

# 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 4. Mai 2024.

Gesetzt mit Lua<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X aus der T<sub>E</sub>X 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](http://www.iqb.hu-berlin.de) bereit unter  
→ Abituraufgaben → Begleitende Dokumente → Mathematik / Naturwissenschaften.

Diese PDF-Fassung steht unter der [Creative Commons-Lizenz „BY-NC-ND 4.0“](https://creativecommons.org/licenses/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

<b>1</b>	<b>Mathematik</b>	<b>5</b>
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	
<b>2</b>	<b>Chemie</b>	<b>10</b>
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	

<b>3</b>	<b>Physik</b>	<b>15</b>
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   $\alpha$ -, $\beta$ -, $\gamma$ -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	
<b>4</b>	<b>Anhang</b>	<b>41</b>
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
	<b>Stichwortverzeichnis</b>	<b>64</b>
	<b>Danksagung</b>	<b>68</b>

# 1 Mathematik

## 1.1 Grundlagen

### Ähnlichkeit zweier Dreiecke

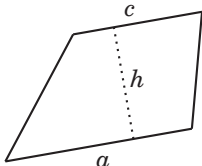
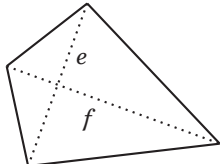
Die folgenden Aussagen zu zwei Dreiecken sind äquivalent:

- 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:

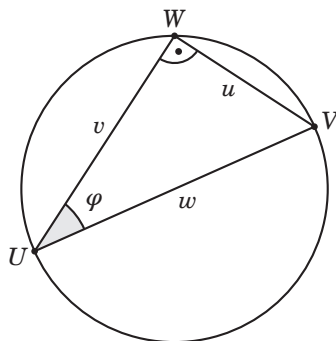
Wenn ein Dreieck rechtwinklig ist, dann gilt für die Längen  $u$  und  $v$  der beiden Katheten und die Länge  $w$  der Hypotenuse  $u^2 + v^2 = w^2$ .

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  $360^\circ$ , so beträgt sie im Bogenmaß  $2\pi$ .

## 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

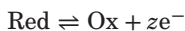
### Berechnung der Zellspannung

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

$\Delta E$  : 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

$\Delta t$  : Zeitintervall

### Erster Hauptsatz der Thermodynamik

Für geschlossene Systeme gilt:

$$\Delta U = Q + W$$

Bei konstantem Druck gilt:

$$\Delta H = Q_p$$

$\Delta U$  : Änderung der inneren Energie  
eines geschlossenen Systems

$Q$  : Wärme

$W$  : Volumenarbeit

$\Delta H$  : Änderung der Enthalpie

### Volumenarbeit

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

$W$  : Volumenarbeit;  $p$  : Druck;  $\Delta V$  : 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 ...

$\Delta T$  : 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:

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

$\Delta H$  : 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:

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

$\Delta S$  : Änderung der Entropie

$S^\circ$  : Standardentropie

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

### Gibbs-Helmholtz-Gleichung

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

$\Delta G$  : Änderung der freien Enthalpie  
 $\Delta H$  : Änderung der Enthalpie  
 $T$  : Temperatur  
 $\Delta S$  : 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

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

$E_\lambda$  : Extinktion bei der Wellenlänge  $\lambda$   
 $\varepsilon_\lambda$  : molarer Extinktionskoeffizient bei der Wellenlänge  $\lambda$   
 $c$  : Stoffmengenkonzentration;  $d$  : Schichtdicke der Messküvette

### Optische Aktivität

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

$\alpha$  : Drehwinkel;  $\beta$  : Massenkonzentration;  $\ell$  : Probenrohrlänge  
 $[\alpha]_\lambda^\vartheta$  : spezifischer Drehwinkel bei der Temperatur  $\vartheta$   
 und der Wellenlänge  $\lambda$

### 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

$F_{\text{ges}} = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2 \cdot F_1 \cdot F_2 \cdot \cos \alpha}$   $F_{\text{ges}}$  : Betrag der Gesamtkraft  
 $F_1, F_2$  : Beträge der Einzelkräfte  
 $\alpha$  : 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  
 $\omega$  : 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;  $\mu$  : 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  
 $\rho$  : 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  
 $\eta$  : Viskosität des umströmenden Mediums  
 $r$  : Radius;  $v$  : Geschwindigkeit

Auftriebskraft

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

$F_A$  : Auftriebskraft     $\rho$  : 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

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

$$v = \omega \cdot r$$

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

$\omega$  : Winkelgeschwindigkeit     $T$  : Umlaufdauer  
 $\Delta \varphi$  : überstrichener Winkel     $\Delta t$  : 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 $\alpha$  : 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  $\rho = \frac{m}{V}$

 $\rho$  : 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;  $\rho$  : 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 $\ell$  : Länge der schiefen Ebene $F_N$  : Normalkraft $\alpha$  : 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  
 $\ell$  : 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  
 $\omega$  : 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;  $\Delta E$  : 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;  $\Delta E$  : Energiedifferenz;  $F$  : Kraft;  $s$  Ort

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

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

$W$  : Arbeit;  $\Delta E$  : Energiedifferenz;  $F$  : Kraft;  $s$  Ort  
 $\alpha$  : 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;  $\Delta E$  : 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

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

$\eta$  : Wirkungsgrad

$P_{\text{nutz}}$  : Betrag der abgegebenen, genutzten Leistung

$P_{\text{zu}}$  : Betrag der aufgewandten, zugeführten Leistung

$E_{\text{nutz}}$  : Betrag der abgegebenen, genutzten Energie

$E_{\text{zu}}$  : Betrag der aufgewandten, zugeführten Energie

### Energieerhaltungssatz

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

$E_{\text{ges}}$  : 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

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

$\vec{p}_{\text{ges}}$  : 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;  $\omega$  : Winkelgeschwindigkeit

Drehimpulserhaltungssatz

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

$\vec{L}_{\text{ges}}$  : 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

$\omega$  : 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

$\omega$  : Kreisfrequenz

$v$  : Geschwindigkeit

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

$\varphi_0$  : 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  
 $\omega_D$  : Kreisfrequenz der gedämpften Schwingung  
 $\omega$  : Kreisfrequenz der ungedämpften Schwingung  
 $\delta$  : 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  
 $\delta$  : 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;  $\ell$  : Pendellänge  
 $g$  : Fallbeschleunigung (Orts-  
 faktor) am Ort der Schwingung

