

Formelsammlung Physik

Version Juni 2015

Inhaltsverzeichnis

1	Physikalische Grössen	2
2	Geometrische Optik	4
3	Kraft (Statik)	4
4	Drehmoment	5
5	Energie, Arbeit, Leistung	5
6	Flüssigkeit und Gase	6
7	Kinematik	7
8	Dynamik	8
9	Wärmelehre	10
10	Schwingungen und Wellen	13
11	Elektrostatik	15
12	Stationäre Ströme	16
13	Magnetismus und Induktion	17
14	Mathematische Formelsammlung	18

1 Physikalische Grössen

Basisgrössen in SI-Einheiten:

Basisgrösse	Symbol	Basiseinheit	Abkürzung
Länge	$\ell(s, r...)$	Meter	m
Zeit	t	Sekunde	s
Masse	m	Kilogramm	kg
Stromstärke	I	Ampere	A
Temperatur	T	Kelvin	K
Stoffmenge	n	Mol	mol
Lichtstärke	I_V	Candela	cd

Weitere Physikalische Grössen und ihre Einheiten:

Grösse	Symbol	Einheit	Abkürzung	Basiseinheit
Kraft	F	Newton	N	$\frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2}$
Energie	E	Joule	J	$\text{Nm} = \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2}$
Leistung	P	Watt	W	$\text{Js}^{-1} = \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^3}$
Druck	p	Pascal	Pa	$\frac{\text{N}}{\text{m}^2} = \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}^2}$
Ladung	Q	Coulomb	C	A · s
Spannung	U	Volt	V	$\frac{\text{J}}{\text{C}}$
Widerstand	R	Ohm	Ω	$\frac{\text{V}}{\text{A}}$
Magnetische Flussdichte	B	Tesla	T	$\frac{\text{V} \cdot \text{s}}{\text{m}^2}$

Vorsatz	Kürzel	Potenz
Exa	E	10^{18}
Peta	P	10^{15}
Tera	T	10^{12}
Giga	G	10^9
Mega	M	10^6
Kilo	k	10^3
Hekto	h	10^2
Deka	da	10^1

Vorsatz	Kürzel	Potenz
Dezi	d	10^{-1}
Centi	c	10^{-2}
Milli	m	10^{-3}
Mikro	μ	10^{-6}
Nano	n	10^{-9}
Pico	p	10^{-12}
Femto	f	10^{-15}
Atto	a	10^{-18}

Griechisches Alphabet

Alpha	A	α
Beta	B	β
Gamma	Γ, Γ	γ
Delta	Δ, Δ	δ
Epsilon	E	ϵ, ε
Zeta	Z	ζ
Eta	H	η
Theta	Θ, Θ	θ, ϑ
Iota	I	ι
Kappa	K	κ, \varkappa
Lambda	Λ, Λ	λ
Mü	M	μ
Nü	N	ν
Xi	Ξ, Ξ	ξ
Omikron	O	o
Pi	Π, Π	π, ϖ
Rho	P	ρ, ϱ
Sigma	Σ, Σ	σ, ς
Tau	T	τ
Ypsilon	Υ, Υ	υ
Phi	Φ, Φ	ϕ, φ
Chi	X	χ
Psi	Ψ, Ψ	ψ
Omega	Ω, Ω	ω

2 Geometrische Optik

Reflexionsgesetz: $\alpha = \alpha'$ α : Einfallswinkel,
 α' : Reflexionswinkel/ Ausfallswinkel

Brechungsgesetz: $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1}$ β : Brechungswinkel,
 n_1 : Vakuumbrechungsindex von Medium 1,
 n_2 : Vakuumbrechungsindex von Medium 2

Abbildungsgleichung (dünne Linse): $\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$ a : Gegenstandsweite,
 b : Bildweite, f : Brennweite

Vergrößerungsgleichung: $v = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{b}{a}$ v : Vergrößerung,
 $\overline{A'B'}$: Bildgrösse,
 \overline{AB} : Gegenstandsgrösse

Verschiedene Vakuumbrechungsindizes:

Vakuum \rightarrow Medium	n_{Medium}	Vakuum \rightarrow Medium	n_{Medium}
Vakuum	1	Eis	1.31
Luft	1.0003 \approx 1	Plexiglas M222	1.491
Wasser	1.333000	Äthanol	1.3617
Gläser	1.45 bis 1.93	Diamant	2.47

3 Kraft (Statik)

Gewichtskraft $F_G = m \cdot g$ F_G : Gewichtskraft, m : Masse,
 g : Ortsfaktor (9.81 N/kg bei 45°N), $[F] = \text{kg} \cdot \text{m}/\text{s}^2 = \text{N}$

Gesetz von Hook $F_F = D \cdot s$ F_F : Federkraft, D : Federkonstante in N/m, s : Federverlängerung

in m
Gleitreibungskraft $F_{GR} = \mu_G F_N$ μ_G : Gleitreibungskoeffizient,
 F_N : Normalkraft

