



Formelsammlung

Physik

Technologie/Naturwissenschaften

Chemie

Impressum

Erarbeitet im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums für Unterricht und Kultus

Leiter des Arbeitskreises

Dr. Christian Huber

Staatsinstitut für Schulqualität und Bildungsforschung

Mitglieder des Arbeitskreises

Physik

Kerstin Fritzlär

Staatliche Fach- und Berufsoberschule Straubing

Dr. Ralf Graupner

Staatliche Fachoberschule Nürnberg

Christian Schiller

Staatliche Fach- und Berufsoberschule Friedberg

Technologie/Naturwissenschaften

Bernd Hoffmann

Staatliche Fach- und Berufsoberschule Augsburg

Chemie

Dr. Markus Haitzer

Staatliche Fach- und Berufsoberschule Traunstein

Herausgeber

Staatsinstitut für Schulqualität und Bildungsforschung

Anschrift

Staatsinstitut für Schulqualität und Bildungsforschung

Abteilung Berufliche Schulen

Schellingstr. 155 • 80797 München

Tel.: 089 2170-2111 • Fax: 089 2170-2215

Internet: www.isb.bayern.de

E-Mail: berufliche.schulen@isb.bayern.de

Abbildungen, Graphiken

Arbeitskreismitglieder

Layout/Satz

PrePress-Salumae.com, Kaisheim



STAATSINSTITUT FÜR SCHULQUALITÄT
UND BILDUNGSFORSCHUNG
MÜNCHEN

FORMELSAMMLUNG

PHYSIK
TECHNOLOGIE/NATURWISSENSCHAFTEN
CHEMIE

München 2019

Physik

1	Grundlagen	12
1.1	Dichte	12
1.2	Gewichtskraft	12
1.3	Hooke'sches Gesetz	12
1.4	Druck	12
1.5	Hydrostatischer Druck	13
1.6	Auftriebskraft	13
1.7	Reibungskraft	13
1.8	Drehmoment	14
2	Geradlinige Bewegungen	15
2.1	Mittlere und momentane Geschwindigkeit	15
2.2	Geradlinige Bewegung mit konstanter Geschwindigkeit	15
2.3	Mittlere und momentane Beschleunigung	16
2.4	Geradlinige Bewegung mit konstanter Beschleunigung	16
3	Newton'sche Gesetze	17
3.1	Trägheitssatz (1. Newton'sches Gesetz)	17
3.2	Grundgesetz der Mechanik (2. Newton'sches Gesetz)	17
3.3	Wechselwirkungsprinzip (3. Newton'sches Gesetz)	18
3.4	Gravitationsgesetz von Newton	18
4	Arbeit, Energie, Leistung und Wirkungsgrad	19
4.1	Arbeit	19
4.2	Mechanische Energie	20
4.3	Energieerhaltungssatz der Mechanik	20
4.4	Mittlere und momentane Leistung	21
4.5	Wirkungsgrad einer kontinuierlich arbeitenden Maschine	21

5	Impuls, Kraftstoß, Stoßvorgänge	22
5.1	Impuls	22
5.2	Kraftstoß	22
5.3	Impulserhaltungssatz	22
6	Dynamik von Flüssigkeiten und Gasen	23
6.1	Volumenstrom	23
6.2	Strömungsgeschwindigkeit	23
6.3	Bernoulligleichung	23
7	Kreisbewegung mit konstanter Winkelgeschwindigkeit	24
7.1	Winkel im Bogenmaß	24
7.2	Winkelgeschwindigkeit	24
7.3	Frequenz und Umlaufdauer	24
7.4	Zusammenhänge zwischen Winkelgeschwindigkeit, Frequenz und Umlaufdauer	24
7.5	Bahngeschwindigkeit	25
7.6	Zentripetalbeschleunigung und Zentripetalkraft	25
8	Mechanische Schwingungen	26
8.1	Lineares Kraftgesetz bei einer ungedämpften, harmonischen linearen Schwingung	26
8.2	Differenzialgleichung einer harmonischen Schwingung	26
8.3	Allgemeine Lösung der Differenzialgleichung einer harmonischen Schwingung	26
8.4	Periodendauer einer harmonischen Schwingung	27
9	Mechanische Wellen – Akustik	28
9.1	Fortschreitende Wellen	28
9.2	Interferenz zweier Kreiswellen	29
9.3	Beugung und Interferenz am Mehrfachspalt	30
9.4	Stehende Wellen	31

10 Grundlagen der Wärmelehre	33
10.1 Längen- und Volumenänderungen von Körpern bei Temperaturänderungen	33
10.2 Zustandsgleichung eines idealen Gases	34
10.3 Wärme und Wärmekapazität	34
11 Grundlagen der Elektrizitätslehre	35
11.1 Elektrische Stromstärke	35
11.2 Elektrischer Widerstand	35
11.3 Elektrische Arbeit und Leistung eines konstanten Gleichstroms	35
11.4 Reihen- und Parallelschaltung elektrischer Widerstände	36
12 Elektrisches Feld	37
12.1 Coulomb-Gesetz	37
12.2 Elektrische Feldstärke, Spannung und Potenzial	37
12.3 Elektrische Feldstärke im radialsymmetrischen elektrischen Feld einer Punktladung (Coulomb-Feld)	38
12.4 Homogenes elektrisches Feld eines Plattenkondensators	38
12.5 Kondensator	39
13 Magnetisches Feld und Induktion	40
13.1 Kraft auf einen stromdurchflossenen, geraden Leiter im homogenen Magnetfeld	40
13.2 Magnetische Flussdichte in einer lang gestreckten, stromdurchflossenen Spule	40
13.3 Kraft auf ein geladenes Teilchen im homogenen Magnetfeld (Lorentzkraft)	40
13.4 Magnetische Induktion	41
13.5 Spule im Stromkreis	42
14 Elektromagnetischer Schwingkreis	43
14.1 Differenzialgleichung einer ungedämpften elektromagnetischen Schwingung	43
14.2 Allgemeine Lösung der Differenzialgleichung der ungedämpften elektromagnetischen Schwingung	43
14.3 Thomson-Gleichung für die Periodendauer der ungedämpften elektromagnetischen Schwingung	43

15	Elektromagnetische Wellen	44
15.1	Fortschreitende, linear polarisierte elektromagnetische Welle im Vakuum	44
15.2	Dipolschwingungen	46
16	Geometrische Optik	47
16.1	Reflexion und Brechung	47
16.2	Abbildungsgleichungen für dünne Linsen	47
17	Spezielle Relativitätstheorie	48
17.1	Lorentzfaktor	48
17.2	Geschwindigkeitsabhängigkeit der Masse	48
17.3	Relativistischer Impuls	48
17.4	Relativistische Energie	48
18	Quantenphysik	50
18.1	Photonen	50
18.2	Äußerer lichtelektrischer Effekt (Einstein-Gleichung)	50
18.3	Wellenlänge einer Materiewelle (de Broglie-Welle)	51
18.4	Heisenberg'sche Unbestimmtheitsrelation (Unschärferelation)	51
18.5	Eindimensionale, zeitunabhängige Schrödingergleichung	51
19	Atomphysik	52
19.1	Energienstufen des Elektrons im Wasserstoffatom	52
19.2	Allgemeine Serienformel für das Linienspektrum im Wasserstoffatom	52
19.3	Moseley-Gesetz für die K_{α} -Linie im Röntgenspektrum	52
19.4	Bragg-Bedingung für ein Kristallgitter	53
20	Kernphysik	54
20.1	Berechnung des Massendefekts eines Atomkerns aus Atommassen	54
20.2	Radioaktivität	54

Technologie/Naturwissenschaften

1	Technische Mechanik – Statik	58
1.1	Grundgleichungen	58
1.2	Kräftezerlegung in zueinander senkrechten Komponenten	58
1.3	Ersatzkraft und Ersatzmoment bei Einzelkräften	59
1.4	Ersatzkraft bei Streckenlasten	59
1.5	Kräftepaare	60
1.6	Statische Bestimmtheit ebener Kräftesysteme	60
1.7	Statische Bestimmtheit ebener Fachwerke	60
2	Technische Mechanik – Festigkeitslehre	61
2.1	Zug- und Druckbeanspruchung	61
2.2	Scherbeanspruchung	62
2.3	Biegebeanspruchung	62
2.4	Torsionsbeanspruchung	63
2.5	Knickung (nach Euler)	64
2.6	Flächenpressungen	65
3	Energietechnik	67
3.1	Mechanischer Wirkungsgrad	67
3.2	Energieformen	67
3.3	Leistung, Erträge und Kenngrößen von technischen Systemen	69
4	Thermodynamik	73
4.1	Thermische Zustandsgleichungen	73
4.2	Spezifische Wärmekapazitäten idealer Gase	74
4.3	Adiabate Zustandsänderung idealer Gase	74
4.4	Hauptsätze der Thermodynamik	75
4.5	Innere Energie, Wärme und Arbeit thermodynamischer Prozesse	76

Chemie

1	Quantitative Aspekte	82
1.1	Teilchenzahl	82
1.2	Masse	82
1.3	Volumen idealer Gase	82
1.4	Stoffmengenkonzentration	82
1.5	Massenkonzentration	82
1.6	Massenanteil	83
2	Mittlere Reaktionsgeschwindigkeit	83
3	Massenwirkungsgesetz	84
3.1	Massenwirkungsgesetz, konzentrationsbezogen	84
3.2	Massenwirkungsgesetz, druckbezogen	84
3.3	Gibbs-Helmholtz-Gleichung	84
4	Säure-Base-Gleichgewichte	85
4.1	Ionenprodukt des Wassers	85
4.2	Säurekonstante und Säureexponent	85
4.3	Basekonstante und Baseexponent	85
4.4	pH-Wert	86
4.5	pOH-Wert	86
4.6	pH-Wert in sauren Lösungen	87
4.7	Henderson-Hasselbalch-Gleichung	87
5	Redox-Gleichgewichte	88
5.1	Leerlaufspannung eines galvanischen Elements	88
5.2	Nernst'sche Gleichung	89

Tabellen – Physik

1	Ausgewählte Konstanten	92
2	Ruhmassen und Ruheenergien ausgewählter Teilchen	93
3	Weitere wichtige physikalische Größen und ihre Einheiten	94
4	Umrechnung von Einheiten ausgewählter Größen	97
5	SI-Vorsätze und griechisches Alphabet	98
6	Elektromagnetisches Spektrum	99
7	Schaltzeichen im Physikunterricht	100

Tabellen – Technologie/Naturwissenschaften

1	Gaskonstanten M , c_p , c_v , R_i und κ	101
2	Heizwerte	102
3	Spezifische Wärmekapazitäten c von Flüssigkeiten und Feststoffen (bei 20° C)	103
4	Flächenmomente 2. Ordnung und Widerstandsmomente	104
5	Eisen-Kohlenstoff-Diagramm	105

Tabellen – Chemie

1	Säurekonstanten und Basekonstanten	106
2	Elektrochemische Spannungsreihe der Metalle	107
3	Elektrochemische Spannungsreihe der Nichtmetalle	108
4	Elektrochemische Spannungsreihe weiterer Halbreaktionen ...	109

Stichwortverzeichnis	112
----------------------------	-----

Anhang

Merkhilfe Mathematik Technik	120
Periodensystem	130

Physik

1 Grundlagen

1.1 Dichte

- ρ ist die Dichte eines Körpers/einer Flüssigkeit/eines Gases,
 m die Masse des Körpers/der Flüssigkeit/des Gases,
 V das zugehörige Volumen.

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

1.2 Gewichtskraft

- F_G ist der Betrag der auf einen Körper wirkenden Gewichtskraft $\vec{F}_G$,
 m die Masse des Körpers,
 g der Ortsfaktor (Betrag der Fallbeschleunigung).

$$F_G = m \cdot g$$

1.3 Hooke'sches Gesetz

- F ist der Betrag der Kraft $\vec{F}$, mit der eine Feder gedehnt/gestaucht wird,
 D die Federkonstante (Federhärte),
 s die Länge der Dehnung/Stauchung der Feder.

$$F = D \cdot s$$

1.4 Druck

- p ist der Druck,
 F_N der Betrag der Kraft $\vec{F}_N$, die senkrecht auf eine Fläche wirkt (Normalkraft),
 A der Flächeninhalt.

$$p = \frac{F_N}{A}$$

1.5 Hydrostatischer Druck

- p_h ist der hydrostatische Druck,
 h die Höhe der Flüssigkeitssäule,
 ρ die Dichte der Flüssigkeit,
 g der Ortsfaktor (Betrag der Fallbeschleunigung).

$$p_h = \rho \cdot g \cdot h$$

1.6 Auftriebskraft

- F_A ist der Betrag der Auftriebskraft $\vec{F}_A$,
 ρ die Dichte des Mediums (Flüssigkeit oder Gas),
 in das ein Körper ganz oder teilweise eingetaucht ist,
 V das Volumen des verdrängten Mediums,
 g der Ortsfaktor (Betrag der Fallbeschleunigung).

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

1.7 Reibungskraft

Reibungskraft zwischen zwei Festkörpern

- F_R ist der Betrag der Reibungskraft $\vec{F}_R$,
 F_N der Betrag der Normalkraft $\vec{F}_N$, mit der ein Körper auf eine Unterlage gedrückt wird,
 μ die Reibungszahl.

$$F_R = \mu \cdot F_N$$

Reibungskraft bei laminarer Strömung (Gesetz von Stokes)

- F_R ist der Betrag der Reibungskraft $\vec{F}_R$,
 r der Radius einer Kugel,
 v der Betrag der Geschwindigkeit $\vec{v}$, mit der sich die Kugel in einem Medium (Flüssigkeit oder Gas) bewegt,
 η die Viskosität (Zähigkeit) des Mediums.

$$F_R = 6\pi \cdot \eta \cdot r \cdot v$$

Reibungskraft bei turbulenter Strömung

- F_R ist der Betrag der Reibungskraft $\vec{F}_R$,
 v der Betrag der Geschwindigkeit $\vec{v}$ eines Körpers,
 A der Flächeninhalt der angeströmten Querschnittsfläche des Körpers,
 c_W der Widerstandsbeiwert,
 ρ die Dichte des Mediums.

$$F_R = \frac{1}{2} c_W \cdot A \cdot \rho \cdot v^2$$

1.8 Drehmoment

- M ist der Betrag des Drehmoments $\vec{M}$,
 F der Betrag der Kraft $\vec{F}$,
 l der Hebelarm.

$$M = F \cdot l$$

2 Geradlinige Bewegungen

Ein Körper (Massenpunkt) bewegt sich längs der x -Achse eines kartesischen Koordinatensystems.

2.1 Mittlere und momentane Geschwindigkeit

Betrachtet wird die Bewegung des Körpers im Zeitintervall $[t; t + \Delta t]$.

$\bar{v}_x$ ist die Koordinate der mittleren Geschwindigkeit $\vec{v}$ des Körpers in diesem Zeitintervall,

Δt die Länge des Zeitintervalls,

Δx die Änderung der Koordinate des Ortes $\vec{r}$ des Körpers in diesem Zeitintervall.

$$\bar{v}_x = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

$v_x(t)$ ist die Koordinate der momentanen Geschwindigkeit $\vec{v}$ des Körpers in Abhängigkeit von der Zeit t .

$$v_x(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{d}{dt} x(t) = \dot{x}(t)$$

2.2 Geradlinige Bewegung mit konstanter Geschwindigkeit

$x(t)$ ist die Koordinate des Ortes $\vec{r}$ des Körpers in Abhängigkeit von der Zeit t ,

x_0 die Koordinate des Ortes $\vec{r}$ des Körpers zum Zeitpunkt $t_0 = 0$,

v_x die Koordinate der konstanten Geschwindigkeit $\vec{v}$ des Körpers.

$$\begin{aligned} x(t) &= x_0 + v_x \cdot t \\ v_x &= \text{konst.} \end{aligned}$$

2.3 Mittlere und momentane Beschleunigung

Betrachtet wird die Bewegung des Körpers im Zeitintervall $[t; t + \Delta t]$.

$\bar{a}_x$ ist die Koordinate der mittleren Beschleunigung $\vec{a}$ in diesem Zeitintervall,

Δt die Länge des Zeitintervalls,

Δv_x die Änderung der Koordinate der Geschwindigkeit $\vec{v}$ des Körpers in diesem Zeitintervall.

$a_x(t)$ ist die Koordinate der momentanen Beschleunigung $\vec{a}$, die der Körper erfährt, in Abhängigkeit von der Zeit t .

$$\bar{a}_x = \frac{\Delta v_x}{\Delta t}$$

$$a_x(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v_x}{\Delta t} = \frac{d}{dt} v_x(t) = \dot{v}_x(t) = \ddot{x}(t)$$

2.4 Geradlinige Bewegung mit konstanter Beschleunigung

$x(t)$ ist die Koordinate des Ortes $\vec{r}$ des Körpers in Abhängigkeit von der Zeit t ,

x_0 die Koordinate des Ortes $\vec{r}$ des Körpers zum Zeitpunkt $t_0 = 0$.

$v_x(t)$ ist die Koordinate der momentanen Geschwindigkeit $\vec{v}$ in Abhängigkeit von der Zeit t ,

$v_{0,x}$ die Koordinate der Geschwindigkeit $\vec{v}$ zum Zeitpunkt $t_0 = 0$,

a_x die Koordinate der konstanten Beschleunigung $\vec{a}$, die der Körper erfährt.

$$\begin{aligned} x(t) &= x_0 + v_{0,x} \cdot t + \frac{1}{2} a_x \cdot t^2 \\ v_x(t) &= v_{0,x} + a_x \cdot t \\ a_x &= \text{konst.} \\ v_x^2 - v_{0,x}^2 &= 2a_x(x - x_0) \end{aligned}$$

3 Newton'sche Gesetze

3.1 Trägheitssatz (1. Newton'sches Gesetz)

Ist die Summe aller an einem Körper angreifenden Kräfte gleich Null, so bleibt der Körper im Zustand der Ruhe oder bewegt sich mit konstanter Geschwindigkeit weiter.

3.2 Grundgesetz der Mechanik (2. Newton'sches Gesetz)

Grundgesetz bei konstanter Masse eines Körpers

$\vec{F}$ ist die resultierende Kraft, die einen Körper beschleunigt,

Δt die Länge des Zeitintervalls, während dessen der Körper beschleunigt wird,

$\Delta \vec{v}$ die Änderung der Geschwindigkeit des Körpers im Zeitintervall $[t; t + \Delta t]$,

m die konstante Masse des Körpers,

$\vec{a}$ die Beschleunigung, die der Körper erfährt.

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

$$\vec{F} \cdot \Delta t = m \cdot \Delta \vec{v}$$

Verallgemeinerung des Grundgesetzes

$\vec{F}(t)$ ist die resultierende Kraft auf einen Körper in Abhängigkeit von der Zeit t ,

$\vec{p}(t)$ der Impuls des Körpers in Abhängigkeit von der Zeit t ,

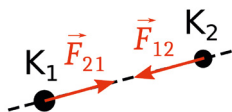
$\dot{\vec{p}}(t)$ die zeitliche Ableitung des Impulses $\vec{p}$ in Abhängigkeit von der Zeit t .

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

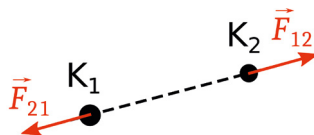
3.3 Wechselwirkungsprinzip (3. Newton'sches Gesetz)

Übt ein Körper K_1 auf einen Körper K_2 eine Kraft $\vec{F}_{12}$ aus, so erfährt umgekehrt auch der Körper K_1 stets eine Kraft $\vec{F}_{21}$, die der Körper K_2 auf ihn ausübt.

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



anziehende Kräfte



abstoßende Kräfte

3.4 Gravitationsgesetz von Newton

F_G ist der Betrag der Gravitationskraft $\vec{F}_G$, mit der sich die Körper K_1 und K_2 gegenseitig anziehen,

m_1, m_2 sind die Massen der Körper K_1 und K_2 ,

r ist der Abstand ihrer Massenschwerpunkte,

G die Gravitationskonstante.

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

4 Arbeit, Energie, Leistung und Wirkungsgrad

4.1 Arbeit

W_{12} ist die Arbeit, die von der konstanten Kraft $\vec{F}$ an einem Körper bei dessen Verschiebung vom Punkt P_1 zum Punkt P_2 verrichtet wird,

$\vec{F}$ die konstante Kraft, durch die der Körper verschoben wird,

$\vec{s}$ der lineare Weg vom Punkt P_1 zum Punkt P_2 ($\vec{s} = \overrightarrow{P_1 P_2}$),

α der eingeschlossene Winkel zwischen $\vec{F}$ und $\vec{s}$.

$$W_{12} = \vec{F} \circ \vec{s}$$

$$W_{12} = |\vec{F}| \cdot |\vec{s}| \cdot \cos \alpha$$

W ist die Arbeit, die die konstante Kraft $\vec{F}$ am Körper bei dessen Verschiebung entlang der Strecke $\vec{s}$ verrichtet,

F der Betrag der konstanten Kraft $\vec{F}$ in Richtung der Strecke $\vec{s}$,

s der Betrag der Strecke $\vec{s}$ in Richtung der Kraft $\vec{F}$.

$$W = F \cdot s$$

Ein Körper wird längs der x -Achse eines Koordinatensystems durch eine ortsabhängige Kraft $\vec{F}$ verschoben.

W_{12} ist die Arbeit, die von der Kraft $\vec{F}$ an diesem Körper bei dessen Verschiebung von x_1 nach x_2 verrichtet wird,

x_1 die Koordinate des Ortes des Körpers vor der Verschiebung,

x_2 die Koordinate des Ortes des Körpers nach der Verschiebung,

$F_x(x)$ die x -Koordinate der Kraft $\vec{F}$ in Abhängigkeit von x .

$$W_{12} = \int_{x_1}^{x_2} F_x(x) dx$$

4.2 Mechanische Energie

Arbeit-Energie-Prinzip

W ist die an einem Körper verrichtete Arbeit,
 ΔE die Änderung der Gesamtenergie des Körpers.

$$W = \Delta E$$

Kinetische Energie

E_{kin} ist die kinetische Energie eines Körpers,
 m die Masse des Körpers,
 v der Betrag seiner Geschwindigkeit $\vec{v}$.

$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

Potenzielle Energie der Erdanziehung

E_{pot} ist die potenzielle Energie der Erdanziehung eines Körpers,
 m die Masse des Körpers,
 h seine Höhe gegenüber dem Bezugsniveau,
 g der Ortsfaktor (Betrag der Fallbeschleunigung).

$$E_{\text{pot}} = m \cdot g \cdot h$$

Potenzielle Energie der Elastizität

E_{pot} ist die potenzielle Energie der Elastizität einer Feder,
 D die Federkonstante,
 s die Dehnung/Stauchung der Feder.

$$E_{\text{pot}} = \frac{1}{2} D \cdot s^2$$

4.3 Energieerhaltungssatz der Mechanik

In einem abgeschlossenen System, in dem keine Reibungskräfte auftreten, bleibt die mechanische Gesamtenergie, d. h. die Summe aus kinetischer und potenzieller Energie, erhalten.

4.4 Mittlere und momentane Leistung

$\bar{P}$ ist die mittlere Leistung,

W die an einem System verrichtete Arbeit,

ΔE die Änderung der Energie nach der Zeitdauer Δt ,

Δt die Zeitdauer, während der die Arbeit verrichtet wird.

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

$P(t)$ ist die momentane Leistung in Abhängigkeit von der Zeit t .

$$P(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta E}{\Delta t} = \frac{d}{dt} E(t) = \dot{E}(t)$$

4.5 Wirkungsgrad einer kontinuierlich arbeitenden Maschine

η ist der Wirkungsgrad einer Maschine,

P_{ab} die von der Maschine abgegebene Leistung (Nutzleistung),

P_{zu} die der Maschine zugeführte Leistung (Eingangsleistung).

$$\eta = \frac{P_{ab}}{P_{zu}}$$

5 Impuls, Kraftstoß, Stoßvorgänge

5.1 Impuls

- $\vec{p}$ ist der Impuls eines Körpers,
 $\vec{v}$ die Geschwindigkeit des Körpers,
 m die Masse des Körpers.

