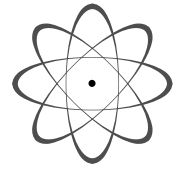


# Formelsammlung Physik



Gymnasialstufe

Martin Ambauen

## 1 Einheiten

### 1.1 Basiseinheiten des internationalen Einheitensystems (SI)

*1 Sekunde* ist die SI-Einheit der Zeit. Sie wird definiert durch die Konstante der Cäsiumfrequenz  $\Delta\nu_{\text{Cs}}$ , der Frequenz des ungestörten Hyperfeinübergangs des Grundzustands des Cäsium-Isotops Cs 133. Der Zahlenwert dieser Konstante ist auf 9 192 631 770 festgelegt, wenn sie in der Einheit Hz bzw.  $\text{s}^{-1}$  angegeben wird. (1967) **1 s**

*1 Meter* ist die SI-Einheit der Länge. Er wird definiert durch die Konstante der Lichtgeschwindigkeit  $c$  im Vakuum. Der Zahlenwert dieser Konstante ist auf 299 792 458 festgelegt, wenn sie in der Einheit  $\text{m s}^{-1}$  angegeben wird. (1983) **1 m**

*1 Kilogramm* ist die SI-Einheit der Masse. Es wird definiert durch die Konstante des Planckschen Wirkungsquantums  $h$ . Der Zahlenwert dieser Konstante ist auf  $6.626\,070\,15 \cdot 10^{-34}$  festgelegt, wenn sie in der Einheit J s bzw.  $\text{kg m}^2 \text{s}^{-1}$  angegeben wird. (2019) **1 kg**

*1 Ampere* ist die SI-Einheit der Stromstärke. Es wird definiert durch die Konstante der Elementarladung  $e$ . Der Zahlenwert dieser Konstante ist auf  $1.602\,176\,634 \cdot 10^{-19}$  festgelegt, wenn sie in der Einheit C bzw. A s angegeben wird. (2019) **1 A**

*1 Kelvin* ist die SI-Einheit der thermodynamischen Temperatur. Es wird definiert durch die Boltzmann-Konstante  $k$ . Der Zahlenwert dieser Konstante ist auf  $1.380\,649 \cdot 10^{-23}$  festgelegt, wenn sie in der Einheit  $\text{J K}^{-1}$  bzw.  $\text{kg m}^2 \text{s}^{-2} \text{K}^{-1}$  angegeben wird. (2019) **1 K**

*1 Mol* ist die SI-Einheit der Stoffmenge. Ein Mol enthält genau  $6.022\,140\,76 \cdot 10^{23}$  Einzelteilchen. Diese Zahl ist der festgelegte numerische Wert der Avogadrokonstante  $N_A$ , ausgedrückt in der Einheit  $\text{mol}^{-1}$ , und wird als Avogadrozahl bezeichnet.

Die Stoffmenge, Symbol  $n$ , eines Systems ist ein Maß für eine Anzahl spezifizierter Einzelteilchen. Dies kann ein Atom, Molekül, Ion, Elektron sowie ein anderes Teilchen oder eine Gruppe solcher Teilchen genau angegebener Zusammensetzung sein. (2019) **1 mol**

*1 Candela* ist die SI-Einheit der Lichtstärke in einer bestimmten Raumrichtung. Sie wird definiert durch die Konstante  $K_{\text{cd}}$ , das photometrische Strahlungsäquivalent einer monochromatischen Strahlung von  $540 \cdot 10^{12}$  Hz. Der Zahlenwert dieser Konstante ist auf 683 festgelegt, wenn sie in der Einheit  $\text{lm W}^{-1}$  bzw.  $\text{cd sr W}^{-1}$  oder  $\text{cd sr kg}^{-1} \text{m}^{-2} \text{s}^3$  angegeben wird. (2019) **1 cd**

### 1.2 Vielfache von Einheiten

Faktor	Vorsatz	Zeichen	Faktor	Vorsatz	Zeichen
$10^1$	Deka	da	$10^{-1}$	Dezi	d
$10^2$	Hekto	h	$10^{-2}$	Zenti	c
$10^3$	Kilo	k	$10^{-3}$	Milli	m
$10^6$	Mega	M	$10^{-6}$	Mikro	$\mu$
$10^9$	Giga	G	$10^{-9}$	Nano	n
$10^{12}$	Tera	T	$10^{-12}$	Piko	p
$10^{15}$	Peta	P	$10^{-15}$	Femto	f
$10^{18}$	Exa	E	$10^{-18}$	Atto	a
$10^{21}$	Zetta	Z	$10^{-21}$	Zepto	z
$10^{24}$	Yotta	Y	$10^{-24}$	Yokto	y

Quellen: DIN 1301, <http://www.bipm.org/>

### 1.3 Griechisches Alphabet

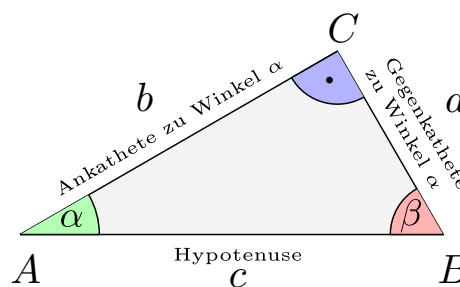
A	$\alpha$	Alpha	H	$\eta$	Eta	N	$\nu$	Nü	T	$\tau$	Tau
B	$\beta$	Beta	$\Theta$	$\theta, \vartheta$	Theta	$\Xi$	$\xi$	Xi	$\Upsilon$	$\upsilon$	Ypsilon
$\Gamma$	$\gamma$	Gamma	I	$\iota$	Iota	O	$o$	Omikron	$\Phi$	$\phi, \varphi$	Phi
$\Delta$	$\delta$	Delta	K	$\kappa, \varkappa$	Kappa	$\Pi$	$\pi$	Pi	X	$\chi$	Chi
E	$\epsilon, \varepsilon$	Epsilon	$\Lambda$	$\lambda$	Lambda	P	$\rho, \varrho$	Rho	$\Psi$	$\psi$	Psi
Z	$\zeta$	Zeta	M	$\mu$	Mü	$\Sigma$	$\sigma, \varsigma$	Sigma	$\Omega$	$\omega$	Omega

## 2 Trigonometrie

### 2.1 Rechtwinkliges Dreieck

$$\sin \alpha = \frac{a}{c} = \cos \beta \quad \cos \alpha = \frac{b}{c} = \sin \beta$$

