

Formelsammlung

Mathematik

Chemie

Physik

Größen und Werte



Zugelassen für die
schriftlichen Abiturprüfungen
gemäß der Vorgaben des IQB Berlin

Das vorliegende Dokument stellt keine Formelsammlung im klassischen Sinn dar. Insbesondere werden im Allgemeinen Voraussetzungen für die Gültigkeit von Formeln nicht genannt und im Abschnitt zum Fach Mathematik Bezeichnungen nicht erklärt.

© 2024 Uwe Kuhmann, Cottbus

<https://www.kuhmann.de/formelsammlung>

Version vom 6. Mai 2024.

Gesetzt mit Lua^AT_EX aus der T_EX Gyre Schola & Heros.

Das Werk und seine Teile sind urheberrechtlich geschützt.

Das Urheberrecht sowie die urheberrechtlichen Verwertungsrechte für die inhaltliche Auswahl und die Gliederung liegen beim Institut zur Qualitätsentwicklung im Bildungswesen Berlin.

Die inhaltliche Vorlage steht zum Download auf der Seite www.iqb.hu-berlin.de bereit unter

→ Abituraufgaben → Begleitende Dokumente → Mathematik / Naturwissenschaften.

Diese PDF-Fassung steht unter der [Creative Commons-Lizenz](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/) „BY-NC-ND 4.0“ zum kostenlosen Download zur Verfügung. Diese Lizenz umfasst die Rechte,

1. dieses Dokument ganz oder in Teilen zu vervielfältigen und weiterzugeben, jedoch nur für nicht kommerzielle Zwecke; und
2. nur für nicht kommerzielle Zwecke abgewandeltes Material zu erstellen und zu vervielfältigen, dieses aber nicht weiterzugeben.
- (3) Zusätzlich ist Lehrkräften an Schulen mit gymnasialer Oberstufe die Nutzung im Rahmen der Unterrichtstätigkeit ausdrücklich gestattet.

Die Druckversion des vorliegenden Werkes ist unter der ISBN 978-3-86929-547-3 im Verlag Regia-Co-Work, Cottbus erschienen und im deutschen Buchhandel erhältlich.

Korrekturverzeichnis: <https://www.kuhmann.de/formelsammlung/errata>

Inhaltsverzeichnis

1	Mathematik	5
1.1	Grundlagen	5
	Ähnlichkeit 5 Binomische Formeln 5 Figuren 5 Körper 5 Potenzen, Logarithmen 5 Quadratische Gleichung 6 Rechtwinkliges Dreieck 6 Mengensymbole 6 Trigonometrie 6 Winkelmaße 6	
1.2	Analysis	7
	Ableitungsbegriff 7 Ableitungen 7 Ableitungsregeln 7 Ableitung von Integralfunktionen 7 Bestimmtes Integral 7 Grenzwerte 7 Rotationskörper 7 Schneiden, Berühren 7 Zueinander senkrechte Geraden 7	
1.3	Analytische Geometrie / Lineare Algebra	8
	Skalarprodukt 8 Ebenen 8	
1.4	Stochastik	8
	Bedingte Wahrscheinlichkeit und stochastische Unabhängigkeit 8 Binomialkoeffizient 8 Zufallsgrößen 8 Sigma-Regeln 8 Prognoseintervall und Konfidenzintervall 9 Signifikanztest 9	
2	Chemie	10
2.1	Allgemeine Formeln	10
	Avogadro-Konstante 10 Molare Masse 10 Molares Volumen 10 Allgemeine Gasgleichung 10 Stoffmengenkonzentration 10 Massenkonzentration 10 Massenanteil 10 Volumenanteil 10	
2.2	Gleichgewichtsreaktionen	10
	Massenwirkungsgesetz 10 Löslichkeitsprodukt 11	
2.3	Protonenübergänge	11
	Ionenprodukt des Wassers 11 pH-Wert und pOH-Wert 11 Säurekonstante und Säureexponent 11 Basenkonstante und Basenexponent 11 Oxonium-Ionen-Konzentration und pH-Wert 12	
2.4	Elektronenübergänge	12
	Berechnung der Zellspannung 12 Nernst-Gleichung 12 Faraday-Gleichung 12 Elektrolyse 12	
2.5	Energetische und kinetische Aspekte chemischer Reaktionen	13
	Mittlere Reaktionsgeschwindigkeit 13 Erster Hauptsatz der Thermodynamik 13 Volumenarbeit 13 Kalorimetrie 13 Änderung der Enthalpie 13 Änderung der Entropie 13 Gibbs-Helmholtz-Gleichung 14	
2.6	Qualitative Analyse – Chromatografie	14
2.7	Quantitative und instrumentelle Analyse	14
	Lambert-Beer'sches-Gesetz 14 Optische Aktivität 14	

3	Physik	15
3.1	Mechanik	15
	Newton'sche Gesetze 15 Kräfte 15 Bewegungen 16 Dichte, Druck 17 Kraftumformende Ein- richtungen 17 Energie 18 Arbeit 18 Leistung, Wirkungsgrad 18 Energieerhaltungssatz 19 Gravitation 19 Impuls 19 Rotation 20 Stöße 20 Schwingungen 20 Wellen 21 Akustik 22	
3.2	Elektrizitätslehre und Magnetismus	22
	Stromstärke, Spannung, Widerstand, Ladung 22 Reihen-, Parallelschaltung 23 Kirchhoff'sche Gesetze 23 Leistung, Energie 23 Elektrisches Feld 24 Wechselstromkreis 24 Kondensator 25 Magnetisches Feld 27 Hall-Spannung 27 Induktion 28 Transformator 28 Spule 29 Schwin- gungen 29 Wellen 30	
3.3	Optik	31
	Geometrische Optik 31 Wellenoptik 31	
3.4	Quantenphysik und Materie	32
	Quantenobjekte 32 Atomhülle 33	
3.5	Wärmelehre	34
	Grundgleichung 34 Entropieänderung 34 Hauptsätze 34 Zustandsgleichung 34 Thermisches Verhalten 34	
3.6	Spezielle Relativitätstheorie	35
	Galilei-Transformation 35 Lorentz-Faktor 35 Lorentz-Transformation 35 Zeitdilatation 35 Längenkontraktion 36 Impuls 36 Energie 36 Energie-Impuls-Beziehung 36	
3.7	Kernphysik	36
	Nukleonen 36 α -, β -, γ -Strahlung 36 Aktivität 36 Zerfallsgesetz 37 Absorptionsgesetz 37 Energiedosis 37 Äquivalentdosis 37 Effektive Dosis 37 Bindungsenergie des Kerns 37 Energie bei Kernreaktionen 37 Kernradius 37	
3.8	Astrophysik	38
	Kepler'sche Gesetze 38 Bewegung im Gravitationsfeld 38 Schwarzschild-Radius 39 Strahlungsgesetze 39 Entfernung und Helligkeit 39 Dopplereffekt 40	
4	Anhang	41
4.1	Größen, Einheiten und ihre Beziehungen untereinander	41
4.2	Astronomische Entfernungsangaben	44
4.3	Vorsätze bei Einheiten	44
4.4	Tabellierte Werte	44
	Stichwortverzeichnis	64
	Danksagung	68

1 Mathematik

1.1 Grundlagen

Ähnlichkeit zweier Dreiecke

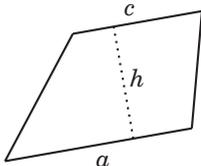
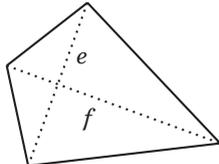
Die folgenden Aussagen zu zwei Dreiecken sind äquivalent:

- Die Dreiecke sind ähnlich.
- Die Größen der Winkel des einen Dreiecks stimmen mit den Größen der Winkel des anderen Dreiecks überein.
- Die Verhältnisse der Seitenlängen des einen Dreiecks stimmen mit den Verhältnissen der Seitenlängen des anderen Dreiecks überein.

Binomische Formeln

$$a^2 + 2ab + b^2 = (a + b)^2 \qquad a^2 - 2ab + b^2 = (a - b)^2 \qquad a^2 - b^2 = (a + b) \cdot (a - b)$$

Maße von Figuren

Dreieck $A = \frac{1}{2} \cdot g \cdot h$	Trapez $A = \frac{1}{2} \cdot (a + c) \cdot h$	Drachenviereck $A = \frac{1}{2} \cdot e \cdot f$	Kreis $A = \pi \cdot r^2$
Parallelogramm* $A = g \cdot h$			$U = 2\pi \cdot r$

Maße von Körpern

Prisma $V = A_G \cdot h$	Zylinder $V = A_G \cdot h$	Kegel $V = \frac{1}{3} \cdot A_G \cdot h$	Kugel $V = \frac{4}{3} \pi \cdot r^3$
Pyramide $V = \frac{1}{3} \cdot A_G \cdot h$	für gerade Zylinder: $A_O = 2 \cdot A_G + 2\pi \cdot r \cdot h$	für gerade Kegel: $A_O = A_G + \pi \cdot r \cdot m$ <small>(m: Abstand der Spitze vom Rand der Grundfläche)</small>	$A_O = 4\pi \cdot r^2$

Potenzen und Logarithmen

$$a^r \cdot b^r = (a \cdot b)^r \qquad a^r \cdot a^s = a^{r+s} \qquad (a^r)^s = a^{r \cdot s} \qquad a^{\frac{m}{n}} = \sqrt[n]{a^m} = (\sqrt[n]{a})^m$$

$$\frac{a^r}{b^r} = \left(\frac{a}{b}\right)^r \qquad \frac{a^r}{a^s} = a^{r-s} \qquad a^{-r} = \frac{1}{a^r}$$

$$\log_a (b \cdot c) = \log_a b + \log_a c \qquad \log_a \frac{b}{c} = \log_a b - \log_a c \qquad \log_a b^r = r \cdot \log_a b$$

* Ein Parallelogramm mit vier gleich langen Seiten wird als Raute bezeichnet.

Quadratische Gleichung

$$x_1 = -\frac{p}{2} - \sqrt{\left(\frac{p}{2}\right)^2 - q} \quad \text{und} \quad x_2 = -\frac{p}{2} + \sqrt{\left(\frac{p}{2}\right)^2 - q}$$

sind die Lösungen der Gleichung $x^2 + px + q = 0$.

Rechtwinkliges Dreieck

$$\sin \varphi = \frac{u}{w} \quad \cos \varphi = \frac{v}{w} \quad \tan \varphi = \frac{\sin \varphi}{\cos \varphi} = \frac{u}{v}$$

Satz des Pythagoras:

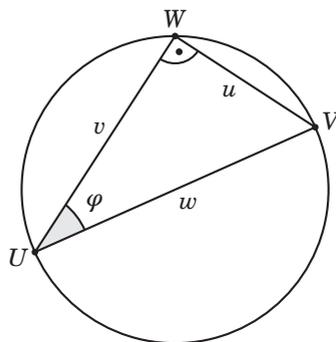
Wenn ein Dreieck rechtwinklig ist, dann gilt für die Längen u und v der beiden Katheten und die Länge w der Hypotenuse $u^2 + v^2 = w^2$.

Wenn für die Längen u , v und w der Seiten eines Dreiecks $u^2 + v^2 = w^2$ gilt, dann hat dieses Dreieck einen rechten Winkel, der der Seite mit der Länge w gegenüber liegt.

Satz des Thales:

Wenn ein Dreieck beim Eckpunkt W einen rechten Winkel hat, dann liegt W auf dem Kreis, der den Mittelpunkt der gegenüberliegenden Seite als Mittelpunkt hat und durch die beiden anderen Eckpunkte verläuft.

Wenn der Eckpunkt W eines Dreiecks auf dem Kreis liegt, der den Mittelpunkt der gegenüberliegenden Seite als Mittelpunkt hat und durch die beiden anderen Eckpunkte verläuft, dann hat dieses Dreieck bei W einen rechten Winkel.



Symbole in Verbindung mit Mengen

$$\mathbb{N} = \{0, 1, 2, 3, \dots\}$$

$$\mathbb{R}^+ = \{x \in \mathbb{R} \mid x > 0\}$$

$$[a; b] = \{x \in \mathbb{R} \mid a \leq x \leq b\}$$

$$\mathbb{Z} = \{\dots, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, \dots\}$$

$$\mathbb{R}_0^+ = \{x \in \mathbb{R} \mid x \geq 0\}$$

$$]a; b[= \{x \in \mathbb{R} \mid a < x < b\}$$

$$A \cap B = \{x \mid x \in A \wedge x \in B\}$$

$$A \cup B = \{x \mid x \in A \vee x \in B\}$$

$$A \setminus B = \{x \mid x \in A \wedge x \notin B\}$$

Trigonometrie

$$\sin(-\varphi) = -\sin \varphi$$

$$\sin(\varphi - 90^\circ) = -\cos \varphi$$

$$(\sin \varphi)^2 + (\cos \varphi)^2 = 1$$

$$\cos(-\varphi) = \cos \varphi$$

$$\cos(\varphi - 90^\circ) = \sin \varphi$$

Winkelmaße

Beträgt die Größe eines Winkels im Gradmaß 360° , so beträgt sie im Bogenmaß 2π .

1.2 Analysis

Ableitung
$$f'(x_0) = \lim_{x \rightarrow x_0} \frac{f(x) - f(x_0)}{x - x_0} = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{f(x_0 + h) - f(x_0)}{h}$$

Ableitungen ausgewählter Funktionen

Funktionsterm	Term der Ableitungsfunktion	Funktionsterm	Term der Ableitungsfunktion
x^r	$r \cdot x^{r-1}$	e^x	e^x
$\sin x$	$\cos x$	$\ln x$	$\frac{1}{x}$
$\cos x$	$-\sin x$	$-x + x \cdot \ln x$	$\ln x$

Ableitungsregeln

Funktionsterm	Term der Ableitungsfunktion	Funktionsterm	Term der Ableitungsfunktion
$k \cdot u(x)$	$k \cdot u'(x)$	$u(x) \cdot v(x)$	$u'(x) \cdot v(x) + u(x) \cdot v'(x)$
$u(x) + v(x)$	$u'(x) + v'(x)$	$u(v(x))$	$u'(v(x)) \cdot v'(x)$

Ableitung von Integralfunktionen

Für $I(x) = \int_a^x f(t) dt$ gilt $I'(x) = f(x)$.

Bestimmtes Integral

Ist F eine Stammfunktion von f , so gilt

$$\int_a^b f(x) dx = \left[F(x) \right]_a^b = F(b) - F(a).$$

Grenzwerte

Ist $p(x)$ ein Polynom, so gilt $\lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{p(x)}{e^x} = 0$.

Ist $p(x)$ ein nicht konstantes Polynom, so gilt $\lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{\ln x}{p(x)} = 0$.

Ist $p(x)$ ein Polynom ohne konstanten Summanden, so gilt $\lim_{x \rightarrow 0} (p(x) \cdot \ln x) = 0$.

Rotationskörper

$$V = \pi \cdot \int_a^b (f(x))^2 dx$$

Schneiden und Berühren zweier Funktionsgraphen

Die Graphen zweier Funktionen f und g schneiden sich in einem Punkt genau dann, wenn sie diesen Punkt gemeinsam haben.

Die Graphen zweier Funktionen f und g berühren sich in einem Punkt genau dann, wenn sie diesen Punkt gemeinsam und dort die gleiche Steigung haben.

Zueinander senkrechte Geraden

Zwei Geraden mit den Steigungen m_1 und m_2 sind genau dann senkrecht zueinander, wenn gilt $m_1 \cdot m_2 = -1$.

1.3 Analytische Geometrie / Lineare Algebra

Skalarprodukt

$$\vec{a} \circ \vec{b} = a_1 b_1 + a_2 b_2 + a_3 b_3$$

$$\vec{a} \circ \vec{b} = |\vec{a}| \cdot |\vec{b}| \cdot \cos \varphi$$

$$\vec{a} \circ \vec{a} = |\vec{a}|^2$$

Ebenen

Parameterform:

$$\vec{x} = \vec{a} + \lambda \cdot \vec{u} + \mu \cdot \vec{v}$$

Koordinatenform:

$$n_1 x_1 + n_2 x_2 + n_3 x_3 + k = 0$$

Normalenform:

$$\vec{n} \circ (\vec{x} - \vec{a}) = 0$$

1.4 Stochastik

Bedingte Wahrscheinlichkeit und stochastische Unabhängigkeit

$$P_A(B) = \frac{P(A \cap B)}{P(A)}$$

Die folgenden Aussagen zu Ereignissen A und B sind äquivalent:

- A und B sind stochastisch unabhängig.
- $P_B(A) = P(A)$
- $P_A(B) = P(B)$

Binomialkoeffizient

$$\binom{n}{k} = \frac{n!}{k! \cdot (n-k)!}$$

Zufallsgrößen

Für eine Zufallsgröße X mit den Werten x_1, x_2, \dots, x_n gilt:

Erwartungswert: $E(X) = \sum_{i=1}^n x_i \cdot P(X = x_i)$

Varianz:

$$\text{Var}(X) = \sum_{i=1}^n (x_i - E(X))^2 \cdot P(X = x_i)$$

Standardabweichung: $\sqrt{\text{Var}(X)}$

Für eine binomialverteilte Zufallsgröße X gilt:

$$P_p^n(X = k) = \binom{n}{k} \cdot p^k \cdot (1-p)^{n-k}$$

Erwartungswert: $\mu = n \cdot p$

Standardabweichung: $\sigma = \sqrt{n \cdot p \cdot (1-p)}$

Dichtefunktion einer normalverteilten Zufallsgröße: $\varphi(x) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}$

Sigma-Regeln

Ist X eine normalverteilte Zufallsgröße, so gilt:

$$P(\mu - \sigma \leq X \leq \mu + \sigma) \approx 68,3\%$$

$$P(\mu - 1,64\sigma \leq X \leq \mu + 1,64\sigma) \approx 90,0\%$$

$$P(\mu - 1,96\sigma \leq X \leq \mu + 1,96\sigma) \approx 95,0\%$$

$$P(\mu - 2\sigma \leq X \leq \mu + 2\sigma) \approx 95,4\%$$

$$P(\mu - 2,58\sigma \leq X \leq \mu + 2,58\sigma) \approx 99,0\%$$

$$P(\mu - 3\sigma \leq X \leq \mu + 3\sigma) \approx 99,7\%$$

Prognoseintervall und Konfidenzintervall

Für eine binomialverteilte Zufallsgröße gilt näherungsweise:

Prognoseintervall:

$$\left[p - c \cdot \sqrt{\frac{p \cdot (1-p)}{n}}; p + c \cdot \sqrt{\frac{p \cdot (1-p)}{n}} \right]$$

Die Gleichung

$$|h - p| = c \cdot \sqrt{\frac{p \cdot (1-p)}{n}}$$

liefert die beiden Grenzen eines Konfidenzintervalls für den Wert von p .

Signifikanztest

- Wird die Nullhypothese irrtümlich abgelehnt, so bezeichnet man dies als Fehler erster Art. Das Signifikanzniveau ist der Wert, den die Wahrscheinlichkeit für den Fehler erster Art nicht überschreiten soll.
- Wird die Nullhypothese irrtümlich nicht abgelehnt, so bezeichnet man dies als Fehler zweiter Art.

2 Chemie

2.1 Allgemeine Formeln

Avogadro-Konstante

$$N_A = \frac{N}{n}$$

N_A : Avogadro-Konstante; N : Anzahl der Teilchen; n : Stoffmenge

Molare Masse

$$M = \frac{m}{n}$$

M : molare Masse; m : Masse; n : Stoffmenge

Molares Volumen

$$V_m = \frac{V}{n}$$

V_m : molares Volumen; V : Volumen; n : Stoffmenge

Allgemeine Gasgleichung

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

p : Druck

n : Stoffmenge

R : ideale Gaskonstante

V : Volumen

T : Temperatur

Stoffmengenkonzentration

$$c(A) = \frac{n(A)}{V(\text{Lsg})}$$

$c(A)$: Stoffmengenkonzentration der Teilchen A

$n(A)$: Stoffmenge der Teilchen A

$V(\text{Lsg})$: Volumen der Lösung

Massenkonzentration

$$\beta(A) = \frac{m(A)}{V(\text{Lsg})}$$

$\beta(A)$: Massenkonzentration des Bestandteils A

$m(A)$: Masse des Bestandteils A

$V(\text{Lsg})$: Volumen der Lösung

Massenanteil

$$\omega(A) = \frac{m(A)}{m(\text{Gem})}$$

$\omega(A)$: Massenanteil des Bestandteils A

$m(A)$: Masse des Bestandteils A

$m(\text{Gem})$: Masse des Gemisches

Volumenanteil

$$\varphi(A) = \frac{V(A)}{V(A) + V(B)}$$

$\varphi(A)$: Volumenanteil des Bestandteils A

$V(A)$: Volumen des Bestandteils A

$V(B)$: Volumen des Bestandteils B

2.2 Gleichgewichtsreaktionen

Massenwirkungsgesetz

Für eine allgemeine Reaktion $aA + bB \rightleftharpoons cC + dD$ gilt:

$$K_c = \frac{c^c(C) \cdot c^d(D)}{c^a(A) \cdot c^b(B)}$$

K_c : Gleichgewichtskonstante

c : Stoffmengenkonzentration

a, b, c, d : stöchiometrische Koeffizienten

Löslichkeitsprodukt

Für $A_m B_n \rightleftharpoons m A^{n+} + n B^{m-}$ gilt:

$$K_L = c^m (A^{n+}) \cdot c^n (B^{m-})$$

$$pK_L = -\lg \{K_L\}$$

K_L : Löslichkeitsprodukt
 $c (A^{n+})$: Stoffmengenkonzentration des Kations
 n : Anzahl der positiven Ladungen,
 stöchiometrischer Koeffizient
 $c (B^{m-})$: Stoffmengenkonzentration des Anions
 m : Anzahl der negativen Ladungen,
 stöchiometrischer Koeffizient
 $\{K_L\}$: Zahlenwert von K_L

2.3 Protonenübergänge**Ionenprodukt des Wassers**

$$K_W = c (H_3O^+) \cdot c (OH^-)$$

$$pK_W = -\lg \{K_W\}$$

$$pK_W = pH + pOH$$

K_W : Ionenprodukt des Wassers
 $\{K_W\}$: Zahlenwert von K_W
 c : Stoffmengenkonzentration

pH-Wert und pOH-Wert

$$pH = -\lg \{c (H_3O^+)\}$$

$$pOH = -\lg \{c (OH^-)\}$$

c : Stoffmengenkonzentration
 $\{c (H_3O^+)\}$: Zahlenwert von c (H_3O^+)
 $\{c (OH^-)\}$: Zahlenwert von c (OH^-)

Säurekonstante und Säureexponent

Für $HA + H_2O \rightleftharpoons A^- + H_3O^+$ gilt:

$$K_S = \frac{c (H_3O^+) \cdot c (A^-)}{c (HA)}$$

$$pK_S = -\lg \{K_S\}$$

K_S : Säurekonstante
 c : Stoffmengenkonzentration
 pK_S : Säureexponent
 $\{K_S\}$: Zahlenwert von K_S

