

# $\Phi$ -Formelsammlung

10. - 12. Schuljahr

KZU Bülach, Fachschaft Physik

7. Auflage 2024

C. Marchica, R. Brüderlin



# Inhaltsverzeichnis

<b>I</b>	<b>Formelsammlung</b>	<b>1</b>
B	Mechanik der Massenpunkte . . . . .	1
B.1	Kinematik . . . . .	1
B.2	Dynamik . . . . .	2
B.3	Energie und Impuls . . . . .	3
B.4	Himmelsmechanik . . . . .	4
C	Mechanik starrer Körper . . . . .	5
C.1	Statik starrer Körper . . . . .	5
C.2	Dynamik starrer Körper . . . . .	5
D	Mechanik deformierbarer Körper . . . . .	6
D.1	Hydrostatik . . . . .	6
D.2	Hydrodynamik . . . . .	6
E	Schwingungen und Wellen . . . . .	7
E.1	Harmonische Schwingungen . . . . .	7
E.2	Mechanische Wellen . . . . .	7
F	Wärmelehre . . . . .	8
F.1	Längen-/Volumenausdehnung . . . . .	8
F.2	Ideales Gas . . . . .	8
F.3	Hauptsätze der Wärmelehre . . . . .	9
G	Eletrizitätslehre . . . . .	10
G.1	Elektrostatik . . . . .	10
G.2	Elektrische Ströme . . . . .	11
G.3	Magnetismus . . . . .	12
G.4	Wechselstromkreis . . . . .	13
G.5	Elektromagnetische Schwingungen und Wellen . . . . .	13
I	Moderne Physik . . . . .	14
I.1	Spezielle Relativitätstheorie . . . . .	14
I.2	Quantenphysik . . . . .	15
I.3	Kern und Teilchen . . . . .	15
M	Mathematische Formelsammlung . . . . .	16
<b>II</b>	<b>Tabellen zur Physik</b>	<b>19</b>
A	Einheiten und Konstanten . . . . .	19
B	Mechanik der Massenpunkte . . . . .	21
C	Mechanik starrer Körper . . . . .	22
F	Wärme . . . . .	23
G	Elektrizität . . . . .	25
H	Optik . . . . .	25
I	Moderne Physik . . . . .	26
J	Astronomie . . . . .	28
	Periodensystem der Elemente . . . . .	30



# I. Formelsammlung

## B. Mechanik der Massenpunkte

### B.1 Kinematik

Ortsänderung	$\Delta \vec{s}$	$[s] = \text{m}$
Zeitänderung	$\Delta t$	$[t] = \text{s}$
Geschwindigkeit (Def.)	$\vec{v} = \frac{\Delta \vec{s}}{\Delta t}$	$[v] = \frac{\text{m}}{\text{s}}$
Beschleunigung (Def.)	$\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$	$[a] = \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
Gleichm. beschl. Beweg.	$\vec{s}(t) = \frac{1}{2} \vec{a} t^2 + \vec{v}_0 t + \vec{s}_0$ $\vec{v}(t) = \vec{v}_0 + \vec{a} t$ $v^2 = v_0^2 + 2a\Delta s$	$\vec{v}_0$ : Anfangsgesch. $\vec{s}_0$ : Startpkt. $\Delta s = s - s_0$

### Wurfbewegungen

Freier Fall	$y(t) = y_0 - v_0 t - \frac{1}{2} g t^2$ $v(t) = v_0 + g t$	Fallbeschleunigung $g \approx 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
Vertikaler Wurf	$y(t) = y_0 + v_0 t - \frac{1}{2} g t^2$ $v(t) = v_0 - g t$	
Horizontaler Wurf	$x(t) = v_0 t, \quad y(t) = y_0 - \frac{1}{2} g t^2$ $v_y(t) = g t$	
Schiefer Wurf	$x(t) = v_{0x} t, \quad y(t) = y_0 + v_{0y} t - \frac{1}{2} g t^2$ $v_y(t) = v_{0y} - g t$	$v_{0x} = v_0 \cos \alpha$ $v_{0y} = v_0 \sin \alpha$
- Bahnkurve	$y(x) = \tan \alpha \cdot x - \frac{g}{2v_0^2 \cos^2 \alpha} \cdot x^2$	$\alpha$ : Abwurfwinkel
- Wurfweite	$x_w = \frac{v_0^2}{g} \cdot \sin(2\alpha)$	
- Scheitelhöhe	$y_h = \frac{v_0^2}{2g} \cdot \sin^2 \alpha$	

## B.2 Dynamik

Resultierende Kraft (Def.)	$\vec{F}_{\text{res}} = \sum_i \vec{F}_i$	$[F] = \frac{\text{kg m}}{\text{s}^2} = \text{N (Newton)}$
Trägheitsgesetz (N.I)	$\vec{F}_{\text{res}} = \vec{0} \quad \Rightarrow \quad \vec{v} = \text{konst.}$	
Aktionsgesetz (N.II)	$\vec{F}_{\text{res}} = m\vec{a}$	$m$ : Masse
Wechselwirkungsg. (N.III)	$\vec{F}_{X,12} = -\vec{F}_{X,21}$	
Dichte (Def.)	$\varrho = \frac{m}{V}$	$V$ : Volumen, $[\varrho] = \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ ▷ S. 21
Gewichtskraft	$\vec{F}_g = m\vec{g}$	$\vec{g}$ : Fallbeschl.
Federkraft	$\vec{F}_F = -D\Delta\vec{y}$	$D$ : Federkonst., $[D] = \frac{\text{N}}{\text{m}}$
Gleitreibungskraft	$F_{\text{RG}} = \mu_{\text{G}} F_{\text{N}}$	$F_{\text{N}}$ : Normalkraft
Haftreibungskraft	$F_{\text{RH}} \leq \mu_{\text{H}} F_{\text{N}}$	$\mu_{\text{G,H}}$ : Reibungszahl ▷ S. 21

## Kreisbewegung

Periode (Umlaufzeit)	$T$	$[T] = \text{s}$
Frequenz	$f = \frac{1}{T}$	$[f] = \frac{1}{\text{s}} = \text{Hz (Hertz)}$
Winkeländerung	$\Delta\varphi$	$[\varphi] = \text{rad}$
Winkelgeschwindigkeit (Def.)	$\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$	$[\omega] = \frac{\text{rad}}{\text{s}}$
Winkelbeschleunigung (Def.)	$\alpha = \frac{\Delta\omega}{\Delta t}$	$[\alpha] = \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$
Beziehung zw. $\omega, T, f$	$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$	
Transformationen	$s = \varphi r, \quad v = \omega r, \quad a = \alpha r$	$r$ : Radius
Zentripetalbeschleunigung	$\vec{a}_z = -\omega^2 \vec{r} \quad \Rightarrow \quad \vec{F}_{\text{res}} = m\vec{a}_z$	

### B.3 Energie und Impuls

Arbeit (Def.)	$W = F s \cos \alpha, \quad \alpha = \sphericalangle(\vec{F}, \vec{s})$	$[W] = \text{N m} = \text{J (Joule)}$
Arbeit (allg. Form)	$W_{AB} = \int_{s_A}^{s_B} \vec{F} \cdot d\vec{s}$	
Reibungsarbeit	$W_R = -F_R \Delta x$	
Energiesatz der Mechanik	$\Delta E_{\text{kin}} = W$	
Kinetische E. (Bewegungen.)	$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} m v^2$	$[E_{\text{kin}}] = \text{J}$
Potentielle E. (Lageenergie)	$E_{\text{pot,S}} = m g y$	$[E_{\text{pot,S}}] = \text{J}$
Potentielle E. (Federenergie)	$E_{\text{pot,F}} = \frac{1}{2} D x^2$	$[E_{\text{pot,F}}] = \text{J}$
Energieerhaltung	$E_{\text{ges}} = \sum_i E_i = \text{konst.}$	
Leistung (Def.)	$P = \frac{\Delta W}{\Delta t}$	$[P] = \frac{\text{J}}{\text{s}} = \text{W (Watt)}$
	$P = \frac{dW}{dt} = \vec{F} \cdot \vec{v}$	
Wirkungsgrad (Def.)	$\eta = \frac{E_N}{E_A}$	$E_N$ : Nutzenergie, $E_A$ : Antriebsenergie
Impuls (Def.)	$\vec{p} = m \vec{v}$	$[p] = \text{kg} \frac{\text{m}}{\text{s}}$
Kraftstoss	$\Delta \vec{p} = \vec{F} \Delta t$	$[\Delta p] = \text{Ns}$
allg. Bewegungsgleichung	$\vec{F}_{\text{res}} = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t}$	
Impulserhaltung	$\vec{p}_{\text{ges}} = \sum_i \vec{p}_i = \text{konst.}$	
Vollk. elastischer Stoss:	$\vec{v}'_1 = \frac{(m_1 - m_2)\vec{v}_1 + 2m_2\vec{v}_2}{m_1 + m_2}$	
	$\vec{v}'_2 = \frac{(m_2 - m_1)\vec{v}_2 + 2m_1\vec{v}_1}{m_1 + m_2}$	