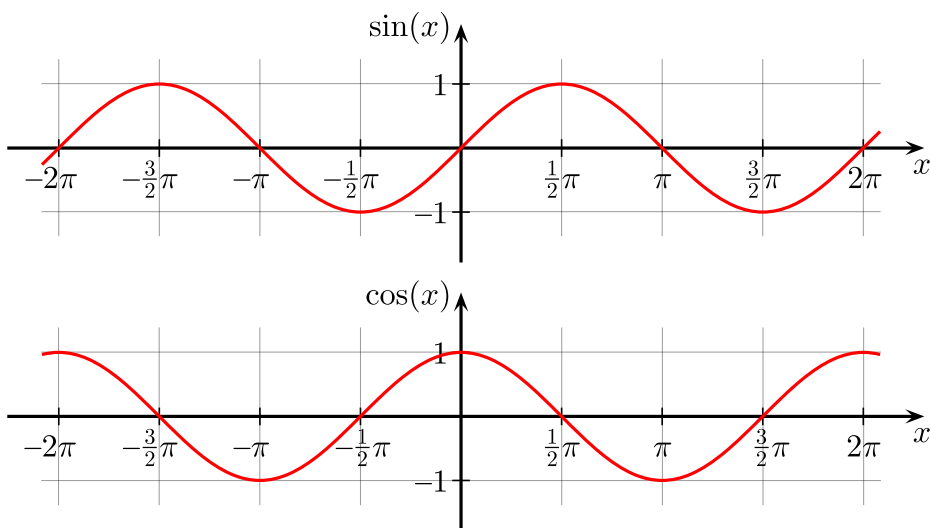
$$\tan \alpha = \frac{a}{b} = \cot \beta \quad \cot \alpha = \frac{b}{a} = \tan \beta$$



### 2.2 Allgemeines Dreieck

Sinussatz:  $\frac{a}{\sin \alpha} = \frac{b}{\sin \beta} = \frac{c}{\sin \gamma}$ ,      Kosinussatz:  $a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cos(\alpha)$

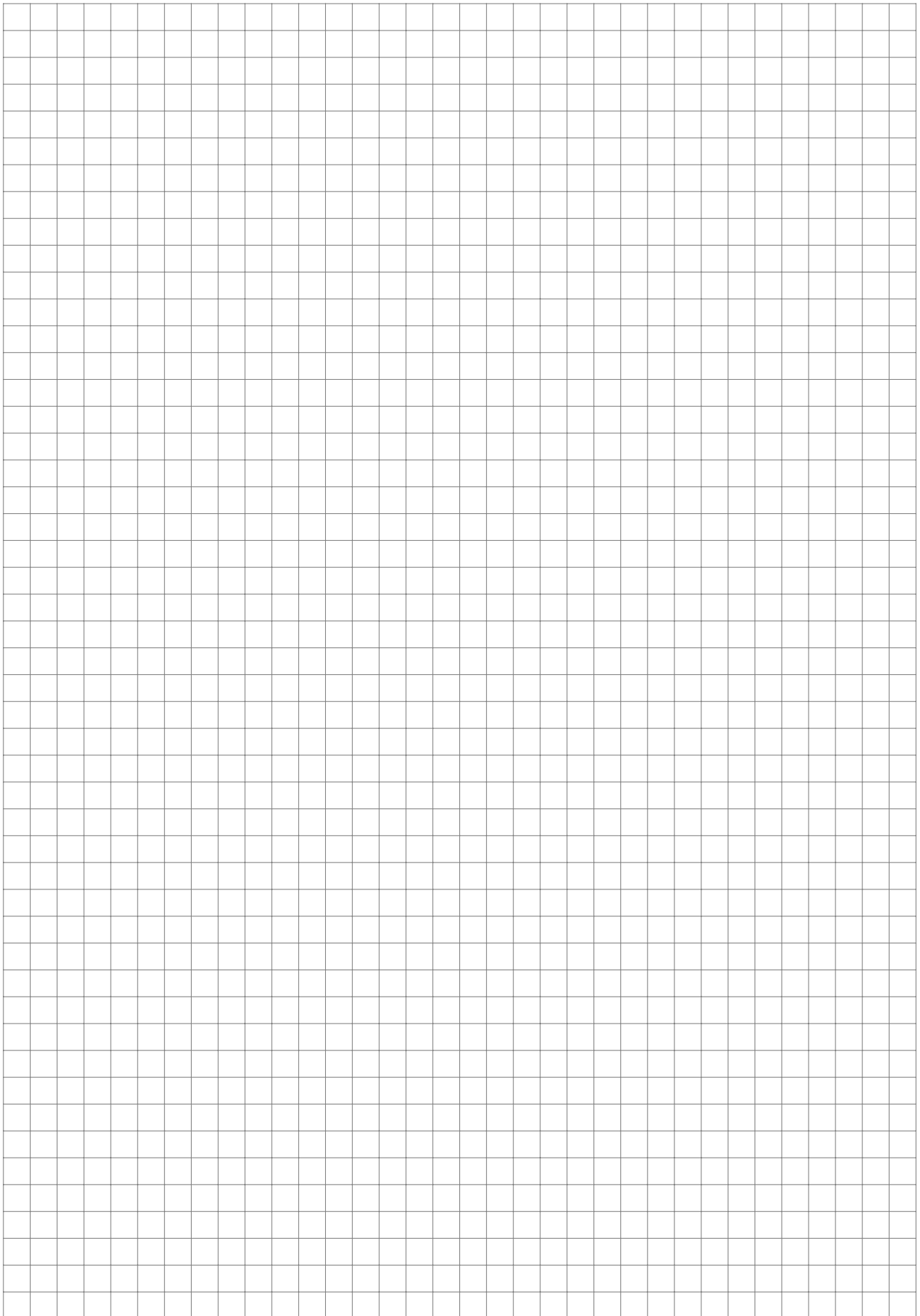
### 2.3 Trigonometrische Funktionen



### 2.4 Wichtige Beziehungen

$$\tan \alpha = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha}; \quad \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1; \quad \sin(\alpha \pm \beta) = \sin \alpha \cos \beta \pm \cos \alpha \sin \beta$$

$$\cot \alpha = \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha}; \quad \frac{1}{\cos^2 \alpha} = 1 + \tan^2 \alpha; \quad \cos(\alpha \pm \beta) = \cos \alpha \cos \beta \mp \sin \alpha \sin \beta$$



## 3 Mechanik

### 3.1 Kinematik

**Durchschnitts- und Momentangeschwindigkeit:**

$$\Delta \vec{s} = \vec{s}_2 - \vec{s}_1, \quad \Delta t = t_2 - t_1$$

$$\bar{\vec{v}} = \frac{\Delta \vec{s}}{\Delta t} = \vec{v}_{\text{Durchschnitt}} \quad (\text{Def.})$$

$$\vec{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{s}}{\Delta t} = \vec{v}_{\text{momentan}} \quad (\text{Def.})$$

**Betrag der Geschwindigkeit:**

$$|\vec{v}| = v$$

**Geschwindigkeitsumrechnung:**

$$v_{\text{km/h}} \xrightarrow{\cdot 3,6} v_{\text{m/s}} \xrightarrow{\cdot 3,6} v_{\text{km/h}}$$

**Gleichförmige Bewegung:**

$$\vec{s} = \vec{s}_0 + \vec{v} \cdot t$$

**Gleichmässig beschleunigte Bewegung:**

$$\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} \quad (\text{Def.})$$

$$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a} t$$

$$\vec{s} = \vec{s}_0 + \vec{v}_0 t + \frac{1}{2} \vec{a} t^2$$

$$\vec{s} = \vec{s}_0 + \frac{1}{2} (\vec{v}_0 + \vec{v}) t$$

**Gleichmässig beschleunigte Bewegung entlang einer Geraden:**

$$s = \frac{v^2 - v_0^2}{2a}, \quad s_0 = 0$$

**Freier Fall:**

$$\vec{a} = \vec{g}, \quad g_{\text{Erde}} \approx 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