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

5.2 Kraftstoß

Wirkt auf einen Körper eine konstante Kraft $\vec{F}$ und ist Δt die Dauer ihrer Einwirkung, so erfährt der Körper den Kraftstoß $\vec{F} \cdot \Delta t$.

$\vec{F} \cdot \Delta t$ ist der durch eine konstante Kraft $\vec{F}$ in der Zeitdauer Δt auf einen Körper ausgeübte Kraftstoß,

$$\vec{F} \cdot \Delta t = \Delta \vec{p}$$

$\Delta \vec{p}$ die Impulsänderung, die der Körper durch diesen Kraftstoß erfährt.

Verallgemeinerung auf nicht konstante Kräfte

Wirkt auf einen Körper in einem Zeitintervall $[t_1; t_2]$ eine sich mit der Zeit t ändernde Kraft $\vec{F}(t)$, so erfährt der Körper den Kraftstoß $\int_{t_1}^{t_2} \vec{F}(t) dt$.

5.3 Impulserhaltungssatz

In einem abgeschlossenen System bleibt der Gesamtimpuls, d. h. die Summe der Impulse $\vec{p}_i$ aller n zum System gehörenden Körper, erhalten.

$$\sum_{i=1}^n \vec{p}_i = \overrightarrow{\text{konst.}}$$

6 Dynamik von Flüssigkeiten und Gasen

6.1 Volumenstrom

Q ist der Volumenstrom bei konstanter Strömungsgeschwindigkeit,
 ΔV das Volumen, welches nach der Zeitdauer Δt die Querschnittsfläche A durchströmt hat,
 Δt die Zeitdauer.

$$Q = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

6.2 Strömungsgeschwindigkeit

Q ist der Volumenstrom bei konstanter Strömungsgeschwindigkeit,
 v der Betrag der konstanten Strömungsgeschwindigkeit $\vec{v}$,
 A der Flächeninhalt der Strömungsquerschnittsfläche.

$$Q = v \cdot A$$

6.3 Bernoulligleichung

Für eine reibungsfreie Strömung gilt:

p_{ges} ist der Gesamtdruck,
 p der statische Druck,
 p_s der Schweredruck,
 p_{st} der Staudruck (dynamische Druck).

$$p_{\text{ges}} = p + p_s + p_{\text{st}} = \text{konst.}$$

p_{st} ist der Staudruck (dynamische Druck),
 ρ die Dichte,
 v der Betrag der konstanten Strömungsgeschwindigkeit $\vec{v}$.

$$p_{\text{st}} = \frac{1}{2} \rho \cdot v^2$$

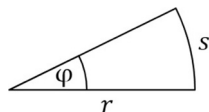
p_s ist der Schweredruck,
 ρ die Dichte,
 g der Ortsfaktor (Betrag der Fallbeschleunigung),
 h die Höhe gegenüber dem Bezugsniveau.

$$p_s = \rho \cdot g \cdot h$$

7 Kreisbewegung mit konstanter Winkelgeschwindigkeit

7.1 Winkel im Bogenmaß

- φ ist ein Winkel im Bogenmaß,
 s die Länge des zugehörigen Kreisbogens,
 r der Radius des Kreises.



$$\varphi = \frac{s}{r}$$

7.2 Winkelgeschwindigkeit

- ω ist die Winkelgeschwindigkeit,
 Δt die Länge eines Zeitintervalls,
 $\Delta \varphi$ die Änderung des Winkels in diesem Zeitintervall.

$$\omega = \frac{\Delta \varphi}{\Delta t}$$

7.3 Frequenz und Umlaufdauer

- f ist die (Umlauf-)Frequenz,
 n die Anzahl der Umläufe auf einer Kreisbahn,
 Δt die Zeitdauer, die der Körper für n Umläufe benötigt,
 T die Zeitdauer, die der Körper für einen Umlauf benötigt (Umlaufdauer).

$$f = \frac{n}{\Delta t}$$

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

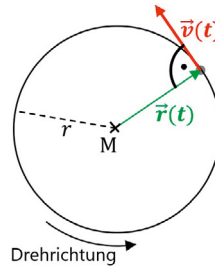
7.4 Zusammenhänge zwischen Winkelgeschwindigkeit, Frequenz und Umlaufdauer

- ω ist die Winkelgeschwindigkeit,
 f die Frequenz der Kreisbewegung,
 T die zugehörige Umlaufdauer.

$$\omega = 2\pi \cdot f = \frac{2\pi}{T}$$

7.5 Bahngeschwindigkeit

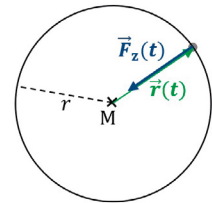
- v ist der konstante Betrag der Bahngeschwindigkeit $\vec{v}$,
 r ist der Radius der Kreisbahn,
 ω die Winkelgeschwindigkeit,
 $\vec{v}(t)$ die Bahngeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Zeit t ,
 $\vec{r}(t)$ der Ort in Abhängigkeit von der Zeit t .



$$v = r \cdot \omega$$

7.6 Zentripetalbeschleunigung und Zentripetalkraft

- $\vec{F}_z(t)$ ist die Zentripetalkraft in Abhängigkeit von der Zeit t ,
 $\vec{a}_z(t)$ die Zentripetalbeschleunigung in Abhängigkeit von der Zeit t ,
 a_z der konstante Betrag der Zentripetalbeschleunigung $\vec{a}_z$,
 F_z der konstante Betrag der Zentripetalkraft $\vec{F}_z$,
 m die Masse eines Körpers,
 r der Radius einer Kreisbahn,
 ω die Winkelgeschwindigkeit,
 v der Betrag der Bahngeschwindigkeit $\vec{v}$.



$$\vec{F}_z(t) = m \cdot \vec{a}_z(t)$$

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

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

8 Mechanische Schwingungen

8.1 Lineares Kraftgesetz bei einer ungedämpften, harmonischen linearen Schwingung

$F_x(t)$ ist die x -Koordinate der rücktreibenden Kraft $\vec{F}(t)$ in Abhängigkeit von der Zeit t ,

D die Richtgröße des schwingungsfähigen Systems,

$x(t)$ die Elongation bezüglich der Ruhelage in Abhängigkeit von der Zeit t .



$$F_x(t) = -D \cdot x(t)$$

8.2 Differenzialgleichung einer harmonischen Schwingung

m ist die Masse eines schwingenden Körpers,

$\ddot{x}(t)$ die x -Koordinate der Beschleunigung, die der Körper erfährt, in Abhängigkeit von der Zeit t ,

D die Richtgröße des schwingungsfähigen Systems,

$x(t)$ die Elongation in Abhängigkeit von der Zeit t .

$$m \cdot \ddot{x}(t) + D \cdot x(t) = 0$$

8.3 Allgemeine Lösung der Differenzialgleichung einer harmonischen Schwingung

$x(t)$ ist die Elongation in Abhängigkeit von der Zeit t ,

$\hat{x}$ die Amplitude der Schwingung,

ω die Kreisfrequenz,

φ_0 die Schwingungsphase zum Zeitpunkt $t_0 = 0$,

T die Periodendauer,

f die Frequenz.

$$x(t) = \hat{x} \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi_0)$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi \cdot f$$

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

8.4 Periodendauer einer harmonischen Schwingung

T ist die Periodendauer einer harmonischen Schwingung,

m die Masse des schwingenden Körpers,

D die Richtgröße des schwingungsfähigen Systems.

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



9 Mechanische Wellen – Akustik

9.1 Fortschreitende Wellen

Betrag der Ausbreitungsgeschwindigkeit einer Welle

- c ist der Betrag der Ausbreitungsgeschwindigkeit einer Welle,
 f die Frequenz,
 λ die Wellenlänge.

$$c = \lambda \cdot f$$

Wellengleichung einer fortschreitenden mechanischen Querwelle

Die Welle schreitet längs der x -Achse eines kartesischen Koordinatensystems in Richtung zunehmender x -Werte fort. Das von der Welle erfasste Teilchen an der Stelle $x_0 = 0$ bewegt sich zum Zeitpunkt $t_0 = 0$ durch die Nulllage in Orientierung der y -Achse.

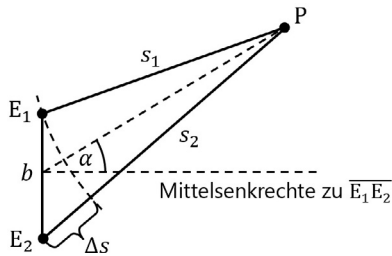
$y(x; t)$ ist die Elongation eines Teilchens in Abhängigkeit vom Ort x und von der Zeit t ,

- $\hat{y}$ die Amplitude,
 T die Periodendauer der Schwingung des Teilchens,
 λ die Wellenlänge.

$$y(x; t) = \hat{y} \cdot \sin \left[2\pi \cdot \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right) \right]$$

9.2 Interferenz zweier Kreiswellen

Von zwei punktförmigen Erregern E_1 und E_2 , die gleichphasig und mit gleicher Amplitude schwingen, gehen Kreiswellen mit gleicher Wellenlänge λ aus.



Weglängenunterschied Δs :

$\Delta s = s_2 - s_1$, wobei $s_2 = |\overline{E_2P}|$ und

$s_1 = |\overline{E_1P}|$.

Ist der Punkt P sehr weit von den beiden Erregern E_1 und E_2 entfernt ($s_1 \gg b$ und $s_2 \gg b$), so gilt:

$\Delta s \approx b \cdot \sin \alpha$.

Im Punkt P hat die Amplitude der Überlagerungsschwingung ein **Maximum** (konstruktive Interferenz), wenn gilt:

$$|\Delta s| = k \cdot \lambda$$

mit $k = 0, 1, 2, 3, \dots$

und ein **Minimum** (destruktive Interferenz), wenn gilt:

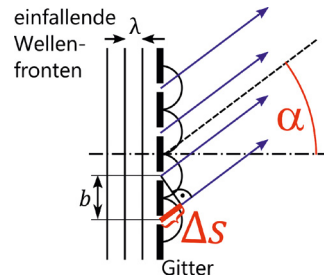
$$|\Delta s| = (2k - 1) \cdot \frac{\lambda}{2}$$

mit $k = 1, 2, 3, \dots$

Hinweis: Für die Beugung und Interferenz am Doppelspalt (Spaltmittenabstand b) gelten die gleichen Bedingungen für ein Maximum bzw. Minimum der Amplitude der Überlagerungsschwingung in einem Punkt P hinter dem Doppelspalt wie bei der Interferenz zweier Kreiswellen.

9.3 Beugung und Interferenz am Mehrfachspalt

- b ist die Gitterkonstante (Abstand zwischen zwei benachbarten Spaltmitten),
- λ die Wellenlänge der einfallenden Welle,
- Δs der Weglängenunterschied zwischen benachbarten Teilstrahlen zum unendlich weit entfernten Beobachtungspunkt,
- α der Winkel der Teilstrahlen zum Lot auf die Gitterebene.



Bedingung für die konstruktive Interferenz aller Teilstrahlen (Hauptmaxima)

- α_k sind die Winkel, unter denen jeweils ein Beugungsmaximum beobachtet wird,
- k ist die Ordnung des jeweiligen Maximums.

$$|\Delta s| = |b \cdot \sin \alpha_k| = k \cdot \lambda$$

mit $k = 0, 1, 2, 3, \dots$

9.4 Stehende Wellen

Wellengleichung einer linearen stehenden Querwelle

Eine stehende Welle entlang der x -Achse eines kartesischen Koordinatensystems, bei der sich an der Stelle $x_0 = 0$ einer deren Bäuche (Amplitudenmaximum) befindet und bei der sich das von der Welle erfasste Teilchen an der Stelle $x_0 = 0$ zum Zeitpunkt $t_0 = 0$ durch die Nulllage in Orientierung der y -Achse bewegt, lässt sich durch die folgende Gleichung beschreiben:

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

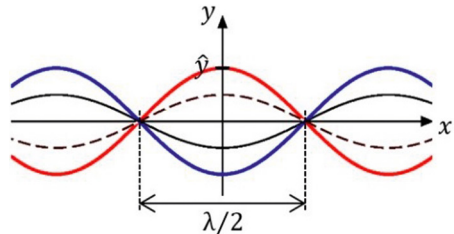
$y(x; t)$ ist die Elongation der Teilchen in Abhängigkeit vom Ort x und von der Zeit t ,

$\hat{y}$ die Amplitude,

λ die Wellenlänge,

T die Periodendauer der stehenden Welle.

Momentaufnahmen der durch diese Wellengleichung beschriebenen stehenden Welle für verschiedene Zeitpunkte:



Abstand der Bäuche (bzw. Knoten) einer stehenden Welle

d ist der Abstand zwischen zwei benachbarten Bäuchen (Amplitudenmaxima) bzw. zwischen zwei benachbarten Knoten (Amplitudenminima),

λ die Wellenlänge.

$$d = \frac{\lambda}{2}$$



Stehende Wellen bei einem beidseitig festen Wellenträger oder bei einem beidseitig offenen Wellenträger

- f_k ist die Frequenz der k -ten Oberschwingung,
 c der Betrag der Ausbreitungsgeschwindigkeit im Wellenträger,
 ℓ die Länge des Wellenträgers.

$$f_k = (k + 1) \cdot \frac{c}{2\ell}$$

mit $k = 0, 1, 2, 3, \dots$

Stehende Wellen bei einem einseitig offenen Wellenträger

- f_k ist die Frequenz der k -ten Oberschwingung,
 c der Betrag der Ausbreitungsgeschwindigkeit im Wellenträger,
 ℓ die Länge des Wellenträgers.

$$f_k = (2k + 1) \cdot \frac{c}{4\ell}$$

mit $k = 0, 1, 2, 3, \dots$

10 Grundlagen der Wärmelehre

10.1 Längen- und Volumenänderungen von Körpern bei Temperaturänderungen

Längenänderung fester Körper bei Temperaturänderung

Unter der Voraussetzung, dass sich ein fester Körper frei ausdehnen kann, gilt:

ℓ_2 ist die Länge des Körpers mit der Temperatur T_2 ,

$$\ell_2 = \ell_1 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T)$$

ℓ_1 dessen Länge bei der Temperatur T_1 ,

α der Längenausdehnungskoeffizient,

ΔT die Temperaturänderung ($\Delta T = T_2 - T_1$).

Volumenänderung fester, flüssiger und gasförmiger Körper bei Temperaturänderung

Unter der Voraussetzung, dass sich ein Körper frei ausdehnen kann, gilt:

V_2 ist das Volumen des Körpers mit der Temperatur T_2 ,

$$V_2 = V_1 \cdot (1 + \gamma \cdot \Delta T)$$

V_1 dessen Volumen bei der Temperatur T_1 ,

γ der Volumenausdehnungskoeffizient,

ΔT die Temperaturänderung ($\Delta T = T_2 - T_1$) bei konstantem Druck.

Für feste Körper gilt:

$$\gamma = 3\alpha$$

Für ein ideales Gas gilt:

$$\gamma = \frac{1}{273,15} \cdot \text{K}^{-1}$$

10.2 Zustandsgleichung eines idealen Gases

Der Zustand eines eingeschlossenen Gases ist durch die Zustandsgrößen Volumen V , Druck p und Temperatur T bestimmt.

Bei einer Zustandsänderung gilt:

$$\frac{p \cdot V}{T} = \text{konst.}$$

Somit gilt für die Zustandsgrößen eines solchen Gases in zwei unterschiedlichen Zuständen 1 und 2:

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2}$$

Spezialfälle:

Gesetz von Boyle-Mariotte

Die Temperatur T des eingeschlossenen Gases bleibt bei dieser Zustandsänderung konstant (**isotherme** Zustandsänderung).

Gesetz von Gay-Lussac

Der Druck p des eingeschlossenen Gases bleibt bei dieser Zustandsänderung konstant (**isobare** Zustandsänderung).

Gesetz von Amontons

Das Volumen V des eingeschlossenen Gases bleibt bei dieser Zustandsänderung konstant (**isochore** Zustandsänderung).

10.3 Wärme und Wärmekapazität

Wärme

Die Wärme Q ist ein Maß für die Energie, die von einem Körper (fest, flüssig, gasförmig) höherer Temperatur auf einen Körper niedrigerer Temperatur übertragen wird.

Spezifische Wärmekapazität

c ist die spezifische Wärmekapazität eines Stoffes (Materials), aus dem ein Körper besteht,

Q die von dem Körper aufgenommene oder abgegebene Wärme,

ΔT die dadurch verursachte Temperaturänderung,

m die Masse des Körpers.

$$c = \frac{Q}{m \cdot \Delta T}$$

11 Grundlagen der Elektrizitätslehre

11.1 Elektrische Stromstärke

$\bar{I}$ ist die mittlere Stromstärke in einem Leiter,

Δt die Länge eines Zeitintervalls,

ΔQ die elektrische Ladung, die in diesem Zeitintervall durch den Querschnitt des Leiters fließt,

$I(t)$ die Stromstärke in diesem Leiter in Abhängigkeit von der Zeit t .

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

$$I(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{d}{dt} Q(t) = \dot{Q}(t)$$

11.2 Elektrischer Widerstand

R ist der elektrische Widerstand (Leitungswiderstand),

U die am Leiter anliegende elektrische Spannung,

I die Stromstärke im Leiter.

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

Ohm'sches Gesetz

Für viele metallische Leiter gilt bei konstanter Temperatur: $R = \text{konst.}$
Einen solchen Leiter nennt man Ohm'schen Widerstand.

11.3 Elektrische Arbeit und Leistung eines konstanten Gleichstroms

W_{el} ist die während der Zeitdauer Δt verrichtete elektrische Arbeit,

U die an einem Leiter anliegende Spannung,

I die konstante Stromstärke im Leiter,

Δt die Zeitdauer, während der die elektrische Arbeit verrichtet wird,

P_{el} die elektrische Leistung.

$$W_{\text{el}} = U \cdot I \cdot \Delta t$$

$$P_{\text{el}} = U \cdot I$$

11.4 Reihen- und Parallelschaltung elektrischer Widerstände

$R_1, \dots, R_n$ sind die Einzelwiderstände,

$U_1, \dots, U_n$ die an den Widerständen $R_1, \dots, R_n$ abfallenden Spannungen,

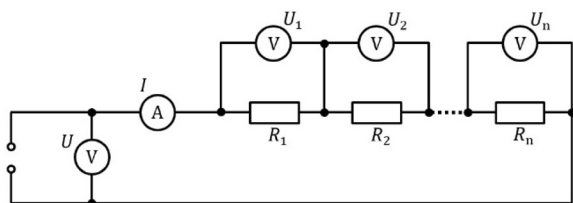
$I_1, \dots, I_n$ die Stromstärken in den Widerständen $R_1, \dots, R_n$,

R der Gesamtwiderstand der Schaltung,

U die anliegende Gesamtspannung,

I die Gesamtstromstärke.

Reihenschaltung

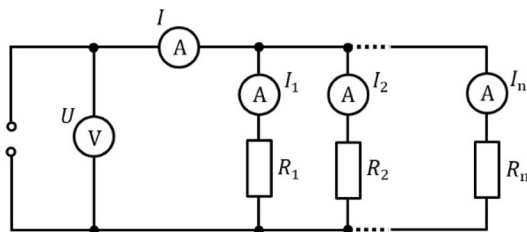


$$U = \sum_{i=1}^n U_i$$

$$R = \sum_{i=1}^n R_i$$

$$I = I_1 = I_2 = \dots = I_n$$

Parallelschaltung



$$I = \sum_{i=1}^n I_i$$

$$\frac{1}{R} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i}$$

$$U = U_1 = U_2 = \dots = U_n$$

12 Elektrisches Feld

12.1 Coulomb-Gesetz

Q_1, Q_2 sind zwei Punktladungen,

r ist der Abstand dieser Punktladungen,

ϵ_0 die elektrische Feldkonstante,

F der Betrag der elektrischen Kräfte (Coulombkräfte), die die beiden Punktladungen aufeinander ausüben.

$Q_1 Q_2 > 0$: Kräfte wirken abstoßend.

$Q_1 Q_2 < 0$: Kräfte wirken anziehend.

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

12.2 Elektrische Feldstärke, Spannung und Potenzial

Elektrische Feldstärke

$\vec{E}$ ist die elektrische Feldstärke,

q eine Probeladung,

$\vec{F}$ die auf die Probeladung wirkende elektrische Feldkraft.

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$$

Elektrische Spannung

U_{12} ist die elektrische Spannung zwischen einem Punkt P_1 und einem Punkt P_2 im elektrischen Feld,

q eine Probeladung,

W_{12} die Arbeit, die von der Feldkraft $\vec{F} = q \cdot \vec{E}$ beim Verschieben der Probeladung von P_1 nach P_2 verrichtet wird.

$$U_{12} = \frac{W_{12}}{q}$$

Elektrisches Potenzial

φ ist das elektrische Potenzial in einem Punkt P in Bezug auf einen beliebig gewählten Bezugspunkt P_0 mit dem Potenzial $\varphi_0 = 0$,

q eine Probeladung,

W die Arbeit, die von der Feldkraft $\vec{F} = q \cdot \vec{E}$ beim Verschieben der Probeladung von P nach P_0 verrichtet wird.

$$\varphi = \frac{W}{q}$$

Zusammenhang zwischen elektrischer Spannung und elektrischem Potenzial

- U_{12} ist die elektrische Spannung zwischen einem Punkt P_1 und einem Punkt P_2 ,
- φ_1 das elektrische Potenzial in P_1 ,
- φ_2 das elektrische Potenzial in P_2 in Bezug auf einen gemeinsamen Bezugspunkt P_0 mit dem Potenzial $\varphi_0 = 0$.

$$U_{12} = \varphi_1 - \varphi_2$$

12.3 Elektrische Feldstärke im radialsymmetrischen elektrischen Feld einer Punktladung (Coulomb-Feld)

- E ist der Betrag der elektrischen Feldstärke $\vec{E}$ in einem Punkt P ,
- Q eine Punktladung, die ein radialsymmetrisches elektrisches Feld erzeugt,
- r der Abstand des Punkts P von dieser Punktladung,
- ϵ_0 die elektrische Feldkonstante.

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

12.4 Homogenes elektrisches Feld eines Plattenkondensators

Elektrische Feldstärke im homogenen Feld eines Plattenkondensators

- E ist der Betrag der elektrischen Feldstärke $\vec{E}$,
- U die Spannung zwischen den beiden Kondensatorplatten,
- d der Plattenabstand.

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

12.5 Kondensator

Kapazität eines Kondensators

- C ist die Kapazität eines Kondensators,
 Q die im Kondensator gespeicherte Ladung,
 U die Spannung am Kondensator.

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

Kapazität eines Plattenkondensators

- C ist die Kapazität eines Plattenkondensators,
 A der Flächeninhalt einer Kondensatorplatte,
 d der Plattenabstand,
 ϵ_0 die elektrische Feldkonstante,
 ϵ_r die Permittivitätszahl (für Vakuum gilt: $\epsilon_r = 1$).

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

Energieinhalt des elektrischen Felds eines geladenen Kondensators

- W_{el} ist die im elektrischen Feld eines Kondensators gespeicherte Energie,
 C die Kapazität des Kondensators,
 U die Spannung am Kondensator.

$$W_{\text{el}} = \frac{1}{2} C \cdot U^2$$

13 Magnetisches Feld und Induktion

13.1 Kraft auf einen stromdurchflossenen, geraden Leiter im homogenen Magnetfeld

$\vec{F}$ ist die magnetische Kraft mit dem Betrag F auf ein gerades Leiterstück der Länge ℓ ,

I die Stromstärke in diesem Leiterstück,

$\vec{\ell}$ der Vektor mit dem Betrag ℓ , der in technischer Stromrichtung orientiert ist,

$\vec{B}$ die magnetische Flussdichte des homogenen Magnetfelds mit dem Betrag B .

