

# 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>

Gesetzt mit Lua<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X aus der T<sub>E</sub>X Gyre 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 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 die Nutzung im Rahmen der Unterrichtstätigkeit ausdrücklich gestattet.

Die Druckversion des vorliegenden Werkes ist unter der ISBN 978-3-...

im Verlag Regia-Co-Work, Cottbus erschienen und im deutschen Buchhandel erhältlich.

# 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   Mengensymbole 6   Rechtwinkliges Dreieck 6   Trigonometrie 6   Winkelmaße 6	
1.2	Analysis . . . . .	7
	Ableitung 7   Integralfunktionen 7   Bestimmtes Integral 7   Rotationskörper 7   Grenzwerte 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   Allgemeine Gasgleichung 10   Molares Volumen 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 Einrichtungen 17   Energie 18   Energieerhaltungssatz 18   Arbeit 18   Leistung, Wirkungsgrad 19   Gravitation 19   Rotation 19   Impuls 19   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   Schwingungen 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>Errata</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

$$a^2 + 2ab + b^2 = (a + b)^2$$

$$a^2 - 2ab + b^2 = (a - b)^2$$

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

### Maße von Figuren

Dreieck

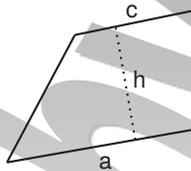
$$A = \frac{1}{2} \cdot g \cdot h$$

Parallelogramm\*

$$A = g \cdot h$$

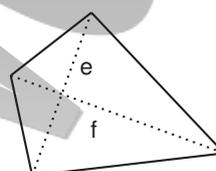
Trapez

$$A = \frac{1}{2} \cdot (a + c) \cdot h$$



Drachenviereck

$$A = \frac{1}{2} \cdot e \cdot f$$



Kreis

$$A = \pi \cdot r^2$$

$$U = 2\pi \cdot r$$

### Maße von Körpern

Prisma

$$V = A_G \cdot h$$

Pyramide

$$V = \frac{1}{3} \cdot A_G \cdot h$$

Zylinder

$$V = A_G \cdot h$$

für gerade Zylinder:

$$A_O = 2 \cdot A_G + 2\pi \cdot r \cdot h$$

Kegel

$$V = \frac{1}{3} \cdot A_G \cdot h$$

für gerade Kegel:

$$A_O = A_G + \pi \cdot r \cdot m$$

(m: Abstand der Spitze vom Rand der Grundfläche)

Kugel

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

$$A_O = 4\pi \cdot r^2$$

### Potenzen und Logarithmen

$$a^r \cdot b^r = (a \cdot b)^r$$

$$a^r \cdot a^s = a^{r+s}$$

$$(a^r)^s = a^{r \cdot s}$$

$$a^{\frac{m}{n}} = \sqrt[n]{a^m} = (\sqrt[n]{a})^m$$

$$\frac{a^r}{b^r} = \left(\frac{a}{b}\right)^r$$

$$\frac{a^r}{a^s} = a^{r-s}$$

$$a^{-r} = \frac{1}{a^r}$$

$$\log_a(b \cdot c) = \log_a b + \log_a c$$

$$\log_a \frac{b}{c} = \log_a b - \log_a c$$

$$\log_a b^r = r \cdot \log_a b$$

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

## Quadratische Gleichung

$x_{1,2} = -\frac{p}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{p}{2}\right)^2 - q}$  sind die Lösungen der Gleichung  $x^2 + px + q = 0$ .

## Symbole in Verbindung mit Mengen

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## 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:

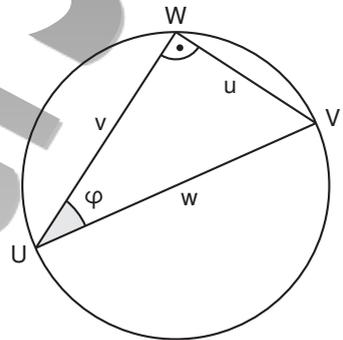
Wenn ein Dreieck rechtwinklig ist, dann gilt für die Längen  $u$  und  $v$  der beiden Katheten und die Länge  $w$  der Hypotenuse  $u^2 + v^2 = w^2$ .

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.



## 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

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

### Ableitung von Integralfunktionen

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

### 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
$k \cdot u(x)$	$k \cdot u'(x)$	$u(x) \cdot v(x)$	$u'(x) \cdot v(x) + u(x) \cdot v'(x)$
$u(x) + v(x)$	$u'(x) + v'(x)$	$u(v(x))$	$u'(v(x)) \cdot v'(x)$

### Bestimmtes Integral

Ist F eine Stammfunktion von f, so gilt

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

### Rotationskörper

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

### Grenzwerte

Ist  $p(x)$  ein ...

Polynom,

nicht konstantes Polynom,

Polynom ohne konstanten Summanden,

so gilt ...

$$\lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{p(x)}{e^x} = 0$$

$$\lim_{x \rightarrow +\infty} \frac{\ln x}{p(x)} = 0$$

$$\lim_{x \rightarrow 0} (p(x) \cdot \ln x) = 0$$

### 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:

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

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

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

Für eine binomialverteilte Zufallsgröße X gilt:

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

$$\text{Erwartungswert: } \mu = n \cdot p$$

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

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

### 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

#### Allgemeine Gasgleichung

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

$p$  : Druck;  $V$  : Volumen  
 $n$  : Stoffmenge;  $T$  : Temperatur  
 $R$  : ideale Gaskonstante

#### Molares Volumen

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

$V_m$  : molares Volumen  
 $V$  : Volumen  
 $n$  : Stoffmenge

#### 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

$n / m$  : Anzahl der positiven/negativen Ladungen,  
stöchiometrischer Koeffizient

$c(A^{n+})$  : Stoffmengenkonzentration des Kations

$c(B^{m-})$  : Stoffmengenkonzentration des Anions

$\{K_L\}$  : 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

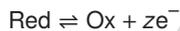
### Berechnung der Zellspannung

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

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

### Nernst-Gleichung

Für ein konjugiertes Redoxpaar



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

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

Red : reduzierte Form; Ox : oxidierte Form  
 $E$  : Potenzial des Redoxpaares  
 $E^\circ$  : Standardpotenzial des Redoxpaares  
 $z$  : Anzahl der übertragenen Elektronen  
 $c(\text{Ox})$  : Konzentration der oxidierten Form  
 $c(\text{Red})$  : Konzentration der reduzierten Form  
 $\{c(\text{Ox})\}$  : Zahlenwert von  $c(\text{Ox})$   
 $\{c(\text{Red})\}$  : 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  
 $E(\text{A}), E(\text{K})$  : Potenzial...  
 $\eta(\text{A}), \eta(\text{K})$  : Überspannung...  
 ... der Anoden-/Kathoden-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

$\Delta c(A), \Delta c(B)$  : Änderung der Stoffmengenkonzentration  
des Eduktes A / 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

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

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

Enthalpie bezogen auf 1 mol der Teilchen X:

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

$Q$  : Wärme;  $m$  : Masse ...

$c$  : spezifische Wärmekapazität ...

$\Delta T$  : Änderung der Temperatur ...

... der Kalorimeterflüssigkeit

$\Delta_r H$  : 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:

$$\vec{v} = \text{konstant}$$

$\vec{F}_1, \vec{F}_2, \dots$  : äußere Kräfte, die auf einen Körper (ein System) wirken  
 $\vec{v}$  : Geschwindigkeit

2. Newton'sches Gesetz (Grundgleichung der Mechanik)

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a}$$

$$F \cdot \Delta t = m \cdot \Delta v$$

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

3. Newton'sches Gesetz (Reaktionsprinzip, Wechselwirkungsgesetz)

$$\vec{F}_{1 \rightarrow 2} = -\vec{F}_{2 \rightarrow 1}$$

$\vec{F}$  : 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 $r$  : Radius $\eta$  : Viskosität des umströmenden Mediums $v$  : 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

$$\bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

momentane Geschwindigkeit

$$v(t) = \frac{ds}{dt} = \dot{s}(t)$$

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

mittlere Beschleunigung

$$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

momentane Beschleunigung

$$a(t) = \frac{dv}{dt} = \dot{v}(t)$$

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

gleichförmige Bewegung

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

$$v = \text{konstant}$$

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

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 $v_0$  : Anfangsgeschwindigkeitbei  $t = 0$  s

beliebig beschleunigte Bewegung

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

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

 $s$  : 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

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

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

$$a_y = -g$$

waagerechter Wurf

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

$$v_x(t) = v_0 \quad v_y(t) = -g \cdot t$$

$$a_x = 0 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad a_y = -g$$

schräger Wurf

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

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

$$a_x = 0 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad a_y = -g$$

$x, y$  : Koordinaten des Ortes

$t$  : Zeit

$y_0$  : Anfangsort / y-Koordinate des Ortes bei  $t = 0$  s

$g$  : Fallbeschleunigung (Ortsfaktor) am Ort des Körpers

$v_0$  : (horizontale) Anfangsgeschwindigkeit bei  $t = 0$  s

$v_y$  : vertikale Geschwindigkeit

$v_x, v_y$  : Geschwindigkeitskomponenten

$a_y$  : vertikale Beschleunigung

$a_x, a_y$  : Beschleunigungskomponenten

$\alpha$  : Abwurfwinkel

Dichte und Druck

Dichte

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

Druck

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

$\rho$  : Dichte;  $m$  : Masse;  $V$  : Volumen

$p$  : Druck;  $A$  : Flächeninhalt

$F_{\perp}$  : Kraftkomponente senkrecht auf  $A$

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

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

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

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

$F_H$  : Hangabtriebskraft

$h$  : Höhe der schiefen Ebene

$l$  : Länge der schiefen Ebene

$\alpha$  : Neigungswinkel der Ebene gegenüber der Horizontalen

$F_G$  : Gewichtskraft

$F_N$  : Normalkraft

Hebelgesetz

$$M_1 = M_2$$

$$F_1 \cdot l_1 = F_2 \cdot l_2$$

$M$  : Drehmoment

$F$  : Kraft auf Hebelarm

$l$  : Länge des Hebelarms

Rollen, (lineare) Flaschenzüge

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

$$s_Z = n \cdot s_L$$

$F_Z, F_L$  : Zug- bzw. Lastkraft

$s_Z, s_L$  : Zug- bzw. Lastweg

$n$  : Anzahl der tragenden Seile/Seilstücke

## Mechanische Energie

kinetische Energie der Translation  
(Bewegungsenergie)

$$E = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \quad E : \text{Energie}; m : \text{Masse} \\ v : \text{Geschwindigkeit}$$

kinetische Energie der Rotation  
(Rotationsenergie)

$$E = \frac{1}{2} \cdot J \cdot \omega^2 \quad E : \text{Energie} \\ J : \text{Trägheitsmoment} \\ \omega : \text{Winkelgeschwindigkeit}$$

