

## Formelsammlung: MA+PHY1

### mathematische Grundlagen

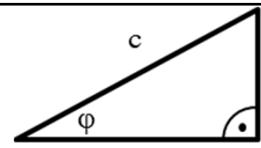
**Kreis:** Fläche ( $A$ ) ; Umfang ( $C$ )

$$A = \pi \cdot r^2 \quad C = 2\pi \cdot r$$

**Kugel:** Volumen ( $V$ ) ; Oberfläche ( $A$ )

$$V = \frac{4\pi}{3} \cdot r^3 \quad A = 4\pi \cdot r^2$$

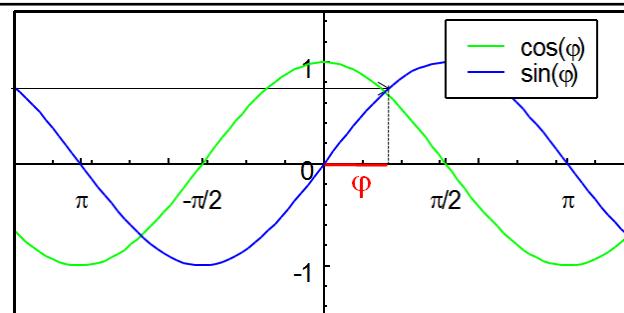
**Sinus- und Cosinus Funktion;**  $\varphi$  Winkel im Bogenmaß



$$\sin \varphi = \frac{a}{c}$$

$$\cos \varphi = \frac{b}{c}$$

$$\tan \varphi = \frac{a}{b} = \frac{\sin \varphi}{\cos \varphi}$$



Bogenmaß [rad]  $\leftrightarrow$  Gradmaß [°]

$$\varphi[\text{rad}] = \frac{\pi}{180^\circ} \cdot \varphi[\text{°}] \quad \text{and} \quad \varphi[\text{°}] = \frac{180^\circ}{\pi} \cdot \varphi[\text{rad}]$$

### Konstante Beschleunigung (LIN)

$$a(t) = a = \text{constant}$$

$$v(t) = v_0 + a \cdot t$$

$$s(t) = s_0 + v_0 \cdot t + \frac{1}{2} a \cdot t^2$$

$$v^2 = v_0^2 + 2a \cdot (s - s_0)$$

### Konstante Winkelbeschleunigung (ROT)

$$\alpha(t) = \alpha = \text{constant}$$

$$\omega(t) = \omega_0 + \alpha \cdot t$$

$$\theta(t) = \theta_0 + \omega_0 \cdot t + \frac{1}{2} \alpha \cdot t^2$$

$$\omega^2 = \omega_0^2 + 2\alpha \cdot (\theta - \theta_0)$$

### (ROT) Zusammenhang Winkel-Bahnbewegung

$$s = r \cdot \theta \quad (\text{Bogenlänge})$$

$$v_{\tan} = r \cdot \omega = r \cdot \dot{\theta}$$

$$a_{\tan} = r \cdot \alpha = r \cdot \dot{\omega}$$

$$a_{\text{radial}} = r \cdot \omega^2 = \frac{v^2}{r}$$

konstante Winkelgeschwindigkeit

$$\omega = 2\pi \cdot f = 2\pi / T$$

$$v = r \cdot \omega = 2\pi r \cdot f$$

$$a_{\tan} = 0$$

### Raketengleichung

Bewegungsgleichung

$$m \cdot \dot{v} = v_{\text{rel}} \cdot \dot{m} + \sum F_{\text{ext}}$$

Schubkraft

$$F_{\text{Thrust}} = v_{\text{rel}} \cdot \dot{m}$$

Für konstante Ausstossrate  $R$  [kg/s] der Gase

$$v(t) = v_{\text{rel}} \cdot \ln\left(\frac{m_0}{m(t)}\right) - g \cdot t = v_{\text{rel}} \cdot \ln\left(\frac{m_0}{m_0 - R \cdot t}\right) - g \cdot t$$