Rollreibungskraft $F_{RR} = \mu_R F_N$ μ_R : Rollreibungskoeffizient

Haftreibungskraft $F_{HR} \leq \mu_H F_N$ μ_H : Haftreibungskoeffizient

Typische Werte Gleit- und Haftreibungskoeffizienten:

Stoffpaar	Gleitreibung μ_G	Haftreibung μ_H
Holz – Holz	0.3 \pm 0.1	0.4 \pm 0.2
Stahl – Stahl	0.42	0.78
Pneu – Strasse	0.65 \pm 0.15	0.85 \pm 0.15
Ski – Schnee	0.12 \pm 0.08	0.2 \pm 0.1
Gelenk – Gelenk	0.3 \pm 0.15	

Typische Werte Rollreibungskoeffizienten:

Stoffpaar	Rollreibung μ_R
Autoreifen – Asphalt	0.008 \pm 0.002
Autoreifen – Schotter	0.02 \pm 0.01
Eisenbahnrad – Schiene	0.0015 \pm 0.0005
Veloreifen – Asphalt	0.007

4 Drehmoment

Drehmoment $M = a \cdot F$ a : Hebelarm in m

Momentensatz
(im Gleichgewicht) $M_{total} = \sum_i M_i = 0$

5 Energie, Arbeit, Leistung

Mechanische Arbeit $W = \Delta E_{mech}$ ΔE_{mech} : Energieänderung eines offenen Systems, W : Arbeit einer äusseren Kraft an diesem System. $[W] = [\Delta E] = [E] =$

Kilokalorie: 1 kcal = 4187 J

$W = \Delta E = F_{||} \cdot \Delta s$ $F_{||}$: Kraft entlang des Wegs, Δs : Wegänderung in m

Hubarbeit $W_{Hub} = \Delta E_{pot} = m \cdot g \cdot \Delta h$ h : Höhe in m

Lageenergie $E_{pot} = m \cdot g \cdot h$ wenn $E_{pot} = 0$ mit $h = 0$

Beschleunigungsarbeit $W_{kin} = \Delta E_{kin} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot (v_2^2 - v_1^2)$ v_1 : Anfangsgeschwindigkeit, v_2 : Endgeschwindigkeit, $[v] = \text{m/s}$

Kinetische Energie $E_{kin} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$ wenn $E_{kin} = 0$ mit $v = 0$

Spannarbeit $W_{Spann} = \Delta E_{Spann} = \frac{1}{2} \cdot D \cdot (s_2^2 - s_1^2)$ D : Federkonstante, s_1 / s_2 : Federveränderung am Anfang/Ende

Energie der gespannten Feder $E_{Spann} = \frac{1}{2} \cdot D \cdot s^2$

Reibarbeit $W_R = \Delta E_R = F_R \cdot \Delta s$ F_R : Reibkraft

Änderung der Wärmeenergie $Q = \Delta E_{therm} = c \cdot m \cdot \Delta \vartheta$ c : spezifische Wärmekapazität in J/(kg·°C), $\Delta \vartheta$: Temperaturänderung in °C, Q : Wärme in J

Leistung $P = \frac{W}{\Delta t} = \frac{\Delta E}{\Delta t}$ P : Leistung in W

Pferdestärke: 1PS=735.5 W

Wirkungsgrad $\eta = \frac{\Delta E_{genutzt}}{\Delta E_{aufgewendet}}$

Energieerhaltungssatz $E_{tot} = \sum_i E_i = \text{konst.}$ $\Delta E = \sum_i \Delta E_i = 0$
 $E_{Anfang} = E_{Ende}$

6 Flüssigkeit und Gase

Druck	$p = \frac{F}{A}$	F : Kraft in N, A : Fläche in m^2 , p : Druck in Pa Atmosphärendruck: $p_0 = 1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$
Dichte	$\rho = \frac{m}{V}$	m : Masse in kg, V : Volumen in m^3 , ρ : Dichte in kg/m^3
Schweredruck	$p = \rho \cdot g \cdot h$	g : Ortsfaktor (9.81 N/kg)
Auftriebskraft	$F_A = \rho_F \cdot g \cdot V_{\text{Ein}}$	V_{Ein} : Volumen des eingetauchten Körpers, ρ_F : Dichte des umgebenden Fluids

Tabelle: Dichte von Stoffen:

Feste Stoffe bei 20 °C	ρ in $10^3 \text{ kg}/\text{m}^3$
Aluminium	2.70
Blei	11.34
Diamant	3.51
Eis bei 0 °C	0.917
Eisen	7.86
Fichtenholz	0.50
Glas	2.5
Gold	19.29
Graphit	2.24
Kork	0.2
Kupfer	8.92
Magnesium	1.74
Marmor	2.5
Messing	8.47
Platin	21.45
Silber	10.5
Stahl (unlegiert)	7.85
Styropor	0.017
Titan	4.50
Wolfram	19.27

(NTP steht für *Normtemperatur* und *Normdruck*: 0 °C und $1.013 \cdot 10^5 \text{ Pa}$.)