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)

$$E = \frac{1}{2} \cdot D \cdot s^2 \quad E : \text{Energie}; D : \text{Federhärte, Richtgröße}; s : \text{Dehnung der Feder}$$

## 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

## 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:

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

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

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

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

$\alpha$  : Winkel zwischen  $\vec{F}$  und  $\Delta \vec{s}$

## 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  
 $P_{\text{nutz}}, E_{\text{nutz}}$  : Betrag der abgegebenen, genutzten Leistung/Energie  
 $P_{\text{zu}}, E_{\text{zu}}$  : Betrag der aufgewandten, zugeführten Leistung/Energie

## Gravitation

Newton'sches Gravitationsgesetz

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

 $F_G$  : Gravitationskraft  
 $G$  : Gravitationskonstante

Potenzielle Energie im Gravitationsfeld

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

 $m_1, m_2$  : Massen  
 $r$  : Abstand der Massen  
 $E$  : Energie  
 $g$  : Gravitationsfeldstärke  
 $m$  : Masse des Probekörpers

Gravitationsfeldstärke

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

## 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

## Impuls

Impuls eines Körpers

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

$$\Delta p = F \cdot \Delta t$$

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

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

 $m$  : Masse;  $\vec{v}$  : Geschwindigkeit  
 $t$  : Zeit

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

### Zentrale gerade Stöße

Geschwindigkeit nach dem Stoß

vollkommen unelastischer Stoß

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

 $m_1, m_2$  : Massen der Stoßpartner $v_1, v_2$  : Geschwindigkeiten der

Stoßpartner vor dem Stoß

vollkommen elastischer Stoß

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

 $u_1, u_2$  : Geschwindigkeiten der

Stoßpartner nach dem Stoß

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

 $u$  : gemeinsame Geschwindig-

keit 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

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

Bei Vorliegen eines Nullphasenwinkels gilt:

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

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

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

 $s$  : Auslenkung, Elongation $s_{\text{max}}$  : Amplitude $t$  : Zeit $\omega$  : Kreisfrequenz $v$  : Geschwindigkeit $\varphi_0$  : Nullphasenwinkel $a$  : Beschleunigung

Differenzialgleichung der ungedämpften harmonischen Schwingung

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

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

gedämpfte harmonische Schwingung (geschwindigkeitsproportionale, schwache Dämpfung)

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

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

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

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

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

$D$  : Richtgröße, z. B. Federhärte  
 $s$  : Auslenkung;  $m$  : Masse  
 $\delta$  : Abklingkoeffizient

Periodendauer von Pendeln

Federpendel

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

$T$  : Periodendauer  
 $m$  : Masse;  $\ell$  : Pendellänge  
 $D$  : Federhärte, Richtgröße

Fadenpendel  
 (in Kleinwinkelnäherung)

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

$g$  : Fallbeschleunigung (Ortsfaktor)  
 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  
 entgegelaufenden 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

$$\begin{array}{l} \text{Annäherung: } f_E = f_0 \cdot \frac{c + v_E}{c - v_S} \\ \text{Entfernung: } f_E = f_0 \cdot \frac{c - v_E}{c + v_S} \end{array} \quad \begin{array}{l} f_E : \text{vom Empfänger gemessene Frequenz} \\ f_0 : \text{vom Sender abgestrahlte Frequenz} \\ c : \text{Schallgeschwindigkeit} \\ v_E : \text{Geschwindigkeit des Empfängers} \\ v_S : \text{Geschwindigkeit der Schallquelle} \end{array}$$

Schalldruck

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

$$\begin{array}{l} p_{\text{ges}} : \text{Gesamtdruck} \\ p : \text{Schalldruckamplitude} \\ p_n : \text{Normaldruck im Medium (konstant)} \end{array} \quad \begin{array}{l} \omega : \text{Kreisfrequenz} \\ t : \text{Zeit} \end{array}$$

Intensität einer Schallwelle in einem verlustfreien akustischen Medium

$$I = \frac{P}{A} = \frac{p^2}{2\rho \cdot c} \quad \begin{array}{l} I : \text{Schallintensität} \\ A : \text{Flächeninhalt} \\ \rho : \text{Dichte des Mediums} \end{array} \quad \begin{array}{l} P : \text{Schalleistung} \\ p : \text{Schalldruck} \\ c : \text{Schallgeschwindigkeit im Medium} \end{array}$$

Schallintensitätspegel

$$L_I = 10 \text{ dB} \cdot \lg\left(\frac{I}{I_0}\right) \quad \text{mit: } I_0 = 10^{-12} \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \quad \begin{array}{l} L_I : \text{Schallintensitätspegel} \\ I : \text{Schallintensität} \\ I_0 : \text{Bezugswert der Schallintensität} \end{array}$$

Schalldruckpegel

$$L_P = 20 \text{ dB} \cdot \lg\left(\frac{p_{\text{eff}}}{p_0}\right) \quad \text{mit: } p_0 = 20 \mu\text{Pa} \quad \begin{array}{l} L_P : \text{Schalldruckpegel} \\ p_{\text{eff}} : \text{Effektivwert des Schalldrucks} \\ p_0 : \text{Bezugswert der Schalldrucks} \end{array}$$

## 3.2 Elektrizitätslehre und Magnetismus

### Stromstärke, Spannung, Widerstand, Ladung

mittlere elektrische Stromstärke

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

$$\bar{I} : \text{mittlere elektrische Stromstärke} \\ Q : \text{elektrische Ladung; } t : \text{Zeit}$$

momentane elektrische Stromstärke und elektrische Ladung

$$I(t) = \frac{dQ}{dt} = \dot{Q}(t) \quad Q = \int_{t_1}^{t_2} I(t) dt \quad \begin{array}{l} I : \text{elektrische Stromstärke} \\ Q : \text{elektrische Ladung; } t : \text{Zeit} \end{array}$$

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

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

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

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

$I_{\text{ges}}$  : Gesamtstromstärke

$I_1, I_2, \dots$  : Einzelstromstärken

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

$U_1, U_2, \dots$  : Einzelspannungen

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

$R_1, R_2, \dots$  : Einzelwiderstände

Parallelschaltung

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

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

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

## 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

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

Im homogenen Feld eines Plattenkondensators gilt:

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

Im Radialfeld einer Punktladung gilt:

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

$E$  : 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

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

Im homogenen Feld eines Plattenkondensators gilt:

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

Im Radialfeld einer Punktladung gilt:

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

$\varphi$  : 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 Potentialdifferenz

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

$U$  : 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, induktiven und Ohm'schen Widerstand

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

$Z$  : Impedanz (Scheinwiderstand)

$R$  : Ohm'scher Widerstand

$X_L$  : induktiver Widerstand

$X_C$  : kapazitiver Widerstand

## 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

$Q$  : Ladung des Kondensators

$A$  : Flächeninhalt einer Platte

$d$  : Abstand der Kondensatorplatten

$U$  : elektrische Spannung

$\epsilon_0$  : elektrische Feldkonstante

$\epsilon_r$  : Dielektrizitätszahl

Für den Plattenkondensator gilt:

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

## 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 eines Kondensators:

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

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

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

Entladen eines Kondensators:

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

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

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

 $U_C$  : 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

## Differentialgleichung 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

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

Parallelschaltung

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

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

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

## Magnetisches Feld

magnetische Flussdichte

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

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

Außerhalb eines geraden stromdurchflossenen Leiters gilt:

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

Innerhalb einer stromdurchflossenen langgestreckten Spule gilt:

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

 $H$  : magnetische Feldstärke $I$  : elektrische Stromstärke $r$  : Abstand vom Leiter $N$  : Windungszahl der Spule $\ell$  : Länge der Spule

Lorentz-Kraft auf bewegte Ladungsträger

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

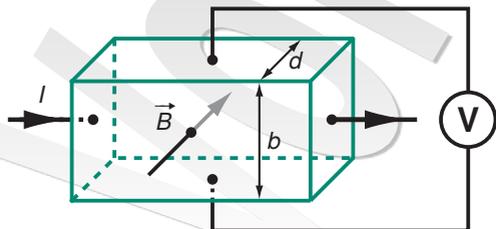
$$F_L = q \cdot v \cdot B \cdot \sin \alpha$$

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



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

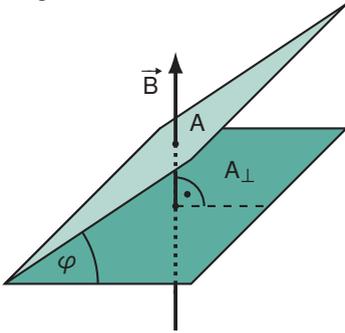
$$U_H = b \cdot v \cdot B$$

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

 $U_H$  : 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



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

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

- $\phi$  : magnetischer Fluss
- $B$  : magnetische Flussdichte
- $A_{\perp}$  : wirksamer Flächeninhalt
- $A$  : Flächeninhalt
- $\varphi$  : Winkel zwischen Fläche und wirksamer Fläche