Rotation (ROT)	Lineare Bewegung (LIN)		
Winkel	$\theta$	Strecke	$s$
Winkelgeschwindigkeit	$\omega = \dot{\theta}$	Geschwindigkeit	$v = \dot{s}$
Winkelbeschleunigung	$\alpha = \dot{\omega} = \ddot{\theta}$	Beschleunigung	$a = \dot{v} = \ddot{s}$
Trägheitsmoment	$I = \sum r_i^2 m_i$	Masse	$m$
Drehmoment (Torque)	$M_{\text{Res}} = \sum M_i = I \cdot \alpha$	Kraft	$F_{\text{Res}} = \sum F_i = m \cdot a$
Drehimpuls	$L = r \cdot m v = I \cdot \omega$	Impuls	$p = m \cdot v$
Rotationsenergie	$E_{\text{rot}} = \frac{1}{2} I \cdot \omega^2$	Kinetische Energie	$E_{\text{rot}} = \frac{1}{2} m \cdot v^2$
Leistung (Power)	$P = M \cdot \omega$		$P = F \cdot v$
Bewegungsgleichung	$M_{\text{Res}} = \dot{L} = I \cdot \alpha$ (Drall-Satz)		$F_{\text{net}} = \dot{p} = m \cdot a$
Drehimpulserhaltung	$M_{\text{extern}} = 0 \Leftrightarrow L = \text{konstant}$	Impulserhaltung	$F_{\text{extern}} = 0 \Leftrightarrow p = \text{konstant}$

### Schiefer Wurf

x-Bewegung

$$a_x = 0$$

$$v_x = v_0 \cdot \cos \alpha_0$$

$$x = (v_0 \cdot \cos \alpha_0) \cdot t$$

y-Bewegung

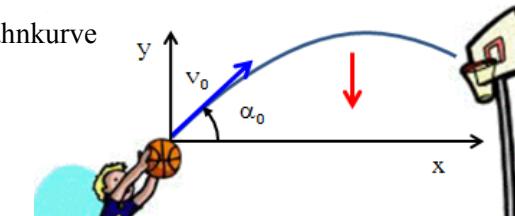
$$a_y = -g$$

$$v_y = v_0 \cdot \sin \alpha_0 - g \cdot t$$

$$y = (v_0 \cdot \sin \alpha_0) \cdot t - \frac{1}{2} g \cdot t^2$$

$$v_y^2 = (v_0 \cdot \sin \alpha_0)^2 - 2g \cdot y$$

Bahnkurve

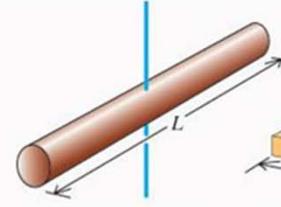
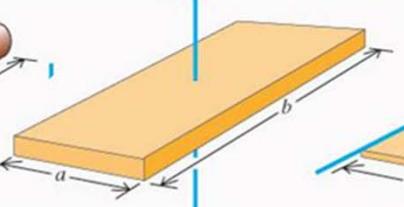
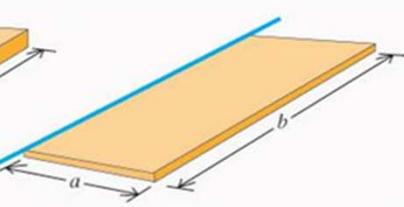
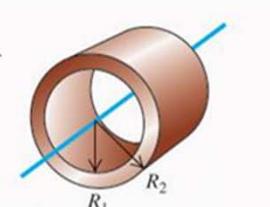
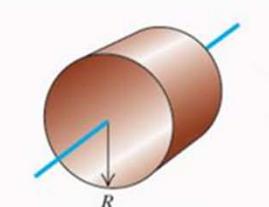
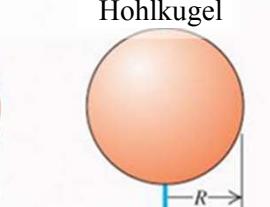


$$y = \tan \alpha_0 \cdot x - \frac{g}{2(v_0 \cos \alpha_0)^2} \cdot x^2$$

### Dynamik der Rotation

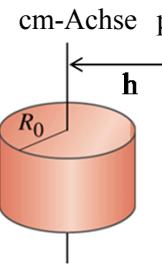
$$F_{\text{radial}} = m \cdot a_{\text{radial}} = m \cdot \frac{v^2}{r} = m \cdot \omega^2 r$$

## Trägheitsmomente regelmässiger Körper

						
$I = \frac{1}{12} m \cdot L^2$	$I = \frac{1}{12} m (a^2 + b^2)$	$I = \frac{1}{3} m \cdot a^2$	$I = \frac{1}{2} m (R_1^2 + R_2^2)$	$I = \frac{1}{2} m \cdot R^2$	$I = \frac{2}{5} m \cdot R^2$	$I = \frac{2}{3} m \cdot R^2$

