

# Grundlagen der Elektro- und Digitaltechnik (GED), Formelsammlung V5

12.1.2022

## Mechanik: Kräfte, Energie, Geschwindigkeit, Weg und Zeit

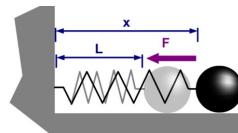
Zweites Newtonsches Gesetz: Federkraft:

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

$$F = -k(x - L)$$

Arbeit:

$$\Delta E = \vec{F} \cdot \vec{s}$$



Energieformen:

$$\text{Kinetisch: } E_{\text{kin}} = \frac{1}{2}mv^2$$

$$\text{Feder: } E_{\text{spring}} = \frac{1}{2}k(x - L)^2$$

$$\text{Potentiell (I): } E_{\text{pot}} = mgh$$

$$\text{Potentiell (II): } E_{\text{pot}} = Uq$$

$$U = \frac{1}{2}C\frac{V^2}{R}$$

Energieerhaltung:  $\sum E_i = \text{konst.}$

Konstantes  $a$ :

$$s(t) = \frac{1}{2}at^2 + v_0t + s_0$$

$$v(t) = at + v_0$$

$$= \sqrt{2a(s - s_0) + v_0^2}$$

$$\text{Aufprall} = v(t) = \sqrt{2as}$$

Gleichförmig:

$$s(t) = s_0 + vt$$

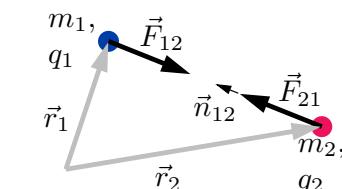
Gravitationskraft

$$\vec{F}_{12} = -\gamma \frac{m_1 m_2}{|\vec{r}_1 - \vec{r}_2|^2} \vec{n}_{12}$$

Coulombkraft

$$\vec{F}_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{|\vec{r}_1 - \vec{r}_2|^2} \vec{n}_{12}$$

$$= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2}$$



Kraft  $\vec{F}$  (N), Masse  $m$  (kg), Beschleunigung  $\vec{a}$  ( $\text{ms}^{-2}$ ), Energie  $\mathcal{E}$  (J), Höhe  $h$  (m), Geschwindigkeit  $v$  ( $\text{ms}^{-1}$ ), Federkonstante  $k$  ( $\text{Nm}^{-1}$ ), Zeit  $t$  (s), Weg  $\vec{s}$  (m), Ort  $\vec{r}$  (m), Einheitsvektor  $\vec{n}$ , Ladung  $q$  (C), Spannung  $U$  (V)

## Leistung, Strom, Spannung, Widerstand und Kirchhoffsche Regeln

Leistung:

$$P = \frac{d\mathcal{E}}{dt} = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R}$$

Spannung:

$$U = \int_{\vec{r}_1}^{\vec{r}_2} \vec{E}(\vec{r}) \cdot d\vec{r}$$

Widerstand eines Kabels:

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

Wirkungsgrad  $\eta$ :

$$\eta = \frac{P_{\text{erhalten}}}{P_{\text{investiert}}}$$

Ohmsches Gesetz:

$$U = RI$$

Strom:

$$I(t) = \frac{dq(t)}{dt}$$

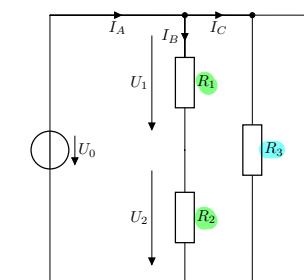
Kirchhoff-Regeln:

Knoten:

$$\sum_n I_n = 0$$

Masche:

$$\sum_n U_n = 0$$



$$R_{\text{IN}} = \frac{R_{\text{last}}}{U_{\text{last}}} (U_0 - U_{\text{last}})$$

$$I_B = \frac{U_0}{R_A + R_2}$$

$$U_0 = U_1 + U_2$$

$$I_A = I_B + I_C$$

$$R_S = R_1 + R_2$$

$$R_P = \frac{R_3 R_4}{R_3 + R_4}$$

$$= \left( \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} \right)^{-1}$$

$$U_2 = U_0 \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

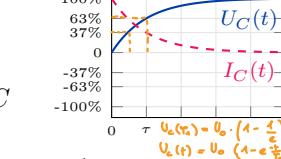
Leistung  $P$  (W), Energie  $\mathcal{E}$  (J), Spannung  $U$  (V), Strom  $I$  (A), Widerstand  $R$  ( $\Omega$ ), Spezif. Wid.  $\rho$  ( $\text{mm}^2 \text{m}^{-1} \Omega$ ), Kabellänge  $L$  (m), Querschnittsfläche  $A$  ( $\text{mm}^2$ ), Ladung  $q$  (C), Zeit  $t$  (s), Ort  $\vec{r}$  (m), E-Feld  $\vec{E}$  ( $\text{Vm}^{-1}$ )

