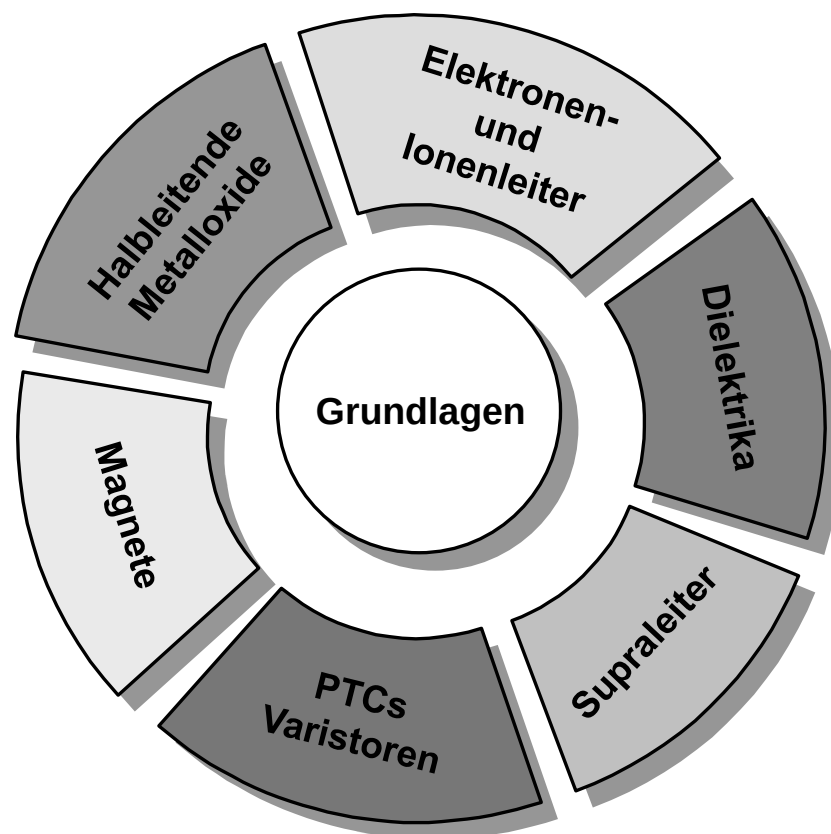


Formelsammlung

Passive Bauelemente

WS 2014/2015



Inhaltsverzeichnis

A	GLEICHUNGEN	1
A.1	Aufbau von Atomen und Festkörpern	1
	Thermodynamik	1
	Massenwirkungsgesetz	1
	Diffusion	1
	Wärme	2
	Temperaturkoeffizienten	3
	Mechanik	3
A.2	Leiterwerkstoffe und ihre Bauelemente	3
	Grundlagen Leiter	3
	Temperaturabhängigkeit der Beweglichkeit	4
	Halbleiter	4
	Hoppingleiter	5
	Thermoelektrische Effekte	5
	Piezoresistiver Effekt	5
	Empirische Zusammenhänge	6
	Bauelemente mit nichtlinearen Widerständen	6
A.3	Dielektrische Werkstoffe und ihre Bauelemente	7
	Feld- und Materialgleichungen	7
	Piezoelektrizität	7
	Pyroelektrizität	7
	Ferroelektrizität	8
A.4	Magnetische Werkstoffe und ihre Bauelemente	8
	Feld- und Materialgleichungen	8
	Magnetische Momente der Atome	8
	Einsatz magnetischer Werkstoffe	9
B	ANHANG	10
B.1	Symbolverzeichnis	10
B.2	Konstanten	13
C	PERIODENSYSTEM	14

A Gleichungen

A.1 Aufbau von Atomen und Festkörpern

Thermodynamik

Gibbssche Fundamentalform

$$dE = -pdV + TdS + \phi dQ + \mu dN + \dots = \sum_i x_i dY_i \quad (\text{A.1-1})$$