## B.4 Himmelsmechanik

2. Keplersches Gesetz	$\frac{\Delta A}{\Delta t} = \text{konst.}$	$\Delta A$ : Flächenänderung
3. Keplersches Gesetz	$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}$ $\frac{a^3}{T^2} = \frac{GM}{4\pi^2}$	$a$ : grosse Halbachse, $M$ : Masse Zentralk. <small>▷ ab S. 28</small>
Gravitationsgesetz	$F_G = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$ $\vec{F}_G = -G \frac{m_1 m_2}{r^2} \cdot \frac{\vec{r}}{r}$	Gravitationskonstante $G \approx 6.67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Nm}^2}{\text{kg}^2}$
Allg. Gravitationsbeschl.	$g(r) = G \frac{M}{r^2}$	
Gravitationsfeld	$\vec{G}(r) = \frac{\vec{F}_G}{m}$	$m$ : Probemasse
Hubarbeit im Grav.feld	$W_{\text{Hub}} = GMm \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_n} \right)$	
Pot. Energie im Grav.feld	$E_{\text{pot}} = -\frac{GMm}{r_P}$	$r_P$ : Radius Planet
Kreisbahngeschwindigkeit	$v_1 = \sqrt{\frac{GM}{r_P}}$	
Fluchtgeschwindigkeit	$v_2 = \sqrt{\frac{2GM}{r_P}} = \sqrt{2}v_1$	



## C. Mechanik starrer Körper

### C.1 Statik starrer Körper

Drehmoment (Def.)	$\vec{M} = \vec{r} \times \vec{F}$ $M = F r \sin \varphi, \quad \varphi = \sphericalangle(\vec{F}, \vec{r})$	$[M] = \text{N m}$
Hebelgesetz	$F_1 r_1 = F_2 r_2$	
Schwerpunkt (Def.)	$\vec{r}_{\text{SP}} = \frac{\sum_i \vec{r}_i m_i}{\sum_i m_i}$	
Gleichgewichtsbedingungen	$\vec{F}_{\text{res}} = \vec{0} \quad \text{und} \quad \vec{M}_{\text{res}} = \vec{0}$	

### C.2 Dynamik starrer Körper

Trägheitsmoment (Def.)	$J \approx \sum_{i=1}^n m_i r_i^2$	$[J] = \text{kg m}^2$	▷ S. 22
Trägheitsmoment (allg. Form)	$J = \int_K r^2 dm$	$K$ : Körper	
Aktionsgesetz	$\vec{M}_{\text{res}} = J \vec{\alpha} = \frac{\Delta \vec{L}}{\Delta t}$		
Bewegungsgleichungen	$\vec{F}_{\text{res}} = m \vec{a} \quad \text{und} \quad \vec{M}_{\text{res}} = J \vec{\alpha}$		
Satz v. Steiner	$J = J_s + m a^2$	$a$ : Abstand zur Drehachse	
Rotationsenergie	$E_{\text{rot}} = \frac{1}{2} J \omega^2$		
Drehimpuls (Def.)	$\vec{L} = J \vec{\omega} = \vec{r} \times \vec{p}$	$[L] = \frac{\text{kg m}^2}{\text{s}}$	
Drehimpulserhaltung	$\vec{L}_{\text{ges}} = \sum_i \vec{L}_i = \text{konst.}$		

## D. Mechanik deformierbarer Körper

### D.1 Hydrostatik

Druck (Def.)	$p = \frac{F}{A}$	$[p] = \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = \text{Pa (Pascal)}$ ▷ S. 19
Schweredruck	$p = \varrho_{\text{Fl}} g h$	$\varrho_{\text{Fl}}$ : Dichte Flüssigkeit, ▷ S. 21 $h$ : Flüssigkeitssäule
Auftrieb	$F_A = \varrho_{\text{Fl}} V_{\text{Ver.}} g$	$V_{\text{Ver.}}$ : Verdrängtes Vol.

### D.2 Hydrodynamik

Volumenstrom (Def.)	$\dot{V} = Av$	$[\dot{V}] = \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$
Kontinuitätsgleichung	$\dot{V} = \text{konst.}$	
Bernoulli-Gleichung	$p + \frac{1}{2}\varrho v^2 + \varrho gh = \text{konst.}$	

Die Gesetze zum *Schweredruck* und zum *Auftrieb* gelten analog auch für Gase.

## E. Schwingungen und Wellen

### E.1 Harmonische Schwingungen

Harm. Schwingung (Def.)	$\ddot{y} + \omega_0^2 y = 0$	$\omega_0$ : Eigenkreisfrequenz
Lsg. harm. Schwingung	$y(t) = \hat{y} \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$	$\varphi_0$ : Phasenversch.
Gedämpfte Schwing. (Def.)	$\ddot{y} + 2\delta\dot{y} + \omega_0^2 y = 0$	$\delta$ : Dämpfungskonstante
Lsg. gedämpfte Schwingung	$y(t) = \hat{y} e^{-\delta t} \cos(\omega t + \varphi_0)$	$\omega^2 = \omega_0^2 - \delta^2$
Arten von Dämpfung	$\omega_0^2 > \delta^2$ , unterkritisch $\omega_0^2 = \delta^2$ , kritisch $\omega_0^2 < \delta^2$ , überkritisch	

### E.2 Mechanische Wellen

Fortpflanzungsgeschw.	$v = \frac{\lambda}{T} = f\lambda = \frac{\omega}{k}$	$\lambda$ : Wellenlänge, $k$ : Wellenzahl
harm. Wellenfunktion (rechts (-), links (+) laufend)	$y(x, t) = \hat{y} \sin(kx \pm \omega t + \varphi)$	
Fortpflanzungsge. im Seil	$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$	$F$ : Kraft im Seil, $\mu$ : Masse pro Länge
Stehende Wellen (2 feste Enden im Abstand $l$ )	$k_n = n \frac{\pi}{l}, \quad l = n \frac{\lambda}{2}$	$n = 1, 2, 3, \dots$
Stehende Wellen (1 festes, 1 freies Ende)	$k_n = n \frac{\pi}{2l}, \quad l = n \frac{\lambda}{4}$	$n = 1, 3, 5, \dots$
Brechung (von Medium $A$ zu $B$ )	$f_A = f_B, \quad \frac{v_A}{v_B} = \frac{\lambda_A}{\lambda_B}$	
Gesetz von Snellius	$n_A \sin \alpha = n_B \sin \beta$	$n_{A,B}$ : Brechzahl <span style="float: right;">▷ S. 25</span>
Totalreflexionswinkel	$\alpha_T = \arcsin\left(\frac{n_B}{n_A}\right)$	
Doppelspalt (konstruktiv)	$d \sin \vartheta = m\lambda$	$d$ : Spaltabstand $m = 1, 2, 3, \dots$
Doppelspalt (destruktiv)	$d \sin \vartheta = (m + \frac{1}{2})\lambda$	
Einfachspalt (destruktiv)	$a \sin \vartheta = m\lambda$	$a$ : Spaltbreite

## F. Wärmelehre

### F.1 Längen-/Volumenausdehnung

absolute Temperatur	$T$	$[T] = \text{K}$
Celsius-Temperatur	$\vartheta$	$[\vartheta] = ^\circ\text{C}$
Celsius aus Fahrenheit	$\vartheta_C = \frac{5}{9}\vartheta_F - 17.8^\circ$	$[\vartheta_F] = ^\circ\text{F}$
Längenausdehnung	$\Delta l = \alpha l_0 \Delta T$	$\alpha$ : Ausdehnungskoeff. <span style="float: right;">▷ S. 23</span>
Volumenausdehnung	$\Delta V = \gamma V_0 \Delta T,$	$\gamma$ : Volumenausd. <span style="float: right;">▷ S. 23</span> für Festkörper: $\gamma \approx 3\alpha$