Basenkonstante und Basenexponent

Für $H_2O + B \rightleftharpoons OH^- + HB^+$ gilt:

$$K_B = \frac{c (OH^-) \cdot c (HB^+)}{c (B)}$$

$$pK_B = -\lg \{K_B\}$$

K_B : Basenkonstante
 c : Stoffmengenkonzentration
 pK_B : Basenexponent
 $\{K_B\}$: Zahlenwert von K_B

Oxonium-Ionen-Konzentration und pH-Wert

Oxonium-Ionen-Konzentration in sauren Lösungen

$$c(\text{H}_3\text{O}^+) \approx -\frac{K_S}{2} + \sqrt{\left(\frac{K_S}{2}\right)^2 + K_S \cdot c_0(\text{HA})}$$

c : Stoffmengenkonzentration
 K_S : Säurekonstante
 c_0 : Anfangskonzentration

pH-Wert bei vollständiger Protolyse

$$\text{pH} \approx -\lg\{c_0(\text{HA})\}$$

c_0 : Anfangskonzentration
 $\{c_0(\text{HA})\}$: Zahlenwert von $c_0(\text{HA})$

pH-Wert bei unvollständiger Protolyse

$$\text{pH} \approx \frac{1}{2} \cdot (\text{p}K_S - \lg\{c_0(\text{HA})\})$$

$\text{p}K_S$: Säureexponent
 $\{c_0(\text{HA})\}$: Zahlenwert von $c_0(\text{HA})$

pH-Wert von Pufferlösungen (Henderson-Hasselbalch-Gleichung)

$$\text{pH} = \text{p}K_S + \lg \frac{c(\text{A}^-)}{c(\text{HA})}$$

$\text{p}K_S$: Säureexponent
 c : Stoffmengenkonzentration

2.4 Elektronenübergänge

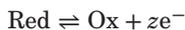
Berechnung der Zellspannung

$$\Delta E = E(\text{K}) - E(\text{A})$$

ΔE : Zellspannung
 $E(\text{K})$: Potenzial der Kathoden-Halbzelle
 $E(\text{A})$: Potenzial der Anoden-Halbzelle

Nernst-Gleichung

Für ein konjugiertes Redoxpaar



gilt bei $T = 298,15 \text{ K}$:

$$E = E^0 + \frac{0,059 \text{ V}}{z} \cdot \lg \frac{\{c(\text{Ox})\}}{\{c(\text{Red})\}}$$

Red : reduzierte Form; Ox : oxidierte Form
 E : Potenzial des Redoxpaares
 E^0 : Standardpotenzial des Redoxpaares
 z : Anzahl der übertragenen Elektronen
 $c(\text{Ox})$: Konzentration der oxidierten Form
 $\{c(\text{Ox})\}$: Zahlenwert von $c(\text{Ox})$
 $c(\text{Red})$: Konzentration der reduzierten Form
 $\{c(\text{Red})\}$: Zahlenwert von $c(\text{Red})$

Faraday-Gleichung

$$n = \frac{I \cdot t}{z \cdot F}$$

n : Stoffmenge
 t : Zeit
 z : Anzahl der übertragenen Elektronen
 I : elektrische Stromstärke
 F : Faraday-Konstante

Elektrolyse

$$U_Z = E(\text{A}) + \eta(\text{A}) - (E(\text{K}) + \eta(\text{K}))$$

U_Z : Zersetzungsspannung
 $E(\text{A})$: Potenzial der Anoden-Halbzelle
 $E(\text{K})$: Potenzial der Katoden-Halbzelle
 $\eta(\text{A})$: Überspannung der Anoden-Halbzelle
 $\eta(\text{K})$: Überspannung der Katoden-Halbzelle

2.5 Energetische und kinetische Aspekte chemischer Reaktionen

Mittlere Reaktionsgeschwindigkeit

Für eine allgemeine Reaktion $A \rightarrow B$ gilt:

$$\bar{v} = - \frac{\Delta c(A)}{\Delta t} = + \frac{\Delta c(B)}{\Delta t}$$

\bar{v} : mittlere Reaktionsgeschwindigkeit

$\Delta c(A)$: Änderung der Stoffmengen-
konzentration des Eduktes A

$\Delta c(B)$: Änderung der Stoffmengen-
konzentration des Produktes B

Δt : Zeitintervall

Erster Hauptsatz der Thermodynamik

Für geschlossene Systeme gilt:

$$\Delta U = Q + W$$

Bei konstantem Druck gilt:

$$\Delta H = Q_p$$

ΔU : Änderung der inneren Energie
eines geschlossenen Systems

Q : Wärme

W : Volumenarbeit

ΔH : Änderung der Enthalpie

Volumenarbeit

$$W = -p \cdot \Delta V$$

W : Volumenarbeit; p : Druck; ΔV : Änderung des Volumens

Kalorimetrie

Im geschlossenen System gilt bei konstantem Druck unter Vernachlässigung der Temperaturänderung des Kalorimeters:

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T$$

Q : Wärme; m : Masse ...

c : spezifische Wärmekapazität ...

ΔT : Änderung der Temperatur ...

... der Kalorimeterflüssigkeit

Enthalpie bezogen auf 1 mol der Teilchen X:

$$\Delta_r H = - \frac{Q}{n(X)}$$

$\Delta_r H$: Reaktionsenthalpie

$n(X)$: umgesetzte Stoffmenge der Teilchen X

Änderung der Enthalpie

Für eine allgemeine Reaktion $aA + bB \rightarrow cC + dD$ bei $T = 298,15 \text{ K}$ und $p = 101,325 \text{ kPa}$ gilt:

$$\Delta H = [n_c \cdot \Delta_f H^\circ(C) + n_d \cdot \Delta_f H^\circ(D)] - [n_a \cdot \Delta_f H^\circ(A) + n_b \cdot \Delta_f H^\circ(B)]$$

ΔH : Änderung der Enthalpie

$\Delta_f H^\circ$: Standardbildungsenthalpie

n_a, n_b, n_c, n_d : Stoffmengen im
stöchiometrischen Verhältnis

Änderung der Entropie

Für eine allgemeine Reaktion $aA + bB \rightarrow cC + dD$ bei $T = 298,15 \text{ K}$ und $p = 101,325 \text{ kPa}$ gilt:

$$\Delta S = [n_c \cdot S^\circ(C) + n_d \cdot S^\circ(D)] - [n_a \cdot S^\circ(A) + n_b \cdot S^\circ(B)]$$

ΔS : Änderung der Entropie

S° : Standardentropie

n_a, n_b, n_c, n_d : Stoffmengen im
stöchiometrischen Verhältnis

Gibbs-Helmholtz-Gleichung

$$\Delta G = \Delta H - T \cdot \Delta S$$

ΔG : Änderung der freien Enthalpie
 ΔH : Änderung der Enthalpie
 T : Temperatur
 ΔS : Änderung der Entropie

2.6 Qualitative Analyse – Chromatografie

$$R_f = \frac{S}{F}$$

R_f : Retentionsfaktor
 S : Abstand Startlinie – Substanzfleck
 F : Abstand Startlinie – Laufmittelfront

2.7 Quantitative und instrumentelle Analyse**Lambert-Beer'sches-Gesetz**

$$E_\lambda = \varepsilon_\lambda \cdot c \cdot d$$

E_λ : Extinktion bei der Wellenlänge λ
 ε_λ : molarer Extinktionskoeffizient bei der Wellenlänge λ
 c : Stoffmengenkonzentration; d : Schichtdicke der Messküvette

Optische Aktivität

$$\alpha = [\alpha]_\lambda^\vartheta \cdot \beta \cdot \ell$$

α : Drehwinkel; β : Massenkonzentration; ℓ : Probenrohrlänge
 $[\alpha]_\lambda^\vartheta$: spezifischer Drehwinkel bei der Temperatur ϑ
 und der Wellenlänge λ

3 Physik

3.1 Mechanik

Newton'sche Gesetze und Kräfteaddition

1. Newton'sches Gesetz (Trägheitsprinzip, Trägheitsgesetz)

Unter der Bedingung $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots = \vec{0}$ gilt: $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \dots$: äußere Kräfte, die auf einen Körper (ein System) wirken
 $\vec{v} = \text{konstant}$ \vec{v} : Geschwindigkeit

2. Newton'sches Gesetz (Grundgleichung der Mechanik)

$\vec{F} = m \cdot \vec{a}$ \vec{F} : Kraft m : Masse; \vec{a} : Beschleunigung
 $F \cdot \Delta t = m \cdot \Delta v$ t : Zeit v : Geschwindigkeit

3. Newton'sches Gesetz (Reaktionsprinzip, Wechselwirkungsgesetz)

$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$ \vec{F} : Kraft

Betrag der Gesamtkraft bei der Addition zweier Kräfte

$F_{\text{ges}} = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2 \cdot F_1 \cdot F_2 \cdot \cos \alpha}$ F_{ges} : Betrag der Gesamtkraft
 F_1, F_2 : Beträge der Einzelkräfte
 α : Winkel zwischen den Kräften

Kräfte der Mechanik

Gewichtskraft

$F_G = m \cdot g$ F_G : Gewichtskraft; m : Masse
 g : Fallbeschleunigung (Ortsfaktor) am Ort des Körpers

Radialkraft, Zentripetalkraft

$F_r = \frac{m \cdot v^2}{r} = m \cdot \omega^2 \cdot r$ F_r : Radialkraft, Zentripetalkraft
 v : Bahngeschwindigkeit m : Masse
 ω : Winkelgeschwindigkeit r : Radius

Federspannkraft (Hooke'sches Gesetz)

$F_S = D \cdot s$ F_S : Federspannkraft; s : Dehnung der Feder
 D : Federhärte, Richtgröße

Reibungskraft

$F_R = \mu \cdot F_N$ F_R : Reibungskraft; μ : Reibungszahl; F_N : Normalkraft

Newton'scher Strömungswiderstand

$F_W = \frac{1}{2} \cdot c_w \cdot A \cdot \rho \cdot v^2$ F_W : Widerstandskraft c_w : Widerstandsbeiwert
 A : Querschnittsfläche des Körpers senkrecht zur Strömung
 ρ : Dichte des umströmenden Mediums
 v : Relativgeschwindigkeit zwischen Körper und Medium

Stokes'scher Strömungswiderstand

$F_W = 6\pi \cdot \eta \cdot r \cdot v$ F_W : Widerstandskraft
 η : Viskosität des umströmenden Mediums
 r : Radius; v : Geschwindigkeit

Auftriebskraft

$$F_A = \rho \cdot g \cdot V$$

F_A : Auftriebskraft ρ : Dichte der Flüssigkeit/des Gases
 g : Fallbeschleunigung (Ortsfaktor) am Ort des Körpers
 V : vom Körper verdrängtes Volumen

Bewegungen

eindimensionale Bewegungen

mittlere Geschwindigkeit $\bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t}$ \bar{v} : mittlere Geschwindigkeit
 s : Ort; t : Zeit

momentane Geschwindigkeit $v(t) = \frac{ds}{dt} = \dot{s}(t)$ v : Geschwindigkeit
 s : Ort; t : Zeit

mittlere Beschleunigung $\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ \bar{a} : mittlere Beschleunigung
 v : Geschwindigkeit; t : Zeit

momentane Beschleunigung $a(t) = \frac{dv}{dt} = \dot{v}(t)$ a : Beschleunigung
 v : Geschwindigkeit; t : Zeit

gleichförmige Bewegung

$$s(t) = v \cdot t + s_0$$

$$v = \text{konstant}$$

$$a = 0 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

s : Ort v : Geschwindigkeit
 t : Zeit a : Beschleunigung
 s_0 : Anfangsort bei $t = 0$ s
 v_0 : Anfangsgeschwindigkeit bei $t = 0$ s

gleichmäßig beschleunigte Bewegung

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

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

$$a = \text{konstant}$$

s : Ort v : Geschwindigkeit
 t : Zeit a : Beschleunigung
 s_0 : Anfangsort bei $t = 0$ s
 v_0 : Anfangsgeschwindigkeit bei $t = 0$ s

beliebig beschleunigte Bewegung

$$s(t) = s_0 + \int_{t_0}^t v(t) dt \quad v(t) = v_0 + \int_{t_0}^t a(t) dt$$

s : Ort s_0 : Anfangsort bei $t = t_0$
 t : Zeit v : Geschwindigkeit
 v_0 : Anfangsgeschwindigkeit bei $t = t_0$
 a : Beschleunigung

gleichförmige Kreisbewegung

$$\omega = \frac{\Delta \varphi}{\Delta t} = \frac{2\pi}{T} = 2\pi \cdot f = \text{konstant}$$

$$v = \omega \cdot r$$

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

ω : Winkelgeschwindigkeit T : Umlaufdauer
 $\Delta \varphi$: überstrichener Winkel Δt : benötigte Zeit
 a_r : Radialbeschleunigung f : Frequenz
 v : Bahngeschwindigkeit r : Radius

Wurfbewegungen

senkrechter Wurf

$$y(t) = -\frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2 + v_0 \cdot t + y_0$$

$$v_y(t) = -g \cdot t + v_0$$

$$a_y = -g$$

 y : Ort; t : Zeit g : Fallbeschleunigung (Ortsfaktor) am Ort des Körpers v_0 : Anfangsgeschwindigkeit bei $t = 0$ s y_0 : Anfangsort bei $t = 0$ s v_y : vertikale Geschwindigkeit a_y : vertikale Beschleunigung

waagerechter Wurf

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

$$y(t) = -\frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2 + y_0$$

$$v_x(t) = v_0$$

$$v_y(t) = -g \cdot t$$

$$a_x = 0 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$a_y = -g$$

 x, y : Koordinaten des Ortes; t : Zeit v_0 : horizontale Anfangsgeschwindigkeit bei $t = 0$ s g : Fallbeschleunigung (Ortsfaktor) am Ort des Körpers y_0 : y-Koordinate des Ortes bei $t = 0$ s v_x, v_y : Geschwindigkeitskomponenten a_x, a_y : Beschleunigungskomponenten

schräger Wurf

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

$$y(t) = -\frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2 + v_0 \cdot t \cdot \sin \alpha + y_0$$

$$v_x(t) = v_0 \cdot \cos \alpha$$

$$v_y(t) = -g \cdot t + v_0 \cdot \sin \alpha$$

$$a_x = 0 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$a_y = -g$$

 x, y : Koordinaten des Ortes; t : Zeit v_0 : Anfangsgeschwindigkeit bei $t = 0$ s α : Abwurfwinkel g : Fallbeschleunigung (Ortsfaktor) am Ort des Körpers y_0 : Anfangsort / y-Koordinate des Ortes bei $t = 0$ s v_x, v_y : Geschwindigkeitskomponenten a_x, a_y : Beschleunigungskomponenten**Dichte und Druck**

Dichte $\rho = \frac{m}{V}$

 ρ : Dichte; m : Masse; V : Volumen

Druck $p = \frac{F_{\perp}}{A}$

 p : Druck; F_{\perp} : Kraftkomponente senkrecht auf A ; A : Flächeninhalt

Schweredruck in Flüssigkeiten

$$p = \rho \cdot g \cdot h$$

 p : Druck; ρ : Dichte der Flüssigkeit g : Fallbeschleunigung (Ortsfaktor) am Ort des Körpers h : Höhe der Flüssigkeitssäule**Kraftumformende Einrichtungen**

schiefe Ebene

$$F_H = F_G \cdot \sin \alpha$$

$$F_N = F_G \cdot \cos \alpha$$

$$\frac{F_H}{F_G} = \frac{h}{\ell}$$

 F_H : Hangabtriebskraft h : Höhe der schiefen Ebene F_G : Gewichtskraft ℓ : Länge der schiefen Ebene F_N : Normalkraft α : Neigungswinkel der Ebene gegenüber der Horizontalen

Hebelgesetz

$$M_1 = M_2$$

$$F_1 \cdot \ell_1 = F_2 \cdot \ell_2$$

M : Drehmoment
 F : Kraft auf Hebelarm
 ℓ : Länge des Hebelarms

Rollen, (lineare) Flaschenzüge

$$F_Z = \frac{1}{n} \cdot F_L$$

$$s_Z = n \cdot s_L$$

F_Z, F_L : Zug- bzw. Lastkraft
 s_Z, s_L : Zug- bzw. Lastweg
 n : Anzahl der tragenden Seile/Seilstücke

Mechanische Energie

kinetische Energie der Translation
(Bewegungsenergie)

$$E = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

E : Energie; m : Masse
 v : Geschwindigkeit

kinetische Energie der Rotation
(Rotationsenergie)

$$E = \frac{1}{2} \cdot J \cdot \omega^2$$

E : Energie
 J : Trägheitsmoment
 ω : Winkelgeschwindigkeit

potenzielle Energie im homogenen Gravitationsfeld (Lageenergie)

$$E = F_G \cdot h = m \cdot g \cdot h$$

E : Energie; F_G : Gewichtskraft; m : Masse
 h : Höhe des Körpers über dem Bezugspunkt
 g : Fallbeschleunigung (Ortsfaktor)

Energie einer idealen (Hooke'schen) Feder (Spannenergie)

$$E = \frac{1}{2} \cdot D \cdot s^2$$

E : Energie; D : Federhärte, Richtgröße; s : Dehnung der Feder

Mechanische Arbeit

mechanische Arbeit W

$$W = \Delta E$$

W : Arbeit; ΔE : Energiedifferenz

Zusammenhang zwischen Arbeit, Kraft und zurückgelegtem Weg

Für $F = \text{konstant}$ und $\vec{F} \parallel \Delta \vec{s}$ und gilt:

$$W = \Delta E = F \cdot \Delta s$$

W : Arbeit; ΔE : Energiedifferenz; F : Kraft; s Ort

Wenn die Kraft- und Wegvektoren den Winkel α einschließen, gilt für $F = \text{konstant}$:

$$W = \Delta E = F \cdot \Delta s \cdot \cos \alpha$$

W : Arbeit; ΔE : Energiedifferenz; F : Kraft; s Ort
 α : Winkel zwischen \vec{F} und $\Delta \vec{s}$

Für eine vom Ort s abhängige Kraft $\vec{F}(s)$ gilt unter der Bedingung $\vec{F} \parallel d\vec{s}$:

$$W = \Delta E = \int_{s_1}^{s_2} F(s) ds$$

W : Arbeit; ΔE : Energiedifferenz; F : Kraft; s Ort

Leistung und Wirkungsgrad

mittlere Leistung (Energiestromstärke)

$$\bar{P} = \frac{\Delta E}{\Delta t}$$

\bar{P} : mittlere Leistung (Energiestromstärke); E : Energie; t : Zeit

momentane Leistung (Energiestromstärke)

$$P(t) = \frac{dE}{dt} = F \cdot v(t)$$

P : Leistung (Energiestromstärke)

E : Energie t : Zeit

v : Geschwindigkeit F : Kraft

Wirkungsgrad

$$\eta = \frac{P_{\text{nutz}}}{P_{\text{zu}}} = \frac{\Delta E_{\text{nutz}}}{\Delta E_{\text{zu}}}$$

η : Wirkungsgrad

P_{nutz} : Betrag der abgegebenen, genutzten Leistung

P_{zu} : Betrag der aufgewandten, zugeführten Leistung

E_{nutz} : Betrag der abgegebenen, genutzten Energie

E_{zu} : Betrag der aufgewandten, zugeführten Energie

Energieerhaltungssatz

$$E_{\text{ges}} = E_1 + E_2 + \dots \\ = \text{konstant}$$

E_{ges} : Gesamtenergie eines abgeschlossenen Systems

E_1, E_2, \dots : Einzelenergien innerhalb des Systems

Gravitation

Newton'sches Gravitationsgesetz

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

F_G : Gravitationskraft

m_1, m_2 : Massen

G : Gravitationskonstante

r : Abstand der Massen

Potenzielle Energie im Gravitationsfeld

$$E = -G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r}$$

E : Energie

m_1, m_2 : Massen

G : Gravitationskonstante

r : Abstand der Massen

Gravitationsfeldstärke

$$g = \frac{F_G}{m}$$

g : Gravitationsfeldstärke; F_G : Gravitationskraft; m : Masse des Probekörpers

Impuls

Impuls eines Körpers

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

\vec{p} : Impuls \vec{F} : Kraft

$$\Delta p = F \cdot \Delta t \quad \vec{F}(t) = \frac{d\vec{p}}{dt} = \dot{\vec{p}}(t)$$

m : Masse t : Zeit

\vec{v} : Geschwindigkeit

Impulserhaltungssatz

$$\vec{p}_{\text{ges}} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \dots = \text{konstant}$$

\vec{p}_{ges} : Gesamtimpuls eines

abgeschlossenen Systems

$\vec{p}_1, \vec{p}_2, \dots$: Einzelimpulse des Systems

Drehimpuls eines Körpers

$$L = J \cdot \omega$$

L : Drehimpuls, J : Trägheitsmoment; ω : Winkelgeschwindigkeit

Drehimpulserhaltungssatz

$$\vec{L}_{\text{ges}} = \vec{L}_1 + \vec{L}_2 + \dots = \text{konstant}$$

\vec{L}_{ges} : Gesamtdrehimpuls eines

abgeschlossenen Systems

$\vec{L}_1, \vec{L}_2, \dots$: Einzeldrehimpulse des Systems

Rotation starrer Körper

Drehmoment

Unter der Bedingung $\vec{r} \perp \vec{F}$ gilt: $M = r \cdot F$

M : Drehmoment; r : Radius; F : Kraft

Trägheitsmoment

$$J = \sum_i m_i \cdot r_i^2$$

J : Trägheitsmoment

m_i : Masse des i-ten Massenpunkts

r_i : Abstand des i-ten Massenpunkts von der Drehachse

Zentrale gerade Stöße

Geschwindigkeit nach dem Stoß

vollkommen unelastischer Stoß

$$u = \frac{m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2}{m_1 + m_2}$$

u : gemeinsame Geschwindigkeit nach dem Stoß

m_1, m_2 : Massen der Stoßpartner

v_1, v_2 : Geschwindigkeiten der Stoßpartner vor dem Stoß

vollkommen elastischer Stoß

$$u_1 = \frac{(m_1 - m_2) \cdot v_1 + 2m_2 \cdot v_2}{m_1 + m_2}$$

m_1, m_2 : Massen der Stoßpartner

v_1, v_2 : Geschwindigkeiten der Stoßpartner vor dem Stoß

$$u_2 = \frac{(m_2 - m_1) \cdot v_2 + 2m_1 \cdot v_1}{m_1 + m_2}$$

u_1, u_2 : Geschwindigkeiten der

Stoßpartner nach dem Stoß

Schwingungen

beschreibende Größen der Schwingung

$$T = \frac{1}{f} \quad f = \frac{n}{t} \quad \omega = 2\pi \cdot f$$

T : Periodendauer

f : Frequenz

n : Anzahl der Perioden

t : Zeit

ω : Kreisfrequenz

mechanische harmonische Schwingungen

Kraftgesetz der harmonischen Schwingung

$$\vec{F}(\vec{s}) = -D \cdot \vec{s}$$

\vec{F} : Kraft; \vec{s} : Auslenkung

D : Richtgröße, z. B. Federhärte

Bewegungsgleichungen der ungedämpften harmonischen Schwingung

$$s(t) = s_{\max} \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

Bei Vorliegen eines

Nullphasenwinkels gilt:

$$s(t) = s_{\max} \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi_0)$$

s : Auslenkung, Elongation

s_{\max} : Amplitude

t : Zeit

ω : Kreisfrequenz

v : Geschwindigkeit

$$v(t) = s_{\max} \cdot \omega \cdot \cos(\omega \cdot t + \varphi_0)$$

φ_0 : Nullphasenwinkel

a : Beschleunigung

$$a(t) = -s_{\max} \cdot \omega^2 \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi_0)$$