**Schiefer Wurf:**

$$v_{0x} = v_0 \cos \alpha, \quad v_{0y} = v_0 \sin \alpha$$

$$x = v_{0x} t, \quad y = v_{0y} t - \frac{1}{2} g t^2$$

$$v_x = v_{0x} = \text{konst.}, \quad v_y = v_{0y} - g t$$

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$$

### 3.2 Kräfte

**Gewichtskraft:**

$$\vec{F}_G = m \cdot \vec{g}$$

$$g_{\text{Erde}} \approx 9.81 \text{ N/kg}$$

(Referenzwert:  $g = 9.80665 \text{ N/kg}$ )

**Dichte:**

$$\rho = \frac{m}{V}, \quad [\rho] = \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

**Federkraft:**

$$\vec{F}_{\text{Feder}} = (-) D \cdot \vec{s}$$

**Reibung:**

$$F_{\text{haft}} \leq \mu_H \cdot F_N$$

$$F_{\text{gleit}} = \mu_G \cdot F_N$$

$$F_{\text{roll}} = \mu_R \cdot F_N$$

**Schiefe Ebene:**

$$F_G^{\parallel} = F_G \cdot \sin \alpha = m g \sin \alpha$$

$$F_G^{\perp} = F_G \cdot \cos \alpha = m g \cos \alpha$$

**Luftwiderstand:**

$$F \approx \frac{1}{2} c_w A \rho v^2$$

### 3.3 Newtonsche Gesetze

**I. Gesetz (Trägheitsprinzip)**

$$v = \text{konst.}, \quad \text{wenn } \vec{F}_{\text{res}} = \vec{0}$$

$\vec{F}_{\text{res}}$  : resultierende Kraft

**II. Gesetz (Aktionsprinzip)**

$$\vec{F}_{\text{res}} = m \cdot \vec{a}$$

**III. Gesetz („Actio = Reactio“)**

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$$

**3.4 Energie und Leistung****Arbeit:**

$$W = F_s \cdot s$$

$$W = F s \cos \alpha \quad (\text{Def.})$$

**Goldene Regel der Mechanik:**

Für reibungsfreie Kraftwandler gilt:

„Das Produkt aus Kraft und Weg (entlang des Weges) ändert sich nicht.“

**Hebelgesetz:**

Vom Drehpunkt her gemessen gilt:

„Kraft mal Kraftarm ist gleich Last mal Lastarm.“

**Energiearten:**

$$E_{\text{pot}} = m g h$$

$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} m v^2$$

$$E_{\text{Feder}} = \frac{1}{2} D s^2$$

**Leistung:**

$$P = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta E}{\Delta t} = P_{\text{momentan}} \quad (\text{Def.})$$

$$\bar{P} = \frac{\Delta E}{t} = \frac{W}{t} = P_{\text{Durchschnitt}}$$

$$P = F_s \cdot v = F v \cos \alpha$$

**Wirkungsgrad:**

$$\eta = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} = \frac{W_{\text{out}}}{W_{\text{in}}} \quad (\text{Def.})$$

**3.5 Impuls****Impuls:**

$$\vec{p} = m \cdot \vec{v} \quad (\text{Def.})$$

**Kraftstoß:**

$$\Delta \vec{p} = \vec{F} \Delta t \quad (\text{Kraft konstant!})$$

**Inelastischer Stoß:**

$$\vec{u} = \vec{v}_{\text{SP}} = \frac{m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2}{m_1 + m_2}$$

**Elastischer Stoß:**

$$\vec{v}_{\text{SP}} = \frac{m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2}{m_1 + m_2}$$

$$\vec{v}'_1 = \vec{v}_1 - \vec{v}_{\text{SP}}$$

$$\vec{u}'_1 = -\vec{v}'_1$$

$$\begin{aligned} \vec{u}_1 &= \vec{u}'_1 + \vec{v}_{\text{SP}} = 2 \vec{v}_{\text{SP}} - \vec{v}_1 \\ &= \frac{(m_1 - m_2) \vec{v}_1 + 2 m_2 \vec{v}_2}{m_1 + m_2} \end{aligned}$$

( $\vec{v}'_2$ ,  $\vec{u}'_2$  und  $\vec{u}_2$  analog durch Vertauschen von 1 und 2)

**3.6 Gleichförmige Kreisbewegung****Frequenz:**

$$f = \frac{1}{T} \quad (\text{Def.})$$

**Winkelgeschwindigkeit:**

$$\omega = \frac{\Delta \varphi}{\Delta t} \quad (\text{Def.}), \quad [\omega] = \frac{\text{rad}}{\text{s}} = \frac{1}{\text{s}}$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f, \quad [f] = \text{s}^{-1} = \text{Hz}$$