### Satz von Steiner f. parallele Achsen

cm-Achse p-Achse



$$I_p = I_{cm} + m \cdot h^2$$

### Zentraler Stoss

Vollkommen inelastisch

$$m_A \cdot v_{A1} + m_B \cdot v_{B1} = (m_A + m_B) \cdot v_2$$

Vollkommen elastisch (inkl. Erhaltung der kinetischen Energie)

$$v_{A2} = \frac{m_A \cdot v_{A1} + m_B (2 \cdot v_{B1} - v_{A1})}{m_A + m_B}$$

$$v_{B2} = \frac{m_B \cdot v_{B1} + m_A (2 \cdot v_{A1} - v_{B1})}{m_A + m_B}$$

### Reibungskraft

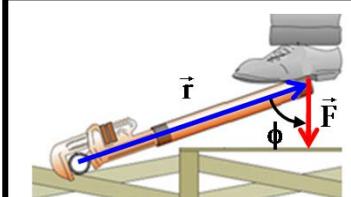
Hafreibung (HR)

$$F_{HR} \leq \mu_{HR} \cdot F_N$$

Gleitreibung (GR)

$$F_{GR} = \mu_{GR} \cdot F_N$$

### Drehmoment $\vec{M}$



$$\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F}$$

$$|\vec{\tau}| = r \cdot F \cdot \sin \phi$$

### Lösung einer quadratischen Gleichung

$$a \cdot x^2 + b \cdot x + c = 0$$

$$\Leftrightarrow$$

$$x_{1/2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4a \cdot c}}{2a}$$

$$D = b^2 - 4a \cdot c \quad \begin{cases} D > 0 \Rightarrow x_{1/2} \text{ real} \\ D = 0 \Rightarrow x_1 = x_2 \\ D < 0 \Rightarrow x_{1/2} \text{ komplex} \end{cases}$$

### Arbeit

Definition der Arbeit als Skalarprodukt

$$W = F_x \cdot \Delta x = F \Delta x \cos \theta = \vec{F} \Delta \vec{x} = \int_{x_1}^{x_2} \vec{F} d\vec{x}$$

### Kraftstoss J

$$\vec{J} = \int \vec{F}_{net} dt = \Delta \vec{p} = \vec{p}_2 - \vec{p}_1$$

$$\bar{F}_{average} = \frac{\vec{J}}{\Delta t}$$

### Arbeit = Energieübertrag

$$W_{Hub} = mg \Delta s \sin \theta \rightarrow U = E_{pot} = mg \Delta h$$

$$W_{Beschl} = F_x \Delta x = ma \Delta x \rightarrow E_{kin} = \frac{1}{2} m (v_B^2 - v_A^2)$$

$$W_{Hooke} = \int kx \cdot dx \rightarrow U = E_{elast} = \frac{1}{2} k (x_B^2 - x_A^2)$$

$$W_{Gleitreibung} = F_{kf} \Delta x = \mu_{kf} F_N \Delta x = Q = Wärme$$

## Formelsammlung: MA+PHY2

Harmonische Schwingung
Bewegungsgleichung (Differentialgleichung)
$\ddot{x} + \omega^2 x = 0$
Kreisfrequenz des Feder-/Faden-/Torsions-/physik. Pendel
$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} ; \sqrt{\frac{g}{L}} ; \sqrt{\frac{\kappa}{I}} ; \sqrt{\frac{mgd}{I}}$
Lösung
$x(t) = A \cdot \cos(\omega \cdot t \pm \phi)$
$v(t) = -\omega \cdot A \cdot \sin(\omega \cdot t \pm \phi)$
$v(t) = \pm \omega \cdot \sqrt{A^2 - (x(t))^2}$
$a(t) = \frac{dv(t)}{dt} = -\omega^2 \cdot x(t)$
$= -\omega^2 \cdot A \cdot \cos(\omega \cdot t \pm \phi)$
ϕ und A aus Anfangsbedingungen
$\phi = \tan^{-1}\left(-\frac{v_0}{\omega x_0}\right) \quad A = \sqrt{x_0^2 + \frac{v_0^2}{\omega^2}}$
Energie der harmonischen Schwingung
$E = E_{kin} + E_{pot} = \text{konstant}$
Federpendel:
$E = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}kx^2 = \frac{1}{2}kA^2 = \frac{1}{2}mv_{max}^2$
Physikalisches Pendel:
$E = \frac{1}{2}I_z\dot{\theta}^2 + \frac{1}{2}(mgd)\theta^2 = \dots$

