

Tabelle 1: **Konstanten**

Erdbeschleunigung	Symbol	Wert
Erdbeschleunigung	$g$	9.81 m / s <sup>2</sup>
Gravitationskonstante	$G$	6.6742 · 10 <sup>-11</sup> N · m <sup>2</sup> / kg <sup>2</sup>
Gaskonstante	$R$	8.3143 J · mol <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>
Boltzmannkonstante	$k_B$	1.38062 · 10 <sup>-23</sup> J · K <sup>-1</sup> = 8.617 · 10 <sup>-5</sup> eV · K <sup>-1</sup>
Avogadro Konstante	$N_A$	6.02217 · 10 <sup>23</sup> mol <sup>-1</sup>

Tabelle 2: **Kräfte**  $\vec{F}$

Kraft	Formel	Einheit
Gewichtskraft $R_E$ Erdradius, $m_E$ Erdmasse	$F = m \cdot g = G \cdot \frac{m \cdot m_E}{R_E^2}$	N = kg · m / s <sup>2</sup>
Gravitationsgesetz $G$ Gravitationskonstante, $R$ Abstand der Schwerpunkte der Massen $m_1$ und $m_2$	$F = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{R^2}$	N
Hookesches Gesetz (rücktreibende Feder) $k$ Federkonstante [ $k$ ] = N / m, $x$ Auslenkung der Feder	$F = -k \cdot x$	N
Spannung = - E · Dehnung (Stab) $E$ Elastizitätsmodul [ $E$ ] = N / m <sup>2</sup> , $\Delta l$ Auslenkung, $l$ Länge, $A$ Querschnittsfläche	$\sigma = F/A = -E \cdot \Delta l/l$	N / m <sup>2</sup>
Reibungskraft (feste Körper) $\mu$ Gleit-,Haft-, bzw. ( $\mu = \mu_R \cdot R$ ) Rollreibungskoeffizient, $F_N$ Normalkraft $\perp$ Auflagefläche Reibungskraft wirkt Bewegung entgegen $\Rightarrow$ Richtung	$F = \mu \cdot F_N$	N

Tabelle 3: **Bewegungen**, Ort  $\vec{x}$ , [ $x$ ] = m, Zeit  $t$ , [ $t$ ] = s

Symbol	Formel	Einheit
Geschwindigkeit $\vec{v}$	$\vec{v} = \dot{\vec{x}} = \frac{d\vec{x}}{dt}$	m / s
Beschleunigung $\vec{a}$	$\vec{a} = \ddot{\vec{x}} = \frac{d^2\vec{x}}{dt^2}$	m / s <sup>2</sup>
Geschwindigkeit $\vec{v}$	$\vec{v}(t) = \int \vec{a} dt$	m / s
Ort $\vec{x}$	$\vec{x}(t) = \int \vec{v}(t) dt$	m
insbesondere gilt für $\vec{a} = \text{const.}$ , $\vec{v}(t=0) = \vec{v}_0$ und $\vec{x}(t=0) = \vec{x}_0$		
Geschwindigkeit $\vec{v}$	$\vec{v}(t) = \vec{a} \cdot t + \vec{v}_0$	m / s
Ort $\vec{x}$	$\vec{x}(t) = \int_0^t \vec{v}(t) dt + \vec{x}_0 = \frac{1}{2} \vec{a} \cdot t^2 + \vec{v}_0 \cdot t + \vec{x}_0$	m

Beachte: Ort  $\vec{x} = (x_1, x_2, x_3)$ , Geschwindigkeit  $\vec{v} = (v_1, v_2, v_3)$  und Beschleunigung  $\vec{a} = (a_1, a_2, a_3)$  sind Vektoren und es gilt  $v_i = \dot{x}_i$  bzw.  $a_i = \ddot{x}_i$ ,  $i = 1, 2, 3$ .

Tabelle 4: **Spezialfall: Kreisbewegung (Radius r)**

Symbol	Formel	Einheit
Winkel	$\varphi$	Bogenmaß
Kreisfrequenz, Winkelgeschwindigkeit	$\omega = \dot{\varphi} = \frac{d\varphi}{dt}$	1 / s
Periodendauer	$T = 2\pi/\omega$	s
Frequenz	$f = 1/T$	1 / s = 1 Hz
Betrag der Geschwindigkeit	$v = \omega \cdot r$	m / s
Zentripetalbeschleunigung (Richtung Kreismittelpunkt)	$a_n = \omega^2 \cdot r = v^2/r$	m / s <sup>2</sup>
Zentripetalkraft	$F = m \cdot a_n = m \cdot \omega^2 \cdot r = m \cdot v^2/r$	kg m / s <sup>2</sup> = N