**Bahngeschwindigkeit:**

$$v = \omega r$$

**Zentripetalbeschleunigung und resultierende Kraft:**

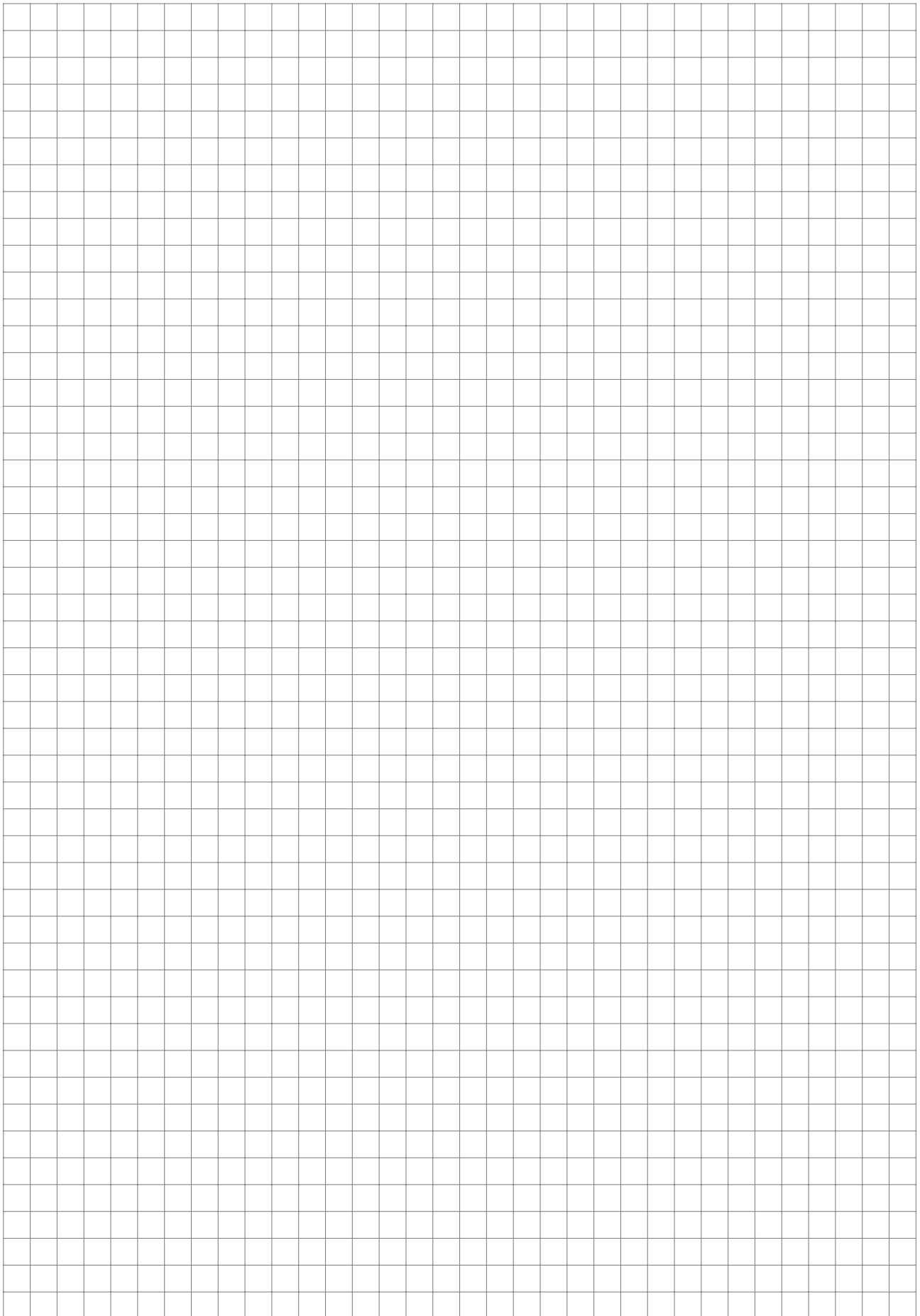
$$a_Z = \omega^2 r = \frac{v^2}{r}$$

$$F_Z = m a_Z = m \omega^2 r$$

**3.7 Gravitation****Newtonsches Gravitationsgesetz:**

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

$$G = 6.67428(67) \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2 \text{ kg}^{-2}$$



## 4 Elektrizität und Magnetismus

### 4.1 Elektrisches Feld

**Elektrisches Feld und Spannung:**

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{Q} \quad (\text{Def.})$$

$$U = E_s \cdot s = E s \cos \alpha = \vec{E} \cdot \vec{s}$$

**Elementarladung:**

$$e = 1.6022 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

**Coulombgesetz:**

$$F = \frac{1}{4\pi \varepsilon_0 \varepsilon_r} \cdot \frac{Q_1 Q_2}{r^2}, \quad \varepsilon_r = 1 \text{ (Vakuum)}$$

$$\varepsilon_0 = 8.854 \cdot 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{Nm}^2}$$

**Plattenkondensator:**

$$C = \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{A}{d}, \quad \varepsilon_r = 1 \text{ (Vakuum)}$$

$\varepsilon_r$  : Dielektrizitätszahl

**E-Feld eines Plattenkondensators:**

$$E = \frac{Q}{\varepsilon_0 \varepsilon_r A} = \frac{U}{d},$$

wobei  $d \ll \sqrt{A}$

**Kapazität:**

$$C = \frac{Q}{U} \quad (\text{Def.})$$

**Parallelschaltung:**

$$C_{\text{Ersatz}} = C_1 + C_2 + C_3 + \dots$$

**Serieschaltung:**

$$\frac{1}{C_{\text{Ersatz}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots$$

**Elektr. Energie des Kondensators:**

$$W = \frac{1}{2} C U^2$$

**Flächenladungsdichte:**

$$\sigma = \frac{Q}{A}$$

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0 \varepsilon_r}$$

### 4.2 Bewegte Ladung

**Ladung und Strom:**

$$I = \frac{Q}{t}$$

**Spannung und Arbeit:**

$$U = \frac{W}{Q} \quad (\text{Def.})$$

$$= \frac{P}{I}$$

**Widerstand, spezifischer Widerstand:**

$$R = \frac{U}{I} \quad (\text{Def.})$$

$$\rho_{\text{el.}} \cdot \frac{l}{A} = R \quad (\text{Def.})$$

**Parallelschaltung:**

$$\frac{1}{R_{\text{Ersatz}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots$$

**Serieschaltung:**

$$R_{\text{Ersatz}} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$$

### 4.3 Elektromagnetismus

**Magnetische Flussdichte:**

$$F = s I B \sin \alpha$$

$$\vec{F} = s (\vec{I} \times \vec{B}) \quad (\text{Def. von } \vec{B})$$

**Dreifingerregel rechte Hand (technischer Strom):**

Mittelfinger = Daumen  $\times$  Zeigefinger

Kraft = Strom  $\times$  Magnetfeld

**Lorentzkraft:**

$$\vec{F}_L = q (\vec{v} \times \vec{B}) = q |\vec{v}| |\vec{B}| \sin \alpha$$

**B-Feld in schlanker Spule:**

$$B \approx \mu_0 \mu_r I \frac{n}{l}, \quad l \gg d$$

Spulendurchmesser  $d$ , Länge  $l$   
 $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ T m A}^{-1}$

**B-Feld eines stromdurchflossenen unendlich langen Leiters:**

$$B = \frac{\mu_0 \mu_r I}{2\pi r}$$

$r$ : Abstand von der Drahtachse

**Magn. Fluss und Induktion:**

$$\Phi = \vec{B} \cdot \vec{A} = B A \cos \varphi$$

$$U_{\text{ind}} = -\frac{d\Phi}{dt} \approx -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

## 5 Geometrische Optik

**Reflexionsgesetz:**

$$\alpha = \alpha'$$

**Abbildungsmaßstab:**

$$A = \frac{B}{G} \quad (\text{Def.})$$

**Lateralvergrößerung:**

$$\frac{B}{G} = \frac{b}{g}$$

**Linsengleichung:**

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{g} + \frac{1}{b}$$

**Brechkraft:**

$$D = \frac{1}{f} \quad (\text{Def.})$$

**Selbstinduktion:**

$$U_{\text{ind}} \approx L \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

**Schlanke Spule:**

$$L = \mu_0 \mu_r n^2 \frac{A}{l}$$

$$W = \frac{1}{2} L I^2$$

**Wechselspannung:**

$$U(t) = \hat{U} \cdot \sin \omega t$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$$

$$U_{\text{eff}} = \frac{\hat{U}}{\sqrt{2}}, \quad I_{\text{eff}} = \frac{\hat{I}}{\sqrt{2}}$$

$$\bar{P} = U_{\text{eff}} \cdot I_{\text{eff}}$$

**Transformator:**

$$\frac{U_1}{U_2} \approx \frac{n_1}{n_2}, \quad \frac{I_2}{I_1} \approx \frac{n_1}{n_2}$$

**Kombination von Linsen:**

$$D = D_1 + D_2$$

**Sphärischer Hohlspiegel:**

$$f = \frac{r}{2}$$

**Lichtgeschwindigkeit im Vakuum:**

$$c_{\text{vak}} = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}}$$

$$c_{\text{vak}} = 299\,792\,458 \text{ m/s} \quad (\text{Def.!!})$$

**Lichtbrechung:**

$$n = \frac{c_{\text{vak}}}{c_{\text{Medium}}} \quad (\text{Def.})$$

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{c_a}{c_b} = \frac{n_b}{n_a}$$