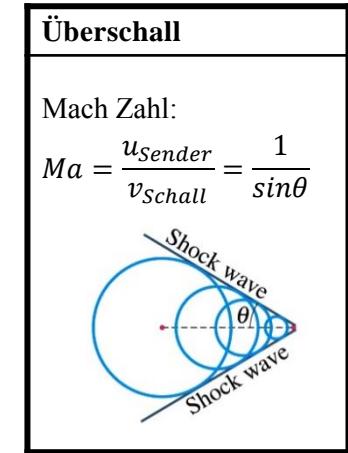
Gedämpfte harmonische Schwingung
Bewegungsgleichung (DiffGleichung)
$\ddot{x} + 2\beta\dot{x} + \omega^2 x = 0$
Abklingkonstante $\beta$ des Feder-, Torsion- und physikalischen Pendels
$\beta = \frac{b}{2 \cdot m} ; \frac{b^*}{2 \cdot I} ; \frac{b^*}{2 \cdot I}$
Lösung für $\beta < \omega$ , schwache Dämpf., (für Feder: $b < b_{krit} = \sqrt{4k \cdot m}$ )
$x(t) = A \cdot e^{-\beta t} \cdot \cos(\omega_d \cdot t \pm \phi)$
$\omega_d = \frac{2\pi}{T_d} = \sqrt{\omega^2 - \beta^2}$
Exponentieller Abfall von Amplitude und Energie
Zerfallszeit $\tau = \frac{1}{\beta}$
$A(t) = A \cdot e^{-\beta t} = A \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$
$\langle E(t) \rangle = E_0 \cdot e^{-2\beta t} = E_0 \cdot e^{-\frac{2t}{\tau}}$
Q-Faktor (Näherung für $Q > 5$ , schwache Dämpfung):
$\Delta E_T : \text{Energieverlust pro Zyklus oder Periode } T_d$
$Q = \frac{2\pi E}{\Delta E_T} = \frac{\omega_d}{2\beta} = \frac{\omega_d \cdot \tau}{2} = \pi \frac{\tau}{T_d}$
$\omega_d \approx \omega \left(1 - \frac{1}{8Q^2}\right)$

Erzwungene Schwingung
Bewegungsgleichung (DiffGleichung)
$\ddot{x} + 2\beta\dot{x} + \omega^2 x = \frac{F_0}{m} \cos(\Omega \cdot t)$
$= \omega^2 H \cos(\Omega \cdot t) ; F_0 = k \cdot H$
Stationäre Lösung
$x(t) = A(\Omega) \cdot \cos(\Omega \cdot t - \phi(\Omega))$
$A(\Omega) = \frac{F_0}{m \cdot \sqrt{(\omega^2 - \Omega^2)^2 + (2\beta \cdot \Omega)^2}}$
$\phi(\Omega) = \arctan\left(\frac{2\beta \cdot \Omega}{\omega^2 - \Omega^2}\right)$
Resonanz, bei schwacher Dämpfung $Q > 5$
$\Omega_R = \sqrt{\omega^2 - 2\beta^2} \approx \omega \left(1 - \frac{1}{4Q^2}\right)$
$Q \approx \frac{\Omega_R}{\Delta\Omega} \quad \Delta\Omega: \text{Breite der Resonanzkurve auf der Höhe } \frac{A_R}{\sqrt{2}}$
$A_R = A(\Omega_R) = \frac{F_0}{b\sqrt{\omega^2 - \beta^2}} \approx Q \cdot H = Q \cdot A_0$
$A_R: \text{Resonanzamplitude} = \text{Maximum der Resonanzkurve}$
$\phi_R \approx \frac{\pi}{2}$