### F.2 Ideales Gas

Boyle-Mariotte	$pV = \text{konst.} \quad T = \text{konst.}$	isotherm
Amontons	$\frac{p}{T} = \text{konst.} \quad V = \text{konst.}$	isochor
Gay-Lussac	$\frac{V}{T} = \text{konst.} \quad p = \text{konst.}$	isobar
Gasgesetz	$\frac{pV}{T} = \text{konst.}$	
Stoffmenge	$n = \frac{m}{M}$	$[n] = \text{mol}, \quad [M] = \frac{\text{kg}}{\text{mol}},$ $M$ : Molare Masse <span style="float: right;">▷ ab S. 26</span>
Teilchenzahl	$N = n N_A$	Avogadrokonstante $N_A \approx 6.022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
Zustandsgl. idealer Gase	$pV = nRT$ $pV = Nk_B T$	univers. Gaskonstante $R \approx 8.314 \frac{\text{J}}{\text{mol K}}$ Boltzmann-Konst. $k_B \approx 1.38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{J}}{\text{K}}$
Universelle Gaskonstante	$R = N_A k_B$	
Mittlere Translationsenergie (eines Gasteilchens)	$\langle E_{\text{kin}} \rangle = \langle \frac{1}{2} m_0 v^2 \rangle$	$m_0$ : Masse Gasteilchen
Druck eines idealen Gases	$p = \frac{2}{3} \frac{N}{V} \langle E_{\text{kin}} \rangle$	
Äquivalenzprinzip	$\langle E_{\text{kin}} \rangle = f \frac{1}{2} k_B T$	$f$ : Anzahl Freiheitsgrade
Innere Energie (Def.)	$U = N \langle E_{\text{kin}} \rangle$ $U = f \frac{1}{2} nRT$	$[U] = \text{J}$

### F.3 Hauptsätze der Wärmelehre

Wärmemenge	$Q$	$[Q] = \text{J}$	
1. Hauptsatz	$\Delta U = Q + W$	$Q > 0$ : zugef. Wärme, $W > 0$ : am System verrichtete. Arbeit	
Molare Wärmekapazität $C$	$Q = C n \Delta T$	$[C] = \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$	▷ S. 23
Spezifische Wärmekap. $c$	$Q = c m \Delta T$	$[c] = \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$	▷ S. 23
Spez. Verdampfungswärme	$Q = \pm L_v m$	$[L_v] = \frac{\text{J}}{\text{kg}}$	▷ S. 23
Spez. Schmelzwärme	$Q = \pm L_f m$	$[L_f] = \frac{\text{J}}{\text{kg}}$	▷ S. 23
Spez. Heizwert $H$	$Q = H m$	$[H] = \frac{\text{J}}{\text{kg}}$	▷ S. 23
Wärmestrom	$\dot{Q} = \lambda \frac{A}{l} \Delta T$	$\lambda$ : Leitfähigkeit $A$ : Fläche, $l$ : Wanddicke	▷ S. 24
Volumenarbeit (Def.)	$W = -p \Delta V$		
1. Hauptsatz idealer Gase	$\Delta U = Q - p \Delta V$		
Isochore Wärmemenge	$Q_V = C_V n \Delta T$	$C_V$ : mol. Wärmekap. bei konstantem Volumen	▷ S. 23
Isobare Wärmemenge	$Q_p = C_p n \Delta T$	$C_p$ : mol. Wärmekap. bei konstantem Druck	▷ S. 23
Molare Wärmekapazität	$C_p - C_V = R$	$C_V = \frac{f}{2} R$	
Isotherme Wärmemenge	$Q_T = n R T \ln \left( \frac{V_2}{V_1} \right)$		
Adiaba. Zustandsänderung	$p V^\kappa = \text{konst.}$ $T V^{\kappa-1} = \text{konst.}$	$\kappa = \frac{C_p}{C_V}$	▷ S. 23
Entropie (Def.)	$\Delta S = \frac{Q}{T}$ $S = k_B \ln W$	$[S] = \frac{\text{J}}{\text{K}}$	
2. Hauptsatz	$\Delta S \geq 0$		
Wirkungsgrad Thermody. bzw. Carnot	$\eta = \frac{ W }{Q_{\text{zu}}}, \quad \eta_{\text{max}} = 1 - \frac{T_k}{T_w}$		
Leistungszahl (Wärmepumpe)	$\varepsilon_{\text{WP}} = \frac{Q_{\text{zu}}}{W} = 1 + \frac{Q_{\text{weg}}}{W}$		
Leistungszahl (Kompressor)	$\varepsilon_K = \frac{Q_{\text{weg}}}{W}$		

## G. Eletrizitätslehre

### G.1 Elektrostatik

Ladung	$Q$	$[Q] = \text{C (Coulomb)}$
Quantisierung der Ladung	$Q = \pm N e$	$N \in \mathbb{N}$ , Elementarladung $e \approx 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
Coulombgesetz	$F_C = \frac{1}{4\pi\epsilon} \cdot \frac{ Q_1 Q_2 }{r^2}$ $\vec{F}_C = \frac{1}{4\pi\epsilon} \cdot \frac{Q_1 Q_2}{r^2} \cdot \frac{\vec{r}}{r}$	$r$ : Abstand Ladungen, $\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$ , <span style="float: right;">▷ S. 25</span> $\epsilon_0 \approx 8.85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{As}}{\text{Vm}}$
el. Feldstärke (Def.)	$\vec{E} = \frac{\vec{F}_{\text{el}}}{q_p}$	$[E] = \text{N/C}$ , $q_p$ : Probeladung
el. Feld einer Punktladung	$E = \frac{1}{4\pi\epsilon} \cdot \frac{Q}{r^2}$ $\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon} \cdot \frac{Q}{r^2} \cdot \frac{\vec{r}}{r}$	
Verschiebungsarbeit ( $E$ -Feld)	$W = q \vec{E} \cdot \Delta \vec{r}$	
Spannung (Def.)	$U = \frac{W}{q}$	$[U] = \frac{\text{J}}{\text{C}} = \text{V (Volt)}$
Kapazität (Def.)	$C = \frac{Q}{U}$	$[C] = \frac{\text{C}}{\text{V}} = \text{F (Farad)}$
Kapazität (Plattenkond.)	$C = \epsilon \frac{A}{d}$	$d \ll \sqrt{A}$
el. Feldstärke (Kondensator)	$E = \frac{Q}{\epsilon A} = \frac{U}{d}$	
Energie (Kondensators)	$E_{\text{Kond}} = \frac{1}{2} Q U = \frac{1}{2} C U^2$	
Energiedichte el. Feld	$w_{\text{el}} = \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2$	

## G.2 Elektrische Ströme

Stromstärke (Def.)	$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$	$[I] = \text{A (Ampere)}$	
Strom im Leiter	$I = nqv_{\text{D}}A$	$n$ : Ladungsdichte, $v_{\text{D}}$ : Driftgeschw.	▷ S. 25
Widerstand (Def.)	$R = \frac{U}{I}$	$[R] = \Omega \text{ (Ohm)}$	
Ohmsches Gesetz	$U \propto I$		
Ohmscher Widerstand	$R = \text{konst.}$		
Spezifischer Widerstand	$R = \varrho_{\text{el}} \frac{\ell}{A}$	$[\varrho_{\text{el}}] = \Omega \text{ m},$ $\ell$ : Leiterlänge, $A$ : Leiterquerschnitt	▷ S. 25
Arbeit (el. Stroms)	$W = UI\Delta t$		
Leistung (el. Stroms)	$P = UI$		
Knotenregel	$\sum_i I_i = 0$		
Maschenregel	$\sum_i U_i = 0$		
Serienschaltung (Widerständen)	$R_{\text{ers}} = \sum_i R_i$		
Parallelschaltung (Widerständen)	$\frac{1}{R_{\text{ers}}} = \sum_i \frac{1}{R_i}$		
Serienschaltung (Kapazitäten)	$\frac{1}{C_{\text{ers}}} = \sum_i \frac{1}{C_i}$		
Parallelschaltung (Kapazitäten)	$C_{\text{ers}} = \sum_i C_i$		