Tabelle 5: **Scheinkräfte im rotierenden Bezugssystem (r', v')**

Kraft	Formel	Einheit
Zentrifugalkraft	$F_Z = -m \vec{\omega} \times (\vec{\omega} \times \vec{r}')$	N
für Kreisbewegung $\vec{\omega} \perp \vec{r}'$	$F = -m \cdot \omega^2 \cdot r' = -m \cdot v^2/r'$	N
Corioliskraft	$F_C = -2m (\vec{\omega} \times \vec{v}')$	N

Tabelle 6: **Newtonsche Gesetze, Impuls, Drehimpuls, Drehmoment**

	Formel	Einheit
Trägheitsprinzip	$\vec{F} = 0 \Leftrightarrow \vec{v} = \text{const.}$	
Aktionsprinzip: Kraft = Masse · Beschleunigung	$\vec{F} = m \cdot \vec{a} = m \cdot \ddot{\vec{x}}$	N = kg · m / s <sup>2</sup>
Actio = Reactio	$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$	
Impuls	$\vec{p} = m \cdot \vec{v}$	kg m / s
Impulsänderung	$\vec{F} = \dot{\vec{p}} = \frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{d}{dt}(m\vec{v})$	N
Drehimpuls	$\vec{L} = m \cdot (\vec{r} \times \vec{v})$	kg m <sup>2</sup> / s
Drehmoment	$\vec{M} = \vec{r} \times \vec{F}$	Nm
Drehimpulsänderung	$\vec{M} = \vec{r} \times \vec{F} = \dot{\vec{L}} = \frac{d\vec{L}}{dt}$	Nm

ohne äußere Kraft bzw. Drehmoment sind Impuls bzw. Drehimpuls Erhaltungsgrößen

Tabelle 7: **Spezialfall: Harmonische Schwingung**

Art	Formel	Einheit
ungedämpft	$\ddot{x} + \omega_0^2 x = 0$	
allg. Lösung	$x(t) = x_0 \cdot \cos(\omega_0 t + \varphi)$	m
schwache Dämpfung	$\ddot{x} + 2\beta\dot{x} + \omega_0^2 x = 0$	
allg. Lösung	$x(t) = x_0 e^{-\beta t} \cdot \cos(\omega_0 t + \varphi)$	m
erzwungene Schwingung	$\ddot{x} + \frac{1}{\tau}\dot{x} + \omega_0^2 x = \alpha_0 \cdot \sin \omega t$	
$\alpha_0 = F/m$ , $F$ treibende Kraft (periodisch), $1/\tau$ Dämpfungsrate, $\tau$ charakteristische Zeit		
allg. Lösung	$x(t) = x_0 \cdot \sin(\omega_0 t + \varphi)$	
mit Phase $\varphi$	$\tan \varphi = \frac{-\omega/\tau}{\omega_0^2 - \omega^2}$	
und Amplitude $x_0$	$x_0 = \alpha_0 / \sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + \omega^2/\tau^2}$	

ohne treibende Kraft ergeben sich  $x_0$  und  $\varphi$  aus Randbedingungen (z.B. Amplitude und Geschwindigkeit zur Zeit  $t = t_0$ )

Tabelle 8: **Wellen**

Art	Formel
Harmonische Welle	$y = y_0 \sin \left[ \frac{2\pi}{\lambda} (ct - x) \right] = y_0 \sin [(\omega t - kx)]$
$\lambda$ Wellenlänge, $f$ Frequenz, $\omega = 2\pi f$ Kreisfrequenz, $k$ Wellenvektor	
Phasengeschwindigkeit:	$c = \lambda \cdot f = \omega/k$
Doppler - Effekt für Schallwellen (Ausbreitung in Medium)	
Quelle bewegt, Beobachter ruht	$f = \frac{c}{(\lambda_0 - u/f_0)} = f_0 \cdot \left( \frac{1}{1 - u/c} \right)$
Quelle ruht, Beobachter bewegt	$f = \frac{u+c}{\lambda_0} = f_0 \cdot (1 + u/c)$
Gruppengeschwindigkeit (Wellenpaket)	$c_G = \frac{d\omega}{dk} = c_{Phase} - \lambda \cdot \frac{dc_{Phase}}{d\lambda}$

Tabelle 9: **Rotation starrer Körper**

	Formel	Einheit
Drehimpuls	$\vec{L} = \sum_i m_i \vec{r}_i \times \vec{v}_i = (\sum_i m_i r_i^2) \vec{\omega}$	kg m <sup>2</sup> / s
Trägheitsmoment	$I = \sum_i m_i r_i^2 = \int_{Volumen} r^2 dm$	kg m <sup>2</sup>
Steinerscher Satz	$I = Ma_s^2 + I_s$	kg m <sup>2</sup>
$I_s$ Trägheitsmoment um Achse durch Schwerpunkt, $a_s$ Abstand der dazu parallelen Drehachse		
Energie eines starren Rotators	$E_{rot} = 1/2 I \omega^2$	Nm = J

