

# 1 Größen und Symbole

## 1.1 SI-Basisgrößen und Basiseinheiten

Tabelle 1.1 SI-Basisgrößen (SI = *Système International* vom 20.10.1983)

Basisgröße, Symbol	Basiseinheit	Symbol	Exakte Definition (seit 1983)
Strecke $s$	Meter	m	Strecke, die das Licht im Vakuum während einer Dauer von $t = 1/299792458$ s zurücklegt (zuvor: 40millionster Teil eines Erdmeridians)
Masse $m$	Kilogramm	kg	Masse, die genau dem Platin-Iridium-Urkilogramm in Paris entspricht
Zeit, Dauer $t$	Sekunden	s	das 9192631770fache der Periodendauer der EM-Strahlung, die beim Übergang zwischen den Hyperfeinstruktur-niveaus des Nuklids $^{133}\text{Cs}$ abgestrahlt wird (Atomsekunde, zuvor: 1 s ist der 86400ste Teil eines mittleren Sonnentages von 24 h, 1 h = 60 min = 60 • 60 s)
Temperatur $T$	Kelvin	K	der 273,16te Teil der Differenz zwischen dem absoluten Nullpunkt der Thermodynamik (bei $\vartheta = -273,16$ °C) und der absoluten Temperatur des Tripelpunktes reinen Wassers
Stoffmenge $n$	Mol	mol	Stoffmenge, die ebenso viel Teilchen enthält wie 12 g Kohlenstoff des $^{12}\text{C}$ -Isotops (Das sind $N_{\text{A}} = 6,02221367 \cdot 10^{23}$ Atome)
(Elektrische) Stromstärke $I$	Ampère	A	Stromstärke eines zeitlich unveränderten elektrischen Stroms, welcher durch zwei parallele, im Vakuum im Abstand von 1 m angeordnete elektrische Leiter von minimalem, kreisförmigen Querschnitt fließt und zwischen diesen je Meter Leiterlänge eine elektrodynamische Kraft von $F = 2 \cdot 10^{-7}$ Newton hervorruft
Lichtstärke $L$	Candela	cd	Lichtstärke, mit der $1/600000$ m <sup>2</sup> der Oberfläche eines schwarzen Strahlers bei der Temperatur des bei einem Druck von $p = 101325$ Pa erstarrenden Platins senkrecht zu seiner Oberfläche leuchtet (früher: Lichtstärke in bestimmter Richtung von einer Quelle, die monochromatische Strahlung der Frequenz $\nu = 540 \cdot 10^{12}$ s <sup>-1</sup> ausstrahlt und deren Strahlungsstärke in dieser Richtung $1/683$ W durch Steradian beträgt, entspricht etwa 1 Wachskerze aus 1 m Abstand)

Tabelle 1.2 Vorläufer-Konventionen des SI

Konvention	Maßeinheiten-Definition
Pariser Meterkonvention 1875	Ein Meter (m) ist der 10millionste Teil eines Erdmeridians (von gr.: <i>metron</i> , das Maß).
MKSA-Maßsystem 1901	Basiseinheiten: Meter, Kilogramm, Sekunde und Ampère
Neudefinition 1960	Ein Meter (m) ist das 1650763,73fache von $\lambda(\text{Kr})$ , der Wellenlänge der orangefarbenen Spektrallinie von Krypton.

### Symbole, Größen- und Formelzeichen sowie Abkürzungen für Einheiten existieren in:

- Buchstaben aus dem griechischen Alphabet,
- lateinischen Klein- und Großbuchstaben.

**Formelzeichen** (Symbole für physikalische Größen) werden kursiv geschrieben; **Einheitssymbole**, **Elementsymbole** und aus ihnen gebildete **chemische Formeln** in Normalschrift (Abschnitt 1.5, Kapitel 3 und 4).

## 1.2

### Abgeleitete Größen, Einheiten und deren Umrechnung

Tabelle 1.3 Abgeleitete Größen

Größe/Größen- bzw. Formelzeichen*	Größengleichung, Beziehung	SI-Einheit	Weitere Einheiten, Ableitung, Umrechnung
<b>Absorptionsgrad <math>\alpha</math></b> (spektraler Reinabsorptionsgrad $\alpha$ und Extinktion $E$ )	$\alpha_i = 1 - \tau_i$ $= (\Phi'_e - \Phi_a) / \Phi_e$ $E = -\lg \tau_i$ $= -\lg (\Phi_a / \Phi_e)$	(ohne Einheit; $\Phi$ in Watt (W), also $\alpha_i$ in $\text{W} \cdot \text{W}^{-1} = 1$ )	$\tau_i = \Phi_a / \Phi_e$ Transmissionsgrad des Stoffes $i$ , $\Phi_a$ = austretende Strahlungsleistung, $\Phi_e$ = eingedrungene Strahlungsleistung
<b>Aktivität <math>A</math></b> (radioaktive)	$A = 1/t$	1 Becquerel (Bq) = $1 \text{ s}^{-1}$	1 Curie (Ci) = $3,7 \cdot 10^{10}$ Bq (Zerfallsereignisse $A$ pro Zeiteinheit $t$ )
<b>Äquivalentmasse <math>m_{eq}</math></b>	$m_{eq} = M/z^*$	$1 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$	(früher: 1 val)
<b>Äquivalentstoffmengenkonzentration <math>c(1/z^* \cdot X)</math></b>	$c(X) = \frac{n_3(X)}{z^*(X) \cdot V}$	$1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ $= \text{mmol} \cdot \text{mL}^{-1}$	$1 \text{ mol/L} = 1000 \text{ mmol/L}$ $= 10^6 \text{ } \mu\text{mol/L}$ ( $z^*$ = chem. Wertigkeit)
<b>Atommasse <math>A_r</math></b> , Relative Atomare Masse RAM	$A_r = M/N_A$ (Masse pro Atom)	1 u $= \text{g} \cdot N_A^{-1}$	$N_A$ siehe Naturkonstanten 1 u = $1,6605402 \cdot 10^{-27}$ kg

Größe/Größen- bzw. Formelzeichen*	Größengleichung, Beziehung	SI-Einheit	Weitere Einheiten, Ableitung, Umrechnung
<b>Ausbeute <math>\eta</math></b>	$\eta = m_{\text{Real}}/m_{\text{Theoret.}}$	$(\eta \cdot 100 = \%)$	$m_{\text{Real}}$ = erzielte Produktmasse
<b>Beleuchtung(s- stärke) <math>E</math></b>	$E = \Phi/A$ (Lichtstrom pro Fläche)	1 Lux (lx) = $\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$	1 Nox (nx) = $10^{-3}$ lx 1 Phot (ph) = $10^4$ lx
<b>Beschleunigung <math>g</math> (auch: <math>a, \alpha, g</math>)</b>	$a = v/t$ (Geschwindigkeit pro Zeit)	1 $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ = $\text{N} \cdot \text{kg}^{-1}$	1 $g = 9,80665 \text{ m/s}^2$ $g_n$ Fall-, Erdbeschleunigung, - $a$ Verzögerung, Abbremsung
<b>Brech(ungs)index, Brechwert, -zahl* <math>n</math></b>	$n = n_2/n_1 = c_1/c_2$ = $\sin \alpha_1/\sin \alpha_2$	–	1,2 Medium 1 und 2 $c_{1,2}$ Lichtgeschwindigkeit in Medium 1 bzw. 2
<b>Brennwert <math>H</math></b> spezifisch: $H_0$ molar: $H_{0,m}$ volumenbezogen: $H_{0,n}$	$E/m$ (bzw. $E/n$ oder $E/V$ ) (Energie pro Masse, Volumen oder Stoff- menge)	$H_0$ : $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ $H_{0,m}$ : $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ $H_{0,n}$ : $\text{kJ} \cdot \text{m}^{-3}$	Umrechnung von <b>Brennwert <math>H_0</math></b> in <b>Heizwert <math>H_u</math></b> über <b>spezifische Verdampfungsenthalpie</b> des Wassers $\Delta H_{\text{Verd.}}(\text{H}_2\text{O}) = 2442 \text{ J/g}$ und den <b>Massenanteil</b> $w(\text{H}_2\text{O})$ : $H_u = H_0 \Delta H_{\text{Verd.}}(\text{H}_2\text{O}) \cdot w(\text{H}_2\text{O})$
<b>Dichte* <math>\rho</math></b> in Masse und Raum	$\rho = m/V$ (Masse pro Volumen)	1 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ = $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ = $\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$	1 $\text{g/mL} = 1 \text{ kg/L} = 0,001 \text{ kg/m}^3$ 1 $\text{g/cm}^3 = 1000 \text{ mg/mL}$
<b>Dipolmoment <math>p_e</math></b>	$\mu = q \cdot r$ (Ladung mal Strecke)	1 $\text{C} \cdot \text{m}$	Angabe der Stärke eines Dipols; $q$ = getrennte Ladungen, $r$ = Abstand
<b>Dissoziations- konstante* <math>K_{\text{Diss}}</math></b>	$K_{\text{Diss}} = \frac{c(\text{A}^+) \cdot c(\text{B}^-)}{c(\text{AB})}$	1 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$	für Elektrolyte
<b>Druck <math>p</math></b> (mechanisch)	$p = F/a$ (Kraft pro Fläche), hydrostatisch: $p = \rho \cdot g \cdot h$	1 Pascal (Pa) = $\text{N} \cdot \text{m}^{-2}$ = $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$	$10^5 \text{ Pa} = 1 \text{ bar} = 10^3 \text{ hPa}$ 100 Pa = 1 hPa = 1 mbar, 1013 hPa = 1 atm = 1 $\text{kg/cm}^2$ = 760 Torr (mm Hg)
<b>Elektrizitätsmen- ge <math>Q</math></b> Ladung $Q$	$Q = I \cdot t$ (Stromstärke mal Zeit)	1 Coulomb (C) = $\text{A} \cdot \text{s}$ = $\text{J} \cdot \text{V}^{-1}$	1 $\text{A} \cdot \text{h} = 3600 \text{ C}$ ( $Q = I \cdot t$ bei $I = \text{const.}$ )
<b>Energie <math>E</math>, Arbeit <math>W</math>, Wärme <math>Q</math></b> mechanisch: $E_{\text{mech.}}$ , elektrisch: $E_{\text{elektr.}}$ , $W_{\text{el.}}$ potenziell: $E_{\text{pot.}}$ kinetisch: $E_{\text{kin.}}$ , Lichtenergie: $E_{\text{Licht}}$ Innere Energie $U$	$W_{\text{mech.}} = F \cdot s$ = $m \cdot g \cdot s$ (Kraft $\cdot$ Weg bzw. Masse $\cdot$ Weg $\cdot$ Beschleunigung) $W_{\text{elektr.}} = U \cdot I \cdot t$ = $P \cdot t = I^2 \cdot R \cdot t$ $E_{\text{pot.}} = m \cdot g \cdot h$ $E_{\text{kinet.}} = 1/2 \cdot m \cdot v^2$ $E_{\text{Licht}} = h \cdot \nu$ = $h \cdot c/\lambda$	1 Joule (J) = Nm = Ws = $\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$	$10^3 \text{ J} = 1 \text{ kJ} = 1 \text{ kW}\cdot\text{s}$ , 1 kWh = 3,6 MJ = 3600 kJ (kW $\cdot$ s) 1 cal (Kalorie) = 4,187 J, 1 eV (Elektronenvolt) = $1,602177 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ , 1 kcal = 4,187 kJ, $6,242 \cdot 10^{18} \text{ eV} = 1 \text{ J}$ , 1 mkp = 9,80665 J, 1 erg = $10^{-7} \text{ J}$ , 1 J = $2,7778 \cdot 10^{-7} \text{ kWh}$ $h, \nu, c$ Naturkonstanten $\lambda$ Wellenlänge $\nu$ Frequenz
<b>Enthalpie <math>H</math>, freie Enthalpie <math>G</math></b> (Molare Reaktions-) <b>Enthalpie <math>H_m</math></b>	$H = U + p \cdot V$ $G = H - T \cdot S$ $\Delta H = \Delta U + p \Delta V$ (für $p = \text{const.}$ )	1 Joule (J) 1 $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$	1 J = 1 Nm = 1 Ws = $1 \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^2$ (vgl. auch unter Energie/Arbeit) ähnliche Größen: Brenn-, Heizwert, Verbrennungsenthalpie