Induktionsgesetz

Leiterschleife:  $U_{\text{ind}}(t) = -\frac{d\phi}{dt} = -\dot{\phi}(t)$     Spule:  $U_{\text{ind}} = -N \cdot \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$

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

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

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

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

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

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

Verhältnis der Ströme eines stark belasteten idealen Transformators (Kurzschlussfall)

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

$U_1, U_2$  : elektrische Spannung an der felderzeugenden Spule (Primärspule) / Induktionsspule (Sekundärspule)

$N_1, N_2$  : Windungszahl der felderzeugenden Spule (Primärspule) / Induktionsspule (Sekundärspule)

$I_1, I_2$  : elektrische Stromstärke durch die felderzeugende Spule (Primärspule) / 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

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

$I$  : elektrische Stromstärke;  $t$  : Zeit  
 $I_0$  : elektrische Stromstärke durch die Spule  
am Ende bzw. zu Beginn des Schaltvorgangs

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

 $R$  : Ohm'scher Widerstand;  $L$  : Induktivität der Spule

Differenzialgleichung zur Beschreibung des Ausschaltvorgangs

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

$I$  : elektrische Stromstärke  
 $R$  : Ohm'scher Widerstand

 $t$  : Zeit

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

 $L$  : Induktivität der Spule

Differenzialgleichung zur Beschreibung des Einschaltvorgangs

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

$I$  : elektrische Stromstärke  
 $R$  : Ohm'scher Widerstand

 $t$  : Zeit

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

$L$  : Induktivität der Spule  
 $U_0$  : Quellenspannung beim Einschalten

## Elektromagnetische Schwingungen

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

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

 $T$  : Periodendauer;  $L$  : Induktivität;  $C$  : Kapazität

Schwingungsgleichungen der ungedämpften harmonischen elektromagnetischen Schwingung

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

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

$$I(t) = -I_{\max} \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

$$Q(t) = Q_{\max} \cdot \cos(\omega \cdot t)$$

$U$  : elektrische Spannung

$I$  : elektrische Stromstärke

$Q$  : Ladung des Kondensators  $\omega$  : Kreisfrequenz;  $t$  : Zeit

$U_{\max}$  : maximale auftretende elektrische Spannung

$I_{\max}$  : maximale auftretende elektrische Stromstärke

$Q_{\max}$  : maximale Ladung des Kondensators

Differentialgleichung der ungedämpften harmonischen elektromagnetischen Schwingung

$$\ddot{Q}(t) + \frac{1}{L \cdot C} \cdot Q(t) = 0$$

$$\frac{d^2 Q}{dt^2} + \frac{1}{L \cdot C} \cdot Q = 0$$

$Q$  : Ladung des Kondensators

$L$  : Induktivität

$t$  : Zeit

$C$  : Kapazität

gedämpfte harmonische elektromagnetische Schwingung (Schwingfall)

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

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

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

$Q$  : Ladung des Kondensators

$Q_{\max}$  : maximale Ladung des Kondensators

$\delta$  : Abklingkoeffizient;  $t$  : Zeit

$\omega_D, \omega$  : Kreisfrequenz der gedämpften /  
ungedämpften Schwingung

Differentialgleichung der gedämpften harmonischen elektromagnetischen Schwingung

$$\ddot{Q}(t) + 2\delta \cdot \dot{Q}(t) + \frac{1}{L \cdot C} \cdot Q(t) = 0$$

$$\frac{d^2 Q}{dt^2} + 2\delta \cdot \frac{dQ}{dt} + \frac{1}{L \cdot C} \cdot Q = 0$$

$$\text{mit: } \delta = \frac{R}{2L}$$

$Q$  : Ladung des Kondensators

$L$  : Induktivität

$\delta$  : Abklingkoeffizient

$C$  : Kapazität

$R$  : Ohm'scher Widerstand

$t$  : Zeit

Grundfrequenz eines Dipols

$$f = \frac{c}{2\ell}$$

$f$  : Frequenz;  $c$  : Ausbreitungsgeschwindigkeit;  $\ell$  : Länge des Dipols

## Elektromagnetische Wellen

Ausbreitungsgeschwindigkeit elektromagnetischer Wellen im Vakuum

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \cdot \mu_0}}$$

$c$  : Ausbreitungsgeschwindigkeit elektromagnetischer Wellen im Vakuum

$\mu_0$  : magnetische Feldkonstante;  $\epsilon_0$  : elektrische Feldkonstante

Intensität ungedämpfter elektromagnetischer Wellen

$$I = \frac{P}{A}$$

$$I = \frac{1}{2} \cdot c \cdot \epsilon_0 \cdot E_{\max}^2$$

$$I = \frac{1}{2} \cdot c \cdot \frac{1}{\mu_0} \cdot B_{\max}^2$$

$I$  : Intensität

$c$  : Ausbreitungsgeschwindigkeit

$\mu_0$  : magnetische Feldkonstante

$E_{\max}$  : maximale elektrische Feldstärke des elektrischen Felds ...

$B_{\max}$  : maximale magnetische Flussdichte des magnetischen Felds ...  
der Welle

$P$  : Leistung

$A$  : Flächeninhalt

$\epsilon_0$  : elektrische Feldkonstante

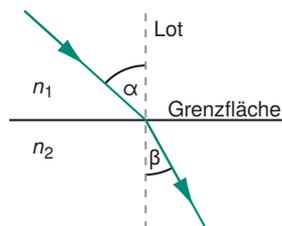
### 3.3 Optik

#### 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:

$$\frac{k \cdot \lambda}{g} = \sin \alpha_k \quad k = 0, 1, 2, \dots$$

$\lambda$  : 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

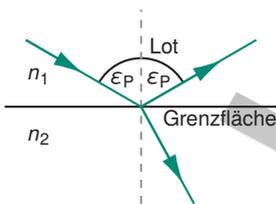
$$\alpha_k = 1,22 \cdot \frac{\lambda}{d}$$

 $\lambda$  : Wellenlänge;  $d$  : Durchmesser der Öffnung $\alpha_k$  : kritischer Winkel, bei dem die beiden Quellen  
gerade noch getrennt wahrgenommen werdenDurchlässigkeit 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



$$n_1 < n_2$$

$$\tan \varepsilon_P = \frac{c_1}{c_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

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

## 3.4 Quantenphysik und Materie

## Quantenobjekte

## Energie eines Photons

$$E = h \cdot f$$

 $E$  : Energie;  $f$  : Frequenz des Photons $h$  : Planck'sches Wirkungsquantum

## Energiebilanz beim Fotoeffekt

$$E_{\text{kin,max}} = h \cdot f - W_A$$

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

## Impuls eines Photons

$$p = \frac{E}{c}$$

 $p$  : Impuls;  $E$  : Energie;  $c$  : Lichtgeschwindigkeit

## Wellenlänge eines Quantenobjekts (de-Broglie-Wellenlänge)

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

 $\lambda$  : 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 einfallenden Strahls 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	$\Psi$ : Wellenfunktion; $m$ : Masse $h$ : Planck'sches Wirkungsquantum $x$ : Ort; $E_{\text{pot}}$ : potenzielle Energie
$\Psi_n''(x) = \frac{8\pi^2 \cdot m}{h^2} \cdot (E_{\text{pot}}(x) - E_n) \cdot \Psi_n(x) \quad n = 1, 2, 3, \dots$	
Lösung für den Potenzialtopf mit unendlich hohen Wänden:	$E_n$ : Energiewerte $A_n$ : Normierungsfaktor $L$ : Länge des Potenzialtopfes
$\Psi_n(x) = A_n \cdot \sin\left(\frac{\pi \cdot n}{L} \cdot x\right)$	
für $0 < x < L$ , sonst: $\Psi_n(x) = 0$	

## 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	$f$ : Frequenz $c$ : Vakuumlichtgeschwindigkeit $R_H$ : Rydberg-Konstante des Wasserstoffatoms
$f = c \cdot R_H \cdot \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2}\right) \quad n, m = 1, 2, 3, \dots \quad m > n$	

Energieniveaus des Wasserstoffatoms (ohne Korrektur des mitbewegten Kerns)	$E_n$ : Energieniveau des Wasserstoffatoms $m_e$ : Elektronenmasse; $e$ : Elementarladung $\epsilon_0$ : elektrische Feldkonstante $h$ : Planck'sches Wirkungsquantum
$E_n = -\frac{m_e \cdot e^4}{8\epsilon_0^2 \cdot h^2} \cdot \frac{1}{n^2} = -13,6 \text{ eV} \cdot \frac{1}{n^2}$	
$n = 1, 2, 3, \dots$	

Energieniveaus eines Ein-Elektronen-Atoms (ohne Korrektur des mitbewegten Kerns)	$E_n$ : Energieniveau eines Ein-Elektronen-Atoms $\epsilon_0$ : elektrische Feldkonstante $Z$ : Ordnungszahl $m_e$ : Elektronenmasse $e$ : Elementarladung $h$ : Planck'sches Wirkungsquantum
$E_n = -\frac{m_e \cdot e^4}{8\epsilon_0^2 \cdot h^2} \cdot \frac{Z^2}{n^2} = -13,6 \text{ eV} \cdot \frac{Z^2}{n^2}$	
$n = 1, 2, 3, \dots$	

Moseley-Gesetz für die $K_\alpha$ -Linie eines Röntgenspektrums	$E_{K_\alpha}$ : Energie des beim $K_\alpha$ -Übergang emittierten Photons $Z$ : Ordnungszahl
$E_{K_\alpha} = 13,6 \text{ eV} \cdot \frac{3}{4} \cdot (Z - 1)^2$	