Zusammenhang chemisches / elektrochemisches Potential

$$\tilde{\mu} = \mu + nF\Phi = \mu + z \cdot e_0 \cdot \phi \quad (\text{A.1-2})$$

Massenwirkungsgesetz

$$\alpha \cdot A + \beta \cdot B \rightleftharpoons \gamma \cdot C + \delta \cdot D \quad (\text{A.1-3})$$

$$\frac{[C]^\gamma \cdot [D]^\delta}{[A]^\alpha \cdot [B]^\beta} = K(T) = k_0 \cdot e^{-\frac{\Delta G}{kT}} \quad (\text{A.1-4})$$

Frenkel-Defekte

$$\left[V_A^x \right] = \left[A_i^x \right] = N_0 \cdot e^{-\frac{W_{Fr}}{kT}} \quad (\text{A.1-5})$$

Schottky-Defekte

in kovalenten Kristallen: $\left[V_A^x \right] = N_0 \cdot e^{-\frac{W_S}{kT}} \quad (\text{A.1-6})$

in ionischen Kristallen: $\left[V_A' \right] = \left[V_B^\bullet \right] = N_0 \cdot e^{-\frac{W_S}{2kT}} \quad (\text{A.1-7})$

Diffusion

Erstes Ficksches Gesetz

$$\vec{J}_n = -D \cdot \text{grad } c \quad (\text{A.1-8})$$

Zweites Ficksches Gesetz

$$\text{div grad } c = \Delta c = \frac{1}{D} \frac{\partial c}{\partial t} \quad \left(\frac{\partial^2 c}{\partial x^2} = \frac{1}{D} \frac{\partial c}{\partial t} \right) \quad (\text{A.1-9})$$

Temperaturabhängigkeit des Diffusionskoeffizienten

$$D = D_0 \cdot e^{-\frac{\Delta W}{kT}} \quad (\text{A.1-10})$$

Teilchenstromdichte

$$j_{Diff} = \frac{1}{A} \cdot \frac{dN}{dt} \quad (A.1-11)$$

Diffusionsprofil und Eindringtiefe bei unerschöpflicher Quelle

$$c(x,t) = c_0 \cdot \left(1 - \frac{2}{\sqrt{\pi}} \cdot \int_0^a e^{-u^2} du \right) \quad a = \frac{x}{2\sqrt{Dt}}$$

$$x_0 = 1,28 \cdot \sqrt{Dt} \quad (A.1-12)$$

Diffusionsprofil und Eindringtiefe bei begrenzter Quelle

$$c(x,t) = \frac{N_F}{\sqrt{\pi Dt}} \cdot e^{-\frac{x^2}{4Dt}} \quad x_0 = 2 \cdot \sqrt{Dt} \quad (A.1-13)$$

Wärme

Wärmeleitung (Fourier-Gesetz)

$$P = -\lambda_W \cdot A \cdot \frac{dT}{dx} \quad (A.1-14)$$

Konvektion (Newton-Gesetz)

$$P = \alpha_K \cdot A_0 \cdot (T - T_U) = G_{th} \cdot (T - T_U) \quad (A.1-15)$$

Wärmestrahlung (Stefan-Boltzmann-Gesetz)

$$P_{AB} = c \cdot \sigma \cdot A \cdot (T_A^4 - T_B^4) \quad (A.1-16)$$

Molare Wärmekapazität

$$c_{W,m} = \frac{\partial U}{\partial T} \quad (A.1-17)$$

Wärmestromdichte

$$q_W = \frac{P}{A} = n \cdot \frac{3}{2} kT \cdot v_{Drift} \quad (A.1-18)$$

Wärmeleitfähigkeit

$$\lambda_W = \left(\frac{3}{2} \right)^2 \cdot \frac{n \cdot \tau}{m_n} \cdot k^2 T \quad (A.1-19)$$

Driftgeschwindigkeit eines Elektrons bei ΔT

$$v_{Drift} = -\frac{3}{2} \cdot \frac{k \cdot \tau}{m_n} \cdot \frac{dT}{dx} \quad (A.1-20)$$