Differenzialgleichung der ungedämpften harmonischen Schwingung

$$\ddot{s}(t) + \frac{D}{m} \cdot s(t) = 0 \quad \frac{d^2s}{dt^2} + \frac{D}{m} \cdot s = 0$$

s : Auslenkung; m : Masse
 D : Richtgröße, z. B. Federhärte

gedämpfte harmonische Schwingung (geschwindigkeitsproportionale, schwache Dämpfung)

Für einen bei $t = 0$ s aus-
 gelenkten Schwinger gilt:

$$s(t) = s_{\max} \cdot e^{-\delta t} \cdot \cos(\omega_D \cdot t)$$

mit: $\omega_D = \sqrt{\omega^2 - \delta^2}$

s : Auslenkung
 s_{\max} : Anfangsamplitude
 ω_D : Kreisfrequenz der gedämpften Schwingung
 ω : Kreisfrequenz der ungedämpften Schwingung
 δ : Abklingkoeffizient
 t : Zeit

Differenzialgleichung der gedämpften harmonischen Schwingung

$$\ddot{s}(t) + 2\delta \cdot \dot{s}(t) + \frac{D}{m} \cdot s(t) = 0$$

$$\frac{d^2s}{dt^2} + 2\delta \cdot \frac{ds}{dt} + \frac{D}{m} \cdot s = 0$$

s : Auslenkung; m : Masse
 δ : Abklingkoeffizient
 D : Richtgröße, z. B. Federhärte

Periodendauer von Pendeln

Federpendel

$$T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{m}{D}}$$

T : Periodendauer; m : Masse
 D : Federhärte, Richtgröße

Fadenpendel
 (in Kleinwinkelnäherung)

$$T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{\ell}{g}}$$

T : Periodendauer; ℓ : Pendellänge
 g : Fallbeschleunigung (Orts-
 faktor) am Ort der Schwingung

Wellen

Ausbreitungsgeschwindigkeit

$$c = \lambda \cdot f$$

c : Ausbreitungsgeschwindigkeit; λ : Wellenlänge; f : Frequenz

harmonische Welle

Wellenfunktion der harmonischen Welle

$$y(x, t) = y_{\max} \cdot \sin\left(2\pi \cdot \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right)\right)$$

y : Auslenkung
 y_{\max} : Amplitude
 T : Periodendauer
 t : Zeit
 x : Ort
 λ : Wellenlänge

Differenzialgleichung der harmonischen Welle

$$\ddot{y}(x, t) - c^2 \cdot y''(x, t) = 0$$

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} - c^2 \cdot \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = 0$$

y : Auslenkung
 x : Ort; t : Zeit
 c : Ausbreitungsgeschwindigkeit

Wellenfunktion einer stehenden harmonischen Welle

$$y(x, t) = 2y_{\max} \cdot \cos\left(2\pi \cdot \frac{x}{\lambda}\right) \cdot \sin\left(2\pi \cdot \frac{t}{T}\right)$$

y : Auslenkung; x : Ort; t : Zeit
 y_{\max} : Amplitude der einander
 entgegenlaufenden Wellen
 λ : Wellenlänge; T : Periodendauer

stehende Wellen bei zwei festen (zwei losen) Enden

$$\lambda_k = \frac{2\ell}{k+1}$$

Grundschwingung : $k = 0$
 Oberschwingungen : $k = 1, 2, 3, \dots$

λ_k : Wellenlänge
 ℓ : Länge des Wellenträgers

stehende Wellen bei einem festen und einem losen Ende

$$\lambda_k = \frac{2\ell}{k + \frac{1}{2}}$$

Grundschwingung : $k = 0$
 Oberschwingungen : $k = 1, 2, 3, \dots$

λ_k : Wellenlänge
 ℓ : Länge des Wellenträgers

Akustik

akustischer Dopplereffekt bei bewegtem Sender und bewegtem Empfänger

Die oberen Vorzeichen gelten jeweils für Annäherung, die unteren Vorzeichen für Entfernungszunahme.

$$f_E = f_0 \cdot \frac{c \pm v_E}{c \mp v_S}$$

f_E : vom Empfänger gemessene Frequenz
 f_0 : vom Sender abgestrahlte Frequenz
 c : Schallgeschwindigkeit
 v_E : Geschwindigkeit des Empfängers
 v_S : Geschwindigkeit der Schallquelle

Schalldruck

$$p_{\text{ges}} = p_n + p \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

p_{ges} : Gesamtdruck

p : Schalldruckamplitude

p_n : Normaldruck im Medium (konstant)

ω : Kreisfrequenz

t : Zeit

Intensität einer Schallwelle in einem verlustfreien akustischen Medium

$$I = \frac{P}{A} = \frac{p^2}{2\rho \cdot c}$$

I : Schallintensität

A : Flächeninhalt

ρ : Dichte des Mediums

P : Schalleistung

p : Schalldruck

c : Schallgeschwindigkeit im Medium

Schallintensitätspegel

$$L_I = 10 \text{ dB} \cdot \lg\left(\frac{I}{I_0}\right) \quad \text{mit: } I_0 = 10^{-12} \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

L_I : Schallintensitätspegel

I : Schallintensität

I_0 : Bezugswert der Schallintensität

Schalldruckpegel

$$L_p = 20 \text{ dB} \cdot \lg\left(\frac{p_{\text{eff}}}{p_0}\right) \quad \text{mit: } p_0 = 20 \mu\text{Pa}$$

L_p : Schalldruckpegel

p_{eff} : Effektivwert des Schalldrucks

p_0 : Bezugswert der Schalldrucks

3.2 Elektrizitätslehre und Magnetismus

Stromstärke, Spannung, Widerstand, Ladung

mittlere elektrische Stromstärke

$$\bar{I} = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

\bar{I} : mittlere elektrische Stromstärke

Q : elektrische Ladung; t : Zeit

momentane elektrische Stromstärke und elektrische Ladung

$$I(t) = \frac{dQ}{dt} = \dot{Q}(t) \quad Q = \int_{t_1}^{t_2} I(t) dt$$

I : elektrische Stromstärke

Q : elektrische Ladung; t : Zeit

elektrischer Widerstand

$$R = \frac{U}{I}$$

R : elektrischer Widerstand

U : elektrische Spannung

I : elektrische Stromstärke

Widerstand eines elektrischen Leiters

$$R = \rho \cdot \frac{\ell}{A}$$

R : elektrischer Widerstand

ρ : spezifischer Widerstand

ℓ : Länge des Leiters

A : Querschnittsfläche des Leiters

Reihen- und Parallelschaltung von Widerständen

Reihenschaltung

$$I_{\text{ges}} = I_1 = I_2 = \dots = I_n$$

I_{ges} : Gesamtstromstärke

I_1, I_2, \dots : Einzelstromstärken

$$U_{\text{ges}} = U_1 + U_2 + \dots + U_n$$

U_{ges} : Gesamtspannung

U_1, U_2, \dots : Einzelspannungen

$$R_{\text{ges}} = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

R_{ges} : Gesamtwiderstand

R_1, R_2, \dots : Einzelwiderstände

Parallelschaltung

$$I_{\text{ges}} = I_1 + I_2 + \dots + I_n$$

I_{ges} : Gesamtstromstärke

I_1, I_2, \dots : Einzelstromstärken

$$U_{\text{ges}} = U_1 = U_2 = \dots = U_n$$

U_{ges} : Gesamtspannung

U_1, U_2, \dots : Einzelspannungen

$$\frac{1}{R_{\text{ges}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

R_{ges} : Gesamtwiderstand

R_1, R_2, \dots : Einzelwiderstände

Kirchhoff'sche Gesetze

1. Kirchhoff'sches Gesetz (Knotenregel)

$$\sum I_{\text{zu}} = \sum I_{\text{ab}}$$

I_{zu} : Stärken der in den Knoten zufließenden Ströme

I_{ab} : Stärken der aus dem Knoten abfließenden Ströme

2. Kirchhoff'sches Gesetz (Maschenregel)

$$\sum U_i = 0$$

U_i : Einzelspannungen in einer Masche

Elektrische Leistung und Energie

elektrische Leistung

$$P = U \cdot I$$

P : elektrische Leistung

U : elektrische Spannung; I : elektrische Stromstärke

elektrisch übertragene Energie

$$\Delta E = P \cdot \Delta t$$

E : Energie; P : elektrische Leistung; t : Zeit

Energiedifferenz eines geladenen Teilchens beim Durchlaufen einer elektrischen Spannung

$$\Delta E = q \cdot U$$

E : Energie; q : Ladung des Teilchens; U : elektrische Spannung

Elektrisches Feld

Kraft zwischen Punktladungen
(Coulomb'sches Gesetz)

$$F_C = \frac{1}{4\pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r} \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$$

F_C : Coulomb-Kraft; Q_1, Q_2 : Ladungen
 ϵ_0 : elektrische Feldkonstante
 ϵ_r : Dielektrizitätszahl
 r : Abstand der Ladungen voneinander

elektrische Feldstärke

allgemein: $E = \frac{F_{el}}{q}$

homogenes Feld eines Plattenkondensators:

$$E = \frac{U}{d}$$

Radialfeld einer Punktladung:

$$E = \frac{1}{4\pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r} \cdot \frac{Q}{r^2}$$

E : elektrische Feldstärke
 F_{el} : elektrische Kraft; q : Probeladung
 U : elektrische Spannung
 d : Abstand der Kondensatorplatten
 ϵ_0 : elektrische Feldkonstante
 ϵ_r : Dielektrizitätszahl
 Q : felderzeugende Ladung
 r : Abstand von der Ladung Q

elektrische Flussdichte

$$D = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot E$$

D : elektrische Flussdichte
 E : elektrische Feldstärke im Vakuum

ϵ_0 : elektrische Feldkonstante
 ϵ_r : Dielektrizitätszahl

Flächenladungsdichte

$$\sigma = \frac{Q}{A} = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot E$$

σ : Flächenladungsdichte
 Q : Ladung; A : Fläche;
 E : elektrische Feldstärke im Vakuum

ϵ_0 : elektrische Feldkonstante
 ϵ_r : Dielektrizitätszahl

Potenzial im elektrischen Feld

allgemein: $\varphi = \frac{E}{q}$

homogenes Feld eines Plattenkondensators:

$$\varphi = \frac{U}{d} \cdot s$$

Radialfeld einer Punktladung:

$$\varphi = - \frac{1}{4\pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r} \cdot \frac{Q}{r}$$

φ : elektrisches Potenzial; E : Energie
 U : elektrische Spannung; q : Probeladung
 ϵ_0 : elektrische Feldkonstante
 ϵ_r : Dielektrizitätszahl
 d : Abstand der Kondensatorplatten
 s : Abstand von der negativen Platte
 Q : felderzeugende Ladung
 r : Abstand von der Ladung Q

elektrische Spannung als Potenzialdifferenz

$$U = \varphi_2 - \varphi_1 = \Delta\varphi$$

U : elektrische Spannung zwischen den Orten P_1 und P_2
 φ_1, φ_2 : elektrisches Potenzial am Ort P_1 bzw. P_2

Wechselstromkreis

Spannung im Wechselstromkreis

Für eine sinusförmige Wechselspannung gilt:

$$U(t) = U_{\max} \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

$$U_{\text{eff}} = \frac{U_{\max}}{\sqrt{2}}$$

U : Momentanwert der elektrischen Spannung
 U_{\max} : Scheitelwert der elektrischen Spannung
 ω : Kreisfrequenz; t : Zeit
 U_{eff} : Effektivwert der elektrischen Spannung

Stromstärke im Wechselstromkreis

Für einen sinusförmigen Wechselstrom bei der Wechselspannung

$U(t) = U_{\max} \cdot \sin(\omega \cdot t)$ gilt:

$$I(t) = I_{\max} \cdot \sin(\omega \cdot t + \Delta\varphi)$$

$$I_{\text{eff}} = \frac{I_{\max}}{\sqrt{2}}$$

U : Momentanwert der elektrischen Spannung

U_{\max} : Scheitelwert der elektrischen Spannung

I : Momentanwert der elektrischen Stromstärke

I_{\max} : Scheitelwert der elektrischen Stromstärke

ω : Kreisfrequenz; t : Zeit

$\Delta\varphi$: Phasenverschiebung zwischen U und I

I_{eff} : Effektivwert der elektrischen Stromstärke

Widerstände im Wechselstromkreis

kapazitiver und induktiver Widerstand im Wechselstromkreis

Für eine sinusförmige Wechselspannung gilt:

$$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C} \quad \text{mit: } \Delta\varphi = \pm \frac{\pi}{2}$$

$$X_L = \omega \cdot L$$

X_C : kapazitiver Widerstand C : Kapazität

X_L : induktiver Widerstand L : Induktivität

ω : Kreisfrequenz

$\Delta\varphi$: Phasenverschiebung zwischen U und I

Am Kondensator eilt der Strom der Spannung voraus.

An der Spule läuft der Strom der Spannung nach.

Reihenschaltung aus kapazitivem, induktivem und Ohm'schem Widerstand

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \quad \begin{array}{l} Z : \text{Impedanz (Scheinwiderstand)} \\ R : \text{Ohm'scher Widerstand} \end{array} \quad \begin{array}{l} X_L : \text{induktiver Widerstand} \\ X_C : \text{kapazitiver Widerstand} \end{array}$$

Leistung im Wechselstromkreis

$$P_S = U_{\text{eff}} \cdot I_{\text{eff}}$$

$$P_W = U_{\text{eff}} \cdot I_{\text{eff}} \cdot \cos \Delta\varphi$$

$$P_B = U_{\text{eff}} \cdot I_{\text{eff}} \cdot \sin \Delta\varphi$$

P_S : Scheinleistung; P_W : Wirkleistung; P_B : Blindleistung

U_{eff} : Effektivwert der elektrischen Spannung

I_{eff} : Effektivwert der elektrischen Stromstärke

$\Delta\varphi$: Phasenverschiebung zwischen U und I

Kondensator

Kapazität eines Kondensators

$$C = \frac{Q}{U}$$

C : Kapazität des Kondensators U : elektrische Spannung

Q : Ladung des Kondensators ϵ_0 : elektrische Feldkonstante

A : Flächeninhalt einer Platte ϵ_r : Dielektrizitätszahl

d : Abstand der Kondensatorplatten

Plattenkondensator

$$C = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot \frac{A}{d}$$

Energie des geladenen Kondensators (elektrische Feldenergie)

$$E = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U^2$$

E : Energie; C : Kapazität des Kondensators; U : elektrische Spannung

Aufladen und Entladen eines Kondensators über einen Ohm'schen Widerstand

Aufladen:

$$U_C(t) = U_0 \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right)$$

$$I(t) = I_0 \cdot e^{-\frac{t}{RC}}$$

$$Q(t) = Q_0 \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right)$$

Entladen:

$$U_C(t) = U_0 \cdot e^{-\frac{t}{RC}}$$

$$I(t) = -I_0 \cdot e^{-\frac{t}{RC}}$$

$$Q(t) = Q_0 \cdot e^{-\frac{t}{RC}}$$

 U_C : elektrische Spannung am Kondensator U_0 : Quellenspannung beim Aufladen bzw. elektrische Spannung am Kondensator zu Beginn des Entladevorgangs; t : Zeit R : Ohm'scher Widerstand C : Kapazität des Kondensators I : elektrische Stromstärke I_0 : elektrische Stromstärke zu Beginn des Auf- bzw. Entladevorgangs Q : Ladung des Kondensators Q_0 : Ladung des Kondensators am Ende des Auflade- bzw. zu Beginn des Entladevorgangs

Differenzialgleichung zur Beschreibung des Aufladevorgangs

$$\dot{Q}(t) + \frac{1}{R \cdot C} \cdot Q(t) = \frac{U_0}{R}$$

$$\frac{dQ}{dt} + \frac{1}{R \cdot C} \cdot Q = \frac{U_0}{R}$$

 Q : Ladung des Kondensators R : Ohm'scher Widerstand C : Kapazität des Kondensators t : Zeit U_0 : Quellenspannung beim Aufladen

Differenzialgleichung zur Beschreibung des Entladevorgangs

$$\dot{Q}(t) + \frac{1}{R \cdot C} \cdot Q(t) = 0$$

$$\frac{dQ}{dt} + \frac{1}{R \cdot C} \cdot Q = 0$$

 Q : Ladung des Kondensators R : Ohm'scher Widerstand C : Kapazität des Kondensators t : Zeit

Reihen- und Parallelschaltung von Kondensatoren

Reihenschaltung

$$Q_{\text{ges}} = Q_1 = Q_2 = \dots = Q_n$$

$$U_{\text{ges}} = U_1 + U_2 + \dots + U_n$$

$$\frac{1}{C_{\text{ges}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}$$

 Q_{ges} : Gesamtladung U_{ges} : Gesamtspannung C_{ges} : Gesamtkapazität Q_1, Q_2, \dots : Einzelladungen U_1, U_2, \dots : Einzelspannungen C_1, C_2, \dots : Einzelkapazitäten

Parallelschaltung

$$Q_{\text{ges}} = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n$$

$$U_{\text{ges}} = U_1 = U_2 = \dots = U_n$$

$$C_{\text{ges}} = C_1 + C_2 + \dots + C_n$$

 Q_{ges} : Gesamtladung U_{ges} : Gesamtspannung C_{ges} : Gesamtkapazität Q_1, Q_2, \dots : Einzelladungen U_1, U_2, \dots : Einzelspannungen C_1, C_2, \dots : Einzelkapazitäten

Magnetisches Feld

magnetische Flussdichte

$$B = \frac{F}{I \cdot s}$$

Außerhalb eines geraden stromdurchflossenen Leiters gilt:

$$B = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot \frac{I}{2\pi \cdot r}$$

Innerhalb einer stromdurchflossenen langgestreckten Spule gilt:

$$B = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot \frac{N \cdot I}{\ell}$$

- B : magnetische Flussdichte
- F : Kraft auf den stromdurchflossenen Leiter
- I : elektrische Stromstärke
- s : wirksame Länge des Leiters im Magnetfeld
- μ_0 : magnetische Feldkonstante
- μ_r : Permeabilitätszahl des Mediums
- r : Abstand vom Leiter
- N : Windungszahl der Spule
- ℓ : Länge der Spule

magnetische Feldstärke

Innerhalb einer stromdurchflossenen langgestreckten Spule gilt:

$$H = N \cdot \frac{I}{\ell}$$

Außerhalb eines geraden stromdurchflossenen Leiters gilt:

$$H = \frac{I}{2\pi \cdot r}$$

- H : magnetische Feldstärke
- N : Windungszahl der Spule
- ℓ : Länge der Spule
- I : elektrische Stromstärke
- r : Abstand vom Leiter

Lorentz-Kraft auf bewegte Ladungsträger

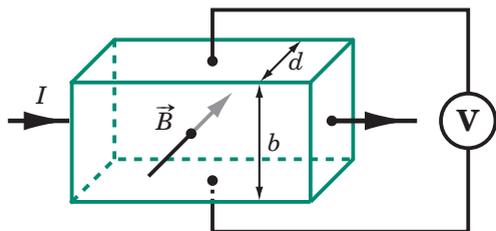
allgemein: $\vec{F}_L = q \cdot (\vec{v} \times \vec{B})$
 $F_L = q \cdot v \cdot B \cdot \sin \alpha$

Unter der Bedingung $\vec{v} \perp \vec{B}$ gilt:

$$F_L = q \cdot v \cdot B$$

- F_L : Lorentz-Kraft; q : Ladung
- v : Geschwindigkeit
- B : magnetische Flussdichte
- α : Winkel zwischen Geschwindigkeit und magnetischer Flussdichte

Hall-Spannung



$$U_H = R_H \cdot \frac{I \cdot B}{d}$$

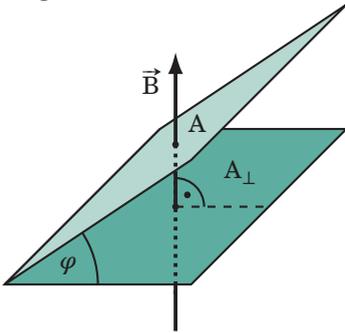
$$U_H = b \cdot v \cdot B$$

$$R_H = \frac{1}{n \cdot q}$$

- U_H : Hall-Spannung
- R_H : Hall-Konstante
- I : elektrische Stromstärke durch das Plättchen
- B : magnetische Flussdichte
- d, b : Dicke und Breite des Plättchens
- v : Geschwindigkeit der Ladungsträger durch das Plättchen
- n : Ladungsträgerdichte
- q : Ladung des Ladungsträgers

Induktion

magnetischer Fluss



$$\Phi = B \cdot A_{\perp}$$

$$= B \cdot A \cdot \cos \varphi$$

- Φ : magnetischer Fluss
- B : magnetische Flussdichte
- A_{\perp} : wirksamer Flächeninhalt
- A : Flächeninhalt
- φ : Winkel zwischen Fläche und wirksamer Fläche

Induktionsgesetz

Für eine Leiterschleife gilt: $U_{\text{ind}}(t) = -\frac{d\Phi}{dt} = -\dot{\Phi}(t)$

Für eine Spule gilt: $U_{\text{ind}} = -N \cdot \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$

Induktion durch Änderung der magnetischen Flussdichte bei $A_{\perp} = \text{konstant}$:

$$U_{\text{ind}} = -N \cdot A_{\perp} \cdot \frac{\Delta B}{\Delta t}$$

$$U_{\text{ind}}(t) = -N \cdot A_{\perp} \cdot \frac{dB}{dt} = -N \cdot A_{\perp} \cdot \dot{B}(t)$$

- U_{ind} : induzierte Spannung
- Φ : magnetischer Fluss
- t : Zeit

Induktion durch Änderung des wirksamen Flächeninhalts bei $B = \text{konstant}$:

$$U_{\text{ind}} = -N \cdot B \cdot \frac{\Delta A_{\perp}}{\Delta t}$$

$$U_{\text{ind}}(t) = -N \cdot B \cdot \frac{dA_{\perp}}{dt} = -N \cdot B \cdot \dot{A}_{\perp}(t)$$

- N : Windungszahl der Spule
- A_{\perp} : wirksamer Flächeninhalt
- B : magnetische Flussdichte
- ℓ : wirksame Länge des Leiters
- v : Geschwindigkeit des Leiters

Induktionsspannung am bewegten Leiter im homogenen Magnetfeld:

Unter der Bedingung $\vec{v} \perp \vec{B}$ gilt: $U_{\text{ind}} = -B \cdot \ell \cdot v$

Transformator

Verhältnis der Spannungen eines unbelasteten idealen Transformators

- $\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}$
- U_1 : elektrische Spannung an der felderzeugenden Spule (Primärspule)
- U_2 : elektrische Spannung an der Induktionsspule (Sekundärspule)
- N_1 : Windungszahl der felderzeugenden Spule (Primärspule)
- N_2 : Windungszahl der Induktionsspule (Sekundärspule)