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

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

$W$  : Arbeit       $S$  : Entropie

#### Zustandsgleichung für ideale Gase

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

$p$  : Druck;  $V$  : Volumen;  $T$  : Temperatur

#### Thermisches Verhalten von Festkörpern, Flüssigkeiten und Gasen

##### Aggregatzustandsänderungen

Verdampfungswärme

$$Q_V = q_V \cdot m$$

$Q_V$  : Verdampfungswärme;  $m$  : Masse  
 $q_V$  : spezifische Verdampfungswärme

Schmelzwärme

$$Q_S = q_S \cdot m$$

$Q_S$  : Schmelzwärme;  $m$  : Masse  
 $q_S$  : spezifische Schmelzwärme

Wärmeleitung

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

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

Thermische Längenänderung

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

ℓ : Länge  
 α : Längenausdehnungskoeffizient  
 ℓ<sub>0</sub> : Ausgangslänge; T : Temperatur

Thermische Volumenänderung

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

V : Volumen  
 γ : Volumenausdehnungskoeffizient  
 V<sub>0</sub> : Ausgangsvolumen; T : Temperatur

### 3.6 Spezielle Relativitätstheorie

#### Galilei-Transformation

S → S'

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

$$y' = y$$

$$z' = z$$

$$t' = t$$

S' → S

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

$$y = y'$$

$$z = z'$$

$$t = t'$$

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

#### Lorentz-Faktor

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

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

#### Lorentz-Transformation

S → 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' → S

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

$$y = y'$$

$$z = z'$$

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

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

#### Zeitdilatation

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

Δt : Zeitdauer, die ein Beobachter aus seinem Ruhesystem S für einen Vorgang misst; γ : Lorentz-Faktor  
 Δt<sub>0</sub> : Zeitdauer, in der im dazu mit der Relativgeschwindigkeit v bewegten Bezugssystem S' ein Vorgang abläuft

## 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  
 $p$  : Impuls  
 $c$  : Lichtgeschwindigkeit  
 $E_0$  : Ruheenergie

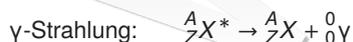
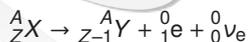
## 3.7 Kernphysik

### Nukleonen

$$A = Z + N$$

$A$  : Nukleonenzahl, Massenzahl  
 $Z$  : Protonenzahl, Kernladungszahl  
 $N$  : Neutronenzahl

### 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

**Freierwerdende Energie bei Kernreaktionen (Q-Wert)**

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

$Q$  : Q-Wert der Kernreaktion;  $E$  : Energie

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

$c$  : Lichtgeschwindigkeit

**Kernradius**

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

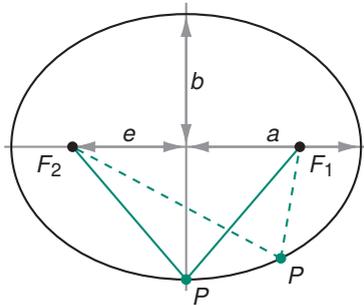
$r_K$  : Kernradius;  $A$  : Massenzahl

### 3.8 Astrophysik

#### Kepler'sche Gesetze

##### 1. Kepler'sches Gesetz

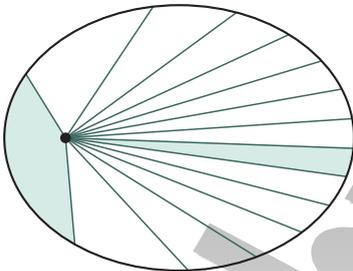
Die Planeten bewegen sich auf Ellipsenbahnen, in deren einem Brennpunkt die Sonne steht.



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

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

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

mit  $a = a_1 + a_2$

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

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&gt;-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

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

Hubble-Beziehung

$$v = H_0 \cdot r$$

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

### Nichtrelativistische Näherung des optischen Doppler-Effekts

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

$f$  : Frequenz;  $\lambda$  : Wellenlänge;  $c$  : Lichtgeschwindigkeit  
 $v$  : Relativgeschwindigkeit von Sender und Empfänger

## 4 Anhang

### 4.1 Größen, Einheiten und ihre Beziehungen untereinander

Größe	Formelzeichen	Name der Einheit	Einheitenzeichen	Beziehungen zwischen den Einheiten
Aktivität	$A$	Becquerel	Bq	$1 \text{ Bq} = 1 \frac{1}{\text{s}}$
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	Pa	$1 \text{ Pa} = 1 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 1 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}^2}$
		Bar	bar	$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$
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	Formelzeichen	Name der Einheit	Einheitenzeichen	Beziehungen zwischen den Einheiten
elektrische Stromstärke	$I$	Ampere	A	
elektrischer Widerstand	$R$	Ohm	$\Omega$	$1 \Omega = 1 \frac{V}{A} = 1 \frac{kg \cdot m^2}{s^3 \cdot A^2}$
elektrisches Potenzial	$\varphi$	Volt	V	$1 V = 1 \frac{W}{A} = 1 \frac{J}{C} = 1 \frac{kg \cdot m^2}{s^3 \cdot A}$
elektrochemisches Potenzial	$E$	Volt	V	$1 V = 1 \frac{W}{A} = 1 \frac{J}{C} = 1 \frac{kg \cdot m^2}{s^3 \cdot A}$
Energie	$E$	Joule	J	$1 J = 1 Nm = 1 Ws = 1 \frac{kg \cdot m^2}{s^2}$
		Elektronenvolt	eV	$1 eV = 1,602 176 634 \cdot 10^{-19} J$
		Kilokalorie	kcal	$1 kcal = 4,184 kJ$
		Kilowattstunde	kWh	$1 kWh = 3600 kJ$
Energiedosis	$D$	Gray	Gy	$1 Gy = 1 \frac{J}{kg}$
Enthalpie	$H$	Joule	J	$1 J = 1 Nm = 1 \frac{kg \cdot m^2}{s^2}$
freie Enthalpie	$G$	Joule	J	$1 J = 1 Nm = 1 \frac{kg \cdot m^2}{s^2}$
Entropie	$S$		$\frac{J}{K}$	
Flächeninhalt	$A$		$m^2$	
Flächenladungsdichte	$\sigma$		$\frac{As}{m^2}$	
Frequenz	$f$	Hertz	Hz	$1 Hz = 1 \frac{1}{s}$
Geschwindigkeit	$v$		$\frac{m}{s}$	
Helligkeit	$m, M$	Magnitude	mag	
Impuls	$p$		$\frac{kg \cdot m}{s}$	
Induktivität	$L$	Henry	H	$1 H = 1 \frac{V \cdot s}{A} = 1 \frac{kg \cdot m^2}{s^2 \cdot A^2}$
Intensität	$I$		$\frac{W}{m^2}$	
innere Energie	$U$	Joule	J	$1 J = 1 Nm = 1 \frac{kg \cdot m^2}{s^2}$

Größe	Formelzeichen	Name der Einheit	Einheitenzeichen	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	kg	$1 \text{ u} = 1,660\,539\,066\,60 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
		atomare Masseinheit	u	
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	K	$0^\circ \text{C} \hat{=} 273,15 \text{ K}$
		Grad Celsius	°C	
Trägheitsmoment	$J$		$\text{kg} \cdot \text{m}^2$	
Viskosität	$\eta$		$\frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}$	
Volumen	$V$	Kubikmeter	$\text{m}^3$	$1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ L}$
		Liter	$\ell, \text{L}$	
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

Lichtjahr	Astronomische Einheit	Parsec
1 Lj = $9,4607 \cdot 10^{15}$ m	1 AE = $1,4960 \cdot 10^{11}$ m	1 pc = $3,0857 \cdot 10^{16}$ 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	$\epsilon_0 = \frac{1}{\mu_0 \cdot c^2} = 8,854\,187\,8128 \cdot 10^{-12} \frac{\text{A} \cdot \text{s}}{\text{V} \cdot \text{m}}$	
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)
Vakuumllichtgeschwindigkeit	$c = 2,997\,924\,58 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$	(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	$m_n = 1,674\,927\,498\,04 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$	$q_n = 0C$
$\alpha$ -Teilchen	$m_\alpha = 6,644\,657\,335\,7 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$	$q_\alpha = 2e$

## Teilchen des Standardmodells

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

Leptonen	Elektron	Elektron-Neutrino	Myon	Myon-Neutrino	Tauon	Tauon-Neutrino
Symbol	$e^-$	$\nu_e$	$\mu^-$	$\nu_\mu$	$\tau^-$	$\nu_\tau$
Ladung in e	-1	0	-1	0	-1	0
Masse in $\frac{eV}{c^2}$	$511,00 \cdot 10^3$	< 1,1	$105,66 \cdot 10^6$	< $0,19 \cdot 10^6$	$1,7769 \cdot 10^9$	< $18,2 \cdot 10^6$

## Festgelegte Bedingungen

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

$$V_m = 22,414 \frac{\text{L}}{\text{mol}} \text{ bei } T = 273,15 \text{ K}$$

$$V_m = 24,466 \frac{\text{L}}{\text{mol}} \text{ bei } T = 298,15 \text{ K}$$

Wasser

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

spezifische Wärmekapazität  $c_W = 4,183 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$  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
Dieselmotorenstoff	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	0,00077	Ozon	0,00215
Chlor	0,00322	Propan	0,00201
Erdgas (trocken)	0,0007	Sauerstoff	0,00143
Helium	0,00018	Stickstoff	0,00125
Kohlenstoffdioxid	0,00198	Wasserstoff	0,00009
Luft (trocken)	0,00129	Xenon	0,00585
Methan	0,00072		

**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	0,999 986	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	1,310	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

## Spezifische Wärmekapazitäten

festе Stoffe	c in $\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$	festе Stoffe	c in $\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$	festе 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	