Größe/Größen- bzw. Formelzeichen*	Größengleichung, Beziehung	SI-Einheit	Weitere Einheiten, Ableitung, Umrechnung
<b>Entropie <math>S</math>,</b> Normalentropie (25 °C, 1013,25 hPa)	$S = k \cdot \ln W$ $\Delta S = \Delta Q / \Delta T$	1 J • K <sup>-1</sup>	Maß für Unordnung/Gleichverteilung/ Reaktions-Spontaneität $k$ = Boltzmann-Konstante $W$ = thermodyn. Wahrscheinlichkeit
<b>Extinktion <math>E</math></b> und <b>Extinktions- modul <math>a</math></b> (als Extinktion pro Schichtdicke)	$E = -\lg \tau_i$ $= -\lg (\Phi_a / \Phi_e)$ $a = E/d$	( $E$ : ohne Einheit $\Phi$ : W, $d$ : cm, $a$ : cm <sup>-1</sup> )	$\tau_i = \Phi_a / \Phi_e$ = Transmissionsgrad des Stoffes $i$ , $\Phi_a$ = austretende Strahlungsleistung, $\Phi_e$ = eingedrungene Strahlungsleistung
<b>Extinktionskoeffi- zient</b> molar: $\varepsilon(\lambda)$ spezifisch: $\varepsilon_{sp}(\lambda)$	$\varepsilon(\lambda) = c \cdot d / E = a/c$ $\varepsilon_{sp}(\lambda) = a/\beta$	$\varepsilon(\lambda)$ : L mol • cm  $\varepsilon_{sp}(\lambda)$ : L • g <sup>-1</sup> • cm <sup>-1</sup>	$d$ Schichtdicke der Lösung, $c$ Stoffmengenkonzentration, $a$ Extinktionsmodul (in cm <sup>-1</sup> ) $\beta$ Stoffmengenkonz. (in mg • L <sup>-1</sup> )
<b>Fläche <math>A</math></b>	$A = l \cdot b = s^2$	1 m <sup>2</sup>	100 m <sup>2</sup> = 1 Ar = 0,01 Hektar (ha)
<b>Frequenz <math>\nu</math></b>	$\nu = 1/t = c/\lambda$	1 Hz = 1 s <sup>-1</sup>	Umrechnung von <b>Wellenzahl</b> <b><math>\sigma</math> in Energie <math>E</math>:</b> 1 J $\equiv$ 5,03411 • 10 <sup>22</sup> cm <sup>-1</sup>
<b>Geschwindigkeit</b> <b><math>u, v</math></b>	$v = s/t$ (Strecke pro Zeiteinheit)	1 m • s <sup>-1</sup>	1 km/h = 0,277 m/s, 1 m/s = 3,6 km/h 1 Knoten (kn) = 0,5144 m/s = 1 Seemeile (sm)/h = 1855 m/h
<b>Gewichtskraft <math>G, F_G</math></b> Auftriebskraft $F_A$ Bremskraft $F_B$ Beschleunigungs- kraft $F_B$	$F_G = m \cdot g$  $F_B = m \cdot a$ $F_A = V \cdot \rho \cdot g$	1 N = $\frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2}$	1 Kilopond (kp) = 9,80665 N $g$ = Fallbeschleunigung 9,81 m/s <sup>2</sup> ( $a$ = Beschleunigung oder Verzögerung, $\rho$ = Dichte der Auftrieb liefernden Flüssigkeit)
<b>Heizwert*</b> : spezifisch: $H_u$ molar: $H_{u,m}$ volumenbezogen: $H_{u,n}$	$E/m$ (bzw. $E/n$ oder $E/V$ ) (Energie pro Masse bzw. pro Volumen oder Stoffmenge)	$H_u$ : J • kg <sup>-1</sup> $H_{u,m}$ : J • mol <sup>-1</sup> $H_{u,n}$ : J • m <sup>-3</sup>	Umrechnung von <b>Brennwert <math>H_O</math></b> in <b>Heizwert</b> <b><math>H_u</math></b> über <b>spezifische Verdampfungsenthalpie</b> des Wassers $\Delta H_{\text{Verd.}}(\text{H}_2\text{O}) = 2442$ J/g und den <b>Massenanteil <math>w(\text{H}_2\text{O})</math></b> : $H_u = H_O \cdot \Delta H_{\text{Verd.}}(\text{H}_2\text{O}) \cdot w(\text{H}_2\text{O})$
<b>Impuls <math>p^{\rightarrow}</math></b>	$p^{\rightarrow} = m \cdot v = F \cdot \Delta t$	1 N • s = 1 kg • m • s <sup>-1</sup>	$p^{\rightarrow}$ = Impuls, denn $p$ steht für Druck; $F$ = Kraft, $\Delta t$ = Zeitdauer
<b>Kraft <math>F</math></b>	$F = m \cdot a$	1 Newton (N) = 1 J/m = 1 kg • m • s <sup>-2</sup>	1 dyn = 10 <sup>-5</sup> N 1 Pond (p) = 0,001 kp = 9,8066 • 10 <sup>-3</sup> N
<b>Ladung(smengen) <math>Q</math>,</b> <b>Elektrizitätsmen- ge;</b> (bei $I = \text{const.}$ )	$Q = I \cdot t$ (Stromstärke mal Zeit)	1 Coulomb (C) = A • s = J • V <sup>-1</sup>	1 A • h = 3600 C ( $Q = W_{\text{el.}} / U$ )
<b>Längenausdeh- nungskoeffizient* <math>\alpha</math></b>	$\alpha = \Delta L / (L_0 \cdot \Delta T)$ = 1/3 $\gamma$	K <sup>-1</sup>	Längenänderung bei Festkörpern $\Delta L = \alpha \cdot L_0 \cdot \Delta T$ $\gamma$ = Volumenausdehnungskoeffizient

Größe/Größen- bzw. Formelzeichen*	Größengleichung, Beziehung	SI-Einheit	Weitere Einheiten, Ableitung, Umrechnung
<b>Leistung P</b> (=Wärmestrom = Strahlungsfluss) in Elektrizität, Optik Mechanik und Thermodynamik	$P = W/t$ auch: $P_{el.} = W_{el.}/t = U \cdot I$ $= \vec{F} \cdot \vec{s}/t = F/v$	1 Watt (W) $= 1 \text{ J} \cdot \text{s}^{-1}$ $= 1 \text{ V} \cdot \text{A}$ $= 1 \text{ N} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	1 MW = $10^6$ W; 1 GW = $10^9$ W 1 PS = 735,498775 W = 0,735 kW Heizleistung: 1 kcal/h = 1,163 W $P_{el.} = W_{el.}/t = U \cdot I = I^2 \cdot R = U^2/R$
<b>Leitfähigkeit*</b> , <b>elektrische <math>\kappa</math></b>	$\kappa = 1/R = I/U$ (Stromstärke pro Spannung)	1 Siemens (S) $= \Omega^{-1}$ $= \frac{\text{s}^3 \cdot \text{A}}{\text{kg} \cdot \text{m}^2}$	Kehrwert des Widerstandes, Leitfähigkeit auch als $\Lambda$ in der Einheit $\text{S} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2}$
<b>Leitfähigkeit, elektr.</b> <b><math>\gamma</math></b> (Konduktivität) und <b>Leitwert G</b>	$\gamma = 1/\rho$ $G = 1/R$	1 S/m $= 1/\Omega \cdot \text{m}$ 1 S = $1/\Omega$	Leitfähigkeit: 1 S/m = $1/\Omega \cdot \text{m} = 1 \text{ A/V} \cdot \text{m}$ Leitwert: 1 S = $1/\Omega = 1 \text{ A/m}$
<b>Lichtstrom <math>\Phi</math></b> und <b>Lichtstärke I</b> (Basisgröße)	$I = d\Phi/d\omega$ (Lichtstrom durch Raumwinkel)	1 Candela (cd), SI-Basiseinheit 1 Lumen (lm)	1 lm = $1 \text{ cd} \cdot \text{sr}$ (Steradian, Raumwinkel) (Lichtmenge $Q_{vis.}$ in: $\text{lm} \cdot \text{s}$ , Lichtausbeute $\eta = \Phi/P$ in $\text{lm/W}$ )
<b>Löslichkeit* L</b> <b>Löslichkeits- produkt* <math>K_L</math></b>	$L = m(X)/m_{LM}$ $K_L = c(A^{n+})^m \cdot c(B^{m-})^n$	g/100 g $\text{mol}^{n+m}/\text{L}^{m+n}$	$m(X)$ = Masse des Stoffes X in gesättigter Lösung, $m_{LM}$ = Masse des Lösungsmittels, $c(A^{n+})$ , $c(B^{m-})$ = Sättigungskonzentration der Ionen $A^{n+}$ und $B^{m-}$ von Stoff $A_{m} B_n$
<b>Massenanteil w</b> <b>Massen- konzentration* <math>\beta</math></b>	$w_i/w_{\text{Gesamt}}$ $\beta = \frac{m(\text{Stoff X})}{V(\text{Lösung})}$	$\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 1 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ $= 1 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$	$w \cdot 100 = \text{Masse } \%$ 1 $\text{kg} \cdot \text{L}^{-1}$ $= 1000 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} = 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$
<b>Molalität b</b>	$b(X)$ $= n(X)/m(\text{LM})$	1 $\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$ LM	$n(X)$ = Stoffmenge des gelösten Stoffes X, LM = Lösungsmittel
<b>Molare Masse M</b>	$M = m/n$	1 $\text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$	1 $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1} = 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}$
<b>Molarität <math>c_i</math></b>	siehe Stoffmengenkonzentration* (Konzentration, stoffmengenbezogen)		
<b>Molwärme <math>C_p, C_v</math></b>	siehe Wärmekapazität, molares Volumen $V_{m,n} = V(X)/n(X) = M(X)/\rho$		
<b>Normalität</b>	siehe Äquivalent-Stoffmengenkonzentration*		
<b>Osmotischer Druck <math>\pi</math></b>	$\pi = c \cdot R \cdot T$	1 Pascal (Pa)	Pascal, bar siehe unter Druck p
<b>Potenzial:</b> chemisch: $\mu, H, U$ elektrisch: $\phi_{el.}, U, E$	$\phi_{el.}$ $= 1/(4\pi \cdot \epsilon_0) \cdot (Q/r)$	$\mu: \text{J} \cdot \text{mol}^{-1}$ $\phi_{el.}, U, E: \text{Volt (V)}$	$r$ = Leiterabstand, $\epsilon_0$ = elektrische Feldkonstante; vgl. unter Spannung, elektrische (U) und Enthalpie (H) sowie innere Energie (U)
<b>Reaktionsge- schwindigkeit <math>v_{RG}</math></b>	$V_{RG,n} = \Delta n/\Delta t$ $V_{RG,c} = \Delta c/\Delta t$ $V_{RG,Gase} = \Delta p/\Delta t$	1 mol/s (Lösungen: $\text{mol/L} \cdot \text{s}$ , Gase: $\text{L/s}$ )	1 mol/s = 1000 mmol/s (Stoffmengenänderung pro Zeit, bei Lösungen Änderung von c, bei Gasen auch Änderung von V)
<b>Spannung,</b> elektrische U, <b>Potenzialdifferenz</b> <b>E, <math>\Delta\phi</math></b>	$U = W_{el.}/Q$ $U = \phi_2 - \phi_1$ $= W/Q$	1 Volt (V) $= 1 \text{ W} \cdot \text{A}^{-1}$ $= 1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^3 \cdot \text{A}}$ $= 1 \text{ J} \cdot \text{A}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$	1 MV = 1000 kV = $10^6$ V (auch als elektrische Leistung pro Strom- stärke: $U = P_{el.}/I = W_{el.}/Q$ ) $\phi_{1,2}$ = elektrisches Potenzial in den Punkten 1 und 2
<b>Stoffmengenanteil*</b> <b><math>\chi</math></b> (Molenbruch)	$\chi_1 =$ $n(A)/[n(A)+n(B)]$	mol/mol	$\chi \cdot 100 = \text{mol } \%$ $n(X) = m(X)/M(X)$ (Stoffmenge siehe Basisgrößen)