Wellen
Wellengleichung
$\frac{\partial^2 f(x,t)}{\partial x^2} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 f(x,t)}{\partial t^2}$ $v$ = Wellengeschwindigkeit
Wellengeschwindigkeit für Seilwelle
$v = \sqrt{\frac{F_T}{\mu}} = \sqrt{\frac{F_T}{\rho \cdot S}}$ $F_T$ = Spannkraft (Tension) $\mu$ = Längendichte $\rho$ = Volumendichte $S$ = Querschnittsfläche
Harmonische Lösung, harmonische Welle
$f(x,t) = A \cos(kx - \omega t + \phi)$ $\omega = \frac{2\pi}{T}$ ; $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ ; $v = \frac{\lambda}{T} = \frac{\omega}{k}$ $\omega$ = Kreisfrequenz, $k$ = Wellenzahl, $\lambda$ = Wellenlänge, $\phi$ = Phasenwinkel
Leistung der harmonischen Seilwelle
$P_{Seil} = \frac{dE}{dt} = \frac{1}{2} \mu v \omega^2 A^2 = \frac{1}{2} \rho S v \omega^2 A^2$
Intensität der harmonischen Seilwelle
$I_{Seil} = \frac{P}{S} = \frac{1}{2} \rho v \omega^2 A^2$
Doppler Effekt
$f_e = \frac{v \pm u_e}{v \mp u_s} \cdot f_s$ + Zeichen, falls Empfänger $e$ auf die Quelle zu steuert + Zeichen, falls Sender $s$ vom Empfänger weg steuert

Schallwellen
Wellengeschwindigkeit für Schallwelle
$v = \sqrt{\frac{1}{\kappa \cdot \rho}}$ $\kappa = \frac{-1}{V} \frac{dV}{dp}$ = Kompressibilität des Fluids (Gas, flüssig)
$v_{longitud} = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$ $E$ = Elastizitätsmodul eines Festkörpers
Leistung der harmonischen Schallwelle
$P_{Schall} = \frac{1}{2} \rho S v \omega^2 A^2 = \frac{1}{2} \frac{S}{\rho v} \hat{p}^2$
Schalldruckamplitude: $\hat{p} = \rho \omega v A$
Intensität der harmonischen Schallwelle
$I_{Schall} = \frac{1}{2} \frac{\hat{p}^2}{\rho v}$
Stehende Welle
Eigenschwingungen der Saite (beidseitig eingespannt)
$\lambda_n = \frac{2L}{n} = \frac{\lambda_1}{n}$ $f_n = \frac{v}{\lambda_n} = n \frac{v}{2L} = n f_1$
(a) Fundamental, first harmonic
(b) Second harmonic
(c) Third harmonic
(d) Fourth harmonic
(e) Fifth harmonic
harmonische Lösung
$f_n(x,t) = A_n \sin(k_n x) \sin(\omega_n t)$

Schallpegel
$L = 10 \log \left( \frac{I}{I_0} \right)$
$[L] = dB$
$I_0 = 10^{-12} \frac{W}{m^2}$ = Hörschwelle bei 1 kHz
Schwebung
Beispiel: Überlagerung zweier harmonischer Schallwellen mit leicht unterschiedlichen $f_1$ und $f_2$
$f(x=0,t) = \underbrace{A \cdot \cos(\omega_1 \cdot t)}_{\text{Schallwelle 1}} + \underbrace{A \cdot \cos(\omega_2 \cdot t)}_{\text{Schallwelle 2}}$ $= 2A \cdot \cos\left(\frac{1}{2}\Delta\omega \cdot t\right) \cdot \cos(\omega_{av} \cdot t)$
$\omega_{av} = \frac{\omega_1 + \omega_2}{2}$ ; $\frac{1}{2}\Delta\omega = \frac{1}{2} \omega_1 - \omega_2 $
Schwebungsfrequenz (Beat)
$f_B = \frac{\Delta\omega}{2\pi} = \frac{ \omega_1 - \omega_2 }{2\pi}$
Wellenintensität im Abstand $r$
Zylinderwelle
$I(r) = \frac{P_{av}}{S_{Zylinder}} = \frac{P_{av}}{L \cdot 2\pi r} \propto \frac{1}{r}$
$P_{av}$ = mittlere Leistung $L$ = Höhe des Zylinders
Intensität einer Punktquelle, Kugelwelle
$I(r) = \frac{P_{av}}{S_{Kugelschale}} = \frac{P_{av}}{4\pi r^2} \propto \frac{1}{r^2}$



