

Formelsammlung zur Physik für Biologinnen und Biologen

MATHEMATIK

Kreis $U = 2 \cdot r \cdot \pi$, $A = r^2 \cdot \pi$, **Rechteck** $A = a \cdot b$, **Dreieck** $A = \frac{1}{2} \cdot c \cdot h$, **Kugel** $O = 4 \cdot r^2 \cdot \pi$, $V = \frac{4 \cdot r^3 \cdot \pi}{3}$,

Zylinder $O = 2 \cdot r^2 \cdot \pi + 2 \cdot r \cdot \pi \cdot h$, $V_Z = r^2 \cdot \pi \cdot h$, **Quader** $O = 2 \cdot (a \cdot b + b \cdot c + a \cdot c)$, $V = a \cdot b \cdot c$

Bruchrechnen: $\frac{a}{b} + \frac{c}{d} = \frac{a \cdot d + b \cdot c}{b \cdot d}$, $\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{b+a}{a \cdot b}$, **Lineare Gleichung:** $a \cdot x = b \rightarrow x = \frac{b}{a}$

$\sin \alpha = \frac{\text{Gegenkathete}}{\text{Hypotenuse}}$, $\cos \alpha = \frac{\text{Ankathete}}{\text{Hypotenuse}}$, $\tan \alpha = \frac{\text{Gegenkathete}}{\text{Ankathete}}$, $\tan \alpha = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha}$

$\sin(\alpha \pm \beta) = \sin \alpha \cdot \cos \beta \pm \cos \alpha \cdot \sin \beta$, $\cos(\alpha \pm \beta) = \cos \alpha \cdot \cos \beta \mp \sin \alpha \cdot \sin \beta$,

$\sin \alpha + \sin \beta = 2 \cdot \sin \frac{\alpha + \beta}{2} \cdot \cos \frac{\alpha - \beta}{2}$

Rechtwinkeliges Dreieck: $a^2 + b^2 = c^2$, $h^2 = p \cdot q$, $a^2 = p \cdot c$, $b^2 = q \cdot c$

Schiefwinkeliges Dreieck: $\frac{a}{\sin \alpha} = \frac{b}{\sin \beta} = \frac{c}{\sin \gamma} = 2 \cdot R$, $c^2 = a^2 + b^2 - 2 \cdot a \cdot b \cdot \cos \gamma$

$a^x \cdot a^y = a^{x+y}$, $(a^x)^n = a^{n \cdot x}$, $\sqrt[n]{a^x} = a^{\frac{x}{n}}$, $\log x + \log y = \log(x \cdot y)$, $n \log x = \log x^n$, $e^{\ln x} = x$, $\ln(e^x) = x$

Quadratische Gleichung: $x^2 + p \cdot x + q = 0$, $x_{1,2} = -\frac{p}{2} \pm \sqrt{\frac{p^2}{4} - q}$

Vektoren: $\vec{a} \cdot \vec{b} = |\vec{a}| \cdot |\vec{b}| \cdot \cos \alpha$, $|\vec{a} \times \vec{b}| = |\vec{a}| \cdot |\vec{b}| \cdot \sin \alpha$

PHYSIK

Grundgrößen und Einheiten: $[L\ddot{a}n\text{g}e] = m$, $[M\text{a}\text{s}\text{s}\text{e}] = kg$, $[Z\text{e}\text{i}\text{t}] = s$, $[S\text{t}\text{r}\text{o}\text{m}\text{s}\ddot{t}\text{a}\text{r}\text{k}\text{e}] = A$, $[T\text{e}\text{m}\text{p}\text{e}\text{r}\text{a}\text{t}\text{u}\text{r}] = K$, $[L\text{i}\text{c}\text{h}\text{t}\text{s}\ddot{t}\text{a}\text{r}\text{k}\text{e}] = Cd$

SI-Vorsilben: $T \dots 10^{12}$, $G \dots 10^9$, $M \dots 10^6$, $k \dots 10^3$, $h \dots 10^2$, $da \dots 10^1$, $d \dots 10^{-1}$, $c \dots 10^{-2}$, $m \dots 10^{-3}$, $\mu \dots 10^{-6}$, $n \dots 10^{-9}$, $p \dots 10^{-12}$, $f \dots 10^{-15}$, $a \dots 10^{-18}$