### Wellen

Ausbreitungsgeschwindigkeit

$$c = \lambda \cdot f$$

$c$  : Ausbreitungsgeschwindigkeit;  $\lambda$  : 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  
 $\lambda$  : 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  
 $\lambda$  : Wellenlänge;  $T$  : Periodendauer

stehende Wellen bei zwei festen (zwei losen) Enden

$$\lambda_k = \frac{2\ell}{k+1} \quad \begin{array}{l} \text{Grundschwingung : } k = 0 \\ \text{Oberschwingungen : } k = 1, 2, 3, \dots \end{array} \quad \begin{array}{l} \lambda_k : \text{Wellenlänge} \\ \ell : \text{Länge des Wellenträgers} \end{array}$$

stehende Wellen bei einem festen und einem losen Ende

$$\lambda_k = \frac{2\ell}{k + \frac{1}{2}} \quad \begin{array}{l} \text{Grundschwingung : } k = 0 \\ \text{Oberschwingungen : } k = 1, 2, 3, \dots \end{array} \quad \begin{array}{l} \lambda_k : \text{Wellenlänge} \\ \ell : \text{Länge des Wellenträgers} \end{array}$$

## 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

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

$p_{\text{ges}}$  : Gesamtdruck

$p$  : Schalldruckamplitude

$p_n$  : Normaldruck im Medium (konstant)

$\omega$  : 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

$\rho$  : 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

$p_{\text{eff}}$  : 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

$\rho$  : spezifischer Widerstand

$\ell$  : Länge des Leiters

$A$  : Querschnittsfläche des Leiters

## Reihen- und Parallelschaltung von Widerständen

Reihenschaltung

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

$I_{\text{ges}}$  : Gesamtstromstärke

$I_1, I_2, \dots$  : Einzelstromstärken

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

$U_{\text{ges}}$  : Gesamtspannung

$U_1, U_2, \dots$  : Einzelspannungen

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

$R_{\text{ges}}$  : Gesamtwiderstand

$R_1, R_2, \dots$  : Einzelwiderstände

Parallelschaltung

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

$I_{\text{ges}}$  : Gesamtstromstärke

$I_1, I_2, \dots$  : Einzelstromstärken

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

$U_{\text{ges}}$  : Gesamtspannung

$U_1, U_2, \dots$  : Einzelspannungen

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

$R_{\text{ges}}$  : Gesamtwiderstand

$R_1, R_2, \dots$  : Einzelwiderstände

## Kirchhoff'sche Gesetze

1. Kirchhoff'sches Gesetz (Knotenregel)

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

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

$I_{\text{ab}}$  : 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  
 $\epsilon_0$  : elektrische Feldkonstante  
 $\epsilon_r$  : 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  
 $\epsilon_0$  : elektrische Feldkonstante  
 $\epsilon_r$  : 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

$\epsilon_0$  : elektrische Feldkonstante  
 $\epsilon_r$  : Dielektrizitätszahl

Flächenladungsdichte

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

$\sigma$  : Flächenladungsdichte  
 $Q$  : Ladung;  $A$  : Fläche;  
 $E$  : elektrische Feldstärke im Vakuum

$\epsilon_0$  : elektrische Feldkonstante  
 $\epsilon_r$  : Dielektrizitätszahl

Potenzial im elektrischen Feld

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

homogenes Feld eines Plattenkondensators:

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

Radialfeld einer Punktladung:

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

$\varphi$  : elektrisches Potenzial;  $E$  : Energie  
 $U$  : elektrische Spannung;  $q$  : Probeladung  
 $\epsilon_0$  : elektrische Feldkonstante  
 $\epsilon_r$  : 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  $P_2$   
 $\varphi_1, \varphi_2$  : 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  
 $\omega$  : Kreisfrequenz;  $t$  : Zeit  
 $U_{\text{eff}}$  : 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

$\omega$  : Kreisfrequenz;  $t$  : Zeit

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

$I_{\text{eff}}$  : 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

$\omega$  : 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

$U_{\text{eff}}$  : Effektivwert der elektrischen Spannung

$I_{\text{eff}}$  : 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     $\epsilon_0$  : elektrische Feldkonstante

$A$  : Flächeninhalt einer Platte     $\epsilon_r$  : 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

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

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

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

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

Parallelschaltung

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

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

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

 $Q_{\text{ges}}$  : Gesamtladung $U_{\text{ges}}$  : Gesamtspannung $C_{\text{ges}}$  : 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  
 $\mu_0$  : magnetische Feldkonstante  
 $\mu_r$  : Permeabilitätszahl des Mediums  
 $r$  : Abstand vom Leiter  
 $N$  : Windungszahl der Spule  
 $\ell$  : 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  
 $\ell$  : Länge der Spule  
 $I$  : elektrische Stromstärke  
 $r$  : Abstand vom Leiter

Lorentz-Kraft auf bewegte Ladungsträger

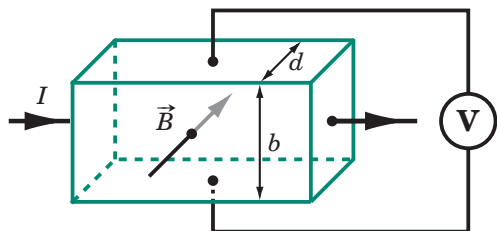
allgemein:  $\vec{F}_L = q \cdot (\vec{v} \times \vec{B})$   
 $F_L = q \cdot v \cdot B \cdot \sin \alpha$

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  
 $\alpha$  : Winkel zwischen Geschwindigkeit und magnetischer Flussdichte

## Hall-Spannung



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

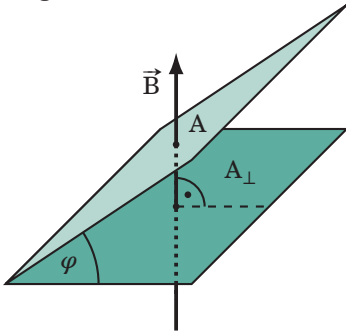
$$U_H = b \cdot v \cdot B$$

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

$U_H$  : 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



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

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

- $\Phi$  : magnetischer Fluss
- $B$  : magnetische Flussdichte
- $A_{\perp}$  : wirksamer Flächeninhalt
- $A$  : Flächeninhalt
- $\varphi$  : 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  $A_{\perp} = \text{konstant}$ :