Thermische Energie eines Elektrons

$$W_{th} = \frac{3}{2} kT \quad (\text{A.1-21})$$

Temperaturkoeffizienten

Anwendung

$$Y(T) = Y(T_N) \cdot (1 + \alpha_Y \cdot \Delta T) \quad \text{mit } \Delta T = T - T_N \quad (\text{A.1-22})$$

Berechnung

Temperaturkoeffizient (physikalisch)

$$TK_Y = \frac{1}{Y(T)} \cdot \frac{dY(T)}{dT} \quad (\text{A.1-22})$$

Temperaturkoeffizient (technisch)

$$\alpha_Y = \frac{1}{Y(T_0)} \cdot \frac{\Delta Y}{\Delta T} \quad \text{mit } \Delta T = T_A - T_B \quad \text{und } \Delta Y = Y(T_A) - Y(T_B) \quad (\text{A.1-23})$$

Mechanik

Querkontraktionszahl / Poissonzahl

$$\nu = -\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{\Delta A/A_0}{\Delta l/l_0} \right) \quad (\text{A.1-25})$$

Schubmodul

$$G_M = \frac{\tau_M}{\gamma_M} \quad (\text{A.1-25})$$

Elastizitätsmodul

$$E_M = \frac{\sigma_M}{\varepsilon_M} \quad (\text{A.1-25})$$

A.2 Leiterwerkstoffe und ihre Bauelemente

Grundlagen Leiter

Leitfähigkeit

$$\sigma = \sum_i \sigma_i = e_0 \cdot \sum_i |z_i| \cdot n_i \cdot \mu_i \quad (\text{A.2-1})$$

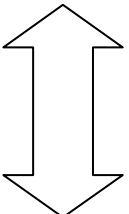
Beweglichkeit, Driftgeschwindigkeit und mittlere Stoßzeit / Intraband-Relaxationszeit der Spezies i

$$\mu_i = \frac{v_{D,i}}{E} = \frac{e_0 \cdot \tau_i}{m_i} \quad (\text{A.2-2})$$

Einstein-Beziehung für die Spezies i

$$D_i(T) = \frac{kT}{q_i} \mu_i(T) \quad (\text{A.2-3})$$

Temperaturabhängigkeit der Beweglichkeit

	Mechanismus	Temperaturabhängigkeit	Aktivierungsenergie E_A / [eV]	Größenordnung μ / [cm^2/Vs]
	Streuung an Gitterschwingungen und Störstellen	$\mu \sim T^{-3/2}$	~ 0	$10^2 \dots 10^4$
	Großes Polaron	$\mu \sim T^{-1/2}$	$\sim 0,1$	$10^0 \dots 10^2$
	Kleines Polaron	$\mu \sim f(T) \exp(-E_A/kT)$	$\sim 0,5$	$10^{-4} \dots 10^{-2}$
Hopping-leitung				

Halbleiter

Boltzmann-Verteilung

$$f_B(W, T) = e^{-\left(\frac{W - W_F}{kT}\right)} \quad (\text{A.2-4})$$

Eigenhalbleiter

Elektronenkonzentration im Leitungsband

$$n = N_L \cdot \exp\left(\frac{-(W_L - W_F)}{kT}\right) \text{ mit } N_L = 2 \cdot \left(\frac{2\pi \cdot m_n \cdot kT}{h^2}\right)^{\frac{3}{2}} \quad (\text{A.2-5})$$

Löcherkonzentration im Valenzband

$$p = N_V \cdot \exp\left(\frac{-(W_F - W_V)}{kT}\right) \text{ mit } N_V = 2 \cdot \left(\frac{2\pi \cdot m_p \cdot kT}{h^2}\right)^{\frac{3}{2}} \quad (\text{A.2-6})$$

Eigenleitungskonzentration

$$n_i = N_{eff} \cdot \exp\left(\frac{-\Delta W_G}{2 \cdot kT}\right) \text{ mit } N_{eff} = \sqrt{N_L \cdot N_V} \quad (\text{A.2-7})$$