Größe/Größen- bzw. Formelzeichen*	Größengleichung, Beziehung	SI-Einheit	Weitere Einheiten, Ableitung, Umrechnung
<b>Stoffmengen- konzentration* <math>c_i</math></b>	$c_i = n_i/V$	$\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ $= \text{mmol} \cdot \text{mL}^{-1}$	$1 \text{ mol/L} = 1000 \text{ mmol/L}$ $= 10^6 \mu\text{mol/L}$
<b>Stromdichte <math>G</math></b>	$G = I/A$	$1 \text{ A} \cdot \text{m}^{-2}$	$A = \text{Leiterquerschnittsfläche}$
<b>Transmissions- grad <math>\tau</math> und Extinktion <math>E</math></b>	$\tau_i = \Phi_a/\Phi_e$ $E = -\lg \tau_i$ $= -\lg(\Phi_a/\Phi_e)$	(ohne Einheit; $\Phi$ in Watt (W), also $\alpha_i$ in $\text{W/W} = 1$ )	auch: Lichtdurchlässigkeit; $\Phi_a = \text{aus tretende Strahlungsleistung}$ , $\Phi_e = \text{eingedrungene Strahlungsleistung}$
<b>Verdampfungswärme*</b> spezifisch: $r$ , $\Delta h_{\text{Verd.}}$ molar: $\Delta H_{\text{Verd.}}$	$\Delta H = \Delta U + p \Delta V$ (Energiemenge pro Masse oder Stoffmenge)	$r: \text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$  $\Delta H_{\text{Verd.}}: \text{J} \cdot \text{mol}^{-1}$	Enthalpieänderung beim Übergang vom flüs- sigen in den gasförmigen Aggregatzustand; pro mol oder kg
(Dynamische) <b>Viskosität* <math>\eta</math></b>	$\eta = \nu \cdot \rho$ (kinematische Vis- kosität mal Dichte) im Viskosimeter: $\eta = K \cdot (\rho_2 - \rho_1) \cdot t$	$1 \text{ Pa} \cdot \text{s}$  $= 1 \frac{\text{N} \cdot \text{s}}{\text{m}^2}$	$1 \text{ Poise (P)} = 0,1 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ $1 \text{ kp} \cdot \text{s/m}^2 = 9,8066 \text{ Pa} \cdot \text{s}$  $\nu = \text{kinemat. Viskosität}$ , $\rho = \text{Dichte}$ , $K = \text{Kugelkonstante des Viskosi-}$ $\text{meters}$ , $t = \text{Kugelfallzeit}$ , $\rho_1 = \text{Kugeldichte}$ , $\rho_2 = \text{Dichte der Flüssigkeit}$
(kinematische) <b>Viskosität* <math>\nu</math></b>	$\nu = \eta/\rho$	$1 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ $= 1 \text{ N} \cdot \text{s} \cdot \text{m} \cdot$ $\text{kg}^{-1}$	$1 \text{ Stokes (St)} = 0,0001 \text{ m}^2/\text{s}$ , $1 \text{ cSt} = 1 \text{ mm}^2/\text{s}$
<b>Volumen <math>V</math></b>	$V = l \cdot b \cdot h = s^3$ (Länge $l$ mal Breite $b$ mal Höhe $h$ )	$1 \text{ m}^3$ $= 1000 \text{ L}$ $= 1000 \text{ dm}^3$ $= 10^6 \text{ cm}^3$	$1 \text{ L} = 1 \text{ dm}^3 = 10^{-3} \text{ m}^3 = 10^3 \text{ cm}^3$ (ccm, mL) $= 10^6 \mu\text{L} = 0,01 \text{ h}$ , $1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ L}$ $1 \text{ km}^3 = 10^6 \text{ m}^3$ , $1 \text{ cm}^3 = 1 \text{ mL}$
<b>Volumenanteil* <math>\varphi</math></b>	$\varphi_i = V_i/V_{\text{Gesamt}}$	$\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$	$\varphi \cdot 100 = \text{Vol } \%$ , $i = \text{Komponente } i$
<b>Volumenausdeh- nungskoeffizient* <math>\gamma</math></b> (thermischer Raumausdeh- nungskoeffizient)	$\gamma = 3\alpha$ $= \Delta V / (V_0 \cdot \Delta T)$	$\text{K}^{-1}$	(für ideale Gase bei $\vartheta = 0 \text{ }^\circ\text{C}$ gilt: $\gamma \approx 1/273$ für ein Volumen $V_1$ bei Temperatur $T_1$ gilt im Vergleich zum Ausgangsvolumen $V_0$ : $V_1 = V_0 \cdot (1 + \gamma \cdot \Delta\vartheta)$ )
<b>Volumen- konzentration* <math>\sigma_i</math></b>	$\sigma_i = V(X)/V_{\text{Gesamt}}$	$\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$	$1 \text{ L/m}^3 = 1 \text{ mL/L}$ $1 \text{ ppm} = 1 \text{ mL/m}^3$ $= 10^3 \text{ ppb} = 10^6 \text{ ppt} = 10^9 \text{ ppq}$
<b>Wärme(menge) <math>Q</math></b> , thermische Energie $E_{\text{therm.}}$ $K$ s.o. unter: Arbeit $W$	$E_{\text{therm.}} \approx E_{\text{kinet.}}$ $= 1/2 \cdot m \cdot v^2$	$1 \text{ J}$ $= \text{N} \cdot \text{m}$ $= \text{W} \cdot \text{s}$	$1 \text{ kWh} = 3,6 \text{ MJ} = 860 \text{ kcal}$ $1 \text{ cal} = 4,1868 \text{ J} = 0,001163 \text{ W} \cdot \text{h}$
<b>Wärmedurch- gangskoeffizient <math>k</math></b>	$k = \Phi / (A \cdot \Delta\vartheta_m)$ (Wärmestrom pro Fläche pro Tempera- turdifferenz)	$1 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$	$1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ $\approx 0,86 \text{ kcal}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{K})$ $\Delta\vartheta_m = \text{mittlere logarithmische}$ $\text{Temperaturdifferenz (in } ^\circ\text{C)}$
<b>Wärmekapazität <math>C</math></b>	$C = \Delta Q/\Delta T$ (Wärmeänderung pro Temperatur- änderung)	$1 \text{ J/K}$ $= 1 \frac{\text{m}_2 \cdot \text{kg}}{\text{s}^2 \cdot \text{K}^2}$	$\Delta Q = \text{aufgenommene bzw.}$ $\text{abgegebene Wärmemenge } Q$

Größe/Größen- bzw. Formelzeichen*	Größengleichung, Beziehung	SI-Einheit	Weitere Einheiten, Ableitung, Umrechnung
Wärmekapazität, molare $c_m$ (Molwärme)	$C_{m,p} = \Delta U / \Delta T$ $C_{m,n} = \Delta H / \Delta T$	$1 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	$1 \text{ J} \cdot \text{mol} \cdot \text{K} =$ $1 \text{ m}^2 \cdot \text{kg} / \text{mol} \cdot \text{s}^2 \cdot \text{K}$ $C_{m,p} : p = \text{const.}, C_{m,n} : n = \text{const.};$ Umrechnung mit: $\Delta U = \Delta H - p \Delta V$
Wärmekapazität, spezifische $c$	$c = \Delta Q / (\Delta T \cdot m)$	$1 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ $= \text{Ws} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	Umrechnung: $Q = c \cdot m \cdot \Delta \vartheta;$ Einheit: $1 \text{ cal} / \text{g} \cdot \text{grd} = 4,187 \text{ J} / \text{g} \cdot \text{grd}$
Wärmeleitfähig- keit* $\lambda$ , spezifische Wär- meleitfähigkeit $\lambda_0$	$\lambda = Q / (s \cdot \Delta \vartheta)$ (Wärme pro Strecke pro Temperatur- differenz)	$1 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ $= \frac{\text{J}}{\text{s} \cdot \text{m} \cdot \text{K}}$ $= \frac{\text{m} \cdot \text{kg}}{\text{K} \cdot \text{s}^3}$	$1,163 \text{ W} / (\text{m} \cdot \text{K})$ $\cong 0,86 \text{ kcal} / (\text{m} \cdot \text{h} \cdot \text{°C});$ $1 \text{ kJ} / (\text{m} \cdot \text{h} \cdot \text{K}) = 0,2778 \text{ W} / (\text{m} \cdot \text{K})$
Wärmestrom $\Phi$	$\Phi = W / t$	1 Watt (W)	( $\Phi$ alternativ auch als $Q \cdot$ oder $P$ )
Widerstand, elektrischer $R$	$R = U / I$  $R = \rho \cdot s / A$	1 Ohm ( $\Omega$ ) $= 1 \text{ V} \cdot \text{A}^{-1}$ $= 1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^3 \cdot \text{A}}$	$1 \Omega = 1 \text{ S}^{-1}, 1 \text{ k}\Omega = 10^3 \Omega = 10^6 \text{ m}\Omega$ (mit der Basisgröße Stromstärke als Ladung pro Zeit: $I = Q / t$ ); $s =$ Leiterlänge, $A =$ Leiterquerschnittsfläche, $\rho =$ spezifischer elektrischer Widerstand $R = U / I$ (in $\Omega = \text{V} / \text{A}$ )
Widerstand, spezifischer elektrischer* $\rho_{\text{spezif.}} \cdot \rho$	$\rho = R \cdot A / s$	$1 \Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1},$ $= 1 \Omega \cdot$	$1 \Omega \text{ mm}^2 / \text{m} = 10^{-6} \Omega \cdot \text{m}$ [spezifischer Widerstand = Widerstand von $1 \text{ cm}^3$ eines Materials]
Winkel (ebener)	$\alpha, \beta, \gamma \dots$	$1^\circ = 60' = 3600''$	1 Vollwinkel = $2\pi \text{ rad} = 360^\circ$ (räuml. Winkel: in Steradian, sr)
Wirkungsgrad $\eta$ , auch: Nutzarbeit $\eta$ , Ausbeute $\eta$	$\eta = \frac{P_{\text{abgeführt}}}{P_{\text{zugeführt}}}$	%	Verhältnis zwischen ab- und zugeführter Leistung, Arbeit oder Energie (Chemie: <b>Ausbeute <math>\eta</math></b> als Verhältnis zwischen realer und theoretischer Produktmenge)

\* Weitere Gehaltsangaben und Gehaltsgrößen in Abschnitt 5.4; stoffspezifische Größen wie Heizwert, Kompressibilität, Längenausdehnungskoeffizient, Leitfähigkeit und Löslichkeit in Abschnitt 1.3. Zu abgeleiteten Größen, die konstante, stoffspezifische Größen darstellen (z. B. chem. und phys. Stoffeigenschaften) siehe auch Abschnitt 1.3 (unter Basestärke, Brechungsindex, Brennwert, Dampfdruck, Dichte, Dipolmoment, Dissoziationskonstante, Ebullioskopische Konstante, Elastizität, elektrische Leitfähigkeit, Flammpunkt usw.)! Zu stoffspezifischen Größen wie Wärmeleitfähigkeit, molare und spezifische Wärmekapazität, spezifischer, elektrischer Widerstand, mechanische Zugfestigkeit, Zündtemperatur siehe auch in Abschnitt 1.3. Konzentration siehe unter Massen-, Stoffmengen- und Volumenkonzentration. Die drei Konzentrationsangaben  $c$ ,  $\varphi$  und  $\beta$  sind die Gehaltsgrößen (Gehaltsangaben) für einen Stoff  $i$ , die sich auf das Volumen  $V$  der Lösung oder des Stoffgemisches beziehen (Weitere Gehaltsangaben und Gehaltsgrößen in Abschnitt 5.4; stoffspezifische Größen wie Löslichkeit, Molare Masse, Oberflächenspannung, Redoxpotenzial, Säurestärke, Schmelz- und Siedetemperatur, Verdampfungswärme, Viskosität und Volumenausdehnungskoeffizient siehe auch in Abschnitt 1.3).