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

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

- $U_{\text{ind}}$  : induzierte Spannung
- $\Phi$  : 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
- $\ell$  : 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;  $\ell$  : Länge der Spule  
 $\mu_0$  : magnetische Feldkonstante  
 $\mu_r$  : 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:

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

$U_{\text{ind}}$  : 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:

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

Differenzialgleichung der ungedämpften harmonischen elektromagnetischen Schwingung

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

gedämpfte harmonische elektromagnetische Schwingung (Schwingfall)

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

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

Differenzialgleichung der gedämpften harmonischen elektromagnetischen Schwingung

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

Grundfrequenz eines Dipols

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

## Elektromagnetische Wellen

Ausbreitungsgeschwindigkeit elektromagnetischer Wellen im Vakuum

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

Intensität ungedämpfter elektromagnetischer Wellen

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

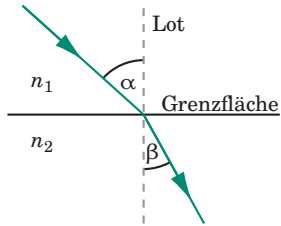
### 3.3 Optik

#### Geometrische Optik

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

#### Brechung

Brechungsgesetz



$$n_2 > n_1$$

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

$\alpha$  : Einfallswinkel  
 $\beta$  : 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  
 $c_{\text{Vakuum}}$  : Vakuumlichtgeschwindigkeit  
 $c_{\text{Medium}}$  : Lichtgeschwindigkeit im optischen Medium

Grenzwinkel der Totalreflexion  $\sin \alpha_G = \frac{n_2}{n_1}$   $\alpha_G$  : 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:  $\frac{(2k - 1) \cdot \frac{\lambda}{2}}{g} = \sin \alpha_k$   $k = 1, 2, 3, \dots$

$\lambda$  : Wellenlänge  
 $g$  : Spaltmittenabstand  
 $\alpha_k$  : Winkel, unter dem das Maximum bzw. Minimum  $k$ -ter Ordnung erscheint

Gitter

Für Hauptmaxima gilt:  $\frac{k \cdot \lambda}{g} = \sin \alpha_k$   $k = 0, 1, 2, \dots$

$\lambda$  : Wellenlänge;  $g$  : Spaltmittenabstand  
 $\alpha_k$  : Winkel, unter dem das Hauptmaximum  $k$ -ter Ordnung erscheint

Einzelspalt

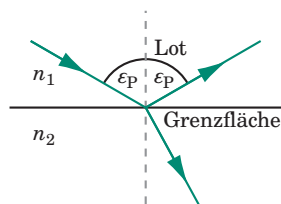
Für Minima gilt: $\frac{k \cdot \lambda}{d} = \sin \alpha_k$ $k = 1, 2, 3, \dots$	Für Maxima ab der ersten Ordnung gilt (Näherung): $\frac{(2k + 1) \cdot \frac{\lambda}{2}}{d} = \sin \alpha_k$ $k = 1, 2, 3, \dots$	$\lambda$ : Wellenlänge $d$ : Spaltbreite $\alpha_k$ : Winkel, unter dem das Maximum bzw.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

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

Rayleigh'sches Kriterium der Auflösung $\alpha_k = 1,22 \cdot \frac{\lambda}{d}$	$\lambda$ : Wellenlänge; $d$ : Durchmesser der Öffnung $\alpha_k$ : 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 $\varphi$ : Winkel zwischen der Schwingungsrichtung des ein- fallenden Lichts und der Polarisationsachse des Filters
--------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Brewster-Gesetz zur Polarisation des Lichts, senkrecht zur Zeichenebene



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

$\epsilon_P$  : 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 Photoelektronen $f$ : 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) $\lambda = \frac{h}{p}$	$\lambda$ : Wellenlänge; $h$ : Planck'sches Wirkungsquantum $p$ : Impuls des Quantenobjekts
--------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------



---

Compton-Effekt	$\Delta\lambda$ : Änderung der Wellenlänge $c$ : Lichtgeschwindigkeit $\varphi$ : Streuwinkel (Winkel zwischen der Richtung des einstrahlenden und der Richtung des gestreuten Photons) $h$ : Planck'sches Wirkungsquantum	$\lambda_C$ : 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	$\Delta x$ : Ortsunbestimmtheit $\Delta p_x$ : Impulsunbestimmtheit $h$ : Planck'sches Wirkungsquantum
$\Delta x \cdot \Delta p_x \geq \frac{h}{4\pi}$	

---

Energie-Zeit-Unbestimmtheitsrelation	$\Delta E$ : Energieunbestimmtheit $\Delta t$ : 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:  $\Psi_n(x) = 0$

$\Psi$  : Wellenfunktion;  $m$  : Masse  
 $h$  : Planck'sches Wirkungsquantum  
 $x$  : Ort;  $E_{\text{pot}}$  : 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 $\Delta E$ : 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)

$$E_n = - \frac{m_e \cdot e^4}{8\varepsilon_0^2 \cdot h^2} \cdot \frac{1}{n^2} = -13,6 \text{ eV} \cdot \frac{1}{n^2}$$

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

$E_n$  : Energieniveau des Wasserstoffatoms  
 $m_e$  : Elektronenmasse;  $e$  : Elementarladung  
 $\varepsilon_0$  : elektrische Feldkonstante  
 $h$  : Planck'sches Wirkungsquantum

---

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

$$E_n = - \frac{m_e \cdot e^4}{8\varepsilon_0^2 \cdot h^2} \cdot \frac{Z^2}{n^2} = -13,6 \text{ eV} \cdot \frac{Z^2}{n^2}$$

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

$E_n$  : Energieniveau  
 $Z$  : Ordnungszahl  
 $\varepsilon_0$  : elektrische Feldkonstante  
 $h$  : Planck'sches Wirkungsquantum  
 $m_e$  : Elektronenmasse  
 $e$  : Elementarladung