## 6 Hydro- und Aerostatik

**Druck:**

$$p = \frac{F}{A} \quad (\text{Def.})$$

1 bar =  $10^5$  Pa, 1 Torr = 133.3 Pa,  
1 atm =  $1.01325 \cdot 10^5$  Pa = 1.01325 bar  
 $\hat{=}$   $p_0$  (Normdruck)

**Schweredruck:**

$$p_{\text{total}} = p_0 + \rho_{\text{Fl.}} g h$$

**Auftrieb:**

$$F_A = V_{\text{verdr. Fl.}} \rho_{\text{Fl.}} g$$

**Bernoulli'sche Gleichung:**

$$\frac{1}{2} \rho v^2 + \rho g h + p = \text{konst.}$$

## 7 Wärmelehre

### 7.1 Temperatur

**Temperaturumrechnung:**

$$\vartheta_{\text{Fahrenheit}} = 1.8 \frac{^\circ\text{F}}{^\circ\text{C}} \cdot \vartheta_{\text{Celsius}} + 32 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$T_{\text{Kelvin}} = \vartheta_{\text{Celsius}} + 273.15 \text{ K}$$

$$\Delta T = \Delta \vartheta_{\text{Celsius}}$$

**Längenausdehnung von Festkörpern:**

$$l = l_0 + \Delta l \approx l_0 (1 + \alpha \Delta T)$$

$$\Delta l \approx \alpha l_0 \Delta T$$

**Volumenausdehnung:**

$$V = V_0 + \Delta V \approx V_0 (1 + \gamma \Delta T)$$

$$\Delta V \approx \gamma V_0 \Delta T$$

Festkörper:  $\gamma \approx 3\alpha$

**Zustandsgleichung idealer Gase:**

$$pV = nRT$$

$$= N k_B T = n N_A k_B T$$

**Vereinfachte barometrische Höhenformel:**

$$p(h) = p_0 e^{-\frac{h}{8000 \text{ m}}}$$

$$e \approx 2.718\ 281\ 828\ 459$$

**Gesetz von Boyle-Mariotte:**

$$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2 = \text{konst.}$$

**Luftwiderstand:**

$$F \approx \frac{1}{2} c_w A \rho v^2$$

mit

$$R = 8.314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

$$k_B = 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$$

$$N_A = 6.02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

**Mittlere quadratische Geschwindigkeit (root mean square):**

$$v_{\text{rms}} = \sqrt{v^2} = \sqrt{\frac{3kT}{m}}$$

**Druck des idealen Gases:**

$$p = \frac{1}{3} \frac{N}{V} m \overline{v^2}$$

### 7.2 Thermodynamik

**1. Hauptsatz:**

$$\Delta U = W^{\checkmark} + Q^{\checkmark} \quad \checkmark : \text{ 'zugeführt' }$$

**Spezifische Wärmekapazität:**

$$\Delta Q = c m \Delta T \quad (\text{Def.})$$

**Schmelzwärme:**

$$Q = m \cdot L_{\text{fest-flüssig}}$$

**Verdampfungswärme:**

$$Q = m \cdot L_{\text{flüssig-gasförmig}}$$

**Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$ :**

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = (-)\lambda \cdot \frac{A}{\Delta x} \cdot \Delta T$$

Mehrere Schichten:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = (-) \frac{A \Delta T}{\frac{\Delta x_1}{\lambda_1} + \frac{\Delta x_2}{\lambda_2} + \frac{\Delta x_3}{\lambda_3} + \dots}$$

**Wärmestrahlung:**

$$\lambda_{\text{max}} = \frac{2.898 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}}{T}$$

$$P_Q = \frac{Q}{\Delta t} = \sigma A T^4$$

$$\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$$

**Entropie:**

$$\Delta S = \frac{\Delta Q}{T} \quad (\text{reversible Prozesse})$$

$$S = k_B \ln W$$

$W$ : thermodynamische Wahrscheinlichkeit des Zustandes

**Carnot-Maschinen und Entropie;**

**2. Hauptsatz:** ( $\geq$  und  $\leq$ : Für idealisierte Maschine  $=$ )

$$Q_1 + Q_2 + W = 0$$

$$\Delta S = \frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} \geq 0$$

$$\eta_{\text{Motor}} = \frac{W}{-Q_2} \leq \frac{T_2 - T_1}{T_2}$$

$$\eta_{\text{Wärmepumpe}} = \frac{Q_2}{-W} \leq \frac{T_2}{T_2 - T_1}$$

$$\eta_{\text{Kühlgerät}} = \frac{-Q_1}{-W} \leq \frac{T_1}{T_2 - T_1}$$

## 8 Konstanten und Einheiten

**Protonenmasse:**

$$m_p = 1.6726 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

**Neutronenmasse:**

$$m_n = 1.6749 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

**Elektronenmasse:**

$$m_e = 9.1095 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

**Elementarladung:**

$$e = 1.6022 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

**Avogadrozahl:**

$$N_A = 6.0221 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

**Elektronvolt:**

$$1 \text{ eV} = 1.6022 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

**Atommassen-Einheit**

$$1 \text{ u} = 1.6605 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

$$\hat{=} 931.494 \text{ MeV}$$

**Aus der Astronomie**

$$1 \text{ AE} = 1.496 \cdot 10^{11} \text{ m}$$

$$1 \text{ Lichtjahr (ly)} = 9.4605 \cdot 10^{15} \text{ m}$$

$$1 \text{ mt. Sonnentag} : 1 \text{ d} = 24 \text{ h}$$

$$1 \text{ Sterntag} : 86\,164.09 \text{ s}$$

$$1 \text{ siderisches Jahr} : 365.25636 \text{ d}$$

$$m_{\text{Erde}} = 5.98 \cdot 10^{24} \text{ kg}$$

$$r_{\text{Erde}} = 6371 \text{ km}$$

$$m_{\text{Mond}} = 7.35 \cdot 10^{22} \text{ kg}$$

$$r_{\text{Mond}} = 1738 \text{ km}$$

$$m_{\text{Sonne}} = 1.99 \cdot 10^{30} \text{ kg}$$

$$r_{\text{Sonne}} = 6.96 \cdot 10^8 \text{ m}$$

## 9 Tabellen

### Dichte einiger Stoffe:

Festkörper	Dichte bei 20 °C $\rho$ oder $\varrho$ in $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	Flüssigkeiten	Dichte bei 20 °C $\rho$ in $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	Gase bei 0 °C (Normdruck $p_0$ )	Dichte $\rho$ in $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
Diamant	$3.51 \cdot 10^3$	Benzol	$0.879 \cdot 10^3$	Luft	1.293
Eis (bei 0 °C)	$0.917 \cdot 10^3$	Ethanol	$0.789 \cdot 10^3$	Kohlendioxid	1.977
Aluminium	$2.7 \cdot 10^3$	Glyzerin	$1.261 \cdot 10^3$	Helium	0.1785
Gold	$19.29 \cdot 10^3$	Olivenöl	$0.92 \cdot 10^3$	Freon 12	5.510
Eisen	$7.86 \cdot 10^3$	Quecksilber	$13.546 \cdot 10^3$	Erdgas	0.83
Kupfer	$8.92 \cdot 10^3$	Wasser (H <sub>2</sub> O)	$0.998 \cdot 10^3$	Wasserstoff	0.0899
Blei	$11.34 \cdot 10^3$	Wasser (D <sub>2</sub> O)	$1.105 \cdot 10^3$	Propan	2.010
Platin	$21.45 \cdot 10^3$	Petroleum	$0.85 \cdot 10^3$	Stickstoff	1.250
Holz	$0.7 \cdot 10^3$	Schwefelsäure	$1.84 \cdot 10^3$	Xenon	5.897
Kork	$0.3 \cdot 10^3$	Toluol	$0.867 \cdot 10^3$	Ammoniak	0.771