Verhältnis der Ströme eines stark belasteten idealen Transformators (Kurzschlussfall)

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1}$$

I_1 : elektrische Stromstärke durch die felderzeugende Spule (Primärspule)
 I_2 : elektrische Stromstärke durch die Induktionsspule (Sekundärspule)
 N_1 : Windungszahl der felderzeugenden Spule (Primärspule)
 N_2 : Windungszahl der Induktionsspule (Sekundärspule)

Spule

Induktivität einer langgestreckten Spule

$$L = \frac{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot N^2 \cdot A}{\ell}$$

L : Induktivität; ℓ : Länge der Spule
 μ_0 : magnetische Feldkonstante
 μ_r : Permeabilitätszahl des Mediums
 N : Windungszahl der Spule
 A : Querschnittsfläche der Spule

Selbstinduktionsspannung einer Spule

$$U_{\text{ind}} = -L \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

allgemein:

$$U_{\text{ind}}(t) = -L \cdot \frac{dI}{dt} = -L \cdot \dot{I}(t)$$

U_{ind} : induzierte Spannung L : Induktivität
 I : elektrische Stromstärke t : Zeit

Energie der stromdurchflossenen Spule (magnetische Feldenergie)

$$E = \frac{1}{2} \cdot L \cdot I^2$$

E : Energie; L : Induktivität; I : elektrische Stromstärke

Schaltvorgänge an einer Spule

$$\text{Einschaltvorgang: } I(t) = I_0 \cdot \left(1 - e^{-\frac{R}{L}t}\right)$$

$$\text{Ausschaltvorgang: } I(t) = I_0 \cdot e^{-\frac{R}{L}t}$$

I : elektrische Stromstärke; t : Zeit
 I_0 : elektrische Stromstärke durch die Spule
am Ende bzw. zu Beginn des Schaltvorgangs
 R : Ohm'scher Widerstand
 L : Induktivität der Spule

Differenzialgleichung zur Beschreibung des Ausschaltvorgangs

$$\dot{I}(t) + \frac{R}{L} \cdot I(t) = 0$$

$$\frac{dI}{dt} + \frac{R}{L} \cdot I = 0$$

I : elektrische Stromstärke t : Zeit
 R : Ohm'scher Widerstand L : Induktivität der Spule

Differenzialgleichung zur Beschreibung des Einschaltvorgangs

$$\dot{I}(t) + \frac{R}{L} \cdot I(t) = \frac{U_0}{L}$$

$$\frac{dI}{dt} + \frac{R}{L} \cdot I = \frac{U_0}{L}$$

I : elektrische Stromstärke t : Zeit
 R : Ohm'scher Widerstand L : Induktivität der Spule
 U_0 : Quellenspannung beim Einschalten

Elektromagnetische Schwingungen

Periodendauer einer ungedämpften elektromagnetischen Schwingung im Schwingkreis (Thomson'sche Schwingungsgleichung)

$$T = 2\pi \cdot \sqrt{L \cdot C}$$

T : Periodendauer; L : Induktivität; C : Kapazität

Schwingungsgleichungen der ungedämpften harmonischen elektromagnetischen Schwingung

Für einen bei $t = 0$ s geladenen Kondensator gilt:

$U(t) = U_{\max} \cdot \cos(\omega \cdot t)$	U : elektrische Spannung	I : elektrische Stromstärke
$I(t) = -I_{\max} \cdot \sin(\omega \cdot t)$	Q : Ladung des Kondensators	ω : Kreisfrequenz; t : Zeit
$Q(t) = Q_{\max} \cdot \cos(\omega \cdot t)$	U_{\max} : maximale auftretende elektrische Spannung	I_{\max} : maximale auftretende elektrische Stromstärke
	I_{\max} : maximale auftretende elektrische Stromstärke	Q_{\max} : maximale Ladung des Kondensators

Differenzialgleichung der ungedämpften harmonischen elektromagnetischen Schwingung

$\ddot{Q}(t) + \frac{1}{L \cdot C} \cdot Q(t) = 0$	Q : Ladung des Kondensators	L : Induktivität
$\frac{d^2 Q}{dt^2} + \frac{1}{L \cdot C} \cdot Q = 0$	t : Zeit	C : Kapazität

gedämpfte harmonische elektromagnetische Schwingung (Schwingfall)

Für einen bei $t = 0$ s geladenen Kondensator gilt:

$Q(t) = Q_{\max} \cdot e^{-\delta t} \cdot \cos(\omega_D \cdot t)$	Q : Ladung des Kondensators
	Q_{\max} : maximale Ladung des Kondensators
	δ : Abklingkoeffizient; t : Zeit
mit: $\omega_D = \sqrt{\omega^2 - \delta^2}$	ω_D, ω : Kreisfrequenz der gedämpften / ungedämpften Schwingung

Differenzialgleichung der gedämpften harmonischen elektromagnetischen Schwingung

$\ddot{Q}(t) + 2\delta \cdot \dot{Q}(t) + \frac{1}{L \cdot C} \cdot Q(t) = 0$	Q : Ladung des Kondensators	L : Induktivität
$\frac{d^2 Q}{dt^2} + 2\delta \cdot \frac{dQ}{dt} + \frac{1}{L \cdot C} \cdot Q = 0$	δ : Abklingkoeffizient	C : Kapazität
mit: $\delta = \frac{R}{2L}$	R : Ohm'scher Widerstand	t : Zeit

Grundfrequenz eines Dipols

$f = \frac{c}{2\ell}$	f : Frequenz; c : Ausbreitungsgeschwindigkeit; ℓ : Länge des Dipols
-----------------------	--

Elektromagnetische Wellen

Ausbreitungsgeschwindigkeit elektromagnetischer Wellen im Vakuum

$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \cdot \mu_0}}$	c : Ausbreitungsgeschwindigkeit elektromagnetischer Wellen im Vakuum
	μ_0 : magnetische Feldkonstante; ϵ_0 : elektrische Feldkonstante

Intensität ungedämpfter elektromagnetischer Wellen

$I = \frac{P}{A}$	I : Intensität	c : Ausbreitungsgeschwindigkeit
	P : Leistung	ϵ_0 : elektrische Feldkonstante
$I = \frac{1}{2} \cdot c \cdot \epsilon_0 \cdot E_{\max}^2$	A : Flächeninhalt	μ_0 : magnetische Feldkonstante
	E_{\max} : maximale elektrische Feldstärke des elektrischen ...	
$I = \frac{1}{2} \cdot c \cdot \frac{1}{\mu_0} \cdot B_{\max}^2$	B_{\max} : maximale magnetische Flussdichte des magnetischen ...	
	... Felds der Welle	

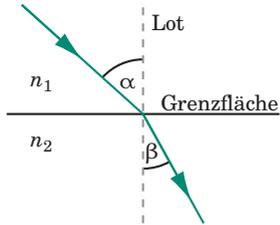
3.3 Optik

Geometrische Optik

Reflexionsgesetz $\alpha = \alpha'$ α : Einfallswinkel; α' : Reflexionswinkel

Brechung

Brechungsgesetz



$$n_2 > n_1$$

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{c_1}{c_2}$$

α : Einfallswinkel
 β : Brechungswinkel
 n_1, n_2 : Brechzahlen der optischen Medien
 c_1, c_2 : Lichtgeschwindigkeiten in den optischen Medien

Brechzahl $n = \frac{c_{\text{Vakuum}}}{c_{\text{Medium}}}$ n : Brechzahl des optischen Mediums
 c_{Vakuum} : Vakuumlichtgeschwindigkeit
 c_{Medium} : Lichtgeschwindigkeit im optischen Medium

Grenzwinkel der Totalreflexion $\sin \alpha_G = \frac{n_2}{n_1}$ α_G : Grenzwinkel der Totalreflexion
 n_1, n_2 : Brechzahlen der optischen Medien

Abbildungsgleichung für dünne Linsen und für Spiegel

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{g} + \frac{1}{b}$$

f : Brennweite; g : Gegenstandsweite; b : Bildweite

Abbildungsmaßstab für dünne Linsen und für Spiegel

$$A = \frac{B}{G} = \frac{b}{g}$$

A : Abbildungsmaßstab B : Bildgröße; b : Bildweite
 G : Gegenstandsgröße g : Gegenstandsweite

Wellenoptik

Interferenz

Doppelspalt

Für Maxima gilt: $\frac{k \cdot \lambda}{g} = \sin \alpha_k$ $k = 0, 1, 2, \dots$
 Für Minima gilt: $\frac{(2k - 1) \cdot \frac{\lambda}{2}}{g} = \sin \alpha_k$ $k = 1, 2, 3, \dots$

λ : Wellenlänge
 g : Spaltmittenabstand
 α_k : Winkel, unter dem das Maximum bzw. Minimum k -ter Ordnung erscheint

Gitter

Für Hauptmaxima gilt: $\frac{k \cdot \lambda}{g} = \sin \alpha_k$ $k = 0, 1, 2, \dots$
 λ : Wellenlänge; g : Spaltmittenabstand
 α_k : Winkel, unter dem das Hauptmaximum k -ter Ordnung erscheint

Einzelspalt

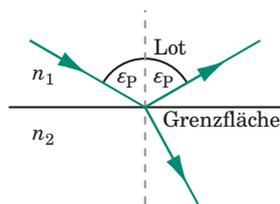
Für Minima gilt: $\frac{k \cdot \lambda}{d} = \sin \alpha_k$ $k = 1, 2, 3, \dots$	Für Maxima ab der ersten Ordnung gilt (Näherung): $\frac{(2k + 1) \cdot \frac{\lambda}{2}}{d} = \sin \alpha_k$ $k = 1, 2, 3, \dots$	λ : Wellenlänge d : Spaltbreite α_k : Winkel, unter dem das Maximum bzw. Minimum k -ter Ordnung erscheint
--	---	---

Bragg-Beziehung $2d \cdot \sin \varphi_k = k \cdot \lambda \quad k = 1, 2, 3, \dots$	d : Netzebenenabstand; λ : Wellenlänge φ_k : Glanzwinkel (zur Netzebene)
---	---

Rayleigh'sches Kriterium der Auflösung $\alpha_k = 1,22 \cdot \frac{\lambda}{d}$	λ : Wellenlänge; d : Durchmesser der Öffnung α_k : kritischer Winkel, bei dem die beiden Quellen gerade noch getrennt wahrgenommen werden
---	--

Durchlässigkeit beim linearen Polarisationsfilter $\frac{I}{I_0} = (\cos \varphi)^2$	I : Intensität der durchgelassenen Welle I_0 : Intensität der einlaufenden Welle φ : Winkel zwischen der Schwingungsrichtung des ein- fallenden Lichts und der Polarisationsachse des Filters
--	--

Brewster-Gesetz zur Polarisation des Lichts, senkrecht zur Zeichenebene



$n_1 < n_2$
 $\tan \epsilon_P = \frac{c_1}{c_2} = \frac{n_2}{n_1}$

ϵ_P : Polarisationswinkel (Einfallswinkel)
 n_1, n_2 : Brechzahlen der optischen Medien
 c_1, c_2 : Lichtgeschwindigkeit
 im optischen Medium

3.4 Quantenphysik und Materie

Quantenobjekte

Energie eines Photons $E = h \cdot f$	E : Energie; f : Frequenz des Photons h : Planck'sches Wirkungsquantum
--	---

Energiebilanz beim Fotoeffekt $E_{\text{kin,max}} = h \cdot f - W_A$	$E_{\text{kin,max}}$: maximale kinetische Energie der Fotoelektronen f : Frequenz des Photons; W_A : Auslösearbeit h : Planck'sches Wirkungsquantum
---	--

Impuls eines Photons $p = \frac{E}{c}$	p : Impuls; E : Energie; c : Lichtgeschwindigkeit
---	---

Wellenlänge eines Quantenobjekts (de-Broglie-Wellenlänge) $\lambda = \frac{h}{p}$	λ : Wellenlänge; h : Planck'sches Wirkungsquantum p : Impuls des Quantenobjekts
--	--

Compton-Effekt	$\Delta\lambda$: Änderung der Wellenlänge c : Lichtgeschwindigkeit φ : Streuwinkel (Winkel zwischen der Richtung des einstrahlenden und der Richtung des gestreuten Photons) h : Planck'sches Wirkungsquantum	λ_C : Compton-Wellenlänge m : Masse des Quantenobjekts
$\Delta\lambda = \lambda_C \cdot (1 - \cos\varphi)$		
mit: $\lambda_C = \frac{h}{m \cdot c}$		

Heisenberg'sche Unbestimmtheitsrelation	Δx : Ortsunbestimmtheit Δp_x : Impulsunbestimmtheit h : Planck'sches Wirkungsquantum
$\Delta x \cdot \Delta p_x \geq \frac{h}{4\pi}$	

Energie-Zeit-Unbestimmtheitsrelation	ΔE : Energieunbestimmtheit Δt : Zeitunbestimmtheit h : Planck'sches Wirkungsquantum
$\Delta E \cdot \Delta t \geq \frac{h}{4\pi}$	

zeitunabhängige Schrödingergleichung

$$\Psi_n''(x) = \frac{8\pi^2 \cdot m}{h^2} \cdot (E_{\text{pot}}(x) - E_n) \cdot \Psi_n(x)$$

$$n = 1, 2, 3, \dots$$

Lösung für den Potenzialtopf
mit unendlich hohen Wänden:

$$\Psi_n(x) = A_n \cdot \sin\left(\frac{\pi \cdot n}{L} \cdot x\right)$$

für $0 < x < L$, sonst: $\Psi_n(x) = 0$

Ψ : Wellenfunktion; m : Masse
 h : Planck'sches Wirkungsquantum
 x : Ort; E_{pot} : potenzielle Energie
 E_n : Energiewerte
 A_n : Normierungsfaktor
 L : Länge des Potenzialtopfes

Atomhülle

Frequenzbedingung für Übergänge zwischen den diskreten Energieniveaus	h : Planck'sches Wirkungsquantum f : Frequenz; E_m, E_n : Energieniveaus ΔE : Energiedifferenz
$h \cdot f = E_m - E_n = \Delta E \quad n, m = 1, 2, 3, \dots$	

Spektrallinien des Wasserstoffatoms

$$f = c \cdot R_H \cdot \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right)$$

$$n, m = 1, 2, 3, \dots \quad m > n$$

f : Frequenz
 c : Vakuumlichtgeschwindigkeit
 R_H : Rydberg-Konstante des Wasserstoffatoms

Energieniveaus des Wasserstoffatoms (ohne Korrektur des mitbewegten Kerns)

$$E_n = - \frac{m_e \cdot e^4}{8\epsilon_0^2 \cdot h^2} \cdot \frac{1}{n^2} = -13,6 \text{ eV} \cdot \frac{1}{n^2}$$

$$n = 1, 2, 3, \dots$$

E_n : Energieniveau des Wasserstoffatoms
 m_e : Elektronenmasse; e : Elementarladung
 ϵ_0 : elektrische Feldkonstante
 h : Planck'sches Wirkungsquantum

Energieniveaus eines Ein-Elektronen-Atoms (ohne Korrektur des mitbewegten Kerns)

$$E_n = - \frac{m_e \cdot e^4}{8\epsilon_0^2 \cdot h^2} \cdot \frac{Z^2}{n^2} = -13,6 \text{ eV} \cdot \frac{Z^2}{n^2}$$

$$n = 1, 2, 3, \dots$$

E_n : Energieniveau
 Z : Ordnungszahl
 ϵ_0 : elektrische Feldkonstante
 h : Planck'sches Wirkungsquantum
 m_e : Elektronenmasse
 e : Elementarladung

Moseley-Gesetz für die K_α -Linie eines Röntgenspektrums

$$E_{K_\alpha} = 13,6 \text{ eV} \cdot \frac{3}{4} \cdot (Z - 1)^2$$

E_{K_α} : Energie des beim K_α -Übergang emittierten Photons
 Z : Ordnungszahl

Energie im eindimensionalen Potenzialtopf mit unendlich hohen Wänden

$$E_n = \frac{h^2}{8m \cdot L^2} \cdot n^2 \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

E_n : Energieniveau; h : Planck'sches Wirkungsquantum
 m : Masse des Quantenobjekts

Im Inneren gilt: $E_{\text{pot}} = 0 \text{ eV}$

L : Länge des Potenzialtopfes

Materiewellenlänge bei stationären Zuständen im eindimensionalen Potenzialtopf

$$\lambda_n = 2 \cdot \frac{L}{n} \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

λ_n : Materiewellenlänge; L : Länge des Potenzialtopfes

3.5 Wärmelehre

Grundgleichung der Wärmelehre

$$Q = \Delta E = c \cdot m \cdot \Delta T$$

Q : aufgenommene bzw. abgegebene Wärme

E : Energie

c : spezifische Wärmekapazität

m : Masse

T : Temperatur

Entropieänderung

$$\Delta S = \frac{Q_{\text{rev}}}{T}$$

Q_{rev} : reversibel aufgenommene bzw. abgegebene Wärme

S : Entropie; T : Temperatur

Hauptsätze der Wärmelehre

1. Hauptsatz: $\Delta U = Q + W$

U : innere Energie

Q : Wärme

2. Hauptsatz: $\Delta S \geq 0$

W : Arbeit

S : Entropie

Zustandsgleichung für ideale Gase

$$\frac{p \cdot V}{T} = \text{konstant}$$

p : Druck; V : Volumen; T : Temperatur

Thermisches Verhalten von Festkörpern, Flüssigkeiten und Gasen

Aggregatzustandsänderungen

Verdampfungswärme

$$Q_V = q_V \cdot m$$

Q_V : Verdampfungswärme; m : Masse

q_V : spezifische Verdampfungswärme

Schmelzwärme

$$Q_S = q_S \cdot m$$

Q_S : Schmelzwärme; m : Masse

q_S : spezifische Schmelzwärme

Wärmeleitung

$$Q = \Delta E = \lambda \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{d} \cdot \Delta t$$

Q : Wärme A : Flächeninhalt
 E : Energie T : Temperatur
 λ : Wärmeleitfähigkeitskoeffizient
 d : Dicke/Länge des Körpers; t : Zeit

Thermische Längenänderung

$$\Delta \ell = \alpha \cdot \ell_0 \cdot \Delta T$$

ℓ : Länge
 α : Längenausdehnungskoeffizient
 ℓ_0 : Ausgangslänge; T : Temperatur

Thermische Volumenänderung

$$\Delta V = \gamma \cdot V_0 \cdot \Delta T$$

V : Volumen
 γ : Volumenausdehnungskoeffizient
 V_0 : Ausgangsvolumen; T : Temperatur

3.6 Spezielle Relativitätstheorie

Galilei-Transformation

$S \rightarrow S'$

$$x' = x - v \cdot t$$

$$y' = y$$

$$z' = z$$

$$t' = t$$

$S' \rightarrow S$

$$x = x' + v \cdot t$$

$$y = y'$$

$$z = z'$$

$$t = t'$$

x, y, z : Koordinaten im Inertialsystem S
 x', y', z' : Koordinaten im Inertialsystem S'
 t, t' : Zeiten in den jeweiligen Systemen
 v : Relativgeschwindigkeit der
 Inertialsysteme S und S'

Lorentz-Faktor

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}$$

γ : Lorentz-Faktor
 v : Relativgeschwindigkeit der Inertialsysteme S und S'
 c : Lichtgeschwindigkeit

Lorentz-Transformation

$S \rightarrow S'$

$$x' = \gamma \cdot (x - v \cdot t)$$

$$y' = y$$

$$z' = z$$

$$t' = \gamma \cdot \left(t - \frac{v}{c^2} \cdot x \right)$$

$S' \rightarrow S$

$$x = \gamma \cdot (x' + v \cdot t')$$

$$y = y'$$

$$z = z'$$

$$t = \gamma \cdot \left(t' + \frac{v}{c^2} \cdot x' \right)$$

x, y, z : Koordinaten im Inertialsystem S
 x', y', z' : Koordinaten im Inertialsystem S'
 t, t' : Zeiten in den jeweiligen Systemen
 v : Relativgeschwindigkeit der
 Inertialsysteme S und S'
 γ : Lorentz-Faktor
 c : Lichtgeschwindigkeit

Zeitdilatation

$$\Delta t = \gamma \cdot \Delta t_0$$

Δt : Zeitdauer, die ein Beobachter aus seinem Ruhesystem S
 für einen Vorgang misst
 Δt_0 : Zeitdauer, in der im dazu mit der Relativgeschwindigkeit v
 bewegten Bezugssystem S' ein Vorgang abläuft
 γ : Lorentz-Faktor

Längenkontraktion

$$\ell = \frac{\ell_0}{\gamma}$$

ℓ : Länge eines im bewegten Bezugssystem S' ruhenden Stabes, die ein Beobachter aus seinem Ruhesystem S misst

ℓ_0 : Länge eines im bewegten Bezugssystem S' ruhenden Stabes, im bewegten Bezugssystem S' gemessen

γ : Lorentz-Faktor

Impuls

$$p = \gamma \cdot m \cdot v$$

p : Impuls; γ : Lorentz-Faktor; m : Masse; v : Geschwindigkeit

Energie

$$E = \gamma \cdot m \cdot c^2 = E_0 + E_{\text{kin}}$$

E : Energie; γ : Lorentz-Faktor; m : Masse

c : Lichtgeschwindigkeit

E_0 : Ruheenergie; E_{kin} : kinetische Energie

Energie-Impuls-Beziehung

$$E^2 = c^2 p^2 + E_0^2$$

E : Energie

c : Lichtgeschwindigkeit

p : Impuls

E_0 : Ruheenergie

3.7 Kernphysik

Nukleonen

$$A = Z + N$$

A : Nukleonenzahl, Massenzahl N : Neutronenzahl

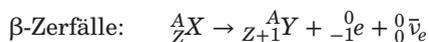
Z : Protonenzahl, Kernladungszahl

Freisetzung von α -, β -, γ -Strahlung

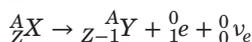


A : Massenzahl

Z : Protonenzahl, Kernladungszahl



X, Y : Elementsymbol



X^* : angeregtes Nuklid

$\bar{\nu}_e$: Elektron-Antineutrino



ν_e : Elektron-Neutrino

Aktivität einer radioaktiven Substanz

$$A(t) = -\dot{N}(t) = -\frac{dN}{dt} = \lambda \cdot N(t)$$

A : Aktivität; λ : Zerfallskonstante

N : Anzahl der noch nicht zerfallenen Kerne

Zerfallsgesetz

$$N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$$

$$N(t) = N_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T_{1/2}}}$$

$$\text{mit: } T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

N : Anzahl der zur Zeit t noch nicht zerfallenen Kerne

N_0 : Anzahl der ursprünglich vorhandenen Kerne

λ : Zerfallskonstante

t : Zeit

$T_{1/2}$: Halbwertszeit

Absorptionsgesetz

$$z(d) = z_0 \cdot e^{-\mu \cdot d} = z_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{d}{D_{1/2}}}$$

z : Zählrate (hinter einem Absorber der Dicke d)

z_0 : Zählrate (ohne Absorber, gleicher Ort)