---

Moseley-Gesetz für die  $K_\alpha$ -Linie eines Röntgenspektrums

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

$E_{K_\alpha}$  : Energie des beim  $K_\alpha$ -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  
 $L$  : Länge des Potenzialtopfes

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

Materiewellenlänge bei stationären Zuständen im eindimensionalen Potenzialtopf

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

$\lambda_n$  : 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

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

$Q_{\text{rev}}$  : reversibel aufgenommene bzw. abgegebene Wärme  
 $S$  : Entropie;  $T$  : Temperatur

#### Hauptsätze der Wärmelehre

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

$U$  : innere Energie       $Q$  : Wärme  
 $W$  : Arbeit       $S$  : Entropie

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

#### 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  
 $\lambda$  : Wärmeleitfähigkeitskoeffizient  
 $d$  : Dicke/Länge des Körpers;  $t$  : Zeit

Thermische Längenänderung

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

$\ell$  : Länge  
 $\alpha$  : Längenausdehnungskoeffizient  
 $\ell_0$  : Ausgangslänge;  $T$  : Temperatur

Thermische Volumenänderung

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

$V$  : Volumen  
 $\gamma$  : 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

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

$\gamma$  : 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'  
 $\gamma$  : Lorentz-Faktor  
 $c$  : Lichtgeschwindigkeit

#### Zeitdilatation

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

$\Delta t$  : Zeitdauer, die ein Beobachter aus seinem Ruhesystem S für einen Vorgang misst  
 $\Delta t_0$  : Zeitdauer, in der im dazu mit der Relativgeschwindigkeit  $v$  bewegten Bezugssystem S' ein Vorgang abläuft  
 $\gamma$  : Lorentz-Faktor

## Längenkontraktion

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

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

$\ell_0$  : Länge eines im bewegten Bezugssystem  $S'$  ruhenden Stabes, im bewegten Bezugssystem  $S'$  gemessen

$\gamma$  : Lorentz-Faktor

## Impuls

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

$p$  : Impuls;  $\gamma$  : Lorentz-Faktor;  $m$  : Masse;  $v$  : Geschwindigkeit

## Energie

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

$E$  : Energie;  $\gamma$  : Lorentz-Faktor;  $m$  : Masse

$c$  : Lichtgeschwindigkeit

$E_0$  : Ruheenergie;  $E_{\text{kin}}$  : 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

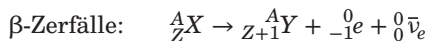
$Z$  : Protonenzahl, Kernladungszahl

### Freisetzung von $\alpha$ -, $\beta$ -, $\gamma$ -Strahlung

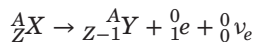


$A$  : Massenzahl

$Z$  : Protonenzahl, Kernladungszahl



$X, Y$  : Elementsymbol



$X^*$  : angeregtes Nuklid

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



$\nu_e$  : Elektron-Neutrino

### Aktivität einer radioaktiven Substanz

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

$A$  : Aktivität;  $\lambda$  : 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

$\lambda$  : 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)

$\mu$  : 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

$\Delta m$  : Massendefekt

$m_p$  : Protonenmasse

$m_n$  : Neutronenmasse

$N$  : Neutronenzahl

$m_K$  : Kernmasse

$Z$  : Protonenzahl, Kernladungszahl;

$c$  : Lichtgeschwindigkeit

**Freierdende 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**

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

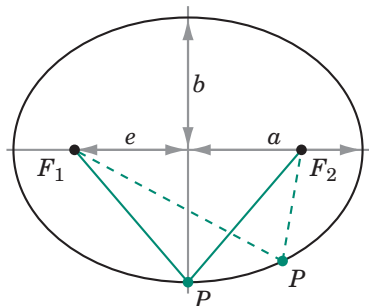
$r_K$  : Kernradius;  $A$  : Massenzahl

### 3.8 Astrophysik

#### Kepler'sche Gesetze

##### 1. Kepler'sches Gesetz

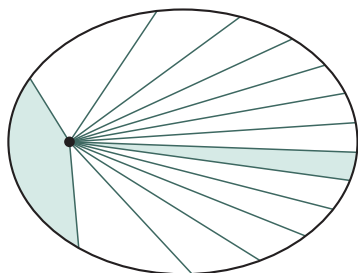
Die Planeten bewegen sich auf Ellipsenbahnen, in deren einem Brennpunkt die Sonne steht.



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

$a, b$  : große bzw. kleine Halbachse  
 $e$  : lineare Exzentrizität  
 $F_1, F_2$  : Brennpunkte;  $P$  : Planet  
 $\varepsilon$  : 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

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

$T_{\text{sid}}$  : siderische Umlaufzeit  
 $T_{\text{Erde}}$  : Umlaufzeit der Erde  
 $T_{\text{syn}}$  : 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  
 $\Phi$  : 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

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

$\Phi$  : Strahlungsleistung, Leuchtkraft  
 $\sigma$  : Stefan-Boltzmann-Konstante;  $T$  : Temperatur  
 $A$  : Flächeninhalt der abstrahlenden Fläche