Tabelle 10: **Arbeit und Energie**

Arbeit/Energie	Formel	Einheit
allg.: Arbeit	$W = \int_{Weg} \vec{F} d\vec{x}$	1 Nm = 1 J
Hubarbeit (Höhe h)	$W = \int_0^h m \cdot g dh = mgh$	
Pot. Energie einer um $x_a$ ausgelenkten Feder	$E_{pot} = \int_0^{x_a} k \cdot x dx = 1/2 k \cdot x_a^2$	
kinetische Energie	$E_{kin} = 1/2 mv^2$	
Energie eines starren Rotators	$E_{rot} = 1/2 I \omega^2$	Nm = J

In einem abgeschlossenen System gilt Energieerhaltung. Vorzeichenkonvention: Geleistete Arbeit hat negatives Vorzeichen, die entsprechend gespeicherte potentielle Energie hat positives Vorzeichen.

Tabelle 11: **Flüssigkeiten**

	Formel	Einheit
Reibungskraft (Kugel in Flüssigkeit)	$\vec{F} = -\gamma \cdot \vec{v} = -6\pi\eta R \vec{v}$	N
$\eta$ Viskosität, $[\eta] = \text{N s} / \text{m}^2$ , $\vec{v}$ Geschwindigkeit, R Radius der Kugel		
Auftriebskraft	$F = \rho_{Fl} \cdot V_{Fl} \cdot g$	N
$\rho_{Fl}$ und $V_{Fl}$ entsprechen Dichte und Volumen der verdrängten Flüssigkeit		
Kontinuitätsgleichung	$\frac{dV}{dt} = A \cdot v \text{ const.}, \text{ d.h. } A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2$	
stationäre Strömung, V Volumen, A Querschnitt, v Geschwindigkeit		
Bernoullis Gesetz	$1/2\rho v_1^2 + p_1 = 1/2\rho v_2^2 + p_2$	N / m <sup>2</sup>
Summe aus dynamischen Druck $1/2\rho v^2$ und statischen Druck $p$ ist konstant.		

Tabelle 12: **Wärmelehre - Zustandsgleichungen**

	Formel	Einheit
Druck	$p = F / A$	$\text{N/m}^2 = 1 \text{ Pascal} = 10^{-5} \text{ bar}$
Zustandsgleichung - ideales Gas	$p \cdot V = N \cdot k_B T$	
Van-der-Waals - reales Gas	$(p + a/V^2) \cdot (V - b) = N k_B T$	
$a/V^2$ Binnendruck, $b$ Kovolumen		
Innere Energie	$U = f/2 N \cdot k_B T$	
$f$ Zahl der Freiheitsgrade (Translation, Rotation, Vibration), $f = 3$ für einatomiges Gas		
Boltzmannfaktor	$\exp(-E/k_B T)$	
z.B. in barometrischer Höhenformel:	$\rho(h) = \rho(0) \cdot \exp(-mgh/k_B T)$	

Tabelle 13: **Wärmelehre - Zustandsänderungen**

	Formel	Einheit
isotherm $T = \text{konst.}$	$p \cdot V = \text{konst.}$	
isochor $V = \text{konst.}$	$p/T = \text{konst.}$	
isobar $p = \text{konst.}$	$V/T = \text{konst.}$	
adiabatisch $\delta Q = 0$	$p \cdot V^\kappa = \text{konst.}$ und $p^{1-\kappa} \cdot T^\kappa = \text{konst.}$	
$\kappa = c_p/c_v$ Adiabatenkoeffizient		

Tabelle 14: **Wärmelehre - Arbeit und Wärmemenge**

	Formel	Einheit
Arbeit, die Gas verrichtet	$\delta W = p dV$	
$\delta W > 0$ , Gas verrichtet Arbeit, $\delta W < 0$ , am Gas wird Arbeit verrichtet		
spezifische Wärme bei konstantem Volumen	$\delta Q = c_v \Delta T$	
d.h. $\delta W = p dV = 0$ und $\delta Q = dU$		
spezifische Wärme bei konstantem Druck	$\delta Q = c_p \Delta T$	
d.h. $\delta Q = dU + p dV = c_v \Delta T + p dV$		
für Gas (1 Mol): $pV = RT$ und $c_p = c_v + R = (f/2 + 1) \cdot R$		

Tabelle 15: **Wärmelehre - Hauptsätze**

	Formel
1. Hauptsatz (Energieerhaltung)	$dU = \delta Q - \delta W$
2. Hauptsatz (Entropie)	$dS \geq \delta Q/T$ wobei $dS_{\text{reversibel}} = \delta Q/T$
Wärmeleistungsmaschine-Wirkungsgrad	$\eta = \text{abgegebene Arbeit} / \text{aufgenommene Wärme}$
Wärmepumpe-Wirkungsgrad	$\eta_{WP} = \text{abgegebene Wärme} / \text{aufgenommene Arbeit} = 1/\eta$
Carnot-Maschine	$\eta = 1 - T_K/T_W < 1$