μ : Schwächungskoeffizient

$D_{1/2}$: Halbwertsdicke

Energiedosis

$$D = \frac{E}{m}$$

D : Energiedosis; E : aufgenommene Energie; m : Masse

Äquivalentdosis

$$H = D \cdot q$$

H : Äquivalentdosis; D : Energiedosis; q : Qualitätsfaktor

Effektive Dosis

$$E = w_{T_1} \cdot H_{T_1} + w_{T_2} \cdot H_{T_2} + \dots$$

E : Effektive Dosis

w_{T_1}, w_{T_2}, \dots : Gewebe-Wichtungsfaktoren

H_{T_1}, H_{T_2}, \dots : Organ-Äquivalentdosen

Bindungsenergie des Kerns

$$E_B = \Delta m \cdot c^2$$

$$\text{mit: } \Delta m = Z \cdot m_p + N \cdot m_n - m_K$$

E_B : Bindungsenergie

Δm : Massendefekt

m_p : Protonenmasse

m_n : Neutronenmasse

N : Neutronenzahl

m_K : Kernmasse

Z : Protonenzahl, Kernladungszahl;

c : Lichtgeschwindigkeit

Freierwerdende Energie bei Kernreaktionen (Q-Wert)

$$Q = \Delta E = (m_{\text{vor}} - m_{\text{nach}}) \cdot c^2$$

Q : Q-Wert der Kernreaktion; E : Energie

$m_{\text{vor}}, m_{\text{nach}}$: Masse vor/nach der Kernreaktion

c : Lichtgeschwindigkeit

Kernradius

$$r_K \approx 1,4 \cdot 10^{-15} \text{ m} \cdot \sqrt[3]{A}$$

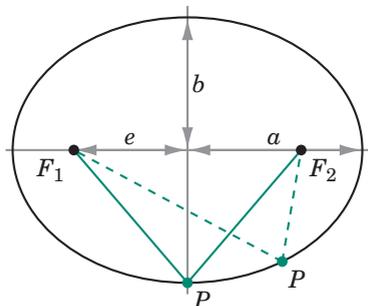
r_K : Kernradius; A : Massenzahl

3.8 Astrophysik

Kepler'sche Gesetze

1. Kepler'sches Gesetz

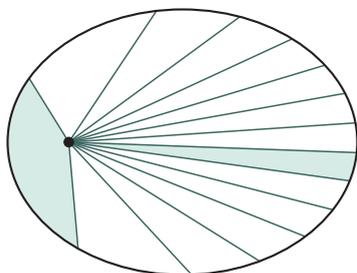
Die Planeten bewegen sich auf Ellipsenbahnen, in deren einem Brennpunkt die Sonne steht.



mit $\varepsilon = \frac{e}{a}$

a, b : große bzw. kleine Halbachse
 e : lineare Exzentrizität
 F_1, F_2 : Brennpunkte; P : Planet
 ε : numerische Exzentrizität

2. Kepler'sches Gesetz



$\frac{\Delta A}{\Delta t} = \text{konstant}$

A : Flächeninhalt der vom Leitstrahl überstrichene Fläche
 t : Zeit

3. Kepler'sches Gesetz

$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}$ T_1, T_2 : Umlaufzeiten der Objekte beim Umlauf um den Zentralkörper
 a_1, a_2 : große Halbachsen der Objekte beim Umlauf um den Zentralkörper

Bewegung im Gravitationsfeld

Bahngeschwindigkeit eines Körpers auf einer Keplerellipse

$v = \sqrt{G \cdot M \cdot \left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right)}$

v : Bahngeschwindigkeit M : Masse des Zentralkörpers
 G : Gravitationskonstante r : Abstand vom Zentralkörper
 a : große Halbachse der Bahnellipse

Zweikörperproblem

$\frac{T^2}{a^3} = \frac{4\pi^2}{G \cdot (m_1 + m_2)}$

T : Umlaufzeit; m_1, m_2 : Massen
 a_1, a_2 : große Halbachsen der Himmelskörper (gemeinsamer Schwerpunkt)
 G : Gravitationskonstante

mit $a = a_1 + a_2$

Schwerpunktsatz

$m_1 \cdot a_1 = m_2 \cdot a_2$

m_1, m_2 : Massen
 a_1, a_2 : große Halbachsen der Himmelskörper (gemeinsamer Schwerpunkt)

Umlaufzeiten

$$\frac{1}{T_{\text{sid}}} = \frac{1}{T_{\text{Erde}}} \pm \frac{1}{T_{\text{syn}}}$$

T_{sid} : siderische Umlaufzeit
 T_{Erde} : Umlaufzeit der Erde
 T_{syn} : synodische Umlaufzeit

Kreisbahngeschwindigkeit

$$v = \sqrt{\frac{G \cdot M}{r}}$$

v : Geschwindigkeit; G : Gravitationskonstante
 r : Abstand vom Mittelpunkt des Zentralkörpers
 M : Masse des Zentralkörpers

Fluchtgeschwindigkeit

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot G \cdot M}{r}}$$

v : Geschwindigkeit; G : Gravitationskonstante
 r : Abstand vom Mittelpunkt des Zentralkörpers
 M : Masse des Zentralkörpers

Schwarzschild-Radius eines schwarzen Lochs

$$R_S = \frac{2 \cdot G \cdot M}{c^2}$$

R_S : Radius des Ereignishorizonts des schwarzen Lochs
 G : Gravitationskonstante; c : Lichtgeschwindigkeit
 M : Masse des schwarzen Lochs

Strahlungsgesetze

Bestrahlungsstärke

$$E = \frac{\Phi}{4\pi \cdot r^2}$$

E : Bestrahlungsstärke
 Φ : Strahlungsleistung, Leuchtkraft
 r : Abstand vom Körper

Empirische Masse-Leuchtkraft-Beziehung (Näherung)

$$L \sim M^3$$

L : Leuchtkraft eines Hauptreihensterns; M : Masse des Sterns

Stefan-Boltzmann-Gesetz für schwarze Strahler

$$\Phi = \sigma \cdot A \cdot T^4$$

Φ : Strahlungsleistung, Leuchtkraft
 σ : Stefan-Boltzmann-Konstante; T : Temperatur
 A : Flächeninhalt der abstrahlenden Fläche

Wien'sches Verschiebungsgesetz

$$\lambda_{\text{max}} \cdot T = b$$

λ_{max} : Wellenlänge des Maximums der spektralen
 Verteilung der Strahlungsintensität
 T : Temperatur; b : Wien'sche Verschiebungskonstante

Entfernung und Helligkeit

Trigonometrische Parallaxe p in Bogensekunden

$$\frac{r}{1 \text{ pc}} = \frac{1''}{p}$$

r : Entfernung des Sterns; p : trigonometrische Parallaxe

Eigenbewegung

$$v_t = \mu \cdot r$$

v_t : Tangentialgeschwindigkeit; r : Entfernung des Sterns
 μ : Winkelgeschwindigkeit des Sterns (Eigenbewegung)

Beziehung zwischen den scheinbaren Helligkeiten m_1 und m_2 zweier Sterne

$$m_1 - m_2 = -2,5 \cdot \lg\left(\frac{E_1}{E_2}\right)$$

m_1, m_2 : scheinbare Helligkeiten
 E_1, E_2 : Bestrahlungsstärken

Beziehung zwischen den absoluten Helligkeiten M_1 und M_2 zweier Sterne

$$M_1 - M_2 = -2,5 \cdot \lg\left(\frac{L_1}{L_2}\right)$$

M_1, M_2 : absolute Helligkeiten
 L_1, L_2 : Leuchtkräfte

Entfernungsmodul eines Sternes

$$m - M = 5 \cdot \lg\left(\frac{r}{10 \text{ pc}}\right)$$

m : scheinbare Helligkeit; M : absolute Helligkeit
 r : Abstand zwischen Stern und Beobachter in pc

Empirische Perioden-Helligkeits-Beziehung bei Cepheiden

$$M = -1,84 - 2,24 \cdot \lg\left(\frac{p}{1 \text{ d}}\right)$$

M : mittlere absolute Helligkeit
 p : Periodendauer des δ -Cephei-Sternes in d

Hubble-Beziehung

$$v = H_0 \cdot r$$

v : Radialgeschwindigkeit einer weit entfernten Galaxie
 H_0 : Hubble-Parameter; r : Entfernung

Nichtrelativistische Näherung des optischen Dopplereffekts

$$\frac{\Delta f}{f} \approx \pm \frac{v}{c} \quad \frac{\Delta \lambda}{\lambda} \approx \pm \frac{v}{c}$$

f : Frequenz; λ : Wellenlänge; c : Lichtgeschwindigkeit
 v : Relativgeschwindigkeit von Sender und Empfänger

4 Anhang

4.1 Größen, Einheiten und ihre Beziehungen untereinander

Größe	Formel- zeichen	Name der Einheit	Einheiten- zeichen	Beziehungen zwischen den Einheiten
Aktivität	A	Becquerel	Bq	$1 \text{ Bq} = \frac{1}{\text{s}}$
Äquivalentdosis	H	Sievert	Sv	$1 \text{ Sv} = 1 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$
Arbeit	W	Joule	J	$1 \text{ J} = 1 \text{ Nm} = 1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2}$
Beschleunigung	a		$\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$	
Bestrahlungsstärke	E		$\frac{\text{W}}{\text{m}^2}$	
Dichte	ρ		$\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	$1 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 0,001 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$
Drehmoment	M		Nm	$1 \text{ Nm} = 1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2}$
Drehimpuls	L		Nm · s	$1 \text{ Nm} \cdot \text{s} = 1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}}$
Druck	p	Pascal Bar	Pa bar	$1 \text{ Pa} = 1 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 1 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}^2}$ $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$
effektive Dosis	E	Sievert	Sv	$1 \text{ Sv} = 1 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$
elektrische Feldstärke	E		$\frac{\text{V}}{\text{m}}$	$1 \frac{\text{V}}{\text{m}} = 1 \frac{\text{N}}{\text{C}}$
elektrische Flussdichte	D		$\frac{\text{A} \cdot \text{s}}{\text{m}^2}$	
elektrische Ionen- äquivalentleitfähigkeit	Λ_{eq}		$\frac{\text{S} \cdot \text{cm}^2}{\text{mol}}$	
elektrische Kapazität	C	Farad	F	$1 \text{ F} = 1 \frac{\text{C}}{\text{V}} = 1 \frac{\text{A}^2 \cdot \text{s}^4}{\text{kg} \cdot \text{m}^2}$
elektrische Ladung	Q	Coulomb	C	$1 \text{ C} = 1 \text{ A} \cdot \text{s}$
elektrische Leitfähigkeit	κ		$\frac{\text{S}}{\text{m}}$	$1 \frac{\text{S}}{\text{m}} = \frac{1}{\Omega \cdot \text{m}}$
elektrischer Leitwert	G	Siemens	S	$1 \text{ S} = \frac{1}{\Omega} = 1 \frac{\text{A}}{\text{V}}$
elektrische Spannung	U	Volt	V	$1 \text{ V} = 1 \frac{\text{W}}{\text{A}} = 1 \frac{\text{J}}{\text{C}} = 1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^3 \cdot \text{A}}$

Größe	Formelzeichen	Name der Einheit	Einheitenzeichen	Beziehungen zwischen den Einheiten
elektrische Stromstärke	I	Ampere	A	
elektrischer Widerstand	R	Ohm	Ω	$1 \Omega = 1 \frac{\text{V}}{\text{A}} = 1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^3 \cdot \text{A}^2}$
elektrisches Potenzial	φ	Volt	V	$1 \text{ V} = 1 \frac{\text{W}}{\text{A}} = 1 \frac{\text{J}}{\text{C}} = 1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^3 \cdot \text{A}}$
elektrochemisches Potenzial	E	Volt	V	$1 \text{ V} = 1 \frac{\text{W}}{\text{A}} = 1 \frac{\text{J}}{\text{C}} = 1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^3 \cdot \text{A}}$
Energie	E	Joule	J	$1 \text{ J} = 1 \text{ Nm} = 1 \text{ Ws} = 1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2}$
		Elektronenvolt	eV	$1 \text{ eV} = 1,602\,176\,634 \cdot 10^{-19} \text{ J}$
		Kilokalorie	kcal	$1 \text{ kcal} = 4,184 \text{ kJ}$
		Kilowattstunde	kWh	$1 \text{ kWh} = 3600 \text{ kJ}$
Energiedosis	D	Gray	Gy	$1 \text{ Gy} = 1 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$
Enthalpie	H	Joule	J	$1 \text{ J} = 1 \text{ Nm} = 1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2}$
freie Enthalpie	G	Joule	J	$1 \text{ J} = 1 \text{ Nm} = 1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2}$
Entropie	S		$\frac{\text{J}}{\text{K}}$	
Flächeninhalt	A		m^2	
Flächenladungsdichte	σ		$\frac{\text{As}}{\text{m}^2}$	
Frequenz	f	Hertz	Hz	$1 \text{ Hz} = 1 \frac{1}{\text{s}}$
Geschwindigkeit	v		$\frac{\text{m}}{\text{s}}$	
Helligkeit	m, M	Magnitude	mag	
Impuls	p		$\frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}}$	
Induktivität	L	Henry	H	$1 \text{ H} = 1 \frac{\text{V} \cdot \text{s}}{\text{A}} = 1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2 \cdot \text{A}^2}$
Intensität	I		$\frac{\text{W}}{\text{m}^2}$	
innere Energie	U	Joule	J	$1 \text{ J} = 1 \text{ Nm} = 1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2}$

Größe	Formel- zeichen	Name der Einheit	Einheiten- zeichen	Beziehungen zwischen den Einheiten
Kraft	F	Newton	N	$1 \text{ N} = 1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2}$
Kreisfrequenz	ω		$\frac{1}{\text{s}}$	
Länge	ℓ	Meter	m	
Leistung	P	Watt	W	$1 \text{ W} = 1 \frac{\text{J}}{\text{s}} = 1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^3}$
magnetische Feldstärke	H		$\frac{\text{A}}{\text{m}}$	
magnetischer Fluss	Φ	Weber	Wb	$1 \text{ Wb} = 1 \text{ V} \cdot \text{s}$
magnetische Flussdichte	B	Tesla	T	$1 \text{ T} = 1 \frac{\text{N}}{\text{A} \cdot \text{m}} = 1 \frac{\text{V} \cdot \text{s}}{\text{m}^2} = 1 \frac{\text{kg}}{\text{s}^2 \cdot \text{A}}$
Masse	m	Kilogramm atomare Masseinheit	kg u	$1 \text{ u} = 1,660\,539\,066\,60 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
Schalldruckpegel	L_p	Dezibel	dB	
Schallintensitätspegel	L_I	Dezibel	dB	
spezifische Wärmekapazität	c		$\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$	
Stoffmenge	n	Mol	mol	
Temperatur	T ϑ	Kelvin Grad Celsius	K °C	$0 \text{ °C} \triangleq 273,15 \text{ K}$
Trägheitsmoment	J		$\text{kg} \cdot \text{m}^2$	
Viskosität	η		$\frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}$	
Volumen	V	Kubikmeter Liter	m^3 ℓ, L	$1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ L}$
Wärme	Q	Joule	J	$1 \text{ J} = 1 \text{ Nm} = 1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2}$
Wellenlänge	λ	Meter	m	
Winkelgeschwindigkeit	ω		$\frac{1}{\text{s}}$	
Zeit	t	Sekunde	s	

4.2 Astronomische Entfernungsangaben

$$1 \text{ Lj} = 9,4607 \cdot 10^{15} \text{ m}$$

$$1 \text{ AE} = 1,4960 \cdot 10^{11} \text{ m}$$

$$1 \text{ pc} = 3,0857 \cdot 10^{16} \text{ m}$$

4.3 Vorsätze bei Einheiten

Vorsatz		Zeichen		Faktor, mit dem die Einheit multipliziert wird							
Exa	E	10^{18}	Mega	M	10^6	Dezi	d	10^{-1}	Nano	n	10^{-9}
Peta	P	10^{15}	Kilo	k	10^3	Zenti	c	10^{-2}	Piko	p	10^{-12}
Tera	T	10^{12}	Hekto	h	10^2	Milli	m	10^{-3}	Femto	f	10^{-15}
Giga	G	10^9	Deka	da	10^1	Mikro	μ	10^{-6}	Atto	a	10^{-18}

4.4 Tabellierte Werte

Naturkonstanten und Näherungswerte wichtiger Größen

Avogadro-Konstante	$N_A = 6,022\,140\,76 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{mol}}$	(definiert)
Elementarladung	$e = 1,602\,176\,634 \cdot 10^{-19} \text{ C}$	(definiert)
elektrische Feldkonstante	$\epsilon_0 = \frac{1}{\mu_0 \cdot c^2} = 8,854\,187\,812\,8 \cdot 10^{-12} \frac{\text{A} \cdot \text{s}}{\text{V} \cdot \text{m}}$	
Faraday-Konstante	$F = 96\,485,332\,12 \dots \frac{\text{C}}{\text{mol}}$	(definiert)
Gravitationskonstante	$G = 6,674\,30 \cdot 10^{-11} \frac{\text{m}^3}{\text{kg} \cdot \text{s}^2}$	
Hubble-Parameter	$H_0 = 68 \frac{\text{km}}{\text{s} \cdot \text{Mpc}}$	
ideale Gaskonstante	$R = 8,314\,462\,618 \dots \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$	(definiert)
magnetische Feldkonstante	$\mu_0 = 1,256\,637 \cdot 10^{-6} \frac{\text{V} \cdot \text{s}}{\text{A} \cdot \text{m}}$	
Normgröße der Normalfallbeschleunigung, Ortsfaktor	$g = 9,806\,65 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$	(definiert)
Planck'sches Wirkungsquantum	$h = 6,626\,070\,15 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$	(definiert)
Rydberg-Konstante	$R_H = 1,096\,776 \cdot 10^7 \frac{1}{\text{m}}$	(Wasserstoffatom)
Stefan-Boltzmann-Konstante	$\sigma = 5,670\,374\,419 \dots \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4}$	(definiert)
Vakuumlichtgeschwindigkeit	$c = 2,997\,924\,58 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$	(definiert)
Wien'sche Verschiebungskonstante	$b = 2,897\,771\,955 \dots \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$	(definiert)

Elektron, Proton, Neutron, α -Teilchen

	Masse	Ladung
Elektron	$m_e = 9,109\,383\,701\,5 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$	$q_e = -1e$
Proton	$m_p = 1,672\,621\,923\,69 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$	$q_p = 1e$
Neutron	$m_n = 1,674\,927\,498\,04 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$	$q_n = 0 \text{ C}$
α -Teilchen	$m_\alpha = 6,644\,657\,335\,7 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$	$q_\alpha = 2e$

Teilchen des Standardmodells

Tabelle der Quarks

Teilchen	Symbol	Ladung in e	Masse in $\frac{\text{eV}}{c^2}$
Up	u	$+2/3$	$2,16 \cdot 10^6$
Down	d	$-1/3$	$4,67 \cdot 10^6$
Charm	c	$+2/3$	$1,27 \cdot 10^9$
Strange	s	$-1/3$	$93,4 \cdot 10^6$
Top	t	$+2/3$	$1,73 \cdot 10^{11}$
Bottom	b	$-1/3$	$4,18 \cdot 10^9$

Tabelle der Leptonen

Teilchen	Symbol	Ladung in e	Masse in $\frac{\text{eV}}{c^2}$
Elektron	e^-	-1	$511,00 \cdot 10^3$
Elektron-Neutrino	ν_e	0	$< 1,1$
Myon	μ^-	-1	$105,66 \cdot 10^6$
Myon-Neutrino	ν_μ	0	$< 0,19 \cdot 10^6$
Tauon	τ^-	-1	$1,7769 \cdot 10^9$
Tauon-Neutrino	ν_τ	0	$< 18,2 \cdot 10^6$

Festgelegte Bedingungenmolares Volumen idealer Gase bei $p = 101,325 \text{ kPa}$

$$V_m = 22,414 \frac{\text{L}}{\text{mol}} \quad \text{bei } T = 273,15 \text{ K} \qquad V_m = 24,466 \frac{\text{L}}{\text{mol}} \quad \text{bei } T = 298,15 \text{ K}$$

Wasser

$$\text{Ionenprodukt} \qquad K_W = 1,0 \cdot 10^{-14} \frac{\text{mol}^2}{\text{L}^2} \quad \text{bei } T = 298,15 \text{ K}$$

$$\text{spezifische Wärmekapazität} \qquad c_W = 4,183 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}} \quad \text{bei } T = 298,15 \text{ K und } p = 101,325 \text{ kPa}$$

Dichte

Dichte fester Stoffe bei 25 °C

Stoff	ρ in $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$	Stoff	ρ in $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$
Aluminium	2,70	Holz (lufttrocken)	
		Eiche	0,6 ... 0,9
		Kiefer	0,3 ... 0,7
		Ebenholz	1,1 ... 1,3
Beton	2,3	Kork	0,2 ... 0,35
Blei	11,34	Kupfer	8,96
Diamant	3,51	Magnesium	1,74
Eis (bei 0 °C)	0,917	Marmor	2,6 ... 2,8
Eisen	7,86	Papier	0,7 ... 1,2
Glas (Fensterglas)	2,4 ... 2,6	Porzellan	2,2 ... 2,4
Glas (Quarzglas)	2,20	Sandstein	2,1 ... 2,4
Gold	19,3	Silber	10,50
Granit	2,6 ... 2,8	Stahl	7,8
Graphit	2,26	Zink	7,14
Hartgummi	1,2 ... 1,8	Zinn	7,30

Dichte von Flüssigkeiten bei 25 °C

Stoff	ρ in $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$	Stoff	ρ in $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$
Aceton (Propanon)	0,79	Petroleum	0,81
Benzin	0,68 ... 0,72	Quecksilber	13,53
Dieselmotorenkraftstoff	0,84 ... 0,88	Schwefelsäure (50 %)	1,397
Erdöl	0,73 ... 0,94	schweres Wasser	1,10
Ethanol	0,79	Spiritus	0,83
Glycerin	1,26	Wasser	
		destilliert	1,00
		Meerwasser	1,02

Dichte von Gasen bei 0 °C und 101,3 kPa

Stoff	ρ in $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$	Stoff	ρ in $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$
Ammoniak	0,000 77	Ozon	0,002 15
Chlor	0,003 22	Propan	0,002 01
Erdgas (trocken)	0,000 7	Sauerstoff	0,001 43
Helium	0,000 18	Stickstoff	0,001 25
Kohlenstoffdioxid	0,001 98	Wasserstoff	0,000 09
Luft (trocken)	0,001 29	Xenon	0,005 85
Methan	0,000 72		

Dielektrizitätszahl

bei 20 °C

Stoff	ϵ_r	Stoff	ϵ_r
Bernstein	2,8	Paraffin	2,3
Glas	5 ... 16	Polystyrol	2,6
Bariumtitanat (BaTiO ₃)	100 ... 1000	Porzellan	4,5 ... 6,5
Calciumtitanat (CaTiO ₃)	150 ... 180	Transformatoröl	2,5
Luft	1,0006	Vakuum	1
Hartpapier	3,5 ... 5	Wasser	81

Permeabilitätszahl (relative Permeabilität)

bei 20 °C

diamagnetische Stoffe		paramagnetische Stoffe		ferromagnetische Stoffe	
Stoff	μ_r	Stoff	μ_r	Stoff	μ_r
Antimon	0,999 884	Aluminium	1,000 02	Cobalt	80 ... 200
Gold	0,999 971	Chrom	1,000 28	Dynamoblech	200 ... 3000
Quecksilber	0,999 966	Eisen(III)-chlorid	1,003 756	Eisen	250 ... 680
Wasser	0,999 991	Luft	1,000 000 37	Nickel	280 ... 2500
Zink	0,999 986	Platin	1,0002	Sonderlegierungen	bis 900 000

Spezifischer elektrischer Widerstand

bei 20 °C

Metall	ρ in $\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$	Metall	ρ in $\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$
Aluminium	0,028	Kupfer	0,0172
Blei	0,21	Quecksilber	0,96
Eisen	0,10	Silber	0,016
Gold	0,022	Wolfram	0,055
Konstantan	0,50	Zinn	0,11

Kohle und Widerstandslegierungen

Material	ρ in $\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$	Material	ρ in $\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$
Bogenlampenkohle	60 ... 80	Manganin	0,43
Bürstenkohle	40 ... 100	Nickelin	0,43
Chromnickel	1,1	Stahlguss	0,18
Leitungskupfer	0,0178		

Halbleiter und Isolatoren

Material	ρ in $\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$	Material	ρ in $\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$
Bernstein	bis 10^8	Porzellan	bis 10^{18}
Holz, trocken	$10^{11} \dots 10^{15}$	Quarzglas	$10^{13} \dots 10^{15}$
Kupferoxid	$10^3 \dots 10^8$	Silicium	$10^{-1} \dots 10^5$
Polyvinylchlorid PVC	$10^{14} \dots 10^{15}$	Transformatoröl	$10^{12} \dots 10^{15}$
Polyethen PE	10^{12}	Wasser (destilliert)	10^{10}

Brechzahlen

Die Brechzahlen beziehen sich auf den Übergang der gelben Natriumlinien ($\lambda = 589,3 \text{ nm}$) aus dem Vakuum in den angegebenen Stoff.