Verschiedene Dichten: Dichte $\rho = \frac{m}{V}$ (in $kg \cdot m^{-3}$, bei $20 \text{ }^\circ\text{C}$) Wasser 1000; Eis 900; Schaumstoff 30;

Kork 300; menschl. Körper (mittl. Lungenvolumen) 999; Meerwasser 1.030; Weichholz 500; Hartholz 850;

Kunststoff ~ 1.000 ; Eisen 7.900; Blei 11.350; Aluminium 2.700; Kupfer 8.930; Beton 2.200; Glas 2.500;

Quecksilber 13.600; **Gase (bei $0 \text{ }^\circ\text{C}$, 1 bar):** Luft 1,3; Helium 0,18; Wasserstoff 0,089

Translation: gleichförmig $\vec{v} = \frac{\Delta \vec{s}}{\Delta t}$, allgemein $\vec{v} = \vec{s}' = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{s}}{\Delta t}$; gleichm. beschl. $\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$,

allgemein $\vec{a} = \vec{v}' = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$, ($\vec{a} = const$): $v = a \cdot t + v_0$, $s = \frac{a}{2} \cdot t^2 + v_0 \cdot t + s_0$, **freier Fall** $a = g \approx 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$

Kraft $\vec{F} = m \cdot a$, $[F] = 1 \text{ N}$; **Arbeit** $W = \vec{F} \cdot \vec{s}$, $[W] = 1 \text{ J}$; **Leistung** $P = \frac{\Delta W}{\Delta t} = \frac{dW}{dt}$, $[P] = 1 \text{ W}$

Kinetische Energie $E_k = \frac{m \cdot v^2}{2}$; **Potentielle Energie** $E_p = m \cdot g \cdot h$; **Elastische Energie** $E_e = \frac{k \cdot (\Delta s)^2}{2}$;

Impuls $\vec{p} = m \cdot \vec{v}$; **Drehmoment** $\vec{M} = \vec{F} \times \vec{r}$, $[M] = N \cdot m$; **Winkelgeschwindigkeit** $\omega = \frac{\Delta \varphi}{\Delta t} = \frac{d\varphi}{dt}$, $|\omega| = s^{-1}$;

Winkelbeschleunigung $a = \frac{d\omega}{dt}$, $|a| = s^{-2}$; **Winkel** $\varphi = \frac{b}{r}$; **Rotationsenergie** $E_r = \frac{I \cdot \omega^2}{2}$;

Trägheitsmoment $I = \sum_i \Delta m_i \cdot r_i^2 = \int r^2 \cdot dm$, $[I] = kg \cdot m^2$; **Drehmoment bei Beschl.** $\vec{M} = I \cdot \vec{a}$;

Drehimpuls $\vec{J} = I \cdot \vec{\omega}$; **Zentripetalbeschl.** $a_z = r \cdot \omega^2$, **-kraft** $F = m \cdot r \cdot \omega^2$

Reibung $F_r = \mu_r \cdot F_d$, **Werte für μ_r** **Gummi/Beton** 0,65 (**feucht** = 0,3), **Eisen/Eisen** 0,18 (**Öl** 0,05)

Elastische Verformung $\sigma = \frac{F}{A}$, $\frac{\Delta l}{l} = \frac{1}{E} \cdot \sigma$, $a = \frac{1}{G} \cdot \sigma$; $p = \frac{F}{A}$, $\frac{\Delta V}{V} = \frac{1}{M} \cdot p$

Werte für E in $N \cdot m^{-2}$: **Stahl** $2 \cdot 10^{11}$; **Alu** $6 \cdot 10^{10}$; **Holz** $1 \cdot 10^{11}$; **Knochen** $1 \cdot 10^{10}$ ($\Delta l < 0$) **bzw.** $2 \cdot 10^{10}$ ($\Delta l > 0$); **Seide** $6 \cdot 10^9$; **Spinnwebe** $3 \cdot 10^9$; **Collagen** $2 \cdot 10^8$; **Gummi** $3 \cdot 10^6$; **Resilin** $1 \cdot 10^6$ $N \cdot m^{-2}$