Weitere energiebezogene Größen:

- in der **Energie-/Kohlewirtschaft**: 1 kg SKE (Steinkohleeinheit) = 29,3 MJ = 8,14 kWh, 1 Btu (British thermal unit) = 1055,06 J
- für die **Energiedosis  $D$  radioaktiver Strahlung**: 1 Gray (Gy) = 1 J/kg = 100 rad
- in der **Thermodynamik**: Innere Energie  $U$  ist die im System gespeicherte, **chemische Energie**

## 1.3

## Stoffspezifische Konstanten/Stoffeigenschaften

**Tabelle 1.4** Stoffspezifische Größen (Stoffeigenschaften) Die „Kapitel- und Abschnittsangaben verweisen auf entsprechende Mess- und Analysemethoden sowie mit Daten und Werten zu den jeweiligen Stoffeigenschaften

Stoffeigenschaft und Formelzeichen	Beziehung und Bestimmungsmethode	Übliche SI-Einheit	Exemplarische stoffspezifische Werte (Je ein konkretes Beispiel mit Einheiten und ggf. weitere Zahlenangaben)
<b>Aktivität</b> (skoeffizient) $\gamma$ (auch: $f_a$ , elektrolyt-spezifisch)	$a = c \cdot f_a$ Abschnitt 7.1.6	–	$\gamma$ (NaCl) = 0,652 (bei $b = 1$ mol/kg) NaI: 0,8; ZnCl <sub>2</sub> : 0,33; H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> : 1,077 $a$ = Aktivität, $f_a$ = Aktivitätskoeffizient
<b>Aroma</b> /Geruch und Geschmack	<ul style="list-style-type: none"> <li>keine messbare Stoffeigenschaft</li> <li>halbquantitativ zugänglich über chromatographische Verfahren</li> </ul>		
<b>Basestärke</b> , <b>Basekonstante</b> $K_B$ ,	$K_B = \frac{c(\text{BH}^+) \cdot c(\text{OH}^-)}{c(\text{Base B})}$	–	$K_B$ (Ammoniak, NH <sub>3</sub> ) = $1,79 \cdot 10^{-5}$ $pK_B$ (NH <sub>3</sub> ) = 4,75
<b>pK<sub>B</sub>-Wert</b> (der Base B)	$pK_B = -\log K_B$ Potenziometrie, pH-Messung Abschnitt 6.1 u.a.		$pK_B$ (Ca(OH) <sub>2</sub> ) = 1,40 $pK_B$ (Al(OH) <sub>3</sub> ) = 8,3 Analog: Säurestärke, Säurekonstante $K_S$ , $pK_S$ -Wert, Dissoziationskonstante $K_D$
<b>Brechzahl</b> , <b>Brechungsindex</b> $n(X)$	$n = c_1/c_2$ Refraktometrie Abschnitt 9.3.1	–  (Na-D-Linie, $\lambda = 589,3$ nm)	$n_D^{20}$ (H <sub>2</sub> O) = 1,3330 Luft: 1,0003; Wassereis: 1,31 Ethanol: 1,3605; Cyclohexan: 1,426 Toluol: 1,4998; Steinsalz: 1,544 Quarzglas: 1,54422; Diamant: 2,4173
<b>Brennwert</b> , <b>spezifischer</b> $H_0$	$H_0 = \Delta_R H/m$	KJ/kg	$H_0$ (Ethanol) = 29900 Methanol: 39900
<b>Dampfdruck</b> $p(X)$	In Lösungen: $p(X) = p_0 \cdot \chi_1$ Manometrie (Druckmessung) Abschnitt 5.8	hPa	$p$ (H <sub>2</sub> O) = 22,38 hPa ( $\vartheta = 20$ °C) KOH ( $w = 30$ %): $p$ (H <sub>2</sub> O) = 14,4 hPa Aluminiumchlorid: 1,0 Essigsäure: 15,4; Heptan: 48 Aceton: 23; Ether: 587 Ethanol: 798,3; Ammoniak: 2000 Ethan: 38200; Ethen: 41000
<b>Dichte</b> $\rho(X)$	$\rho(X) = m/V$ Wägung und Volumenmessung (z. B. pyknometrisch) Abschnitt 4.3, 4.4, 8.3 und 9.3.5	g/cm <sup>3</sup> = g/mL = kg/L	$\rho$ (H <sub>2</sub> O) = 0,998203 g/mL ( $\vartheta = 20$ °C) Wasserstoff: 0,0000899 Helium: 0,000179; Luft: 0,00129; Propangas: 0,00201; Aceton: 0,79; Ethylenglykol: 1,109; Ethanol: 0,791 Aluminium: 2,70; Glycerin: 1,260 Eisen: 7,86; Gold: 19,3
<b>Dipolmoment</b> $\mu$ (induziert/permanent)	Induziert: $\mu(X) = \alpha \cdot E'$ ( $\alpha$ = Polarisierbarkeit, $E'$ = Feldstärke in V/m) Abschnitt 3.2.7	C • m	$\mu$ (H <sub>2</sub> O) = $6,1716 \cdot 10^{-30}$ C • m (= 1,85 D) Monochlorbenzol: 1,57 D; Chlorwasserstoff, HCl: 1,1 D; Tetrachlorkohlenstoff, CCl <sub>4</sub> : 0,0 D (1 Debye, D = $3,336 \cdot 10^{-30}$ C • m)

Stoffeigenschaft und Formelzeichen	Beziehung und Bestimmungsmethode	Übliche SI-Einheit	Exemplarische stoffspezifische Werte (Je ein konkretes Beispiel mit Einheiten und ggf. weitere Zahlenangaben)
<b>Drehung, spezifische <math>\alpha</math> (optische Aktivität)</b>	$\alpha = [\alpha]_{\lambda}^{\vartheta} \cdot l \cdot \beta$ Polarimetrie Abschnitt 9.3.2	°	$[\alpha]_{\text{D}}^{25}$ (D-Glucose) = 52,5 (°/dm•g•mL <sup>-1</sup> ) Rohrzucker: 66,45 D(-)-Fructose: -89,1
<b>Duktilität</b>	Siehe unter Zugfestigkeit und Elastizität(smodul)		
<b>Ebullioskopische Konstante <math>K_b</math> (auch: <math>E_s</math>)</b>	$\Delta \vartheta_b = K_b \cdot b(X)$ Ebullioskopie Abschnitt 9.3.10	K • kg/mol	$K_b$ (H <sub>2</sub> O) = 0,515 K • kg/mol Benzol: 2,64; Cyclohexan: 2,79 Essigsäure: 3,08; Campher: 6,09 (Messung der molalen Siedepunkterhöhung $\Delta \vartheta_b / b(X)$ , SPE)
<b>Elastizität(smodul) <math>E</math></b>	$E = \sigma / \varepsilon$ Mechanische Werkstoffprüfung	N/mm <sup>2</sup>	E(Aluminium, 99,8 %ig) = 65000 N/mm <sup>2</sup> Polyethylen, PE: ≈ 1000 Tantal: 185000; Nickel: 196000 ( $\sigma$ = mechanische Spannung, $\varepsilon$ = Dehnung)
<b>Elektrochemisches Äquivalent <math>eq</math></b>	$eq(X) = \frac{\text{RAM} \cdot m_u}{z \cdot e}$ elektroanalytisch Kapitel 7 und Abschnitt 9.6	mg/C	$eq(\text{H}^+) = 0,0105 \text{ mg/C}$ ( $z = 1$ ) $m_u$ : 1,6605 • 10 <sup>-27</sup> kg, $z$ = Äquivalenzzahl („Wertigkeit“, Anzahl übertragener e <sup>-</sup> pro Teilchen), $e = 1,6022 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
<b>Elektrische Leitfähigkeit <math>\gamma</math></b> a) Leitwert $G$ = $1/R = A/(\rho \cdot l)$ mit $l$ = Leiterlänge, b) Molare Leitfähigkeit $\Lambda$ $\Lambda = \kappa(X)/c(X)$ , c) Elektrolyt-Leitfähigkeit $\kappa = 1/\rho$	$C = \gamma \cdot R = 1/A$ (Leitfähigkeitsmessung, Konduktometrie) Abschnitt 7.1.3	a) $\gamma$ in: S/m (Fluide bei $\vartheta = 25 \text{ °C}$ ) b) $G$ und $\kappa$ in: $1/\Omega = \text{S}$ c) $\Lambda$ in: $\text{S} \cdot \text{m}^2/\text{mol}$	$\gamma$ (dest. Wasser) = 10 <sup>-4</sup> bis 10 <sup>-3</sup> S/m Benzol: ca. 10 <sup>-16</sup> ; Ethanol: 1,3 • 10 <sup>-7</sup> Essigsäure: 5,0 • 10 <sup>-7</sup> Schwefelsäure, konz.: 1,0 Kochsalzlösung (gesättigt): 25,13 Schwefelsäure, 30 %ig: 82,57 Kochsalz (Schmelze, 900 °C): 377,0 $\Lambda$ (NaCl) = 0,010669 S • m <sup>2</sup> /mol (bei $c(\text{NaCl}) = 0,1 \text{ mol/L}$ ) $l, A$ = Elektrodenabstand, -fläche, $C$ = Widerstandskapazität des Messgefäßes in 1/m)
<b>Energiegehalt (Nährstoffe)</b>	E/m Kalorimetrie Abschnitt 8.1	kJ/kg	Fette: ≈ 39 kJ/g Butter: 29,96 Eiweiße und Kohlenhydrate: je ≈ 17
<b>Enthalpie, Standard-Bildungs-Enthalpie <math>\Delta_f H^\circ</math></b>	$\Delta_f H^\circ = \Sigma(\Delta_f H^\circ_{\text{Produkte}}) - \Sigma(\Delta_f H^\circ_{\text{Edukte}})$ Abschnitt 8.1.4	KJ/mol	$\Delta_f H^\circ$ (Wasser, flüssig) = -286 kJ/mol Elemente: Kochsalz: -411 Ethin: +227 (Messung: kalorimetrisch)
<b>Enthalpie, spezif. Schmelz-/Verdampfungsenthalpie</b>	siehe unter: Wärme, spezif. Schmelz-/Verdampfungswärme (Kalorimetrie; Abschnitt 8.1.6)		

Stoffeigenschaft und Formelzeichen	Beziehung und Bestimmungsmethode	Übliche SI-Einheit	Exemplarische stoffspezifische Werte (Je ein konkretes Beispiel mit Einheiten und ggf. weitere Zahlenangaben)
<b>Entropie,</b> Standard-Bildungsentropie $S^\circ$	$S^\circ = \Sigma(S^\circ_{\text{Produkte}}) - \Sigma(S^\circ_{\text{Edukte}})$ Abschnitt 8.1.4	J/(mol•K)	$S^\circ$ (Wasser) = +70 J/(mol•K) Wasserdampf: +189; Kochsalz: +72 Sauerstoffgas: +205; $\text{Al}^{3+}$ -Ion: -322 Calciumchlorid: +105; $\text{H}^+$ -Ion: 0,00
<b>Esterzahl</b> EZ	EZ = VZ-SZ Lacktechnik, Kapitel 14 und Abschnitt 9.7.2	mg KOH/g	EZ(Olivenöl) = 176 mg KOH/g VZ = Verseifungszahl, SZ = Säurezahl
<b>Explosionsgrenze</b> $\sigma_E$ (untere/obere; auch als: $\varphi$ )	Volumenkonzentration: Vol % in Luft $\sigma_E = \frac{V(X)}{V(\text{Gesamt})}$ Kapitel 2 und Abschnitt 5.4.1	(u. U. auch in g/m <sup>3</sup> )	$\sigma_E$ (Aceton) = 2,5...13,0 Vol. % $\sigma_E$ (d-Campher) = 0,6... ca. 4,5 Vol % $\sigma_E$ (Diethylether) = 1,7... 48,0 Vol. % $\sigma_E$ (Ethanol) = 3,0...19,0 Vol. % $\sigma_E$ (Wasserstoff) = 4,0...77 Vol % entspricht 3,3... 65 g Wasserstoffgas/m <sup>3</sup>
<b>Flammpunkt</b>	$\vartheta$ , bei der oberhalb Flüssigkeit mit Zündquelle entzünd- bares Dampf-Luft- Gemisch entsteht	°C	Glyzerin: 176; Ethylenglykol: 111 Hexanol: 60; Pentanol: 33 Ethanol: 12; Toluol: +4 Cyclohexan: -17; Aceton: -18 Diethylether: -40; Isopren: -48 Pentan: -49; Cyclopentan: -51
<b>Freie Standard-Bildungsenthalpie</b> $\Delta_f G^\circ$ (nach Gibbs, auch Gibbs-Energie genannt)	$\Delta_R G^\circ = \Delta_R H^\circ - T\Delta S$ Kalorimetrie, Potenziometrie in galvanischer Zelle, über Redox: $\Delta_R G^\circ = -\Delta E^\circ \cdot z \cdot F$ $= -W_{\text{elektr.}}$ Abschnitt 8.1.4	kJ/mol	$\Delta_f G^\circ$ (Wasser): -237 kJ/mol Ethin: +209 atomarer Wasserstoff: +203 Elemente: ±0,00 Wasserdampf: -229 Kochsalz: -384 Calciumchlorid: -748 Aluminiumoxid: -1582 $W_{\text{elektr.}} = U \cdot I \cdot t$
<b>Giftigkeit,</b> <b>Toxizität</b>	$m(X)/m(\text{Körper})$ LD <sub>50</sub> , Tierversuch	mg/ kg	Auch: AGW, MAK-Wert, TRK, BAT-Wert u. ähnl. Toleranzwerte; <i>Beispiel:</i> TRK(Ethanol) = 1000 cm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>
<b>Härte,</b> <b>Mohs'sche MH</b>	Ritzversuche Abschnitt 8.4.3 und Kapitel 16	Härtegrad	<b>Mohs'sche Härteskala</b> von 1 (Talk) bis 10 (Diamant)
<b>Heizwert</b> $H_u$	$H_u = \Delta_R H/m$ , $H_u = \Delta_R H/V$ (mit H <sub>2</sub> O gasf.) Abschnitt 8.1.5	kJ/kg	$H_u$ (Ethanol) = 26900 kJ/kg Propan: 46100 Anthrazitkohle: ≈33000 Methanol: 19500 Ethan (in kJ/m <sup>3</sup> ): 64350 <b>Verbrennungsenthalpie:</b> bezogen auf $n = 1$ mol Brennstoff (statt auf $m$ oder $V$ )
<b>Hydroxylzahl</b> <b>OHZ</b> (OH-Zahl)	$m(\text{KOH})/m(\text{Probe})$ (Lacktechnik) Abschnitt 9.7.3, Kapitel 14	mg KOH/g	OHZ nach DIN 53240, Acetylierung mit Acetanhydrid und Titration mit KOH