Stoff	Brechzahl n	Stoff	Brechzahl n
Diamant	2,417	Augenlinse	1,40...1,41
Eis	1,31	Glycerin	1,474
Flintglas, leicht	1,608	Hornhaut	1,376
Flintglas, schwer	1,754	Kammerwasser	1,336
Kronglas, leicht	1,515	Luft	1,0003
Kronglas, schwer	1,615	Wasser	1,333
Quarzglas	1,459		

Hall-Konstante

Stoff	R_H in $\frac{\text{m}^3}{\text{C}}$	Stoff	R_H in $\frac{\text{m}^3}{\text{C}}$
Aluminium	$-3,5 \cdot 10^{-11}$	Indiumantimonid	$+7 \cdot 10^{-4}$
Bismut	$+5 \cdot 10^{-7}$	Kupfer	$-5,2 \cdot 10^{-11}$
Cadmium	$+5,9 \cdot 10^{-11}$	Palladium	$-8,6 \cdot 10^{-11}$
Germanium n-dotiert	$+5,61 \cdot 10^{-3}$	Platin	$-2,0 \cdot 10^{-11}$
Germanium p-dotiert	$+6,6 \cdot 10^{-3}$	Silber	$-8,9 \cdot 10^{-11}$
Gold	$-7,2 \cdot 10^{-11}$	Zink	$+6,4 \cdot 10^{-11}$

Auslösearbeit

Metall	W_A in eV	Metall	W_A in eV	Metall	W_A in eV
Aluminium	4,20	Calcium	2,87	Platin	5,64
Barium	2,52	Gold	5,47	Wolfram	4,55
Cadmium	4,08	Eisen	4,67	Zink	3,95
Caesium	1,95	Magnesium	3,66	Zinn	4,42

Längenausdehnungs- und Volumenausdehnungskoeffizienten

Längenausdehnungskoeffizienten

Stoff	α in $\frac{10^{-6}}{\text{K}}$	Stoff	α in $\frac{10^{-6}}{\text{K}}$
Aluminium	23,1	Polyethen PE	200
Beton	12	Polyvinylchlorid PVC	80
weißes Floatglas	8,7	Stahl	11,7
Kupfer	16,5		

Volumenausdehnungskoeffizienten

Stoff	Benzin	Ethanol	Wasser
γ in $\frac{10^{-3}}{\text{K}}$ bei 20 °C	1,00	1,10	0,18

Spezifische Wärmekapazitäten

feste Stoffe	c in $\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$	feste Stoffe	c in $\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$	feste Stoffe	c in $\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$
Aluminium	0,90	Holz (Eiche)	2,39	Quarzglas	0,73
Beton	0,92	Kupfer	0,38	Silber	0,24
Diamant	0,50	Magnesium	1,02	Stahl	≈ 0,47
Fensterglas	0,17	Mauerwerk	≈ 0,86	Wolfram	0,13
Gold	0,13	Platin	0,13	Zink	0,39
Graphit	0,71	Porzellan	≈ 0,84	Zinn	0,23

Flüssigkeiten	c in $\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$	Flüssigkeiten	c in $\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$
Benzol	1,70	Petroleum	2,00
Ethanol	2,42	Quecksilber	0,14
Glycerin	2,39	Wasser	4,183

Gase	bei konstantem Volumen	bei konstantem Druck
	c_V in $\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$	c_P in $\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$
Ammoniak	1,56	2,05
Helium	3,22	5,24
Kohlenstoffdioxid	0,65	0,85
Luft	0,72	1,01
Propan	1,36	1,55
Sauerstoff	0,65	0,92
Stickstoff	0,75	1,04
Wasserdampf	1,40	1,86
Wasserstoff	10,13	14,28

Schmelztemperatur und spezifische Schmelzwärme

Stoff	Schmelztemperatur ϑ_S (bei 101,325 kPa) in °C	spezifische Schmelzwärme q_S in $\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$
Aluminium	660,3	397
Blei	327,5	26
Eis	0	334
Ethanol	-114,1	108
Gold	1064,2	65
Helium	-270 (bei 2,6 MPa)	
Kupfer	1084,6	205
Magnesium	650	382
Methanol	-97,53	69
Platin	1768,4	113
Quecksilber	-38,83	11,3
Sauerstoff	-218,79	
Silber	961,78	104
Silizium	1414	142
Stahl	723 – 1536	
Stickstoff	-210,0	
Wasser	0	334
Wasserstoff	-259,34	59
Wolfram	3422	192
Zink	419,53	111
Zinn	231,93	59

Siedetemperatur und spezifische Verdampfungswärme

Stoff	Siedetemperatur ϑ_V (bei 101,325 kPa) in °C	spezifische Verdampfungswärme q_V in $\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$
Ammoniak	-33,33	1370
Aceton	56,05	520
Ethanol	78,29	842
Glycerin	290	853
Helium	-268,93	25
Kohlenstoffdioxid	-79 (Subl.)	574
Methanol	64,6	1102
Sauerstoff	-182,95	213
Stickstoff	-195,79	198
Wasser	100	2260
Wasserstoff	-252,87	455

Schallgeschwindigkeiten

Feste Stoffe	v in $\frac{m}{s}$	Flüssigkeiten und Gase	v in $\frac{m}{s}$
Aluminium	5100	Helium	1020
Beton	3800	Kohlenstoffdioxid	260
Blei	1300	Luft bei 0 °C	332
Holz (Eiche)	4100	Luft bei 10 °C	338
Eis bei -4 °C	3230	Luft bei 20 °C	343
Glas	4000 ... 5000	Stickstoff	348
Granit	3950	Wasser bei 4 °C	1400
Kork	500	Wasser bei 20 °C	1483
Kupfer	3900	Wasserstoff	1280
Marmor	3800		
Messing	3400		
PVC, weich	80		
PVC, hart	1700		
Stahl	5100		
Ziegel	3600		

Daten zum Sonnensystem**Daten der Sonne**

Masse	$1,9894 \cdot 10^{30}$ kg	Leuchtkraft	$3,846 \cdot 10^{26}$ W
Mittlerer Radius	$6,9570 \cdot 10^5$ km	Solarkonstante	$1,361 \frac{kW}{m^2}$
Mittlere Dichte	$1,4 \frac{g}{cm^3}$	Absolute Helligkeit	4,83
Rotationsdauer am Äquator	25 d	Scheinbare Helligkeit	-26,74
Oberflächentemperatur	$5,8 \cdot 10^3$ K	Fallbeschleunigung (Ortsfaktor) an der Oberfläche	$274 \frac{m}{s^2}$

Daten der Erde

Große Halbachse	$1,4960 \cdot 10^8$ km = 1 AE	Mittlere Dichte	$5,5 \frac{g}{cm^3}$
Umlaufzeit	365,2563 d = 31 558 149,54 s	Fallbeschleunigung (Ortsfaktor) an der Oberfläche (Mitteleuropa)	$9,81 \frac{m}{s^2}$
Numerische Exzentrizität der Bahn	0,017	Neigung der Rotationsachse gegen das Lot der Bahnebene	23,44°
Masse	$5,974 \cdot 10^{24}$ kg	Siderische Rotationsdauer	23,9345 h
Mittlerer Radius	$6,371 \cdot 10^3$ km		

Daten des Erdmonds

Große Halbachse	$3,844 \cdot 10^5$ km	Masse	$7,349 \cdot 10^{22}$ kg
Siderische Umlaufzeit	27,32 d	Mittlerer Radius	1737 km
Synodische Umlaufzeit	29,53 d	Mittlere Dichte	$3,3 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$
Numerische Exzentrizität der Bahn	0,055	Fallbeschleunigung (Ortsfaktor) an der Oberfläche	$1,62 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
Neigung der Bahnebene zur Ekliptik	$5,1^\circ$	Neigung der Rotationsachse gegen das Lot der Bahnebene	$6,68^\circ$
Siderische Rotationsdauer	27,32 d		

Daten der Planeten

	Merkur	Venus	Erde	Mars	Jupiter	Saturn	Uranus	Neptun
Große Halbachse in AE	0,387	0,723	1	1,52	5,20	9,58	19,2	30,1
Siderische Umlaufzeit in a	0,2408	0,6152	1	1,881	11,86	29,46	84,01	164,8
Numerische Exzentrizität der Bahn	0,21	0,0067	0,017	0,094	0,049	0,057	0,046	0,011
Masse in Erdmassen	0,0553	0,815	1	0,107	318	95,2	14,5	17,1
Mittlerer Radius in 10^3 km	2,44	6,05	6,371	3,39	69,9	58,2	25,4	24,6
Mittlere Dichte in $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$	5,4	5,2	5,5	3,9	1,3	0,69	1,3	1,6
Fallbeschleunigung an der Oberfläche in $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$	3,7	8,9	9,8	3,7	24,8	10,4	8,9	11,2
Neigung der Rotationsachse gegen das Lot der Bahnebene	$0,010^\circ$	$177,4^\circ$	$23,44^\circ$	$25,2^\circ$	$3,1^\circ$	$26,7^\circ$	$97,8^\circ$	$28,3^\circ$
Neigung der Bahnebene zur Ekliptik	$7,0^\circ$	$3,4^\circ$	0	$1,9^\circ$	$1,3^\circ$	$2,5^\circ$	$0,77^\circ$	$1,8^\circ$
Siderische Rotationsdauer (ggf. am Äquator) in h	1407,6	5832,5	23,934	24,62	9,93	10,66	17,24	16,11

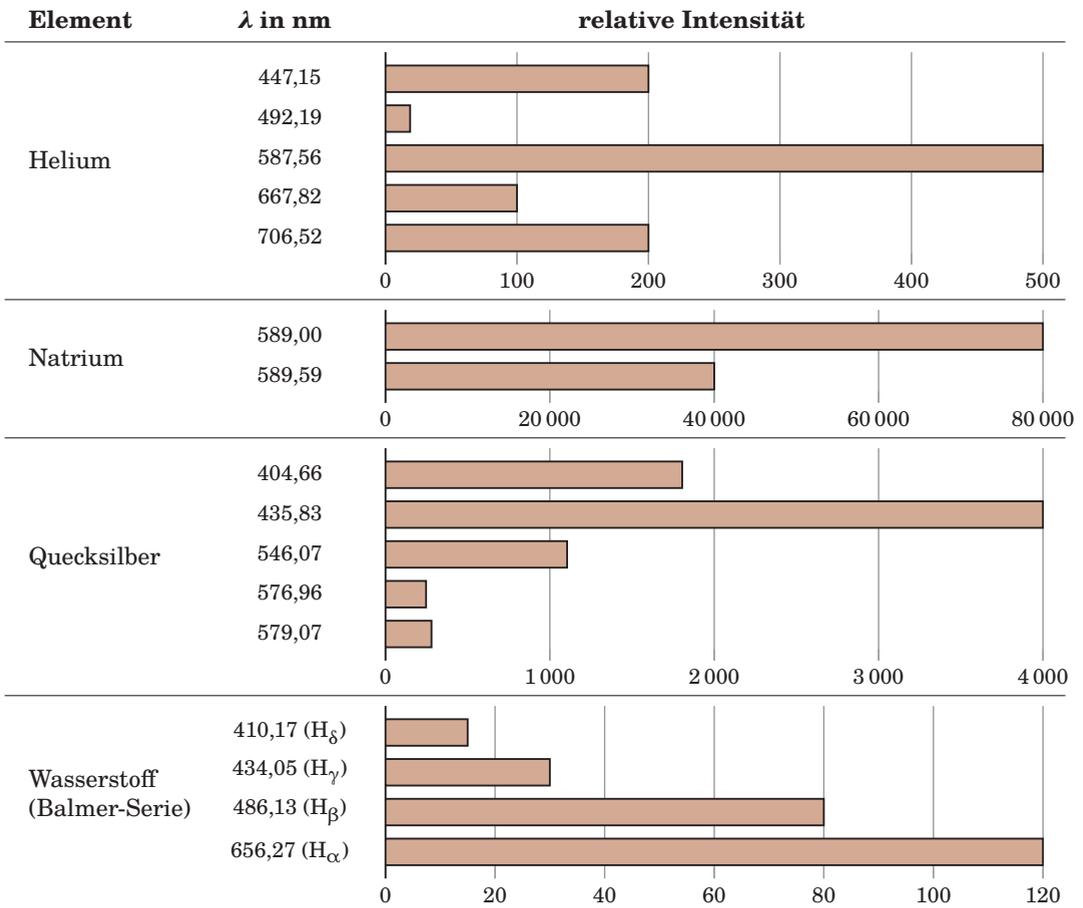
Gewebe-Wichtungsfaktoren w_T

Organ	w_T
Rotes Knochenmark, Dickdarm, Lunge, Magen, Brust, übrige Organe und Gewebe	je 0,12
Keimdrüsen	0,08
Blase, Speiseröhre, Leber, Schilddrüse	je 0,04
Haut, Knochenoberfläche, Gehirn, Speicheldrüse	je 0,01

Typische Werte für Qualitätsfaktoren q

Strahlungsart	α	n	β, γ
Qualitätsfaktor q	20	5 – 20	1

Wellenlängen ausgewählter Spektrallinien

Säureexponent pK_S und Basenexponent pK_B

pK_S	Säure	konjugierte Base	pK_B
-11	HI	I^-	25
-10	$HClO_4$	ClO_4^-	24
-9	HBr	Br^-	23
-7	HCl	Cl^-	21
-3	H_2SO_4	HSO_4^-	17
-1,37	HNO_3	NO_3^-	15,37
0	H_3O^+	H_2O	14,00

pK_S	Säure	konjugierte Base	pK_B
1,25	HOOC–COOH	HOOC–COO ⁻	12,75
1,85	H ₂ SO ₃	HSO ₃ ⁻	12,15
1,99	HSO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻	12,01
2,16	H ₃ PO ₄	H ₂ PO ₄ ⁻	11,84
2,22	[Fe(H ₂ O) ₆] ³⁺	[Fe(H ₂ O) ₅ (OH)] ²⁺	11,78
3,20	HF	F ⁻	10,80
3,25	HNO ₂	NO ₂ ⁻	10,75
3,75	HCOOH	HCOO ⁻	10,25
3,81	HOOC–COO ⁻	⁻ OOC–COO ⁻	10,19
4,75	CH ₃ COOH	CH ₃ COO ⁻	9,25
4,97	[Al(H ₂ O) ₆] ³⁺	[Al(H ₂ O) ₅ (OH)] ²⁺	9,03
6,35	H ₂ CO ₃	HCO ₃ ⁻	7,65
7,05	H ₂ S	HS ⁻	6,95
7,20	HSO ₃ ⁻	SO ₃ ²⁻	6,80
7,21	H ₂ PO ₄ ⁻	HPO ₄ ²⁻	6,79
8,96	[Zn(H ₂ O) ₆] ²⁺	[Zn(H ₂ O) ₅ (OH)] ⁺	5,04
9,21	HCN	CN ⁻	4,79
9,25	NH ₄ ⁺	NH ₃	4,75
10,33	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	3,67
12,32	HPO ₄ ²⁻	PO ₄ ³⁻	1,68
14,00	H ₂ O	OH ⁻	0
19	HS ⁻	S ²⁻	-5
23,00	NH ₃	NH ₂ ⁻	-9
24,00	OH ⁻	O ²⁻	-10

Säure-Base-Indikatoren

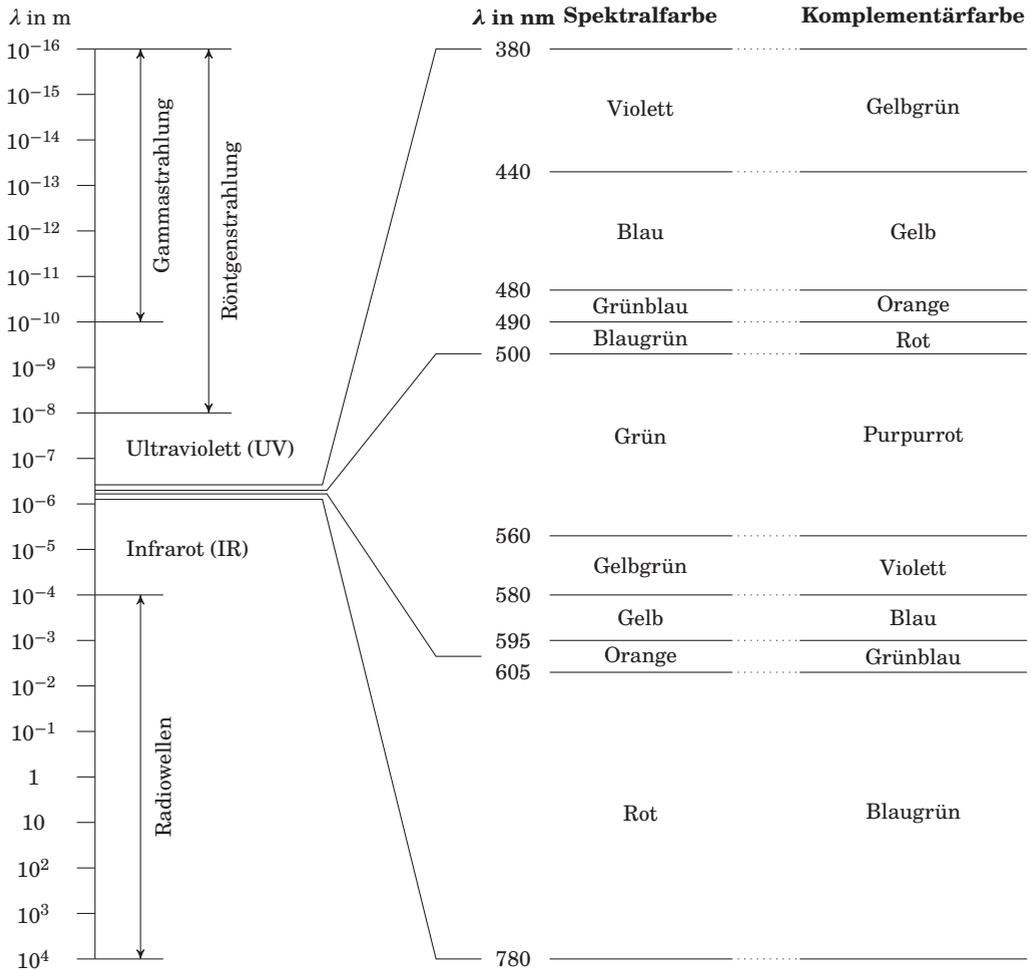
Indikator	ph-Bereich	Farbänderung	Indikator	ph-Bereich	Farbänderung
Thymolblau	1,2 – 2,8	rot – gelb	Bromthymolblau	6,0 – 7,6	gelb – blau
Methylorange	3,0 – 4,4	rot – gelborange	Thymolblau	8,0 – 9,6	gelb – blau
Bromkresolgrün	3,8 – 5,4	gelb – blau	Phenolphthalein	8,2 – 10,0	farblos – purpur
Methylrot	4,2 – 6,2	rot – gelb	Thymolphthalein	9,3 – 10,5	farblos – blau
Lackmus	5,0 – 8,0	rot – blau	Alizarin R	10,0 – 12,1	hellgelb – rotbraun

Standardpotenziale

bei $T = 298,15 \text{ K}$, $p = 101,325 \text{ kPa}$ und $c = 1 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$

reduzierte Form	\rightleftharpoons	oxidierte Form + $z \cdot e^-$	Standardpotenzial E° in V
Li	\rightleftharpoons	$\text{Li}^+ + e^-$	-3,04
Na	\rightleftharpoons	$\text{Na}^+ + e^-$	-2,71
Mg	\rightleftharpoons	$\text{Mg}^{2+} + 2e^-$	-2,37
Al	\rightleftharpoons	$\text{Al}^{3+} + 3e^-$	-1,66
Mn	\rightleftharpoons	$\text{Mn}^{2+} + 2e^-$	-1,19
$\text{H}_2 + 2 \text{OH}^-$	\rightleftharpoons	$2 \text{H}_2\text{O} + 2e^-$	-0,83 (pH = 14)
Zn	\rightleftharpoons	$\text{Zn}^{2+} + 2e^-$	-0,76
Cr	\rightleftharpoons	$\text{Cr}^{3+} + 3e^-$	-0,74
S^{2-}	\rightleftharpoons	$\text{S} + 2e^-$	-0,48
Fe	\rightleftharpoons	$\text{Fe}^{2+} + 2e^-$	-0,45
Ni	\rightleftharpoons	$\text{Ni}^{2+} + 2e^-$	-0,26
Sn	\rightleftharpoons	$\text{Sn}^{2+} + 2e^-$	-0,14
Pb	\rightleftharpoons	$\text{Pb}^{2+} + 2e^-$	-0,13
$\text{H}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$	\rightleftharpoons	$2 \text{H}_3\text{O}^+ + 2e^-$	0,00 (pH = 0)
Cu^+	\rightleftharpoons	$\text{Cu}^{2+} + e^-$	+0,15
Cu	\rightleftharpoons	$\text{Cu}^{2+} + 2e^-$	+0,34
4OH^-	\rightleftharpoons	$\text{O}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} + 4e^-$	+0,40 (pH = 14)
Cu	\rightleftharpoons	$\text{Cu}^+ + e^-$	+0,52
2I^-	\rightleftharpoons	$\text{I}_2 + 2e^-$	+0,54
Fe^{2+}	\rightleftharpoons	$\text{Fe}^{3+} + e^-$	+0,77
Ag	\rightleftharpoons	$\text{Ag}^+ + e^-$	+0,80
2Br^-	\rightleftharpoons	$\text{Br}_2 + 2e^-$	+1,07
Pt	\rightleftharpoons	$\text{Pt}^{2+} + 2e^-$	+1,18
$6 \text{H}_2\text{O}$	\rightleftharpoons	$\text{O}_2 + 4 \text{H}_3\text{O}^+ + 4e^-$	+1,23 (pH = 0)
2Cl^-	\rightleftharpoons	$\text{Cl}_2 + 2e^-$	+1,36
Au	\rightleftharpoons	$\text{Au}^{3+} + 3e^-$	+1,50
2F^-	\rightleftharpoons	$\text{F}_2 + 2e^-$	+2,87