## Wärmelehre

absolute Temperaturskala im Kelvin

$$T_K = T_{\circ C} + 273.15$$

Zustandsgleichung des idealen Gases

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T = \frac{N}{N_A} \cdot R \cdot T = \frac{m}{m_{mol}} \cdot R \cdot T$$

$$p = \frac{m}{V} \frac{R}{m_{mol}} T = \rho \frac{R}{m_{mol}} T$$

$$R = 8.314472(15) \text{ J/(mol}\cdot\text{K)}$$

$$N_A = 6.022 \times 10^{23} \text{ Teilchen (Moleküle) / mol}$$

Barometrische Höhenformel:  $T = \text{konstant}$

$$p(y) = p_0 \cdot e^{-\frac{m_{mol} \cdot g}{R \cdot T} \cdot y} = p_0 \cdot e^{-\frac{y}{H}}$$

Kinetische Gastheorie: ideales 1-atom. Gas

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

$$\langle E_{kin, kül} \rangle = \frac{1}{2} m_{kül} \cdot \langle v^2 \rangle = \frac{3}{2} k_B \cdot T$$

$$k_B = \frac{R}{N_A} = 1.381 \times 10^{-23} \frac{\text{J}}{\text{K}}$$

Freiheitsgrade (FG) und Äquipartition

$$\frac{\langle E_{kül} \rangle}{FG} = \frac{1}{2} k_B T \quad ; \quad \frac{\langle E_{mol} \rangle}{FG} = \frac{1}{2} RT$$

## 1. Hauptsatz der Thermodynamik

$$W = - \int_{V_1}^{V_2} p \cdot dV \quad \Delta U_{(U_2-U_1)} = Q_{in} + W_{in}$$

## Wärmekapazität

Definition

$$c_{(m)} = \frac{1}{m} \frac{dQ}{dT} \quad \text{spezifisch pro Kilogramm}$$

$$c_{(n)} = \frac{1}{n} \frac{dQ}{dT} \quad \text{spezifisch pro Mol}$$

molare Wärmekapazität von idealen Gasen bei konstantem Volume

$$C_V = \frac{3}{2} R \quad 1\text{-atomiges Gas}$$

$$C_V = \frac{5}{2} R \quad 2\text{-atomiges Gas}$$

molare Wärmekapazität von idealen Gasen bei konstantem Druck

$$C_p = C_V + R = \begin{cases} \frac{5}{2} R & 1\text{-atomiges Gas} \\ \frac{7}{2} R & 2\text{-atomiges Gas} \end{cases}$$

## Mittlere freie Weglänge $\Lambda$

mittlere Kollisionszeit  $t_{mean}$

$$t_{mean} = \frac{dt}{dN_{collision}} = \frac{V}{4\pi\sqrt{2} \cdot r^2 v N}$$

$$\Lambda = v \cdot t_{mean} = \frac{V}{4\pi\sqrt{2} \cdot r^2 N}$$

## Adiabatischer Prozess des idealen Gas

$$T_1 \cdot V_1^{(\gamma-1)} = T_2 \cdot V_2^{(\gamma-1)} \quad \gamma \equiv \frac{C_p}{C_v}$$

$$p_1 \cdot V_1^\gamma = p_2 \cdot V_2^\gamma \quad = 1.67$$

$$T_1 \cdot p_1^{\left(\frac{1-\gamma}{\gamma}\right)} = T_2 \cdot p_2^{\left(\frac{1-\gamma}{\gamma}\right)} \quad \text{respektive} \\ = 1.4$$

## Maxwell-Boltzmann Verteilung

Verteilfunktion der molekularen Geschwindigkeiten

$$f(v) dv = 4\pi \left( \frac{m_{mol}}{2\pi \cdot R \cdot T} \right)^{3/2} \cdot v^2 \cdot e^{-\left(\frac{m_{mol} \cdot v^2}{2R \cdot T}\right)} dv$$

$$f(v) dv = 4\pi \left( \frac{m_{kül}}{2\pi \cdot k_B \cdot T} \right)^{3/2} \cdot v^2 \cdot e^{-\left(\frac{m_{kül} \cdot v^2}{2k_B \cdot T}\right)} dv$$

Charakteristische Geschwindigkeiten

wahrscheinlichste Geschwindigkeit  $v_{max}$

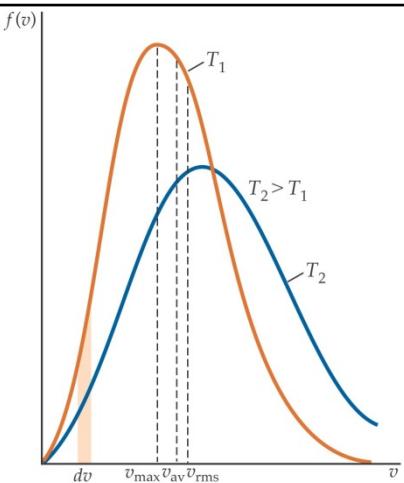
$$v_{max} = \sqrt{\frac{2k_B T}{m_{kül}}} = \sqrt{\frac{2RT}{m_{mol}}}$$

mittlere Geschwindigkeit  $v_{av}$

$$v_{av} = \sqrt{\frac{8k_B T}{\pi m_{kül}}} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi m_{mol}}}$$

