1 d = 24 h = 86 400 s</b>
<b>Grad (Winkel)</b>	<b>°</b>	<b>1° = (<math>\pi/180</math>) rad</b>
<b>Minute (Winkel)</b>	<b>'</b>	<b>1' = (1/60)° = (<math>\pi/10\,800</math>) rad</b>
<b>Sekunde (Winkel)</b>	<b>"</b>	<b>1" = (1/60)' = (<math>\pi/648\,000</math>) rad</b>
<b>Liter</b>	<b>l</b>	<b>1 l = 1 dm<sup>3</sup> = 10<sup>-3</sup> m<sup>3</sup></b>
<b>Tonne</b>	<b>t</b>	<b>1 t = 10<sup>3</sup> kg</b>
<b>Elektronenvolt</b>	<b>eV</b>	<b>160,218 92 · 10<sup>-21</sup> J</b>
<b>atomare Masseneinheit</b>	<b>u</b>	<b>1 u = 1,660 565 5 · 10<sup>-27</sup> kg</b>
<b>astronomische Einheit</b>	<b>AE</b>	<b>149,597 870 · 10<sup>9</sup> m</b>

**SI-Einheitensystem: abgeleitete aus abgeleiteten Einheiten (1)**

abgeleitete Größe	Formel- zeichen	Einheit	
		Name	Zeichen
dynamische Viskosität	$\eta$	<b>Pascalsekunde</b>	<b>Pa·s</b>
Impuls	$I$	<b>Newtonsekunde</b>	<b>N·s</b>
Moment	$M$	<b>Newtonmeter</b>	<b>N·m</b>
Oberflächenspannung	$\sigma$	<b>Newton durch Sekunde</b>	<b>N/s</b>
Winkelgeschwindigkeit	$\omega$	<b>Radian durch Sekunde</b>	<b>rad/s</b>
Winkelbeschleunigung	$\alpha$	<b>Radian durch Quadratsekunde</b>	<b>rad/s<sup>2</sup></b>
Wärmestromdichte	$q$	<b>Watt durch Quadratmeter</b>	<b>W/m<sup>2</sup></b>
Wärmekapazität, Entropie	$C_{th}$ $S$	<b>Joule durch Kelvin</b>	<b>J/K</b>
spez. Wärmekapazität	$c$		<b>J/(kg·K)</b>
spez. Energie	$u$	<b>Joule durch Kilogramm</b>	<b>J/kg</b>
Energiedichte	$w$	<b>Joule durch Kubikmeter</b>	<b>J/m<sup>3</sup></b>
thermische Leitfähigkeit	$\lambda$		<b>W/(m·K)</b>

### SI-Einheitensystem: abgeleitete aus abgeleiteten Einheiten (2)

abgeleitete Größe	Formelzeichen	Einheit Name	Zeichen
elektr. Feldstärke	$E$	<b>Volt durch Meter</b>	<b>V/m</b>
elektr. Ladungsdichte	$\rho$	<b>Coulomb durch Kubikmeter</b>	<b>C/m<sup>3</sup></b>
elektr. Flussdichte	$D$	<b>Coulomb durch Quadratmeter</b>	<b>C/m<sup>2</sup></b>
Permittivität	$\epsilon$	<b>Farad durch Meter</b>	<b>F/m</b>
Permeabilität	$\mu$	<b>Henry durch Meter</b>	<b>H/m</b>
Molare Energie	$U_B$	<b>Joule durch Mol</b>	<b>J/mol</b>
molare Wärmekapazität, molare Entropie	$C_B$ $S_B$	<b>Joule durch Kilogramm und Mol</b>	<b>J/(K·mol)</b>
Ionendosis	$J$	<b>Coulomb durch Kilogramm</b>	<b>C/kg</b>
Energiedosisleistung	$D$	<b>Gray durch Sekunde</b>	<b>Gy/s</b>
Strahlstärke	$I_e$	<b>Watt durch Steradian</b>	<b>W/sr</b>
Strahldichte	$L_e$	<b>Watt durch Quadratmeter und Steradian</b>	<b>W/(m<sup>2</sup>·sr)</b>

### Einheit 1

Bei der Kürzung von Einheiten zur Einheit **1** (Einheit **rad**, **sr**, **kg/kg** o.ä.) handelt es sich um die Frage, ob bei physikalischen Aussagen (in Form von Gleichungen) auf die Information des Verhältnisses (z.B. Winkel, der Rotation) verzichtet werden kann oder nicht.