Stoffeigenschaft und Formelzeichen	Beziehung und Bestimmungsmethode	Übliche SI-Einheit	Exemplarische stoffspezifische Werte (Je ein konkretes Beispiel mit Einheiten und ggf. weitere Zahlenangaben)
<b>Iodzahl</b> <i>IZ</i>	$m(\text{Iod})/m(\text{Probe})$ (Lacktechnik) Abschnitt 9.7.4, Kapitel 14	mg ( $\text{I}_2$ )/g	$IZ(\text{Olivenöl}) \cong 81 \text{ mg (Iod)/g}$ nach DIN 53241-1 mit <b>Wijs-Lösung</b> (Maß für Gehalt an C=C-Bindungen)
<b>Kompressibilität <math>\kappa</math></b> , isotherme	$\kappa = -(1/V) \cdot (\Delta U/\Delta V)$	$10^{11} \cdot \text{Pa}$	$\kappa(\text{Wasser}) = 49,0 \cdot 10^{11} \text{ Pa}^{-1}$ Benzol: 90,9; Blei: 2,18; Diamant: 0,185
<b>Kryoskopische Konstante <math>K_m</math></b> (auch: $E_G$ )	$\Delta\vartheta = K_m \cdot b(\text{X})$ Kryoskopie Abschnitt 9.3.8		$K_m(\text{Wasser}) = 1,858 \text{ K} \cdot \text{kg/mol}$ Essigsäure: 3,90; Benzol: 5,065 Cyclohexan: 20,2; Zinn-IV-bromid: 28 Campher: 40,0
<b>Längenausdehnungskoeffizient <math>\alpha</math></b> Linearer Ausdehnungskoeffizient	$\Delta l = l_0 \cdot \alpha \cdot \Delta\vartheta$ bei $\Delta\vartheta = 1 \text{ K}$ : $\alpha^* = l/l_0$	1/K	$\alpha^*(\text{Zink}) = 0,000036 \text{ K}^{-1}$ Zinn: 0,000027; Kupfer: 0,000016 Blei: 0,000029; Porzellan: 0,000004 Diamant: 0,000001 Quarzglas: < 0,000001
<b>Leitfähigkeit, Leitwert <math>G</math></b>	Siehe unter <b>Elektrische Leitfähigkeit</b> oder <b>Wärmeleitfähigkeit</b>		
<b>Lichtgeschwindigkeit</b> (in Medium X)	$c = s/t$ (vgl. Abschnitt 9.3.1)	$10^8 \text{ m/s}$	$c$ (in Wasser) = $2,24 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ Vakuum: 2,9979245; Luft: 2,99711 Polystyrol: 1,89; Diamant: 1,22
<b>Löslichkeit</b> $L$ (von Stoff X im Lösungsmittel LM)	$\frac{m(\text{X})}{m(\text{LM})}$ Abschnitt 5.6	$\frac{\text{g Stoff X}}{100 \text{ g H}_2\text{O}}$ (Gase bei $p^0 = 1013 \text{ hPa}$ )	$L(\text{NaCl}) = 36,0 \text{ g}/100 \text{ g H}_2\text{O}$ ( $\vartheta = +25 \text{ }^\circ\text{C}$ ) Helium: 0,00016 Bariumsulfat: 0,00024 Löschkalk: 0,17; Gips: 0,20 Soda: 21,4; Salpeter: 31,7 Ammoniak: 52; Ätznatron: 107 Silbernitrat: 219,0
<b>Löslichkeitsprodukt</b> $K_L$ (und $pK_L$ -Wert)	Produkt der Sättigungskonzentrationen der Ionen $pK_L = -\log K_L$ Abschnitt 5.6	$K_L$ in $\text{mol}^x/\text{L}^y$ , $pK_L$ : -	Bei Elektrolyten vom Typ $\text{A}_n\text{B}_m$ : $K_L = c_{\text{max}}(\text{A}^{m+})^n \cdot c_{\text{max}}(\text{B}^{n-})^m$ $K_L(\text{Kalk}) = 5 \cdot 10^{-9} \text{ mol}^2/\text{L}^2$ $K_L(\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{ H}_2\text{O}) = 2,1 \cdot 10^{-4} \text{ mol}^2/\text{L}^2$ $pK_L(\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{ H}_2\text{O}) = 3,7$
<b>Massenanteil <math>w(\text{X})</math></b> (eines Elementes X in Verbindung XY)	$w(\text{X}) = \frac{m(\text{X})}{m(\text{Gesamt})}$ Abschnitt 4.1 und 5.4.2	g/g $w \cdot 100 = \%$	$w(\text{H})$ in $\text{H}_2\text{O} = 0,11189$ (oder 11,189 %) $w(\text{O})$ in $\text{H}_2\text{O} = 0,88811$ (oder 88,811 %) $w(\text{C})$ in Glucose = 0,4211 (oder 42,11 %)
<b>Molare Masse <math>M</math></b> (auch: Relative Molekülmasse; bei Atomen: Relative Atomare Masse, RAM)	$M = m/n$ Osmometrie, Kryoskopie, Ebullioskopie, Methode nach V. Meyer u.a. Abschnitt 4.3; 4.4, 9.3.8, 9.3.10 und 9.3.11	g/mol	$M(\text{H}_2\text{O}) = 18,0152 \text{ g/mol}$ Wasserstoff: 2,02 Kohlendioxid: 44,01 Polyethylen (PE): > 10000 Muskelprotein Titin: 2993000 <i>E. coli</i> -Ribosomen-RNS: 2700000 größte bekannte Moleküle: Diamant <i>Cullinan</i> 621,2 g/Molekül DNS von <i>E. coli</i> : 1,0 mm lang (DNS-Molekül entknäuelte)

Stoffeigenschaft und Formelzeichen	Beziehung und Bestimmungsmethode	Übliche SI-Einheit	Exemplarische stoffspezifische Werte (Je ein konkretes Beispiel mit Einheiten und ggf. weitere Zahlenangaben)
Molares Normvolumen $V_{m,n}$	$V_{m,n} = V/n$ ( $T_0 = 273 \text{ K}$ , $p_0 = 1013 \text{ hPa}$ ) Abschnitt 8.3.6	L/mol	$V_{m,n}(\text{H}_2\text{O, gasf.}) = 23,459 \text{ L/mol}$ $V_{m,n}(\text{ideales Gas}) = 22,4055 \text{ L/mol (0 °C)}$ $n\text{-Octan, gasf.: } 22,710$ $n\text{-Pentan: } 20,871$ $n\text{-Butan: } 20,871$ Wasserstoff: 22,442
NCO-Wert (Isocyanat)	(Lacktechnik) Abschnitt 9.7.4, 14.1.3	$\frac{\text{mg(NCO)}}{\text{g}}$	ähnlich: <b>Carbonylzahl COZ</b> als „Anzahl“ der mg CO pro g Fett oder Öl
Oberflächen- spannung $\gamma$ (Symbol auch: $\sigma$ )	$\gamma = W/A$	$\text{J/m}^2$ = N/m	$\gamma(\text{Wasser}) = 72,8 \text{ mN/m}$ Hexan: 18; Ethanol: 22,3 Aceton (30 %): 70; Quecksilber: 470
Optische Aktivität	Siehe unter <b>Drehung</b> , spezifische (Abschnitt 9.3.2)		
Osmotischer Druck $\Pi$	$\Pi = n \cdot R \cdot t/V$ Osmometrie Abschnitt 9.3.12	bar	$\Pi(0,01 \text{ mol Nichtelektrolyt/L}) = 0,25 \text{ bar}$ $\Pi = i \cdot c(X) \cdot R \cdot t$ ( $i$ = Ionenzahl pro mol Elektrolyt X)
Polarität (relative Adsorption- senergie an $\text{Al}_2\text{O}_3$ )	vgl. unter <b>Dipolmoment <math>\mu</math></b> und unter <b>Chromatographie: eluotrope Reihe</b> Abschnitt 9.8 und 3.2.8		$n\text{-Pentan: } 0,00$ Aceton: 0,56 Ethanol: 0,88 Ethylenglykol: 1,11
Potenzial, elektrochemisches (auch: Redoxpotenzial) Redoxpotenzial, Standard $E^\circ$ (Potenzialdifferenz zur NWE)	$U = \Delta E^\circ$ $= E^\circ_{\text{Akzeptor}} - E^\circ_{\text{Donator}}$ Potenziometrie Abschnitt 7.2 und 9.6.2	V	$E^\circ(\text{H}_2 \leftrightarrow 2 \text{H}^{\text{aq}} + 2 \text{e}^-) = E^\circ(\text{NWE}) = 0,0 \text{ V}$ (bei $c = 1 \text{ mol/L}$ und $\vartheta = +25 \text{ °C}$ , NWE = Normalwasserstoffelektrode) $E^\circ(\text{Li} \leftrightarrow \text{Li}^+ + \text{e}^-): -3,045$ $E^\circ(\text{H}_2 + 2 \text{OH}^- \leftrightarrow \text{H}_2\text{O} + 2 \text{e}^-) -0,83$ $E^\circ(\text{S}^{2-} \leftrightarrow \text{S} + 2 \text{e}^-) -0,48$ $E^\circ(\text{Cu} \leftrightarrow \text{Cu}^{2+} + 2 \text{e}^-) + 0,35$ $E^\circ(\text{Ag} \leftrightarrow \text{Ag}^+ + \text{e}^-) + 0,80$ $E^\circ(\text{Mn}^{2+} + 2 \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{MnO}_4^- + 8 \text{H}^+ + 5 \text{e}^-) 1,51$ $E^\circ(\text{H}_2\text{O} \leftrightarrow 1/2 \text{O}_2 + \text{H}^+ + 2 \text{e}^-) 2,4222$ $E^\circ(2 \text{F}^- \leftrightarrow \text{F}_2 + 2 \text{e}^-) 2,85$
Säurestärke, -konstante $K_S$ (der Säure HA), $pK_S$ -Wert	$K_S = \frac{c(\text{H}_3\text{O}^+) \cdot c(\text{A}^-)}{c(\text{Säure HA})}$ $pK_S = -\log K_S$ Potenziometrie, pH-Messung u.a. Kapitel 6 und Abschnitt 9.6.2	-	$K_S(\text{Flusssäure, HF}) = 3,53 \cdot 10^{-4}$ $pK_S(\text{Flusssäure, HF}) = 3,45$  Analog: Basestärke, <b>Basekonstante <math>K_B</math></b> und $pK_B$ -Wert, ähnlich: Dissoziationskonstante $K_D$
Säurezahl SZ	$m(\text{KOH})/m(\text{Probe})$ Titration (Lacke) Abschnitt 9.7.1, Kapitel 16	mg KOH/g	SZ(Probe) nach DIN 53402, titriert mit KOH (Maß für Säuregehalt RCOOH)