### Näherungswerte einiger Reibungskoeffizienten:

Materialkombination	Gleitreibung $\mu_G$	Haftreibung $\mu_H$	Rollreibung $\mu_R$
Pneu auf trockener Strasse	0.6	1.0	0.008
Pneu auf nasser Strasse	0.4	0.7	Autoreifen auf losem Sand: 0.3
Pneu auf Eis	0.15	0.2	Autoreifen auf Schotter: 0.02
Gewachster Ski auf Schnee (0 °C)	0.05	0.1	Fahrradreifen auf Asphalt: 0.007
Stahl auf Stahl	0.4	0.6	Eisenbahnrad auf Schiene 0.0015
Teflon auf Teflon	0.04	0.04	
Stahl auf Eis	0.014	0.027	
Holz auf Holz	0.4	0.6	

### Absolute Brechzahlen (Vak. – Stoff) einiger Stoffe bei Licht der Wellenlänge $\lambda = 589 \text{ nm}$ bei 20 °C:

Festkörper	Brechungsindex $n$	Flüssigkeiten	Brechungsindex $n$	Gase u. a. (Gase: 0 °C, $p_0$ )	Brechungsindex $n$
Diamant	2.417	Benzol	1.501	Luft	1.000292
Eis	1.309	Ethanol	1.360	Kohlendioxid	1.00449
Kochsalz	1.544	Glyzerin	1.473	Helium	1.000034
Quarzglas	1.458	Leinöl	1.486	Plasma	$0 < n \leq 1$
Flintglas	1.612	Wasser	1.333	Vakuum	exakt 1
Kronglas	1.503	Toluol	1.496		

### Druck und Dichte des gesättigten Wasserdampfes:

$\vartheta$ in °C	$p_s$ in Pa	$\varrho_s$ in $\text{gm}^{-3}$	$\vartheta$ in °C	$p_s$ in Pa	$\varrho_s$ in $\text{gm}^{-3}$	$\vartheta$ in °C	$p_s$ in Pa	$\varrho_s$ in $\text{gm}^{-3}$
-10	285	2.36	15	1707	12.86	40	7378	50.17
-5	421	3.32	20	2337	17.32	45	9586	65.45
0	611	4.85	25	3172	23.10	50	12340	83.00
5	874	6.82	30	4242	30.39	75	39250	245.50
10	1227	9.41	35	5642	39.63	100	101325	597.70

**Thermische Daten einiger Stoffe:**

<b>Festkörper</b>	$\alpha$ in $K^{-1}$	$\lambda$ in $\frac{W}{m \cdot K}$	$L_f$ in $\frac{J}{kg}$	$c$ in $\frac{J}{kg \cdot K}$	$\vartheta_f$ in $^{\circ}C$
Fensterglas	$7.6 \cdot 10^{-6}$	0.8		800	
Quarzglas	$0.45 \cdot 10^{-6}$	1.36		710	1610 <sup>1</sup>
Beton	$6 - 14 \cdot 10^{-6}$	2.1			
Eisen (rein)	$12 \cdot 10^{-6}$	80	$2.77 \cdot 10^5$	450	1535
Gold	$14.3 \cdot 10^{-6}$	312	$0.64 \cdot 10^5$	129	1063
Aluminium	$23.8 \cdot 10^{-6}$	239	$3.97 \cdot 10^5$	896	660.1
Glaskeramik	$0.1 \cdot 10^{-6}$	1.46		800	
Diamant	$1.18 \cdot 10^{-6}$	2000	$1.05 \cdot 10^5$	510	3820
Invar: (64 % Fe, 36 % Ni)	$0.15 \cdot 10^{-6}$	11	5.15	460	1436
Aramidfaser	$-4.1 \cdot 10^{-6}$	0.04			
Eis (0 °C)	$37.0 \cdot 10^{-6}$	2.2	$3.338 \cdot 10^5$	2100	0
<b>Flüssigkeiten</b>	$\gamma$ in $K^{-1}$	$\lambda$ in $\frac{W}{m \cdot K}$	$L_v$ in $\frac{J}{kg}$	$c$ in $\frac{J}{kg \cdot K}$	$\vartheta_f$ in $^{\circ}C$
Wasser	$0.21 \cdot 10^{-3}$	0.598	$22.56 \cdot 10^5$	4182	0
Ethanol	$1.10 \cdot 10^{-3}$	0.165	$8.40 \cdot 10^5$	2430	-114.5
Quecksilber	$0.182 \cdot 10^{-3}$	8.2	$2.86 \cdot 10^5$	139	-38.87
Glycerin	$0.50 \cdot 10^{-3}$	0.285	$8.54 \cdot 10^5$	2390	18.4
Natrium (400 °C)	$0.27 \cdot 10^{-3}$	84	$1.13 \cdot 10^5$	1280	97.8
<b>Gase</b>	$L_f$ in $\frac{J}{kg}$	$\lambda$ in $\frac{W}{m \cdot K}$	$L_v$ in $\frac{J}{kg}$	$c$ in $\frac{J}{kg \cdot K}$	$\vartheta_f$ in $^{\circ}C$
Stickstoff	$0.26 \cdot 10^5$	0.024	$1.98 \cdot 10^5$	1038	-210.00
Helium	$5 \cdot 10^5$	0.143	$20 \cdot 10^5$	5230	-272.2
Sauerstoff	$0.14 \cdot 10^5$	0.024	$2.13 \cdot 10^5$	917	-218.79
Methan	$0.59 \cdot 10^5$	0.030	$5.10 \cdot 10^5$	2219	-182.52
Wasserstoff	$60 \cdot 10^5$	0.171	$450 \cdot 10^5$	14 320	-259.20

$\alpha$ : Längenausdehnungskoeffizient bei 20 °C,  $L_f$ : spezifische Schmelzwärme,  $L_v$ : spez. Verdampfungswärme bei  $p_0$ ,  $\lambda$ : Wärmeleitfähigkeit bei 20 °C,  $c$ : spez. Wärmekapazität bei 20 °C und  $p_0$

**Elektrizität:** Spezifischer elektrischer Widerstand

Spezifischer el. Widerstand	$[\rho] = \Omega m$	Spezifischer el. Widerstand	$[\rho] = \Omega m$
Aluminium (20 °C)	$2.82 \cdot 10^{-8}$	Konstantan (20 °C)	$49 \cdot 10^{-8}$
Kupfer (20 °C)	$1.68 \cdot 10^{-8}$	Wolfram (20 °C)	$5.3 \cdot 10^{-8}$
Wolfram (2500 °C)	$90 \cdot 10^{-8}$	Germanium (20 °C)	0.14
Silizium (rein, 20 °C)	640	Graphit (20 °C)	$300 \cdot 10^{-8}$
Gold (20 °C)	$2.2 \cdot 10^{-8}$	Zink (20 °C)	$5.8 \cdot 10^{-8}$