Flüssigkeiten bei NTP	ρ in $10^3 \text{ kg}/\text{m}^3$
Wasser (H_2O)	1.000
Quecksilber (Hg)	13.595
Ethanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) bei 20 °C	0.789
Benzin	0.70

Gase bei NTP	ρ in kg/m^3
Luft (Massenanteile: 23 % O_2 ; 76 % N_2 ; 1 % Ar)	1.293
Kohlendioxid (CO_2)	1.977
Wasserstoff (H_2)	0.0899
Helium (He)	0.1785
Argon (Ar)	1.748
Sauerstoff (O_2)	1.428
Stickstoff (N_2)	1.250

7 Kinematik

Allgemeine Beschreibung von Bewegungen:

Mittlere Geschwindigkeit $\langle v \rangle = \frac{\Delta s}{\Delta t}$ Δs : Wegänderung/ Distanz in m, Δt : Zeitdauer/ Zeitintervall in s, $[v] = \text{m/s}$

Mittlere Beschleunigung $\langle a \rangle = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ Δv : Geschwindigkeitsänderung, $[a] = \text{m/s}^2$

Momentangeschwindigkeit $v(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t}$ $v(t)$: Geschwindigkeit zum Zeitpunkt t

Momentanbeschleunigung $a(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t}$ $a(t)$: Beschleunigung zum Zeitpunkt t

Geradlinige, gleichförmige Bewegung ($v = \text{konst.}$, $a = 0$):

Geschwindigkeit $v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$ Δs : Wegänderung, Δt : Zeitdauer

Geradlinige, gleichmäßig beschleunigte Bewegung ($a = \text{konst.}$):

Beschleunigung $a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v(t) - v_0}{t}$ v_0 : Geschwindigkeit zum Zeitpunkt 0, $v(t)$: Geschwindigkeit zum Zeitpunkt t

Geschwindigkeit zum Zeitpunkt t $v(t) = v_0 + at$

Ort zum Zeitpunkt t $s(t) = v_0 t + \frac{1}{2} at^2$

Geschwindigkeit beim Ort s $v(s) = \sqrt{v_0^2 + 2as}$

8 Dynamik

Grundgleichung der Mechanik:

Definition der Kraft $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$ $[F] = \text{kg} \cdot \text{m}/\text{s}^2 = \text{N}$

Kreisbewegung:

Geschwindigkeit Punkt auf Kreisbahn $v = \frac{2\pi r}{T} = \omega \cdot r$ r : Radius in m, T : Umlaufzeit in s, ω : Winkelgeschwindigkeit in s^{-1}

Winkelgeschwindigkeit $\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{\Delta\varphi}{r}$

Winkelkoordinate $\varphi = \frac{b}{r}$ b : Bogenlänge, $[\varphi] = \text{rad}$

Frequenz $f = \frac{1}{T}$

Zentripetalbeschleunigung $a_z = \frac{v^2}{r} = \omega^2 \cdot r$

Zentripetalkraft $F_z = m \cdot a_z = m \cdot \frac{v^2}{r} = m \cdot \omega^2 \cdot r$

Impuls:

Impuls $\vec{p} = m \cdot \vec{v}$

Kraftstoss $F \cdot \Delta t = \Delta p$ falls F konstant

Impulserhaltung $\vec{p}_{total} = \sum_{i=1}^n \vec{p}_i = \text{konstant}$ \vec{p}_{total} : Gesamtimpuls im abgeschlossenen System, \vec{p}_i : Einzelimpulse

Vollständig elastischer Stoss:

Geschwindigkeit des Körpers 1 nach dem Stoss $v'_1 = \frac{(m_1 - m_2)v_1 + 2m_2v_2}{m_1 + m_2}$ v_1 : Geschwindigkeit des Körpers 1 vor dem Stoss

Geschwindigkeit des Körpers 2 nach dem Stoss $v'_2 = \frac{2m_1v_1 + (m_2 - m_1)v_2}{m_1 + m_2}$ v_2 : Geschwindigkeit des Körpers 2 vor dem Stoss

Energieerhaltung elastischer Stoss $E_{kin} = E'_{kin}$ E_{kin} : kinetische Energie vor dem Stoss, E'_{kin} : kinetische Energie nach dem Stoss

$E_{Def} = 0$ E_{Def} : Deformations- und Reibungsenergie

Vollständig inelastischer Stoss:

Geschwindigkeit nach Stoss $v' = \frac{m_1v_1 + m_2v_2}{m_1 + m_2}$

Energieerhaltung inelastischer Stoss $E_{kin} = E'_{kin} + E_{Def}$

Keplersche Gesetze:

1. Gesetz

Die Planeten bewegen sich auf elliptischen Bahnen, in deren einem gemeinsamen Brennpunkt die Sonne steht.