Wien'sches Verschiebungsgesetz

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

$\lambda_{\text{max}}$  : 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  
 $\mu$  : 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  $\delta$ -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;  $\lambda$  : 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	$\rho$		$\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	$1 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 0,001 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$
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	$\Lambda_{eq}$		$\frac{\text{S} \cdot \text{cm}^2}{\text{mol}}$	
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	$\kappa$		$\frac{\text{S}}{\text{m}}$	$1 \frac{\text{S}}{\text{m}} = \frac{1}{\Omega \cdot \text{m}}$
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	Formel- zeichen	Name der Einheit	Einheiten- zeichen	Beziehungen zwischen den Einheiten
elektrische Stromstärke	$I$	Ampere	A	
elektrischer Widerstand	$R$	Ohm	$\Omega$	$1 \Omega = 1 \frac{\text{V}}{\text{A}} = 1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^3 \cdot \text{A}^2}$
elektrisches Potenzial	$\varphi$	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	$A$		$\text{m}^2$	
Flächenladungsdichte	$\sigma$		$\frac{\text{As}}{\text{m}^2}$	
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	$\omega$		$\frac{1}{\text{s}}$	
Länge	$\ell$	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	$\Phi$	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	$T$ $\vartheta$	Kelvin Grad Celsius	K °C	$0 \text{ °C} \triangleq 273,15 \text{ K}$
Trägheitsmoment	$J$		$\text{kg} \cdot \text{m}^2$	
Viskosität	$\eta$		$\frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}$	
Volumen	$V$	Kubikmeter Liter	$\text{m}^3$ $\ell, \text{L}$	$1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ L}$
Wärme	$Q$	Joule	J	$1 \text{ J} = 1 \text{ Nm} = 1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2}$
Wellenlänge	$\lambda$	Meter	m	
Winkelgeschwindigkeit	$\omega$		$\frac{1}{\text{s}}$	
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	$\mu$	$10^{-6}$	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,  $\alpha$ -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	$m_n = 1,674\,927\,498\,04 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$	$q_n = 0 \text{ C}$
$\alpha$ -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	$\nu_e$	$0$	$< 1,1$
Myon	$\mu^-$	$-1$	$105,66 \cdot 10^6$
Myon-Neutrino	$\nu_\mu$	$0$	$< 0,19 \cdot 10^6$
Tauon	$\tau^-$	$-1$	$1,7769 \cdot 10^9$
Tauon-Neutrino	$\nu_\tau$	$0$	$< 18,2 \cdot 10^6$

**Festgelegte Bedingungen**molares 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	$\rho$ in $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$	Stoff	$\rho$ 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	$\rho$ in $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$	Stoff	$\rho$ in $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$
Aceton (Propanon)	0,79	Petroleum	0,81
Benzin	0,68 ... 0,72	Quecksilber	13,53
Dieselmkraftstoff	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	$\rho$ in $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$	Stoff	$\rho$ 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	$\epsilon_r$	Stoff	$\epsilon_r$
Bernstein	2,8	Paraffin	2,3
Glas	5 ... 16	Polystyrol	2,6
Bariumtitanat (BaTiO <sub>3</sub> )	100 ... 1000	Porzellan	4,5 ... 6,5
Calciumtitanat (CaTiO <sub>3</sub> )	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	$\mu_r$	Stoff	$\mu_r$	Stoff	$\mu_r$
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	$\rho$ in $\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$	Metall	$\rho$ 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	$\rho$ in $\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$	Material	$\rho$ 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	$\rho$ in $\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$	Material	$\rho$ 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	$\alpha$ in $\frac{10^{-6}}{\text{K}}$	Stoff	$\alpha$ 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
$\gamma$ 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 $\vartheta_S$ (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 $\vartheta_V$ (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**

<b>Feste Stoffe</b>	<b><math>v</math> in <math>\frac{m}{s}</math></b>	<b>Flüssigkeiten und Gase</b>	<b><math>v</math> in <math>\frac{m}{s}</math></b>
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