### G.3 Magnetismus

Biot-Savart-Gesetz	$\Delta \vec{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \cdot \frac{\Delta \vec{s} \times \vec{r}}{r^3}$	$[B] = \text{T (Tesla)}$ $\mu_0 \approx 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{N}}{\text{A}^2}$
magn. Feld langer Leiter	$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$	
magn. Feld Kreisstrom	$B = \frac{\mu_0 I}{2r}$	
magn. Feld in Spule	$B = \frac{\mu_0 N I}{\sqrt{l^2 + d^2}}$	$l$ : Länge, $d$ : Durchmesser, $N$ : Windungen
	$B \approx \frac{\mu_0 N I}{l}$	$l \gg d$
Lorentzkraft auf Leiter	$\vec{F}_L = I \vec{s} \times \vec{B}$ $F_L = I s B \sin \varphi$	$\varphi : \angle(\vec{B}, \vec{s})$
Lorentzkraft auf Ladung	$\vec{F}_L = q \vec{v} \times \vec{B}$ $F_L = q v B \sin \varphi$	$\varphi : \angle(\vec{B}, \vec{v})$
Drehmoment Leiterschleife	$M = N I B A$	$A$ : Fläche der Schleife
Magnetischer Fluss (Def.)	$\Phi_m = \vec{A} \cdot \vec{B}$	$[\Phi_m] = \text{Wb (Weber)}$
Induktionsgesetz	$U_{\text{ind}} = - \frac{d\Phi_m}{dt}$	
Selbstinduktion (Induktivität)	$\Phi_m = L I$	
Spannung über Induktivität	$U_L = L \frac{dI}{dt}$	
Energiedichte mag. Feld	$w_m = \frac{1}{2} \frac{B^2}{\mu_0}$	



## G.4 Wechselstromkreis

Wechselspannung (Def.)	$U(t) = U_0 \sin(\omega t + \varphi)$
Effektivwerte Spannung	$U_{\text{eff}} = \frac{U_0}{\sqrt{2}}$
Effektivwerte Strom	$I_{\text{eff}} = \frac{I_0}{\sqrt{2}}$
Blindwiderstand (Kapazitiver)	$X_C = \frac{1}{\omega C}$
Blindwiderstand (Induktiver)	$X_L = \omega L$
Transformator	$U_2 = -\frac{N_2}{N_1} U_1$

## G.5 Elektromagnetische Schwingungen und Wellen

komplexer Widerstand	$Z = \frac{U}{I}$	
Impedanz (Serienschaltung)	$ Z  = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$	
Phasenverschiebung (Serienschaltung)	$\tan \varphi = \frac{X_L - X_C}{R}$	
Impedanz (Parallelschaltung)	$\frac{1}{ Z } = \sqrt{\frac{1}{R^2} + \left(\frac{1}{X_L} - \frac{1}{X_C}\right)^2}$	
Phasenverschiebung (Parallelschaltung)	$\tan \varphi = \frac{\frac{1}{X_L} - \frac{1}{X_C}}{\frac{1}{R}}$	
Intensität (em-Welle)	$I = \frac{\Delta P}{\Delta A}$	$P$ : Leistung, $A$ : Fläche
Poynting Vektor	$\vec{S} = \frac{\vec{E} \times \vec{B}}{\mu_0}$	
Impuls (em-Welle)	$p = \frac{E_{\text{kin}}}{c}$	$c$ : Lichtgeschwindigkeit
Strahlungsdruck (em-Welle)	$p_{\text{Str}} = \frac{I}{c}$	
Strahlungsleistung schwarzer Körper	$P_{\text{SK}}(T) = \sigma A T^4$	Stefan-Boltzmann-Konst. $\sigma \approx 5.67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}^4}$ , $T$ : Temperatur
Strahlungsleistung (beliebige Körper)	$P_K = \varepsilon \cdot P_{\text{SK}}$	$\varepsilon$ : Emissionszahl <span style="float: right;">▷ S. 24</span>
Rayleigh-Jeans-Gesetz	$P(\lambda, T) = \frac{2ck_B T}{\lambda^4}$	
Wien'sche Verschiebungsg.	$\lambda_{\text{max}} = \frac{2.898 \text{ mm K}}{T}$	

# I. Moderne Physik

## I.1 Spezielle Relativitätstheorie

Lorentztransformationen	$x' = \gamma(x - vt) \quad t' = \gamma\left(t - \frac{xv}{c^2}\right)$	
Lorentzfaktor	$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}}$	$\beta = \frac{v}{c}$
Geschwindigkeitstranf.	$u'_x = \frac{u_x - v}{1 - \frac{v}{c^2}u_x}$	
Zeitdilatation	$\Delta t = \gamma \Delta \tau,$	$\Delta \tau$ : Eigenzeit
Längenkontraktion	$\Delta l = \frac{\Delta l_R}{\gamma}$	$\Delta l_R$ : Eigenlänge
relativistischer Impuls	$\vec{p} = \gamma m \vec{v}$	$[p] = \frac{\text{eV}}{c}$
Ruheenergie	$E_0 = mc^2$	$[m] = \frac{\text{eV}}{c^2}$
rel. kinetische Energie	$E_{\text{kin}} = (\gamma - 1)E_0$	
rel. Gesamtenergie	$E = E_{\text{kin}} + E_0 = \gamma E_0$	$[E] = \text{eV}$
Energie-Impuls-Beziehung	$E^2 - (pc)^2 = (mc^2)^2$	

## I.2 Quantenphysik

Strahlungsgesetz (Plancksches)	$P(\lambda, t) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{hc}{k_B T \lambda}} - 1}$	$hc \approx 1.24 \text{ keV} \cdot \text{nm}$
Wirkungsquantum	$\hbar = \frac{h}{2\pi}$	$h \approx 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ J s}$
Plancksche Hypothese	$E = \hbar\omega$	$\omega$ : Kreisfrequenz
Photoelektrischer Effekt	$E_{\text{kin}} = hf - W_A$	$W_A$ : Austrittsarbeit
Compton-Effekt	$\Delta\lambda = \lambda_C(1 - \cos\vartheta)$	$\lambda_C = \frac{h}{mc} \approx 2.43 \text{ pm}$ , $\vartheta$ : Streuwinkel
Bohrsche Postulate	$f = \frac{ E_1 - E_2 }{h}$	$f$ : Frequenz
	$L = n\hbar$	$L$ : Drehimpuls
Bohr-Radius	$a_0 = \frac{4\pi\epsilon_0\hbar^2}{me^2}$	$a_0 \approx 5.29 \cdot 10^{-11} \text{ m}$
Rydberg-Konstante	$R_\infty = \frac{me^4}{(4\pi\hbar)^3\epsilon_0^2c}$	$R_\infty \approx 10.97 (\mu\text{m})^{-1}$
Energieniveau (H-Atom)	$E_n = -hcR_\infty \cdot \frac{1}{n^2}$	$E_1 \approx -13.6 \text{ eV}$
De-Broglie-Impuls	$p = \frac{h}{\lambda}$	$\lambda$ : Wellenlänge
Unschärferelation	$\Delta x \Delta p_x \geq \frac{\hbar}{2}$	$\Delta x$ : Ortsunschärfe, $\Delta p$ : Impulsunschärfe
Schrödingergleichung (zeitunabhängig)	$E\Psi(x) = -\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2\Psi(x)}{dx^2} + V(x)\Psi(x)$	$\Psi(x)$ : Wellenfunktion

## I.3 Kern und Teilchen

Massenzahl von Kernen	$A = N + Z$	$N$ : Neutronenzahl, <span style="float: right;">▷ ab S. 26</span> $Z$ : Ordnungszahl <span style="float: right;">▷ ab S. 26</span>
Kernradius eines Atoms	$R \approx R_0 \sqrt[3]{A}$	$R_0 \approx 1.5 \text{ fm}$
Bindungsenergie (Kern $A_X$ )	$E_B = (Zm_H + (A - Z)m_N - M_{A_X}) c^2$	$m_H$ : Masse H-Atom, $m_N$ : Masse Neutron
Aktivität	$A(t) = -\frac{\Delta N}{\Delta t}$	$\Delta N$ : Anzahl Zerfälle
Zerfallskonstante	$\lambda = \frac{A}{N}$	
Zerfallsgesetz	$N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$	$N_0$ : Anzahl Atom ( $t = 0$ )

## M. Mathematische Formelsammlung

### Einfache Formeln

Dreiecksfläche	$A = \frac{1}{2} g h$	$g$ : Grundlinie, $h$ : zugehörige Höhe
Bogenmass (Def.)	$\varphi [\text{rad}] = \frac{b}{r}$	$b$ : Bogenlänge, $r$ : Radius
Umrechnung (Grad - Bogenmass)	$\varphi [\text{rad}] = \varphi [^\circ] \cdot \frac{\pi}{180^\circ}$	
Kreisumfang	$U = 2\pi r = \pi d$	$d$ : Durchmesser
Kreisfläche	$A = \pi r^2 = \pi \frac{d^2}{4}$	
Kugelvolumen	$V = \frac{4\pi}{3} r^3$	
Kugeloberfläche	$A = 4\pi r^2$	