2. Gesetz

$$\frac{\Delta A}{\Delta t} = \frac{\pi ab}{T} = \text{konst.}$$

ΔA : Überstrichene Fläche des Fahrstrahls von m_z zu m , m_z : Zentralmasse (Sonne), m : kleinere Masse (Planet), a, b : Halbachsen ($a > b$), T : Umlaufzeit

3. Gesetz

$$\frac{a^3}{T^2} = \frac{Gm_z}{4\pi^2} = \text{konst.}$$

G : Gravitationskonstante
 $G = 6.67 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2\text{kg}^{-2}$

Gravitation:

Gravitationskraft zwischen zwei Körper

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

r : Abstand der zwei Körper,
 G : Gravitationskonstante,
 m_1, m_2 : Massen 1 und 2

Hubarbeit im Gravitationsfeld

$$\Delta E_{pot} = G \cdot m_1 \cdot m_2 \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) = W_{Hub}$$

r_1 : Anfangsabstand, r_2 : Endabstand

Astrophysikalische Daten:

Astronomische Einheit 1 AE $\approx 1.495979 \cdot 10^{11}$ m

Lichtjahr 1 ly = Weg des Lichts in einem Jahr

Erde:	Masse:	$5.974 \cdot 10^{24}$ kg
	Radius Äquator:	6378 km
	polarer Radius:	6357 km
	mittlerer Radius (volumengleiche Kugel):	6371 km
	Siderische Rotationsdauer:	23 h 56 min 04.1 s = 23.9345 h
Siderische Umlaufszeit:	365.256 d	

Sonne:	Masse	$1.989 \cdot 10^{30}$ kg
	Radius:	$6.960 \cdot 10^8$ m
	Entfernung von Erde:	150 Millionen Kilometer

Mond:	Masse:	$7.348 \cdot 10^{22}$ kg
	Radius:	$1.738 \cdot 10^6$ m
	Siderische Umlaufszeit:	27.3 d
	Entfernung von Erde:	384 Tausend Kilometer

9 Wärmelehre

Kelvin- und Celsius-temperatur	$\frac{T}{\text{K}} = \frac{\vartheta}{\text{°C}} + 273$	T : Temperatur in K, ϑ : Temperatur in °C
Celsius- und Fahrenheittemperatur	$\frac{f}{\text{°F}} = 1.8 \cdot \frac{\vartheta}{\text{°C}} + 32$	f : Temperatur in °F (Fahrenheit)
Thermische Längenausdehnung	$\Delta \ell = \ell_0 \cdot \alpha \cdot \Delta \vartheta$	$\Delta \ell$: Längenänderung in m, ℓ_0 : Anfangslänge in m, α : Längenausdehnungskoeffizient in °C ⁻¹ , $\Delta \vartheta$: Temperaturänderung in °C
Thermische Volumenausdehnung	$\Delta V = V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta \vartheta$	ΔV : Volumenänderung, V_0 : Anfangsvolumen, γ : Volumenausdehnungskoeffizient
Allgemeine Gasgleichung des idealen Gases	$\frac{p \cdot V}{T} = \text{konst.}$	p : Druck in Pa, T : Temperatur in K
	$\frac{p}{T \cdot \rho} = \text{konst.}$	ρ : Dichte in kg/m ³
Universelle Gasgleichung des idealen Gases	$\frac{p \cdot V}{T} = n \cdot R$	n : Stoffmenge in mol, Universelle Gaskonstante $R=8.31 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$
Teilchenzahl	$N = n \cdot N_A$	Avogadrokonstante $N_A = 6.022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
Mittlere Translationsenergie eines Teilchens	$E_k = \frac{1}{2} m \langle v \rangle^2 = \frac{2}{3} k \cdot T$	k : Boltzmann-Konstante: $1.38065 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$
Innere Energie	$U = E_{\text{innen}}$	$[U] = [E_{\text{innen}}] = J$
Erster Hauptsatz	$\Delta U = Q + W$ $\Delta E_{\text{innen}} = \Delta E_{\text{therm}} + \Delta E_{\text{mech}}$	Q : Wärme in J, W : mechanische Arbeit in J
Änderung der Wärmeenergie (ohne Aggregatzustandsänderung):	$Q = \Delta E_{\text{therm}} = c \cdot m \cdot \Delta T$	ΔE_{therm} : Änderung der inneren Energie in J, c : Wärmekapazität in J/(K·kg), m : Masse, ΔT : Temperaturänderung in K
Spezifische Schmelz- bzw. Erstarrungswärme	$Q = L_f \cdot m = \Delta E_{\text{therm}}$	L_f : spezifische Schmelzwärme in J/kg, m : Masse
Spezifische Verdampfungs- bzw. Kondensationswärme	$Q = L_v \cdot m = \Delta E_{\text{therm}}$	L_v : Spezifische Verdampfungswärme in J/kg
Mechanische Arbeit am Gas	$W = \Delta E_{\text{mech}} = -p \cdot \Delta V$	p : Druck, ΔV : Volumenänderung