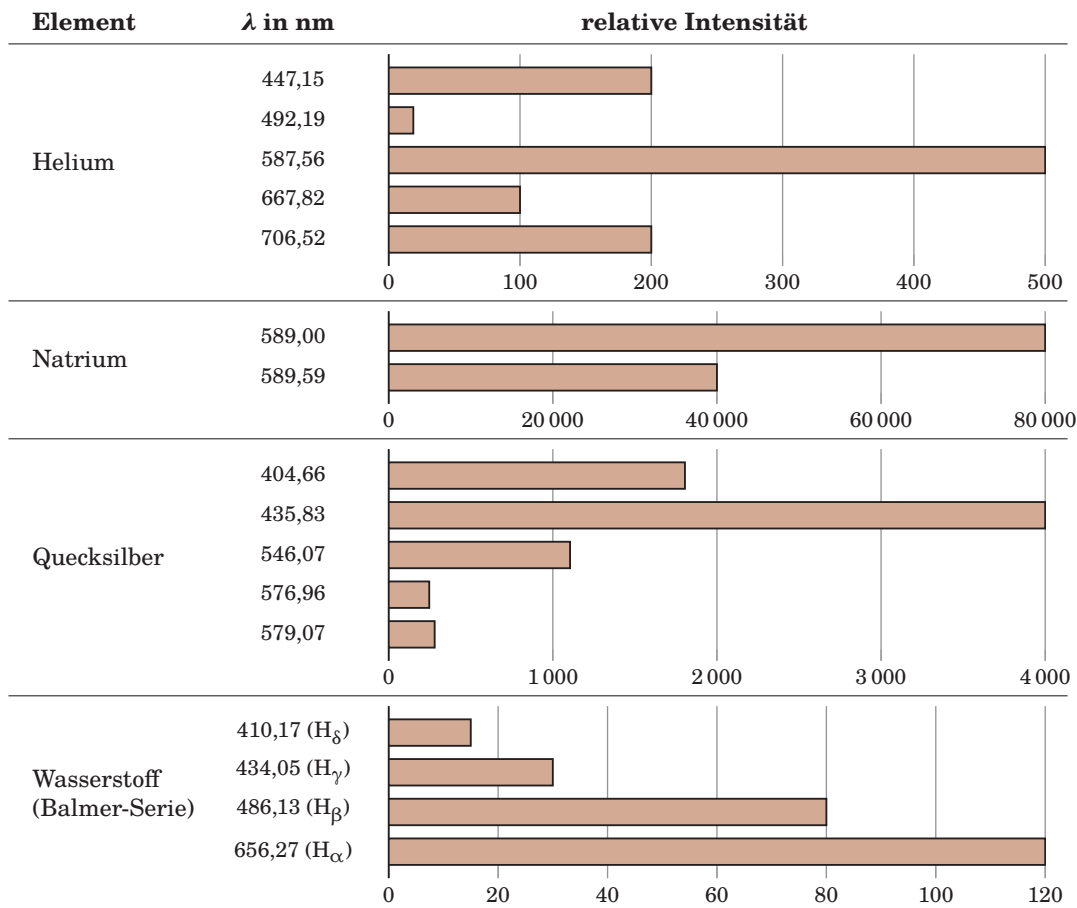
**Gewebe-Wichtungsfaktoren  $w_T$** 

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

### Säure-Base-Indikatoren

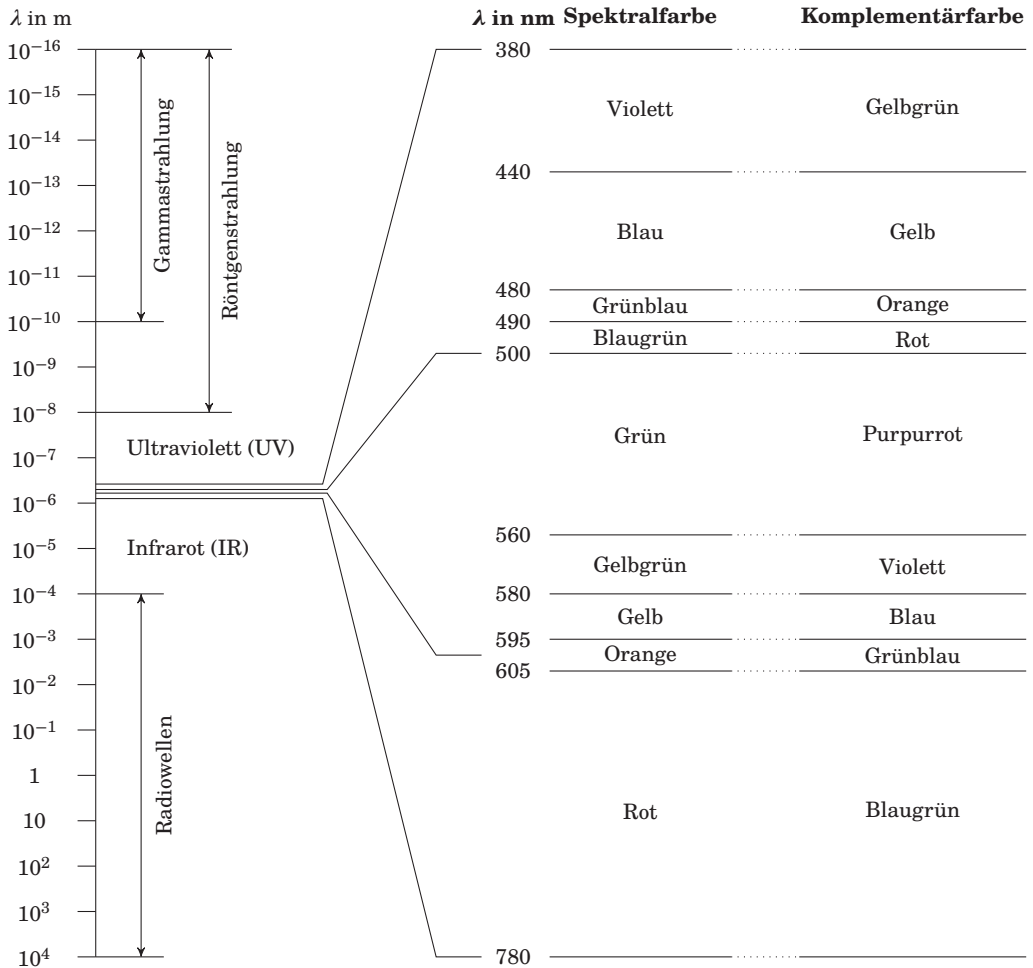
Indikator	ph-Bereich	Farbänderung	Indikator	ph-Bereich	Farbänderung
Thymolblau	1,2 – 2,8	rot – gelb	Bromthymolblau	6,0 – 7,6	gelb – blau
Methylorange	3,0 – 4,4	rot – gelborange	Thymolblau	8,0 – 9,6	gelb – blau
Bromkresolgrün	3,8 – 5,4	gelb – blau	Phenolphthalein	8,2 – 10,0	farblos – purpur
Methylrot	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 $E^\circ$ 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
$\text{S}^{2-}$	$\rightleftharpoons$	$\text{S} + 2e^-$	-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)
$\text{Cu}^+$	$\rightleftharpoons$	$\text{Cu}^{2+} + e^-$	+0,15
Cu	$\rightleftharpoons$	$\text{Cu}^{2+} + 2e^-$	+0,34
$4 \text{OH}^-$	$\rightleftharpoons$	$\text{O}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} + 4e^-$	+0,40 (pH = 14)
Cu	$\rightleftharpoons$	$\text{Cu}^+ + e^-$	+0,52
$2 \text{I}^-$	$\rightleftharpoons$	$\text{I}_2 + 2e^-$	+0,54
$\text{Fe}^{2+}$	$\rightleftharpoons$	$\text{Fe}^{3+} + e^-$	+0,77
Ag	$\rightleftharpoons$	$\text{Ag}^+ + e^-$	+0,80
$2 \text{Br}^-$	$\rightleftharpoons$	$\text{Br}_2 + 2e^-$	+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)
$2 \text{Cl}^-$	$\rightleftharpoons$	$\text{Cl}_2 + 2e^-$	+1,36
Au	$\rightleftharpoons$	$\text{Au}^{3+} + 3e^-$	+1,50
$2 \text{F}^-$	$\rightleftharpoons$	$\text{F}_2 + 2e^-$	+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
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
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
15	P	30 29,978 315
		31 30,973 762
		32 31,973 908
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
18	Ar	36 35,967 545
		38 37,962 732
		39 38,964 314
		40 39,962 383
		41 40,964 501
		42 41,963 046
19	K	39 38,963 707
		40 39,963 998
		41 40,961 825
		42 41,962 402
20	Ca	40 39,962 591
		42 41,958 618
		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
		50 49,944 786
23	V	51 50,943 958
24	Cr	51 50,944 765
		52 51,940 505
		53 52,940 646
		54 53,938 877
25	Mn	55 54,938 043
26	Fe	54 53,939 608
		55 54,938 291
		56 55,934 936
		57 56,935 392
		58 57,933 274
		59 58,934 873
		60 59,934 070
27	Co	55 54,941 996
		56 55,939 838
		57 56,936 290
		58 57,935 751
		59 58,933 194
		60 59,933 816
28	Ni	58 57,935 342
		60 59,930 785
		61 60,931 055
		62 61,928 345
		64 63,927 966
29	Cu	63 62,929 597
		65 64,927 789
		66 65,928 869
30	Zn	64 63,929 142
		65 64,929 241
		66 65,926 034
		67 66,927 127
		68 67,924 844
31	Ga	69 68,925 574
		71 70,924 703
32	Ge	70 69,924 249
		72 71,922 076
		73 72,923 459
		74 73,921 178
		76 75,921 403
33	As	75 74,921 595
34	Se	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
36	Kr	78 77,920 366
		80 79,916 378
		82 81,913 481
		83 82,914 127
		84 83,911 498
		85 84,912 527
		86 85,910 611
		89 88,917 835
		92 91,926 173
37	Rb	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
		90 89,907 728
		92 91,911 038
		94 93,915 356
		96 95,921 719
		98 97,928 693
39	Y	89 88,905 838
		90 89,907 142
		95 94,912 820
		96 95,915 909
40	Zr	90 89,904 699
		91 90,905 640
		92 91,905 035
		94 93,906 313
		95 94,908 040
41	Nb	93 92,906 373
		95 94,906 831
42	Mo	92 91,906 807
		94 93,905 084
		95 94,905 837
		96 95,904 675
		97 96,906 017
		98 97,905 404
		100 99,907 468
43	Tc	97 96,906 361
		99 98,906 250
44	Ru	96 95,907 589
		98 97,905 287
		99 98,905 930
		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 $\beta^-$ : 16,7	O14 70,59 s $\beta^-$ : 1,8 $\gamma$ : 2,313	O15 2,03 min $\beta^-$ : 1,7	O16 stabil	O17 stabil	O18 stabil	O19 27,1 s $\beta^-$ : 3,3 $\gamma$ : 0,197	O20 13,5 s $\beta^-$ : 2,8 $\gamma$ : 1,057	
7					N12 11,0 ms $\beta^-$ : 16,7 $\gamma$ : 4,439	N13 9,96 min $\beta^-$ : 1,2	N14 stabil	N15 stabil	N16 7,13 s $\beta^-$ : 4,3 $\gamma$ : 6,129	N17 4,17 s $\beta^-$ : 3,2 $\gamma$ : 0,871	N18 0,63 s $\beta^-$ : 9,4 $\gamma$ : 1,982	N19 329 ms $\beta^-$ : $\gamma$ : 0,096	
6			C9 126,5 ms $\beta^-$ : 15,5	C10 19,3 s $\beta^-$ : 1,9 $\gamma$ : 0,718	C11 20,38 min $\beta^-$ : 1,0	C12 stabil	C13 stabil	C14 5730 a $\beta^-$ : 0,2	C15 2,45 s $\beta^-$ : 4,5 $\gamma$ : 5,298	C16 0,747 s $\beta^-$ : 4,7	C17 193 ms $\beta^-$ : $\gamma$ : 1,375	C18 92 ms $\beta^-$ : $\gamma$ : 2,614	
5			B8 770 ms $\beta^-$ : 14,1		B10 stabil	B11 stabil	B12 20,20 ms $\beta^-$ : 13,4 $\gamma$ : 4,439	B13 17,33 ms $\beta^-$ : 13,4 $\gamma$ : 3,684	B14 13,8 ms $\beta^-$ : 14,0 $\gamma$ : 6,090	B15 10,4 ms $\beta^-$ :		B17 5,1 ms $\beta^-$ :	
4			Be7 53,29 d $\gamma$ : 0,478		Be9 stabil	Be10 1,6E6 a $\beta^-$ : 0,6	Be11 13,8 s $\beta^-$ : 11,5 $\gamma$ : 2,125	Be12 23,6 ms $\beta^-$ : 11,7		Be14 4,35 ms $\beta^-$ :			
3			Li6 stabil	Li7 stabil	Li8 840,3 ms $\beta^-$ : 12,5	Li9 178,3 ms $\beta^-$ : 13,6		Li11 8,5 ms $\beta^-$ : 18,5 $\gamma$ : 3,368					
2	He3 stabil	He4 stabil		He6 806,7 ms $\beta^-$ : 3,5		He8 119 ms $\beta^-$ : 9,7 $\gamma$ : 0,961							
1	H1 stabil	H2 stabil	H3 12,323 a $\beta^-$ : 0,02										
0		n1 10,25 min $\beta^-$ : 0,8											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Legende und Fortsetzung auf der nächsten Doppelseite