Störstellenhalbleiter

Elektronenkonzentration bei Donatordotierung

$$n = \begin{cases} \sqrt{N_D N_L} \cdot \exp\left(\frac{-\Delta W_D}{2 \cdot kT}\right) & (\text{Reserve}) \\ N_D & (\text{Erschöpfung}) \end{cases} \quad (\text{A.2-8})$$

Löcherkonzentration bei Akzeptordotierung

$$p = \begin{cases} \sqrt{N_A N_V} \cdot \exp\left(\frac{-\Delta W_A}{2 \cdot kT}\right) & (\text{Reserve}) \\ N_A & (\text{Erschöpfung}) \end{cases} \quad (\text{A.2-9})$$

Hoppingleiter

Diffusionskonstante der Polaronen

$$D = (1-c)a^2 v_0 \cdot \exp\left(-\frac{E_A}{kT}\right) \quad (\text{A.2-10})$$

Thermoelektrische Effekte

Kontaktspannung zwischen zwei Metalle

$$-e_0 \cdot U_{12} = W_{A1} - W_{A2} \quad (\text{A.2-11})$$

Seebeck-Effekt

$$U_{Th} = \eta \cdot \Delta T \quad (\text{A.2-12})$$

Peltier-Effekt

$$P_p = \pi_{AB} \cdot I \quad (\text{A.2-13})$$

Piezoresistiver Effekt

allgemeines, totales Differential des Widerstands

$$dR = \frac{\partial R}{\partial l} dl + \frac{\partial R}{\partial A} dA + \frac{\partial R}{\partial \rho} d\rho \quad (\text{A.2-14})$$

Definition: k-Faktor

$$\frac{\Delta R}{R} = k \cdot \varepsilon_M \quad (\text{A.2-15})$$

Empirische Zusammenhänge

Matthiessensche Regel

$$\rho = \rho^T(T) + \rho^I \quad (\text{A.2-16})$$

Wiedemann-Franz-Gesetz

$$L = \frac{\lambda_W}{\sigma} \cdot \frac{1}{T} \quad (\text{A.2-17})$$

Regel nach Grüneisen

$$\rho \propto T \cdot G(\Theta_D/T)$$

$$G(x) = x^{-4} \cdot \int_0^x \frac{s^5}{(e^s - 1) \cdot (1 - e^{-s})} ds \quad (\text{A.2-18})$$

Supraleiter erster Art

$$B_c(T) = B_0 \cdot \left[1 - \left(\frac{T}{T_c} \right)^2 \right] \quad (\text{A.2-19})$$

Bauelemente mit nichtlinearen Widerständen

Varistoren

Kennlinie

$$I = \pm I_0 \cdot \left| \frac{U}{U_0} \right|^\alpha \quad (\text{A.2-20})$$

PTC-Widerstände

Korngrenzwiderstand

$$R_{KG} \sim \exp\left(\frac{W_B}{k \cdot T}\right) \quad (\text{A.2-21})$$

NTC-Widerstände

Temperaturabhängigkeit des Widerstands

$$R(T) = \frac{I}{en\mu(T) \cdot d^2} = A \cdot \exp\left(\frac{B}{T}\right) \quad (\text{A.2-22})$$

Temperaturabhängigkeit des Widerstands bezogen auf Nenndaten

$$\frac{R(T)}{R_N} = \exp\left[B \cdot \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_N}\right)\right] \quad (\text{A.2-23})$$