## Kapazität, Induktivität, Schwingkreis

Kapazität:

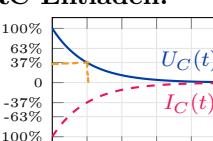
$$C = \frac{q}{U_C}$$

RC-Laden:



$$\tau_{\text{RC}} = RC$$

RC-Entladen:



Spule:

Induktivität:

$$L$$

RL-Strom:

$$U_L = L \frac{dI}{dt} = L \cdot I$$

$$\left( \tau_{\text{RL}} = \frac{R}{L} \right) \frac{L}{R}$$

RLC-Schwingkreis:

$$C = \frac{1}{4\pi^2 f^2 L}$$

$$T_{\text{res}} = 2\pi\sqrt{LC}$$

$$f_{\text{res}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

$$\tau_{\text{Dämpfung}} = 2L/R$$

$$L = \frac{R^2}{4\pi^2 f^2 C}$$

LC-Schwingkreis:

$$C = \frac{1}{4\pi^2 f^2 L}$$

$$T_{\text{res}} = 2\pi\sqrt{LC}$$

$$f_{\text{res}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

$$\tau_{\text{Dämpfung}} = 2L/R$$

$$L = \frac{R^2}{4\pi^2 f^2 C}$$

RLC-Schwingkreis:

$$C = \frac{1}{4\pi^2 f^2 L}$$

$$f_{\text{res}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

$$\tau_{\text{Dämpfung}} = 2L/R$$

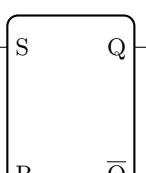
$$L = \frac{R^2}{4\pi^2 f^2 C}$$

$$C = \frac{1}{4\pi^2 f^2 L}$$

## Flip-Flops, KV-Diagramm

SR-Flipflop:

S	R	$Q_{\text{next}}$
0	0	Q
1	0	1 (set)
0	1	0 (reset)
1	1	verboten



JK-Flipflop:

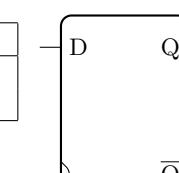
J	K	$\triangleright$	$Q_{\text{next}}$
0	0	↓	Q
1	0	↓	1 (set)
0	1	↓	0 (reset)
1	1	↓	$\bar{Q}$

(getaktet)

D-Flipflop:

D	$\triangleright$	$Q_{\text{next}}$
0	↓	0
1	↓	1

(getaktet)



		A'	A			
		00	01	11	10	D'
		00				D
C'	00	00	01	11	10	D'
C	01	00	01	11	10	D'
C	11	00	01	11	10	D'
C	10	00	01	11	10	D'
B'	00	00	01	11	10	B'
B	00	01	01	11	10	B'
B	01	01	01	11	10	B'

## Elektrische und magnetische Felder

### Kräfte:

$$\text{Aus E-Feld: } \vec{F} = q\vec{E}$$

$$\text{Lorentzkraft: } \vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B} = I\vec{l} \times \vec{B}$$

$$\text{El.Magn. Kraft: } \vec{F} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$$

$$\text{Zentrifugalkraft: } F = \frac{mv^2}{r}$$

### Energie(dichte) im Feld:

$$w = \frac{\epsilon_0}{2} \vec{E} \cdot \vec{E} + \frac{\epsilon_0 c^2}{2} \vec{B} \cdot \vec{B}, \mathcal{E} = \int w dV$$

Kraft  $\vec{F}$  (N), Ladung  $q$  (C), E-Feld  $\vec{E}$  ( $\text{Vm}^{-1}$ ), B-Feld  $\vec{B}$  (T), Geschwindigkeit  $\vec{v}$  ( $\text{ms}^{-1}$ ), Strom  $I$  (A), Leiterlänge  $\vec{l}$  in technischer Stromrichtung (m), Energiedichte  $w$  ( $\text{Jm}^{-3}$ ), Energie  $\mathcal{E}$  (J), Volumen  $V$  ( $\text{m}^3$ ), Radius  $r$  (m), Masse  $m$  (kg), Magnetisierung  $\vec{M}$  ( $\text{Am}^{-1}$ ), Suszeptibilität  $\chi$ , Flächenladungsdichte  $\sigma$  ( $\text{Cm}^{-2}$ ), relative Permeabilität  $\mu_r$ , Windungszahl  $N$ , Spulenlänge  $L$

### Magnetisierung:

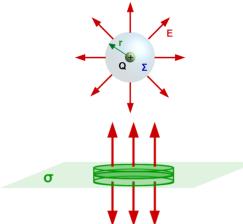
$$\vec{M} = \mu_0 \chi \vec{B}_{\text{ext}}$$