Wirkungsgrad	$\eta = \frac{E_{ab}}{E_{zu}}$	E_{ab} : Nutzenergie, E_{zu} : Zugeführte Energie
Carnot-Wirkungsgrad	$\eta_C = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$	T_1 : Temperatur des wärmeren Reservoirs, T_2 : Temperatur des kälteren Reservoirs
Erster Hauptsatz der Wärmelehre	$\Delta U = Q + W$ $\Delta E_{innen} = \Delta E_{therm} + \Delta E_{mech}$	$\Delta U = \Delta E_{innen}$: Änderung der inneren Energie, $Q > 0$: zugeführte Wärme, $W > 0$: am System verrichtete Arbeit

Entropie:

Thermodynamische Entropie	$\Delta S = \frac{Q_{rev}}{T} = \frac{\Delta E_{therm,rev}}{T}$	S : Entropie in J/K, für reversible Prozesse
Statistische Entropie	$S = k \ln \Omega$	k : Boltzmann-Konstante $1.381 \cdot 10^{26}$ J/K, Ω : Anzahl Zustände bei gegebener Gesamtenergie und Teilchenzahl
Zweiter Hauptsatz	$\Delta S \geq 0$	im abgeschlossenen System (für reversible Prozesse gilt $\Delta S = 0$)

Wärmetransport:

Stefan-Boltzmann-Gesetz	$P = \sigma \cdot A \cdot T^4$	P : thermische Strahlungsleistung eines schwarzen Körpers in W, σ : Stefan-Boltzmann-Konstante $\sigma = 5.670 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}$, T : Temperatur in K, A : Flächeninhalt in m^2
Strahlungsfluss	$\Phi = \frac{P}{A} = \sigma \cdot T^4$	Φ : Strahlungsfluss in W/m^2
Wiensches Verschiebungsgesetz	$\lambda_{max} = \frac{2.896 \cdot 10^{-3} K \cdot m}{T}$	λ_{max} : Wellenlänge mit grösster thermischer Strahlungsleistung
Wärmestrom (Wärmeleitung)	$P_{therm} = \lambda \cdot \frac{A}{\ell} \cdot \Delta T$	P_{therm} : Wärmestrom in W, A : Querschnittsflächeninhalt in m^2 , ℓ : Länge in m, λ : Spezifische Wärmeleitfähigkeit in $W/(mK)$

Tabelle 1: Spezifische Wärmekapazität c von Flüssigkeiten (bei 0 °C und 1 bar Druck):

Flüssigkeit	c in $\frac{J}{kg \cdot K}$
Ethanol (Ethylalkohol)	2428
Methanol (Methylalkohol)	2470
Quecksilber	139
Wasser (bei 20 °C)	4187

Tabelle 2: Spezifische Wärmekapazität c_p und c_v von Gasen (bei 20 °C und 1 bar Druck):

Gas	c_p in $10^3 \frac{J}{kg \cdot K}$	c_v in $10^3 \frac{J}{kg \cdot K}$
Ammoniak	2.160	1.655
Helium	5.23	3.21
Kohlendioxid	0.837	0.647
Luft	1.005	0.717
Sauerstoff	0.917	0.656
Wasserdampf	1.038	0.741
Wasserstoff	14.32	10.2

Tabelle 3: Längenausdehnungskoeffizient α von festen Stoffen:

Feste Stoffe bei 20 °C	α in $10^{-6} (\text{°C})^{-1}$
Aluminium (gewalzt)	23.2
Aluminium (rein)	23.0
AlPO ₄ -17	-11.7
Beton	6 bis 14
Blei	29.3
Bronze	17.5
Eisen	12.2
Fensterglas	7.6
Glaskeramik (Ceran)	$ \alpha < 0.1$
Gold	14.2
Granit	3.0
Graphit	2.0
Holz (Eiche)	8.0
Kochsalz	40.0
Kupfer	16.5
Messing	18.4
Platin	9.0
Silber	19.5
Stahl (unlegiert)	13.0
Titan	10.8
Wolfram	4.5
Zink	26.3
Zinkcyanid	-18.1
Zinn	26.7
Zirconiumwolframat	-8.7

Tabelle 4: Spezifische Wärmekapazität c von festen Stoffen (bei 0 °C und 1 bar Druck):