Das Problem ist sehr vielschichtig, häufig in der Literatur behandelt, und wohl nur von Fall zu Fall zu lösen.

Größen dieser Art

1. *Zählgrößen* (Sonderform des Messens)

$$X_{\text{Count}} = \{X_{\text{Count}}\} [X_{\text{Count}}]$$

Als Einheit kann das **Stück** benutzt werden; in Gleichungen ist

$[X_{\text{Count}}] = 1$  zu setzen. Hier sind aber auch Sondereinheiten wie **Umdrehungen**, **Windungen**, **Perioden**, **Impulse** usw. im Gebrauch.

2. *Kennzahlen* Potenzprodukte aus Größen, deren Einheiten sich zu **1** kürzen lassen; häufig benannt nach Wissenschaftlern (z.B. Reynolds-Zahl **Re**).

3. *Verhältnisgrößen* Quotienten aus Größen gleicher Größenart, die wie **rad** oder **sr** gebildet werden.

### BEISPIELE **Verhältnisgrößen**

**Spannungsverstärkung  $V$**  : Quotient aus Ausgangs- und Eingangsspannung eines Verstärkers;

**Brechzahl  $n$**  : Quotient aus den Lichtgeschwindigkeiten im Vakuum und in einem Medium;

**Permittivitätszahl  $\epsilon_r$**  : Quotient aus der Permittivität eines isotropen Dielektrikums und der des Vakuums;

**Wirkungsgrad  $\eta$**  : Quotient aus der nutzbaren Energie und der einer Anlage zugeführten Energie;

auf die Anzeige bezogene **maximal zulässige Messabweichung  $e$**  :  
Quotient aus maximal zulässiger Messabweichung und angezeigtem Wert.

4. *Logarithmische Maße* Logarithmierte Verhältnisgrößen (Dämpfungs- resp. Übertragungsmaß; durch Hinzufügen einer Einheit, wird die beim Logarithmieren benutzte Basis gekennzeichnet):

natürlicher Logarithmus  $\ln(X_1/X_2)$  : **Neper (Np)**

dekadischer Logarithmus  $\log(X_1/X_2)$  : **Bel (B)**,

**Dezibel (1dB = 1/10 B);**

Umrechnung

**1dB = 0,115 129 Np;**

Wird im Nenner ein Referenzwert benutzt, so wird die logarithmische Verhältnisgrößen *Pegel* genannt.

### BEISPIELE **Pegel**

**dBV** es handelt sich um elektrische Spannungen, Referenzwert **1 V**;

**dBm** es handelt sich um elektrische Spannungen, Referenzwert **1 mV**.

### SI-Vorsätze für dezimale Vielfache von 10 (Auswahl)

Potenz	Wert	Name	Zeichen
$10^{15}$	1 000 000 000 000 000	Peta	P
$10^{12}$	1 000 000 000 000	Tera	T
$10^9$	1 000 000 000	Giga	G
$10^6$	1 000 000	Mega	M
$10^3$	1 000	Kilo	k
$10^2$	100	Hekto	h
10	10	Deka	da
$10^{-1}$	0,1	Dezi	d
$10^{-2}$	0,01	Zenti	c
$10^{-3}$	0,001	Milli	m
$10^{-6}$	0,000 001	Mikro	$\mu$
$10^{-9}$	0,000 000 001	Nano	n
$10^{-12}$	0,000 000 000 001	Piko	p
$10^{-15}$	0,000 000 000 000 001	Femto	f

Anm.: grau hinterlegte Zusätze sind nur für einige fest eingebürgerte Einheiten wie Centimeter, Hektoliter o.ä. verwenden.

Copyright © 2004 Dr. Wolfgang Kessel, Braunschweig

MEAS03.PPT/F40/2004-11-02/Ke



### Gebrauch der Vorsätze

- Nicht von allen Einheiten dürfen Vielfache oder Teile mit Hilfe von Vorsätzen gebildet werden; SI-fremde Einheiten sind i.Allg. ohne Vorsätze zu benutzen.
- Vorsatzzeichen und Einheitenzeichen werden zusammengeschrieben und können (ohne Klammern) in eine Potenz erhoben werden.

### BEISPIEL Vorsätze

$$1 \text{ cm}^3 = (0,01 \text{ m})^3$$

- Vorsätze sind so zu wählen, dass sich Zahlenwerte im Bereich **0,1...100** ergeben (vgl. MEAS01F12 "Technisch-wissenschaftliche Notation") (Tabellen evtl. ausgenommen).
- Die Vorsätze **Hekto-**, **Deka-**, **Dezi-** und **Zenti-** sind nur dort zu verwenden, wo sie schon seit langem üblich sind.