A.3 Dielektrische Werkstoffe und ihre Bauelemente

Feld- und Materialgleichungen

Dielektrische Verschiebung

$$D = \varepsilon_0 E + P \quad (\text{A.3-1})$$

Polarisation (in linearer isotroper Materie $\chi_e = \text{const.}$)

$$P = \varepsilon_0 \chi_e E \quad (\text{A.3-2})$$

Relative Dielektrizitätszahl

$$\varepsilon_r = 1 + \chi_e \quad (\text{A.3-3})$$

Dielektrische Polarisation

$$P = n\alpha \cdot E_{lok} \quad (\text{A.3-4})$$

Lokale Feldstärke

$$E_{lok} = E + \frac{P}{3\varepsilon_0} \quad (\text{A.3-5})$$

Clausius-Mosotti-Beziehung

$$\frac{n\alpha}{3\varepsilon_0} = \frac{\varepsilon_r - 1}{\varepsilon_r + 2} \quad (\text{A.3-6})$$

Piezoelektrizität

$$\varepsilon_M = s^E \cdot \sigma_M + d \cdot E \quad (\text{A.3-7})$$

$$D = d \cdot \sigma_M + \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r^T \cdot E \quad (\text{A.3-8})$$

$$\varepsilon_M = s^D \cdot \sigma_M + g \cdot D \quad (\text{A.3-9})$$

$$E = -g \cdot \sigma_M + \frac{D}{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r^T} \quad (\text{A.3-10})$$

$$k^2 = \frac{\text{abgegebene mechanische Energie}}{\text{aufgenommene elektrische Energie}} = \frac{d^2}{s^E \cdot \varepsilon_r^T \cdot \varepsilon_0} = \frac{g^2 \cdot \varepsilon_r^T \cdot \varepsilon_0}{s^E} \quad (\text{A.3-11})$$

Pyroelektrizität

Pyrokoeffizient

$$\pi_P = \frac{dP_R}{dT} \quad (\text{A.3-12})$$

Temperaturabhängigkeit der Spannung bei offenen Elektroden

$$\Delta U = \pi_P \cdot \frac{A \cdot \Delta T}{C} \quad (\text{A.3-13})$$

Bei kurzgeschlossenen Elektroden fließt entsprechend der Temperaturänderung eine Ladung

$$\Delta Q = \pi_P \cdot A \cdot \Delta T \quad (\text{A.3-14})$$

Ferroelektrizität

Curie-Weiß-Gesetz

$$\varepsilon_r = \frac{C}{T - T_0} \quad (\text{A.3-15})$$

A.4 Magnetische Werkstoffe und ihre Bauelemente

Feld- und Materialgleichungen

Magnetische Flussdichte

$$B = \mu_0 \cdot H + J = \mu_0 \cdot (H + M) \quad (\text{A.4-1})$$

Magnetische Polarisation (in linearer isotroper Materie $\chi_m = \text{const.}$)

$$J = \mu_0 \cdot \chi_m \cdot H \text{ und } M = \chi_m \cdot H \quad (\text{A.4-2})$$

Relative Permeabilität

$$\mu_r = 1 + \chi_m \quad (\text{A.4-3})$$

Magnetische Momente der Atome

Magnetisches Bahnmoment

$$\mu_L = \frac{e_0 \omega}{2\pi} \cdot \pi r^2 = I \cdot \frac{e_0 \hbar}{2m_e} \equiv I \cdot \mu_B \quad (\text{A.4-4})$$

Eigendrehimpuls der Elektronen (Spin)

$$\mu_S = 2\mu_B \cdot S = \pm \mu_B \quad (\text{A.4-5})$$

Bohrsches Magneton

$$\mu_B = \frac{e_0 \hbar}{4\pi m_e} = 9,274 \cdot 10^{-24} \text{ Am}^2 \quad (\text{A.4-6})$$

Einsatz magnetischer Werkstoffe

Induktivität langer Spulen $l \gg r$

$$L \approx \mu_0 \cdot \mu_r \cdot \frac{n^2 \cdot A}{l} \quad (\text{A.4-7})$$

Im Magnetfeld gespeicherte Energie

$$W_m = \frac{1}{2} L \cdot I^2 = \oint H(B) dB \quad (\text{A.4-8})$$

Hystereseverluste

$$P_H = V \cdot f \cdot \oint H dJ = V \cdot f \cdot \oint H dB \quad (\text{A.4-9})$$