Spektrum der elektromagnetischen Strahlung



Kernmassen ausgewählter Nuklide

Z	Nuklid	m_k in u	Z	Nuklid	m_k in u	Z	Nuklid	m_k in u			
1	H	1	1,007 276	4	Be	9	9,009 989	7	N	14	13,999 234
		2	2,013 553			10	10,011 340			15	14,996 269
		3	3,015 501			5	B			10	10,010 194
2	He	3	3,014 932	11	11,006 562	8		O	15	14,998 677	
		4	4,001 506	6	C		12		11,996 708	16	15,990 526
3	Li	6	6,013 477			13	13,000 063	17	16,994 743		
		7	7,014 358			14	13,999 950	18	17,994 771		

Atommassen ausgewählter Nuklide

Z	Nuklid	m_a in u	Z	Nuklid	m_a in u	Z	Nuklid	m_a in u			
1	H	1	1,007 825	2	He	3	3,016 029	3	Li	7	7,016 005
		2	2,014 102			4	4,002 603			4	Be
		3	3,016 049	3	Li	6	6,015 123	10	10,013 534		

Z	Nuklid	m_a in u
5	B	10 10,012 937
		11 11,009 305
6	C	12 12,000 000
		13 13,003 355
		14 14,003 242
		15 15,000 109
7	N	14 14,003 074
		15 15,000 109
		16 16,006 102
8	O	15 15,003 066
		16 15,994 915
		17 16,999 132
		18 17,999 161
9	F	19 18,998 403
10	Ne	20 19,992 440
		21 20,993 847
		22 21,991 385
11	Na	22 21,994 438
		23 22,989 769
		24 23,990 963
		25 24,989 954
		26 25,982 593
12	Mg	24 23,985 042
		25 24,985 837
		26 25,982 593
13	Al	27 26,981 539
14	Si	28 27,976 927
		29 28,976 495
		30 29,973 770
		31 30,973 762
15	P	31 30,973 762
		32 31,973 908
		33 32,971 459
16	S	32 31,972 071
		33 32,971 459
		34 33,967 867
		35 34,969 032
		36 35,967 081
17	Cl	35 34,968 853
		37 36,965 903
		38 37,968 010
		39 38,964 314
18	Ar	40 39,962 383
		41 40,964 501
		42 41,963 046
		39 38,963 707
		40 39,963 998
19	K	41 40,961 825
		42 41,962 402
		40 39,962 591
		42 41,958 618
20	Ca	43 42,958 766

Z	Nuklid	m_a in u
20	Ca	44 43,955 481
		45 44,956 186
		46 45,953 688
21	Sc	45 44,955 907
22	Ti	46 45,952 626
		47 46,951 757
		48 47,947 941
		49 48,947 870
23	V	50 49,944 786
		51 50,943 958
		52 51,940 505
24	Cr	53 52,940 646
		54 53,938 877
		55 54,938 043
25	Mn	55 54,938 043
		56 55,934 936
		57 56,935 392
		58 57,933 274
		59 58,934 873
26	Fe	60 59,934 070
		55 54,941 996
		56 55,939 838
		57 56,936 290
		58 57,935 751
		59 58,933 194
27	Co	60 59,933 816
		58 57,935 342
		60 59,930 785
		61 60,931 055
		62 61,928 345
		64 63,927 966
28	Ni	63 62,929 597
		65 64,927 789
		66 65,928 869
29	Cu	64 63,929 142
		65 64,929 241
		66 65,926 034
		67 66,927 127
30	Zn	68 67,924 844
		69 68,925 574
		71 70,924 703
		70 69,924 249
31	Ga	72 71,922 076
		73 72,923 459
		74 73,921 178
		76 75,921 403
32	Ge	75 74,921 595
		77 76,923 747
33	As	74 73,922 476
		76 75,919 214

Z	Nuklid	m_a in u
34	Se	77 76,919 914
		78 77,917 309
		80 79,916 522
35	Br	79 78,918 338
		81 80,916 288
		82 81,916 802
		78 77,920 366
36	Kr	80 79,916 378
		82 81,913 481
		83 82,914 127
		84 83,911 498
		85 84,912 527
37	Rb	86 85,910 611
		89 88,917 835
		92 91,926 173
		85 84,911 790
		94 93,926 395
38	Sr	84 83,913 419
		86 85,909 261
		87 86,908 877
		88 87,905 612
39	Y	90 89,907 728
		92 91,911 038
		94 93,915 356
		96 95,921 719
		98 97,928 693
		89 88,905 838
40	Zr	90 89,907 142
		95 94,912 820
		96 95,915 909
		90 89,904 699
41	Nb	91 90,905 640
		92 91,905 035
		94 93,906 313
		95 94,908 040
		93 92,906 373
42	Mo	95 94,906 831
		92 91,906 807
		94 93,905 084
		95 94,905 837
43	Tc	96 95,904 675
		97 96,906 017
		98 97,905 404
		100 99,907 468
		97 96,906 361
44	Ru	99 98,906 250
		96 95,907 589
		98 97,905 287
		99 98,905 930
45	Rh	100 99,904 210
		101 100,905 573

Z	Nuklid	m_a in u	
44	Ru	102	101,904 340
		104	103,905 425
45	Rh	103	102,905 494
46	Pd	102	101,905 632
		104	103,904 030
		105	104,905 079
		106	105,903 480
		108	107,903 892
		110	109,905 173
47	Ag	107	106,905 092
		109	108,904 756
48	Cd	106	105,906 460
		110	109,903 007
		111	110,904 184
		114	113,903 365
		116	115,904 763
49	In	113	112,904 060
50	Sn	114	113,902 780
		115	114,903 345
		116	115,901 743
		118	117,901 607
		120	119,902 203
		122	121,903 445
		124	123,905 280
51	Sb	121	120,903 811
		123	122,904 215
52	Te	120	119,904 066
		122	121,903 045
		124	123,902 818
		125	124,904 431
		126	125,903 312
		130	129,906 223
53	I	123	122,905 590
		127	126,904 473
		131	130,906 126
54	Xe	124	123,905 885
		126	125,904 297
		128	127,903 531
		129	128,904 781
		130	129,903 509
		131	130,905 084
		132	131,904 155
		134	133,905 393
		138	137,914 146
55	Cs	133	132,905 452
		134	133,906 719
		135	134,905 977
		136	135,907 311
		137	136,907 089
		138	137,911 017
		140	139,917 284

Z	Nuklid	m_a in u	
56	Ba	130	129,906 326
		132	131,905 061
		134	133,904 508
		135	134,905 688
56	Ba	136	135,904 576
		137	136,905 827
		138	137,905 247
		144	143,922 955
57	La	139	138,906 363
58	Ce	136	135,907 129
		138	137,905 994
		140	139,905 448
59	Pr	141	140,907 660
60	Nd	142	141,907 729
		143	142,909 820
		145	144,912 579
		146	145,913 122
		148	147,916 899
61	Pm	145	144,912 755
62	Sm	144	143,911 999
		150	149,917 282
		152	151,919 739
		154	153,922 216
63	Eu	151	150,919 857
		153	152,921 237
64	Gd	154	153,920 873
		155	154,922 629
		156	155,922 130
		157	156,923 967
		158	157,924 111
		160	159,927 061
65	Tb	159	158,925 354
66	Dy	156	155,924 284
		158	157,924 415
		160	159,925 204
		161	160,926 939
		162	161,926 805
		163	162,928 737
		164	163,929 181
67	Ho	165	164,930 329
68	Er	162	161,928 787
		164	163,929 208
		166	165,930 301
		167	166,932 056
		168	167,932 378
		170	169,935 472
69	Tm	169	168,934 219
70	Yb	168	167,933 891
		170	169,934 767
		171	170,936 332
		172	171,936 387

Z	Nuklid	m_a in u	
70	Yb	173	172,938 216
		174	173,938 868
		176	175,942 575
71	Lu	175	174,940 777
72	Hf	176	175,941 410
72	Hf	177	176,943 230
		178	177,943 708
		179	178,945 826
		180	179,946 560
73	Ta	181	180,947 999
74	W	180	179,946 713
		182	181,948 206
		183	182,950 224
		185	184,953 421
		186	185,954 365
75	Re	185	184,952 958
		187	186,955 752
76	Os	187	186,955 750
		188	187,955 837
		189	188,958 146
		190	189,958 445
		192	191,961 479
77	Ir	191	190,960 592
		193	192,962 924
78	Pt	192	191,961 043
		194	193,962 683
		195	194,964 794
		196	195,964 955
		198	197,967 897
79	Au	197	196,966 570
		198	197,968 244
80	Hg	196	195,965 833
		198	197,966 769
		199	198,968 281
		200	199,968 327
		201	200,970 303
		202	201,970 644
		204	203,973 494
81	Tl	203	202,972 344
		204	203,973 863
		205	204,974 427
		207	206,977 419
		208	207,982 018
82	Pb	204	203,973 044
		205	204,974 482
		206	205,974 465
		207	206,975 897
		208	207,976 652
		209	208,981 090
		210	209,984 188
		211	210,988 735

Z	Nuklid	m_a in u	
82	Pb	212	211,991 896
		214	213,999 804
83	Bi	209	208,980 399
		210	209,984 120
		211	210,987 269
		212	211,991 285
83	Bi	213	212,994 384
		214	213,998 711
84	Po	210	209,982 874
		211	210,986 653
		212	211,988 868
		213	212,992 857
		214	213,995 201
		215	214,999 418
		216	216,001 913
		218	218,008 971
85	At	217	217,004 718
86	Rn	219	219,009 479
		220	220,011 392

Z	Nuklid	m_a in u	
86	Rn	222	222,017 576
87	Fr	221	221,014 254
88	Ra	223	223,018 501
		224	224,020 210
88	Ra	225	225,023 611
		226	226,025 408
		228	228,031 069
89	Ac	225	225,023 229
		227	227,027 751
		228	228,031 020
90	Th	227	227,027 703
		228	228,028 740
		229	229,031 761
		230	230,033 132
		231	231,036 303
		232	232,038 054
		233	233,041 580
		234	234,043 600
91	Pa	231	231,035 883

Z	Nuklid	m_a in u	
91	Pa	233	233,040 247
		234	234,043 306
92	U	233	233,039 634
		234	234,040 950
		235	235,043 928
		236	236,045 566
		237	237,048 728
		238	238,050 787
		239	239,054 292
		240	240,056 592
93	Np	237	237,048 172
94	Pu	238	238,049 558
		239	239,052 162
		240	240,053 812
		241	241,056 850
		242	242,058 741
		244	244,064 204
95	Am	241	241,056 827
		242	242,059 547

Auszug aus der Nuklidkarte

8					O13 8,58 ms β^- : 16,7	O14 70,59 s β^- : 1,8 γ : 2,313	O15 2,03 min β^- : 1,7	O16 stabil	O17 stabil	O18 stabil	O19 27,1 s β^- : 3,3 γ : 0,197	O20 13,5 s β^- : 2,8 γ : 1,057	
7					N12 11,0 ms β^- : 16,7 γ : 4,439	N13 9,96 min β^- : 1,2	N14 stabil	N15 stabil	N16 7,13 s β^- : 4,3 γ : 6,129	N17 4,17 s β^- : 3,2 γ : 0,871	N18 0,63 s β^- : 9,4 γ : 1,982	N19 329 ms β^- : γ : 0,096	
6			C9 126,5 ms β^- : 15,5	C10 19,3 s β^- : 1,9 γ : 0,718	C11 20,38 min β^- : 1,0	C12 stabil	C13 stabil	C14 5730 a β^- : 0,2	C15 2,45 s β^- : 4,5 γ : 5,298	C16 0,747 s β^- : 4,7	C17 193 ms β^- : γ : 1,375	C18 92 ms β^- : γ : 2,614	
5			B8 770 ms β^- : 14,1		B10 stabil	B11 stabil	B12 20,20 ms β^- : 13,4 γ : 4,439	B13 17,33 ms β^- : 13,4 γ : 3,684	B14 13,8 ms β^- : 14,0 γ : 6,090	B15 10,4 ms β^- :		B17 5,1 ms β^- :	
4			Be7 53,29 d γ : 0,478		Be9 stabil	Be10 1,6E6 a β^- : 0,6	Be11 13,8 s β^- : 11,5 γ : 2,125	Be12 23,6 ms β^- : 11,7		Be14 4,35 ms β^- :			
3			Li6 stabil	Li7 stabil	Li8 840,3 ms β^- : 12,5	Li9 178,3 ms β^- : 13,6		Li11 8,5 ms β^- : 18,5 γ : 3,368					
2		He3 stabil	He4 stabil	He6 806,7 ms β^- : 3,5		He8 119 ms β^- : 9,7 γ : 0,961							
1	H1 stabil	H2 stabil	H3 12,323 a β^- : 0,02										
0		n1 10,25 min β^- : 0,8											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Legende und Fortsetzung auf der nächsten Doppelseite

			Am232 1,31 min		Am234 2,32 min		Am236 3,6 min α: 6,15 γ: 0,719	Am237 73 min α: 6,04 γ: 0,280	Am238 1,63 h α: 5,94 γ: 0,963	Am239 11,9 h α: 5,774 γ: 0,278	Am240 50,8 h α: 5,378 γ: 0,988	Am241 432,2 a α: 5,486 γ: 0,060	Am242 16 h β: 0,7	Am243 7370 a α: 5,275 γ: 0,075	95
				Pu232 34,1 min α: 6,60	Pu233 20,9 min α: 6,31 γ: 0,235	Pu234 8,8 h α: 6,202 γ: 0,049	Pu235 25,3 min α: 5,85 γ: 1,559	Pu236 2,858 a α: 5,768 γ: 0,060	Pu237 45,2 d α: 5,334 γ: 0,060	Pu238 87,74 a α: 5,499 γ: 0,029	Pu239 2,41E4 a α: 5,157 β: 1,2 γ: 0,984	Pu240 6563 a α: 5,168 β: 0,4 γ: 0,106	Pu241 14,35 a α: 4,896 β: 0,02	Pu242 3,75E5 a α: 4,901 β: 1,3 γ: 0,175	94
Np227 51 s α: 7,68	Np228 61,4 s	Np229 4,0 min α: 6,890	Np230 4,6 min α: 6,66 γ: 0,123	Np231 48,8 min α: 6,28 γ: 0,371	Np232 14,7 min α: 6,31 γ: 0,327	Np233 36,2 min α: 5,54 γ: 1,559	Np234 4,4 d α: 5,025 γ: 1,559	Np235 396,1 d α: 5,025 γ: 1,559	Np236 1,54E5 a α: 5,774 β: 0,481	Np237 2,14E6 a α: 4,790 γ: 0,029	Np238 2,117 d β: 1,2 γ: 0,984	Np239 2,355 d β: 0,4 γ: 0,106	Np240 65 min β: 0,9 γ: 0,566	Np241 13,9 min β: 1,3 γ: 0,175	93
U226 0,28 s α: 7,555 γ: 0,182	U227 1,1 min α: 6,86 γ: 0,247	U228 9,1 min α: 6,68 γ: 0,123	U229 58 min β: 6,362 γ: 0,123	U230 20,8 d α: 5,888 γ: 0,026	U231 4,2 d α: 5,456 γ: 0,026	U232 68,9 a α: 5,320 γ: 0,026	U233 1,59E5 a α: 4,824 γ: 0,026	U234 2,46E5 a α: 4,775 γ: 0,186	U235 7,04E9 a α: 4,398 γ: 0,186	U236 2,34E7 a α: 4,494 γ: 0,026	U237 6,75 d β: 0,2 γ: 0,060	U238 4,47E9 a α: 4,198 γ: 0,060	U239 23,5 min β: 1,2 γ: 0,075	U240 14,1 h β: 0,4 γ: 0,044	92
Pa225 1,8 s α: 7,25	Pa226 1,8 min α: 6,86 γ: 0,065	Pa227 38,3 min α: 6,465 γ: 0,911	Pa228 22 h α: 6,078 γ: 0,911	Pa229 1,50 d α: 5,58 γ: 0,084	Pa230 17,4 d α: 5,345 β: 0,5 γ: 0,952	Pa231 3,28E4 a α: 5,014 γ: 0,027	Pa232 1,31 d β: 0,3 γ: 0,969	Pa233 27,0 d β: 0,3 γ: 0,312	Pa234 1,17 min β: 2,3 γ: 0,128	Pa235 24,2 min β: 1,4 γ: 0,642	Pa236 9,1 min β: 2,0 γ: 0,642	Pa237 8,7 min β: 1,4 γ: 0,854	Pa238 2,3 min β: 1,7 γ: 1,015		91
Th224 1,04 s α: 7,17 γ: 0,177	Th225 8,72 min α: 6,482 γ: 0,321	Th226 31 min α: 6,336 γ: 0,111	Th227 18,72 d α: 6,038 γ: 0,236	Th228 1,913 a α: 5,423 γ: 0,084	Th229 7880 a α: 4,845 γ: 0,194	Th230 7,54E4 a α: 4,687 γ: 0,026	Th231 25,5 h β: 0,3 γ: 0,026	Th232 1,41E10 a α: 4,013 γ: 0,026	Th233 22,3 min β: 1,2 γ: 0,087	Th234 24,10 d β: 0,2 γ: 0,063	Th235 7,1 min β: 1,4 γ: 0,417	Th236 37,5 min β: 1,0 γ: 0,111			90
Ac223 2,10 min α: 6,647	Ac224 2,9 h α: 6,142 γ: 0,216	Ac225 10,0 d α: 5,830 γ: 0,100	Ac226 29 h α: 5,34 β: 0,9 γ: 0,230	Ac227 21,773 a α: 4,953 β: 0,04 γ: 0,230	Ac228 6,13 h β: 1,2 γ: 0,911	Ac229 62,7 min β: 1,1 γ: 0,165	Ac230 122 s β: 2,7 γ: 0,455	Ac231 7,5 min β: 1,947 γ: 0,282	Ac232 119 s β: 3,708 γ: 0,665						89
Ra222 38 s α: 6,559 γ: 0,324	Ra223 11,43 d α: 5,7162 γ: 0,269	Ra224 3,66 d α: 5,6854 γ: 0,241	Ra225 14,8 d β: 0,3 γ: 0,040	Ra226 1600 a α: 4,7843 γ: 0,186	Ra227 42,2 min β: 1,3 γ: 0,027	Ra228 5,75 a β: 0,04 γ: 0,027	Ra229 4,0 min β: 1,8 γ: 0,072	Ra230 93 min β: 0,8 γ: 0,072							88
Fr221 4,9 min α: 6,341 γ: 0,218	Fr222 14,2 min β: 1,8 γ: 0,206	Fr223 21,8 min α: 5,34 β: 1,1 γ: 0,05	Fr224 3,3 min β: 2,6 γ: 0,216	Fr225 4,0 min β: 1,6 γ: 0,182	Fr226 48 s β: 3,2 γ: 0,254	Fr227 2,47 min β: 1,8 γ: 0,090	Fr228 39 s γ: 0,474	Fr229 50,2 s γ: 0,310							87
Rn220 55,6 s α: 6,288	Rn221 25 min α: 6,307 β: 0,8 γ: 0,186	Rn222 3,825 d α: 5,48948 γ: 0,593	Rn223 23,2 min γ: 0,593	Rn224 1,78 h γ: 0,261	Rn225 4,5 min γ: 0,261	Rn226 7,4 min γ: 0,261									86
At219 0,9 min α: 6,27															85
Po218 3,05 min α: 6,0024															84
															83
															82
															81
															80
															79
	α-Zerfall		β-Zerfall		β-Zerfall										78
	Fr220 27,5 s α: 6,68 γ: 0,045		At210 8,3 h α: 5,524 γ: 1,181		Pb212 10,64 h β: 0,3 γ: 0,239	← Halbwertszeit									77
						← Energie in MeV									77
						Die farbigen Flächen zeigen die vorherrschenden Zerfallsarten an.									77
134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	

										18																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
										2	1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
										He																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
										Helium																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
										4,003																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
										13	14	15	16	17																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
										5	2,0	6	2,6	7	3,0	8	3,4	9	4,0	10	3,2	2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
										B	C	N	O	F	Ne																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
										Bor	Kohlenstoff	Stickstoff	Sauerstoff	Flour	Neon																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
										10,811	12,011	14,007	15,999	18,998	20,180																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
										13	1,6	14	1,9	15	2,2	16	2,6	17	3,2	18	2,4			3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
										Al	Si	P	S	Cl	Ar																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
										Aluminium	Silicium	Phosphor	Schwefel	Chlor	Argon																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
										26,982	28,086	30,974	32,065	35,453	39,948																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255	256	257	258	259	260	261	262	263	264	265	266	267	268	269	270	271	272	273	274	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285	286	287	288	289	290	291	292	293	294	295	296	297	298	299	300	301	302	303	304	305	306	307	308	309	310	311	312	313	314	315	316	317	318	319	320	321	322	323	324	325	326	327	328	329	330	331	332	333	334	335	336	337	338	339	340	341	342	343	344	345	346	347	348	349	350	351	352	353	354	355	356	357	358	359	360	361	362	363	364	365	366	367	368	369	370	371	372	373	374	375	376	377	378	379	380	381	382	383	384	385	386	387	388	389	390	391	392	393	394	395	396	397	398	399	400	401	402	403	404	405	406	407	408	409	410	411	412	413	414	415	416	417	418	419	420	421	422	423	424	425	426	427	428	429	430	431	432	433	434	435	436	437	438	439	440	441	442	443	444	445	446	447	448	449	450	451	452	453	454	455	456	457	458	459	460	461	462	463	464	465	466	467	468	469	470	471	472	473	474	475	476	477	478	479	480	481	482	483	484	485	486	487	488	489	490	491	492	493	494	495	496	497	498	499	500	501	502	503	504	505	506	507	508	509	510	511	512	513	514	515	516	517	518	519	520	521	522	523	524	525	526	527	528	529	530	531	532	533	534	535	536	537	538	539	540	541	542	543	544	545	546	547	548	549	550	551	552	553	554	555	556	557	558	559	560	561	562	563	564	565	566	567	568	569	570	571	572	573	574	575	576	577	578	579	580	581	582	583	584	585	586	587	588	589	590	591	592	593	594	595	596	597	598	599	600	601	602	603	604	605	606	607	608	609	610	611	612	613	614	615	616	617	618	619	620	621	622	623	624	625	626	627	628	629	630	631	632	633	634	635	636	637	638	639	640	641	642	643	644	645	646	647	648	649	650	651	652	653	654	655	656	657	658	659	660	661	662	663	664	665	666	667	668	669	670	671	672	673	674	675	676	677	678	679	680	681	682	683	684	685	686	687	688	689	690	691	692	693	694	695	696	697	698	699	700	701	702	703	704	705	706	707	708	709	710	711	712	713	714	715	716	717	718	719	720	721	722	723	724	725	726	727	728	729	730	731	732	733	734	735	736	737	738	739	740	741	742	743	744	745	746	747	748	749	750	751	752	753	754	755	756	757	758	759	760	761	762	763	764	765	766	767	768	769	770	771	772	773	774	775	776	777	778	779	780	781	782	783	784	785	786	787	788	789	790	791	792	793	794	795	796	797	798	799	800	801	802	803	804	805	806	807	808	809	810	811	812	813	814	815	816	817	818	819	820	821	822	823	824	825	826	827	828	829	830	831	832	833	834	835	836	837	838	839	840	841	842	843	844	845	846	847	848	849	850	851	852	853	854	855	856	857	858	859	860	861	862	863	864	865	866	867	868	869	870	871	872	873	874	875	876	877	878	879	880	881	882	883	884	885	886	887	888	889	890	891	892	893	894	895	896	897	898	899	900	901	902	903	904	905	906	907	908	909	910	911	912	913