Sonderfall $\vec{\ell} \perp \vec{B}$:

$$\vec{F} = I \cdot \vec{\ell} \times \vec{B}$$



$$F = I \cdot \ell \cdot B$$

13.2 Magnetische Flussdichte in einer lang gestreckten, stromdurchflossenen Spule

B ist der Betrag der magnetischen Flussdichte $\vec{B}$,

μ_0 die magnetische Feldkonstante,

μ_r die Permeabilitätszahl,

N die Windungszahl,

ℓ die Länge der Spule,

I die Stärke des Stroms durch die Spule.

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

13.3 Kraft auf ein geladenes Teilchen im homogenen Magnetfeld (Lorentzkraft)

$\vec{F}_L$ ist die Lorentzkraft mit dem Betrag F_L ,

q die Ladung des Teilchens,

$\vec{v}$ dessen Geschwindigkeit mit dem Betrag v ,

$\vec{B}$ die magnetische Flussdichte des homogenen Magnetfelds mit dem Betrag B .

Sonderfall $\vec{v} \perp \vec{B}$:

$$\vec{F}_L = q \cdot \vec{v} \times \vec{B}$$

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

13.4 Magnetische Induktion

Magnetischer Fluss

$\vec{B}$ ist die magnetische Flussdichte eines homogenen Magnetfelds mit dem Betrag B ,

$$\Phi = \vec{B} \circ \vec{A}$$

$\vec{A}$ der Normalenvektor eines ebenen Flächenstücks mit dem Betrag A , welcher gleich dem Inhalt des Flächenstücks ist,

Φ der magnetische Fluss durch dieses Flächenstück.

Sonderfall $\vec{B} \parallel \vec{A}$:

$$\Phi = B \cdot A$$

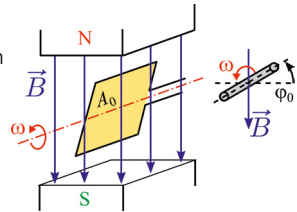
Magnetischer Fluss durch eine rotierende Leiterschleife im homogenen Magnetfeld

$\vec{B}$ ist die magnetische Flussdichte mit dem Betrag B ,

A_0 der Inhalt der von der Leiterschleife eingeschlossenen Fläche,

ω die Winkelgeschwindigkeit der Rotation,

φ_0 der Winkel zwischen der Lotebene zu $\vec{B}$ und der Leiterschleife zum Zeitpunkt $t_0 = 0$.



$\Phi(t)$ ist der magnetische Fluss in Abhängigkeit von der Zeit t ,

$$\Phi(t) = \hat{\Phi} \cdot \cos(\omega t + \varphi_0)$$

$$\hat{\Phi} = B \cdot A_0$$

$\hat{\Phi}$ der maximale Fluss durch die Leiterschleife.

Induktionsgesetz

- $U_i(t)$ ist die in einer Spule induzierte Spannung in Abhängigkeit von der Zeit t ,
- N_i die Windungszahl dieser Spule,
- $\dot{\Phi}(t)$ die zeitliche Ableitung des magnetischen Flusses Φ durch die Spule in Abhängigkeit von der Zeit t .

$$U_i(t) = -N_i \cdot \dot{\Phi}(t)$$

13.5 Spule im Stromkreis

Induktivität einer Spule

- L ist die Induktivität einer Spule,
- $U_i(t)$ die in dieser Spule durch die Stromstärkeänderung hervorgerufene Induktionsspannung (Selbstinduktionsspannung) in Abhängigkeit von der Zeit t ,
- $\dot{I}(t)$ die zeitliche Ableitung der Stärke I des Stroms durch die Spule in Abhängigkeit von der Zeit t .

$$L = - \frac{U_i(t)}{\dot{I}(t)}$$

Induktivität einer lang gestreckten Spule

- L ist die Induktivität der Spule,
- μ_0 die magnetische Feldkonstante,
- μ_r die Permeabilitätszahl,
- N die Windungszahl,
- ℓ die Länge,
- A der Flächeninhalt der Querschnittsfläche der Spule.

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

Energieinhalt des magnetischen Felds einer stromdurchflossenen Spule

- W_m ist die im Magnetfeld einer Spule gespeicherte Energie,
- L die Induktivität der Spule,
- I die Stärke des durch die Spule fließenden Stroms.

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

14 Elektromagnetischer Schwingkreis

14.1 Differenzialgleichung einer ungedämpften elektromagnetischen Schwingung

C ist die Kapazität des Kondensators,

L die Induktivität der Spule,

$Q(t)$ die Ladung des Kondensators in Abhängigkeit von der Zeit t ,

$\ddot{Q}(t)$ die zweite zeitliche Ableitung der Ladung Q in Abhängigkeit von der Zeit t .

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

14.2 Allgemeine Lösung der Differenzialgleichung der ungedämpften elektromagnetischen Schwingung

$Q(t)$ ist die Ladung des Kondensators in Abhängigkeit von der Zeit t ,

$\hat{Q}$ der maximale Betrag der Ladung Q des Kondensators,

ω die Kreisfrequenz,

φ_0 die (Schwingungs-)Phase zum Zeitpunkt $t_0 = 0$.

$$Q(t) = \hat{Q} \cdot \sin(\omega t + \varphi_0)$$

14.3 Thomson-Gleichung für die Periodendauer der ungedämpften elektromagnetischen Schwingung

T ist die Periodendauer der ungedämpften elektromagnetischen Schwingung,

L die Induktivität der Spule,

C die Kapazität des Kondensators.

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

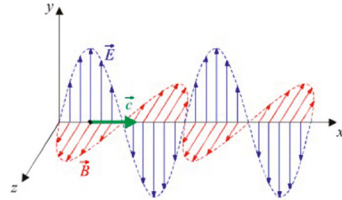
15 Elektromagnetische Wellen

15.1 Fortschreitende, linear polarisierte elektromagnetische Welle im Vakuum

$\vec{E}(x; t)$ ist die elektrische Feldstärke $\vec{E}$
in Abhängigkeit vom Ort x und von der Zeit t ,

$\vec{B}(x; t)$ die magnetische Flussdichte $\vec{B}$
in Abhängigkeit vom Ort x und von der Zeit t ,

$\vec{c}$ die Ausbreitungsgeschwindigkeit
(Vakuumlichtgeschwindigkeit).



Ausbreitungsgeschwindigkeit

c ist der Betrag der Ausbreitungsgeschwindigkeit
(Vakuumlichtgeschwindigkeit) $\vec{c}$,

λ die Wellenlänge,

f die Frequenz,

T die Periodendauer.

$$c = \lambda \cdot f = \frac{\lambda}{T}$$

Ausbreitungsgeschwindigkeit im Vakuum

c ist der Betrag der Ausbreitungsgeschwindigkeit
(Vakuumlichtgeschwindigkeit) $\vec{c}$,

ϵ_0 die elektrische Feldkonstante,

μ_0 die magnetische Feldkonstante.

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

Ausbreitungsgeschwindigkeit in einem nicht absorbierenden Medium

c_M ist der Betrag der Ausbreitungsgeschwindigkeit $\vec{c}_M$ in einem Medium,

ϵ_r die (frequenzabhängige) Permittivitätszahl
(dielektrische Funktion),

μ_r die Permeabilitätszahl (für Licht gilt bei
nicht magnetischen Materialien $\mu_r \approx 1$).

$$c_M = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_r \cdot \mu_r \cdot \epsilon_0 \cdot \mu_0}}$$

Ausbreitungsgeschwindigkeit und Brechungsindex

- c_M ist der Betrag der Ausbreitungsgeschwindigkeit $\vec{c}_M$ in einem Medium,
- c der Betrag der Ausbreitungsgeschwindigkeit $\vec{c}$ im Vakuum (Vakuumlichtgeschwindigkeit),
- n der Brechungsindex des Mediums.

$$c_M = \frac{c}{n}$$

Freie elektromagnetische Welle mit ebenen Wellenfronten

Eine in y -Richtung linear polarisierte, elektromagnetische Welle breitet sich längs der x -Achse eines kartesischen Koordinatensystems in Orientierung der x -Achse aus.

$$E(x; t) = \hat{E} \cdot \sin \left[2\pi \cdot \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right) \right]$$

- $E(x; t)$ ist die y -Koordinate der elektrischen Feldstärke $\vec{E}$ in Abhängigkeit vom Ort x und von der Zeit t ,
- $\hat{E}$ der maximale Betrag der elektrischen Feldstärke,
- T die Periodendauer,
- λ die Wellenlänge.

$$B(x; t) = \hat{B} \cdot \sin \left[2\pi \cdot \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right) \right]$$

- $B(x; t)$ ist die y -Koordinate der magnetischen Flussdichte $\vec{B}$ in Abhängigkeit vom Ort x und von der Zeit t ,
- $\hat{B}$ der maximale Betrag der magnetischen Flussdichte.

15.2 Dipolschwingungen

Frequenz der k-ten Oberschwingung eines Dipols

- f_k ist die Frequenz der k-ten Oberschwingung,
 f_0 die Frequenz der Grundschiwingung,
 c der Betrag der Vakuumlichtgeschwindigkeit $\vec{c}$,
 ℓ die Länge des Dipols.

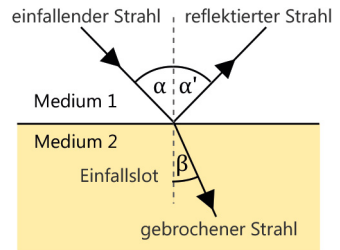
$$f_k = (k + 1) \cdot \frac{c}{2\ell}$$

$$k = 0, 1, 2, 3, \dots$$

16 Geometrische Optik

16.1 Reflexion und Brechung

- α ist der Einfallswinkel,
 α' der Reflexionswinkel,
 β der Brechungswinkel.



Reflexionsgesetz

$$\alpha = \alpha'$$

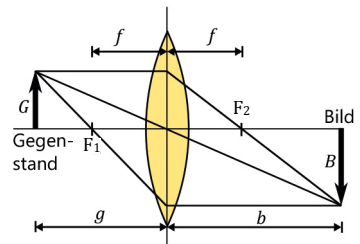
Brechungsgesetz

- n_1 ist die Brechzahl des Mediums 1,
 n_2 die Brechzahl des Mediums 2.

$$n_1 \cdot \sin \alpha = n_2 \cdot \sin \beta$$

16.2 Abbildungsgleichungen für dünne Linsen

- F_1, F_2 sind die Brennpunkte der Linse,
 f ist die Brennweite der Linse,
 G die Gegenstandsgröße,
 g die Gegenstandsweite,
 B die Bildgröße,
 b die Bildweite.



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

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

17 Spezielle Relativitätstheorie

17.1 Lorentzfaktor

- γ ist der Lorentzfaktor,
 v der Betrag der Geschwindigkeit $\vec{v}$,
 c der Betrag der Vakuumlichtgeschwindigkeit $\vec{c}$.

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

17.2 Geschwindigkeitsabhängigkeit der Masse

- m ist die relativistische Masse,
 γ der Lorentzfaktor,
 m_0 die Ruhemasse.

$$m = \gamma \cdot m_0$$

17.3 Relativistischer Impuls

- p ist der Betrag des Impulses $\vec{p}$,
 m die relativistische Masse,
 v der Betrag der Geschwindigkeit $\vec{v}$,
 γ der Lorentzfaktor,
 m_0 die Ruhemasse.

$$p = m \cdot v = \gamma \cdot m_0 \cdot v$$

17.4 Relativistische Energie

- E_0 ist die Ruheenergie,
 E die Gesamtenergie,
 E_{kin} die kinetische Energie,
 m_0 die Ruhemasse,
 m die relativistische Masse,
 c der Betrag der Vakuumlichtgeschwindigkeit $\vec{c}$.

$$\begin{aligned}
 E_0 &= m_0 \cdot c^2 \\
 E &= m \cdot c^2 \\
 E_{\text{kin}} &= E - E_0
 \end{aligned}$$

Beziehung zwischen dem relativistischen Impuls und der relativistischen Energie

- E ist die Gesamtenergie,
 E_0 die Ruheenergie,
 c der Betrag der Vakuumlichtgeschwindigkeit $\vec{c}$,
 p der Betrag des relativistischen Impulses $\vec{p}$.

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

18 Quantenphysik

18.1 Photonen

Energie eines Photons

- E_{Ph} ist die Energie eines Photons,
 h das Planck'sche Wirkungsquantum,
 f die Frequenz der elektromagnetischen Strahlung.

$$E_{\text{Ph}} = h \cdot f$$

Impuls eines Photons

- p ist der Betrag des Impulses $\vec{p}$ eines Photons,
 h das Planck'sche Wirkungsquantum,
 f die Frequenz,
 c der Betrag der Vakuumlichtgeschwindigkeit $\vec{c}$,
 λ die Wellenlänge der elektromagnetischen Strahlung.

$$p = \frac{h \cdot f}{c} = \frac{h}{\lambda}$$

Masse eines Photons

- m ist die Masse eines Photons,
 h das Planck'sche Wirkungsquantum,
 f die Frequenz der elektromagnetischen Strahlung,
 c der Betrag der Vakuumlichtgeschwindigkeit $\vec{c}$.

$$m = \frac{h \cdot f}{c^2}$$

18.2 Äußerer lichtelektrischer Effekt (Einstein-Gleichung)

- $E_{\text{kin,max}}$ ist die maximale kinetische Energie der aus dem Material ausgelösten Fotoelektronen,
 h das Planck'sche Wirkungsquantum,
 f die Frequenz der auf die Materie einfallenden elektromagnetischen Strahlung,
 W die materialabhängige Austrittsarbeit.

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

18.3 Wellenlänge einer Materiewelle (de Broglie-Welle)

- λ ist die Wellenlänge einer Materiewelle,
 h das Planck'sche Wirkungsquantum,
 p der Betrag des Impulses $\vec{p}$ der Teilchen.

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

18.4 Heisenberg'sche Unbestimmtheitsrelation (Unschärferelation)

- Δx ist die Unbestimmtheit der x -Koordinate des Ortes $\vec{r}$ eines Teilchens,
 Δp_x die Unbestimmtheit der x -Koordinate des Impulses $\vec{p}$ des Teilchens,
 h das Planck'sche Wirkungsquantum.

$$\Delta x \cdot \Delta p_x \geq \frac{h}{2\pi}$$

18.5 Eindimensionale, zeitunabhängige Schrödingergleichung

- $\psi(x)$ ist die zeitunabhängige Wellenfunktion (ψ -Funktion) eines Teilchens in Abhängigkeit von x ,

$$\psi''(x) + \frac{8\pi^2 m}{h^2} \cdot (E - V(x)) \cdot \psi(x) = 0$$

- $\psi''(x)$ die zweite Ableitung der Wellenfunktion ψ nach x ,
 E die Gesamtenergie des Teilchens,
 $V(x)$ die Potenzialfunktion in Abhängigkeit von x ,
 m die Masse des Teilchens,
 h das Planck'sche Wirkungsquantum.

19 Atomphysik

19.1 Energiestufen des Elektrons im Wasserstoffatom

E_n ist die Gesamtenergie eines Elektrons auf der Energiestufe mit der Quantenzahl n , wobei die potenzielle Energie des Elektrons in unendlich großer Entfernung vom Kern gleich Null ist,

$$E_n = -R_H \cdot h \cdot c \cdot \frac{1}{n^2}$$

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

R_H die Rydberg-Konstante für das Wasserstoffatom,

h das Planck'sche Wirkungsquantum,

c der Betrag der Vakuumlichtgeschwindigkeit $\vec{c}$,

n die (Haupt-)Quantenzahl der Energiestufe.

19.2 Allgemeine Serienformel für das Linienspektrum im Wasserstoffatom

λ ist die Wellenlänge der emittierten elektromagnetischen Strahlung,

R_H die Rydberg-Konstante für das Wasserstoffatom,

n, m sind die Quantenzahlen der Energiestufen im Wasserstoffatom mit $m > n$.

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

19.3 Moseley-Gesetz für die K_α -Linie im Röntgenspektrum

λ ist die Wellenlänge der emittierten Röntgenstrahlung,

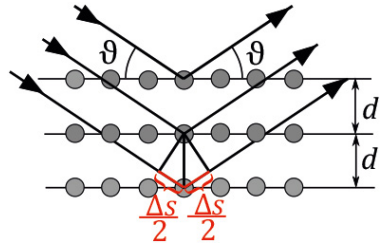
R die Rydberg-Konstante,

Z die Ordnungszahl des Anodenmaterials der Röntgenröhre.

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{3}{4} R \cdot (Z - 1)^2$$

19.4 Bragg-Bedingung für ein Kristallgitter

- d ist der Netzebenenabstand,
 ϑ der Glanzwinkel, unter dem alle reflektierten Teilstrahlen konstruktiv interferieren,
 Δs der Gangunterschied zwischen den an benachbarten Netzebenen reflektierten Teilstrahlen.



$$\Delta s = k \cdot \lambda = 2d \cdot \sin \vartheta$$

mit $k = 1, 2, 3 \dots$

20 Kernphysik

20.1 Berechnung des Massendefekts eines Atomkerns aus Atommassen

$$B = Z \cdot m_A({}_1^1\text{H}) + (A - Z) \cdot m_n - m_A({}_Z^AX)$$

B ist der Massendefekt,

Z die Kernladungszahl,

A die Massenzahl,

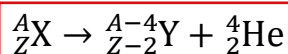
m_n die Masse eines Neutrons,

$m_A({}_1^1\text{H})$ die Atommasse von Wasserstoff,

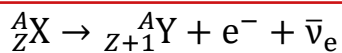
$m_A({}_Z^AX)$ die Masse des Atoms mit dem Kern ${}_Z^AX$.

20.2 Radioaktivität

α -Zerfall:



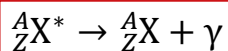
β^- -Zerfall:



β^+ -Zerfall:



γ -Übergang:



Aktivität einer radioaktiven Substanz

$A(t)$ ist die Aktivität der radioaktiven Substanz in Abhängigkeit von der Zeit t ,

$$A(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta Z}{\Delta t} = \frac{d}{dt} Z(t) = \dot{Z}(t)$$

ΔZ die Anzahl der Zerfälle radioaktiver Atome im Zeitintervall $[t; t + \Delta t]$,

$\dot{Z}(t)$ die Zerfallsrate in Abhängigkeit von der Zeit t .

Zerfallsgesetz

$N(t)$ ist die Anzahl der noch nicht zerfallenen Kerne in Abhängigkeit von der Zeit t ,

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

N_0 die Anzahl der zum Zeitpunkt $t_0 = 0$ vorhandenen radioaktiven Kerne,

λ die Zerfallskonstante.

Abhängigkeit der Aktivität von der Zeit

$A(t)$ ist die Aktivität einer radioaktiven Substanz in Abhängigkeit von der Zeit t ,

$$A(t) = |\dot{N}(t)| = \lambda \cdot N(t)$$

$N(t)$ die Anzahl der noch nicht zerfallenen radioaktiven Kerne in Abhängigkeit von der Zeit t ,

$\dot{N}(t)$ die Änderungsrate von N in Abhängigkeit von der Zeit t ,

λ die Zerfallskonstante.

Halbwertszeit

$T_{1/2}$ ist die Halbwertszeit,

λ die Zerfallskonstante.

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

Dosimetrie: Energiedosis und Äquivalentdosis

- D ist die von einem Körper
aufgenommene Energiedosis,
 E die von diesem Körper absorbierte Energie,
 m die Masse des Körpers.

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

- H ist die Äquivalentdosis,
 q der biologische Bewertungsfaktor,
 D die Energiedosis.

$$H = q \cdot D$$

Technologie/ Naturwissenschaften

1 Technische Mechanik – Statik

1.1 Grundgleichungen

Ein starrer Körper ist im Gleichgewicht, wenn alle am Körper angreifende Kräfte und Momente sich gegenseitig aufheben. Es gilt im kartesischen Koordinatensystem:

allgemeines ebenes Kräftesystem:

$$\Sigma F_x = 0 \quad \Sigma F_y = 0 \quad \Sigma M = 0$$

allgemeines räumliches Kräftesystem:

$$\begin{aligned} \Sigma F_x &= 0 & \Sigma F_y &= 0 & \Sigma F_z &= 0 \\ \Sigma M_x &= 0 & \Sigma M_y &= 0 & \Sigma M_z &= 0 \end{aligned}$$

1.2 Kräftezerlegung in zueinander senkrechten Komponenten

F_x ist der Betrag der Kraftkomponente $\vec{F}_x$,

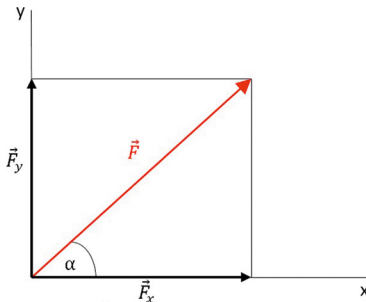
F_y der Betrag der Kraftkomponente $\vec{F}_y$,

α die Richtung der Kraft $\vec{F}$,

F der Betrag der Kraft $\vec{F}$.

$$F_x = F \cdot \cos \alpha$$

$$F_y = F \cdot \sin \alpha$$



$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}$$

$$\alpha = \arctan \left(\frac{F_y}{F_x} \right)$$

1.3 Ersatzkraft und Ersatzmoment bei Einzelkräften

$\vec{F}_R$ ist die resultierende Ersatzkraft des allgemeinen Kräftesystems,

$\vec{F}_i$ die i-te Einzelkraft dieses Systems.

M_R ist das resultierende Moment des ebenen Kraftsystems,

M_i das i-te Moment dieses Systems.

$$\vec{F}_R = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i$$

$$M_R = \sum_{i=1}^n M_i$$

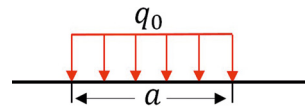
1.4 Ersatzkraft bei Streckenlasten

F_R ist der Betrag der resultierenden Ersatzkraft,

q_0 der Betrag der zugehörigen konstanten Streckenlast,

a die Länge der Belastung.

$$F_R = q_0 \cdot a$$

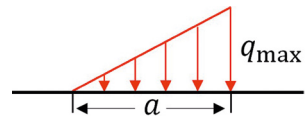


F_R ist der Betrag der resultierenden Ersatzkraft,

$q_{\max}$ der maximale Betrag der linearen Streckenlast,

a die Länge der Belastung.

$$F_R = \frac{1}{2} \cdot (q_{\max} \cdot a)$$



F_R ist der Betrag der resultierenden Ersatzkraft,

L die Länge der Belastung,

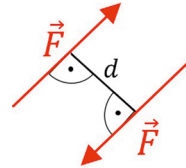
$q(x)$ der Betrag der allgemeinen Streckenlast.

$$F_R = \int_{(L)} q(x) dx$$

1.5 Kräftepaare

- M ist der Betrag des Moments,
 F der Betrag der zugehörigen Kraft $\vec{F}$,
 d der Abstand betragsgleicher entgegengesetzt wirkender paralleler Kräfte.

$$M = F \cdot d$$



1.6 Statische Bestimmtheit ebener Kräftesysteme

- n ist der Grad der statischen Bestimmtheit,
 a die Anzahl der Auflagerreaktionen,
 z die Anzahl der Zwischenreaktionen,
 p die Anzahl der starren Scheiben.

$$n = a + z - 3 \cdot p$$

1.7 Statische Bestimmtheit ebener Fachwerke

- s ist die Anzahl der Fachwerkstäbe,
 k die Anzahl der Knotenpunkte des ebenen Fachwerks.

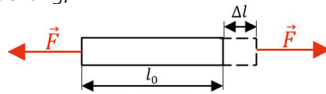
$$s = 2k - 3$$

2 Technische Mechanik – Festigkeitslehre

2.1 Zug- und Druckbeanspruchung

Die Gleichungen gelten entsprechend auch für Druckbeanspruchung.