Festkörper	c in $\frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$
Aluminium	896
Beton	209
Blei	129
Eisen (rein)	439
Eis	2100
Fensterglas	800
Gold	130
Granit	790
Kohlenstoff (Diamant)	472
Kohlenstoff (Graphit)	715
Kupfer	381
Messing	389
Nickel	444
Platin	134
Silber	234
Stahl	477
Wolfram	134
Zink	389
Zinn	230

Tabelle 5: Volumenausdehnungskoeffizient γ von flüssigen Stoffen:

Flüssige Stoffe bei 20 °C	γ in $10^{-3} (\text{°C})^{-1}$
Ethanol (Ethylalkohol)	1.10
Methanol (Methylalkohol)	1.20
Quecksilber	0.182
Wasser	0.207

Tabelle 6: Schmelzpunkt ϑ_f und spezifische Schmelzwärme L_f :

Material	ϑ_f in °C	L_f in $10^5 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$
Aluminium	660.1	3.97
Blei	327.4	0.23
Eisen (rein)	1535	2.77
Gold	1063.0	0.64
Kupfer	1083	2.05
Messing	905	1.6
Platin	1769.3	1.11
Silber	960.8	1.045
Wolfram	3380	1.92
Zink	419.5	1.11
Zinn	231.9	0.596
Eis	0	3.338
Ethanol	-114.5	1.08
Methanol	-97.7	0.92
Quecksilber	-38.87	0.118

Tabelle 7: Siedepunkt ϑ_v und spezifische Verdampfungswärme L_v bei Normdruck:

Material	ϑ_v in °C	L_v in $10^5 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$
Ethanol	78.33	8.40
Methanol	64.6	11.0
Quecksilber	356.58	2.85
Wasser	100.0	22.56

Tabelle 8: Spezifische Wärmeleitfähigkeit λ :

Stoff	λ in $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$
Aluminium	239
Eisen	80
Gold	312
Kupfer	384
Messing	100
Silber	428
Stahl (V 2 A)	15
Beton	1.0
Fensterglas	0.75
Tanne	0.3
Eis (0°C)	2.2
Isoliermaterial	0.04
Baumwolle	0.06
Wolle	0.04
Luft (wenn Konvektion verhindert wird)	0.025

10 Schwingungen und Wellen

Harmonische Schwingung:

Auslenkung	$y(t) = A \cdot \sin(\omega t + \Phi)$	$y(t)$: y-Auslenkung zum Zeitpunkt t , A : Amplitude, ω : Winkelgeschwindigkeit, Φ : Phase
Geschwindigkeit	$v(t) = A \cdot \omega \cos(\omega t + \Phi)$	$v(t)$: Geschwindigkeit zum Zeitpunkt t , mit $v_{max} = A \cdot \omega$
Beschleunigung	$a(t) = -A \cdot \omega^2 \sin(\omega t + \Phi)$	$a(t)$: Beschleunigung zum Zeitpunkt t , mit $a_{max} = A \cdot \omega^2$
Frequenz	$f = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi}$	T : Schwingungsdauer, Periode, f in $\text{Hz} = \text{s}^{-1}$
Kraftgesetz des harm. Oszillators	$\vec{F} = -k \cdot \vec{y}$ mit $k = m \cdot \omega^2$	k : Konstante, \vec{y} : Auslenkungsvektor in y-Richtung m : Masse
Schwingungszeit Federpendel	$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{D}}$	D : Federkonstante
Schwingungszeit Mathematisches Pendel	$T = 2\pi \sqrt{\frac{\ell}{g}}$	ℓ : Länge des Pendels
Wellen:		
Ausbreitungsgeschwindigkeit einer Welle	$c = \lambda \cdot f$	λ : Wellenlänge
Formeln zur zeitlichen Interferenz von zwei Wellen mit Frequenz f_1 und f_2	$f_{res} = \frac{f_1 + f_2}{2}$ $f_{Schweb.} = f_1 - f_2 $	f_{res} : Frequenz des resultierenden Tons $f_{Schweb.}$: Frequenz der Schwebung
Wellengleichung Sinuswelle	$f(x, t) = A \cdot \sin\left(\omega \left(t - \frac{x}{c}\right)\right)$	x : Ort
Wellengleichung stehende Welle	$f(x, t) = 2A \cdot \sin(\omega t) \cdot \cos\left(\frac{\omega x}{c}\right)$	

Beugung:

Interferenz von zwei Wellen	$\Delta s_{max} = n \cdot \lambda$ $\Delta s_{min} = (2n - 1) \cdot \frac{\lambda}{2}$ (mit $n \in \mathbb{Z}$)	$\Delta s_{max}/\Delta s_{min}$: Gangdifferenz zweier Maxima / Minima, n : Beugungsordnung, λ : Wellenlänge
Beugung am Doppelspalt	$\sin \alpha_{n.Hauptmax.} \approx \frac{\Delta s}{d} = \frac{n\lambda}{d}$ (mit $n \in \mathbb{Z}$)	n : Beugungsordnung, $\alpha_{n.Hauptmax.}$: Brechungswinkel bei Intensitätsmaxima, d : Gitterkonstante
Beugung am Strichgitter	$\sin \alpha_{n.Hauptmax.} = \frac{n\lambda}{d}$	
Beugung an der Spaltblende	$\sin \alpha_{1.Min.} = \frac{\lambda}{b}$ $\sin \alpha_{1.Max.} = \frac{3\lambda}{2b}$	b : Spaltbreite
Beugung an der Kreisblende	$\sin \alpha_{1.Min.} \approx 1.22 \cdot \frac{\lambda}{d}$	