### BEISPIEL Vorsätze

**Zentimeter (cm)** aber **nicht** "Dekaneutron"!

- Bei Einheiten ohne selbständigem Namen (Potenzprodukte von Einheiten) kann jede auftretende Einheit, nicht aber die Potenz mit einem Vorsatz versehen werden, die Verwendung mehrerer Vorsätze im gleichen Potenzprodukt sollte jedoch vermieden werden.

### BEISPIELE Vorsätze

#### Richtig

**Gramm je Kubikzentimeter ( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ );**

**Kilometer je Sekunde ( $\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$ );**

**Kubikkilometer 1 ( $\text{km}^3$ ) =  $10^9$   $\text{m}^3$ .**

#### Falsch

**Kilokubikmeter für  $10^3$   $\text{m}^3$ .**

#### Nicht empfehlenswert

**Millimeter je Millisekunde ( $\text{mm}/\text{ms}$ ).**

- Vorsatz und Einheit sind beide auszuschreiben oder beide abzukürzen.

### BEISPIELE Vorsätze

#### Richtig

**Kilometer** oder **km**.

#### Falsch

**kHertz** oder **KiloHz**.

- Vielfache der Masseneinheit sind nur mit dem Namen **Gramm** oder dem Symbol **g** zu verwenden (Das Kilogramm ist die einzige SI-Basiseinheit mit einem SI-Vorsatz im Namen).

### BEISPIELE Vorsätze

#### Richtig

**0,1 mg** für  **$0,1 \cdot 10^{-6}$  kg**.

#### Falsch

**$0,1 \mu\text{kg}$**  für  **$0,1 \cdot 10^{-6}$  kg**.

### Vorsätze für binäre Vielfache von 2

(IEC - International Electrotechnical Commission (1998))

Potenz	Name	Zeichen	Ursprung	Wert
$2^{10}$	<b>kibi</b>	<b>Ki</b>	<b>kilobinär</b>	$(2^{10})^1 = 1024$
$2^{20}$	<b>mebi</b>	<b>Mi</b>	<b>megabinär</b>	$(2^{10})^2 = 1\ 048\ 576$
$2^{30}$	<b>gibi</b>	<b>Gi</b>	<b>gigabinär</b>	$(2^{10})^3 = 1\ 073\ 741\ 824$
$2^{40}$	<b>tebi</b>	<b>Ti</b>	<b>terabinär</b>	$(2^{10})^4$
$2^{50}$	<b>pebi</b>	<b>Pi</b>	<b>pentabinär</b>	$(2^{10})^5$
$2^{60}$	<b>exbi</b>	<b>Ei</b>	<b>exabinär</b>	$(2^{10})^6$

### Ungültige aber befristet zugelassene SI-fremde Einheiten:

Name	Zeichen	Wert
Internationale Seemeile	sm	$1 \text{ sm} = 1852 \text{ m}$
Knoten	kn	$1 \text{ kn} = 1 \text{ sm/h} = 0,5144 \text{ m/s}$
Ar	a	$1 \text{ a} = 1 \text{ dm}^2 = 10^2 \text{ m}^2$
Hektar	ha	$1 \text{ ha} = 1 \text{ hm}^2 = 10^4 \text{ m}^2$
Bar	bar	$1 \text{ bar} = 0,1 \text{ MPa} = 100 \text{ kPa} = 10^5 \text{ Pa}$
Angström	Å	$1 \text{ Å} = 0,1 \text{ nm} = 10^{-10} \text{ m}$
Curie	Ci	$1 \text{ Ci} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$
Röntgen	R	$1 \text{ R} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ C/kg}$
Rad	rd	$1 \text{ rd} = 1 \text{ cGy} = 0,01 \text{ Gy}$
Rem	rem	$1 \text{ rem} = 1 \text{ cSv} = 0,01 \text{ Sv}$

## Physikalische Gleichungen

### Grundsatz:

Was beiderseits des Gleichheitszeichen steht, muss gleich sein

- von gleichem Wert und
- von gleicher Art.

Ein physikalische Gleichung enthält also

- nur Größen (Größen-Gleichungen),
- nur Zahlenwerte (Zahlenwert-Gleichungen) oder
- nur Einheiten (Einheiten-Gleichungen).