### Trigonometrische Funktionen

Sinus	$\sin \alpha = \frac{\text{Gegenkathete}}{\text{Hypotenuse}}$	
Cosinus	$\cos \alpha = \frac{\text{Ankathete}}{\text{Hypotenuse}}$	
Tangens	$\tan \alpha = \frac{\text{Gegenkathete}}{\text{Ankathete}}$	
Zusammenhang (sin, cos und tan)	$\frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \tan \alpha$ $\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1$	
Additionstheorem	$\sin(\alpha \pm \beta) = \sin \alpha \cos \beta \pm \cos \alpha \sin \beta$	
Summe	$\sin \alpha \pm \sin \beta = 2 \sin \left( \frac{\alpha \pm \beta}{2} \right) \cos \left( \frac{\alpha \mp \beta}{2} \right)$	

## Ableitungen

Definition	$\frac{df(x)}{dx} = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{f(x+h) - f(x)}{h}$
Notation	$\frac{df(x)}{dx} = f'(x) \quad \text{und} \quad \frac{df(t)}{dt} = \dot{f}(t)$
Sinus	$(\sin x)' = \cos x$
Kosinuns	$(\cos x)' = -\sin x$
Exponential-Funktion	$(e^x)' = e^x$
Natürlicher Logarithmus	$(\ln x)' = \frac{1}{x}$
Produktregel	$(f g)' = f'g + fg'$
Kettenregel	$\left(f(g(x))\right)' = f'(g(x)) \cdot g'(x)$

## Mathematische Relationszeichen

$=$	ist gleich (bei Definitionen und Gesetzen)
$\approx$	ist ungefähr gleich (z. B. bei stark gerundeten Werten)
$\sim$	ist proportional zu
$\hat{=}$	entspricht
$\equiv$	ist identisch
$\stackrel{!}{=}$	soll gleich sein (ist zu beweisen)
$\Rightarrow$	daraus folgt
$\Leftrightarrow$	ist äquivalent
$\ll$	vernachlässigbar



## II. Tabellen zur Physik

### A. Einheiten und Konstanten

Basiseinheiten			
Grösse	Symbole	Basiseinheit	Abkürzung
Länge	$l$	Meter	m
Masse	$m$	Masse	kg
Zeit	$t$	Sekunde	s
Elektrische Stromstärke	$I$	Ampère	A
Temperatur	$T$	Kelvin	K
Lichtstärke	$I_v$	Candela	cd
Stoffmenge	$n$	Mol	mol

Physikalische Grössen, Symbole und Einheiten			
Grösse	Symbole	Einheitenname	Abkürzung
Aktivität	$A$	Becquerel	Bq = 1/s
Äquivalentdosis	$H$	Sivert	Sv = J/kg
Arbeit	$W$	Joule	J = N m
Brechkraft	$D$	Dioptrie	Dptr = 1/m
Brennweite	$f$		m
Elektrische Kapazität	$C$	Farad	F = C/V
Elektrische Spannung	$U$	Volt	V
Elektrischer Widerstand	$R$	Ohm	$\Omega$ = V/A
Elektrische Ladung	$Q$	Coulomb	C = A s
Energiedosis	$D$	Gray	Gy = J/kg
Federkonstante	$D$		N/m
Frequenz	$f$	Hertz	Hz = 1/s
Impuls	$p$	Huygens	Hy = N s = kg m/s
Leistung	$P$	Watt	W = J/s
Magnetisches Feld	$B$	Tesla	T = V s/m <sup>2</sup>
Magnetischer Fluss	$\Phi$	Weber	Wb = T m <sup>2</sup> = V s
Wärmemenge	$Q$	Joule	J
Winkel	$\varphi$	Radian	rad = 1
Winkelgeschwindigkeit	$\omega$		rad/s

Griechisches Alphabet							
Kleinbuchstabe	Name	Kleinbuchstabe	Name	Kleinbuchstabe	Name	Kleinbuchstabe	Name
$\alpha$	Alpha	$\eta$	Eta	$\nu$	Nü	$\tau$	Tau
$\beta$	Beta	$\theta, \vartheta$	Theta	$\xi$	Xi	$\upsilon$	Ypsilon
$\gamma$	Gamma	$\iota$	Jota	$\omicron$	Omikron	$\phi, \varphi$	Phi
$\delta$	Delta	$\kappa$	Kappa	$\pi$	Pi	$\chi$	Chi
$\epsilon$	Epsilon	$\lambda$	Lambda	$\rho, \varrho$	Rho	$\psi$	Psi
$\zeta$	Zeta	$\mu$	Mü	$\sigma$	Sigma	$\omega$	Omega

**Präfixe**

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

**Umrechnungen von Einheiten**

Länge			Kraft Druck		
1 in (inch, Zoll)		$= 2.540 \cdot 10^{-2} \text{ m}$	1 lb (pound-force)		$= 4.448 \text{ N}$
1 ft (foot)	$= 12 \text{ in}$	$= 0.3048 \text{ m}$	1 bar		$= 1 \cdot 10^5 \text{ Pa}$
1 mi (mile)		$= 1\,609.344 \text{ m}$	1 atm		$= 101\,325 \text{ Pa}$
1 Seemeile		$= 1\,852 \text{ m}$	1 mmHg	$= 1 \text{ Torr}$	$\approx 133.3 \text{ Pa}$
1 AE (Astronomische Einehit)		$= 1.496 \cdot 10^{11} \text{ m}$	1 mmWS (Wassersäule)		$= 9.806 \text{ Pa}$
1 LJ (Lichtjahr)		$= 9.461 \cdot 10^{15} \text{ m}$	1 psi		$= 6.89 \cdot 10^3 \text{ Pa}$
1 pc (Parallaxensekunde/Parsec*)		$= 3.086 \cdot 10^{16} \text{ m}$	(pound-force per square inch)		
Energie, Leistung			Geschwindigkeit, Masse		
1 cal		$= 4.1868 \text{ J}$	1 Knoten	$= 1.852 \text{ km/h}$	$\approx 0.5411 \text{ m/s}$
1 kWh		$= 3.6 \cdot 10^6 \text{ J}$	1 lb (pound mass)		$= 0.45359 \text{ kg}$
1 Elektronvolt (eV)		$= 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$	1 ct (Karat)		$= 2 \cdot 10^{-4} \text{ kg}$
1 PS		$\approx 735.5 \text{ W}$			

\* Entfernung, aus der der Erdbahnradius unter dem Winkel von einer Bogensekunde erscheint.

**Physikalische Konstanten**

Grösse	Symbole	Wert	Einheit
Gravitationskonstante	$G$	$6.673 \cdot 10^{-11}$	$\text{N m}^2/\text{kg}^2$
Lichtgeschwindigkeit im Vakuum	$c$	$2.99792458 \cdot 10^8$	m/s
Magnetische Feldkonstante	$\mu_0$	$4\pi \cdot 10^{-7}$	$\text{Vs}/(\text{A m})$
Elektrische Feldkonstante	$\epsilon_0$	$8.85418782 \cdot 10^{-12}$	$\text{As}/(\text{Vm})$
Elementarladung	$e$	$1.60217646 \cdot 10^{-19}$	C
Plancksches Wirkungsquantum	$h$	$6.62606876 \cdot 10^{-34}$	J s
Masse des Elektrons	$m_e$	$9.10938188 \cdot 10^{-31}$	kg
Masse des Protons	$m_p$	$1.67262158 \cdot 10^{-27}$	kg
Masse des Neutrons	$m_N$	$1.67492716 \cdot 10^{-27}$	kg
Atommassen-Einheit	$u$	$1.66053873 \cdot 10^{-27}$	kg
Bohrscher Radius	$a_0$	$5.2917721 \cdot 10^{-11}$	m
Normwert der Fallbeschleunigung	$g$	9.80665	$\text{m/s}^2$
Normdruck	$p_0$	101 325	Pa
Normtemperatur	$T_0$	273.15	K
Molares Volumen des idealen Gases	$V_0$	$22.413996 \cdot 10^{-3}$	$\text{m}^3/\text{mol}$
Avogadro-Konstante	$N_A$	$6.02214199 \cdot 10^{23}$	1/mol
Universelle Gaskonstante	$R$	8.314472	$\text{J}/(\text{mol K})$
Boltzmann-Konstante	$k_B$	$1.3806503 \cdot 10^{-23}$	J/K
Stefan-Boltzmann-Konstante	$\sigma$	$5.670400 \cdot 10^{-8}$	$\text{W}/(\text{m}^2 \text{K}^{-4})$