- σ_z ist die Zugspannung (= Normalspannung),
 F_z der Betrag der äußeren Zugkraft (= Normalkraft),
 S der Flächeninhalt des Profilquerschnitts.
 ε ist die Dehnung bei Zugbeanspruchung,
 Δl die zugehörige Verlängerung,
 l_0 die Anfangslänge.



$$\sigma_z = \frac{F_z}{S}$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$$

- σ_z ist die Zugspannung (= Normalspannung),
 ε die Dehnung,
 E der Elastizitätsmodul des verwendeten Werkstoffs.

$$\sigma_z = \varepsilon \cdot E$$

- l_r ist die Reißlänge,
 R_m die Zugfestigkeit des verwendeten Werkstoffs,
 ρ die Dichte des verwendeten Werkstoffs,
 g der Ortsfaktor.

$$l_r = \frac{R_m}{\rho \cdot g}$$

- $\sigma_{z,zul}$ ist die zulässige Zugspannung,
 R_e die Streckgrenze des verwendeten Werkstoffs,
 v die Sicherheitszahl.

$$\sigma_{z,zul} = \frac{R_e}{v}$$

Regel: Bei statischer Belastung gilt für zähe Werkstoffe: $\sigma_{z,zul} \approx (0,4 \text{ bis } 0,6) \cdot R_m$

2.2 Scherbeanspruchung

τ_a ist die Abscherspannung (= Schubspannung),
 F_a der Betrag der äußeren Scherkraft,
 S der Flächeninhalt des Scherquerschnitts.

$$\tau_a = \frac{F_a}{S}$$

τ_a ist die Abscherspannung (= Schubspannung),
 γ die Gleitung,
 G der Schubmodul des verwendeten Werkstoffs
 (andere übliche Bezeichnung: Gleitmodul).

$$\tau_a = \gamma \cdot G$$

Für die meisten Metalle gilt:

$$G = 0,385 \cdot E$$

Bruchscherfestigkeit für Stahl:

$$\tau_{aB} \approx 0,85 \cdot R_m$$

2.3 Biegebeanspruchung

σ_b ist die Biegespannung,
 $M_b(x)$ das Biegemoment an der Stelle x ,
 W das axiale Widerstandsmoment,
 bezogen auf die Schwerpunktachse.

$$\sigma_b = \frac{M_b(x)}{W}$$

W ist das axiale Widerstandsmoment, bezogen
 auf die Schwerpunktachse,
 I das zugehörige axiale Flächenmoment 2. Ord.,
 $e_{\max}$ der Abstand der Schwerpunktachse zur äußersten
 Randfaser des Profilquerschnitts.

$$W = \frac{I}{e_{\max}}$$

Verschiebungssatz von Steiner

- I_y ist das axiale Flächenmoment 2. Ord.,
 I_{ys} das axiale Flächenmoment 2. Ord., bezogen auf die Schwerpunktschse,
 z_s der Abstand zur Schwerpunktschse,
 A der Flächeninhalt des Profilquerschnitts.

$$I_y = I_{ys} + z_s^2 \cdot A$$

analog für I_z

Durchbiegung

- w ist die Durchbiegung (Formänderung),
 F die mittig angreifende Einzelkraft eines zweiseitig gelagerten Trägers,
 l die Länge des Trägers,
 E der E-Modul des Trägerwerkstoffs,
 I das axiale Flächenmoment 2. Ord.,
 x der Abstand zum Auflager.

$$w = \frac{Fl^2x}{3EI} \left[1 - \frac{4}{3} \left(\frac{x}{l} \right)^2 \right]$$

$x < \frac{l}{2}$

2.4 Torsionsbeanspruchung

- τ_t ist die Torsionsspannung im Profilquerschnitt,
 M_t das Torsionsmoment,
 W_p das polare Widerstandsmoment.

$$\tau_t = \frac{M_t}{W_p}$$

- W_p ist das polare Widerstandsmoment,
 I_p das zugehörige polare Flächenmoment 2. Ord.,
 $r_{\max}$ der Abstand der Schwerpunktschse zur äußersten Randfaser des Profilquerschnitts.

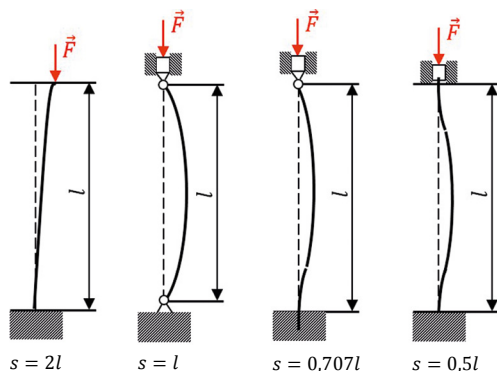
$$W_p = \frac{I_p}{r_{\max}}$$

- I_p ist das polare Flächenmoment 2. Ord.,
 I_y das axiale Flächenmoment der y-Schwerpunktschse,
 I_z das axiale Flächenmoment der z-Schwerpunktschse.

$$I_p = I_y + I_z$$

2.5 Knickung (nach Euler)

Fälle:



F_K ist der Betrag der Knickkraft $\vec{F}$ nach Euler,
 E der Elastizitätsmodul des Werkstoffs,
 $I_{\min}$ das kleinste Flächenmoment 2. Ord.,
 s die freie Knicklänge des Stabes.

$$F_K = \frac{E \cdot I_{\min} \cdot \pi^2}{s^2}$$

σ_K ist die Knickspannung nach Euler,
 E der Elastizitätsmodul des Werkstoffs,
 λ der Schlankheitsgrad.

$$\sigma_K = \frac{E \cdot \pi^2}{\lambda^2}$$

λ ist der Schlankheitsgrad,
 s die freie Knicklänge,
 i der Trägheitsradius des Stabes.

$$\lambda = \frac{s}{i}$$

i ist der Trägheitsradius des Stabes,
 I das zugehörige Flächenmoment 2. Ord.,
 A der Flächeninhalt des Stabquerschnitts.

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

2.6 Flächenpressungen

Flächenpressung an ebenen Flächen

- σ_p ist die Flächenpressung,
 F der Betrag der äußeren Kraft,
 A der Flächeninhalt der ebenen Oberfläche.

$$\sigma_p = \frac{F}{A}$$

Flächenpressung an geneigten Flächen

- σ_p ist die Flächenpressung,
 F der Betrag der äußeren Kraft,
 A_p der Flächeninhalt der orthogonalen Projektion der Oberfläche.

$$\sigma_p = \frac{F}{A_p}$$

Flächenpressung an metrischen Gewinden

- A_p ist die Summe der orthogonal projizierten Flächeninhalte der Flankenüberdeckung der Gewindegänge,
 i die Anzahl der Gewindegänge,
 d_2 der Flankendurchmesser,
 H_1 die Flankenüberdeckung.

$$A_p = i \cdot \pi \cdot d_2 \cdot H_1$$

- σ_{pG} ist die Flächenpressung am Gewinde,
 F der Betrag der äußeren Kraft,
 A_p die Summe der orthogonal projizierten Flächeninhalte der Flankenüberdeckung der Gewindegänge.

$$\sigma_{pG} = \frac{F}{A_p}$$

Flächenpressung an gewölbten Flächen (Lochleibung)

σ_{pm} ist die mittlere Flächenpressung,

F der Betrag der äußeren Kraft,

A_p der Flächeninhalt der orthogonalen Projektion der gewölbten Fläche.

$$\sigma_{pm} = \frac{F}{A_p}$$

σ_{pm} ist die mittlere Flächenpressung,

F der Betrag der äußeren Kraft,

d der Durchmesser,

s die Höhe der zylindrisch gewölbten Fläche.

$$\sigma_{pm} = \frac{F}{d \cdot s}$$

3 Energietechnik

3.1 Mechanischer Wirkungsgrad

- η ist der mechanische Wirkungsgrad des Energieumwandlungssystems (EUS),
 P_{ab} die aus dem System abgeführte Leistung,
 P_{zu} die dem System zugeführte Leistung.

$$\eta = \frac{P_{ab}}{P_{zu}}$$

analog für E und W

3.2 Energieformen

Chemische Energie

- Q_{ch} ist die chemische Energie,
 m die Masse,
 H der Heizwert des festen bzw. flüssigen Brennstoffs.

$$Q_{ch} = m \cdot H$$

- Q_{ch} ist die chemische Energie,
 V das Volumen,
 H der Heizwert des gasförmigen Brennstoffs.

$$Q_{ch} = V \cdot H$$

Wärmeenergie

- Q ist die zu- bzw. abgeführte Wärme,
 m die Masse der Substanzmenge,
 c die spezifische Wärmekapazität,
 ΔT die Temperaturerhöhung bzw. -erniedrigung.

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

Potenzielle Energie

E_{pot} ist die Lageenergie der Erdanziehung,
 m die Masse des Körpers,
 g der Ortsfaktor,
 h die Höhe über einem Bezugsniveau.

$$E_{\text{pot}} = m \cdot g \cdot h$$

E_s ist die Spannenergie,
 D die Federkonstante (= Federhärte),
 s der Federweg einer gestreckten/gestauchten Feder.

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

E_p ist die Druckenergie eines idealen Gases,
 p der Druck,
 ΔV die zugehörige Volumenänderung.

$$E_p = p \cdot \Delta V$$

Kinetische Energie

E_{kin} ist die kinetische Energie,
 m die Masse des Körpers,
 v der Betrag seiner Geschwindigkeit.

$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

Elektrische Energie und Leistung

Gleichstrom

E_{el} ist die elektrische Energie,
 U die Spannung am Leiter,
 I die Stromstärke durch den Leiter,
 Δt die Zeitdauer des Stromflusses.

$$E_{\text{el}} = U \cdot I \cdot \Delta t$$

P ist die elektrische Leistung des Gleichstroms,
 U die Spannung am Leiter,
 I die Stromstärke durch den Leiter.

$$P_{\text{el}} = U \cdot I$$

Wechselstrom

- P ist die Wirkleistung,
 U die effektive Spannung am Leiter,
 I die effektive Stromstärke durch den Leiter,
 $\cos\varphi$ der Leistungsfaktor.

$$P = U \cdot I \cdot \cos\varphi$$

Drehstrom

- P ist die Wirkleistung,
 U die effektive Spannung am Leiter,
 I die effektive Stromstärke durch den Leiter,
 $\cos\varphi$ der Leistungsfaktor.

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos\varphi$$

Strahlungsenergie eines Photons

- E_{st} ist die Strahlungsenergie eines Photons,
 h das Planck'sche Wirkungsquantum,
 f die Frequenz der Strahlung.

$$E_{\text{st}} = h \cdot f$$

Kernenergie

- E_{b} ist die Bindungsenergie aller Nukleonen eines Atoms,
 B ist der Massendefekt,
 c die Lichtgeschwindigkeit im Vakuum.

$$E_{\text{b}} = B \cdot c^2$$

3.3 Leistung, Erträge und Kenngrößen von technischen Systemen

Windleistung einer WEA

- P_{w} ist die Windleistung,
 ρ die Dichte der Luft,
 A der durchströmte Rotorflächeninhalt,
 v die Windgeschwindigkeit.

$$P_{\text{w}} = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot v^3$$

Leistung von Wasserkraftturbinen

- P_T ist die Turbinenleistung,
 $\dot{V}$ der Volumenstrom des Wassers,
 ρ die Dichte,
 g der Ortsfaktor,
 h die Fallhöhe über einem Bezugsniveau.

$$P_T = \dot{V} \cdot \rho \cdot g \cdot h$$

Verbrennungskraftmaschinen

Hubraum und Verbrennungsraum

- V_h ist der Hubraum zwischen UT und OT,
 d der Zylinderdurchmesser,
 s der Hub des Kolbens.
 V_H ist der Gesamthubraum,
 z die Zylinderanzahl des Motors.

$$V_h = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot s$$

$$V_H = V_h \cdot z$$

- $V_{b_{\max}}$ ist der maximale Verbrennungsraum,
 $V_{b_{\min}}$ der minimale Verbrennungsraum,
 V_h der Hubraum zwischen UT und OT,
 V_c der Verdichtungsraum des Zylinders.

$$V_{b_{\max}} = V_h + V_c$$

$$V_{b_{\min}} = V_c$$

- ε ist das Verdichtungsverhältnis,
 V_h der Hubraum zwischen UT und OT,
 V_c der Verdichtungsraum des Zylinders.

$$\varepsilon = \frac{V_h + V_c}{V_c}$$

- k ist das Hubverhältnis,
 s der Hub des Kolbens,
 d der Zylinderdurchmesser.

$$k = \frac{s}{d}$$

Motorarbeit und Motorleistung

F_i ist der Betrag der inneren Kolbenkraft,
 p_i der mittlere induzierte Kolbendruck,
 A_k der Flächeninhalt der Kolbendeckfläche.

$$F_i = p_i \cdot A_k$$

W_i ist der Betrag der inneren Arbeit,
 F_i der Betrag der inneren Kolbenkraft,
 s der Hub des Kolbens.

$$W_i = F_i \cdot s$$

W_{eff} ist der Betrag der nutzbaren Arbeit,
 p_{eff} der mittlere nutzbare Kolbendruck,
 A_k der Flächeninhalt der Kolbendeckfläche,
 s der Hub des Kolbens.

$$W_{\text{eff}} = p_{\text{eff}} \cdot A_k \cdot s$$

P_{eff} ist die nutzbare Leistung,
 M das Drehmoment,
 n die zugehörige Drehzahl eines Motors.

$$P_{\text{eff}} = \frac{2 \cdot \pi \cdot M \cdot n}{60}$$

Leistungen und Erträge von Solaranlagen

Füllfaktor von Solarzellen

FF ist der Füllfaktor der Solarzelle,
 I_{MPP} die Stromstärke am MPP,
 U_{MPP} die Spannung am MPP,
 I_K der Kurzschlussstrom,
 U_L die Leerlaufspannung.

$$FF = \frac{I_{\text{MPP}} \cdot U_{\text{MPP}}}{I_K \cdot U_L}$$

MPP: Maximum Power Point

Idealertrag einer Solaranlage

- I_{th} ist der theoretische Gleichstromertrag,
 P_{STC} die Anlagenennleistung,
 E_{GL} die Globalstrahlungssumme im Jahr,
 f der Flächenfaktor,
 I_{STC} die ideale Einstrahlung.

$$I_{th} = \frac{P_{STC} \cdot E_{GL} \cdot f}{I_{STC}}$$

STC: unter Standardtestbedingungen

Realertrag einer Solaranlage

- I_r ist der reale Gleichstromertrag,
 I_{th} der theoretische Gleichstromertrag,
 PR die Performance Ratio der Solaranlage.

$$I_r = I_{th} \cdot PR$$

4 Thermodynamik

4.1 Thermische Zustandsgleichungen

Bei der Zustandsänderung eines idealen Gases gilt:

- p ist der Druck,
 V das Volumen,
 T die Temperatur eines eingeschlossenen idealen Gases.

$$\frac{p \cdot V}{T} = \text{konst.}$$

Sonderfälle thermischer Zustandsänderungen von idealen Gasen

isobar	isochor	isotherm
$\Delta p = 0$	$\Delta V = 0$	$\Delta T = 0$
$\frac{V}{T} = \text{konst.}$	$\frac{p}{T} = \text{konst.}$	$p \cdot V = \text{konst.}$

Weitere thermische Zustandsgleichungen idealer Gase

- p ist der Druck,
 V das Volumen,
 n die Stoffmenge,
 R die allgemeine Gaskonstante,
 T die Temperatur eines eingeschlossenen idealen Gases.

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

- n ist die Stoffmenge,
 m die Masse,
 M die Molmasse eines eingeschlossenen idealen Gases.

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

p ist der Druck,
 V das Volumen,
 m die Masse,
 R_i die spezifische Gaskonstante,
 T die Temperatur eines eingeschlossenen idealen Gases.

$$p \cdot V = m \cdot R_i \cdot T$$

R_i ist die spezifische Gaskonstante,
 R die allgemeine Gaskonstante,
 M die Molmasse eines idealen Gases.

$$R_i = \frac{R}{M}$$

4.2 Spezifische Wärmekapazitäten idealer Gase

c_p ist die spezifische Wärmekapazität bei konstantem Druck,
 R_i die spezifische Gaskonstante,
 c_v die spezifische Wärmekapazität bei konstantem Volumen.

$$c_p = R_i + c_v$$

κ ist der Adiabatenexponent (auch Isentropenexponent),
 c_p die spezifische Wärmekapazität bei konstantem Druck,
 c_v die spezifische Wärmekapazität bei konstantem Volumen.

$$\kappa = \frac{c_p}{c_v}$$

c_v ist die spezifische Wärmekapazität bei konstantem Volumen,
 R_i die spezifische Gaskonstante,
 κ der Adiabatenexponent.

$$c_v = \frac{R_i}{\kappa - 1}$$

4.3 Adiabate Zustandsänderung idealer Gase ($\Delta Q = 0$)

p_1, p_2 sind die Drücke der beiden Zustände,
 V_1, V_2 die Volumina der beiden Zustände,
 κ ist der Adiabatenexponent.

$$p_1 \cdot V_1^\kappa = p_2 \cdot V_2^\kappa$$

T_1, T_2 sind Temperaturen der beiden Zustände,
 p_1, p_2 die Drücke der beiden Zustände,
 κ ist der Adiabatenexponent.

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}$$

T_1, T_2 sind Temperaturen der beiden Zustände,
 V_1, V_2 die Volumina der beiden Zustände,
 κ ist der Adiabatenexponent.

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{\kappa-1}$$

4.4 Hauptsätze der Thermodynamik

1. Hauptsatz der Thermodynamik

ΔU ist die Änderung der inneren Energie des Systems,
 Q die dem System zugeführte bzw. entnommene Wärme,
 W die am bzw. vom System verrichtete mechanische Arbeit.

$$\Delta U = Q + W$$

Vorzeichenregelung:

$Q > 0$	Wärmezufuhr ins System („Heizen“)
$Q < 0$	Wärmeabfuhr aus dem System („Kühlen“)
$W > 0$	Verrichtung von Arbeit am System
$W < 0$	Verrichtung von Arbeit des Systems

2. Hauptsatz der Thermodynamik

Alle natürlichen thermodynamischen Prozesse sind irreversibel (1. Formulierung).

Bei irreversiblen Prozessen in einem abgeschlossenen System nimmt die Entropie stets zu ($\Delta S > 0$) (2. Formulierung).

Entropieänderung

ΔS ist die Änderung der Entropie,
 Q die zu- bzw. abgeführte Wärme,
 T die absolute Temperatur eines thermodynamischen Systems.

$$\Delta S = \frac{Q}{T}$$

4.5 Innere Energie, Wärme und Arbeit thermodynamischer Prozesse

Innere Energie thermodynamischer Prozesse

ΔU ist die Änderung der inneren Energie eines Gases,

$$\Delta U = m \cdot c_v \cdot (T_2 - T_1)$$

m die Masse,

c_v die spezifische Wärmekapazität bei konstantem Volumen,

T_1 die Temperatur im Zustand 1,

T_2 die Temperatur im Zustand 2.

Arbeit und Wärme thermodynamischer Prozesse

Isochorer thermodynamischer Prozess

Q_{12} ist die vom Gas aufgenommene bzw. abgegebene Wärme,

$$Q_{12} = m \cdot c_v \cdot (T_2 - T_1)$$

m die Masse,

c_v die spezifische Wärmekapazität bei konstantem Volumen,

T_1 die Temperatur im Zustand 1,

T_2 die Temperatur im Zustand 2.

Isobarer thermodynamischer Prozess

Q_{12} ist die vom Gas aufgenommene bzw. abgegebene Wärme,

$$Q_{12} = m \cdot c_p \cdot (T_2 - T_1)$$

m die Masse,

c_p die spezifische Wärmekapazität bei konstantem Druck,

T_1 die Temperatur im Zustand 1,

T_2 die Temperatur im Zustand 2.

W_{12} ist die vom Gas bzw. die am Gas verrichtete mechanische Arbeit,

$$W_{12} = -p \cdot (V_2 - V_1)$$

p der konstante Druck des Gases,

V_1 das Volumen im Zustand 1,

V_2 das Volumen im Zustand 2.

Isothermer thermodynamischer Prozess

W_{12} ist die vom Gas bzw. am Gas verrichtete mechanische Arbeit,

m die Masse,

R_i die spezifische Gaskonstante,

T die absolute Temperatur,

V_1 das Volumen im Zustand 1,

V_2 das Volumen im Zustand 2.

$$W_{12} = -m \cdot R_i \cdot T \cdot \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$$

Adiabater thermodynamischer Prozess

W_{12} ist die vom Gas bzw. die am Gas verrichtete mechanische Arbeit,

m die Masse,

c_v die spezifische Wärmekapazität bei konstantem Volumen,

T_1 die Temperatur im Zustand 1,

T_2 die Temperatur im Zustand 2.

$$W_{12} = -m \cdot c_v \cdot (T_1 - T_2)$$

W_{12} ist die vom Gas bzw. die am Gas verrichtete mechanische Arbeit,

p_1 der Druck im Zustand 1,

V_1 das Volumen im Zustand 1,

κ der Adiabatenexponent,

T_1 die Temperatur im Zustand 1,

T_2 die Temperatur im Zustand 2.

$$W_{12} = -\frac{p_1 \cdot V_1}{\kappa - 1} \cdot \left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right)$$

Thermische Wirkungsgrade idealer Kreisprozesse

Thermischer Wirkungsgrad einer Wärmekraftmaschine (allgemein)

η_{th} ist der thermische Wirkungsgrad,
 Q_{ab} die vom System abgegebene Wärme,
 Q_{zu} die vom System aufgenommene Wärme.

$$\eta_{\text{th}} = 1 - \frac{|Q_{\text{ab}}|}{Q_{\text{zu}}}$$

Carnot'scher Wirkungsgrad (Carnot-Kreisprozess)

η_{C} ist der carnotsche Wirkungsgrad,
 T_{min} die niedrigste Temperatur des Gases,
 T_{max} die höchste Temperatur des Gases.

$$\eta_{\text{C}} = 1 - \frac{T_{\text{min}}}{T_{\text{max}}}$$

Thermischer Wirkungsgrad beim Stirling-Kreisprozess

η_{th} ist der thermische Wirkungsgrad,
 T_{min} die niedrigste Temperatur des Gases,
 T_{max} die höchste Temperatur des Gases.

$$\eta_{\text{th}} = 1 - \frac{T_{\text{min}}}{T_{\text{max}}}$$

Thermischer Wirkungsgrad beim Otto-Kreisprozess

η_{th} ist der thermische Wirkungsgrad,
 T_1 die Temperatur des Gases im Zustand 1,
 T_2 die Temperatur des Gases im Zustand 2.

$$\eta_{\text{th}} = 1 - \frac{T_1}{T_2}$$

η_{th} ist der thermische Wirkungsgrad,
 ε das Verdichtungsverhältnis,
 κ der Adiabatenexponent.

$$\eta_{\text{th}} = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{\kappa-1}}$$

Thermischer Wirkungsgrad beim Diesel-Kreisprozess

- η_{th} ist der thermische Wirkungsgrad,
 T_{1-4} die Temperatur eines Gases in den jeweiligen Zuständen 1, ..., 4,
 κ der Adiabatenexponent.

$$\eta_{\text{th}} = 1 - \frac{T_4 - T_1}{\kappa \cdot (T_3 - T_2)}$$

Thermischer Wirkungsgrad beim Joule-Kreisprozess (Gasturbine)

- η_{th} ist der thermische Wirkungsgrad,
 T_1 die Temperatur des Gases im Zustand 1,
 T_2 die Temperatur des Gases im Zustand 2.

$$\eta_{\text{th}} = 1 - \frac{T_1}{T_2}$$

Leistungszahlen linkslaufender idealer Kreisprozesse

Kältemaschinenprozess nach Carnot

- ε_{KC} ist die Leistungszahl nach Carnot,
 T_{min} die niedrigste Temperatur des Gases,
 T_{max} die höchste Temperatur des Gases.

$$\varepsilon_{\text{KC}} = \frac{T_{\text{min}}}{T_{\text{max}} - T_{\text{min}}}$$

Wärmepumpenprozess nach Carnot

- ε_{WC} ist die Leistungszahl nach Carnot,
 T_{max} die höchste Temperatur des Gases,
 T_{min} die niedrigste Temperatur des Gases.

$$\varepsilon_{\text{WC}} = \frac{T_{\text{max}}}{T_{\text{max}} - T_{\text{min}}}$$

Chemie

1 Quantitative Aspekte

1.1 Teilchenzahl N

N ist die Teilchenzahl,
 n die Stoffmenge,
 N_A die Avogadro-Konstante.

$$N = n \cdot N_A$$

1.2 Masse m

m ist die Masse,
 n die Stoffmenge,
 M die molare Masse.

$$m = n \cdot M$$

1.3 Volumen V idealer Gase

V ist das Volumen des Gases,
 n die Stoffmenge des Gases,
 V_m das molare Volumen des Gases.

$$V = n \cdot V_m$$

1.4 Stoffmengenkonzentration c

c ist die Stoffmengenkonzentration,
 n die Stoffmenge einer Mischungskomponente,
 V das Gesamtvolumen der Mischphase.