Stichwortverzeichnis

- Abbildungsgleichung, -maßstab 31
- Abklingkoeffizient 21
- Ableitung, Regeln 7
- Absorber, -tionsgesetz 37
- Abwurfwinkel 17
- Addition zweier Kräfte 15
- Ähnlichkeit 5
- Äquivalentdosis 37, 41
- Aggregatzustand 34
- Aktivität 36, 41
 - optische 14
- Akustik 22
- Alphateilchen 45
- Amplitude 20
- Analyse, qualitativ & quantitativ 14
- Anfangskonzentration 12
- Anion 11
- Anode 12
- Anteil, Massen-, Volumen- 10
- Arbeit 41
 - Auslöse- 48
 - mechanische 18
 - Volumen- 13
- Astronomische Einheit 44
- Atomhülle 33
 - masse 56–59
- Auflösung 32
- Auftriebskraft 16
- Ausbreitungs-
 - geschwindigkeit 21, 30
- Auslenkung 20, 21
- Auslösearbeit 48
- Avogadro-Konstante 10, 44

- Bahngeschwindigkeit 15, 16, 38
- Base
 - exponent 11, 53–54
 - Indikator 54
 - konstante 11
- Berühren 7
- Beschleunigung 41
 - mittlere 16
 - momentane 16
 - Radial- 16
- Bestrahlungsstärke 39, 41
- Bewegung 16
 - beliebig beschleunigte 16
 - energie 18
 - gleichförmige 16
 - gleichmäßig beschleunigte 16
 - Kreis- 16
 - Wurf- 17
- Bindungsenergie 37
- Binomialkoeffizient, -verteilung 8
- Binomische Formeln 5
- Bogenmaß 6
- Bragg-Beziehung 32
- Brechung, -gesetz, -winkel 31
- Brechzahl 31, 48
- Brennweite 31
- Brewster-Gesetz 32

- Cepheiden 40
- Chromatografie 14
- Compton-Effekt, -wellenlänge 33
- Coulomb'sches Gesetz 24

- Dehnung 15
 - Feder 18
- Dichte 17, 41, 46
 - funktion, Normalverteilung 8
- Dielektrizitätszahl 47
- Dipol 30
- Doppelspalt 31
- Dopplereffekt 22
 - nichtrelativistische Näherung 40
- Dosis 41
 - Äquivalent- 37
 - effektive 37
 - Energie- 37
- Drachenviereck 5
- Dreh-
 - impuls 19, 41
 - moment 18, 20, 41
- Dreieck 5
 - rechtwinkliges 6
- Druck 13, 17, 41
 - Schwere- 17

- Ebene
 - formen 8
 - schiefe 17
- Edukt 13
- Effektive Dosis 37
- Eigenbewegung 39
- Einfallswinkel 31
- Einheiten 41–43
 - Vorsätze 44
- Einzelspalt 32
- elektrische Ladung 22
- Elektrolyse 12
- elektromagnetische
 - Schwingungen 29
 - Wellen 30
- Elektron 12, 45
 - übergänge 12
- Elementarladung 44
- Elemente, Periodensystem 62
- Elongation 20
- Energie 13, 18, 42
 - bilanz beim Fotoeffekt 32
 - Bindungs- 37
 - differenz geladener Teilchen 23
 - dosis 37, 42
 - elektrische 23
 - erhaltungssatz 19
 - Impuls-Beziehung 36
 - kinetische- 18
 - magnetische Feld- 29
 - mechanische 18
 - niveau des Wasserstoffatoms 33
 - Potenzialtopf 34
 - potenzielle 18, 19
 - relativistisch 36
 - Rotations- 18
 - Spann- 18
 - stromstärke 18, 19
 - Zeit-Unbestimmtheits-
relation 33
- Entfernungsmodul 40
- Enthalpie 13, 42

- Entropie 13, 42
 - änderung 34
- Erde 51
 - mond 52
- Ereignis 8
 - horizont 39
- Erwartungswert 8
- Exponent, Säure- & Basen- 53–54
- Extinktion 14

- Fadenpendel 21
- Faktor, Qualitäts- 53
- Fallbeschleunigung 44
- Faraday-
 - Gleichung 12
 - Konstante 44
- Farbe
 - Komplementär- 56
 - Spektral- 56
- Feder 18
 - härte 15, 18, 20, 21
 - pendel 21
 - spannkraft 15
- Fehler, 1. und 2. Art 9
- Feld
 - elektrisches 24
 - energie, magnetische 29
 - Gravitations- 19
 - konstante 44
 - magnetisches 27
 - Radial- 24
- Feldstärke 41, 43
 - elektrische 24
 - Gravitations- 19
 - magnetische 27
- Figuren 5
- Fläche
 - inhalt 5, 42
 - ladungsdichte 24, 42
- Flaschenzug 18
- Fluchtgeschwindigkeit 39
- Fluss 43
 - magnetischer 28
- Flussdichte 41, 43
 - elektrische 24
 - magnetische 27
- Fotoeffekt, Energiebilanz 32
- Frequenz 20, 42
- Funktion
 - Dichte- 8
 - graph, Schneiden, Berühren 7
 - Integral- 7

- Galaxie 40
- Galilei-Transformation 35
- ganze Zahlen 6
- Gas
 - gleichung 10
 - ideales 45
 - konstante 44
- Gemisch 10
- Geraden 7
- Geschwindigkeit 20, 42
 - Ausbreitungs- 21, 30
 - Bahn- 15, 16
 - Flucht- 39
 - Kreisbahn- 39

mittlere 16
 momentane 16
 Reaktions- 13
 Relativ- 15
 Schall- 51
 Winkel- 15, 19, 43
 Gesetz
 Absorptions- 37
 Berechnungs- 31
 Brewster- 32
 Coulomb'sches 24
 Gravitations- 19
 Hebel- 18
 Hooke'sches 15
 Induktions- 28
 Kepler'sche 38
 Kirchhoff'sche 23
 Lambert-Beer'sches- 14
 Logarithmen- 5
 Massewirkungs- 10
 Mosely- 34
 Newton'sche 15
 Potenz- 5
 Reflexions- 31
 Stefan-Boltzmann- 39
 Trägheits- 15
 Wechselwirkungs- 15
 Wien'sches Verschiebungs- 39
 Gewebe-Wichtungsfaktor 52
 Gewichtskraft 15
 Gibbs-Helmholtz-Gleichung 14
 Gitter 31
 Glanzwinkel 32
 Gleichgewichts-
 reaktionen, -konstante 10
 Gleichung
 Abbildungs- 31
 Faraday- 12
 Gibbs-Helmholtz- 14
 Grund- der Wärmelehre 34
 Nernst- 12
 quadratische 6
 Schrödinger- 33
 Thomson'sche Schwingungs- 29
 Zustands- idealer Gase 34
 Gradmaß 6
 Gravitation 19
 -feld 19
 -feldstärke 19
 -gesetz 19
 -konstante 19, 44
 -kraft 19
 Grenzwert 7
 -winkel 31
 Größen 41–43
 Näherungswerte 44
 Grundfläche 5
 -gleichung der Mechanik 15

 Halbwertsdicke 37
 Halbzelle 12
 Hall-Konstante 48
 Hallkonstante
 -Spannung 27
 Hautpsatz der
 Thermodynamik 13
 Hebelgesetz, -arm 18
 Heisenberg'sche
 Unbestimmtheitsrelation 33

 Helligkeit 42
 Henderson-Hasselbalch-
 Gleichung 12
 Hooke'sches Gesetz 15
 Hubble-Beziehung 40
 Hubble-Parameter 44
 Hypotenuse 6

 ideale Gaskonstante 44
 Impuls 19, 42
 Dreh- 19
 eines Körpers 19
 eines Photons 32
 -erhaltungssatz 19
 relativistisch 36
 Indikator, Säure-Base- 54
 Induktion, -gesetz 28
 Selbst- 29
 Induktivität 42
 Spule 29
 Inertialsystem 35
 instrumentelle Analyse 14
 Integral
 -funktion 7
 bestimmtes 7
 Intensität 42
 Schallwelle 22
 Interferenz 31
 Ionenäquivalentleitfähigkeit 41
 Ionenprodukt 11, 45

 Kalorimeter 13
 Kalorimetrie 13
 Kapazität 41
 Kathete 6
 Kathode 12
 Kation 11
 Katode 12
 Kegel 5
 Keplerellipse, Gesetze 38
 Kernmasse 56
 Kernradius 37
 kinetische Energie 18
 Kirchhoff'sche Gesetze 23
 Knotenregel 23
 Koeffizient
 Längenausdehnungs- 35, 49
 stöchiometrischer 10, 11
 Volumenausdehnungs- 49
 Wärmeleitfähigkeits- 35
 Körper 5
 Impuls 19
 Rotation 20
 Rotations- 7
 Komplementärfarbe 56
 Kondensator 25–26
 Schwingungsgleichung 30
 Konfidenzintervall 9
 Konstante
 Avogadro- 10, 44
 elektrische Feld- 44
 Faraday- 44
 Gleichgewichts- 10
 Gravitations- 44
 Hall- 48
 ideale Gas- 44
 magnetische Feld- 44
 Natur- 44
 Rydberg- 44

 Stefan-Boltzmann- 44
 Wien'sche Verschiebungs- 44
 Konzentration
 Massen- 10
 Oxonium-Ionen- 12
 Stoffmengen- 10
 Koordinatenform 8
 Kosinus 6
 Kraft 20, 43
 Addition 15
 Auftriebs- 16
 Federspann- 15
 Gesamt- 15
 Gewichts- 15
 Lorentz- 27
 Normal- 15
 Radial- 15
 Reibungs- 15
 Umformung 17
 Widerstands- 15
 Zentripetal- 15
 zwischen Punktladungen 24
 Kreis 5, 6
 -bahngeschwindigkeit 39
 -bewegung 16
 -frequenz 43
 Kriterium, Rayleigh'sches 32
 Kugel 5

 Ladung 41, 45
 elektrische 22
 Punkt- 24
 Länge 43
 -änderung, thermische 35
 -ausdehnungskoeffizient 35, 49
 -kontraktion 36
 Lageenergie 18
 Lambert-Beer'sches-Gesetz 14
 Lauffront 14
 Leistung 18, 43
 elektrische 23
 im Wechselstromkreis 25
 mittlere 18
 momentane 19
 Leitfähigkeit 41
 Ionenäquivalent- 41
 Leitwert 41
 Leptonen 45
 Lichtgeschwindigkeit, -jahr 44
 Linse 31
 Löslichkeitsprodukt 11
 Lösung 10
 Logarithmen 5
 Lorentz
 -Faktor 35
 -Kraft 27
 -Transformation 35

 magnetischer Fluss 28
 Maschenregel 23
 Masse 18, 20, 43, 45
 -anteil 10
 Atom- 56–59
 -defekt 37
 Kern- 56
 -konzentration 10
 -Leuchtkraft-Beziehung 39
 molare 10
 -wirkungsgesetz 10

Materiewellenlänge 34
 Mechanik, Grundgleichung 15
 Mengensymbole 6
 Messküvette 14
 Metall 48
 molare
 Masse 10
 Volumen 10, 45
 Mond 52
 Moseley-Gesetz 34
 Myon 45

 natürliche Zahlen 6
 Naturkonstanten 44
 Nernst-Gleichung 12
 Neutrino 45
 Neutron 45
 Newton'sche
 Gesetze 15
 Strömungswiderstand 15
 Normalenform 8
 Normalkraft 15
 Normalverteilung 8
 Nukleonen 36
 Nuklid
 Atommasse 56–59
 -karte 59–61
 Kernmasse 56
 Nullhypothese 9
 Nullphasenwinkel 20

 Oberflächeninhalt 5
 Optik, Wellen- 31
 Optische Aktivität 14
 Oxonium-Ionen-Konzentration 12

 Parallaxe, trigonometrische 39
 Parallelogramm 5
 Parallelschaltung
 Kondensatoren 26
 Widerstände 23
 Parameterform 8
 Parsec 44
 Pendel 21
 Faden- 21
 Feder- 21
 Periode 20
 -dauer 20, 21
 Periodensystem der Elemente 62
 Permeabilitätszahl 47
 pH-Wert 11, 12
 Photon
 Energie, Frequenz 32
 Impuls 32
 Planck'sches
 Wirkungsquantum 44
 Planeten 38, 52
 Plattenkondensator 24, 25
 pOH-Wert 11
 Polarisation, -filter 32
 Polynom 7
 Potenzen 5
 Potenzial 12, 42
 -differenz 24
 -topf 33, 34
 im elektrischen Feld 24
 Standard- 55
 potenzielle Energie 18
 Prisma 5

 Produkt 13
 Prognoseintervall 9
 Protolyse 12
 Proton 45
 Protonenübergänge 11
 Punktladung 24
 Pyramide 5
 Pythagoras, Satz des 6

 Q-Wert 37
 quadratische Gleichung 6
 Qualitätsfaktor 37, 53
 qualitative Analyse 14
 Quantenobjekte 32
 quantitative Analyse 14
 Quarks 45

 Radialbeschleunigung 16
 Radialfeld 24
 Radialkraft 15
 Rayleigh'sches Kriterium 32
 Reaktionsgeschwindigkeit 13
 Reaktionsprinzip 15
 rechtwinkliges Dreieck 6
 Redoxpaar 12
 reelle Zahlen 6
 Reflexionsgesetz 31
 Reflexionswinkel 31
 Regel, Knoten-, Maschen- 23
 Reibungskraft, -zahl 15
 Reihenschaltung
 Kondensatoren 26
 Widerstände 23, 25
 relative Permeabilität 47
 Relativgeschwindigkeit 15
 Retentionsfaktor 14
 Röntgenspektrum 34
 Rollen 18
 Rotation 20
 -energie 18
 -körper 7
 Rydberg-Konstante 44

 Säure
 -exponent 11, 12, 53–54
 Indikator 54
 -konstante 11, 12
 Satz
 des Pythagoras 6
 des Thales 6
 Energieerhaltungs- 19
 Impulserhaltungs- 19
 Schall
 -druckpegel 22, 43
 -geschwindigkeit 51
 -intensitätspegel 22, 43
 -welle, Intensität 22
 Schaltung
 Kondensatoren 26
 Widerstände 23
 schiefe Ebene 17
 Schmelztemperatur, -wärme 50
 Schmelzwärme 34
 Schneiden 7
 schräger Wurf 17
 Schrödingergleichung 33
 Schwächungskoeffizient 37
 schwarzes Loch, Strahler 39
 Schwarzschild-Radius 39

 Schweredruck 17
 Schwerpunktsatz 38
 Schwingung 20
 elektromagnetische 29
 gedämpft 21
 Gleichungen 30
 harmonische 20
 Thomson'sche -gleichung 29
 ungedämpft 20, 21
 Selbstinduktion 29
 senkrechter Wurf 17
 Siedetemperatur 50
 Sigma-Regeln 8
 Signifikanztest, -niveau 9
 Sinus 6
 Skalarprodukt 8
 Sonne, -system 51
 Spalt 31, 32
 Spannenergie 18
 Spannung 41
 elektrische 24
 Hall- 27
 im Wechselstromkreis 24
 Spektralfarbe 56
 Spektrallinie 33, 53
 Spektrum 56
 spezifische
 Schmelzwärme 50
 Verdampfungswärme 50
 Wärmekapazität 43, 45, 49
 Spiegel 31
 Spule 27, 29
 Primär- & Sekundär- 28
 Standard
 -abweichung 8
 -modell 45
 -potenzial 55
 Stefan-Boltzmann-Gesetz 39
 Stefan-Boltzmann-Konstante 44
 Steigung 7
 Stern
 Eigenbewegung 39
 Entfernungsmodul 40
 Helligkeit 40
 Leuchtkraft 39
 Stochastik 8
 Stöchiometrie, Koeffizient 10, 11
 Stoffmenge 43
 -konzentration 10
 Stokes'scher
 Strömungswiderstand 15
 Stoß 20
 Strahlung 36
 -gesetze 39
 elektromagnetische 56
 Strömung 15
 -widerstand 15
 Stromstärke 22, 42
 Energie- 18, 19
 im Wechselstromkreis 25
 Substanzfleck 14
 System
 abgeschlossenes 19
 geschlossen 13

Taunon 45
 Teilchen 45
 Temperatur 43
 Schmelz- 50
 Siede- 50
 Thales, Satz des 6
 Thermodynamik, Hauptsatz 13
 Thomson'sche
 Schwingungsgleichung 29
 Totalreflexion 31
 Trägheit
 -gesetz 15
 -moment 18, 20, 43
 -prinzip 15
 Transformation, Galilei- 35
 Transformator 28–29
 Translation 18
 Trapez 5
 Trigonometrie 6
 Trigonometrische Parallaxe 39

 Übergang
 Elektronen- 12
 Protonen- 11
 -spannung 12
 Umlauf
 -dauer 16
 -zeit 39
 Unabhängigkeit, stochastische 8
 Unbestimmtheitsrelation
 Energie-Zeit- 33
 Heisenberg'sche 33

 Vakuumlichtgeschwindigkeit 44
 Varianz 8
 Verdampfungswärme 34, 50
 Verteilung, Binomial-, Normal- 8
 Viskosität 15, 43

 Volumen 5, 43
 -änderung, thermische 35
 -anteil 10
 -arbeit 13
 -ausdehnungskoeffizient 35, 49
 molares 10, 45
 Vorsätze 44

 waagerechter Wurf 17
 Wärme 43
 -kapazität 13
 -kapazität, spezifische 45, 49
 -leitfähigkeitskoeffizient 35
 -leitung 35
 Schmelz- 34, 50
 Verdampfungs- 34, 50
 Wärmelehre
 Grundgleichung 34
 Hauptsätze 34
 Wahrscheinlichkeit 9
 bedingte 8
 Wasser 11, 45
 Wasserstoffatom 33
 Wechsel-
 spannung 24
 strom 25
 stromkreis 24
 wirkungsgesetz 15
 Weite, Gegenstands-, Bild- 31
 Welle 21
 elektromagnetische 30
 -funktion 21, 33
 -optik 31
 stehende 22
 Wellenlänge 31, 43
 de-Broglie- 32
 Materie- 34
 Quantenobjekt 32
 Spektrallinien 53

 Wichtungsfaktor 37
 Gewebe- 52
 Widerstand 42
 -beiwert 15
 elektrischer 23
 im Wechselstromkreis 25
 kapazitiv, induktiv 25
 -kraft 15
 Newton'scher Strömungs- 15
 spezifischer elektrischer 47–48
 Wien'sche
 Verschiebungsgesetz 39
 Verschiebungskonstante 44
 Winkel 5, 6
 Abwurf- 17
 Einfalls-, Brechnungs-,
 Reflexions- 31
 -geschwindigkeit 15, 16, 19, 43
 Glanz- 32
 Grenz- der Totalreflexion 31
 Nullphasen- 20
 Polarisations- 32
 zwischen Kräften 15
 Wirkungsgrad 18, 19
 -quantum, Planck'sches 44
 Wurf, -bewegungen 17

 Zählrate 37
 Zahlenbereiche 6
 Zeit 15, 20, 43
 -dilatation 35
 Zellspannung 12
 Zentripetalkraft 15
 Zersetzungsspannung 12
 Zufallsgröße 8
 Zustandsgleichung
 idealer Gase 34
 Zweikörperproblem 38
 Zylinder 5

Danksagung

Diese Formelsammlung wurde mit Software unter **FLOSS**¹-Lizenzen erstellt:

Textsatzsystem $\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ / $\text{L}^{\text{A}}\text{T}_{\text{E}}\text{X}$



Knuth, Donald E.



Lamport, Leslie

Autoren zusätzlich benutzter $\text{L}^{\text{A}}\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ -Pakete

- Arseneau, Donald (subdepth)
- Bezos, Javier (enumitem, titlesec)
- Burnol, Jean-François (mathastext)
- Carlisle, David (ifthen, tabularx, graphicx)
- Fairbairns, Robin (setspace)
- Feuersänger, Christian (pgf/tikz)
- Franz, Melchior (crop)
- Gregorio, Enrico (imakeidx)
- Hensel, Martin (mhchem)
- Kern, Uwe (xcolor)
- Kummer, Olaf (dsfont)
- Law, Simon (pbox)
- Lehman, Philipp (etoolbox)
- López, Javier Bezos (babel)
- Milde, Günter (isomath)
- Mittelbach, Frank u. a. (xparse, multicol)
- Oberdiek, Heiko (hyperref)
- Oostrum, Pieter van (fancyhdr)
- Pégourié-Gonnard, Manuel u. a. (Lua $\text{L}^{\text{A}}\text{T}_{\text{E}}\text{X}$)
- Rahtz, Sebastian (hyperref)
- Saudrais, Eddie (esvect)
- Schöpf, Rainer u. a. (verbatim)
- Segletes, Steven B. (listofitems)
- Tantau, Till (pgf/tikz)
- Tellechea, Christian (listofitems)
- Titz, Thomas (idxlayout)
- Thorup, Kresten Krab u. a. (calc)
- Tobin, Geoffrey (setspace)
- Umeki, Hideo (geometry)
- Ummels, Michael (fdsymbol)
- Wilson, Peter u. a. (tocloft)
- Wright, Joseph (siunitx, etoolbox)

Zeichensatz $\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ Gyre Schola & Heros

- Jackowski, Bogusław u. a.: The TeX Gyre (TG) Collection of Fonts

Entwicklungsumgebung

- Das Debian-Projekt: Debian 10 „Buster“
- Berry, Karl u. a.: $\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ Live
- Wendling, Coloman u. a.: Geany

Community

- stackoverflow.com
- stackexchange.com

Besonderer Dank gilt meinem Kollegen Herrn Thorsten Drabow für die Hilfe beim Korrekturlesen.

¹ FLOSS: Free/Libre Open Source Software