## 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

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

**Daten zum Sonnensystem****Sonne**

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

**Erde**

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

**Erdmond**

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	$1,62 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
Bahnneigung gegen die Ekliptik	$5,1^\circ$	Neigung der Rotationsachse gegen die Bahnebene	$6,68^\circ$
Siderische Rotationsdauer	27,32 d		

**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
Numerische Exzentrizität der Bahn	0,21	0,0067	0,017	0,094	0,049	0,057	0,046	0,011
Bahnneigung gegen die Ekliptik	$7,0^\circ$	$3,4^\circ$	$0^\circ$	$1,9^\circ$	$1,3^\circ$	$2,5^\circ$	$0,77^\circ$	$1,8^\circ$
Siderische Umlaufzeit in a	0,2408	0,6152	1	1,881	11,86	29,46	84,01	164,8
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 die 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	$7,0^\circ$	$3,4^\circ$	$0^\circ$	$1,9^\circ$	$1,3^\circ$	$2,5^\circ$	$0,77^\circ$	$1,8^\circ$
Siderische Rotationsdauer (ggf. am Äquator) in h	1407,6	5832,5	23,934	24,62	9,93	10,66	17,24	16,11

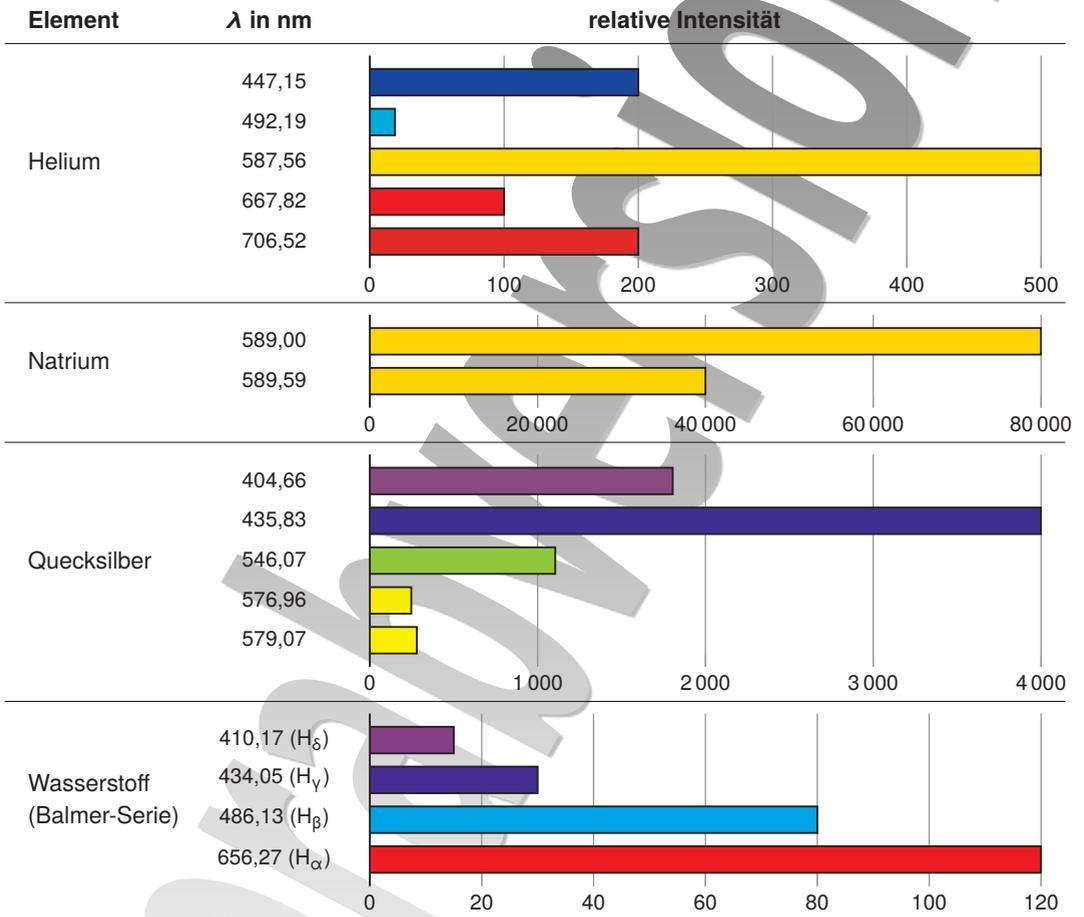
**Gewebe-Wichtungsfaktoren  $w_T$** 

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**



**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

Säureexponent  $pK_S$  und Basenexponent  $pK_B$ 

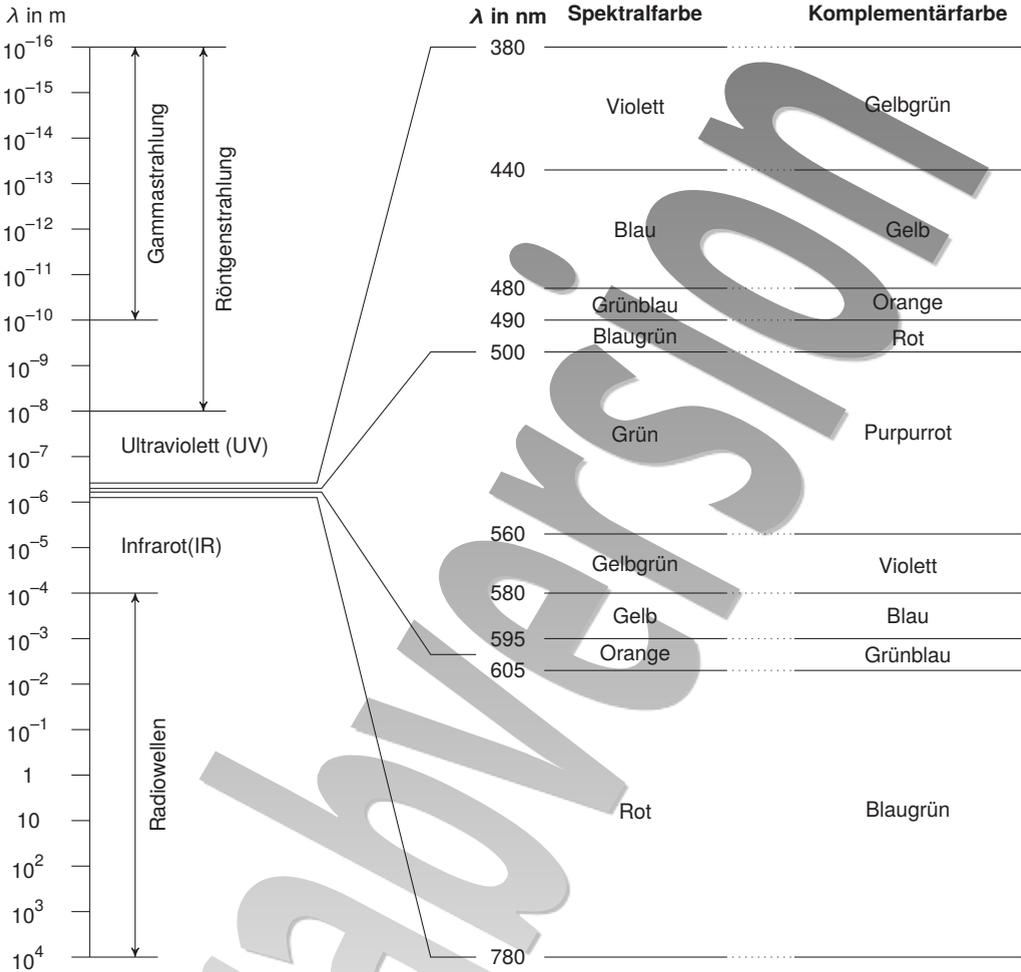
$pK_S$	Säure	konjugierte Base	$pK_B$
-11	HI	$I^-$	25
-10	HClO <sub>4</sub>	$ClO_4^-$	24
-9	HBr	$Br^-$	23
-7	HCl	$Cl^-$	21
-3	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	$HSO_4^-$	17
-1,37	HNO <sub>3</sub>	$NO_3^-$	15,37
0	H <sub>3</sub> O <sup>+</sup>	H <sub>2</sub> O	14,00
1,25	HOOC-COOH	HOOC-COO <sup>-</sup>	12,75
1,85	H <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	$HSO_3^-$	12,15
1,99	$HSO_4^-$	$SO_4^{2-}$	12,01
2,16	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	$H_2PO_4^-$	11,84
2,22	$[Fe(H_2O)_6]^{3+}$	$[Fe(H_2O)_5(OH)]^{2+}$	11,78
3,20	HF	$F^-$	10,80
3,25	HNO <sub>2</sub>	$NO_2^-$	10,75
3,75	HCOOH	$HCOO^-$	10,25
3,81	HOOC-COO <sup>-</sup>	$^-OOC-COO^-$	10,19
4,75	CH <sub>3</sub> COOH	$CH_3COO^-$	9,25
4,97	$[Al(H_2O)_6]^{3+}$	$[Al(H_2O)_5(OH)]^{2+}$	9,03
6,35	H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	$HCO_3^-$	7,65
7,05	H <sub>2</sub> S	$HS^-$	6,95
7,20	$HSO_3^-$	$SO_3^{2-}$	6,80
7,21	$H_2PO_4^-$	$HPO_4^{2-}$	6,79
8,96	$[Zn(H_2O)_6]^{2+}$	$[Zn(H_2O)_5(OH)]^+$	5,04
9,21	HCN	$CN^-$	4,79
9,25	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NH <sub>3</sub>	4,75
10,33	$HCO_3^-$	$CO_3^{2-}$	3,67
12,32	$HPO_4^{2-}$	$PO_4^{3-}$	1,68
14,00	H <sub>2</sub> O	$OH^-$	0
19	$HS^-$	$S^{2-}$	-5
23,00	NH <sub>3</sub>	$NH_2^-$	-9
24,00	$OH^-$	$O^{2-}$	-10