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

1.5 Massenkonzentration β

β ist die Massenkonzentration,
 m die Masse einer Mischungskomponente,
 V das Gesamtvolumen der Mischphase.

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

1.6 Massenanteil ω

ω ist der Massenanteil,
 m die Masse einer Mischungskomponente,
 $m(\text{Gem.})$ die Masse aller Mischungskomponenten.

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

2 Mittlere Reaktionsgeschwindigkeit

Für homogene (in einer Phase stattfindende) Reaktionen $A \rightarrow Z$ gilt:

$\bar{v}$ ist die mittlere Reaktionsgeschwindigkeit innerhalb der Zeitspanne Δt ,

Δc die Änderung der Stoffmengen-
konzentration innerhalb der
Zeitspanne Δt .

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

3 Massenwirkungsgesetz

3.1 Massenwirkungsgesetz, konzentrationsbezogen

Für die Reaktion $aA + bB \rightleftharpoons yY + zZ$ gilt:

K_c ist die konzentrationsbezogene Gleichgewichtskonstante (abhängig von der Temperatur),

c die Stoffmengenkonzentration.

Die Konzentration von Reaktionspartnern, die als Feststoff oder Flüssigkeit vorliegen, wird bei der Aufstellung des Massenwirkungsgesetzes nicht berücksichtigt.

$$K_c = \frac{c^y(Y) \cdot c^z(Z)}{c^a(A) \cdot c^b(B)}$$

3.2 Massenwirkungsgesetz, druckbezogen

Für die Reaktion $aA + bB \rightleftharpoons yY + zZ$, an der ausschließlich Gase beteiligt sind, gilt:

K_p ist die druckbezogene Gleichgewichtskonstante (abhängig von Temperatur und Druck),

p der Partialdruck eines Gases.

$$K_p = \frac{p^y(Y) \cdot p^z(Z)}{p^a(A) \cdot p^b(B)}$$

3.3 Gibbs-Helmholtz-Gleichung

ΔG ist die Änderung der freien Gibbs-Energie,

ΔH die Änderung der Reaktionsenthalpie,

T die absolute Temperatur,

ΔS die Änderung der Entropie.

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

4 Säure-Base-Gleichgewichte

4.1 Ionenprodukt des Wassers K_W

K_W ist das Ionenprodukt des Wassers
(= $10^{-14} \text{ mol}^2 \cdot \text{l}^{-2}$ bei $T = 295,15 \text{ K}$
bzw. $\vartheta = 22 \text{ }^\circ\text{C}$),

$$K_W = c(\text{H}_3\text{O}^+) \cdot c(\text{OH}^-)$$

c die Stoffmengenkonzentration,

pK_W der negative dekadische Logarithmus
des Zahlenwerts von K_W ,

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

$\{K_W\}$ der Zahlenwert von K_W .

4.2 Säurekonstante K_S und Säureexponent pK_S

(siehe Tabellen zur Chemie: Tab. 1)

Für $\text{HA} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{A}^- + \text{H}_3\text{O}^+$ gilt:

K_S ist die Säurekonstante,

c die Stoffmengenkonzentration,

$$K_S = \frac{c(\text{A}^-) \cdot c(\text{H}_3\text{O}^+)}{c(\text{HA})}$$

pK_S der negative dekadische Logarithmus
des Zahlenwerts von K_S ,

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

$\{K_S\}$ der Zahlenwert von K_S .

4.3 Basekonstante K_B und Baseexponent pK_B

(siehe Tabellen zur Chemie: Tab. 1)

Für $\text{B} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HB}^+ + \text{OH}^-$ gilt:

K_B ist die Basekonstante,

c die Stoffmengenkonzentration,

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

pK_B der negative dekadische Logarithmus
des Zahlenwerts von K_B ,

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

$\{K_B\}$ der Zahlenwert von K_B .

Für korrespondierende Säure-Base-Paare gilt:

$$K_S \cdot K_B = K_W$$

$$pK_S + pK_B = pK_W$$

4.4 pH-Wert

pH ist der negative dekadische Logarithmus des Zahlenwerts der Stoffmengenkonzentration an Oxoniumionen,

$c(H_3O^+)$ die Stoffmengenkonzentration an Oxoniumionen,

$\{c(H_3O^+)\}$ der Zahlenwert von $c(H_3O^+)$.

Umgekehrt gilt:

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

$$\{c(H_3O^+)\} = 10^{-pH}$$

4.5 pOH-Wert

pOH ist der negative dekadische Logarithmus des Zahlenwerts der Stoffmengenkonzentration an Hydroxidionen,

$c(OH^-)$ die Stoffmengenkonzentration an Hydroxidionen,

$\{c(OH^-)\}$ der Zahlenwert von $c(OH^-)$.

Umgekehrt gilt:

$$\{c(OH^-)\} = 10^{-pOH}$$

Außerdem gilt:

$$pH + pOH = pK_W$$

4.6 pH -Wert in sauren Lösungen

Lösung einer starken Säure

- pH ist der pH -Wert,
 $c_0(\text{HA})$ die Stoffmengenkonzentration der Säure
 HA vor ihrer Dissoziation,
 $\{c_0(\text{HA})\}$ der Zahlenwert von $c_0(\text{HA})$.

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

Lösung einer schwachen Säure (Näherungsformel)

- pH ist der pH -Wert,
 pK_S der pK_S -Wert
 $c_0(\text{HA})$ die Stoffmengen-
 konzentration der Säure
 HA vor ihrer Dissoziation,
 $\{c_0(\text{HA})\}$ der Zahlenwert von $c_0(\text{HA})$.

$$pH = \frac{1}{2}(pK_S - \lg\{c_0(\text{HA})\})$$

4.7 Henderson-Hasselbalch-Gleichung

pH -Wert einer Pufferlösung aus einer schwachen Säure HA
 und ihrer korrespondierenden Base A^- :

- pH ist der pH -Wert,
 pK_S der pK_S -Wert,
 $c_0(A^-)$ die Anfangs-Stoffmengen-
 konzentration des Säurerests A^- ,
 $c_0(\text{HA})$ die Anfangs-Stoffmengenkonzentration
 der Säure HA (vor ihrer Dissoziation),
 $\left\{\frac{c_0(A^-)}{c_0(\text{HA})}\right\}$ der Zahlenwert von $\frac{c_0(A^-)}{c_0(\text{HA})}$.

$$pH = pK_S + \lg\left\{\frac{c_0(A^-)}{c_0(\text{HA})}\right\}$$



5 Redox-Gleichgewichte

5.1 Leerlaufspannung eines galvanischen Elements

U_L	ist die Leerlaufspannung,
ΔE	die Potenzialdifferenz,
E_K	das Redoxpotenzial der Kathoden-Halbzelle,
E_A	das Redoxpotenzial der Anoden-Halbzelle (jeweils bei stromloser Messung).

$$U_L = \Delta E = E_K - E_A$$

Unter Standardbedingungen gilt:

Standardbedingungen:

$$U_L^0 = \Delta E^0 = E_K^0 - E_A^0$$

$T = 298,15 \text{ K}$ bzw. $\vartheta = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ sowie eine Konzentration von $1 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ aller gelösten Stoffe bzw. ein Druck von $p = 101325 \text{ Pa}$ aller beteiligten Gase.

5.2 Nernst'sche Gleichung

Für die Halbzelle $aA + bB \rightleftharpoons yY + zZ + n e^-$ gilt:

$$E\left(\frac{\text{Red}}{\text{Ox}}\right) = E^0\left(\frac{\text{Red}}{\text{Ox}}\right) + \frac{R \cdot T}{n \cdot F} \cdot \ln \left\{ \frac{c^y(Y) \cdot c^z(Z)}{c^a(A) \cdot c^b(B)} \right\}$$

E^0 ist das Normalpotenzial der Halbzelle („Red“ ist die reduzierte, „Ox“ die oxidierte Form der reduzierenden/oxidierenden Teilchen),

R die allgemeine Gaskonstante,

T die Temperatur in Kelvin,

n die Zahl der abgegebenen oder aufgenommenen Elektronen,

F die Faraday-Konstante,

c die Stoffmengenkonzentration,

$\left\{ \frac{c^y(Y) \cdot c^z(Z)}{c^a(A) \cdot c^b(B)} \right\}$ der Zahlenwert von $\frac{c^y(Y) \cdot c^z(Z)}{c^a(A) \cdot c^b(B)}$.

Unter Standardbedingungen ($T = 298,15 \text{ K}$, $\vartheta = 25 \text{ °C}$) gilt:

$$E\left(\frac{\text{Red}}{\text{Ox}}\right) = E^0\left(\frac{\text{Red}}{\text{Ox}}\right) + \frac{0,059 \text{ V}}{n} \cdot \lg \left\{ \frac{c^y(Y) \cdot c^z(Z)}{c^a(A) \cdot c^b(B)} \right\}$$

Tabellen

1 Ausgewählte Konstanten

Bezeichnung	Konstante
allgemeine (universelle) Gaskonstante	$R = 8,3145 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
atomare Masseneinheit	$1 \text{ u} = 1,660539 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
Avogadro-Konstante	$N_A = 6,02214 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
Boltzmann-Konstante	$k = 1,38065 \cdot 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$
Elementarladung	$e = 1,602177 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
elektrische Feldkonstante	$\epsilon_0 = 8,854\,187\,817 \cdot 10^{-12} \text{ C} \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$
Betrag der Fallbeschleunigung (Ortsfaktor)	$g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ (Mitteleuropa) $g = 9,78 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ (Äquator) $g = 9,83 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ (Polnähe)
Faraday-Konstante	$F = 96485,3 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}$
Gravitationskonstante	$G = 6,67408 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$
Lichtgeschwindigkeit im Vakuum	$c = 2,99792458 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
magnetische Feldkonstante	$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ N} \cdot \text{A}^{-2}$ $= 12,566370614 \cdot 10^{-7} \text{ V} \cdot \text{s} \cdot \text{A}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$
molares Volumen eines idealen Gases unter Normbedingungen	$V_m (\text{Gas}) = 22,413962 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$
Planck-Konstante (Planck'sches Wirkungsquantum)	$h = 6,626\,07 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} = 4,13567 \cdot 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s}$
Rydberg-Konstante (unendlich große Kernmasse)	$R_\infty = 1,097373 \cdot 10^7 \text{ m}^{-1}$
Rydberg-Konstante für das Wasserstoffatom	$R_H = 1,096776 \cdot 10^7 \text{ m}^{-1}$

2 Ruhmassen und Ruheenergien ausgewählter Teilchen

Teilchen	Ruhemasse		Ruheenergie in MeV
	in kg	in u	
α -Teilchen	$6,64466 \cdot 10^{-27}$	4,001506	3727,379
Deuteron	$3,34358 \cdot 10^{-27}$	2,013553	1875,613
Elektron	$9,109384 \cdot 10^{-31}$	$5,485799 \cdot 10^{-4}$	0,510999
Neutron	$1,674927 \cdot 10^{-27}$	1,008665	939,5654
Proton	$1,672622 \cdot 10^{-27}$	1,007276	938,272
Triton	$5,00736 \cdot 10^{-27}$	3,016049	2808,921

Äquivalenz von Masse und Energie: $E = m \cdot c^2$
 $1 \text{ u } c^2 = 931,494 \text{ MeV}$

$$1 \text{ kg } c^2 = 5,60959 \cdot 10^{35} \text{ eV}$$

3 Weitere wichtige physikalische Größen und ihre Einheiten

Größe	Symbol	SI-Einheit		Zusammenhang mit anderen SI-Einheiten
Aktivität (radioaktiv)	A	Bq	Becquerel	$1 \text{ Bq} = 1 \text{ s}^{-1}$
Äquivalentdosis	H	Sv	Sievert	$1 \text{ Sv} = 1 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$
Arbeit	W	J	Joule	$1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot \text{m}$ $= 1 \text{ V} \cdot \text{A} \cdot \text{s}$ $= 1 \text{ W} \cdot \text{s}$
Ausbreitungs- geschwindigkeit	$\vec{c}$	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$		
Beschleunigung	$\vec{a}$	$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$		
Dichte	ρ	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$		
Drehmoment	$\vec{M}$	$\text{N} \cdot \text{m}$		
Druck	p	Pa	Pascal	$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2}$ $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$
Elastizitätsmodul	E	$\text{N} \cdot \text{m}^{-2}$		
elektrische Feldstärke	$\vec{E}$	$\text{V} \cdot \text{m}^{-1}$		$1 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1} = 1 \text{ N} \cdot \text{C}^{-1}$
elektrische Flussdichte (Verschiebungsdichte)	$\vec{D}$	$\text{C} \cdot \text{m}^{-2}$		
elektrische Ladung	Q, q	C	Coulomb	$1 \text{ C} = 1 \text{ A} \cdot \text{s}$
elektrischer Leitwert	G	S	Siemens	$1 \text{ S} = 1 \text{ A} \cdot \text{V}^{-1} = 1 \Omega^{-1}$
elektrisches Potenzial	φ	V	Volt	$1 \text{ V} = 1 \text{ J} \cdot \text{C}^{-1}$
elektrische Spannung	U	V	Volt	$1 \text{ V} = 1 \text{ J} \cdot \text{C}^{-1}$
elektrischer Widerstand	R	Ω	Ohm	$1 \Omega = 1 \text{ V} \cdot \text{A}^{-1}$
elektrischer Widerstand, spezifischer	ρ	$\Omega \cdot \text{m}$		
Energie	E	J	Joule	$1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot \text{m}$ $= 1 \text{ V} \cdot \text{A} \cdot \text{s}$ $= 1 \text{ W} \cdot \text{s}$
Energiedosis	D	Gy	Gray	$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$

Größe	Symbol	SI-Einheit		Zusammenhang mit anderen SI-Einheiten
Federkonstante	D	$\text{N} \cdot \text{m}^{-1}$		$1 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1} = 1 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-2}$
Flächenladungsdichte	D	$\text{C} \cdot \text{m}^{-2}$		
Frequenz	f	Hz	Hertz	$1 \text{ Hz} = 1 \text{ s}^{-1}$
Gaskonstante, spezifische	R_i	$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$		
Geschwindigkeit	$\vec{v}$	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$		
Heizwert eines Feststoffes	H	$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$		
Heizwert eines Gases	H	$\text{J} \cdot \text{m}^{-3}$		
Impuls	$\vec{p}$	$\text{N} \cdot \text{s}$		$1 \text{ N} \cdot \text{s} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
Induktivität	L	H	Henry	$1 \text{ H} = 1 \text{ V} \cdot \text{s} \cdot \text{A}^{-1}$
Kapazität	C	F	Farad	$1 \text{ F} = 1 \text{ C} \cdot \text{V}^{-1}$
Kraft	$\vec{F}$	N	Newton	$1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$
Kreisfrequenz	ω	s^{-1}		
Längenausdehnungskoeffizient	α	K^{-1}		
Leistung	P	W	Watt	$1 \text{ W} = 1 \text{ V} \cdot \text{A}$ $= 1 \text{ J} \cdot \text{s}^{-1}$ $= 1 \text{ N} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
magnetische Feldstärke	$\vec{H}$	$\text{A} \cdot \text{m}^{-1}$		
magnetischer Fluss	Φ	Wb	Weber	$1 \text{ Wb} = 1 \text{ V} \cdot \text{s}$
magnetische Flussdichte	$\vec{B}$	T	Tesla	$1 \text{ T} = 1 \text{ V} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-2}$ $= 1 \text{ N} \cdot \text{A}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$
molare Masse	M	$\text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$		
Periodendauer	T	s	Sekunde	
Permeabilität	μ ($\mu = \mu_0 \cdot \mu_r$)	$\text{V} \cdot \text{s} \cdot \text{A}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$		$1 \text{ V} \cdot \text{s} \cdot \text{A}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ $= 1 \text{ H} \cdot \text{m}^{-1}$
Permeabilitätszahl (relative Permeabilität)	μ_r	1 (dimensionslos)		

Größe	Symbol	SI-Einheit		Zusammenhang mit anderen SI-Einheiten
Permittivität	ϵ ($\epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r$)	$A \cdot s \cdot V^{-1} \cdot m^{-1}$		$1 A \cdot s \cdot V^{-1} \cdot m^{-1}$ $= 1 F \cdot m^{-1}$
Permittivitätszahl (Dielektrizitätszahl)	ϵ_r	1 (dimensionslos)		
Reibungszahl	μ	1 (dimensionslos)		
Richtgröße	D	$N \cdot m^{-1}$		$1 N \cdot m^{-1} = 1 kg \cdot s^{-2}$
Schmelzwärme	Q_s	J	Joule	$1 J = 1 N \cdot m$ $= 1 V \cdot A \cdot s$ $= 1 W \cdot s$
Schmelzwärme, spezifische	s	$J \cdot kg^{-1}$		
Schwächungskoeffizient	μ	m^{-1}		
Schwingungsphase	ϕ	rad	Radian	1 rad
Umlaufdauer	T	s	Sekunde	
Verdampfungswärme	Q_v	J	Joule	$1 J = 1 N \cdot m$ $= 1 V \cdot A \cdot s$ $= 1 W \cdot s$
Verdampfungswärme, spezifische	r	$J \cdot kg^{-1}$		
Viskosität	η	$Pa \cdot s$		$1 Pa \cdot s = 1 N \cdot m^{-2} \cdot s$
Volumenausdehnungs- koeffizient	γ	K^{-1}		
Wärme	Q	J	Joule	$1 J = 1 N \cdot m$ $= 1 V \cdot A \cdot s$ $= 1 W \cdot s$
Wärmekapazität	C	$J \cdot K^{-1}$		
Wärmekapazität, spezifische	c	$J \cdot K^{-1} \cdot kg^{-1}$		
Wellenlänge	λ	m	Meter	
Winkelgeschwindigkeit	ω	$rad \cdot s^{-1}$		$1 rad \cdot s^{-1} = 1 s^{-1}$
Zerfallskonstante	λ	s^{-1}		

4 Umrechnung von Einheiten ausgewählter Größen

Länge (SI-Einheit 1 Meter)

Einheit	Zeichen	Umrechnung in m
Meter (SI-Einheit)	m	–
Dezimeter	dm	$1 \text{ dm} = 10^{-1} \text{ m}$
Zentimeter	cm	$1 \text{ cm} = 10^{-2} \text{ m}$
Ångström	Å	$1 \text{ Å} = 10^{-10} \text{ m}$
astronomische Einheit	AE	$1 \text{ AE} = 1,495979 \cdot 10^{11} \text{ m}$
Lichtjahr	Lj	$1 \text{ Lj} = 9,46 \cdot 10^{15} \text{ m}$
Parsec	pc	$1 \text{ pc} = 3,09 \cdot 10^{16} \text{ m}$

Masse (SI-Einheit 1 Kilogramm)

atomare Masseneinheit u	$1 \text{ u} = 1,660539 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$	$1 \text{ kg} = 6,022141 \cdot 10^{26} \text{ u}$
Tonne t	$1 \text{ t} = 10^3 \text{ kg}$	$1 \text{ kg} = 10^{-3} \text{ t}$

Energie (SI-Einheit 1 Joule)

Einheit	Zeichen	Faktor zur Umrechnung in		
		J	eV	kWh
Joule (SI-Einheit)	J	1	$6,24 \cdot 10^{18}$	$2,78 \cdot 10^{-7}$
Elektronenvolt	eV	$1,60 \cdot 10^{-19}$	1	$4,45 \cdot 10^{-26}$
Kilowattstunde	kWh	$3,60 \cdot 10^6$	$2,25 \cdot 10^{25}$	1

5 SI-Vorsätze und griechisches Alphabet

SI-Vorsätze zur Bezeichnung von Zehnerpotenzen und Einheiten

Zehnerpotenz	Vorsatz	Vorsatzzeichen
10^{-1}	Dezi	d
10^{-2}	Zenti	c
10^{-3}	Milli	m
10^{-6}	Mikro	μ
10^{-9}	Nano	n
10^{-12}	Piko	p
10^{-15}	Femto	f
10^{-18}	Atto	a
10^{-21}	Zepto	z
10^{-24}	Yokto	y

Zehnerpotenz	Vorsatz	Vorsatzzeichen
10^1	Deka	da
10^2	Hekto	h
10^3	Kilo	k
10^6	Mega	M
10^9	Giga	G
10^{12}	Tera	T
10^{15}	Peta	P
10^{18}	Exa	E
10^{21}	Zetta	Z
10^{24}	Yotta	Y

Griechisches Alphabet

A	α	Alpha
B	β	Beta
Γ	γ	Gamma
Δ	δ	Delta
E	ϵ	Epsilon
Z	ζ	Zeta
H	η	Eta
Θ	θ	Theta

I	ι	Jota
K	κ	Kappa
Λ	λ	Lambda
M	μ	My
N	ν	Ny
Ξ	ξ	Xi
O	$\omicron$	Omikron
Π	π	Pi

P	ρ	Rho
Σ	σ	Sigma
T	τ	Tau
Y	υ	Ypsilon
Φ	ϕ	Phi
X	χ	Chi
Ψ	ψ	Psi
Ω	ω	Omega

6 Elektromagnetisches Spektrum

Bezeichnung	Wellenlänge λ in m
Niederfrequenz	$1 \cdot 10^8 - 1 \cdot 10^4$
Radiowellen	$1 \cdot 10^4 - 1$
Mikrowellen	$1 - 1 \cdot 10^{-3}$
Infrarotstrahlung	$1 \cdot 10^{-3} - 7,8 \cdot 10^{-7}$
sichtbares Licht	
Rot	$7,8 \cdot 10^{-7} - 6,4 \cdot 10^{-7}$
Orange	$6,4 \cdot 10^{-7} - 6,0 \cdot 10^{-7}$
Gelb	$6,0 \cdot 10^{-7} - 5,7 \cdot 10^{-7}$
Grün	$5,7 \cdot 10^{-7} - 4,9 \cdot 10^{-7}$
Blau	$4,9 \cdot 10^{-7} - 4,3 \cdot 10^{-7}$
Violett	$4,3 \cdot 10^{-7} - 3,8 \cdot 10^{-7}$
UV-Strahlung	$3,8 \cdot 10^{-7} - 1 \cdot 10^{-9}$
Röntgenstrahlung	$1 \cdot 10^{-9} - 1 \cdot 10^{-11}$
Gammastrahlung	$< 1 \cdot 10^{-11}$

7 Schaltzeichen im Physikunterricht

Bezeichnung	Symbol
Anschluss	•
Fotozelle (Fotoelement, Solarzelle)	
Generator	
Leiterverbindung/Verzweigung	
Messgerät	
Ohm'scher Widerstand	
temperaturabhängiger Widerstand (Kaltleiter PTC)	
Sicherung	
Diode	
Fotodiode	
Spule	
Trafo (allgemein)	
NPN-Transistor	
Klingel	
Spannungsversorgung („-quelle“): – allgemein – Wechselspannung – Gleichspannung	
Solarmodul	
Motor	
Schalter: – offen – geschlossen	
Spannungsmessgerät (Voltmeter)	
veränderbarer Widerstand	