Doppler-Effekt:

Bewegte Quelle, ruhender Beobachter:

(a) $\underline{v < c}$	$\lambda' = \lambda \left(1 \pm \frac{v}{c} \right)$	v : Geschwindigkeit der Quelle, c : Ausbreitungsgeschwindigkeit der Welle, + weg; - zu
	$f' = \frac{f}{1 \pm \frac{v}{c}}$	+ weg; - zu
(b) $\underline{v > c}$	$\sin \alpha = \frac{c}{v}$	(α ist der halbe Öffnungswinkel des Machschen Kegels)
Bewegter Beobachter, ruhende Quelle	$f' = f \left(1 \pm \frac{v}{c} \right)$	+ zu; - weg
Dopplerradar, für $v \ll c$ gilt:	$f_{Schweb.} = f'' - f \approx 2f \cdot \frac{v}{c}$	

Tabelle: Ausbreitungsgeschwindigkeiten:

Licht in ...	c in m/s	Schall in Medium	c in m/s
... Vakuum	$3.00 \cdot 10^8$... Luft	340
... Wasser	$2.25 \cdot 10^8$... Wasser	1483
... Glas	$1.60 \cdot 10^8$... Stahl	5050

11 Elektrostatik

Elementarladung	$e = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$	$1 \text{ C} = 1 \text{ A} \cdot \text{s}$
Masse des Elektrons	$m_e = 9.11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$	
Masse des Protons	$m_p = 1.67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$	
Coulombgesetz für Punktladungen	$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$	F : Kraft zwischen den Punktladungen Q_1 und Q_2 , r : Abstand
Influenzkonstante (elektrische Feldladung)	$\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2 \text{N}^{-1} \text{m}^{-2}$	$\text{C}^2 \text{N}^{-1} \text{m}^{-2} = \text{A} \cdot \text{s} / (\text{V} \cdot \text{m})$
Elektrische Feldstärke	$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$	q : Probeladung $[E] = \text{NC}^{-1} = \text{Vm}^{-1}$
Elektrisches Feld einer Punktladung	$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{r^2}$	r : Abstand vom Kugelzentrum
Elektrische Feldstärke im Plattenkondensator	$E = \frac{1}{\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{A} = \frac{U}{d}$	A : Flächeninhalt einer Platte, U : Spannung, d : Plattenabstand
Elektrisches Potential	$\varphi(\vec{r}) = - \int_{\vec{r}_0}^{\vec{r}} \vec{E}(\vec{r}') \cdot d\vec{r}'$	mit $\varphi(\vec{r}_0) = 0$
Definition der Spannung	$U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B = \frac{\Delta E_{AB}}{q}$	ΔE_{AB} : die am System verrichtete Arbeit wenn Probeladung q von A nach B verschoben wird.
	$U_{AB} = \int_{\vec{r}_A}^{\vec{r}_B} \vec{E}(\vec{s}) \odot d\vec{s}$	$[U] = \text{V}$, $\vec{s} = \overrightarrow{AB}$
Elektrische Arbeit	$ \Delta E_{AB} = U_{AB} \cdot Q $	
Kapazität	$C = \frac{Q}{U}$	$[C] = \text{F (Farad)} = \frac{\text{C}}{\text{V}}$
Serieschaltung	$\frac{1}{C_{tot}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots$	
Parallelschaltung	$C_{tot} = C_1 + C_2 + C_3 + \dots$	
Kapazität des Plattenkondensators	$C = \epsilon_0 \cdot \frac{A}{d}$	A : Flächeninhalt der Platte, d : Plattenabstand; $d \ll \sqrt{A}$
Energie des geladenen Plattenkondensators	$E_P = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{\epsilon_0} \cdot \frac{Q^2}{A} \cdot d = \frac{1}{2} C U^2$	
Energiedichte des elektrischen Feldes	$w = \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2$	$[w]$: J/m^3

12 Stationäre Ströme

Stromstärke	$I = \frac{Q}{\Delta t}$	$[I] = \text{A} = \text{Cs}^{-1}$
Definition des Widerstands	$R = \frac{U}{I}$	$[R] = \Omega = \text{VA}^{-1}$
Kabelwiderstand	$R = \varrho \cdot \frac{\ell}{A}$	ϱ : Spezifischer Widerstand, ℓ : Länge, A : Querschnittsflächeninhalt
Leistung	$P = U \cdot I$	$[P] = \text{W} = \text{J/s}$
Serieschaltung	$R_{tot} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$	
Parallelschaltung	$\frac{1}{R_{tot}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots$	