B Anhang

B.1 Symbolverzeichnis

Symbol	Einheit	Größe
α	Am ² s / V	Polarisierbarkeit
α_K	-	Materialkonstante (Newton-Gesetz)
α_Y	1 / K	technischer Temperaturkoeffizient
γ_M	-	Scherung
ε_M	-	mechanische Dehnung
ε_r	-	relative Dielektrizitätszahl
ε_r^T	-	Dielektrizitätskonstante bei $\sigma_M = \text{const}$
η_{AB}	V / K	Seebeck-Koeffizient
Θ_D	K	Temperaturkonstante Grüneisen-Regel
λ	W / (m·K)	Wärmeleitfähigkeit
μ	eV	chemisches Potential
μ_i	cm ² / (Vs)	Ladungsträgerbeweglichkeit Spezies i
μ_i	Am ²	magnetisches Moment i
μ_r	-	rel. magn. Permeabilität
μ_S	Am ²	Eigendrehimpuls der Elektronen (Spin)
ν	-	Querkontraktionszahl, Poisson-Zahl
ν_0	Hz	Schwingfrequenz Debye-Frequenz
π_{AB}	V	Peltier-Koeffizient
π_P	C / (m ² K)	Pyrokoeffizient
ρ	Ω m	spezifischer Widerstand
σ_i	m ² / N	Elastizitätskonstante bei i konstant
σ	1 / (Ω m)	elektrische Leitfähigkeit
σ_M	N / m ²	Zugfestigkeit
τ_i	s	Zeitkonstante i
τ_M	Pa	Scherspannung
Φ	V	Potential
χ_e	-	elektrische Suszeptibilität

Symbol	Einheit	Größe
χ_M	-	magnetischen Suszeptibilität
ω_D	Hz	Charakteristische Grenzfrequenz nach Debye
ω_E	Hz	Mittlere Schwingungsfrequenz von Phononen
A	m ²	Fläche
A	A	Konstante NTC
a	m	Sprungabstand
B	-	Konstante NTC
B_i	T	Magnetische Induktion der Art i
C	F	Kapazität
C	K	Curie-Konstante
c	-	Materialkonstante (Stefan-Boltzmann-Gesetz)
c	-	Prozentuale Besetzung von Plätzen
$c(x)$	1 / m ³	Konzentration
c_W	J / (kg·K)	spezifische Wärmekapazität
c_W	J / K	Wärmekapazität
$c_{W,m}$	J / (mol·K)	molare Wärmekapazität
D	As / m ²	elektrische Verschiebungsdichte
D_i	m ² / s	Diffusionskoeffizient der Spezies i
d	m / V	Piezoelektrische Ladungskonstante
E_i	J oder eV	Energie
E	V / m	elektrische Feldstärke
E_{lok}	V / m	lokale Feldstärke
E_M	N / m ²	Elastizitätsmodul
G	J	Freie Enthalpie
G_M	N / m ²	Schubmodul
G_{th}	W / K	thermischer Leitwert
g	Vm / N	Piezoelektrische Spannungskonstante
H	A / m	Magnetische Feldstärke
I	A	Strom
I_0	A	Nennansprechstrom
J	T	Magnetische Polarisierung
J_n	1 / (m ² s)	Partikelstromdichte