Bezeichnung	Symbol
temperaturabhängiger Widerstand (Heißeiter NTC)	
Glühlampe	
Leuchtdiode	
Röhrendiode (mit direkter Heizung)	
Spule mit Weicheisenkern	
Trafo mit Weicheisenkern	
PNP-Transistor	
Lautsprecher	
Batterie, galvanisches Element	
Erdung	
Zählrohr	
Taster	
Stromstärkemessgerät (Amperemeter)	
Widerstand mit Schleifkontakt	
Fotowiderstand	
Glimmlampe	
Zener-Diode	
Röhrentriode (mit direkter Heizung)	
Kondensator	
Elektrolyt-Kondensator	
Oszilloskop	
Verstärker	

1 Gaskonstanten M , c_p , c_v , R_i und κ

Gas	Molare Masse M in $\frac{\text{kg}}{\text{kmol}}$	Spezifische Wärme- kapazität bei konstantem Druck c_p in $\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$	Spezifische Wärme- kapazität bei konstantem Volumen c_v in $\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$	Spezifische Gaskonstante R_i in $\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$	Adia- baten- expo- nent κ
Argon (Ar)	39,947	525	317	208,13	1,66
Helium (He)	4,003	5238	3161	2076,94	1,66
Wasserstoff (H_2)	2,016	14170	10046	4124,01	1,41
Sauerstoff (O_2)	31,998	914	654	259,81	1,40
Stickstoff (N_2)	28,013	1038	741	296,79	1,40
Luft	28,963	1003	716	287,06	1,40
Kohlenmonoxid (CO)	28,010	1040	743	296,82	1,40
Kohlendioxid (CO_2)	44,010	819	630	188,91	1,30
Methan (CH_4)	16,043	2155	1637	518,23	1,32

2 Heizwerte

Heizwerte fester und flüssiger Brennstoffe

Brennstoff	H in $\frac{\text{MJ}}{\text{kg}}$	H in $\frac{\text{kWh}}{\text{kg}}$	SKE Faktor
Altreifen	32	8,9	1,1
Holz (trocken)	15	4,2	0,51
Papier	15	4,2	0,51
Torf	15	4,2	0,51
Pellets	18	5,0	0,61
Braunkohlestaub	19 – 22	5,3 – 6,1	0,75
Steinkohle	29,3	8,1	1,0
Methanol	19,9	5,5	0,68
Ethanol	26,8	7,4	0,91
Biodiesel	37	10,3	1,26
Ottokraftstoffe	43,5	12,1	1,48
Diesel, Heizöl EL	42,7	11,9	1,46
Heizöl S	40,3	11,2	1,38

Heizwerte gasförmiger Brennstoffe bei Normalbedingungen

Brennstoff	H in $\frac{\text{MJ}}{\text{m}^3}$	H in $\frac{\text{kWh}}{\text{m}^3}$	ρ in $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
Acetylen (Ethin)	56,5	15,7	1,17
Biogas	18 – 21	5 – 5,8	0,92 – 0,98
Butan	123	34,2	0,58 ¹⁾
Propan	93,2	25,9	2,01
Erdgas L	31,8	8,8	0,83
Erdgas H	37,4	10,4	0,79
Kohlenstoffmonoxid	12,6	3,5	1,25
Kokereigas	17,5	4,9	0,51
Methan	35,9	10,0	0,72
Wasserstoff	10,8	3,0	0,090

1) bei 15°C (n – Butan)

3 Spezifische Wärmekapazitäten c von Flüssigkeiten und Feststoffen (bei 20° C)

Flüssigkeiten	c in $\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$
Aceton	2,210
Benzol	1,738
Brom	0,460
Diethylether	2,340
Dieselmkraftstoff	1,926
Ethanol	2,450
Essigsäure	2,050
Glycerin	2,428
Methanol	2,430
Motorenöl SAE30	1,861
Nitrobenzol	1,510
Petroleum	2,140
Quecksilber	0,139
Salpetersäure	1,720
Schwefelsäure	1,386
Spiritus (95%)	2,430
Terpentinöl	1,800
Tetrachlormethan	0,840
Toluol	1,720
Wasser	4,187
Wasser (3 % Salz)	3,930

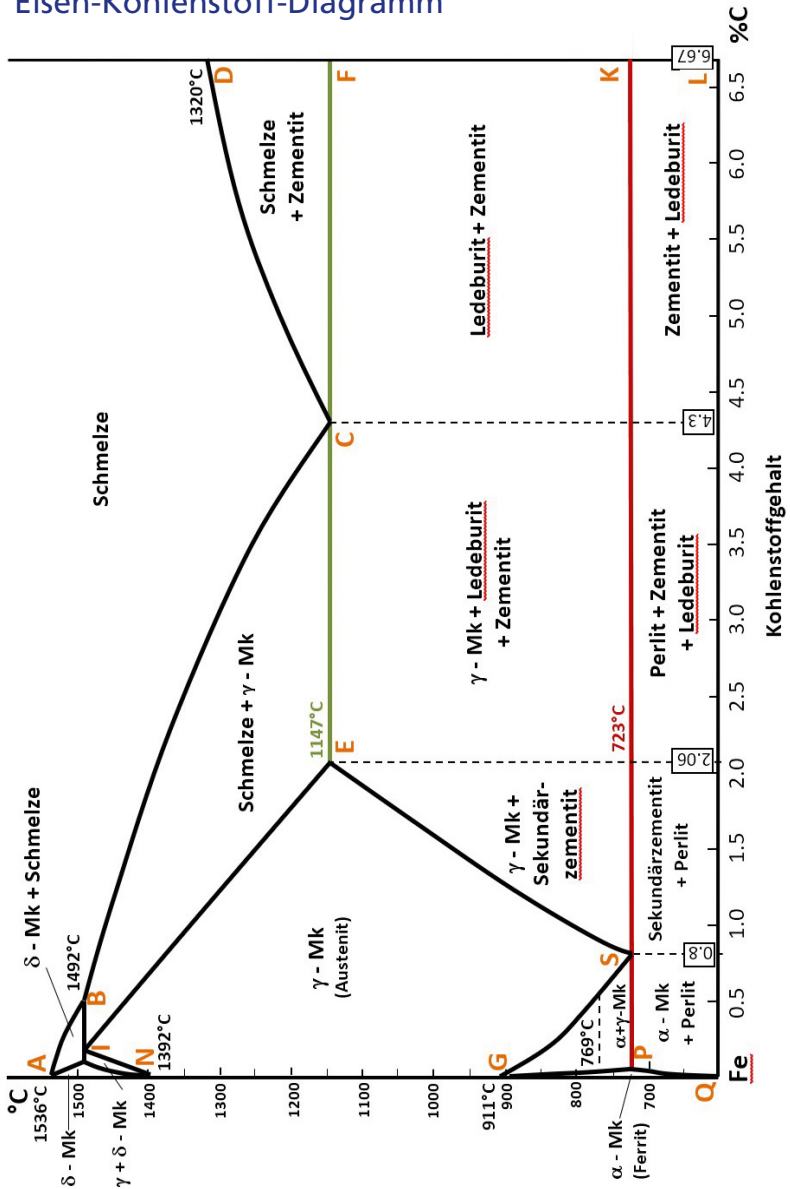
Feststoffe	c in $\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$
Aluminium	0,900
Beton	$\approx 0,88$
Blei	0,1285
Eis (bei 0°C)	2,09
Glas (Fenster)	$\approx 0,84$
Gold	0,1323
Holz: Buche	2,021
Kiefer	1,400
Holzkohle	0,7955
Koks	0,8500
Kupfer	0,3906
Platin	0,1357
Silber	0,2340
Silizium	0,5094
Stahl	$\approx 0,50$
Steinkohle	1,2979
Wolfram	0,134
Zement	$\approx 0,75$
Zink	0,389
Zinn	0,226
Ziegelstein	$\approx 0,92$

4 Flächenmomente 2. Ordnung und Widerstandsmomente

Querschnittsform	Axiales Flächenmoment I	Axiales Widerstandsmoment W	Polares Widerstandsmoment W_p
	$I = \frac{\pi \cdot d^4}{64}$	$W = \frac{\pi \cdot d^3}{32}$	$W_p = \frac{\pi \cdot d^3}{16}$
	$I = \frac{\pi \cdot (D^4 - d^4)}{64}$	$W = \frac{\pi \cdot (D^4 - d^4)}{32 \cdot D}$	$W_p = \frac{\pi \cdot (D^4 - d^4)}{16 \cdot D}$
	$I = \frac{a^4}{12}$	$W = \frac{a^3}{6}$	$W_p = 0,208 \cdot a^3$
	$I = \frac{5 \cdot \sqrt{3} \cdot s^4}{144}$ $I = \frac{5 \cdot \sqrt{3} \cdot d^4}{256}$	$W_y = \frac{5 \cdot s^3}{48} = \frac{5 \cdot \sqrt{3} \cdot d^3}{128}$ $W_z = \frac{5 \cdot s^3}{24 \cdot \sqrt{3}} = \frac{5 \cdot d^3}{64}$	$W_p = 0,188 \cdot s^3$ $W_p = 0,1226 \cdot d^3$
	$I_y = \frac{b \cdot h^3}{12}$ $I_z = \frac{h \cdot b^3}{12}$	$W_y = \frac{b \cdot h^2}{6}$ $W_z = \frac{h \cdot b^2}{6}$	für $\frac{h}{b} = n > 1$ gilt: $W_p = c_1 \cdot b^3 \quad ^{1)}$
	$I_y = \frac{b \cdot h^3}{36}$ $I_{y'} = \frac{b \cdot h^3}{12}$	$W_y = \frac{b \cdot h^2}{24}$	–

1) c_1 ist abhängig von n (aus Tabellenbüchern zu entnehmen) z.B. $n = 1,5 \Rightarrow c_1 = 0,346$ oder $n = 4 \Rightarrow c_1 = 1,150$

5 Eisen-Kohlenstoff-Diagramm



1 Säurekonstanten und Basekonstanten

(Werte gelten für eine Temperatur von 22 °C)

	K_s in mol · l ⁻¹	pK_s	Formel Säure	Formel korrespondierende Base	pK_b	K_b in mol · l ⁻¹	
↑ SÄURESTÄRKE	$1,0 \cdot 10^{11}$	-11	HI	I ⁻	25	$1,0 \cdot 10^{-25}$	BASENSTÄRKE ↓
	$1,0 \cdot 10^{10}$	-10	HClO ₄	ClO ₄ ⁻	24	$1,0 \cdot 10^{-24}$	
	$1,0 \cdot 10^9$	- 9	HBr	Br ⁻	23	$1,0 \cdot 10^{-23}$	
	$1,0 \cdot 10^7$	- 7	HCl	Cl ⁻	21	$1,0 \cdot 10^{-21}$	
	$1,0 \cdot 10^3$	- 3	H ₂ SO ₄	HSO ₄ ⁻	17	$1,0 \cdot 10^{-17}$	
	55,5	-1,74	H ₃ O ⁺	H ₂ O	15,74	$1,8 \cdot 10^{-16}$	
	$2,0 \cdot 10^1$	-1,32	HNO ₃	NO ₃ ⁻	15,32	$4,8 \cdot 10^{-16}$	
	$1,7 \cdot 10^{-1}$	0,77	Cl ₃ CCOOH	Cl ₃ CCOO ⁻	13,23	$5,89 \cdot 10^{-14}$	
	$5,6 \cdot 10^{-2}$	1,25	HOOC-COOH	HOOC-COO ⁻	12,75	$1,77 \cdot 10^{-13}$	
	$5,6 \cdot 10^{-2}$	1,25	Cl ₂ CHCOOH	Cl ₂ CHCOO ⁻	12,75	$1,77 \cdot 10^{-13}$	
	$1,5 \cdot 10^{-2}$	1,81	H ₂ SO ₃	HSO ₃ ⁻	12,19	$6,5 \cdot 10^{-13}$	
	$1,2 \cdot 10^{-2}$	1,92	HSO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻	12,08	$8,3 \cdot 10^{-13}$	
	$7,5 \cdot 10^{-3}$	2,12	H ₃ PO ₄	H ₂ PO ₄ ⁻	11,88	$1,3 \cdot 10^{-12}$	
	$1,3 \cdot 10^{-3}$	2,87	ClCH ₂ COOH	ClCH ₂ COO ⁻	11,13	$7,4 \cdot 10^{-12}$	
	$7,2 \cdot 10^{-4}$	3,14	HF	F ⁻	10,86	$1,4 \cdot 10^{-11}$	
	$4,5 \cdot 10^{-4}$	3,35	HNO ₂	NO ₂ ⁻	10,65	$2,2 \cdot 10^{-11}$	
	$1,8 \cdot 10^{-4}$	3,75	HCOOH	HCOO ⁻	10,25	$5,6 \cdot 10^{-11}$	
	$7,2 \cdot 10^{-5}$	4,14	HOOC-COO ⁻	OOC-COO ²⁻	9,86	$1,4 \cdot 10^{-10}$	
	$2,6 \cdot 10^{-5}$	4,58	C ₆ H ₅ NH ₃ ⁺	C ₆ H ₅ NH ₂	9,42	$3,8 \cdot 10^{-10}$	
	$1,8 \cdot 10^{-5}$	4,75	CH ₃ COOH	CH ₃ COO ⁻	9,25	$5,6 \cdot 10^{-10}$	
	$1,3 \cdot 10^{-5}$	4,87	CH ₃ CH ₂ COOH	CH ₃ CH ₂ COO ⁻	9,13	$7,4 \cdot 10^{-10}$	
	$3,0 \cdot 10^{-7}$	6,52	H ₂ CO ₃	HCO ₃ ⁻	7,48	$3,3 \cdot 10^{-8}$	
	$1,2 \cdot 10^{-7}$	6,92	H ₂ S	HS ⁻	7,08	$8,3 \cdot 10^{-8}$	
	$9,1 \cdot 10^{-8}$	7,04	HSO ₃ ⁻	SO ₃ ²⁻	6,96	$1,1 \cdot 10^{-7}$	
	$6,2 \cdot 10^{-8}$	7,20	H ₂ PO ₄ ⁻	HPO ₄ ²⁻	6,80	$1,6 \cdot 10^{-7}$	
	$5,6 \cdot 10^{-10}$	9,25	NH ₄ ⁺	NH ₃	4,75	$1,8 \cdot 10^{-5}$	
	$4,0 \cdot 10^{-10}$	9,40	HCN	CN ⁻	4,60	$2,5 \cdot 10^{-5}$	
	$1,3 \cdot 10^{-10}$	9,89	C ₆ H ₅ OH	C ₆ H ₅ O ⁻	4,11	$7,8 \cdot 10^{-5}$	
	$4,0 \cdot 10^{-11}$	10,40	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	3,60	$2,5 \cdot 10^{-4}$	
	$4,4 \cdot 10^{-13}$	12,36	HPO ₄ ²⁻	PO ₄ ³⁻	1,64	$2,3 \cdot 10^{-2}$	
	$1,0 \cdot 10^{-13}$	13,00	HS ⁻	S ²⁻	1,00	$1,0 \cdot 10^{-1}$	
	$1,8 \cdot 10^{-16}$	15,74	H ₂ O	OH ⁻	-1,74	55,5	
	$1,0 \cdot 10^{-23}$	23	NH ₃	NH ₂ ⁻	-9	$1,0 \cdot 10^9$	
	$1,0 \cdot 10^{-24}$	24	OH ⁻	O ²⁻	-10	$1,0 \cdot 10^{10}$	

2 Elektrochemische Spannungsreihe der Metalle

(Normalpotenziale¹⁾ bei 25 °C und 101325 Pa)

	Reduktionsmittel	⇌ Oxidationsmittel	+ z · e ⁻	Redoxpaar	Normalpotenzial E° in V	
↑ STÄRKE ALS REDUKTIONSMITTEL	Li (s)	⇌ Li ⁺ (aq)	+ e ⁻	Li/Li ⁺	-3,04	STÄRKE ALS OXIDATIONSMITTEL ↓
	K (s)	⇌ K ⁺ (aq)	+ e ⁻	K/K ⁺	-2,92	
	Ba (s)	⇌ Ba ²⁺ (aq)	+ 2 e ⁻	Ba/Ba ²⁺	-2,90	
	Ca (s)	⇌ Ca ²⁺ (aq)	+ 2 e ⁻	Ca/Ca ²⁺	-2,87	
	Na (s)	⇌ Na ⁺ (aq)	+ e ⁻	Na/Na ⁺	-2,71	
	Mg (s)	⇌ Mg ²⁺ (aq)	+ 2 e ⁻	Mg/Mg ²⁺	-2,36	
	Be (s)	⇌ Be ²⁺ (aq)	+ 2 e ⁻	Be/Be ²⁺	-1,85	
	Al (s)	⇌ Al ³⁺ (aq)	+ 3 e ⁻	Al/Al ³⁺	-1,66	
	Ti (s)	⇌ Ti ³⁺ (aq)	+ 3 e ⁻	Ti/Ti ³⁺	-1,21	
	Mn (s)	⇌ Mn ²⁺ (aq)	+ 2 e ⁻	Mn/Mn ²⁺	-1,18	
	V (s)	⇌ V ²⁺ (aq)	+ 2 e ⁻	V/V ²⁺	-1,17	
	Zn (s)	⇌ Zn ²⁺ (aq)	+ 2 e ⁻	Zn/Zn ²⁺	-0,76	
	Cr (s)	⇌ Cr ³⁺ (aq)	+ 3 e ⁻	Cr/Cr ³⁺	-0,74	
	Fe (s)	⇌ Fe ²⁺ (aq)	+ 2 e ⁻	Fe/Fe ²⁺	-0,41	
	Cd (s)	⇌ Cd ²⁺ (aq)	+ 2 e ⁻	Cd/Cd ²⁺	-0,40	
	Co (s)	⇌ Co ²⁺ (aq)	+ 2 e ⁻	Co/Co ²⁺	-0,28	
	Ni (s)	⇌ Ni ²⁺ (aq)	+ 2 e ⁻	Ni/Ni ²⁺	-0,23	
	Sn (s)	⇌ Sn ²⁺ (aq)	+ 2 e ⁻	Sn/Sn ²⁺	-0,14	
	Pb (s)	⇌ Pb ²⁺ (aq)	+ 2 e ⁻	Pb/Pb ²⁺	-0,13	
	Fe (s)	⇌ Fe ³⁺ (aq)	+ 3 e ⁻	Fe/Fe ³⁺	-0,02	
	H ₂ (g) + 2 H ₂ O (l)	⇌ 2 H ₃ O ⁺ (aq)	+ 2 e ⁻	H ₂ /2 H ₃ O ⁺	0,00 (pH = 0)	
	Cu ⁺ (aq)	⇌ Cu ²⁺ (aq)	+ e ⁻	Cu ⁺ /Cu ²⁺	+0,17	
	Cu (s)	⇌ Cu ²⁺ (aq)	+ 2 e ⁻	Cu/Cu ²⁺	+0,35	
	Cu (s)	⇌ Cu ⁺ (aq)	+ e ⁻	Cu/Cu ⁺	+0,52	
	Ag (s)	⇌ Ag ⁺ (aq)	+ e ⁻	Ag/Ag ⁺	+0,80	
	Hg (l)	⇌ Hg ²⁺ (aq)	+ 2 e ⁻	Hg/Hg ²⁺	+0,85	
	Pt (s)	⇌ Pt ²⁺ (aq)	+ 2 e ⁻	Pt/Pt ²⁺	+1,20	
	Au (s)	⇌ Au ³⁺ (aq)	+ 3 e ⁻	Au/Au ³⁺	+1,50	

s: fest; l: flüssig; g: gasförmig; aq: in wässriger Lösung

1) Für Normalpotenziale ist in der Fachliteratur auch der Begriff „Standardpotenziale“ gebräuchlich.

3 Elektrochemische Spannungsreihe der Nichtmetalle

(Normalpotenziale¹⁾ bei 25 °C und 101325 Pa)

	Reduktionsmittel	⇌	Oxidationsmittel	+ z · e ⁻	Redoxpaar	Normalpotenzial E° in V	
STÄRKE RED.MI. ↑	Se ²⁻ (aq)	⇌	Se (s)	+ 2 e ⁻	Se ²⁻ /Se	-0,92	STÄRKE OX.MI. ↓
	S ²⁻ (aq)	⇌	S (s)	+ 2 e ⁻	S ²⁻ /S	-0,48	
	2 I ⁻ (aq)	⇌	I ₂ (s)	+ 2 e ⁻	2 I ⁻ /I ₂	+0,54	
	2 Br ⁻ (aq)	⇌	Br ₂ (l)	+ 2 e ⁻	2 Br ⁻ /Br ₂	+1,07	
	2 Cl ⁻ (aq)	⇌	Cl ₂ (g)	+ 2 e ⁻	2 Cl ⁻ /Cl ₂	+1,36	
	2 F ⁻ (aq)	⇌	F ₂ (g)	+ 2 e ⁻	2 F ⁻ /F ₂	+2,87	

s: fest; l: flüssig; g: gasförmig; aq: in wässriger Lösung

1) Für Normalpotenziale ist in der Fachliteratur auch der Begriff „Standardpotenziale“ gebräuchlich.

4 Elektrochemische Spannungsreihe weiterer Halbreaktionen

(Normalpotenziale¹⁾ bei 25 °C und 101325 Pa)

	Reduktionsmittel	⇌	Oxidationsmittel	+ z · e ⁻	Normalpotenzial E ⁰ in V	
STÄRKE ALS REDUKTIONSMITTEL ↑	H ₂ (g) + 2 OH ⁻ (aq)	⇌	2 H ₂ O (l)	+ 2 e ⁻	-0,83 (pH = 14)	STÄRKE ALS OXIDATIONSMITTEL ↓
	H ₂ (g) + 2 H ₂ O (l)	⇌	2 H ₃ O ⁺ (aq)	+ 2 e ⁻	-0,41 (pH = 7)	
	Pb (s) + SO ₄ ²⁻ (aq)	⇌	PbSO ₄ (s)	+ 2 e ⁻	-0,36	
	Sn ²⁺ (aq)	⇌	Sn ⁴⁺ (aq)	+ 2 e ⁻	+0,15	
	4 OH ⁻ (aq)	⇌	O ₂ (g) + 2 H ₂ O (l)	+ 4 e ⁻	+0,40 (pH = 14)	
	MnO ₄ ²⁻ (aq)	⇌	MnO ₄ ⁻ (aq)	+ e ⁻	+0,58	
	Fe ²⁺ (aq)	⇌	Fe ³⁺ (aq)	+ e ⁻	+0,77	
	NO ₂ (g) + 3 H ₂ O (l)	⇌	NO ₃ ⁻ (aq) + 2 H ₃ O ⁺ (aq)	+ e ⁻	+0,80	
	4 OH ⁻ (aq)	⇌	O ₂ (g) + 2 H ₂ O (l)	+ 4 e ⁻	+0,82 (pH = 7)	
	NO (g) + 6 H ₂ O (l)	⇌	NO ₃ ⁻ (aq) + 4 H ₃ O ⁺ (aq)	+ 3 e ⁻	+0,96	
	6 H ₂ O (l)	⇌	O ₂ (g) + 4 H ₃ O ⁺ (aq)	+ 4 e ⁻	+ 1,23	
	2 Cr ³⁺ (aq) + 21 H ₂ O (l)	⇌	Cr ₂ O ₇ ²⁻ (aq) + 14 H ₃ O ⁺ (aq)	+ 6 e ⁻	+1,33	
	Pb ²⁺ (aq) + 6 H ₂ O (l)	⇌	PbO ₂ (s) + 4 H ₃ O ⁺ (aq)	+ 2 e ⁻	+1,46	
	Mn ²⁺ (aq) + 12 H ₂ O (l)	⇌	MnO ₄ ⁻ (aq) + 8 H ₃ O ⁺ (aq)	+ 5 e ⁻	+1,50	
	MnO ₂ (s) + 6 H ₂ O (l)	⇌	MnO ₄ ⁻ (aq) + 4 H ₃ O ⁺ (aq)	+ 3 e ⁻	+1,70	
	2 SO ₄ ²⁻ (aq)	⇌	S ₂ O ₈ ²⁻ (aq)	+ 2 e ⁻	+2,01	

s: fest; l: flüssig; g: gasförmig; aq: in wässriger Lösung

1) Für Normalpotenziale ist in der Fachliteratur auch der Begriff „Standardpotenziale“ gebräuchlich.