### Größen-Gleichung

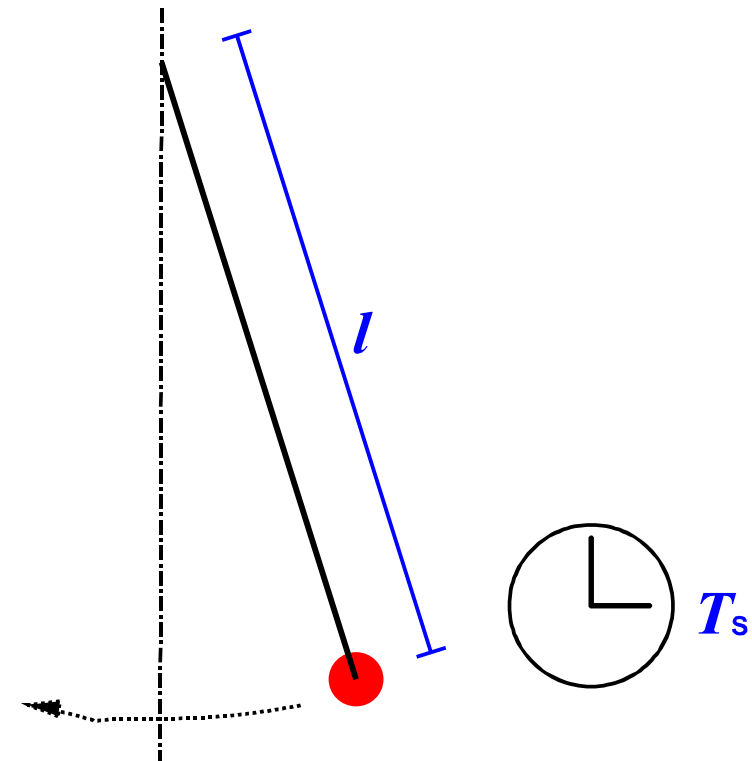
enthält neben den Größen, dargestellt durch ihre Formelzeichen, und Operations- (+, -, ·, / usw.) resp. Funktionszeichen (**exp()**, **ln()**, **sin()**, **tan()** usw.) höchstens noch Zahlen, die physikalisch bedingt sind ( $\pi$ ,  $\sqrt{2}$  u.ä.).

### BEISPIELE Größen-Gleichung

- 1) Die Schwingungsdauer  $T_S$  eines *mathematischen Pendels* der Länge  $l$  ist gegeben durch die Beziehung

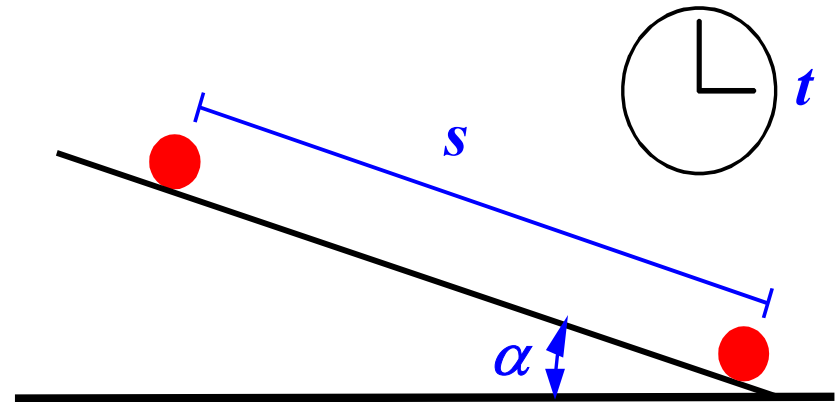
$$T_S = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{l}{g}}$$

mit  $g = 9,806\ 65\ \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$  Fallbeschleunigung.



2) Der in der Zeit  $t$  auf der *schiefen Ebene* (Neigungswinkel  $\alpha$ ) zurückgelegte Weg  $s$  ergibt sich aus der Beziehung

$$s = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2 \cdot \sin(\alpha)$$



3) Die innere Energie  $U$  eines (*idealen*) Gases der Stoffmenge  $n$  ergibt sich aus der Beziehung

$$U = \frac{3}{2} \cdot n \cdot R \cdot T$$

mit  $R = 8,314\ 472\ \text{J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$  universelle Gaskonstante.



In Größen-Gleichungen können allgemeine Größen (Größenarten) oder spezielle, konkrete Größen auftreten, die sich durch Ihre Werte ersetzen lassen.