σ_{\max} **in $N \cdot m^{-2}$:** **Knochen** $2 \cdot 10^8$; **Resilin** $3 \cdot 10^6$; **Haare** $2 \cdot 10^6$; **Stahl** $4 \cdot 10^8$; **Holz** $9 \cdot 10^7$ (**|| Faser**); $3 \cdot 10^6$ (**⊥ Faser**)

Druck $\rho = \frac{F}{A}$, $[\rho] = 1 Pa$, $100 kPa = 1 bar$, **Flüssigkeitsströmung** $v_1 \cdot A_1 = v_2 \cdot A_2$ (**Kontinuitätsbezeichnung**),

$p + \rho \cdot g \cdot h + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 = const.$ (**Bernoullische Gleichung**)

Zähigkeit $\frac{F}{A} = \sigma = \eta \cdot \frac{dv}{dz}$, $[\eta] = 1 kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-1} = 10 Poise$; η **für Wasser** $1 \cdot 10^{-3} Pa \cdot s$, **für Luft** $1,7 \cdot 10^{-5} Pa \cdot s$

Reynoldszahl $Re = \frac{\rho \cdot v \cdot d}{\eta}$, **Strömung durch Röhre** ($Re < 2000$) $\frac{\Delta Vol}{\Delta t} = \frac{\pi \cdot \Delta p}{8 \cdot \eta \cdot l} \cdot R^4$

Bewegung eines Körpers durch Fluid: $F_R = 6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot r \cdot v \cdot k$ (**Re klein**), $F_R = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^2 \cdot c_W$ (**Re groß**)

Werte für c_W : **Halbkugel** 1,4 (**vorne**) **bzw.** 0,35 (**hinten offen**); **Vollkugel** 0,4; **Scheibe** 1,1; **Zylinder** 0,8; **Stromlinienkörper** 0,05

Tragflügel $F_A = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^2 \cdot c_A$, $F_W = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^2 \cdot c_W$, **Oberflächenspannung** $\sigma = \frac{\Delta W}{\Delta A} = \frac{F}{2 \cdot l}$,

σ **Wasser** = $73 mN \cdot m^{-1}$, **Steighöhe** $h = \frac{2 \cdot \sigma \cdot \cos \varphi}{\rho \cdot g \cdot r}$, **Druck in Kugel** $p = \frac{8 \cdot \pi \cdot \sigma \cdot r \cdot dr}{4 \cdot \pi \cdot r^2 \cdot dr} = \frac{2 \cdot \sigma}{r}$

Harmonische Bewegung $F = -k \cdot x$, **Schwingung** $x = r \cdot \cos \omega_0 t$, $x = r \cdot \sin \omega_0 t$, $T = \frac{1}{f}$, $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$,

Pendel $T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{l/g}$; **Schwingung mit Reibung** $x(t) = r \cdot e^{-\beta \cdot t} \cos(\omega \cdot t)$ **oder** $x(t) = r \cdot e^{-\beta \cdot t} \sin(\omega \cdot t)$ **mit**

$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}$; **Welle** $y = r \cdot \cos[\omega(t - x/c)]$, $\lambda = c/f = c \cdot T$, $c \dots$ **Phasengeschwindigkeit**, **Seil** $c = \sqrt{\frac{F}{\rho \cdot A}}$

Energieinhalt einer Welle $\frac{E}{Vol} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_0^2 = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \omega^2 \cdot y_0^2 = \frac{P_0^2}{2 \cdot \rho \cdot c^2}$, $I = \frac{E}{Vol} \cdot c$,

Schallgeschwindigkeit $c = \sqrt{\frac{M}{\rho}}$, **wobei $M \dots$ Kompressionsmodul**, $[M] = N \cdot m^{-2}$;

c **in Luft** $330 m \cdot s^{-1}$; **Wasser** $1500 m \cdot s^{-1}$; **He** $971 m \cdot s^{-1}$; **H₂** $1286 m \cdot s^{-1}$; **CO₂** $266 m \cdot s^{-1}$