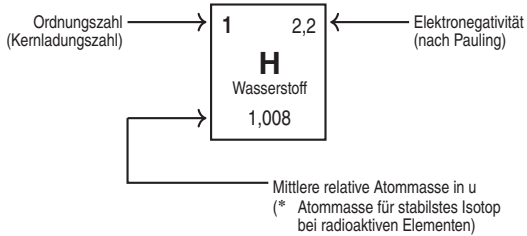
			Am232 1,31 min		Am234 2,32 min		Am236 3,6 min α: 6,15 γ: 0,719	Am237 73 min α: 6,04 γ: 0,280	Am238 1,63 h α: 5,94 γ: 0,963	Am239 11,9 h α: 5,774 γ: 0,278	Am240 50,8 h α: 5,378 γ: 0,988	Am241 432,2 a α: 5,486 γ: 0,060	Am242 16 h β: 0,7	Am243 7370 a α: 5,275 γ: 0,075	95
				Pu232 34,1 min α: 6,60	Pu233 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: 0,384	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: 0,9 γ: 0,566	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: 0,384	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	U233 1,59E5 a α: 4,824	U234 2,46E5 a α: 4,775	U235 7,04E9 a α: 4,398 γ: 0,186	U236 2,34E7 a α: 4,494	U237 6,75 d β: 0,2 γ: 0,060	U238 4,47E9 a α: 4,198	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 β: 0,5 γ: 0,952	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 β: 0,3 γ: 0,026	Th231 25,5 h β: 0,3 γ: 0,026	Th232 1,41E10 a α: 4,013 β: 0,3 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	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	Ra229 4,0 min β: 1,8	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	Rn223 23,2 min γ: 0,593	Rn224 1,78 h γ: 0,261	Rn225 4,5 min	Rn226 7,4 min									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										
	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										78
															77
134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	

← Halbwertszeit  
← Energie in MeV

Die farbigen Flächen zeigen die vorherrschenden Zerfallsarten an.