Root Mean Square Geschwindigkeit  $v_{rms}$

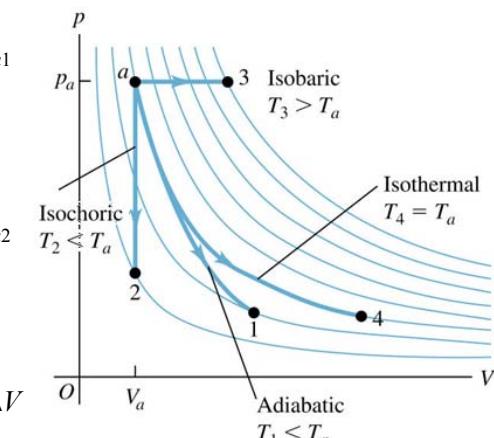
$$v_{rms} = \sqrt{\langle v^2 \rangle} = \sqrt{\frac{3k_B T}{m_{kül}}} = \sqrt{\frac{3RT}{m_{mol}}}$$



## Zustandsänderungen des idealen Gas im $p$ - $V$ Diagramm

a-1) adiabatisch:  $dQ = 0$

$$Q_{a1} = 0 \quad \Delta U_{a1} = nC_V(T_1 - T_a) = W_{a1} \\ = \frac{p_1 V_1 - p_a V_a}{\gamma - 1}$$



a-2) isochor:  $V = \text{const.}$

$$W_{a2} = 0 \quad Q_{a2} = nC_V(T_2 - T_a) = \Delta U_{a2} \quad \text{and } nR\Delta T = V\Delta p$$

a-3) isobar:  $p = \text{const.}$

$$W_{a3} = -p(V_3 - V_a) = -nR(T_3 - T_a) \\ Q_{a3} = nC_p(T_3 - T_a) \quad \text{and } nR\Delta T = p\Delta V$$

a-4) isotherm:  $T = \text{const.}$

$$W_{a4} = \int_{V_a}^{V_4} -pdV = -nRT \ln\left(\frac{V_4}{V_a}\right) = -Q_{a4}$$