### BEISPIELE **allgemeine und spezielle Größen**

1) Allgemeine Größen: vorstehende Beispiele.

2) Spezielle Größen: Ein Fahrzeug braucht für die Messstrecke der Länge  $l_M$  die Zeit  $t_1$ . Seine mittlere Geschwindigkeit ist somit

$$v_1 = \frac{l_M}{t_1}$$

Mit  $l_M = 100 \text{ m}$  und  $t_1 = 5 \text{ s}$  erhält man.

$$\begin{aligned} v_1 &= \frac{100 \text{ m}}{5 \text{ s}} \\ &= 20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \end{aligned}$$

Umrechnen in die Einheit **km/h**

$$1 \text{ km} = 1000 \text{ m}$$

$$1 \text{ h} = 3600 \text{ s}$$

$$v_1 = 20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$= 20 \cdot \frac{3600 \text{ km}}{1000 \text{ h}}$$

$$= 72 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$$

BEACHTEN Durch die Änderung der Einheit ändert sich nur der Zahlenwert einer speziellen Größe, nicht jedoch die Größe.

Größengleichungen sind einheiteninvariant, d.h. invariant gegenüber der Transformation der Einheiten.

### zugeschnittene Größen-Gleichung

entsteht aus der Größen-Gleichung, indem jede Größe durch die zugehörige Einheit dividiert wird mit dem Ziel die Rechenarbeit zu reduzieren und Rechenfehler zu vermeiden:

- dividiere alle Größen der allgemeinen Größen-Gleichung durch die (kohärenten) SI-Einheiten;
- setze die Zahlenwerte aller Größen, die bei wiederholter Auswertung konstant bleiben, und evtl. vorhandene Konstanten ein und fasse die Zahlenwerte zusammen;
- rechne die Einheiten in die gewünschte Form (erst jetzt Vorsätze verwenden!) und beziehe die Umrechnungsfaktoren in die Zahlenwerte mit ein.

### BEISPIELE zugeschnittene Größen-Gleichung

Sollen nacheinander die mittleren Geschwindigkeiten mehrerer Fahrzeuge oder wiederholt die eines Fahrzeuges ermittelt werden, so werden die Fahrzeiten

$t_1, t_2, \dots, t_n$  gemessen, die für die Messstrecke  $l_M$  benötigt werden.

Nach dem letzten Beispiel (F49 BEISPIEL2) wird man eine passend zugeschnittene Größengleichung folgendermaßen aufstellen

$$v_i = \frac{l_M}{t_i} \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

Division durch die Einheiten

$$\frac{v_i}{\text{m/s}} = \frac{l_M / \text{m}}{t_i / \text{s}}$$

ergibt eine Gleichung zwischen Zahlenwerten (eine echte Zahlenwert-Gleichung enthält keine Einheiten).

Einsetzen der Länge  $l_M = 100 \text{ m}$  der Messstrecke und Umrechnen in die gewünschten Einheiten ergibt

$$\frac{v_i}{\text{km/h}} = \frac{3600}{1000} \cdot 100 \cdot \frac{\text{s}}{t_i}$$
$$= 360 \cdot \frac{\text{s}}{t_i}$$

oder

$$v_i = 360 \cdot \frac{\text{s}}{t_i} \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$$

Beim Einsetzen der gemessenen Zeiten kürzt sich die Einheit  $\text{s}$  weg, und es ergibt sich die Geschwindigkeit in  $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ .

### Zahlenwert-Gleichung

Bei Routinemessungen sind die Einheiten i.Allg. festgelegt, so dass vereinbart werden kann, dass die Formelzeichen die Zahlenwerte der jeweiligen Größe darstellen.

Die Gleichungen müssen ausdrücklich als *Zahlenwert-Gleichungen* gekennzeichnet sein und die vereinbarten Einheiten müssen angegeben werden.

### BEISPIELE Zahlenwert-Gleichung

Die Gleichung des letzten Beispiels lautet als Zahlengleichung

$$v_i = \frac{360}{t_i} \left( \frac{v}{\text{km/h}}, \frac{t}{\text{s}} \right)$$

oder

$$v_i = \frac{360}{t_i} \quad v \text{ in km}\cdot\text{h}^{-1}, \\ t \text{ in s.}$$

### Einheiten-Gleichung

enthält neben den Einheiten nur Zahlenfaktoren.