**Umrechnung von Energiemassen und -äquivalenten**

Atommasseneinheit u  $\leftrightarrow$  kg  $\leftrightarrow$  Megaelektronenvolt  $\leftrightarrow$  Kelvin  $\leftrightarrow$  Joule

	u	kg	MeV	K	J
1 u	1	$1.6605 \cdot 10^{-27}$	$9.315 \cdot 10^2$	$1.0809 \cdot 10^{13}$	$1.4924 \cdot 10^{-10}$
1 kg	$6.0221 \cdot 10^{26}$	1	$5.6096 \cdot 10^{29}$	$6.5096 \cdot 10^{39}$	$8.9876 \cdot 10^{16}$
1 MeV	$1.0735 \cdot 10^{-3}$	$1.7827 \cdot 10^{-30}$	1	$1.1604 \cdot 10^{10}$	$1.6022 \cdot 10^{-13}$
1 K	$9.2511 \cdot 10^{-14}$	$1.5362 \cdot 10^{-40}$	$8.6174 \cdot 10^{-11}$	1	$1.3807 \cdot 10^{-23}$
1 J	$6.7005 \cdot 10^9$	$1.1126 \cdot 10^{-17}$	$6.2415 \cdot 10^{12}$	$7.2429 \cdot 10^{22}$	1

<sup>1</sup>Quarzkristall

## 10 Schwingungen und Wellen

### 10.1 Mechanische Schwingungen

**Frequenz und Kreisfrequenz:**

$$f = \frac{1}{T} \quad (\text{Def.})$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f \quad (\text{Def.})$$

**Harmonische Schwingung:**

$$s(t) = \hat{s} \sin \omega t$$

$$v(t) = \omega \hat{s} \cos \omega t$$

$$a(t) = -\omega^2 \hat{s} \sin \omega t$$

$$F(t) = m \cdot a = -m \omega^2 \hat{s} \sin \omega t$$

$$F(s) = -m \omega^2 s$$

**Federpendel:**

$$F = -D \cdot s$$

$$m \omega^2 = D, \quad \omega = \sqrt{\frac{D}{m}}$$

**Fadenpendel:**

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{l}}$$

### 10.2 Mechanische Wellen

**Wellenlänge und**

**Ausbreitungsgeschwindigkeit:**

$$c = \frac{\lambda}{T} = f \cdot \lambda$$

**Wellenzahl:**

$$k = \pm \frac{2\pi}{\lambda} = \pm \frac{\omega}{c} \quad (\text{Def.})$$

(+ nach rechts, - nach links)

**Sinusförmige Wellen:**

$$\begin{aligned} s(t, x) &= \hat{s} \sin\left(2\pi \left(\frac{t}{T} \mp \frac{x}{\lambda}\right) + \delta\right) \\ &= \hat{s} \sin\left(\omega \left(t \mp \frac{x}{c}\right) + \delta\right) \\ &= \hat{s} \sin(\omega t - kx + \delta) \end{aligned}$$

**Brechungsgesetz:**

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{c_1}{c_2}$$

### 10.3 Elektromagnetische Wellen

**LC-Schwingkreis:**

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

**Lichtgeschwindigkeit im Vakuum:**

$$c_{\text{vak}} = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}}$$

$$c_{\text{vak}} = 299\,792\,458 \text{ m/s} \quad (\text{Def.!!})$$

**Lichtbrechung:**

$$n = \frac{c_{\text{vak}}}{c_{\text{Medium}}} \quad (\text{Def.})$$

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{c_a}{c_b} = \frac{n_b}{n_a}$$

**Beugung am Gitter:**

$$\lambda = \frac{d}{k} \cdot \sin \alpha_k \quad (k = 1; 2; 3; \dots)$$

# 11 Kernphysik

Massenzahl:

$$A = Z + N$$

Massendefekt:

$$\Delta m \approx Z(m_p + m_e) + Nm_n - m_a$$

Kernradius:

$$r \approx r_0 \sqrt[3]{A}$$

## 11.1 Radioaktivität

Zerfallsgesetz:

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

Halbwertszeit:

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

Aktivität:

$$A = -\frac{dN}{dt} = \lambda N$$

## 11.2 Radiologische Einheiten

Ionendosis:

$$J = \frac{\Delta Q}{\Delta m}, [J] = C/kg$$

Energiedosis:

$$D = \frac{\Delta W}{\Delta m}, [D] = J/kg = Gy$$

Äquivalentdosis:

$$H = w_R D, [H] = J/kg = Sv$$

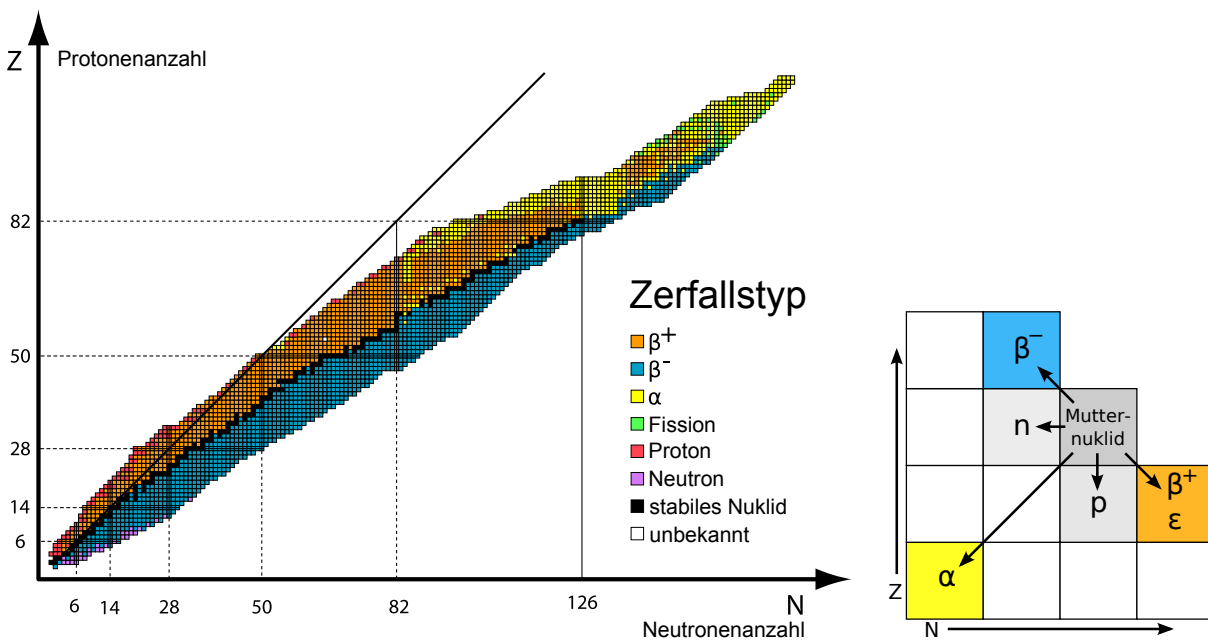
$w_R$ : Strahlen-Wichtungsfaktor

Effektive Dosis:

$$E = \sum w_T H, [E] = Sv$$

$w_T$ : Gewebe-Wichtungsfaktor

## 11.3 Nuklidkarte



Nuklidkarte nach SEGRÈ [Wikimedia Commons, File: Isotopentabelle\_Segre]

## 12 Spezielle Relativitätstheorie

### Geschwindigkeitstransformationen:

$$u' = u - v \quad (\text{klassisch}),$$

$$u' = \frac{u - v}{1 - \frac{uv}{c^2}} \quad (\text{relativistisch})$$

$v$ : Relativgeschwindigkeit zwischen dem bewegten System  $S'$  und dem ruhenden System  $S$  in einer Dimension.