Periodensystem der Elemente

	1																		
1	1	2,2																	
	<b>H</b>																		
	Wasserstoff																		
	1,008		2																
2	3	1,0	4	1,6															
	<b>Li</b>		<b>Be</b>																
	Lithium		Beryllium																
	6,94		9,012																
3	11	0,9	12	1,3															
	<b>Na</b>		<b>Mg</b>																
	Natrium		Magnesium																
	22,990		24,305		3	4	5	6	7	8	9								
4	19	0,8	20	1,0	21	1,4	22	1,5	23	1,6	24	1,7	25	1,6	26	1,8	27	1,9	
	<b>K</b>		<b>Ca</b>		<b>Sc</b>		<b>Ti</b>		<b>V</b>		<b>Cr</b>		<b>Mn</b>		<b>Fe</b>		<b>Co</b>		
	Kalium		Calcium		Scandium		Titan		Vanadium		Chrom		Mangan		Eisen		Cobalt		
	39,098		40,078		44,956		47,867		50,942		51,996		54,938		55,845		58,933		
5	37	0,8	38	0,9	39	1,2	40	1,3	41	1,6	42	2,2	43	1,9	44	2,2	45	2,3	
	<b>Rb</b>		<b>Sr</b>		<b>Y</b>		<b>Zr</b>		<b>Nb</b>		<b>Mo</b>		<b>Tc</b>		<b>Ru</b>		<b>Rh</b>		
	Rubidium		Strontium		Yttrium		Zirkonium		Niobium		Molybdän		Technetium		Ruthenium		Rhodium		
	85,468		87,62		88,906		91,224		92,906		95,95		97,907*		101,07		102,905		
6	55	0,8	56	0,9	57 – 71		72	1,3	73	1,5	74	2,4	75	1,9	76	2,2	77	2,2	
	<b>Cs</b>		<b>Ba</b>		<b>La-Lu</b>		<b>Hf</b>		<b>Ta</b>		<b>W</b>		<b>Re</b>		<b>Os</b>		<b>Ir</b>		
	Cäsium		Barium		Lanthanoide		Hafnium		Tantal		Wolfram		Rhenium		Osmium		Iridium		
	132,905		137,327				178,49		180,948		183,84		186,207		190,23		192,217		
7	87	0,7	88	0,9	89 – 103		104		105		106		107		108		109		
	<b>Fr</b>		<b>Ra</b>		<b>Ac-Lr</b>		<b>Rf</b>		<b>Db</b>		<b>Sg</b>		<b>Bh</b>		<b>Hs</b>		<b>Mt</b>		
	Francium		Radium		Actinoide		Rutherfordium		Dubnium		Seaborgium		Bohrium		Hassium		Meitnerium		
	223,020*		226,025*				267*		270*		269*		270*		270*		278*		



57	1,1	58	1,1	59	1,1	60	1,1	61		62	1,2
<b>La</b>		<b>Ce</b>		<b>Pr</b>		<b>Nd</b>		<b>Pm</b>		<b>Sm</b>	
Lanthan		Cer		Praseodym		Neodym		Promethium		Samarium	
138,905		140,116		140,908		144,242		146,915*		150,36	

89	1,1	90	1,3	91	1,5	92	1,7	93	1,3	94	1,3
<b>Ac</b>		<b>Th</b>		<b>Pa</b>		<b>U</b>		<b>Np</b>		<b>Pu</b>	
Actinium		Thorium		Protactinium		Uran		Neptunium		Plutonium	
227,028*		232,038*		231,036*		238,051*		237,048*		244,064*	

										18									
										2	1								
										13	14	15	16	17	He Helium 4,003				
										5	6	7	8	9	10	2			
										B Bor 10,811	C Kohlenstoff 12,011	N Stickstoff 14,007	O Sauerstoff 15,999	F Flour 18,998	Ne Neon 20,180				
										13	14	15	16	17	18	3			
										Al Aluminium 26,982	Si Silicium 28,086	P Phosphor 30,974	S Schwefel 32,065	Cl Chlor 35,453	Ar Argon 39,948				
10	11	12											4						
28	29	30	31	32	33	34	35	36											5
Ni Nickel 58,693	Cu Kupfer 63,546	Zn Zink 65,38	Ga Gallium 69,723	Ge Germanium 72,630	As Arsen 74,922	Se Selen 78,971	Br Brom 79,904	Kr Krypton 83,798											
46	47	48	49	50	51	52	53	54											6
Pd Palladium 106,42	Ag Silber 107,868	Cd Cadmium 112,414	In Indium 114,818	Sn Zinn 118,710	Sb Antimon 121,760	Te Tellur 127,60	I Iod 126,905	Xe Xenon 131,293											
78	79	80	81	82	83	84	85	86											7
Pt Platin 195,08	Au Gold 196,967	Hg Quecksilber 200,592	Tl Thallium 204,383	Pb Blei 207,2	Bi Bismut 208,980*	Po Polonium 209,983*	At Astat 209,987	Rn Radon 222,018*											
110	111	112	113	114	115	116	117	118											
Ds Darmstadtium 281*	Rg Röntgenium 281*	Cn Copernicium 285*	Nh Nihonium 286*	Fl Flerovium 289*	Mc Moscovium 289*	Lv Livermorium 293*	Ts Tenness 294*	Og Oganesson 294*											

63	64	65	66	67	68	69	70	71										
Eu Europium 151,964	Gd Gadolinium 157,25	Tb Terbium 158,925	Dy Dysprosium 162,500	Ho Holmium 164,930	Er Erbium 167,259	Tm Thulium 168,934	Yb Ytterbium 173,045	Lu Lutetium 174,967										

95	96	97	98	99	100	101	102	103										
Am Americium 243,061*	Cm Curium 247,070*	Bk Berkelium 247,070*	Cf Californium 251,080*	Es Einsteinium 252,083*	Fm Fermium 257,095*	Md Mendelevium 258,098*	No Nobelium 259,101*	Lr Lawrencium 262,110*										

# 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

Tauon 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

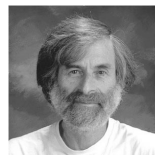
## Danksagung

Diese Formelsammlung wurde mit Software unter **FLOSS**<sup>1</sup>-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.

<sup>1</sup> FLOSS: Free/Libre Open Source Software