Stoffeigenschaft und Formelzeichen	Beziehung und Bestimmungsmethode	Übliche SI-Einheit	Exemplarische stoffspezifische Werte (Je ein konkretes Beispiel mit Einheiten und ggf. weitere Zahlenangaben)
<b>Schallgeschwindigkeit</b> $v$ (in Stoff X)	$v = s/t$	m/s	$v$ (Wasser) = 1484 m/s (bei 20 °C) Gummi: 40; Luft: 33; Helium: 1020; Blei: 1300; Benzin: 1160; Kork: 500 Wassereis: 3230; Silber: 3635 Kupfer: 3900; Stahl: 5100
<b>Schmelztemperatur</b> $\vartheta_m$ (melting point)	T für Umwandlung fest $\leftrightarrow$ flüss. Abschnitt 4.4, 4.5 und 9.3.7	K (oder als $\vartheta$ in °C)	$\vartheta_m$ (H <sub>2</sub> O) = 0,00 °C Ethanol: -114,2; Quecksilber: -39 Cyclohexan: + 6,2; Glycerin: +18 Campher: 178; Blei: 327 Zink: 419; Silber: 961 Platin: 1770; Iridium: 2466 Wolfram: 3350; Graphit: 373 0
<b>Siedetemperatur</b> $\vartheta_b$ (boiling point)	T für Umwandlung flüss. $\leftrightarrow$ gasf. Abschnitt 4.4, 4.5 und 9.3.9	K (oder als $\vartheta$ in °C)	$\vartheta_b$ (H <sub>2</sub> O) = +100,00 °C ( $p_0 = 1013$ hPa) Helium: -269; Stickstoff: -196 Propangas: -42; Aceton: +56,1 Ethanol: + 78,3; Cyclohexan: 81 Naphthalin: 217,7; Glycerin: 290 Zink: 906; Kupfer: 2600 Iridium: 4428; Wolfram: 5700
<b>Transmissionsgrad</b> $\tau$	Photometrie Abschnitt 9.3.3	(%)	und <b>Absorptionsgrad <math>\alpha</math></b> (s.o.)
<b>Verseifungszahl</b> VZ	$m(\text{KOH})/m(\text{Probe})$ Titration (Lacke) Abschnitt 9.7.2, Kapitel 16	mg KOH/g	VZ(Olivenöl) = 193 mg KOH/g nach DIN 53401, Verseifung von Fetten und Ölen mit Kalilauge (KOH)
<b>Viskosität, dynamische</b> $\eta$	$\eta = K \cdot (\rho_{\text{Kugel}} - \rho_{\text{Fluid}}) \cdot t$ $v = \eta \cdot \rho$ (K = Kugelkonstante, t = Kugelfallzeit*)	$\eta$ in: 10 <sup>-3</sup> Pa • s	$\eta$ (H <sub>2</sub> O) = 1,002 mPa • s Propangas: 0,0082; Argon: 0,0226 Pentan: 0,23; Hexan: 0,31 Ethanol: 1,19; Butanol-2: 4,21 Ethylenglykol: 20,41; Glycerin: 1412 (Messung im Kugelfall-Viskosimeter)
<b>Viskosität, kinetische <math>\nu</math></b>	Viskosimetrie Abschnitt 8.4.7 und 9.3.4		
<b>Volumenausdehnungskoeffizient</b> $\gamma$ Kubischer Ausdehnungskoeffizient	$\Delta V = V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta \vartheta$ (Gas-)Volumetrie Abschnitt 8.3.6	1/K (bei 18 °C)	$\gamma$ (Wasser) = 0,000207 ideale Gase: 1/273 = 0,003661 Quecksilber: 0,000179 Toluol: 0,00108; Ethanol: 0,0011 Aceton: 0,00143; Glycerin: 0,00059
<b>Wärme, spezifische:</b> Schmelzwärme und Verdampfungswärme, Symbole: r und q)	$Q/m$ Zum Schmelzen bzw. Verdampfen von 1 kg Stoff erforderliche Wärmemenge, Kalorimetrie Abschnitt 8.1	kJ/kg	<b>Schmelzwärme q:</b> Wassereis: 335 kJ/kg Kupfer: 213; Eisen: 270 Glycerin (fest): 200; Blei: 26 Quecksilber: 11

Stoffeigenschaft und Formelzeichen	Beziehung und Bestimmungsmethode	Übliche SI-Einheit	Exemplarische stoffspezifische Werte (Je ein konkretes Beispiel mit Einheiten und ggf. weitere Zahlenangaben)
Wärmemenge, spezifische			<b>Verdampfungswärme <math>q</math>:</b> Wasser: 2256 kJ/kg Ethanol: 840; Ammoniak: 1370 Aceton: 525; Quecksilber: 285 Brom: 183; Helium: 25
Wärmeleitfähigkeit $\lambda$	$\lambda = Q/(l \cdot T)$ Abschnitt 8.4.1	W/(m • K)	$\lambda$ (Silber): 418,7 W/m • K Kupfer: 395; Graphit: 140; Blei: 35,1 Quarz: 1,09; Eiche: 0,21; Leder: 0,16
Wärmekapazität, spezifische $c_p$ (bei $p = \text{const.}$ und $\vartheta = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ )	$Q = c_p \cdot m \cdot \Delta\vartheta$ Kalorimetrie, Thermometrie Abschnitt 8.1.2	kJ/(kg•K)	$c_p$ (Wasser) = 4,187 kJ/(kg•K) Wasserdampf: 1,94 ( $\vartheta = 100 \text{ }^\circ\text{C}$ ) Wassereis: 2,1 ( $\vartheta = 0 \text{ }^\circ\text{C}$ ) Luft: 0,1005; Quecksilber: 0,14 Kupfer: 0,38 ; Kupfer: 0,523 Teflon,PTFE: 1,00; Glycerin: 2,37 Ethanol: 2,42; Helium: 5,234 Wasserstoff: 14,235 ( $\vartheta = 0 \text{ }^\circ\text{C}$ )
Widerstand, spezifischer elektrischer $\rho_{\text{elektr.}}$	$R = \rho \cdot l/A$ Konduktometrie Abschnitt 7.1 und 9.6.3	$\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$	$\rho_{\text{elektr.}}$ (Silber) = 0,0167 $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ Selen: $\approx 0,001$ ; Eisen: 0,10 Kupfer: 0,0178; Silizium: 0,5 Quecksilber: 0,94; Kohle: 40–100 Kupferoxid: $10^3$ – $10^8$ ; PE, PVC: bis $10^{15}$
Zugfestigkeit $R_m$	$R_m = F_m/S_0$ $F_m$ max. Kraft, $S_0$ Anfangsquerschnitt	N/mm <sup>2</sup>	$R_m$ (Aluminium, 99,8 %ig) $\approx 100 \text{ N/mm}^2$ Borosilicatglas: $\approx 6$ Graphit: $\approx 12$ Kupfer: bis 360 Stahl: $\approx 500$ Tantal: bis 980
Zündtemperatur $\vartheta_Z$	Temperatur, oberhalb der sich Stoffe (Dämpfe) an Luft spontan entzünden können	$^\circ\text{C}$	$\vartheta_Z$ (Methan) = 595 $^\circ\text{C}$ Aluminium: 773; Toluol: 535 Glykol: 515; Ethanol: 425 Hexanol: 292; Cyclohexan: 260 Diethylether: 17; Ethanal: 140

Hinweis: Die Kapitel- und Abschnittangaben verweisen auf die jeweilige Stelle in diesem Buch, an der entsprechende Mess- und Analysemethoden sowie Daten zu den jeweiligen Stoffeigenschaften zu finden sind.

## 1.4 Umrechnungsfaktoren für Einheiten

### 1.4.1 Umrechnung Nicht-SI-Einheiten/SI-Basiseinheiten

Tabelle 1.5 Umrechnung von Basis-Einheiten

Basisgröße und -einheit	Veraltete, Unter- und Nicht-SI-Einheiten, Umrechnungsfaktoren
<b>Strecke s</b> (Länge, Weg, Entfernung)	1 Ångström (Å) = 100 pm = 10 <sup>-10</sup> m
1 m = 10 <sup>3</sup> mm	1 astronomische Einheit (AE) = 1,495 • 10 <sup>11</sup> m = 149,5 Mio. km
= 10 <sup>6</sup> µm	1 Landmeile ( <i>statue mile, mi</i> ) = 1,609 km = 1760 yd
= 10 <sup>9</sup> nm	1 Lichtjahr = 63240 AE = 9,46 • 10 <sup>15</sup> m
= 10 <sup>12</sup> pm	1 parsec = 3,262 Lichtjahre = 206.265 AE
10 <sup>3</sup> m = 1 km	1 Seemeile = 1852 m
	1 yard (yd) = 3 ft; 1 Faden (fm) = 2 yd
	1 Zoll, <i>inch</i> (in) = 25,4 mm; 1 Fuß (ft) = 12 in
<b>Masse m</b>	1 atomare Masseinheit, <i>unit</i> (u) = 1/6,023 • 10 <sup>23</sup> g = 1,66 • 10 <sup>-24</sup> g
1 kg = 10 <sup>3</sup> g	1ritisches Pfund, <i>pound</i> (lb) = 16 oz = 453,592 g
= 10 <sup>6</sup> mg = 10 <sup>9</sup> µg	1 Karat (kt) = 0,0002 kg = 0,2 g
= 10 <sup>12</sup> ng = 10 <sup>15</sup> pg	1 Unze, <i>ounce</i> (oz) = 28,349 g
10 <sup>3</sup> kg = 1 Tonne (t, to)	1 <i>troy ounce</i> (oz tr) = 31,103 g; 1 Megatonne (Mt) = 10 <sup>6</sup> t
<b>Zeit t</b>	1 astronomisches Jahr = 31556925,9747 s
1 s = 1/60 min	1 Kalenderjahr (a) = 365,25 d = 31536000 s
1 min = 60 s = 1/60 h	1 siderisches Jahr (a <sub>sid</sub> ) = 365 d 6h 9min 10s = 365,2563 d
1h = 60 min = 3600 s	1 Tag (d)* = 24 h = 1440 min = 86400 s
<b>Stromstärke I</b>	Elektrochemie: 96487 A ist die zur Abscheidung von 1,008 g Wasserstoffgas pro Sekunde nötige Stromstärke, 1 A scheidet in 1 s genau 1,1182 mg Silber ab bzw. 0,01 mmol einwertigen Stoff)
1 A = 10 <sup>3</sup> mA	
1 kA = 10 <sup>3</sup> A	
<b>Thermodynamische Temperatur T</b>	<i>Celsius</i> -Temperatur $\vartheta$ 273,15 K = 0 °C; Grad <i>Celsius</i> (°C)
	<i>Fahrenheit</i> -Temperatur 32 °F = 0°C bzw. 100 °F = +37 °C
	212 °F = +100 °C
1 K (Kelvin)	Formel zur Umrechnung von <i>Celsius</i> -Grad in absolute Temperatur: T = $\vartheta$ - 273,15 Formel zur Umrechnung von <i>Fahrenheit</i> -Grad in <i>Celsius</i> -Grad: t °F = 5/9(t - 32) °C
<b>Stoffmenge n</b>	1 mol = 10 <sup>3</sup> mmol = 10 <sup>6</sup> µmol = 6,023 • 10 <sup>23</sup> Teilchen
1 mol (Mol)	1 kmol = 10 <sup>3</sup> mol
<b>Lichtstärke L</b>	Größe (mag, <sup>m</sup> ) 1 cd = -13,94 <sup>m</sup> (von lat. <i>magnitudo</i> = Größe logarithmisch-astronomisches Helligkeitsmaß)
1 Cd (Candela)	pro 1,0 <sup>m</sup> Differenz $\approx$ 2,512fache Helligkeit, z. B.: 2,512 cd = -14,94 <sup>m</sup> , 6,31 cd = -15,94 <sup>m</sup>

\* Gemeint ist der SI-Tag (nach dem gregorianischen Kalender, ISO 8601). Er umfasst 24 h  $\pm$  30 s, während ein siderischer Tag (Sterntag) 23 h 56 min 4 s (Umdrehungszeit der Erde in Bezug auf die Fixsterne) und ein bürgerlicher, mittlerer Sonntag Schaltsekunden aufweisen kann (Sonntag nach Ortszeit als Zeitraum zwischen zwei Sonnenhöchstständen).