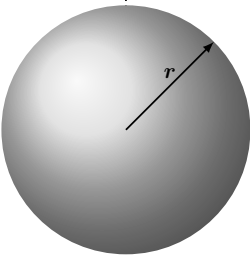



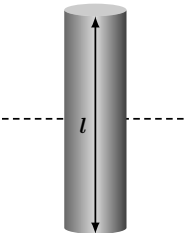
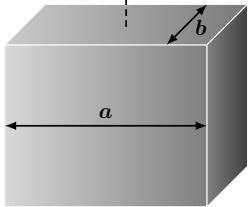
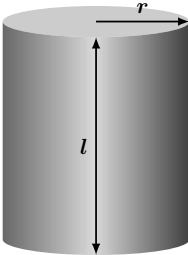
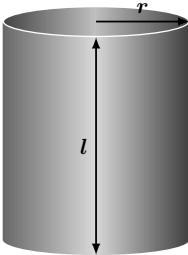
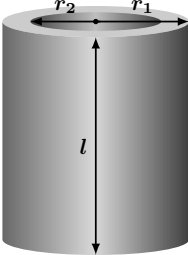
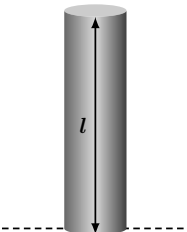
## B. Mechanik der Massenpunkte

Dichte				
Feste Stoffe bei 20 °C		Flüssigkeiten bei 20 °C		
	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]			$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]
Aerogel (ohne enthaltene Luft)	0.16	Aceton	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CO	791
Aluminium	2 700	Benzol	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	879
Beton	2 200	Benzin		744
Blei	11 340	Diethylether	(C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> ) <sub>2</sub> O	714
Buchen- und Eichenholz (trocken)	700	Ethanol	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	789
Diamant	3 510	Glycerin	C <sub>3</sub> H <sub>5</sub> (OH) <sub>3</sub>	1 261
Eis (bei 0 °C)	917	Heizöl		840
Eisen	7 860	Methanol	CH <sub>3</sub> OH	798
Glas	2 500	Olivenöl		920
Gold	19 290	Quecksilber	Hg	13 546
Graphit	2 240	Schefelsäure	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1 840
Invar (64% Fe, 36% Zn)	800	Tetrachlorkohlenstoff	CCl <sub>4</sub>	1 594
Kalkstein (Marmor)	2 700	Wasser	H <sub>2</sub> O	998
Kork	300	Wasser (schwer)	D <sub>2</sub> O	1 105
Kupfer	8 920			
Messing (65% Cu, 35% Zn)	8 470	Gase bei 0 °C und 1.013 · 10 <sup>5</sup> Pa		$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]
Natrium	970	Ammoniak	NH <sub>3</sub>	0.771
Nickel	8 900	Argon	Ar	1.784
Paraffin	900	Butan	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	2.732
Platin	21 450	Erdgas		0.83
Plexiglas	1 180	Helium	He	0.1785
Porzellan	2 400	Kohlendioxid	CO <sub>2</sub>	1.977
Quarzglas	2 200	Kohlenmonoxid	CO	1.250
Silber	10 500	Luft		1.293
Silizium	2 420	Methan	CH <sub>4</sub>	0.717
Styropor	20	Neon	Ne	0.900
Tannenholz (trocken)	500	Propan	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	2.010
Uran	18 700	Sauerstoff	O <sub>2</sub>	1.429
Wolfram	19 300	Schwefeldioxid	SO <sub>2</sub>	2.926
Ziegelstein	1 600	Stickstoff	N <sub>2</sub>	1.250
Zink	7 140	Wasserstoff	H <sub>2</sub>	0.0899
Zinn	7 290	Xenon	Xe	5.897

Reibungszahl					
Material-kombination	Gleit-reibung $\mu_G$	Haft-reibung $\mu_H$	Material-kombination	Gleit-reibung $\mu_G$	Haft-reibung $\mu_H$
Holz/Holz	0.4	0.6	Pneu/trockener Strasse	0.6	1.0
Stahl/Stahl	0.1	0.15	Pneu/nasse Strasse	0.3	0.5
Stahl/Eis	0.014	0.027	Pneu/Eis	0.05	0.1

## C. Mechanik starrer Körper

### Trägheitsmomente

<p>Kugel</p>  <p><math>J = \frac{2}{5}mr^2</math></p>	<p>Vollzylinder</p>  <p><math>J = \frac{1}{2}mr^2</math></p>	<p>Zylindermantel</p>  <p><math>J = mr^2</math></p>	<p>Hohlzylinder</p>  <p><math>J = \frac{1}{2}m(r_1^2 + r_2^2)</math></p>	<p>Dünner Stab</p>  <p><math>J = \frac{1}{12}ml^2</math></p>
<p>Quader</p>  <p><math>J = \frac{1}{12}m(a^2 + b^2)</math></p>	<p>Vollzylinder</p>  <p><math>J = \frac{1}{4}mr^2 + \frac{1}{12}ml^2</math></p>	<p>Zylindermantel</p>  <p><math>J = \frac{1}{2}mr^2 + \frac{1}{12}ml^2</math></p>	<p>Hohlzylinder</p>  <p><math>J = \frac{1}{4}m(r_1^2 + r_2^2) + \frac{1}{2}ml^2</math></p>	<p>Dünner Stab</p>  <p><math>J = \frac{1}{3}ml^2</math></p>

## F. Wärme

### Thermische Daten

$\alpha$  Längenausdehnungskoeffizient bei 20°C  
 $\gamma$  Volumenausdehnungskoeffizient bei 20°C  
 $c_p$  spez. Wärmekapazität bei 20°C  
 $C_p$  molare Wärmekapazität bei 20°C  
 $(c_p, C_p$ : Werte bei konst. Druck)

$\vartheta_f$  Schmelztemperatur  
 $L_f$  spez. Schmelzwärme  
 $\vartheta_v$  Siedetemperatur  
 $L_v$  spez. Verdampfungswärme  
 $\lambda$  Wärmeleitfähigkeit bei 20°C

<b>Festkörper</b>	$\alpha$ [ $10^{-6}$ K]	$c_p$ [J/(kg K)]	$\vartheta_f$ [°C]	$L_f$ [ $10^5$ J/kg]	$\vartheta_v$ [°C]	$L_v$ [ $10^5$ J/kg]	$\lambda$ [W/(m K)]
Aluminium	23.8	896	660.1	3.97	2 467	109	239
Blei	31.3	129	327.4	0.23	1 740	86	34.8
Eis (0°C)	37.0	2 100	0	3.338	100	22.5	2.2
Eisen	12.0	450	1 535	2.77	2 750	63.4	80
Glas	8.5	800					1.0
Invar	0.2 – 1.6	460	1 427	5.15			11
Kupfer	16.8	383	1 083	2.05	2 567	47.9	390
Silber	19.7	235	960.8	1.045	2 212	23.5	428
Silizium	7.6	705	1 410	1.654	2 355	140.5	153
Stahl	16.0	510					14
Wolfram	4.3	134	3 380	1.92	5 660	43.5	177
<b>Flüssigkeiten</b>	$\gamma$ [ $10^{-3}$ K]	$c_p$ [J/(kg K)]	$\vartheta_f$ [°C]	$L_f$ [ $10^5$ J/kg]	$\vartheta_v$ [°C]	$L_v$ [ $10^5$ J/kg]	$\lambda$ [W/(m K)]
Aceton	1.49	2 160	−94.86	0.98	56.25	5.25	0.162
Benzin		2 020	−40		67...100		0.13
Ethanol	1.10	2 430	−114.5	1.08	78.33	8.40	0.165
Glycerin	0.5	2 390	18.4	2.01	290.5	8.54	0.285
Heizöl	0.92		−5		~ 275		0.14
Quecksilber	0.182	139	−38.87	0.118	356.58	2.85	8.2
Wasser	0.21	4 182	0	3.338	100	22.56	0.598
<b>Gase</b>	$C_p$ [J/(mol K)]	$\kappa = C_p/C_v$	$\vartheta_f$ [°C]	$L_f$ [ $10^5$ J/kg]	$\vartheta_v$ [°C]	$L_v$ [ $10^5$ J/kg]	$\lambda$ [W/(m K)]
Ammoniak	36.8	1.305	−77.7		−33.35	13.70	0.022
Helium	20.9	1.63	−272.2	5	−268.93	20	0.143
Kohlendioxid	36.8	1.293		1.81	−78.45	1.37	0.015
Luft	29.1	1.402			−191.4		0.024
Methan	35.6	1.308	−182.52	0.59	−161.5	5.10	0.030
Sauerstoff	29.3	1.398	−218.79	0.14	−182.97	2.13	0.024
Stickstoff	29.1	1.401	−210.00	0.26	−195.82	1.98	0.024
Wasserstoff	28.9	1.41	−259.20	60	−252.77	450	0.171