Stichwortverzeichnis



Abbildungsgleichungen	47
Abscherspannung	62
absolute Temperatur	77
Acetylen	102
adiabate Zustandsänderung	74
Adiabatensexponent	74, 77
adiabater thermodynamischer Prozess	77
Aktivität	55, 94
Akustik	28
allgemeine Gaskonstante	73, 88, 92
Amplitude	26, 28
Äquivalentdosis	56, 94
Arbeit	19, 94
Arbeit, elektrische	35
Arbeit, mechanische	75
Arbeit-Energie-Prinzip	20
atomare Masseneinheit	92
Atomhülle	52
Atomkerne	54
Atommassen	54
Atomphysik	52
Auflagerreaktionen	60
Auflagerreaktionskraft	60
Auftriebskraft	13
Ausbreitungsgeschwindigkeit	28, 32, 44, 94
Ausbreitungsgeschwindigkeit im Medium	44
Ausbreitungsgeschwindigkeit im Vakuum	44
Ausbreitungsgeschwindigkeit und Brechungsindex	45
äußere Scherkraft	62
Austrittsarbeit	50
Avogadro-Konstante	82, 92
axiales Flächenmoment	62, 63
axiales Widerstandsmoment	62
Bahngeschwindigkeit	25
Baseexponent	85
Basekonstante	85, 106
Beanspruchung	61
Beanspruchung, Abscheren	62
Beanspruchung, Druck	61
Beanspruchung, Knickung	64
Beanspruchung, Torsion	63
Beanspruchung, Zug	61
Bernoulligleichung	23
Beschleunigung	16, 94
Beugung	30
Beugung am Doppelspalt	29
Beugung am Mehrfachspalt	30
Bewertungsfaktor, biologischer	56
Biegebeanspruchung	62

Biegemoment	62
Biegespannung	62
Biegung	62
Bildgröße	47
Bildweite	47
Biodiesel	102
biologischer Bewertungsfaktor	56
Bogenmaß	24
Boltzmann-Konstante	92
Bragg-Bedingung	53
Brechung	47
Brechungsgesetz	47
Brechungsindex	45
Brechungswinkel	47
Brechzahl	47
Brennpunkt	47
Brennweite	47
Bruchscherfestigkeit	62
Carnot-Kreisprozess	78
Carnot-Kreisprozess, thermischer Wirkungsgrad	78
Carnot'scher Wirkungsgrad	78
chemische Energie	67
Coulomb-Gesetz	37
Coulombkraft	37
de Broglie-Welle	51
Dehnung	61
Dichte	12, 61, 94
Dielektrizitätszahl	96
Diesel	103
Diesel, Heizöl	102
Diesel-Kreisprozess	79
Differenzialgleichung	43
Differenzialgleichung der elektromagnetischen Schwingung	43
Differenzialgleichung der harmonischen Schwingung	26
Differenzialgleichung, Lösung	26, 43
Dipol	46
Dipolschwingung	46
Dosimetrie	56
Drehmoment	14, 71, 94
Drehstrom	69
Drehzahl	71
Druck	12, 73, 76, 77, 94
Druckbeanspruchung	61
Druckenergie	68
Durchbiegung	63
Dynamik	23
ebene Wellenfronten	45

ebenes Kräftesystem	58, 60	Erdgas	102
effektive elektrische Spannung	69	Ersatzkraft	59
effektive Spannung	69	Ersatzmoment	59
effektive Stromstärke	69	Fachwerke	60
Einfallswinkel	47	Fachwerkstab	60
Einstein-Gleichung	50	Fallbeschleunigung	92
Eisen-Kohlenstoff-Diagramm	105	Fallhöhe	70
Elastizitätsmodul	61, 64, 94	Faraday-Konstante	88, 92
Elektrische Arbeit	35	Federkonstante	12, 20, 95
elektrische Energie	68	Federweg	68
elektrische Feldkonstante	37, 38, 44, 92	Feld, elektrisches	37, 38
elektrische Feldstärke	37, 38, 45, 94	Feld, magnetisches	40
elektrische Kraft	37	Feldkonstante, elektrische	37, 38, 39, 44, 92
elektrische Ladung	35, 94	Feldkonstante, magnetische	40, 42, 44, 92
elektrische Leistung	35, 68	Feldstärke, elektrische	37, 38, 44, 45, 94
elektrische Spannung	35, 37, 38, 94	Feldstärke, magnetische	95
elektrische Stromstärke	35	Festigkeitslehre	61
elektrische Feldstärke	37, 38, 44, 45	Flächenfaktor	72
elektrischer Widerstand	35, 36, 94	Flächenladungsdichte	95
elektrisches Feld	37	Flächenmoment	62, 63
elektrisches Feld, homogenes	38	Flächenmoment 2. Ordnung	64, 104
elektrisches Feld, radialsymmetrisches	38	Flächenmoment bei Knickung	64
elektrisches Potenzial	37	Flächenmoment, axiales	62, 63
Elektrizitätslehre	35	Flächenmoment, polares	63
elektrochemische Spannungsreihe 107, 108, 109		Flächenpressung	65, 66
elektromagnetische Wellen	44	Flächenüberdeckung	66
elektromagnetischen Schwingung	43	Flankendurchmesser	65, 66
elektromagnetischer Schwingkreis	43	Fluss, magnetischer	41, 95
elektromagnetisches Spektrum	99	Flussdichte, magnetische	40, 41, 44, 45, 94, 95
Elektronenvolt	97	fortschreitende Wellen	28, 44
Elementarladung	92	freie Knicklänge	64
Elongation	26, 28, 31	Frequenz	24, 26, 28, 37, 44, 46, 95
Energie	19, 94	Füllfaktor	71
Energie eines Photons	50	galvanisches Element: Leerlaufspannung	88
Energie, chemische	67	Gammastrahlung	99
Energie, elektrische	68	Gangunterschied	53
Energie, innere	75, 76	Gas, ideales	33, 73
Energie, Kernkraft	69	Gaskonstante	92
Energie, kinetische	20, 68	Gaskonstante, allgemeine	73
Energie, Lage	20, 68	Gaskonstante, spezifische	74, 77, 95, 101
Energie, potenzielle	20, 68	Gegenstandsgröße	47
Energie, relativistische	48, 49	Gegenstandsweite	47
Energie, Strahlung	69	geradlinige Bewegung	15
Energie, thermische	67	Gesamtenergie	20, 48, 51, 52
Energiedosis	56, 94	Geschwindigkeit	15, 20, 22, 48, 83, 95
Energieerhaltungssatz der Mechanik	20	Gesetz von Stokes	13
Energieinhalt des elektrischen Felds	39	Gewichtskraft	12
Energieinhalt des magnetischen Felds	42	Gewindegang	65
Energiestufen	52	Gibbs-Helmholtz-Gleichung	84
Entropie	75, 84	Gitterkonstante	30



Glanzwinkel.....	53	Kernladungszahl.....	54
Gleichstrom.....	35, 68	Kernphysik.....	54
Gleichstromertrag, theoretischer.....	72	Kilowattstunde.....	97
Gleitung.....	62	kinetische Energie.....	20, 48, 68
Globalstrahlungssumme.....	72	Knickkraft nach Euler.....	64
Gravitationsgesetz.....	18	Knicklänge, freie.....	64
Gravitationskonstante.....	92	Knickspannung nach Euler.....	64
griechisches Alphabet.....	98	Knickung.....	64
Grundgesetz der Mechanik.....	17	Knotenpunkt eines Fachwerks.....	60
Grundschiwingung.....	46	Kondensator.....	39
Halbwertszeit.....	55	konstante Streckenlast.....	59
harmonische Schwingung.....	26	Kraft.....	95
Hauptmaximum.....	30	Kräftepaar.....	60
Hauptsatz der Thermodynamik, erster.....	75	Kräftesystem, ebenes.....	58
Hauptsatz der Thermodynamik, zweiter.....	75	Kräftesystem, räumliches.....	58
Heizwert.....	67, 95	Kräftezerlegung.....	58
Heizwerte, feste/flüssige Brennstoffe.....	102	Kraftstoß.....	22
Heizwerte, gasförmige Brennstoffe.....	102	Kreisbewegung.....	24
Henderson-Hasselbach-Gleichung.....	87	Kreisfrequenz.....	26, 95
Hooke'sches Gesetz.....	12	Kreiswellen.....	29
hydrostatischer Druck.....	13	Kristallgitter.....	53
ideales Gas.....	34, 73	Kurzschlussstrom.....	71
Impuls.....	22, 95	K α -Linie.....	52
Impuls eines Photons.....	50	Ladung, elektrische.....	35, 94
Impuls, relativistischer.....	48, 49	Lageenergie.....	68
Impulserhaltungssatz.....	22	Längenänderung.....	33
Induktion, magnetische.....	41	Längenausdehnungskoeffizient.....	33, 95
Induktionsgesetz.....	42	Leerlaufspannung.....	71
Induktionsspannung.....	42	Leerlaufspannung eines galvanischen Elements.....	88
Induktivität.....	42, 43, 95	Leistung.....	21, 95
Induktivität einer lang gestreckten Spule.....	42	Leistung und Erträge von Solaranlagen.....	71
induzierte Spannung.....	42	Leistung, elektrische.....	35, 68
Infrarotstrahlung.....	99	Leistung, mechanische.....	67
innere Energie.....	76	Leistung, nutzbare.....	71
Interferenz.....	29	Leistungsfaktor.....	69
Ionenprodukt des Wassers.....	85	Leistungszahl nach Carnot.....	79
irreversibel.....	75	Leistungszahlen linkslaufender idealer Kreisprozesse.....	79
isobare Zustandsänderung.....	73	Leitwert, elektrischer.....	94
isobarer thermodynamischer Prozess.....	76	lichtelektrischer Effekt.....	50
isochore Zustandsänderung.....	73	Lichtgeschwindigkeit.....	92
isochorer thermodynamischer Prozess.....	76	linear polarisierte Welle.....	44
isotherme Zustandsänderung.....	73	lineare Streckenlast.....	59
isothermer thermodynamischer Prozess.....	77	lineares Kraftgesetz.....	26
Joule.....	97	Linienpektrum.....	52
Joule-Kreisprozess.....	79	Linsen.....	47
Kältemaschinenprozess nach Carnot.....	79	Lochleibung.....	66
Kapazität.....	95	Lorentzfaktor.....	48
Kapazität eines Kondensators.....	39, 43	Lorentzkraft.....	40
Kapazität eines Plattenkondensators.....	39		
Kernenergie.....	69		

magnetische Feldkonstante.....	44, 92	Periodendauer	26, 28, 44, 45, 95
magnetischen Flussdichte.....	40, 41, 44, 45, 95	Periodendauer der elektromagnetischen Schwingung	43
magnetische Induktion.....	41	Periodendauer der harmonischen Schwingung	26, 27
magnetische Kraft.....	40	Permeabilität.....	95
magnetischer Fluss.....	41, 95	Permeabilitätszahl.....	40, 42, 44, 95
magnetisches Feld.....	40	Permittivität.....	96
magnetisches Feld, Energieinhalt.....	42	Permittivitätszahl.....	39, 44, 96
Masse.....	12, 82	Photoelektronen.....	50
Masse eines Photons.....	50	Photonen.....	49, 50
Masse, molare	82	pH-Wert	86, 87
Masse, relativistische.....	48	pH-Wert in Lösungen schwacher Säuren.....	87
Massenanteil.....	83	pH-Wert in Lösungen starker Säuren.....	87
Massendefekt	54	pH-Wert in Pufferlösungen.....	87
Masseneinheit.....	97	Planck'sches Wirkungsquantum	50, 51, 52, 69, 92
Massenkonzentration.....	82	Plattenkondensator.....	38, 39
Massenwirkungsgesetz	84	pOH-Wert.....	86
Massenzahl.....	54	polares Flächenmoment.....	63
Materiewelle.....	51	polares Widerstandsmoment.....	63
Maximum Power Point.....	71	Potenzial.....	94
mechanische Arbeit	19, 20, 21, 75	Potenzial, elektrisches	37
mechanische Leistung	21, 67	Potenzialfunktion.....	51
mechanischer Wirkungsgrad.....	21, 67	potenzielle Energie.....	20, 68
Mikrowellen.....	99	Profilquerschnitt.....	63
mittlere Geschwindigkeit	15	Projektion, orthogonale	66
molare Masse	82, 95	Propan.....	102
molares Volumen	82, 92	Pufferlösungen: Henderson-Hasselbach- Gleichung.....	87
Molmasse	73	Quantenphysik.....	50
momentane Geschwindigkeit.....	15, 16	Quantenzahl	52
Moseley-Gesetz	52	radioaktive Substanz.....	55
Motorarbeit, Motorleistung.....	71	Radioaktivität.....	54
Nennleistung, Solaranlage.....	72	Radiowellen.....	99
Nernst'sche Gleichung.....	88	räumliches Kräftesystem.....	58
Netzebene	53	Reaktionsgeschwindigkeit.....	83
Netzebenenabstand.....	53	realer Gleichstromertrag.....	72
Newton'sche Gesetze.....	17	Redox-Gleichgewichte	88
nicht absorbierenden Medium	44	Reflexion.....	47
Niederfrequenz	99	Reflexionsgesetz	47
Normalspannung	61	Reflexionswinkel	47
nutzbare Leistung	71	Reibungskraft	13
Oberschwingung	32, 46	Reibungskraft bei laminarer Strömung.....	13
Ohm'scher Widerstand.....	35	Reibungskraft bei turbulenter Strömung.....	14
Ohm'sches Gesetz.....	35	Reibungszahl	96
Optik.....	47	Reihenschaltung elektrischer Widerstände.....	36
Ordnungszahl.....	52	ReiBlänge.....	61
orthogonale Projektion	66	relativistische Energie.....	48, 49
Ortsfaktor.....	12, 13, 20, 23, 61, 68, 92	relativistische Masse.....	48
Otto-Kreisprozess, thermischer Wirkungsgrad.....	78		
Parallelschaltung elektrischer Widerstände	36		
Performance Ratio	72		



relativistischer Impuls	48, 49	Stab eines Fachwerks	60
Relativitätstheorie	48	Statik	58
Richtgröße	26, 96	Statische Bestimmtheit	60
Röntgenröhre	52	statischer Druck	23
Röntgenspektrum	52	Steinkohle	102
Röntgenstrahlung	52, 99	Stoffmenge	73, 82
rotierende Leiterschleife	41	Stoffmengenkonzentration	82
rücktreibende Kraft	26	Strahlungsenergie	69
Ruheenergie	48, 93	Streckenlast, konstante	59
Ruhemasse	48, 93	Streckenlast, lineare	59
Rydberg-Konstante	52, 92	Streckgrenze	61
Satz nach Steiner	63	Stromstärke, effektive, elektrische	69
Säure-Base-Gleichgewicht	85	Stromstärke, elektrische	35
Säureexponent	85	Strömungsgeschwindigkeit	23
Säurekonstante	85, 106	Substanz, radioaktiv	55
Scherbeanspruchung	62	Teilchenzahl	82
Schlackenheitsgrad	64	Temperatur, absolute	75, 77
Schmelzwärme	96	theoretischer Gleichstromertrag	72
Schrödingergleichung	51	thermische Wirkungsgrade idealer	
Schubmodul	62	Kreisprozesse	78
Schubspannung	62	thermische Zustandsgleichung	73
Schwächungskoeffizient	96	thermischer Wirkungsgrad	78, 79
Schweredruck	23	Thermodynamik	73
äußere Scherkraft	62	thermodynamischer Prozess, adiabater	77
Schwerpunktachse	63	thermodynamischer Prozess, isobarer	76
Scherquerschnittsfläche	62	thermodynamischer Prozess, isochorer	76
Schwingkreis, elektromagnetischer	43	thermodynamischer Prozess, isotherm	77
Schwingung	26, 27, 43	Thomson-Gleichung	43
Schwingung, elektromagnetische	43	Torsionsbeanspruchung	63
Schwingung, mechanische	26	Torsionsmoment	63
Schwingungsphase	26, 96	Torsionsspannung	63
Selbstinduktion	42	Trägheitsradius	64
Selbstinduktionsspannung	42	Trägheitssatz	17
Serienformel	52	Turbinenleistung	70
Sicherheitszahl	61	Umlaufdauer	24, 96
sichtbares Licht	99	Unbestimmtheitsrelation	51
SI-Vorsätze	98	Unschärferelation	51
Solaranlagen	72	UV-Strahlung	99
Spaltmittenabstand	29	Verbrennungskraftmaschinen	70
Spannenergie	68	Verdampfungswärme	96
Spannung, Abscheren	62	Verschiebungsdichte	94
Spannung, effektive elektrische	69	Verschiebungssatz	63
Spannung, elektrische	35, 37, 94	Viskosität	96
Spannung, Zug	61	Volumen eines Gases	82
Spannungsreihe, elektrochemische	107, 108	Volumen, molares	82, 92
Spektrum, elektromagnetisches	99	Volumenänderung	33
spezifische Gaskonstante	74, 77	Volumenausdehnungskoeffizient	33, 96
spezifische Wärmekapazität	34, 67, 74, 76, 77, 103	Volumenstrom	23, 70
Spule, Induktivität	42	Wärme	34, 96
		Wärmekapazität	96

Wärmekapazität bei konstantem Volumen.....76	Windleistung69
Wärmekapazität, spezifisch bei konstantem Volumen77	Winkelgeschwindigkeit24, 25, 41, 96
Wärmekapazität, spezifische34, 67, 74, 103	Wirkleistung69
Wärmekapazität, spezifische bei konstantem Druck76	Wirkungsgrad21
Wärmekapazität, spezifische bei konstantem Volumen74, 76	Wirkungsgrad, mechanischer67
Wärme kraftmaschine78	Wirkungsgrad, thermischer78, 79
Wärmelehre33	zähe Werkstoffe61
Wärmeenergie67	Zentripetalbeschleunigung25
Wärmepumpenprozess nach Carnot79	Zentripetalkraft25
Wasserkraftturbine70	Zerfälle55
Wasserstoffatom52	Zerfallsgesetz55
Wechselstrom69	Zerfallskonstante55, 96
Wechselwirkungsprinzip18	Zerfallsrate55
Wellen, elektromagnetische44	Zugbeanspruchung61
Wellen, mechanische28	Zugfestigkeit61
Wellen, stehende31	Zugkraft61
Wellenfronten, ebene45	Zugspannung61
Wellenfunktion51	Zugspannung, zulässige61
Wellengleichung28, 31	zulässige Zugspannung61
Wellenlänge...28, 29, 30, 31, 44, 45, 50, 51, 52, 96, 99	Zustandsgleichungen, thermische73
Werkstoffe, zähe61	Zustandsänderung34, 73
Widerstand94	Zustandsänderung, adiabatisch74
Widerstand, elektrischer35	Zustandsänderung, isobare34, 73
Widerstände36	Zustandsänderung, isochore34, 73
Widerstandsmoment62, 63	Zustandsänderung, isotherme34, 73
Widerstandsmoment, axiales62	Zustandsgleichung des idealen Gases34
Widerstandsmoment, polares63	Zustandsgrößen34
Widerstandsmomente104	Zwischenreaktionen60
Windgeschwindigkeit69	α -Zerfall54
	β^+ -Zerfall54
	β^- -Zerfall54
	γ -Übergang54

Anhang

1 Algebraische Grundlagen

Binomische Formeln	$(a+b)^2 = a^2 + 2ab + b^2$	$(a+b)^3 = a^3 + 3a^2b + 3ab^2 + b^3$
	$(a-b)^2 = a^2 - 2ab + b^2$	$(a-b)^3 = a^3 - 3a^2b + 3ab^2 - b^3$
	$(a+b) \cdot (a-b) = a^2 - b^2$	$a^3 - b^3 = (a-b) \cdot (a^2 + ab + b^2)$

Absolutbetrag $|x| = \begin{cases} x & \text{für } x \geq 0 \\ -x & \text{für } x < 0 \end{cases}$

Wurzeln und Potenzen	$\sqrt{a} \cdot \sqrt{a} = a$	$\sqrt{a} \geq 0$	$\sqrt{a^2} = a $
	$\sqrt{a} \cdot \sqrt{b} = \sqrt{a \cdot b}$	$\frac{\sqrt{a}}{\sqrt{b}} = \sqrt{\frac{a}{b}}$	$\underbrace{\sqrt[n]{a} \cdot \dots \cdot \sqrt[n]{a}}_{n \text{ Faktoren}} = a$
	$a^n = \underbrace{a \cdot \dots \cdot a}_{n \text{ Faktoren}}$	$a^0 = 1$	$a^1 = a$
	$a^{-x} = \frac{1}{a^x}$	$a^x \cdot a^y = a^{x+y}$	$\frac{a^x}{a^y} = a^{x-y}$
	$(a^x)^y = a^{x \cdot y}$	$a^x \cdot b^x = (a \cdot b)^x$	$\frac{a^x}{b^x} = \left(\frac{a}{b}\right)^x$
	$\frac{1}{a^n} = \sqrt[n]{a}$	$\frac{m}{n} = \sqrt[n]{a^m}$	

Logarithmen

$\log_b a = z \Leftrightarrow b^z = a$	
$\log_b(uv) = \log_b u + \log_b v$	$\log_b \frac{u}{v} = \log_b u - \log_b v$
$\log_b u^z = z \cdot \log_b u$	$\log_c a = \frac{\log_b a}{\log_b c}$

Geradengleichung

$y = m \cdot x + t$	(allgemeine Form)
$y = m \cdot (x - x_0) + y_0$	(Punkt-Steigungs-Form)

Parabelgleichung

$y = ax^2 + bx + c$	(allgemeine Form)
$y = a \cdot (x - x_s)^2 + y_s$	(Scheitelform)
$y = a \cdot (x - x_1) \cdot (x - x_2)$	(Linearfaktorform)

Lösungsformel für die quadratische Gleichung

$$ax^2 + bx + c = 0 \text{ und } b^2 - 4ac \geq 0 \Rightarrow x_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

2 Analysis

**Symmetrie
bezüglich des
Koordinaten-
systems**

$$\left. \begin{array}{l} f(-x) = f(x) \\ \text{für alle } x \in D_f \end{array} \right\} \Rightarrow$$

$$\left. \begin{array}{l} f(-x) = -f(x) \\ \text{für alle } x \in D_f \end{array} \right\} \Rightarrow$$

G_f ist achsensymmetrisch zur y-Achse
(f heißt dann gerade Funktion)

G_f ist punktsymmetrisch zum Ursprung
(f heißt dann ungerade Funktion)

**Differenzen-
quotient**

$$\frac{f(x) - f(x_0)}{x - x_0}$$

(Sekantensteigung bzgl. x_0 und x)

**Ableitung $f'(x_0)$
(Differential-
quotient)**

Besitzt der Graph G_f an der Stelle x_0 eine eindeutige Tangente, so wird die Steigung dieser Tangente mit $f'(x_0)$ bezeichnet.