## 1.4.2

## Umrechnung Nicht-SI-Einheiten/Abgeleitete Einheiten

Tabelle 1.6 Umrechnung weiterer Einheiten

Größe und -einheit	Veraltete, Unter- und Nicht-SI-Einheiten, Umrechnungsfaktoren		
(Radio-)Aktivität <i>A</i>	1 Curie (Ci)	= $3,7 \cdot 10^{10}$ Bq	SI-Einheit: Becquerel (Bq)
radioaktive Äquivalentdosis <i>H</i>	1 Sievert (Sv)	= 1 J/kg = 100 rem	
	1000 mSv	= 1 Sv	SI-Einheit: Sievert (Sv)
Arbeit <i>W</i> , Energie <i>E</i> , Wärme <i>Q</i>	1 eV (Elektronenvolt)	= $1,602 \cdot 10^{-19}$ J	1 J = $6,242 \cdot 10^{18}$ eV
	1 cal (Kalorie)	= 4,187 J	1 kcal $\cong$ 4,187 kJ
	1 kWh	= 3,6 MJ	1 kJ = 1 kWh
	1 Ws	= 1 N•m = 1 J	SI-Einheit: Joule (J)
	1 J = 0,10197 mkp	= $3,77673 \cdot 10^{-7}$ PSh = $0,6242 \cdot 10^{19}$ eV	
	1 kcal = 4186,84 J	= 426,94 mkp = 0,001581 PSh = 0,00116301 kWh	
Druck <i>p</i>	1 atm	= 10132,5 Pa = 1,01325 bar	
	1 bar	= $10^5$ Pa = 1000 mbar = 0,9869 atm	
	1 Torr	= 1 mm Hg = 133,32 Pa = 1,33322 mbar	
	1 mWs	= 97,90 mbar 1 kp/m <sup>2</sup> = 9,807 Pa = 97,60 mbar	
	1013 hPa	= 1 atm = 760 Torr (mm Hg) = 1 kg/cm <sup>2</sup>	
	1 Pa	= 1 N/m <sup>2</sup> = 1 kg/m s <sup>2</sup> = $10^{-5}$ Pa = 0,01 mbar	
	100 Pa	= 1 hPa = 1 mbar	
	10 <sup>5</sup> Pa	= 1 bar = 10 <sup>3</sup> hPa	SI-Einheit: Pascal (Pa)
Fläche <i>A</i>	1 Ar	= 0,01 Hektar (ha) = 100 m <sup>2</sup>	
	SI-Einheit: Quadratmeter (m <sup>2</sup> )		
Geschwindigkeit <i>v</i>	1 km/h	= 0,277 m/s	1 m/s = 3,6 km/h
	1 cm/s	= 0,036 km/h = 0,3937 in/s = 1,968 ft/min = 0,02237 mi/h	
	1 km/h	= 27,78 cm/s = 10,94 in/s = 0,9113 ft/s = 54,68 ft/min	
	1 Knoten (kn)	= 1855 m/h = 0,5144 m/s	SI-Einheit: m/s
Ionendosis	1 Röntgen (R)	= $2,58 \cdot 10^{-4}$ C/kg	SI-Einheit: C/kg
Ladung(smenge) <i>Q</i>	1 Ampèrestunde (Ah)	= 3600 C	
	1 A/s	= 1 C	SI-Einheit: Coulomb (C)
Leistung <i>P</i> , Wärmestrom	1 PS	= 735,499 W = 632,416 kcal/h	
	1 kcal/h	= 1,1630 W = 0,00158124 PS	
	1 W	= V A = J/s = 1 N m/s = 0,00135962 PS = 0,859845 kcal/h	
	1 MW	= $10^6$ W	1 GW = $10^9$ W
	SI-Einheit: Watt (W)		
Viskosität $\eta$	dynamische Viskosität: 1 Poise (P) = 0,1 Pa•s, 1 Pa•s = 1 N•s/m <sup>2</sup>		
	kinematische Viskosität: 1 m <sup>2</sup> /s = 1 N•s•m/kg		
	SI-Einheit: Pa • s		
Volumen <i>V</i>	1 L	= 1 dm <sup>3</sup> = 10 <sup>3</sup> cm <sup>3</sup> (ccm) = 1000 mL = $10^{-3}$ m <sup>3</sup>	
	1 mL	= $10^{-3}$ L	
	1 hL	= 100 L	1 km <sup>3</sup> = 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
	SI-Einheit: Kubikmeter (m <sup>3</sup> )		
spezifische Wärme- menge, -kapazität	1 Ws/kg • K	= 1 J/kg • K	
	1 cal/g • grd	= 4,187 J/g • grd	SI-Einheit: J/kg • K

## 1.5

## Elementsymbole, Isotope, Atommassen

**Materie (Reinstoffe und Stoffgemische)** besteht aus **Atomen** und **Atomverbänden**. **Stoffportionen** werden nach ihrer Größe bzw. Menge unterteilt in:

- makroskopisch groß (Teilchengröße über  $10^{-4}$  mm, also noch per Lupe erkennbar),
- kolloidal (mikroskopisch klein; Teilchengrößen von  $5 \cdot 10^{-7}$  m bis zu  $1 \cdot 10^{-9}$  m),
- submikroskopisch (Teilchengröße unter  $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ mm}$ : Atome, Ionen, Moleküle).

## 1.5.1

## Grunddefinitionen und Grundgesetze der Chemie

Tabelle 1.7 Grunddefinitionen und Grundgesetze der Chemie

Begriff, Gesetz	Aussage, Definition
Chemische Reaktion (Stoffumwandlung)	Vorgang, bei dem mindestens ein neuer Stoff entsteht ( <i>Beispiele</i> : Stoffvereinigung, -zerlegung oder -umgruppierung)
Chemisches Element	chemisch nicht zerlegbarer Reinstoff (kleinste Portion: Atom*)
Chemische Verbindung	durch chemische Reaktionen zerlegbarer Reinstoff
Gesetz der Erhaltung von Masse und Energie (1. Grundgesetz der Chemie)	Die Gesamtmasse aller Stoffe sowie die Energie-Gesamtmenge vor und nach einer chemischen Reaktion bleibt bei stets gleich ( <i>Grund</i> : Atome, kleinstmögliche Stoffportionen, bleiben erhalten).
Gesetz der konstanten Masseverhältnisse (2. Grundgesetz der Chemie)	Chemische Elemente reagieren miteinander immer in bestimmten, gleichbleibenden Masseverhältnissen ( <i>Grund</i> : Atome eines Elementes weisen eine bestimmte chemische Wertigkeit und immer gleiche, typische Atommassen auf, s. RAM, Abschnitt 1.5.3).
Gesetz der vielfachen Masseverhältnisse (3. Grundgesetz der Chemie)	Bilden zwei Elemente miteinander mehrere verschiedene Verbindungen, so stehen deren Massen zueinander im Verhältnis kleiner, ganzer Zahlen. ( <i>Grund</i> : Atomzahlenverhältnisse konstant).
Isotope	Atome eines Elementes von unterschiedlicher Atommasse ( <i>Grund</i> : gleiche Protonenzahl, ungleiche Neutronenzahl)

\* Atome bestehen aus Nukleonen (Protonen und Neutronen im Atomkern) und aus Elektronen (in der Atomhülle, Abschnitt 1.5.2). Protonen- und Elektronenzahl neutraler Atome sind gleich groß, ihre Neutronenzahl berechnet sich aus der Differenz der relativen Atommasse zur Protonenzahl.

## 1.5.2

## Elementarteilchen

Tabelle 1.8 Teilchen-Arten

Teilchenart (zur Unterscheidung)	Beispiele
Atomare Teilchen	Atom, Ion, Molekül
Subatomare Teilchen, Elementarteilchen (im Atom)	Proton, Neutron, Elektron

Tabelle 1.9 Elementarteilchen

Elementarteilchen (Symbol)	Masse $m$ in kg	Masse in $u^*$	Ladung in $e$	Ladung in C
Proton ( $p^+$ )	$m_p = 1,672631 \cdot 10^{-27}$	1,007276470	+ 1 e	+ 1,60217733 $\cdot 10^{-19}$
Neutron ( ${}^1_0n$ )	$m_n = 1,674928 \cdot 10^{-27}$	1,008664904	$\pm 0 e$	$\pm 0$
Elektron ( $e^-$ )	$m_e = 9,1093897 \cdot 10^{-31}$	0,00054858	- 1 e	- 1,60217733 $\cdot 10^{-19}$

\* Atomare Masseinheit (*atomic mass unit*):  $1 u (1 amu) = 1,6605402 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$

## 1.5.3

## Chemische Elemente, Elementsymbole und Isotope

Tabelle 1.10 Elemente, Symbole und Isotope (Kürzel vgl. Fußnote am Tabellenende)

Elementname	Symbol	OZ	RAM (u)	Name, Wortherkunft	Drei häufigste, natürliche Isotope (RAM, %)		
Actinium*	Ac	89	(227,028)	<i>actinoeis</i> , strahlend	<i>(radioaktiv)</i>		
Aluminium	Al	13	26,98154	arab.: <i>Alaun</i> -Salz	27(100)	–	–
Americium*	Am	95	(243)	engl.: <i>America</i>	<i>(radioaktiv)</i>		
Antimon	Sb	51	121,760	lat.: <i>stibium</i>	121(57)	123(43)	–
Argon	Ar	18	39,948	gr.: <i>argos</i> , träge	40(99,6)	36(0,3)	38
Arsen	As	33	74,92160	gr.: <i>arsenikos</i> , kühn	75(100)	–	–
Astat*	At	85	( $\approx 210$ )	gr.: <i>astatos</i> , instabil	<i>(radioaktiv)</i>		
Barium	Ba	56	137,327	gr.: <i>barys</i> , schwer	138(72)	137(11)	135
Berkelium*	Bk	97	(247)	<i>University of Berkeley</i>	<i>(radioaktiv)</i>		
Beryllium	Be	4	9,012183	<i>Beryll</i> (Edelstein)	9(100)	–	–
Bismut, Wismut	Bi	83	208,9804	unter <b>Wiesen vermutet</b>	209(100)	–	–
Blei	Pb	82	207,2	lat.: <i>plumbum</i>	208(52)	206(23)	207
Bohrium*	Bh	107	(262)	<i>Niels Bohr</i>	<i>(radioaktiv)</i>		

Elementname	Symbol	OZ	RAM (u)	Name, Wortherkunft	Drei häufigste, natürliche Isotope (RAM, %)		
Bor	B	5	10,811	<i>Borax</i> -Salz	11(80)	10(20)	–
Brom	Br	35	79,904	gr.: <i>bromos</i> , Gestank	79(50,5)	81(49,5)	–
Cadmium	Cd	48	112,411	<i>Cadmia</i> , Galmei-Erz	114(29)	112(24)	111
Caesium, Zäsium	Cs	55	132,90545	lat.: <i>caesius</i> , blau	133(100)	–	–
Calcium, Kalzium	Ca	20	40,078	gr.: <i>chalkos</i> , Kalk	40(97)	44(2)	42
Californium*	Cf	98	(251)	<i>California</i> , Kalifornien	<i>(radioaktiv)</i>		
Cer	Ce	58	140,12	<i>Ceres</i> (Planet)	140(88)	142(11)	138
Chlor	Cl	17	35,45	gr.: <i>chloros</i> , grün	35(75,5)	37(24,5)	–
Chrom	Cr	24	51,996	gr.: <i>chromos</i> , Farbe	52(84)	53(19,5)	50
Cobalt, Kobalt	Co	27	58,93320	dt.: Kobold	59(100)	–	–
Copernicium*	Cn	112	<i>(unsicher)</i>	<i>Nic. Copernicus</i> (s.u.*)	<i>(radioaktiv)</i>		
Curium*	Cm	96	(242)	<i>Pierre &amp; Marie Curie</i>	<i>(radioaktiv)</i>		
Darmstadtium*	Ds	110	(271?)	Darmstadt in Hessen	<i>(radioaktiv)</i>		
Dubnium*	Db	105	(262)	Dubna in Russland	<i>(radioaktiv)</i>		
Dysprosium	Dy	66	162,50	<i>dysporos</i> , schwierig	164(28)	162(25)	163
Einsteinium*	Es	99	(254)	<i>Albert Einstein</i>	<i>(radioaktiv)</i>		
Eisen	Fe	26	55,845	lat.: <i>Ferrum</i>	56(92)	54(6)	57
Erbium	Er	68	167,259	Ytterby in Schweden	166(33)	168(27)	170
Europium	Eu	63	151,964	<i>Europa</i>	153(52)	151(48)	–
Fermium*	Fm	100	(253)	<i>Enrico Fermi</i>	<i>(radioaktiv)</i>		
Fluor	F	9	18,99840	lat.: <i>fluere</i> , fließen	19(100)	–	–
Francium*	Fr	87	(223)	<i>France</i> , Frankreich	<i>(radioaktiv)</i>		
Gadolinium	Gd	64	157,25	<i>Johan Gadolin</i>	158(25)	160(22)	156
Gallium	Ga	31	69,723	<i>Gallia</i> , Gallien/Frankr.	69(60)	71(40)	–
Germanium	Ge	32	72,64	<i>Germania</i> , Deutschland	74(36)	76(7,8)	73
Gold	Au	79	196,9665	lat.: <i>Aurum</i> ( <i>Aurora</i> )	197(100)	–	–
Hafnium	Hf	72	178,49	<i>Hafnia</i> , Kopenhagen	180(35)	178(27)	177
Hassium*	Hs	108	(269)	<i>Hassia</i> , Hessen	<i>(radioaktiv)</i>		
Helium	He	2	4,003	gr.: <i>helios</i> , Sonne	4 (100)	3(10 <sup>-4</sup> )	–
Holmium	Ho	67	164,93032	Stockholm, Schweden	165(100)	–	–
Indium	In	49	114,82	<i>Indigo</i> (Farbstoff)	115(96)	113(4)	–
Iod	I	53	126,90447	gr.: <i>ioeideis</i> , violett	127(100)	–	–
Iridium	Ir	77	192,217	gr.: <i>Iris</i> , Regenbogen	193(63)	191(37)	–
Kalium	K	19	39,0983	<i>Al Kalja</i> , (Pott-)Asche	39(93)	41(7)	40
Kohlenstoff	C	6	12,0107	lat.: <i>Carboneum</i>	12(98,9)	13(1,1)	14
Krypton	Kr	36	83,80	gr.: <i>krypton</i> , verborgen	84(57)	86(17)	82
Kupfer	Cu	29	63,55	<i>Aes cyprium</i> , Zypernerz	63(69)	65(31)	–