## Standardpotenziale

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

reduzierte Form	⇌	oxidierte Form + $z \cdot e^-$	Standardpotenzial $E^\circ$ in V
Li	⇌	$\text{Li}^+ + e^-$	-3,04
Na	⇌	$\text{Na}^+ + e^-$	-2,71
Mg	⇌	$\text{Mg}^{2+} + 2e^-$	-2,37
Al	⇌	$\text{Al}^{3+} + 3e^-$	-1,66
Mn	⇌	$\text{Mn}^{2+} + 2e^-$	-1,19
$\text{H}_2 + 2\text{OH}^-$	⇌	$2\text{H}_2\text{O} + 2e^-$	-0,83 (pH = 14)
Zn	⇌	$\text{Zn}^{2+} + 2e^-$	-0,76
Cr	⇌	$\text{Cr}^{3+} + 3e^-$	-0,74
$\text{S}^{2-}$	⇌	$\text{S} + 2e^-$	-0,48
Fe	⇌	$\text{Fe}^{2+} + 2e^-$	-0,45
Ni	⇌	$\text{Ni}^{2+} + 2e^-$	-0,26
Sn	⇌	$\text{Sn}^{2+} + 2e^-$	-0,14
Pb	⇌	$\text{Pb}^{2+} + 2e^-$	-0,13
$\text{H}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	⇌	$2\text{H}_3\text{O}^+ + 2e^-$	0,00 (pH = 0)
$\text{Cu}^+$	⇌	$\text{Cu}^{2+} + e^-$	+0,15
Cu	⇌	$\text{Cu}^{2+} + 2e^-$	+0,34
$4\text{OH}^-$	⇌	$\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4e^-$	+0,40 (pH = 14)
Cu	⇌	$\text{Cu}^+ + e^-$	+0,52
$2\text{I}^-$	⇌	$\text{I}_2 + 2e^-$	+0,54
$\text{Fe}^{2+}$	⇌	$\text{Fe}^{3+} + e^-$	+0,77
Ag	⇌	$\text{Ag}^+ + e^-$	+0,80
$2\text{Br}^-$	⇌	$\text{Br}_2 + 2e^-$	+1,07
Pt	⇌	$\text{Pt}^{2+} + 2e^-$	+1,18
$6\text{H}_2\text{O}$	⇌	$\text{O}_2 + 4\text{H}_3\text{O}^+ + 4e^-$	+1,23 (pH = 0)
$2\text{Cl}^-$	⇌	$\text{Cl}_2 + 2e^-$	+1,36
Au	⇌	$\text{Au}^{3+} + 3e^-$	+1,50
$2\text{F}^-$	⇌	$\text{F}_2 + 2e^-$	+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			16	16,002 262
2	He	3	3,014 932	6	C	11	11,006 562	8	O	15	14,998 677
		4	4,001 506			12	11,996 708			16	15,990 526
3	Li	6	6,013 477	13	13,000 063	17	16,994 743			18	17,994 771
		7	7,014 358	14	13,999 950						

**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	7		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
		17 16,999 132
8	O	15 15,003 066
		16 15,994 915
		17 16,999 132
		18 17,999 161
9	F	19 18,998 403
		20 19,992 440
10	Ne	21 20,993 847
		22 21,991 385
		23 21,994 438
11	Na	23 22,989 769
		24 23,990 963
		25 24,989 954
		26 25,982 593
		27 26,981 539
12	Mg	24 23,985 042
		25 24,985 837
		26 25,982 593
13	Al	27 26,981 539
		28 27,976 927
		29 28,976 495
14	Si	30 29,973 770
		31 30,973 762
		32 31,973 908
15	P	32 31,972 071
		33 32,971 459
		34 33,967 867
		35 34,969 032
		36 35,967 081
16	S	35 34,968 853
		37 36,965 903
		38 37,968 010
		39 38,964 314
17	Cl	40 39,962 383
		41 40,964 501
		42 41,963 046
		39 38,963 707
		40 39,963 998
18	Ar	41 40,961 825
		42 41,962 402
		36 35,967 545
		38 37,962 732
19	K	40 39,962 591
		42 41,958 618
		43 42,958 766
		44 43,955 481
		41 40,961 825
20	Ca	42 41,958 618
		43 42,958 766
		44 43,955 481
		40 39,962 591

Z	Nuklid	$m_a$ in u
45		44,956 186
		46 45,953 688
21	Sc	45 44,955 907
		46 45,952 626
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
		52 51,940 505
		53 52,940 646
		54 53,938 877
25	Mn	55 54,938 043
		56 55,934 936
26	Fe	54 53,939 608
		55 54,938 291
		56 55,939 838
		57 56,936 290
		58 57,935 751
27	Co	58 57,935 751
		59 58,934 873
		60 59,934 070
		55 54,941 996
		56 55,939 838
		57 56,936 290
28	Ni	58 57,935 342
		60 59,930 785
		61 60,931 055
		62 61,928 345
29	Cu	64 63,927 966
		63 62,929 597
		65 64,927 789
30	Zn	66 65,928 869
		64 63,929 142
		65 64,929 241
		66 65,926 034
31	Ga	67 66,927 127
		68 67,924 844
		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
33	As	76 75,921 403
		75 74,921 595
		74 73,922 476
34	Se	76 75,919 214
		77 76,919 914
		78 77,917 309
		74 73,922 476

Z	Nuklid	$m_a$ in u
80		79,916 522
		79 78,918 338
		81 80,916 288
35	Br	82 81,916 802
		80 79,916 378
36	Kr	82 81,913 481
		83 82,914 127
		84 83,911 498
		85 84,912 527
37	Rb	86 85,910 611
		89 88,917 835
		92 91,926 173
		85 84,911 790
38	Sr	94 93,926 395
		84 83,913 419
		86 85,909 261
39	Y	87 86,908 877
		88 87,905 612
		90 89,907 728
		92 91,911 038
		94 93,915 356
40	Zr	96 95,921 719
		98 97,928 693
		89 88,905 838
		90 89,907 142
41	Nb	95 94,912 820
		96 95,915 909
		90 89,904 699
		91 90,905 640
		92 91,905 035
42	Mo	94 93,906 313
		95 94,908 040
		93 92,906 373
43	Tc	95 94,906 831
		92 91,906 807
		94 93,905 084
		95 94,905 837
44	Ru	96 95,904 675
		97 96,906 017
		98 97,905 404
		100 99,907 468
45	Rh	97 96,906 361
		99 98,906 250
		96 95,907 589
		98 97,905 287
103		99 98,905 930
		100 99,904 210
		101 100,905 573
		102 101,904 340
104		103 103,905 425
		104 104,904 899
105		103 102,905 494
		104 103,904 899

Z	Nuklid	$m_a$ in u
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
56	Ba	130 129,906 326
		132 131,905 061
		134 133,904 508
		135 134,905 688

Z	Nuklid	$m_a$ in u
		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
		173 172,938 216
		174 173,938 868
		176 175,942 575
71	Lu	175 174,940 777
72	Hf	176 175,941 410

Z	Nuklid	$m_a$ in u
		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
		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

Z	Nuklid	$m_a$ in u
	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
	222	222,017 576
87	Fr	221 221,014 254
88	Ra	223 223,018 501
	224	224,020 210

Z	Nuklid	$m_a$ in u
	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
	233	233,040 247
	234	234,043 306

Z	Nuklid	$m_a$ in u
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 $\gamma$ : 0,981							
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	Am237 73 min α: 6,04	Am238 1,63 h α: 5,94	Am239 11,9 h α: 5,774	Am240 50,8 h α: 5,378	Am241 432,2 a α: 5,486	Am242 16 h β: 0,7	Am243 7370 a α: 5,275	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	Pu235 25,3 min α: 5,85 γ: 0,049	Pu236 2,858 a α: 5,768	Pu237 45,2 d α: 5,334	Pu238 87,74 a α: 5,499	Pu239 2,41E4 a α: 5,157	Pu240 6563 a α: 5,168	Pu241 14,35 a α: 4,896 β: 0,02	Pu242 3,75E5 a α: 4,901	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	Np231 48,8 min α: 6,28 γ: 0,371	Np232 14,7 min α: 6,28 γ: 0,026	Np233 36,2 min α: 5,54	Np234 4,4 d	Np235 396,1 d α: 5,025	Np236 1,54E5 a β	Np237 2,14E6 a α: 4,790	Np238 2,117 d	Np239 2,355 d	Np240 65 min β: 0,9 γ: 0,175	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	U229 58 min α: 6,362 β: 0,123	U230 20,8 d α: 5,888	U231 4,2 d α: 5,456	U232 68,9 a α: 5,320	U233 1,59E5 a α: 4,824	U234 2,46E5 a α: 4,775	U235 7,04E8 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	Pa228 22 h α: 6,078 γ: 0,911	Pa229 1,50 d α: 5,58	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	Pa235 24,2 min β: 1,4 γ: 0,128	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 7,54 · 10 <sup>4</sup> a α: 4,687	Th231 25,5 h β: 0,3 γ: 0,026	Th232 1,41E10 a α: 4,013	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: 0,123	Ac225 10,0 d α: 5,830 γ: 0,123	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 γ: 0,282	Ac232 119 s 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	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 <sup>-</sup> -Zerfall		β <sup>-</sup> -Zerfall										78
	Fr220 27,5 s α: 6,68 γ: 0,045		At210 8,3 h α: 5,524 γ: 1,181		Pb212 10,64 h β: 0,3 γ: 0,239		← Halbwertszeit								77
							← Energie in MeV								77
							Die farbigen Flächen zeigen die vorherrschenden Zerfallsarten an.								77
134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	