### Heizwert (ohne Kondensation des Wasserdampfes)

<b>Material</b>	$H$ [MJ/kg]	<b>Material</b>	$H$ [MJ/kg]	<b>Material</b>	$H$ [MJ/kg]
Braunkohle	8.9	Benzin	42	Butan	45.7
Holz (trocken)	15.5	Ethanol	26.7	Erdgas	38
Steinkohle	29.3	Heizöl	42.7	Wasserstoff	120

**Wärmeleitfähigkeit von Baustoffen bei 20 °C**

Material	$\lambda$ [W/(m K)]	Material	$\lambda$ [W/(m K)]	Material	$\lambda$ [W/(m K)]
Backstein	0.44	Holztäfer	0.15	Stahlbeton	1.8
Beton	1.4	Kork	0.045	Steinwolle	0.040
Fensterglas	1.0	Leichtbeton	0.22	Polystyrolschaum	0.040

**Emissionszahl von Oberflächen bei 20 °C**

Material	$\varepsilon$	Material	$\varepsilon$	Material	$\varepsilon$
Aluminium (poliert)	0.04	Kupfer (oxidiert)	0.6	Menschliche Haut	0.98
Aluminium (oxidiert)	0.3	Anstrichfarbe	0.9	Vegetation	0.95
Kupfer (poliert)	0.04	Sand	0.45	Wasser	0.96

## G. Elektrizität

### Spezifischer elektrischer Widerstand bei 20 °C (Leiter und Halbleiter)

Material	$\varrho$ [ $\Omega\text{m}$ ]	Material	$\varrho$ [ $\Omega\text{m}$ ]	Material	$\varrho$ [ $\Omega\text{m}$ ]
Aluminium	$2.65 \cdot 10^{-8}$	Konstantan	$4.90 \cdot 10^{-8}$	Silber	$1.59 \cdot 10^{-8}$
Blei	$21.0 \cdot 10^{-8}$	Kupfer	$1.7 \cdot 10^{-8}$	Tellur	$5.0 \cdot 10^{-3}$
Eisen	$9.7 \cdot 10^{-8}$	Messing	$7.0 \cdot 10^{-8}$	Silizium	$1.7 \cdot 10^{+4}$
Germanium	$6.8 \cdot 10^{-1}$	Nickel	$7.8 \cdot 10^{-8}$	Wolfram	$5.3 \cdot 10^{-8}$
Gold	$2.2 \cdot 10^{-8}$	Platin	$10.0 \cdot 10^{-8}$	Zink	$5.8 \cdot 10^{-8}$

### Spezifischer elektrischer Widerstand bei 20 °C und Dielektrizitätszahl (Isolatoren)

Material	$\varrho$ [ $\Omega\text{m}$ ]	$\varepsilon_r$	Material	$\varrho$ [ $\Omega\text{m}$ ]	$\varepsilon_r$
Bernstein	$1 \cdot 10^{18}$	2.6	Polyvinylchlorid	$1 \cdot 10^{13}$	6.1
Glimmer	$5 \cdot 10^{14}$	7	Quarzglas	$3 \cdot 10^{14}$	4
Hartgummi	$1 \cdot 10^{16}$	3.5	Wasser (destilliert)	$2 \cdot 10^{12}$	80
Plexiglas	$1 \cdot 10^{13}$	3.4	Luft		1.0006

### Ladungsträgerdichte

Material	$n$ [ $1/\text{m}^3$ ]	Material	$n$ [ $1/\text{m}^3$ ]
Kupfer	$8.47 \cdot 10^{28}$	Eisen	$17.0 \cdot 10^{28}$
Aluminium	$18.1 \cdot 10^{28}$	Gold	$5.9 \cdot 10^{28}$
Silber	$5.86 \cdot 10^{28}$	Zink	$13.2 \cdot 10^{28}$

## H. Optik

### Brechzahl/Brechungsindex bei 20 °C

Material	$n$	Material	$n$	Material	$n$
Diamant	2.417	Plexiglas	1.491	Titandioxid	2.52
Eis	1.31	Quarzglas	1.458	Wasser	1.333
Ethanol	1.362	Rubin	1.76	Zirkon	1.92
Fensterglas	1.5	Steinsalz	1.544	Zuckerlösung (30%)	1.38

# I. Moderne Physik

## Austrittsarbeit und Grenzwellenlänge

Material	$W_A$ [eV]	$\lambda_{\max}$ [nm]	Material	$W_A$ [eV]	$\lambda_{\max}$ [nm]
Aluminium	4.20	295	Nickel	5.09	243
Caesium	1.94	639	Silber	4.43	273
Kupfer	4.84	256	Zink	4.34	285

## Ausgewählte Nuklide

$Z$	Ordnungszahl				rel. H.	relative Häufigkeit		
Sy	chemisches Symbol				$T_{1/2}$	Halbwertszeit		
$A$	Nukleonenzahl					(a Jahre, d Tage, m Minuten, s Sekunden)		
$M$	molare Masse				$E$	Zerfallsenergie		
$Z$	Name	Sy	$A$	$M$ [g/mol]	rel. H. [%]	$T_{1/2}$	Zerfallsart	$E$ [MeV]
1	Wasserstoff	H	1	1.008	99.989			
			2	2.014	0.015			
			3	3.016		12.33 a	$\beta^-$	0.0186
2	Helium	He	3	3.016	0.00014			
			4	4.003	99.999			
6	Kohlenstoff	C	12	12.000	98.93			
			13	13.003	1.07			
			14	14.003		5 730 a	$\beta^-$	0.1565
7	Stickstoff	N	14	14.003	99.632			
			15	15.000	0.368			
8	Sauerstoff	O	16	15.995	99.757			
			17	16.999	0.038			
			18	17.999	0.205			
10	Neon	Ne	20	19.992	90.48			
			21	20.993	0.27			
			22	21.991	9.25			
11	Natrium	Na	22	21.990		2.6019 a	$\beta^+ \epsilon$	0.545
			23	22.989	100			
			24	23.991		14.959 h	$\beta^- \gamma$	1.393
13	Aluminium	Al	27	26.981	100			
19	Kalium	K	39	38.964	93.258			
			40	39.964	0.012	$1.28 \cdot 10^9$ a	$\beta^- \gamma$	1.311
			41	40.962	6.730			
26	Eisen	Fe	54	53.940	5.845			
			56	55.935	91.754			
			57	56.935	2.119			
			58	57.933	0.282			
27	Kobalt	Co	59	58.933	100			
			60	59.934		5 271 a	$\beta^- \gamma$	2.824
28	Nickel	Ni	58	57.935	68.0767			
			60	59.931	26.223			
			62	61.928	3.635			