Kirchhoff'sche Gesetze

Knotenregel	$\sum_k I_k = 0$	Für eine Stromverzweigung (Knoten), Vorzeichen von I_k festlegen
Maschenregel	$\sum_k (I \cdot R)_k = \sum_i U_i$	Für jeden geschlossenen Umlauf (Masche), Umlaufsinn festlegen, U_i : Spannungsquellen

Tabelle: Spezifische Widerstände (bei 20°):

Spezifischer Widerstand ϱ	Ωm
Kupfer ϱ_{Cu}	$1.68 \cdot 10^{-8}$
Aluminium ϱ_{Al}	$2.82 \cdot 10^{-8}$
Silber ϱ_{Ag}	$1.59 \cdot 10^{-8}$

13 Magnetismus und Induktion

Magnetisches Feld	\vec{B}	$[B] = \text{T} = 10^5 \text{ Gauss}$
Lorenzkraft	$\vec{F}_L = q \cdot (\vec{v} \times \vec{B})$	\vec{v} : Geschwindigkeit, q : Probeladung
Kraft auf stromdurchflossenes Leiterelement (Biot-Savart- Kraft)	$d\vec{F} = I \cdot (d\vec{\ell} \times \vec{B})$	$d\vec{\ell}$: Leiterelement, I : Stromstärke
Magnetfeld eines Stromele- ments (Biot-Savart-Gesetz):	$d\vec{B} = \frac{\mu_0 \cdot I}{4\pi} \cdot \frac{d\vec{\ell} \times \vec{e}_r}{r^2}$	r : Abstand, \vec{e}_r : Einheitsvektor von r
Magnetische Feldkonstante	$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$	
Magnetfeld eines unendlich langen und geraden strom- durchflossenen Leiters	$B(r) = \mu_0 \cdot \frac{I}{2\pi r}$	r : Abstand von Drahtachse
Magnetfeld im Zentrum eines Kreisstromes	$B = \mu_0 \cdot \frac{I}{2r}$	
Magnetfeld einer langen, dünnen Spule	$B \approx \mu_0 \cdot I \cdot \frac{N}{\ell}$ für $\ell \gg d$	ℓ : Spulenlänge, d : Spulendurch- messer, N : Anzahl Windungen
Magnetischer Fluss (homo- gen)	$\phi = \vec{A}(t) \odot \vec{B}(t)$	\vec{A} : Flächenvektor (Normalenvek- tor der Fläche)
Induzierte Spannung	$U_{ind} = -\frac{d\phi(t)}{dt} = -\phi'(t)$	
Transformator mit unendl. gr. Lastwiderstand	$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}$	

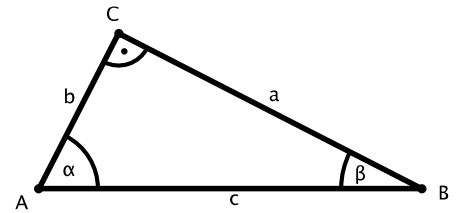
14 Mathematische Formelsammlung

Trigonometrie

Im rechtwinkligen Dreieck:

$$\begin{aligned}\sin(\alpha) &= \frac{a}{c} = \frac{G}{H} \\ \cos(\alpha) &= \frac{b}{c} = \frac{A}{H} \\ \tan(\alpha) &= \frac{a}{b} = \frac{G}{A}\end{aligned}$$

G: Gegenkathete
A: Ankathete
H: Hypotenuse



Im allgemeinen Dreieck:
Cosinussatz

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2 \cdot a \cdot b \cdot \cos(\gamma)$$

Sinussatz

$$\frac{a}{\sin(\alpha)} = \frac{b}{\sin(\beta)} = \frac{c}{\sin(\gamma)} = 2r$$

r : Radius Dreieckssumkreis

Geometrie

Satz von Pythagoras (rechtwinkliges Dreieck)

$$a^2 + b^2 = c^2$$

a, b : Katheten, c : Hypotenuse

Umfang Kreis

$$U = 2\pi r$$

r : Radius

Flächeninhalt Kreis

$$A = \pi r^2$$

Volumen Kugel

$$V = \frac{4\pi}{3} r^3$$

Volumen Prisma, Zylinder

$$V = G \cdot h$$

G : Grundfläche, h : Höhe

Volumen Pyramide, Kegel

$$V = \frac{G \cdot h}{3}$$

Gleichungen

Lösungsformel für quadratische Gleichungen

$$ax^2 + bx + c = 0$$

$$x_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

Statistik

Mittelwert

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

Varianz

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$