										18												
										2	1											
										<b>He</b> Helium 4,003												
										13	14	15	16	17								
										5	2,0	6	2,6	7	3,0	8	3,4	9	4,0	10	3,2	2
										<b>B</b> Bor 10,811	<b>C</b> Kohlenstoff 12,011	<b>N</b> Stickstoff 14,007	<b>O</b> Sauerstoff 15,999	<b>F</b> Flour 18,998	<b>Ne</b> Neon 20,180							
										13	1,6	14	1,9	15	2,2	16	2,6	17	3,2	18	2,4	3
										<b>Al</b> Aluminium 26,982	<b>Si</b> Silicium 28,086	<b>P</b> Phosphor 30,974	<b>S</b> Schwefel 32,065	<b>Cl</b> Chlor 35,453	<b>Ar</b> Argon 39,948							
10	11	12																				
28	1,9	29	1,9	30	1,7	31	1,8	32	2,0	33	2,2	34	2,6	35	3,0	36	2,2	4				
<b>Ni</b> Nickel 58,693	<b>Cu</b> Kupfer 63,546	<b>Zn</b> Zink 65,38	<b>Ga</b> Gallium 69,723	<b>Ge</b> Germanium 72,630	<b>As</b> Arsen 74,922	<b>Se</b> Selen 78,971	<b>Br</b> Brom 79,904	<b>Kr</b> Krypton 83,798														
46	2,2	47	1,9	48	1,7	49	1,8	50	2,0	51	2,1	52	2,1	53	2,7	54	2,0	5				
<b>Pd</b> Palladium 106,42	<b>Ag</b> Silber 107,868	<b>Cd</b> Cadmium 112,414	<b>In</b> Indium 114,818	<b>Sn</b> Zinn 118,710	<b>Sb</b> Antimon 121,760	<b>Te</b> Tellur 127,60	<b>I</b> Iod 126,905	<b>Xe</b> Xenon 131,293														
78	2,3	79	2,5	80	2,0	81	2,0	82	2,3	83	2,0	84	2,0	85	2,2	86	2,0	6				
<b>Pt</b> Platin 195,08	<b>Au</b> Gold 196,967	<b>Hg</b> Quecksilber 200,592	<b>Tl</b> Thallium 204,383	<b>Pb</b> Blei 207,2	<b>Bi</b> Bismut 208,980*	<b>Po</b> Polonium 209,983*	<b>At</b> Astat 209,987	<b>Rn</b> Radon 222,018*														
110		111		112		113		114		115		116		117		118		7				
<b>Ds</b> Darmstadtium 281*	<b>Rg</b> Röntgenium 281*	<b>Cn</b> Copernicium 285*	<b>Nh</b> Nihonium 286*	<b>Fl</b> Flerovium 289*	<b>Mc</b> Moscovium 289*	<b>Lv</b> Livermorium 293*	<b>Ts</b> Tenness 294*	<b>Og</b> Oganesson 294*														

63	1,2	64	1,2	65	1,2	66	1,2	67	1,2	68	1,2	69	1,3	70	1,3	71	1,3
<b>Eu</b> Europium 151,964	<b>Gd</b> Gadolinium 157,25	<b>Tb</b> Terbium 158,925	<b>Dy</b> Dysprosium 162,500	<b>Ho</b> Holmium 164,930	<b>Er</b> Erbium 167,259	<b>Tm</b> Thulium 168,934	<b>Yb</b> Ytterbium 173,045	<b>Lu</b> Lutetium 174,967									

95	1,3	96	1,3	97	1,3	98	1,3	99	1,3	100	1,3	101	1,3	102	1,3	103
<b>Am</b> Americium 243,061*	<b>Cm</b> Curium 247,070*	<b>Bk</b> Berkelium 247,070*	<b>Cf</b> Californium 251,080*	<b>Es</b> Einsteinium 252,083*	<b>Fm</b> Fermium 257,095*	<b>Md</b> Mendelevium 258,098*	<b>No</b> Nobelium 259,101*	<b>Lr</b> Lawrencium 262,110*								

# Stichwortverzeichnis

- Abbildungsgleichung 31
- Abbildungsmaßstab 31
- Abklingkoeffizient 21
- Ableitung 7
  - Regeln 7
- Absorber 37
- Absorptionsgesetz 37
- Abwurfwinkel 17
- Addition zweier Kräfte 15
- Ähnlichkeit 5
- Äquivalentdosis 37, 41
- Aggregatzustand 34
- Aktivität 36, 41
- Aktivität, optische 14
- Akustik 22
- Alphateilchen 45
- Amplitude 20
- Analyse
  - qualitativ 14
  - quantitativ 14
- Anfangskonzentration 12
- Anion 11
- Anode 12
- Anteil
  - Massen- 10
  - Volumen- 10
- Arbeit 41
  - Auslöse- 48
  - mechanische 18
  - Volumen- 13
- Astronomische Einheit 44
- Atomhülle 33
- Atommasse 56–59
- Auflösung 32
- Auftriebskraft 16
- Ausbreitungsgeschwindigkeit 21, 30
- Auslenkung 20, 21
- Auslösearbeit 48
- Avogadro-Konstante 10, 44
  
- Bahngeschwindigkeit 15, 16, 38
- Base
  - exponent 11, 54
  - konstante 11
  - Indikator 53
- Berühren 7
- Beschleunigung 41
  - mittlere 16
  - momentane 16
  - Radial- 16
- Bestrahlungsstärke 39, 41
- Bewegung
  - beliebig beschleunigte 16
  - gleichförmige 16
  - gleichmäßig beschleunigte 16
  - Kreis- 16
  - Wurf- 17
- Bewegungen 16
- Bewegungsenergie 18
- Bindungsenergie 37
  
- Binomialkoeffizient 8
- Binomialverteilung 8
- Binomische Formeln 5
- Bogenmaß 6
- Bragg-Beziehung 32
- Brechung 31
  - gesetz 31
  - winkel 31
- Brechzahl 31, 48
- Brennweite 31
- Brewster-Gesetz 32
  
- Cepheiden 40
- Chromatografie 14
- Compton-Effekt, -wellenlänge 33
- Coulomb'sches Gesetz 24
  
- Dehnung 15, 18
- Dichte 17, 41, 46
- Dichtefunktion 8
- Dielektrizitätszahl 47
- Dipol 30
- Doppelspalt 31
- Doppler-Effekt
  - nichtrelativistische Näherung 40
- Dopplereffekt 22
- Dosis 41
  - Äquivalent- 37
  - effektive 37
  - Energie- 37
- Drachenviereck 5
- Dreh
  - impuls 41
  - moment 41
- Dreh-
  - impuls 20
  - moment 17
- Drehmoment 19
- Dreieck 5
  - rechtwinkliges 6
- Druck 13, 17, 41
  - Schwere- 17
  
- Ebene
  - schiefe 17
- Ebenenformen 8
- Edukt 13
- Effektive Dosis 37
- Eigenbewegung 39
- Einfallswinkel 31
- Einheiten 41–43
  - Vorsätze 44
- Einzelspalt 32
- elektrische Feldkonstante 44
- elektrische Ladung 22
- Elektrizitätslehre 22
- Elektrolyse 12
- elektromagnetische
  - Schwingungen 29
  - Wellen 30
- Elektron 12, 45
  
- Elektronenübergänge 12
- Elementarladung 44
- Elemente, Periodensystem 62
- Elongation 20
- Energie 13, 18, 42
  - Zeit-Unbestimmtheitsrelation 33
  - bilanz beim Fotoeffekt 32
  - differenz geladener Teilchen 23
  - dosis 37, 42
  - erhaltungssatz 18
  - niveau des Wasserstoffatoms 33
  - stromstärke 19
- Bindungs- 37
- elektrische 23
- kinetische- 18
- magnetische Feld- 29
- mechanische 18
- Potenzialtopf 34
- potenzielle 18, 19
- relativistisch 36
- Rotations- 18
- Spann- 18
- Energie-Impuls-Beziehung 36
- Entfernungsmodul 40
- Enthalpie 13, 42
- Entropie 13, 42
  - änderung 34
- Erde 51, 52
  - mond 52
- Ereignis 8
- Ereignishorizont 39
- Erwartungswert 8
- Exponent
  - Säure- & Basen- 54
- Extinktion 14
  
- Fadenpendel 21
- Faktor, Qualitäts- 53
- Fallbeschleunigung 44
- Faraday-Gleichung 12
- Faraday-Konstante 12, 44
- Farbe
  - Komplementär- 56
  - Spektral- 56
- Feder 18
  - härte 15
  - spannkraft 15
- Federhärte 18, 20, 21
- Federpendel 21
- Fehler 9
- Feld
  - elektrisches 24
  - Gravitations- 19
  - magnetisches 27
  - Radial- 24
- Feldenergie, magnetische 29
- Feldstärke 41, 43
  - elektrische 24
  - Gravitations- 19
  - magnetische 27
- Figuren 5

Fläche  
   -inhalt 42  
   -ladungsdichte 42  
 Flächeninhalt 5  
 Flächenladungsdichte 24  
 Flaschenzug 17  
 Fluchtgeschwindigkeit 39  
 Fluss 43  
   -dichte 43  
   magnetischer 28  
 Flusssdichte 41  
   elektrische 24  
   magnetische 27  
 Fotoeffekt  
   Energiebilanz 32  
 Fotoelektron, kinetische Energie 32  
 Frequenz 20, 42  
 Funktionsgraph  
   Schneiden, Berühren 7  
  