### BEISPIELE Einheiten-Gleichung

$$1 \text{ N} = 1 \text{ m} \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2}$$

$$1 \text{ at} = 98,066 \text{ 5 kPa}$$

$$[\dot{m}] = \text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \quad \text{Definition der Einheit des Massenstrom}$$

### Einige Fundamentalkonstanten: CODATA-empfohlene Werte (1):

Name	Formelzeichen/ Formel	Wert	relative (bezogene) Standard- messunsicherheit
Licht- geschwindigkeit	$c_0$	$0,299\,792\,458 \cdot 10^9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$	(exakt)
magnet. Feldkonstante	$\mu_0$	$4\pi \cdot 10^{-7} \text{ N}\cdot\text{A}^{-2}$ $= 1,256\,637\,061\,4 \cdot 10^{-6} \text{ N}\cdot\text{A}^{-2}$	(exakt)
elektr. Feldkonstante	$\varepsilon_0 = c_0^2 / \mu_0$	$8,854\,187\,817 \cdot 10^{-12} \text{ F}\cdot\text{m}^{-1}$	(exakt)
Gravitations- konstante	$G$	$66,73 \cdot 10^{-12} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$
Plancksches Wirkungsquantum	$h$	$0,662\,606\,876 \cdot 10^{-33} \text{ J}\cdot\text{s}$	$78 \cdot 10^{-9}$
Elementarladung	$e$	$16,021\,764\,62 \cdot 10^{-18} \text{ C}$	$39 \cdot 10^{-9}$



### Einige Fundamentalkonstanten: CODATA-empfohlene Werte (2):

Name	Formelzeichen/ Formel	Wert	relative (bezogene) Standard- messunsicherheit
Ruhemasse des Elektrons	$m_e$	$0,910\ 938\ 188 \cdot 10^{-18}$ kg	$79 \cdot 10^{-9}$
Ruhemasse des Protons	$m_p$	$1,672\ 621\ 58 \cdot 10^{-27}$ kg	$79 \cdot 10^{-9}$
Ruhemasse des Neutrons	$m_n$	$1,674\ 927\ 16 \cdot 10^{-27}$ kg	$79 \cdot 10^{-9}$
Avogadro-Konstante	$N_A$	$0,602\ 214\ 199 \cdot 10^{24}$ mol <sup>-1</sup>	$79 \cdot 10^{-9}$
universelle (molare) Gaskonstante	$R$	$8,314\ 472$ J·mol <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup>	$1,7 \cdot 10^{-6}$

### Häufige falsche Schreibweisen

*Einheitenzeichen oder -namen sind nicht durch Indizes zu modifizieren.*

**Falsch**

$$V = 1000 V_{\max}$$

**Richtig**

$$V_{\max} = 1000 V$$

*Zahlenwerte und Einheitenzeichen sind durch eine Leerstelle zu trennen; ausgenommen ist die Exponenten-Schreibweise bei Winkelangaben oder der Temperatur in °C.*

**Falsch**

eine **25-kg** Kugel

ein Winkel von **2 ° 3 ‘ 4 ‘‘**

**Richtig**

eine **25 kg** Kugel

ein Winkel von **2° 3‘ 4‘‘**

*Zahlenwerte mit mehr als vier Ziffern auf einer oder beiden Seiten vom Dezimalkomma sind von Dezimalkomma aus in Dreiergruppen zusammenzufassen, die durch Leerstellen gegeneinander abgesetzt sind.*

**Falsch**

**15739,01253**

**Richtig**

**15 739,012 53**

**Das Zeichen % ist nur als Faktor 0,01 zu benutzen.**

**Falsch**

Die Länge von  $l_2$  übertrifft  
die Länge von  $l_1$  um **0,2%**.

**Richtig**

$l_2 = l_1 \cdot (1 + 0,02)$  oder  
 $D = 0,02$ , wobei  $D$  gegeben ist  
durch die Relation  $D = (l_2 - l_1) / l_1$ .

**Es ist stets zwischen dem Objekt, das Träger der Größe ist, und der Größe selbst, die ein Merkmal des Objektes charakterisiert, zu unterscheiden.**

**Falsch**

Eine Masse von **5 g**.

**Richtig**

Ein Körper von **5 g** Masse oder  
ein Körper der Masse  $m = 5 \text{ g}$ .

**Es sind die üblichen Größensymbole und mathematischen Zeichen in der international vereinbarten Schreibweise zu verwenden.**

BEISPIEL

**tan(x)**

**R** für Widerstand, **F** für Kraft, **A** für Fläche usw.