Dann gilt: $x \rightarrow x_0 \Rightarrow \frac{f(x) - f(x_0)}{x - x_0} \rightarrow f'(x_0)$

Schreibweisen: $f'(x) = \frac{df(x)}{dx} = \frac{d}{dx}f(x)$

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

**Ableitung der
Grundfunktionen**

$$\frac{d}{dx}(x^r) = r \cdot x^{r-1}$$

$$\frac{d}{dx}\left(\frac{1}{x^r}\right) = -\frac{r}{x^{r+1}}$$

$$\frac{d}{dx}(e^x) = e^x$$

$$\frac{d}{dx}(\ln x) = \frac{1}{x}$$

$$\frac{d}{dx}(\sin x) = \cos x$$

$$\frac{d}{dx}(\cos x) = -\sin x$$

$$\frac{d}{dx}(\arctan x) = \frac{1}{1+x^2}$$

Ableitungsregeln

$$f(x) = u(x) + v(x)$$

$$\Rightarrow f'(x) = u'(x) + v'(x)$$

$$f(x) = c \cdot u(x)$$

$$\Rightarrow f'(x) = c \cdot u'(x)$$

$$f(x) = u(x) \cdot v(x)$$

$$\Rightarrow f'(x) = u'(x) \cdot v(x) + u(x) \cdot v'(x)$$

$$f(x) = \frac{u(x)}{v(x)}$$

$$\Rightarrow f'(x) = \frac{u'(x) \cdot v(x) - u(x) \cdot v'(x)}{[v(x)]^2}$$

$$f(x) = u(v(x))$$

$$\Rightarrow f'(x) = u'(v(x)) \cdot v'(x)$$

Monotoniekriterium	$f'(x) < 0$ im Intervall I	$\Rightarrow G_f$ fällt streng monoton in I.
	$f'(x) > 0$ im Intervall I	$\Rightarrow G_f$ steigt streng monoton in I.
Art von relativen Extrema	$f'(x_0) = 0$ und $f''(x_0) > 0$	$\Rightarrow f$ hat an der Stelle x_0 ein relatives Minimum.
	$f'(x_0) = 0$ und $f''(x_0) < 0$	$\Rightarrow f$ hat an der Stelle x_0 ein relatives Maximum.
Graphenkrümmung	$f''(x) < 0$ im Intervall I	$\Rightarrow G_f$ ist in I rechtsgekrümmt.
	$f''(x) > 0$ im Intervall I	$\Rightarrow G_f$ ist in I linksgekrümmt.
Wendepunkt	Ist $f''(x_0) = 0$ und wechselt $f''(x)$ an der Stelle x_0 das Vorzeichen, so hat G_f an der Stelle x_0 einen Wendepunkt.	
Terrassenpunkt	Ist $f'(x_0) = 0$ und $f''(x_0) = 0$ und wechselt $f''(x)$ an der Stelle x_0 das Vorzeichen, so hat G_f an der Stelle x_0 einen Terrassenpunkt.	
Hauptsatz der Differenzial- und Integralrechnung	Ist f eine in $[a; b]$ stetige Funktion, so ist	
	die Integralfunktion $F_a : x \mapsto \int_a^x f(t) dt$ differenzierbar und	
	F_a ist eine Stammfunktion von f , d. h. $F_a'(x) = f(x)$.	
	Ist F eine Stammfunktion von f , so gilt:	
	$\int_a^b f(x) dx = [F(x)]_a^b = F(b) - F(a)$	
Partielle Integration	$\int_a^b u(x) \cdot v'(x) dx = [u(x) \cdot v(x)]_a^b - \int_a^b v(x) \cdot u'(x) dx$	
Integration durch Substitution	$\int_a^b f(x) dx = \int_{g^{-1}(a)}^{g^{-1}(b)} f(g(t)) \cdot g'(t) dt \quad \text{mit } x = g(t)$	

Volumen eines Rotationskörpers

Rotation um die x-Achse:

$$V = \pi \cdot \int_{x_1}^{x_2} (f(x))^2 dx$$

Rotation um die y-Achse:

$$V = \pi \cdot \int_{y_1}^{y_2} (f^{-1}(x))^2 dx$$

Unbestimmte Integrale

$$\int x^r dx = \frac{x^{r+1}}{r+1} + C \quad (r \neq -1)$$

$$\int \frac{1}{x} dx = \ln|x| + C$$

$$\int \sin x dx = -\cos x + C$$

$$\int \cos x dx = \sin x + C$$

$$\int e^x dx = e^x + C$$

$$\int \ln x dx = -x + x \cdot \ln x + C$$

$$\int \frac{f'(x)}{f(x)} dx = \ln|f(x)| + C$$

$$\int f'(x) \cdot e^{f(x)} dx = e^{f(x)} + C$$

$$\int \frac{1}{(\cos x)^2} dx = \tan x + C$$

$$\int \frac{1}{(\sin x)^2} dx = -\frac{1}{\tan x} + C$$

$$\int \frac{1}{a^2 - x^2} dx = \frac{1}{2a} \cdot \ln \left| \frac{a+x}{a-x} \right| + C$$

$$\int \frac{1}{a^2 + x^2} dx = \frac{1}{a} \cdot \arctan \frac{x}{a} + C$$

$$\int \frac{1}{\sqrt{x^2 \pm a^2}} dx = \ln \left| x + \sqrt{x^2 \pm a^2} \right| + C$$

$$\int \sqrt{a^2 + x^2} dx = \frac{x}{2} \cdot \sqrt{a^2 + x^2} + \frac{a^2}{2} \cdot \ln(x + \sqrt{a^2 + x^2}) + C$$

$$\int f(ax+b) dx = \frac{1}{a} \cdot F(ax+b) + C$$

wobei F eine
Stammfunktion von f ist

Grenzwertefür $r > 0$ gilt:

$$x \rightarrow -\infty \Rightarrow x^r \cdot e^x \rightarrow 0$$

$$x \rightarrow +\infty \Rightarrow \frac{x^r}{e^x} \rightarrow 0$$

$$x \rightarrow +\infty \Rightarrow \frac{\ln x}{x^r} \rightarrow 0$$

$$x \rightarrow 0 \Rightarrow x^r \cdot \ln x \rightarrow 0$$

3 Wahrscheinlichkeitsrechnung

Ω sei der Ergebnisraum eines Zufallsexperiments und $A, B \subseteq \Omega$ seien zwei beliebige Ereignisse.

Gesetze der Mengenalgebra

$$\bar{A} = \Omega \setminus A$$

$$\overline{\bar{A}} = A$$

$$A \cap \bar{A} = \{ \}$$

$$A \setminus B = A \cap \bar{B}$$

Gesetze von De Morgan

$$\overline{A \cap B} = \bar{A} \cup \bar{B}$$

$$\overline{A \cup B} = \bar{A} \cap \bar{B}$$

Unvereinbarkeit

$$A \cap B = \{ \} \Leftrightarrow A \text{ und } B \text{ heißen unvereinbar.}$$

Ereignis- wahrscheinlichkeiten

$$P(\{ \}) = 0$$

$$P(\bar{A}) = 1 - P(A)$$

$$P(\Omega) = 1$$

Satz von Sylvester

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A \cap B)$$

Bedingte Wahrscheinlichkeit

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

Unabhängigkeit von zwei Ereignissen

$$P_A(B) = P(B) \text{ oder } P(A \cap B) = P(A) \cdot P(B)$$

$$\Leftrightarrow A \text{ und } B \text{ sind stochastisch unabhängig.}$$

Fakultät

$$n! = n \cdot (n-1) \cdot (n-2) \cdot \dots \cdot 2 \cdot 1$$

Der Wert $n!$ gibt an, wie viele Möglichkeiten es gibt, n unterscheidbare Elemente in einer Reihe anzuordnen.

Binomialkoeffizient

$$\binom{n}{k} = \frac{n!}{k! \cdot (n-k)!} = \frac{n \cdot (n-1) \cdot \dots \cdot (n-k+1)}{k!}$$

Der Binomialkoeffizient gibt an, wie viele Möglichkeiten es gibt, aus einer Menge mit n Elementen Teilmengen mit k Elementen zu bilden.

Laplace-Experiment

Ein Laplace-Experiment ist ein Zufallsexperiment, bei dem alle Elementarereignisse des zugehörigen Ergebnisraumes gleich wahrscheinlich sind.

$$\text{Es gilt dann: } P(A) = \frac{|A|}{|\Omega|}$$

Maßzahlen von Zufallsgrößen

Die Zufallsgröße X nehme die Werte $x_1, x_2, \dots, x_n$ jeweils mit den Wahrscheinlichkeiten $p_1, p_2, \dots, p_n$ an.

Dann gilt:

- **Erwartungswert**
$$\mu = E(X) = \sum_{i=1}^n x_i \cdot p_i$$
$$= x_1 \cdot p_1 + x_2 \cdot p_2 + \dots + x_n \cdot p_n$$
- **Varianz**
$$\text{Var}(X) = \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2 \cdot p_i$$
$$= (x_1 - \mu)^2 \cdot p_1 + (x_2 - \mu)^2 \cdot p_2 + \dots + (x_n - \mu)^2 \cdot p_n$$
$$\text{Var}(X) = E(X^2) - \mu^2 \quad (\text{Verschiebungsregel})$$
- **Standardabweichung**
$$\sigma = \sqrt{\text{Var}(X)}$$

Binomialverteilung

Eine Zufallsgröße X beschreibe die Anzahl der Treffer in einer Bernoullikette der Länge n mit Trefferwahrscheinlichkeit p .

Dann gilt:

- Die Wahrscheinlichkeitsverteilung von X heißt Binomialverteilung.
- X heißt binomialverteilt, genauer $B(n; p)$ -verteilt.

Ist eine Zufallsgröße X binomialverteilt nach $B(n; p)$, so gilt:

- $P(X=k) = B(n; p; k) = \binom{n}{k} \cdot p^k \cdot (1-p)^{n-k}$ für $k = 0, 1, \dots, n$
- Erwartungswert: $E(X) = n \cdot p$
- Varianz: $\text{Var}(X) = n \cdot p \cdot (1-p)$

Hypothesentest

Beim Testen der Nullhypothese H_0 in einem Signifikanztest mit Signifikanzniveau α können zwei Fehler auftreten:

- Fehler 1. Art: H_0 wird abgelehnt, obwohl sie wahr ist.
- Fehler 2. Art: H_0 wird angenommen, obwohl sie falsch ist.

Das Signifikanzniveau α des Tests ist die größtmögliche noch akzeptierte Wahrscheinlichkeit des Fehlers 1. Art.

4 Geometrie

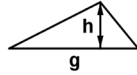
Flächengeometrie

A: Flächeninhalt

U: Umfang

Allgemeines Dreieck

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



Gleichseitiges Dreieck

$$A = \frac{a^2}{4} \cdot \sqrt{3}$$

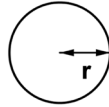
$$h = \frac{a}{2} \cdot \sqrt{3}$$



Kreis

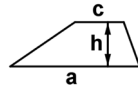
$$U = 2 \cdot r \cdot \pi$$

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



Trapez

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



Raumgeometrie

V: Volumen

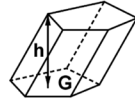
G: Grundfläche

M: Mantelfläche

O: Oberfläche

Prisma

$$V = G \cdot h$$



Pyramide

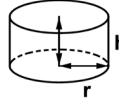
$$V = \frac{1}{3} \cdot G \cdot h$$



Gerader Kreiszylinder

$$V = r^2 \cdot \pi \cdot h$$

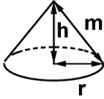
$$M = 2 \cdot r \cdot \pi \cdot h$$



Gerader Kreiskegel

$$V = \frac{1}{3} \cdot r^2 \cdot \pi \cdot h$$

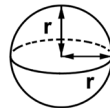
$$M = r \cdot \pi \cdot m$$



Kugel

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

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



Geradengleichung

$$g: \vec{x} = \vec{a} + \lambda \cdot \vec{u}$$

(Parameterform)

Ebenengleichung

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

(Parameterform)

$$E: a \cdot x_1 + b \cdot x_2 + c \cdot x_3 + d = 0$$

(Koordinatenform)

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

(Normalenform)

$$E: \frac{x_1}{s} + \frac{x_2}{t} + \frac{x_3}{u} = 1$$

(Achsenabschnittsform)

mit den Achsenschnittpunkten

$$S(s|0|0), T(0|t|0), U(0|0|u)$$

Skalarprodukt im $\mathbb{R}^3$

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

**Eigenschaften
und Anwendungen
des Skalarprodukts**

- zueinander senkrechte Vektoren: $\vec{a} \perp \vec{b} \Leftrightarrow \vec{a} \circ \vec{b} = 0$
- Betrag eines Vektors: $|\vec{a}| = \sqrt{\vec{a} \circ \vec{a}}$
- Einheitsvektor: $\vec{a}^0 = \frac{\vec{a}}{|\vec{a}|}$
- Winkel zwischen zwei Vektoren: $\cos \varphi = \frac{\vec{a} \circ \vec{b}}{|\vec{a}| \cdot |\vec{b}|}$
mit $0^\circ \leq \varphi \leq 180^\circ$

Vektorprodukt

$$\vec{a} \times \vec{b} = \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_2 \cdot b_3 - a_3 \cdot b_2 \\ a_3 \cdot b_1 - a_1 \cdot b_3 \\ a_1 \cdot b_2 - a_2 \cdot b_1 \end{pmatrix}$$

**Eigenschaften
und Anwendungen
des Vektorprodukts**

- $\vec{a} \times \vec{b}$ steht senkrecht auf $\vec{a}$ und $\vec{b}$.
- $|\vec{a} \times \vec{b}| = |\vec{a}| \cdot |\vec{b}| \cdot \sin \varphi$ mit $0^\circ \leq \varphi \leq 180^\circ$
- Maßzahl F des Flächeninhalts des Dreiecks ABC: $F = \frac{1}{2} \cdot |\overline{AB} \times \overline{AC}|$
- Maßzahl V des Volumens der dreiseitigen Pyramide ABCD: $V = \frac{1}{6} \cdot |\overline{AB} \circ (\overline{AC} \times \overline{AD})|$

**Lineare
Unabhängigkeit**

- $\vec{a}, \vec{b}, \vec{c} \in \mathbb{R}^3$ sind linear unabhängig.
- $\Leftrightarrow$ Die Gleichung $\lambda \cdot \vec{a} + \mu \cdot \vec{b} + \nu \cdot \vec{c} = \vec{0}$
ist nur mit $\lambda = \mu = \nu = 0$ lösbar.
- $\Leftrightarrow \vec{a} \circ (\vec{b} \times \vec{c}) \neq 0$

**Besondere
Punkte**

- Mittelpunkt M einer Strecke $\overline{AB}$: $\overline{OM} = \frac{1}{2} \cdot (\overline{OA} + \overline{OB})$
- Schwerpunkt S eines Dreiecks ABC: $\overline{OS} = \frac{1}{3} \cdot (\overline{OA} + \overline{OB} + \overline{OC})$

5 Trigonometrische Grundlagen

Rechtwinkliges Dreieck

Satz des Pythagoras: $a^2 + b^2 = c^2$

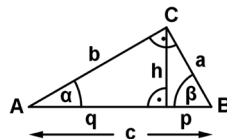
Höhensatz: $h^2 = pq$

Kathetensatz: $a^2 = cp$; $b^2 = cq$

$$\sin \alpha = \frac{a}{c}$$

$$\cos \alpha = \frac{b}{c}$$

$$\tan \alpha = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \frac{a}{b}$$

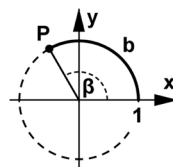


Beziehungen am Einheitskreis

- $P(x_p | y_p)$ liegt auf dem Einheitskreis

$$\Rightarrow \cos \beta = x_p \text{ und } \sin \beta = y_p$$

$$\bullet \frac{b}{\pi} = \frac{\beta}{180^\circ}$$



Trigonometrische Beziehungen

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

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

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

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

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

Additionstheoreme

$$\sin(2\varphi) = 2 \cdot \sin \varphi \cdot \cos \varphi$$

$$\left(\sin \frac{\varphi}{2}\right)^2 = \frac{1}{2} \cdot (1 - \cos \varphi)$$

$$\cos(2\varphi) = (\cos \varphi)^2 - (\sin \varphi)^2$$

$$\left(\cos \frac{\varphi}{2}\right)^2 = \frac{1}{2} \cdot (1 + \cos \varphi)$$

$$\sin(\alpha + \beta) = \sin \alpha \cdot \cos \beta + \cos \alpha \cdot \sin \beta$$

$$\cos(\alpha + \beta) = \cos \alpha \cdot \cos \beta - \sin \alpha \cdot \sin \beta$$

$$\sin \alpha + \sin \beta = 2 \cdot \sin \frac{\alpha + \beta}{2} \cdot \cos \frac{\alpha - \beta}{2}$$

$$\sin \alpha - \sin \beta = 2 \cdot \sin \frac{\alpha - \beta}{2} \cdot \cos \frac{\alpha + \beta}{2}$$

$$2 \cdot \sin \alpha \cdot \cos \beta = \sin(\alpha - \beta) + \sin(\alpha + \beta)$$

Die Merkhilfe stellt keine Formelsammlung im klassischen Sinn dar. Bezeichnungen werden nicht erklärt und Voraussetzungen für die Gültigkeit der Formeln in der Regel nicht dargestellt.

Stand der Merkhilfe: 11.09.2017

Periode	Gruppen-Nummerierung von 1 - 18 nach IUPAC-Standard															
	I. Hauptgruppe 1		II. Hauptgruppe 2													
1	1,008 1 H Wasserstoff 2,2															
2	6,94 3 Li Lithium 1,0	9,012 4 Be Beryllium 1,6														
3	22,99 11 Na Natrium 0,9	24,31 12 Mg Magnesium 1,3	III. Nebengruppe 3	IV. Nebengruppe 4	V. Nebengruppe 5	VI. Nebengruppe 6	VII. Nebengruppe 7	VIII. Nebengruppe 8	VIII. Nebengruppe 9							
4	39,10 19 K Kalium 0,8	40,08 20 Ca Calcium 1,0	44,96 21 Sc Scandium 1,4	47,87 22 Ti Titan 1,5	50,94 23 V Vanadium 1,6	52,00 24 Cr Chrom 1,7	54,94 25 Mn Mangan 1,6	55,85 26 Fe Eisen 1,8	58,93 27 Co Cobalt 1,9							
5	85,47 37 Rb Rubidium 0,8	87,62 38 Sr Strontium 1,0	88,91 39 Y Yttrium 1,2	91,22 40 Zr Zirkonium 1,3	92,91 41 Nb Niob 1,6	95,95 42 Mo Molybdän 2,2	(98) 43 Tc Technetium 1,9	101,1 44 Ru Ruthenium 2,2	102,9 45 Rh Rhodium 2,3							
6	132,9 55 Cs Caesium 0,8	137,3 56 Ba Barium 0,9	175,0 71 Lu Lutetium 1,3	178,5 72 Hf Hafnium 1,3	181,0 73 Ta Tantal 1,5	183,8 74 W Wolfram 2,4	186,2 75 Re Rhenium 1,9	190,2 76 Os Osmium 2,2	192,2 77 Ir Iridium 2,2							
7	[223]* 87 Fr Francium 0,7	[226]* 88 Ra Radium 0,9	[262]* 103 Lr Lawrencium 1,3	[267]* 104 Rf Rutherfordium	[268]* 105 Db Dubnium	[271]* 106 Sg Seaborgium	[272]* 107 Bh Bohrium	[278]* 108 Hs Hassium	[278]* 109 Mt Meitnerium							
Elektr. Zustand	s ¹	s ²	d ¹	d ²	d ³	d ⁴	d ⁵	d ⁶	d ⁷							
Lanthanoide ▶			138,9 57 La Lanthan 1,1	140,1 58 Ce Cer 1,1	140,9 59 Pr Praseodym 1,1	144,2 60 Nd Neodym 1,1	[147]* 61 Pm Promethium 1,1	150,4 62 Sm Samarium 1,2	152,0 63 Eu Europium 1,2							
Actinoide ▶			[227]* 89 Ac Actinium 1,1	232,0 * 90 Th Thorium 1,3	231,0 * 91 Pa Protactinium 1,5	238,0 * 92 U Uran 1,4	[237] * 93 Np Neptunium 1,3	[244] * 94 Pu Plutonium 1,3	[243] * 95 Am Americium 1,1							
			f ¹	f ²	f ³	f ⁴	f ⁵	f ⁶	f ⁷							

entlang der gestrichelten Linie nach oben falten

Verwendung s
(nur H
Falten entlang

als Kurzperiodensystem
(Hauptgruppen):
der gestrichelten Linien

entlang der gestrichelten Linie nach unten fallen



Periodensystem



VIII.
Hauptgruppe
18

Haupt-
quanten-
zahl n

als Kurzperiodensystem Hauptgruppen): der gestrichelten Linien			entlang der gestrichelten Linie nach unten			III. Hauptgruppe 13			IV. Hauptgruppe 14			V. Hauptgruppe 15			VI. Hauptgruppe 16			VII. Hauptgruppe 17			2 He Helium (1s ²)			n=1 K-Schale					
						10,81 5 B Bor 2,0			12,01 6 C Kohlenstoff 2,6			14,01 7 N Stickstoff 3,0			16,00 8 O Sauerstoff 3,4			19,00 9 F Fluor 4,0			20,18 10 Ne Neon			n=2 L-Schale					
VIII. Nebengruppe 10			I. Nebengruppe 11			II. Nebengruppe 12			26,98 13 Al Aluminium 1,6			28,09 14 Si Silicium 1,9			30,97 15 P Phosphor 2,2			32,06 16 S Schwefel 2,6			35,45 17 Cl Chlor 3,2			39,95 18 Ar Argon			n=3 M-Schale		
58,69 28 Ni Nickel 1,9			63,55 29 Cu Kupfer 1,9			65,38 30 Zn Zink 1,7			69,72 31 Ga Gallium 1,8			72,63 32 Ge Germanium 2,0			74,92 33 As Arsen 2,2			78,97 34 Se Selen 2,6			79,90 35 Br Brom 3,0			83,80 36 Kr Krypton			n=4 N-Schale		
106,4 46 Pd Palladium 2,2			107,9 47 Ag Silber 1,9			112,4 48 Cd Cadmium 1,7			114,8 49 In Indium 1,8			118,7 50 Sn Zinn 2,0			121,8 51 Sb Antimon 2,1			127,6 52 Te Tellur 2,1			126,9 53 I Iod 2,7			131,3 54 Xe Xenon			n=5 O-Schale		
195,1 78 Pt Platin 2,2			197,0 79 Au Gold 2,4			200,6 80 Hg Quecksilber 1,9			204,4 81 Tl Thallium 1,8			207,2 82 Pb Blei 1,8			209,0 83 Bi Bismut 1,9			[209]* 84 Po Polonium 2,0			[210]* 85 At Astat 2,2			[222]* 86 Rn Radon			n=6 P-Schale		
[282]* 110 Ds Darmstadtium			[282]* 111 Rg Roentgenium			[285]* 112 Cn Copernicium			[287]* 113 Nh Nihonium			[289]* 114 Fl Flerovium			[291]* 115 Mc Moscovium			[293]* 116 Lv Livermorium			[294]* 117 Ts Tenness			[294]* 118 Og Oganesson			n=7 Q-Schale		
d ⁸			d ⁹			d ¹⁰			p ¹			p ²			p ³			p ⁴			p ⁵			p ⁶					
157,3 64 Gd Gadolinium 1,2			158,9 65 Tb Terbium 1,1			162,5 66 Dy Dysprosium 1,2			164,9 67 Ho Holmium 1,2			167,3 68 Er Erbium 1,2			168,9 69 Tm Thulium 1,3			173,1 70 Yb Ytterbium 1,1			mittlere Atommasse A_m in der Einheit u bzw. molare Masse M in der Einheit g/mol alle Isotope sind radioaktiv Protonen- zahl → 238,0 92 U Uran 1,7 Elemente Elemente Elektronegativität (nach Pauling)								
[247] * 96 Cm Curium 1,3			[247] * 97 Bk Berkelium 1,3			[251] * 98 Cf Californium 1,3			[252] * 99 Es Einsteinium 1,3			[252] * 100 Fm Fermium 1,3			[258] * 101 Md Mendelevium 1,3			[259] * 102 No Nobelium 1,3											
f ⁸			f ⁹			f ¹⁰			f ¹¹			f ¹²			f ¹³			f ¹⁴											

BERUFLICHE OBERSCHULEN

Physik,
Technologie/Naturwissenschaften,
Chemie



Qualitätsagentur am Staatsinstitut für
Schulqualität und Bildungsforschung
Schellingstraße 155, 80797 München
Tel.: 089 2170-2197
Fax: 089 2170-2816
Internet: www.isb.bayern.de