 Galaxie 40  
 Galilei-Transformation 35  
 ganze Zahlen 6  
 Gas  
   -konstante 44  
   ideales 45  
 Gasgleichung 10  
 Gaskonstante 10  
 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, 20, 43  
 Gesetz  
   Absorptions- 37  
   Brechnungs- 31  
   Brewster- 32  
   Coulomb'sches 24  
   Gravitations- 19  
   Hebel- 17  
   Hooke'sches 15  
   Induktions- 28  
   Kepler'sche 38  
   Kirchhoff'sche 23  
   Lambert-Beer'sches- 14  
   Logarithmen- 5  
   Massewirkungen- 10  
   Mosely- 33  
   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  
 Gleichgewichtskonstante 10  
 Gleichgewichtsreaktionen 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  
   -kraft 19  
 Gravitationskonstante 44  
 Grenzwert 7  
 Grenzwinkel 31  
 Größen 41–43  
   Näherungswerte 44  
 Grundfläche 5  
 Grundgleichung der Mechanik 15  
  
 Halbwertsdicke 37  
 Halbzelle 12  
 Hall-Konstante 48  
 Hall-Spannung 27  
 Hauptsatz der Thermodynamik 13  
 Hebel  
   -arm 17  
   -gesetz 17  
 Heisenberg'sche Unbestimmtheits-  
   relation 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  
   -erhaltungssatz 20  
   Dreh- 20  
   eines Körpers 19  
   eines Photons 32  
   relativistisch 36  
 Indikator  
   Säure-Base- 53  
 Induktion, -gesetz 28  
   Selbst- 29  
 Induktivität 42  
 Induktivität, Spule 29  
  
 Inertialsystem 35  
 Integral  
   -funktion 7  
   bestimmtes 7  
 Intensität 42  
 Intensität, Schallwelle 22  
 Interferenz 31  
 Ionenäquivalentleitfähigkeit 41  
 Ionenprodukt 11, 45  
  
 Jupiter 52  
  
 Kalorimeter 13  
 Kalorimetrie 13  
 Kapazität 41  
 Kathete 6  
 Kathode 12  
 Kation 11  
 Katode 12  
 Kegel 5  
 Kepler  
   -ellipse 38  
   Gesetze 38  
 Kernmasse 56  
 Kernradius 37  
 kinetische Energie 18  
 Kirchhoff'sche Gesetze 23  
 Knotenregel 23  
 Koeffizient  
   Längenausdehnungs- 35  
   stöchiometrischer 10, 11  
   Wärmeleitfähigkeits- 35  
 Koeffizient, Längen- & Volumen-  
   ausdehnung 49  
 Körper 5  
   Impuls 19  
   Rotation 19  
   Rotations- 7  
 Komplementärfarbe 56  
 Kondensator 25–26  
   Schwingungsgleichung 30  
 Konfidenzintervall 9  
 Konstante  
   Avogadro- 10, 44  
   elektrische Feld- 44  
   Faraday- 12, 44  
   Gas- 10  
   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  
 Kräfteaddition 15

- 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, 16
  - Zentripetal- 15
  - zwischen Punktladungen 24
- Kreis 5, 6
  - bewegung 16
  - frequenz 43
- Kreisbahngeschwindigkeit 39
- Kriterium
  - Rayleigh'sches 32
- Kugel 5
- Ladung 41, 45
  - elektrische 22
  - Punkt- 24
- Länge 43
- Längen
  - änderung, thermische 35
  - ausdehnungskoeffizient 35
  - kontraktion 36
- Längenausdehnungskoeffizient 49
- Lageenergie 18
- Lambert-Beer'sches-Gesetz 14
- Laufmittelfront 14
- Leistung 19, 43
  - elektrische 23
  - im Wechselstromkreis 25
  - mittlere 19
  - momentane 19
- Leitfähigkeit 41
  - Ionenäquivalent- 41
- Leitwert 41
- Leptonen 45
- Lichtgeschwindigkeit 44
- Lichtjahr 44
- Linse 31
- Löslichkeitsprodukt 11
- Lösung 10
- Logarithmen 5
- Lorentz
  - Faktor 35
  - Transformation 35
- Lorentz-Kraft 27
- magnetische Feldkonstante 44
- magnetischer Fluss 28
- Magnetismus 22
- Mars 52
- Maschenregel 23
- Masse 18, 20, 43, 45
  - Leuchtkraft-Beziehung 39
  - anteil 10
  - defekt 37
- konzentration 10
- wirkungsgesetz 10
- Atom- 56–59
- Kern- 56
- molare 10
- Materiewellenlänge 34
- Mechanik, Grundgleichung 15
- Mengensymbole 6
- Merkur 52
- Messküvette 14
- Metall 48
- Molare Masse 10
- molares Volumen 45
- Molares Volumen 10
- Mond 52
- Moseley-Gesetz 33
- Myon 45
- natürliche Zahlen 6
- Naturkonstanten 44
- Neptun 52
- Nernst-Gleichung 12
- Neutrino 45
- Neutron 45
- Newton'sche Gesetze 15
- Newton'scher Strömungswiderstand 15
- Normalenform 8
- Normalkraft 15
- Normalverteilung 8
- Nukleonen 36
- Nuklid
  - karte 59–61
  - Atommasse 56–59
  - Kernmasse 56
- Nullhypothese 9
- Nullphasenwinkel 20
- Oberflächeninhalt 5
- Optik 31
  - 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 32
- Polarisationsfilter 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
- Quanten
  - objekte 32
- Quantitative und instrumentelle 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- 23
  - Maschen- 23
- Reibung
  - kraft 15
  - zahl 15
- Reihenschaltung
  - Kondensatoren 26
  - Widerstände 23, 25
- relative Permeabilität 47
- Relativgeschwindigkeit 15
- Retentionsfaktor 14
- Röntgenspektrum 33
- Rollen 17
- Rotation 19
- Rotationsenergie 18
- Rotationskörper 7
- Rydberg-Konstante 44
- Säure

- exponent 11, 54
- konstante 11
- Indikator 53
- Säureexponent 12
- Säurekonstante 12
- Saturn 52
- Satz
  - des Pythagoras 6
  - des Thales 6
  - Energieerhaltungs- 18
  - Impulserhaltungs- 20
- Schall
  - druckpegel 22, 43
  - geschwindigkeit 51
  - intensitätspegel 22, 43
- Schallwelle, Intensität 22
- Schaltung
  - Kondensatoren 26
  - Widerstände 23
- schiefe Ebene 17
- Schmelztemperatur, -wärme 50
- Schmelzwärme 34
- Schneiden 7
- schräger Wurf 17
- Schrödingergleichung 33
- Schwächungskoeffizient 37
- schwarzer Strahler 39
- schwarzes Loch 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
- Signifikanzniveau 9
- Signifikanztest 9
- Sinus 6
- Skalarprodukt 8
- Sonne, -system 51
- Spalt 31, 32
  - Doppel- 31
  - Einzel- 32
- Spannenergie 18
- Spannung 41
  - elektrische 24
  - Hall- 27
  - im Wechselstromkreis 24
- Spektralfarbe 56
- Spektrallinie 33, 53
- Spektrum 56
- spezifische
  - Schmelzwärme 50
  - Verdampfungswärme 50
- spezifische Wärmekapazität 43, 45, 49
- Spiegel 31
- Spule 27, 29
  - Primär- & Sekundär- 28
- Standard
  - modell 45
  - potenziale 55
- Standardabweichung 8
- Standardpotenzial 12
- 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 16
- Stoß 20
  - elastischer 20
  - unelastischer 20
- Strahlung 36
  - gesetze 39
  - elektromagnetische 56
- Strömung 15
  - widerstand 15, 16
- Stromstärke 12, 22, 42
  - Energie- 19
  - im Wechselstromkreis 25
- Substanzfleck 14
- System
  - abgeschlossenes 18
  - 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
  - moment 18
  - prinzip, -gesetz 15
- Trägheitsmoment 19, 43
- Transformation
  - Galilei- 35
- Transformator 28
- Translation 18
- Trapez 5
- Trigonometrie 6
- Trigonometrische Parallaxe 39
- Übergang
  - Elektronen- 12
- Protonen- 11
- Überspannung 12
- Umlaufdauer 16
- Umlaufzeit 39
- Unabhängigkeit, stochastische 8
- Unbestimmtheitsrelation
  - Energie-Zeit- 33
  - Heisenberg'sche 33
- Uranus 52
- Vakuumlichtgeschwindigkeit 44
- Varianz 8
- Venus 52
- Verdampfungswärme 34, 50
- Viskosität 16, 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
- Wechselspannung 24
- Wechselstrom 25
- Wechselwirkungsgesetz 15
- Weite, Gegenstands-, Bild- 31
- Welle
  - optik 31
  - elektromagnetische 30
- Wellen 21
  - funktion 21
  - stehende 22
- Wellenfunktion 33
- Wellenlänge 31, 43
  - de-Broglie- 32
- Materie- 34
- Quantenobjekt 32
- Spektrallinien 53
- Wichtungsfaktor 37
- Wichtungsfaktor, Gewebe- 52
- Widerstand 42
  - beiwert 15
  - kraft 15, 16
  - elektrischer 23
  - elektrischer Leiter 23
  - im Wechselstromkreis 25
  - kapazitiv, induktiv 25

Newton'scher Strömungs- 15  
spezifischer elektrischer 47–48  
Wien'sche Verschiebungskonstante 44  
Wien'sches Verschiebungsgesetz 39  
Winkel 5, 6  
-geschwindigkeit 15, 16, 20  
Abwurf- 17  
Einfall-, Brechnungs- 31  
Einfall-, Reflexions- 31  
Glanz- 32  
Grenz- der Totalreflexion 31

Nullphasen- 20  
Polarisations- 32  
zwischen Kräften 15  
Winkelgeschwindigkeit 43  
Wirkungsgrad 19  
Wirkungsquantum, Planck'sches 44  
Wurf  
schräger 17  
senkrechter 17  
waagerechter 17  
Wurfbewegungen 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

## Errata