Symbol	Einheit	Größe
K	A	Materialkonstante Varistor
k	-	piezoelektrischer Kopplungsfaktor
k	-	k-Faktor (Dehnmessstreifen)
L	H	Induktivität
L	V^2 / K^2	Lorenzzahl
l	m	Länge
M	A / m	Magnetisierung
m_i	kg	(effektive) Masse der Spezies i
n	-	Windungszahl
n	$1 / m^3$	Elektronenkonzentration
N_A	$1 / m^3$	Konzentration der Akzeptoren
N_D	$1 / m^3$	Konzentration der Donatoren
N_{eff}	$1 / m^3$	mittlere effektive Zustandsdichte
N_F	$1 / m^2$	Flächenbelegung
N_i	-	Dichte von i
n_i	$1 / m^3$	Eigenleitungskonzentration, Ladungsträgeranzahl Spezies i
N_L	$1 / m^3$	effektive Zustandsdichte Leitungsband
N_V	$1 / m^3$	effektive Zustandsdichte Valenzband
P	As / m^2	elektrische Polarisierung
P_i	W	Leistung i
P_r	As / m^2	remanente Polarisierung
p	Asm	Dipolmoment
p	Pa	Druck
p	$1 / m^3$	Löcherkonzentration
Q	C	Ladung
q	W / m^2	Wärmestromdichte
q	C	Ladung der Spezies i
R	Ω	elektrischer Widerstand
T	K	Temperatur
TK	$1 / K$	physikalischer Temperaturkoeffizient
t	s	Zeit
U	J	innere Energie

Symbol	Einheit	Größe
U	V	elektrische Spannung
U_0	V	Nennansprechspannung
V	m ³	Volumen
$v_{D,i}$	m / s	Driftgeschwindigkeit der Spezies i
W_i	J oder eV	Energie i
x_0	m	Eindringtiefe
Z	-	Protonen/Elektronenzahl, Ordnungszahl
z_i	-	Ladungszahl der Spezies i

B.2 Konstanten

Konstante	Wert	Einheit	Bezeichnung
ε_0	$8,854 \cdot 10^{-12}$	As / (Vm)	elektrische Feldkonstante
μ_0	$1,257 \cdot 10^{-6}$	Vs / (Am)	magnetische Feldkonstante (Induktionskonstante)
μ_B	$9,274 \cdot 10^{-24}$	Am ²	Bohrsches Magneton
σ	$5,670 \cdot 10^{-8}$	W / (m ² K ⁴)	Stefan-Boltzmann-Konstante
c_0	$2,998 \cdot 10^8$	m / s	Vakuumlichtgeschwindigkeit
e_0	$1,602 \cdot 10^{-19}$	As	Elementarladung
F	$9,649 \cdot 10^4$	C / mol	Faraday-Konstante
h	$6,626 \cdot 10^{-34}$	Js	Plancksches Wirkungsquantum
$\hbar$	$1,055 \cdot 10^{-34}$	Js	Dirac-Konstante
k	$8,617 \cdot 10^{-5}$	eV / K	Boltzmann-Konstante
k	$1,381 \cdot 10^{-23}$	J / K	Boltzmann-Konstante
m_e	$9,109 \cdot 10^{-31}$	kg	Ruhemasse des Elektrons
N_A	$6,022 \cdot 10^{23}$	1 / mol	Avogadro-Konstante
R	8,314	J / (mol K)	Ideales Gas Konstante