Interferenz konstruktiv, wenn $\Delta s = \lambda, 2 \cdot \lambda, \dots, n \cdot \lambda$; **destruktiv**, wenn $\Delta s = \frac{\lambda}{2}, 3 \cdot \frac{\lambda}{2}, 5 \cdot \frac{\lambda}{2}, \dots, (2n+1) \cdot \frac{\lambda}{2}$

Dopplereffekt: Quelle ruht $f' = f_0(1 \pm v/c)$, **Beobachter ruht** $f_1 = \frac{f_0}{(1 \pm v/c)}$

Reflexionsgesetz $\alpha = \beta$, **Brechungsgesetz** $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{c_1}{c_2}$, $n = \frac{c_{\text{Vakuum}}}{c_{\text{Medium}}}$, $\frac{c_1}{c_2} = n_{12}$, $c_{\text{Vakuum}} = 3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

n: Luft: 1,00027; Wasser: 1,33; Quarzglas: 1,46; Kronglas: 1,51; Flintglas: 1,61; Schwerstflint: 1,90; Magnesiumfluorid: 1,36; Zinksulfat: 2,40; Cytoplasma: 1,34; Guaninkristalle: 1,83;

Totalreflexion $\sin \alpha_g = \frac{1}{n}$, **Reflexion an Grenzschicht** $R = \left(\frac{n_{12} - 1}{n_{12} + 1} \right)^2$,

Beugung: Spalt: Minimum bei $d \cdot \sin \alpha = n \cdot \lambda$, **Kreisblende:** $d \cdot \sin \varphi_1 = 1,22 \cdot n \cdot \lambda$,

Gitter: Maximum bei $d \cdot \sin \alpha = n \cdot \lambda$, **Spiegel: sphärischer Spiegel** $\frac{1}{b} + \frac{1}{g} = \frac{1}{f}$, $\frac{2}{r} = \frac{1}{f}$;

Linse $\frac{1}{b} + \frac{1}{g} = \frac{1}{f}$ mit $\frac{1}{f} = (n-1) \cdot \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right)$; **Linsenkombination** $\frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} = \frac{1}{f}$, $\frac{1}{f} = \text{Breckkraft}$

Optisches Instrument $V = \frac{\alpha'}{\alpha}$; **Lupe** $V = \frac{s_0}{f}$; **Mikroskop** $V = \frac{t \cdot s_0}{f_1 \cdot f_2}$; **Auflösungsvermögen** $d = \frac{0,61 \cdot \lambda}{N.A.}$,

wobei **Numerische Apertur** $N.A. = n \cdot \sin \alpha$; **Polarisation durch Reflexion** $\tan \alpha = n$

Elektrostatische Anziehung $F = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0} \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$, $\epsilon_0 = 8,8 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2 \cdot \text{N}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ (oder $A \cdot s \cdot V^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$,

Elementarladung $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$), **Elektrostatik** $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{Q}$, **Durchschlagsfeldstärke in Luft** $2,5 \text{ MV} \cdot \text{m}^{-1}$;

${}_1U_2 = \frac{1}{Q} \int \vec{F}_i \cdot \Delta \vec{s}_i = \int \vec{F} \cdot d\vec{s}$, ${}_1U_2 = \int \vec{E} \cdot d\vec{s} = \sum \vec{E}_i \cdot \Delta \vec{s}_i$, **Punktladung** ${}_1U_2 = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0} \cdot \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$,

Kondensator $Q = C \cdot U$, **Plattenkondensator** $C_0 = \epsilon_0 \cdot \frac{A}{d}$, mit **Dielektrikum** $C = \epsilon \cdot C_0$

Werte von ϵ : Wasser 81; Wellmembran 10; Glimmer 6, Luft ≈ 1

Kondensator in Serie $\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}$, **parallel** $C = C_1 + C_2 + \dots + C_n$