Ausgewählte Nuklide (Fortsetzung)								
<i>Z</i>	Name	Sy	<i>A</i>	<i>M</i> [g/mol]	rel. H. [%]	<i>T</i> <sub>1/2</sub>	Zerfallsart	<i>E</i> [MeV]
29	Kupfer	Cu	63	62.930	69.17			
			65	61.928	30.83			
32	Germanium	Ge	70	69.924	20.84			
			72	71.922	27.54			
			73	72.923	7.73			
			74	73.921	36.28			
			76	75.921	7.61			
38	Strontium	Sr	84	83.913	0.56			
			86	85.909	9.86			
			87	86.909	7.00			
			88	87.906	82.58			
			90	89.908		28.79 a	$\beta^-$	0.546
47	Silber	Ag	107	106.905	51.839			
			108	107.906		2.37 m	$\beta^-$	1.649
			109	108.905	48.161			
			110	109.906		24.6 s	$\beta^- \gamma$	2.892
53	Iod	I	127	126.904	100			
			128	127.906		25.00 m	$\beta^- \gamma$	2.118
			131	130.906		8.040 d	$\beta^- \gamma$	0.971
55	Caesium	Cs	133	132.905	100			
			137	136.907		30.07 a	$\beta^- \gamma$	1.176
78	Platin	Pt	192	191.961	0.782			
			194	193.963	32.967			
			195	194.965	33.832			
			196	195.965	25.242			
			198	197.968	7.163			
79	Gold	Au	197	196.967	100			
			198	197.968		2.695 d	$\beta^- \gamma$	1.372
80	Quecksilber	Hg	196	195.966	0.15			
			198	197.967	9.97			
			199	198.968	16.87			
			200	199.968	23.10			
			201	200.970	13.18			
			202	201.971	29.86			
			204	203.973	6.87			
82	Blei	Pb	204	203.973	1.4			
			206	205.974	24.1			
			207	206.976	22.1			
			208	207.977	52.4			
			210	209.984		22.3 a	$\beta^- \gamma$	0.0635
86	Radon	Rn	220	220.011		22.3 a	$\alpha$	0.0635
			222	222.018		55.6 s	$\alpha$	6.29
92	Uran	U	235	235.044	0.720	$7.04 \cdot 10^8$ a	$\alpha \gamma$	4.679
			238	238.051	99.2745	$4.46 \cdot 10^9$ a	$\alpha \gamma$	4.2
94	Plutonium	Pu	239	239.052		$2.41 \cdot 10^4$ a	$\alpha \gamma$	5.2

## J. Astronomie

### Kosmische Umgebung der Erde

#### Milchstrasse

Durchmesser	111 000 LJ	Gesamtmasse	$1.4 \cdot 10^{12} \cdot m_{\odot}$
Dicke im Zentrum	16 000 LJ	Scheibenmasse	$2 \cdot 10^{11} \cdot m_{\odot}$
Dicke aussen	3 000 LJ	Mittlere Dichte	$7 \cdot 10^{-2} \text{ kg/m}^3$
Halodurchmesser	160 000 LJ	Rotationsgeschwindigkeit (am Ort der Sonne)	225 km/s

#### Sonne $\odot$

Radius Äquator	$6.96 \cdot 10^8 \text{ m}$	Oberflächentemperatur	5 778 K
Masse	$1.989 \cdot 10^{30} \text{ kg}$	Strahlungsleistung	$3.826 \cdot 10^{26} \text{ W}$
Fallbeschleunigung	$274 \text{ m/s}^2$	Solarkonstante	$1 380 \text{ W/m}^2$
Dichte im Zentrum	$1.62 \cdot 10^5 \text{ kg/m}^3$	Abstand vom Zentrum	25 000 LJ
Druck im Zentrum	$2.45 \cdot 10^{11} \text{ bar}$	Abstand von der Hauptebene	40 LJ
Temperatur im Zentrum	$1.57 \cdot 10^7 \text{ K}$		

#### Erde $\oplus$

Radius		Fluchtgeschwindigkeit	11 186 m/s
- Äquator	$6.378 \cdot 10^6 \text{ m}$	Oberflächentemperatur	288 K
- Pol	$6.356 \cdot 10^6 \text{ m}$	grosse Bahnhalbachse	$1.496 \cdot 10^{11} \text{ m}$
Masse	$5.975 \cdot 10^{24} \text{ kg}$	numerische Exzentrizität	0.01671
Fallbeschleunigung		siderische* Umlaufszeit	365.25636 d
- Normwert	$9.80665 \text{ m/s}^2$	Sterntag	86 164.09 s
- Äquator	$9.7803 \text{ m/s}^2$	Sonnentag	86 000.00 s
- Pol	$9.8322 \text{ m/s}^2$		

#### Mond $\mathbb{C}$

Radius	$1.7375 \cdot 10^6 \text{ m}$	grosse Bahnhalbachse	$3.844 \cdot 10^8 \text{ m}$
Masse	$7.349 \cdot 10^{22} \text{ kg}$	numerische Exzentrizität	0.0549
Fallbeschleunigung	$1.622 \text{ m/s}^2$	siderische Umlaufszeit	27.322 d

\* Siderisch heisst, auf die Fixsterne bezogen.

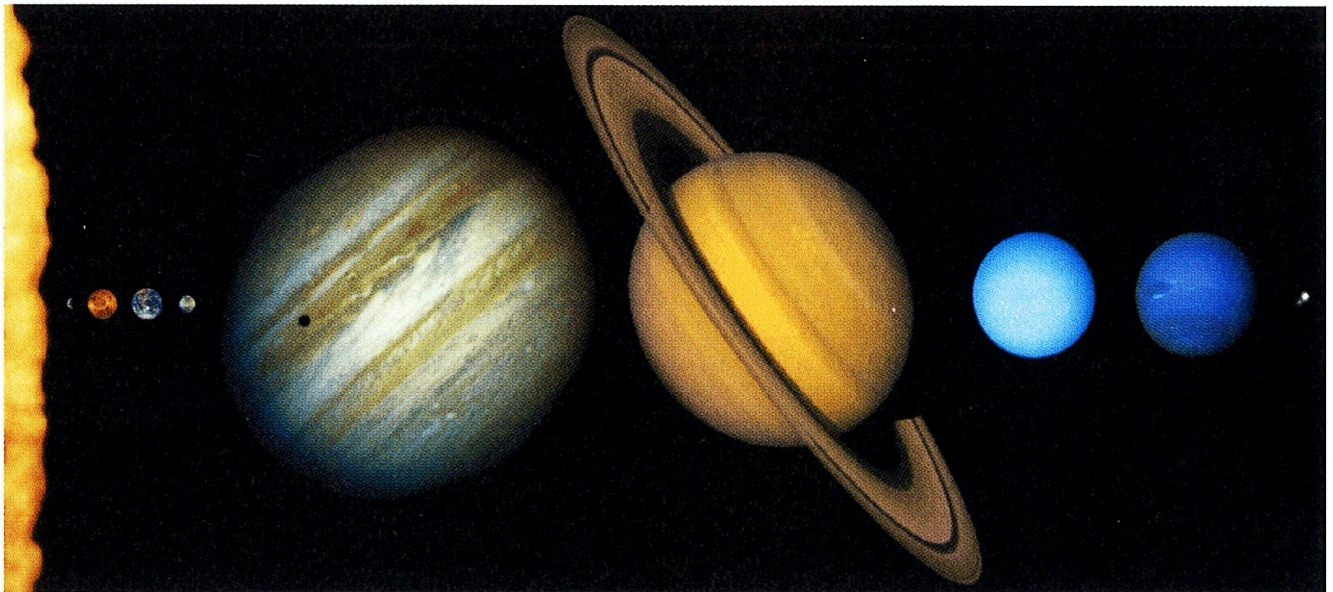


Milchstrasse, x: Ort der Sonne im Abstand von etwa 25 000 LJ vom Zentrum aus gemessen.



## Planeten und Zwergplaneten

$R$	Planetenradius	$T_A$	Oberflächentemperatur			$T$	Umlaufzeit	
$M$	Planetenmasse	$a$	grosse Bahnhalbachse					
$g$	Fallbeschleunigung	$\varepsilon$	numerische Exzentrizität					
Planeten		$R$ [10 <sup>6</sup> m]	$M$ [10 <sup>22</sup> kg]	$g$ [m/s <sup>2</sup> ]	$T_A$ [K]	$a$ [AE]	$\varepsilon$	$T$ [a]
Merkur	♿	2.4397	33.022	3.70	440	0.3871	0.20563	0.241
Venus	♀	6.0518	486.90	8.83	737	0.7233	0.00673	0.615
Erde	♁	6.37814	597.42	9.81	288	1.0000	0.01671	1.000
Mars	♂	3.3962	64.191	3.7	210	1.5237	0.09341	1.881
Jupiter	♃	71.492	189 880	23.1	165	5.2034	0.04839	11.862
Saturn	♄	60.268	56 852	9.0	134	9.5371	0.05415	29.457
Uranus	♅	25.559	8 684.0	8.7	76	19.19	0.05415	84.01
Netpun	♆	24.764	10 245	11.0	72	30.07	0.00859	164.78
Zwergplaneten								
Ceres		0.4785	0.0946	0.27	167	2.7668	0.080	4.60
Pluto		1.195	0.13	0.6	50	39.48	0.24881	247.67
Eris		1.20	1.66	0.8	43	67.6659	0.44	556.6



Planetengrößen massstäblich; Abstände nicht massstäblich