C Periodensystem

		Gruppen																																			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18																		
Perioden	1																	2 4,003 He Helium																			
	2																	5 10,81 B Bor		6 12,01 C Kohlenstoff		7 14,01 N Stickstoff		8 16,00 O Sauerstoff		9 19,00 F Fluor		10 20,18 Ne Neon									
	3																	13 26,98 Al Aluminium		14 28,09 Si Silicium		15 30,97 P Phosphor		16 32,06 S Schwefel		17 35,45 Cl Chlor		18 39,95 Ar Argon									
	4																	31 69,72 Ga Gallium		32 72,64 Ge Germanium		33 74,92 As Arsen		34 78,96 Se Selen		35 79,90 Br Brom		36 83,80 Kr Krypton									
	5																	49 114,8 In Indium		50 118,7 Sn Zinn		51 121,8 Sb Antimon		52 127,6 Te Tellur		53 126,9 I Iod		54 131,3 Xe Xenon									
	6																	81 204,4 Tl Thallium		82 207,2 Pb Blei		83 209,0 Bi Bismut		84 (209) Po Polonium		85 (210) At Astat		86 (222) Rn Radon									
	7																																				
		1 1,008 H Wasserstoff																		2 4,003 He Helium																	
		3 6,941 Li Lithium		4 9,012 Be Beryllium		Ordnungszahl → 29 63,55 Cu Kupfer ← Molare Masse (g/mol) ← Elementsymbol										5 10,81 B Bor		6 12,01 C Kohlenstoff		7 14,01 N Stickstoff		8 16,00 O Sauerstoff		9 19,00 F Fluor		10 20,18 Ne Neon											
		11 22,99 Na Natrium		12 24,31 Mg Magnesium																		13 26,98 Al Aluminium		14 28,09 Si Silicium		15 30,97 P Phosphor		16 32,06 S Schwefel		17 35,45 Cl Chlor		18 39,95 Ar Argon					
		19 39,10 K Kalium		20 40,08 Ca Calcium		21 44,96 Sc Scandium		22 47,87 Ti Titan		23 50,94 V Vanadium		24 52,00 Cr Chrom		25 54,94 Mn Mangan		26 55,85 Fe Eisen		27 58,93 Co Cobalt		28 58,69 Ni Nickel		29 63,55 Cu Kupfer		30 65,41 Zn Zink		31 69,72 Ga Gallium		32 72,64 Ge Germanium		33 74,92 As Arsen		34 78,96 Se Selen		35 79,90 Br Brom		36 83,80 Kr Krypton	
		37 85,47 Rb Rubidium		38 87,62 Sr Strontium		39 88,91 Y Yttrium		40 91,22 Zr Zirkonium		41 92,91 Nb Niob		42 95,94 Mo Molybdän		43 (98) Tc Technetium		44 101,1 Ru Ruthenium		45 102,9 Rh Rhodium		46 106,4 Pd Palladium		47 107,9 Ag Silber		48 112,4 Cd Cadmium		49 114,8 In Indium		50 118,7 Sn Zinn		51 121,8 Sb Antimon		52 127,6 Te Tellur		53 126,9 I Iod		54 131,3 Xe Xenon	
		55 132,9 Cs Cäsium		56 137,3 Ba Barium		57 - 71 La-Lu		72 178,5 Hf Hafnium		73 180,9 Ta Tantal		74 183,8 W Wolfram		75 186,2 Re Rhenium		76 190,2 Os Osmium		77 192,2 Ir Iridium		78 195,1 Pt Platin		79 197,0 Au Gold		80 200,6 Hg Quecksilber		81 204,4 Tl Thallium		82 207,2 Pb Blei		83 209,0 Bi Bismut		84 (209) Po Polonium		85 (210) At Astat		86 (222) Rn Radon	
		87 (223) Fr Francium		88 (226) Ra Radium		89 - 103 Ac-Lr		104 (261) Rf Rutherfordium		105 (262) Db Dubnium		106 (266) Sg Seaborgium		107 (264) Bh Bohrium		108 (277) Hs Hassium		109 (268) Mt Meitnerium		110 (271) Ds Darmstadtium		111 (272) Rg Roentgenium															
								57 138,9 La Lanthan		58 140,1 Ce Cer		59 140,9 Pr Praseodym		60 (145) Nd Neodym		61 (145) Pm Promethium		62 150,4 Sm Samarium		63 152,0 Eu Europium		64 157,3 Gd Gadolinium		65 158,9 Tb Terbium		66 162,5 Dy Dysprosium		67 164,9 Ho Holmium		68 167,3 Er Erbium		69 168,9 Tm Thulium		70 173,0 Yb Ytterbium		71 175,0 Lu Lutetium	
								89 (227) Ac Actinium		90 232,0 Th Thorium		91 231,0 Pa Protactinium		92 238,0 U Uran		93 (237) Np Neptunium		94 (244) Pu Plutonium		95 (243) Am Americium		96 (247) Cm Curium		97 (247) Bk Berkelium		98 (251) Cf Californium		99 (252) Es Einsteinium		100 (257) Fm Fermium		101 (258) Md Mendelevium		102 (259) No Nobelium		103 (262) Lr Lawrencium	