### Längenkontraktion:

$$l = \frac{l_0}{\gamma}, \quad \gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$l_0$ : Messwert im System, in welchem das Objekt ruht.

### Zeitdilatation:

$$\Delta t = \gamma \Delta t_0$$

### Frequenz:

$$f = f_0 \sqrt{\frac{c - v}{c + v}}$$

### Impuls:

$$\vec{p} = \gamma m \vec{v}$$

### Impulsmasse:

$$m_{\text{rel}} = \gamma m = \frac{p}{v}$$

### Kraft:

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} = \dot{\vec{p}}$$

### Ruheenergie:

$$E_0 = mc^2$$

### Gesamtenergie:

$$E = \gamma E_0 = \sqrt{(mc^2)^2 + (pc)^2}$$

### kinetische Energie:

$$E_{\text{kin}} = E - E_0 = (\gamma - 1)mc^2$$

## 13 Für mathematisch Fortgeschrittene

### Weg, Geschwindigkeit und Beschleunigung:

$$\vec{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{s}}{\Delta t} = \dot{\vec{s}} \quad (\text{Def.})$$

$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \dot{\vec{v}} = \ddot{\vec{s}} \quad (\text{Def.})$$

$$\vec{v}(t) = \vec{v}_0 + \int_{t_0}^t \vec{a}(t') dt'$$

$$\vec{s}(t) = \vec{s}_0 + \int_{t_0}^t \vec{v}(t') dt'$$

### Drehmoment:

$$\vec{M} = \vec{r} \times \vec{F} \quad (\text{Def.})$$

### Arbeit, Leistung:

$$W = \vec{F} \cdot \vec{s} \quad (\text{Def.})$$

$$P = \dot{E}, \quad P = \dot{W} \quad (\text{Def.})$$

$$P = \vec{F} \cdot \vec{v}$$

### Kreisbewegung:

$$\vec{v} = \vec{\omega} \times \vec{r}$$

$$\vec{a}_Z = \vec{\omega} \times (\vec{\omega} \times \vec{r})$$

$$\vec{F}_Z = m \vec{a}_Z = m \vec{\omega} \times (\vec{\omega} \times \vec{r})$$

$$\vec{F}_C = 2m(\vec{v}_{\text{rel}} \times \vec{\omega})$$

# Periodensystem der Elemente

1 1	1 IA	1 1.0079	<b>H</b> Wasserstoff	2 IIA	4 9.0122	<b>Be</b> Beryllium	13 IIIA	14 IVA	15 VA	16 VIA	17 VIIA	18 VIIIA
2 2		3 6.941	<b>Li</b> Lithium		5 9.0122	<b>B</b> Bor	5	6	7	8	9	10
3 3		11 22.990	<b>Na</b> Natrium		12 24.305	<b>Mg</b> Magnesium	13 26.982	14 28.086	15 30.974	16 32.065	17 35.453	18 39.948
4 4		19 39.098	<b>K</b> Kalium		20 40.078	<b>Ca</b> Calcium	31 69.723	32 72.64	33 74.922	34 78.96	35 79.904	36 83.8
5 5		37 85.468	<b>Rb</b> Rubidium		38 87.62	<b>Sr</b> Strontium	49 114.82	50 118.71	51 121.76	52 127.6	53 126.9	54 131.29
6 6		55 132.91	<b>Cs</b> Caesium		56 137.33	<b>Ba</b> Barium	81 204.38	82 207.2	83 208.98	84 209	85 210	86 222
7 7		87 223	<b>Fr</b> Francium		88 226	<b>Ra</b> Radium	113 284	114 289	115 288	116 283	117 292	118 294

29 63.546	<b>Cu</b> Kupfer	30 65.39	<b>Zn</b> Zink	47 107.87	<b>Ag</b> Silber	79 196.97	<b>Au</b> Gold	111 280	112 285	113 284	114 289	115 288	116 283	117 292	118 294
27 58.933	<b>Ni</b> Nickel	28 58.693	<b>Co</b> Cobalt	26 55.845	<b>Fe</b> Eisen	25 54.938	<b>Mn</b> Mangan	24 51.996	23 50.942	22 47.867	21 44.956	20 40.078	19 39.098	18 39.948	17 35.453
46 106.42	<b>Pd</b> Palladium	45 102.91	<b>Rh</b> Rhodium	44 101.07	<b>Ru</b> Ruthenium	43 96	<b>Tc</b> Technetium	42 95.94	41 92.906	40 91.224	39 88.906	38 87.62	37 85.468	36 83.8	35 79.904
78 195.08	<b>Pt</b> Platin	77 192.22	<b>Ir</b> Iridium	76 190.23	<b>Os</b> Osmium	75 186.21	<b>Re</b> Rhenium	74 183.84	73 180.95	72 178.49	71 176.43	70 174.10	69 173.04	68 171.94	67 170.94
110 281	<b>Hg</b> Quecksilber	109 268	<b>Tl</b> Thallium	108 277	<b>Pb</b> Blei	107 266	<b>Bi</b> Bismut	106 262	105 262	104 261	103 261	102 261	101 261	100 261	99 261
80 200.59	<b>Cd</b> Cadmium	79 196.97	<b>Ag</b> Silber	78 195.08	<b>Pd</b> Palladium	77 192.22	<b>Rh</b> Rhodium	76 190.23	75 186.21	74 183.84	73 180.95	72 178.49	71 176.43	70 174.10	69 173.04
112 285	<b>Cu</b> Kupfer	111 280	<b>Zn</b> Zink	110 281	<b>Ni</b> Nickel	109 268	<b>Co</b> Cobalt	108 277	107 266	106 262	105 262	104 261	103 261	102 261	101 261
118 294	<b>Xe</b> Xenon	86 222	<b>Rn</b> Radon	84 209	<b>Te</b> Tellurium	83 208.98	<b>I</b> Jod	82 207.2	81 204.38	80 200.59	79 196.97	78 195.08	77 192.22	76 190.23	75 186.21
119 290	<b>Og</b> Oganesson	118 294	<b>Rn</b> Radon	117 292	<b>At</b> Astat	116 283	<b>Po</b> Polonium	115 288	114 289	113 284	112 285	111 280	110 281	109 268	108 277

Alkalimetall  
 Erdalkalimetall  
 Metall  
 Halbmetall  
 Nichtmetall  
 Halogen  
 Edelgas  
 Lanthaniden/Actiniden

z	Masse
<b>Symb.</b>	<b>kinstlich</b>
Name	