Energie auf Kondensator $W = \frac{Q^2}{2 \cdot C} = \frac{C \cdot U^2}{2}$, **Stromstärke** $I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{dQ}{dt}$, $[I] = 1 \text{ A}$, $1 \text{ A} \cdot \text{s} = 1 \text{ C}$

Widerstand $R = \frac{\rho \cdot l}{A}$, **Werte für ρ : Ag: $1,59 \cdot 10^{-8}$; Cu: $1,72 \cdot 10^{-8}$; C: $1 \cdot 10^{-6}$; H₂SO₄ (15 %): $1,8 \cdot 10^{-6}$;**

H₂O: $2 \cdot 10^5$; Glas $1 \cdot 10^{12} \Omega \cdot \text{m}$; $[R] = \Omega$, $U = R \cdot I$; **Leitwert $G = \frac{1}{R}$, $[G] = 1 \text{ S}$;**

Parallelschaltung $G = G_1 + G_2 + \dots + G_n$, **Serienschaltung** $R = R_1 + R_2 + \dots + R_n$;

Kirchhoff'sche Regeln: $\sum I_i = 0$, $\sum U_i = \sum R_i \cdot I_i$; **Leistung des elektr. Stromes** $P = U \cdot I$, $[P] = 1 \text{ W} = 1 \text{ V} \cdot 1 \text{ A}$

Ladungsmenge um 1 kmol einwertige Ionen abzuschneiden: $F = 0,965 \cdot 10^8 \text{ C/kmol}$, $1 \text{ kmol} \dots 6,02 \cdot 10^{26} \text{ T}$

Elektromagnetismus $B(r) = \frac{\mu_0 \cdot I}{2 \cdot \pi \cdot r}$ (für geraden Leiter), $\mu_0 = 1,26 \cdot 10^{-6} \text{ V} \cdot \text{s} \cdot \text{A}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$,

$[B] = 1 \text{ T} = 1 \text{ N} \cdot \text{A}^{-1} \cdot \text{m}^{-1} = 1 \text{ V} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-2}$, **Erdmagnetisches Feld (Horizontalkomponente): $1,9 \cdot 10^{-5} \text{ T}$,**

Magnetische Spannung $U_m = \sum \vec{B}_i \cdot \Delta \vec{s}_i = \int \vec{B} \cdot d\vec{s}$, **Umfangsspannung** $U_m = \mu_0 \cdot I$,

Feld in Spule $B = \mu_0 \cdot \frac{n \cdot I}{l}$, **Ferromagnetismus** $B = \mu_r \cdot B_0$, **Induktionsspannung** $U = -\frac{d\phi}{dt}$, $\phi = B \cdot A$,

Transformator $\frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{n_1}{n_2}$, **Wechselspannung / strom** $U_{(t)} = U_0 \cdot \sin(\omega \cdot t)$, $U_{eff} = \frac{U_0}{\sqrt{2}}$

Wechselstrom $I_{(t)} = I_0 \cdot \sin(\omega \cdot t)$, $I_{eff} = \frac{I_0}{\sqrt{2}}$, $\bar{P} = \frac{I_0 \cdot U_0}{2} = I_{eff} \cdot U_{eff}$

Lichtphasengeschwindigkeit $c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \cdot \mu_0}} = 3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, **Energie des Photons** $E = h \cdot f$, $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$,

Intensitätsverringern bei Absorption $I = I_0 \cdot e^{-\alpha \cdot c \cdot x}$, **Strahlung** $d\omega = \frac{dA}{r^2}$,

Fluss $F [F] = W$, $S = \frac{F}{A}$, $I = \frac{dF}{d\omega}$, $N = \frac{dF}{d\omega \cdot ds}$

Schwarzer Körper $S = \sigma \cdot T^4$, $\sigma = 5,69 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$, $\frac{T}{K} = \frac{v}{^\circ\text{C}} + 273$, $\lambda_{\max} \cdot T = 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$;

Luftmasse $m = \frac{1}{\cos x}$, $S = S_0 \cdot e^{-K \cdot m}$, **Irradians der Atmosphäre** $S = 1,2 \cdot \sigma \cdot T_\alpha^4 - 171$, $[S] = \text{W} \cdot \text{m}^{-2}$,