Elementname	Symbol	OZ	RAM (u)	Name, Wortherkunft	Drei häufigste, natürliche Isotope (RAM, %)		
Lanthan	La	57	138,9055	<i>lanthanein</i> , verborgen	139(100)	138(0,1)	–
Lawrencium*	Lr	103	260,1053	<i>Ernest Lawrence</i>	<i>(radioaktiv)</i>		
Lithium	Li	3	6,941	gr.: <i>Lithos</i> , Stein	7 (92,6)	6(7,4)	–
Lutetium	Lu	71	174,967	lat.: <i>Lutetia</i> , Paris	175(97)	176(2,6)	–
Magnesium	Mg	12	24,3050	<i>Magnesia</i> (Mineral)	24(78,7)	26(11)	25
Mangan	Mn	25	54,938049	<i>Magnetit</i> (ein Erz)	55(100)	–	–
Meitnerium*	Mt	109	(268?)	<i>Lise Meitner</i>	<i>(radioaktiv)</i>		
Mendelevium*	Md	101	(256)	<i>Dimitri Mendelejew</i>	<i>(radioaktiv)</i>		
Molybdän	Mo	42	95,94	gr.: <i>Molybdos</i> , Blei	98(24)	96(16)	95
Natrium	Na	11	22,99	Arab.: <i>neter</i> , Soda	23(100)	–	–
Neodym	Nd	60	144,24	„neues Didymmetall“	142(27)	144(24)	146
Neon	Ne	10	20,18	gr.: <i>neon</i> , neu	20(90)	22(8,8)	21
Neptunium*	Np	93	(237)	lat.: <i>Neptun</i> (Planet)	<i>(radioaktiv)</i>		
Nickel	Ni	28	58,6934	altdt.: <i>Nickel</i> , Satan	58(68)	60(26)	63
Niob	Nb	41	92,9	<i>Niobe</i> (Mythologie)	93(100)	–	–
Nobelium*	No	102	(256)	<i>Alfred Nobel</i>	<i>(radioaktiv)</i>		
Osmium	Os	76	190,23	gr.: <i>osme</i> , „ich rieche“	192(41)	190(26)	189
Palladium	Pd	46	106,42	<i>Pallas</i> (Kleinplanet)	106(27)	108(27)	105
Phosphor	P	15	30,973761	<i>phosphoros</i> , leuchtend	31(100)	–	–
Platin	Pt	78	195,078	sp.: <i>platina</i> , Silberchen	195(34)	194(33)	196
Plutonium*	Pu	94	(244)	lat.: <i>pluto</i> (Kleinplanet)	<i>(radioaktiv)</i>		
Polonium*	Po	84	(209)	<i>Polonia</i> , Polen	<i>(radioaktiv)</i>		
Praseodym	Pr	59	140,90765	„grünes Didymmetall“	141	?	?
Promethium*	Pm	61	(145)	<i>Prometeus</i> (Gottheit)	<i>(radioaktiv)</i>		
Protactinium*	Pa	91	231,03588	„Proto-/Ur-Actinium“	<i>(radioaktiv)</i>		
Quecksilber	Hg	80	200,59	lat.: <i>hydrargyrum</i>	202(30)	200(23)	199
Radium*	Ra	88	(226)	lat.: <i>radians</i> , strahlend	<i>(radioaktiv)</i>		
Radon*	Rn	86	(222)	lat.: <i>radians</i> , strahlend	<i>(radioaktiv)</i>		
Rhenium	Re	75	186,207	lat.: <i>Rhenus</i> , Rhein	187(63)	185(37)	–
Rhodium	Rh	45	102,90550	<i>Rhodos</i> (Insel, Gottheit)	103(100)	–	–
Roentgenium*	Rg?	111	(272?)	<i>Wilh. Conrad Roentgen</i>	<i>(radioaktiv)</i>		
Rubidium	Rb	37	85,4678	lat.: <i>rubidus</i> , rot	85(72)	87(28)	–
Ruthenium	Ru	44	101,07	<i>Ruthenia</i> , Rußland	102(32)	104(19)	99
Rutherfordium*	Rf	104	(261)	<i>Sir Ernest Rutherford</i>	<i>(radioaktiv)</i>		
Samarium	Sm	62	150,36	<i>Samarskit</i> (Mineral)	152(27)	154(23)	147
Sauerstoff	O	8	15,9994	lat.: <i>Oxygenium</i>	16(99,8)	18(0,2)	17
Scandium	Sc	21	44,955910	lat.: <i>Scandinavia</i>	45(100)	–	–

Elementname	Symbol	OZ	RAM (u)	Name, Wortherkunft	Drei häufigste, natürliche Isotope (RAM, %)		
Schwefel	S	16	32,065	lat.: <i>sulfur</i>	32(95)	34(4)	33
Seaborgium*	Sg	106	(263?)	<i>Glenn T. Seaborg</i>	(radioaktiv)		
Selen	Se	34	78,96	gr.: <i>selene</i> , Mond	80(50)	78(24)	82
Silber	Ag	47	107,8682	lat.: <i>argentum</i>	107(51)	109(49)	–
Silizium, Silicium	Si	14	28,0855	lat.: <i>Silex</i> , Kieselstein	28(92,2)	30(3)	29
Stickstoff	N	7	14,0067	lat.: <i>Nitrogenium</i>	14(99,6)	15	–
Strontium	Sr	38	87,62	<i>Strontianit</i> (Mineral)	88(82)	86(10)	87
Tantal	Ta	73	180,9479	<i>Tantalus</i> (Gottheit)	181(100)	180(<1)	–
Technetium*	Tc	43	(99)	lat.: „Das Technische“	(radioaktiv)		
Tellur	Te	52	127,60	gr.: <i>Tellos</i> , Erde	130(34)	128(32)	127
Terbium	Tb	65	158,92534	Ytterby in Schweden	159(100)	–	–
Thallium	Tl	81	204,3833	<i>thallos</i> , grüner Zweig	205(70)	203(29)	–
Thorium*	Th	90	232,0381	<i>Thor</i> (Gottheit)	(radioaktiv)		
Thulium	Tm	69	168,93421	<i>Thulium</i> , Skandinavien	169(100)	–	–
Titan	Ti	22	47,90	<i>Titanen</i> (Gottheiten)	48(74)	46(8)	47
(Ununquadium)*	(Uuq)	114	285-289?	1-1-4 (lat./Eka-Blei)	(radioaktiv)		
(Ununtrium)*	(Uut)	113	(unsicher)	1-1-3 (lat./Eka-Tl.)	(radioaktiv)		
Uran*	U	92	238,02891	<i>Uranus</i> (Planet)	238(99)	235(1)	234
Vanadium	V	23	50,9415	<i>Vanadis</i> (Gottheit)	51(100)	50(0,2)	–
Wasserstoff	H	1	1,00794	lat.: <i>Hydrogenium</i>	1 (100)	2 (0,02)	–
Wolfram	W	74	183,84	(Erz), (Engl.: <i>Tungsten</i> )	184(31)	186(28)	182
Xenon	Xe	54	131,3293	gr.: <i>xenos</i> , fremd	132(27)	129(26)	131
Ytterbium	Yb	70	173,04	Ytterby in Schweden	174(32)	172(22)	171
Yttrium	Y	39	88,9058	Ytterby in Schweden	89(100)	–	–
Zink	Zn	30	65,39	lat.: <i>zincum</i>	64(49)	66(28)	68
Zinn	Sn	50	118,710	lat.: <i>stannum</i>	120(33)	118(24)	119
Zirkon(ium)	Zr	40	91,224	<i>Zirkon</i> (Edelstein)	90(51)	94(17)	92

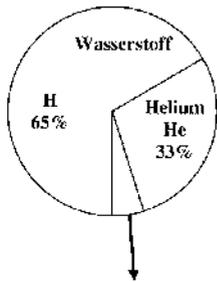
\* radioaktive Elemente (zum Periodensystem s. Kapitel 3);

OZ: Ordnungszahl, Kernladungszahl (mit Atommassen der jeweils drei häufigsten Isotope, Häufigkeit in der natürlich vorkommenden Mischung in Klammern in Prozent, auf ganze Prozentzahlen gerundet hinter der RAM des Isotops);

RAM: Relative Atommasse in units u (auf rund 2 Nachkommastellen gerundet, Berechnung der Neutronenzahl NZ für ein Isotop nach:  $RAM - OZ = NZ$ ),

Name: Namensherkunft (zumeist griechische oder lateinische Wörter; die neuen Elemente Nr. 110 bis 112 wurden Darmstadtium, Roentgenium (Rg) und Copernicium (Cn) benannt

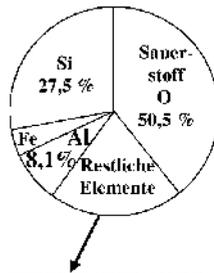
Informationen über die Entstehung der chemischen Elemente finden sich z.B. bei [www.de.wikipedia.org](http://www.de.wikipedia.org) unter „Nukleosynthese“; über die Entstehung chemischer Verbindungen u.a. unter „chemische Evolution“.

**Gesamtniversum**  
 $10^{23}$  kg (in Masse-%)

**Restliche Elemente: 2 %**
**In Sternen der Population I**  
 kommen auf je **1.000.000 Atome**:

- 900.000 Atome Wasserstoff (ppm)
- 100.000 Atome Helium He
- je 100 Atome C, O, Ne
- je 100 Atome S, Ar, Fe
- weniger als 10 Atome von jedem weiteren Element

**auf je 100 Atome Helium** kommen,  
 bezogen auf alle Sternpopulationen:

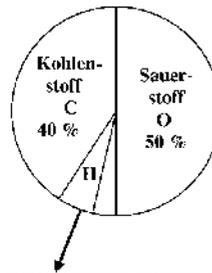
- von Li, Be, B:  $10^{-6}$  ppm
- von C, N, O, F: je 1,0 ppm
- von Element Nr. 10 – 19: 0,1 ppm
- von Elementen ab Nr. 20: 0,01 ppm

**Erdoberfläche** (Lithosphäre,  
 Erdkruste bis 30 km Tiefe)

**Lithosphäre, in Masse-%:**

O	50,5
Si	27,5
Al	7,3
Fe	3,4
Ca	2,8
K	2,6
Na	2,2
Mg	1,3
H	1,0
Ti	0,4
N	0,3
Cl	0,2
C	0,12

**bezogen auf Anzahl der Atome:**

Na	28300 ppm
Ca	26300 ppm
K	25900 ppm
Mg	20900 ppm
Ti	4400 ppm
H	1400 ppm
P	1200 ppm
Mn	1000 ppm
F	800 ppm
C	320 ppm
Zr	220 ppm

**Organisches Material** (Biomasse,  
 Beispiel: Buchenblätter, in Masse-%)

**restl. Masse-%**  
 in Buchenblättern:

H	6,6
Ca	1,04
K	0,64
N	0,5
Mg	0,2
P	0,18
Fe	0,03
S	0,07
....	

**Anteile**  
 in Rindfleisch:

C	61
O	16,5
N	10,3
H	8,5
K	1,33
P	0,7
Na	0,23
N	0,2
Cl	0,18
Fe	0,1
Ca	0,05
...	

**Abb. 1.1** Durchschnittliche Häufigkeit der Elemente in Kosmos, Gesteinskruste und Biomasse

Hinweis: Zur Häufigkeit der Elemente in der Umwelt (Luft, Meerwasser, Öko-/Biosphäre) finden sich weitere Daten in Kap. 13.2 Ökologie sowie im ausführlichen Internet-Ergänzungsangebot zu diesem Band. Autor und Verlag bieten unter [www.wiley-vch.de](http://www.wiley-vch.de) viele weitere, detaillierte Daten und Ergänzungen zu fast allen Kapiteln dieses Buches unter:

[www.wiley-vch.de/publish/dt/books/bySubjectCH00/ISBN3-527-32960-9](http://www.wiley-vch.de/publish/dt/books/bySubjectCH00/ISBN3-527-32960-9).

Hier finden sich insbesondere Daten zu folgenden Themenbereichen:

- Geschichte der Chemie
- Formeln und Strukturen
- Analytische Verfahren
- Ökonomie und Ökologie
- Kunststoffe
- Mineralogie
- Elementarteilchen
- Redoxgleichgewichte und Elektrochemie
- Mathematische Grundlagen
- Farben, Lacke, Beschichtungstoffe
- Mikrobiologie
- u. a.