# Das Periodensystem der Elemente

	Ordnungszahl	Symbol	Vorkommen
	Molmasse ( $\frac{\text{g}}{\text{mol}}$ )	x fest	○ natürlich
1	1 H 1.0079	○	○ natürlich
2	2 He 4.0026	○	○ natürlich
3	3 Li 6.941	○	○ natürlich
4	4 Be 9.0122	○	○ natürlich
5	5 Na 22.99	○	○ natürlich
6	6 Mg 24.305	○	○ natürlich
7	7 Al 10.811	○	○ natürlich
8	8 Si 12.011	○	○ natürlich
9	9 P 14.007	○	○ natürlich
10	10 S 15.999	○	○ natürlich
11	11 Cl 18.998	○	○ natürlich
12	12 Ar 20.18	○	○ natürlich
13	13 B 26.982	○	○ natürlich
14	14 C 28.086	○	○ natürlich
15	15 N 30.974	○	○ natürlich
16	16 O 32.065	○	○ natürlich
17	17 F 35.453	○	○ natürlich
18	18 Ne 39.948	○	○ natürlich
19	19 K 39.098	○	○ natürlich
20	20 Ca 40.078	○	○ natürlich
21	21 Sc 44.956	○	○ natürlich
22	22 Ti 47.867	○	○ natürlich
23	23 V 50.942	○	○ natürlich
24	24 Cr 51.996	○	○ natürlich
25	25 Mn 54.938	○	○ natürlich
26	26 Fe 55.845	○	○ natürlich
27	27 Co 58.933	○	○ natürlich
28	28 Ni 58.693	○	○ natürlich
29	29 Cu 63.546	○	○ natürlich
30	30 Zn 65.38	○	○ natürlich
31	31 Ga 69.723	○	○ natürlich
32	32 Ge 72.64	○	○ natürlich
33	33 As 74.922	○	○ natürlich
34	34 Se 78.96	○	○ natürlich
35	35 Br 79.904	○	○ natürlich
36	36 Kr 83.798	○	○ natürlich
37	37 Rb 85.468	○	○ natürlich
38	38 Sr 87.62	○	○ natürlich
39	39 Y 88.906	○	○ natürlich
40	40 Zr 91.224	○	○ natürlich
41	41 Nb 92.906	○	○ natürlich
42	42 Tc 95.96	○	○ natürlich
43	43 Mo [97.90]	○	○ natürlich
44	44 Ru 101.07	○	○ natürlich
45	45 Rh 102.91	○	○ natürlich
46	46 Pd 106.42	○	○ natürlich
47	47 Ag 107.87	○	○ natürlich
48	48 Cd 112.41	○	○ natürlich
49	49 In 114.82	○	○ natürlich
50	50 Sn 118.71	○	○ natürlich
51	51 Sb 121.76	○	○ natürlich
52	52 Te 127.6	○	○ natürlich
53	53 I 126.9	○	○ natürlich
54	54 Xe 131.29	○	○ natürlich
55	55 Cs 132.91	○	○ natürlich
56	56 Ba 137.33	○	○ natürlich
57	57 Hf 178.49	○	○ natürlich
58	58 Ta 180.95	○	○ natürlich
59	59 W 183.84	○	○ natürlich
60	60 Re 186.21	○	○ natürlich
61	61 Os 190.23	○	○ natürlich
62	62 Ir 192.22	○	○ natürlich
63	63 Pt 195.08	○	○ natürlich
64	64 Au 196.97	○	○ natürlich
65	65 Hg 200.59	○	○ natürlich
66	66 Tl 204.38	○	○ natürlich
67	67 Pb 207.2	○	○ natürlich
68	68 Bi 208.98	○	○ natürlich
69	69 Po [208.9]	○	○ natürlich
70	70 At [209.9]	○	○ natürlich
71	71 Rn [222.0]	○	○ natürlich
72	72 Fr [223.0]	○	○ natürlich
73	73 Ra [226.0]	○	○ natürlich
74	74 Rf [263.1]	○	○ natürlich
75	75 Db [262.1]	○	○ natürlich
76	76 Sg [266.1]	○	○ natürlich
77	77 Bh [264.1]	○	○ natürlich
78	78 Hs [269.1]	○	○ natürlich
79	79 Mt [268.1]	○	○ natürlich
80	80 Ds [272.1]	○	○ natürlich
81	81 Rg [272.1]	○	○ natürlich
82	82 Uub [277]	○	○ natürlich
83	83 Uut [284]	○	○ natürlich
84	84 Uq [289]	○	○ natürlich
85	85 Uup [288]	○	○ natürlich
86	86 Uuh [292]	○	○ natürlich
87	87 Uus [292]	○	○ natürlich
88	88 Uuo [294]	○	○ natürlich
89	89 -	○	
90	90 Th [232.04]	○	
91	91 Pa [231.04]	○	
92	92 U [238.03]	○	
93	93 Np [237.0]	○	
94	94 Pu [244.0]	○	
95	95 Am [243.0]	○	
96	96 Cm [247.0]	○	
97	97 Bk [247.0]	○	
98	98 Cf [251.0]	○	
99	99 Es [252.0]	○	
100	100 Fm [257.0]	○	
101	101 Md [258.0]	○	
102	102 No [259.1]	○	
103	103 Lr [262.1]	○	

Innere Übergangsmetalle (Lanthanoide und Actinoide)

57 La 138.91	58 Ce 140.12	59 Pr 140.91	60 Nd 144.24	61 Pm [144.9]	62 Sm 150.36	63 Eu 151.96	64 Gd 157.25	65 Tb 158.93	66 Dy 162.5	67 Ho 164.93	68 Er 167.26	69 Tm 168.93	70 Yb 173.05	71 Lu 174.97
89 Ac [227.0]	90 Th 232.04	91 Pa 231.04	92 U 238.03	93 Np [237.0]	94 Pu [244.0]	95 Am [243.0]	96 Cm [247.0]	97 Bk [247.0]	98 Cf [251.0]	99 Es [252.0]	100 Fm [257.0]	101 Md [258.0]	102 No [259.1]	103 Lr [262.1]