Strahlung durch Laub $S = S_0 \cdot e^{-L}$, **Blattflächenindex** $L = \frac{\text{Blattoberfläche des Baumes}}{\text{projizierte Grundfläche des Baumes}}$,

Solarkonstante: extraterrestrisch $1360 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$, **klares Wetter in Österreich** $1000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$

Kernphysik $m_p \approx m_n \approx u$, $1 u = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$, $m_e = 0,00055 u$, $\Delta E = \Delta m \cdot c^2$, $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$,

Radioaktiver Zerfall $N = N_0 \cdot e^{-\lambda t}$, $A = \lambda \cdot N$, $t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$, $t_{1/2}$: ^{226}Ra 1620 a, ^{14}C 5700 a, ^{40}K 1,3 Ga.

Absorption von γ -Strahlung $I = I_0 \cdot e^{-k \cdot b}$, $k = \mu / \rho$, $b = x \cdot \rho$;

Röntgenstrahlen: Grenzwellenlänge $\lambda_g = \frac{c \cdot h}{e \cdot U}$, $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$, $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$;

Reflexion an Gitterebene $2 \cdot d \cdot \sin \alpha = n \cdot \lambda$, **Elektr.-Strahlen** $\lambda = \frac{h}{\sqrt{2 \cdot m_e \cdot E_k}}$, $E_k = e \cdot U$, $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$

Spezifische Wärme $c_p = \frac{\Delta Q}{m \cdot \Delta T}$, **Werte in $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$** ; c_p : **Wasser** 4187; **Eisen** 450; **Aluminium** 876;

Gestein 800; **Boden (trocken)** 800; **Boden (feucht)** 1200; **org. Material** 1900; **Kupfer** 385

Wärmeleitung $\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \lambda \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{l}$, **Werte in $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$**

λ : **Luft** 0,024; **Wolle** 0,025; **Fett** 0,16; **Haut** 0,2; **Glas** 0,7; **Holz** 0,08; **Kupfer** 381

Wärmeausdehnung $V = V_0(1 + \alpha \cdot \vartheta)$, $l = l_0(1 + \alpha \cdot \vartheta)$, **Ausdehnungskoeffizient in K^{-1}** :

a) **Volumen: ideales Gas** $3663 \cdot 10^{-6}$, **Wasser** (0 °C) $70 \cdot 10^{-6}$, (10 °C) $88 \cdot 10^{-6}$, (20 °C) $207 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$

b) **Länge: Aluminium** $14 \cdot 10^{-6}$, **Eisen** $11,6 \cdot 10^{-6}$, **Kupfer** $16,8 \cdot 10^{-6}$, **Quarz** $0,5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$

Gasgesetze $p \cdot V = \text{const}$, $\frac{p}{T} = \text{const}$, $\frac{p \cdot V}{T} = \text{const}$, $\frac{p}{p \cdot T} = \text{const}$, $p \cdot V = n \cdot R \cdot T$, $R = 8314 \text{ J} \cdot \text{kmol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

Kinetische Gastheorie $p = n_0 \cdot m \cdot \bar{v}_x^2 = n_0 \cdot m \cdot \bar{v}^2 \cdot \frac{1}{3} = \frac{2}{3} \cdot n_0 \cdot E_T = \frac{1}{3} \cdot \rho \cdot \bar{v}^2$, $\bar{E}_t = \frac{3}{2} k \cdot T$, $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$

Schmelzen, Verdampfen $\Delta Q = Q_s \cdot m$, $\Delta Q = Q_v \cdot m$, **Werte für Wasser:** $Q_s = 335 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$, $Q_v = 2260 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$

Gasgemische $p = p_1 + p_2 + \dots + p_n$, **Tabelle für Wasserdampf:**

T	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	°C
p_s	2,2	3,3	4,85	6,8	9,41	12,84	17,53	23,76	31,82	$\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$
p_s	286	422	611	873	1228	1706	2339	3169	4246	Pa