Paramagn.:  $\chi > 0$

Diamagn.:  $\chi < 0$

### Feld einer Punktladung bzw. ausserhalb einer gelad. Kugel:

$$\vec{E} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \frac{\vec{r}}{r}$$



### Feld einer geladenen Platte:

$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$$

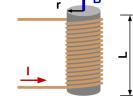
### Feld eines Leiters:

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

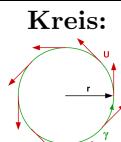


### Feld einer Spule:

$$B_{\text{Stirn}} = \mu_0 \mu_r \frac{N}{L} I$$

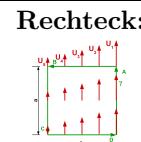


## Linien- und Oberflächenintegrale (Spezialfälle)

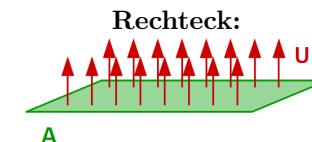


$$\int_{\gamma} \vec{U} \cdot d\vec{\gamma} = 2\pi r U$$

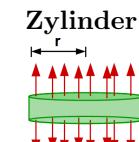
Linie  $\gamma$ , Oberfläche  $A$  ( $\text{m}^2$ ), Feld  $\vec{U}$ , Radius  $r$  (m)



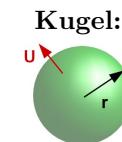
$$\int_{\gamma} \vec{U} \cdot d\vec{\gamma} = aU_1 - aU_5$$



$$\Phi = AU$$



$$\Phi = 2\pi r^2 U$$



$$\Phi = 4\pi r^2 U$$

## Maxwellgleichungen

### Gauss'sches Gesetz:

$$\Phi_{\vec{E}}(\Sigma) = \underbrace{\int_{\Sigma} \vec{E} \cdot d\vec{\sigma}}_{\text{Fluss } \Phi_{\vec{E}}(\Sigma)} = \frac{1}{\epsilon_0} \underbrace{\int_V \rho dV}_{\text{Ladung}}$$

E-Feld  $\vec{E}$  ( $\text{Vm}^{-1}$ ), B-Feld  $\vec{B}$  (T), Ladungsdichte  $\rho$  ( $\text{Cm}^{-3}$ ), Volumen  $V$  ( $\text{m}^3$ ), Stromdichte  $\vec{j}$  ( $\text{Am}^{-2}$ ), geschlossene Fläche  $\Sigma$ , offene Fläche  $\Omega$ , Normalenvektor  $d\vec{\sigma}$ , Randkurve von  $\Omega$  ist  $\gamma$

### Quellenfreiheit von $\vec{B}$ :

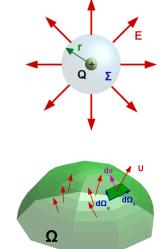
$$\Phi_{\vec{B}}(\Sigma) = \underbrace{\int_{\Sigma} \vec{B} \cdot d\vec{\sigma}}_{\text{Fluss } \Phi_{\vec{B}}(\Sigma)} = 0$$

### Faraday'sches Gesetz:

$$\int_{\gamma} \vec{E} \cdot d\vec{\gamma} = -\frac{d}{dt} \underbrace{\int_{\Omega} \vec{B} \cdot d\vec{\sigma}}_{\text{Spannung}}$$

### Durchflutungsgesetz:

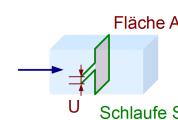
$$\int_{\gamma} \vec{B} \cdot d\vec{\gamma} = \mu_0 \underbrace{\int_{\Omega} \vec{j} \cdot d\vec{\sigma}}_{\text{Strom}} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{d}{dt} \underbrace{\int_{\Omega} \vec{E} \cdot d\vec{\sigma}}_{\text{Fluss } \Phi_{\vec{E}}(\Omega)}$$



## Induktion, Wechselspannung, Transformator

### Induktionsspannung:

$$U(t) = -\frac{d}{dt} \Phi_{\vec{B}}(A)$$



### Fluss durch Schleife:

$$\Phi_{\vec{B}}(A) = \vec{\sigma} \cdot \vec{B} = \sigma B \cos(\theta)$$

Spannung  $U$  (V), Magnetischer Fluss  $\Phi_{\vec{B}}$  (Wb), Fläche  $A$  ( $\text{m}^2$ ), B-Feld  $\vec{B}$  (T), Normalenvektor  $\vec{\sigma}$  (m), Zwischenwinkel  $\theta$ , Zeit  $t$  (s), Frequenz  $f$  (Hz), Phasenkonstante  $\varphi$ , Windungszahl  $N$ , Strom  $I$  (A)

### Wechselspannung:

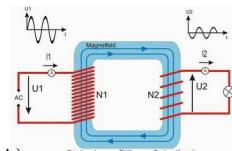
$$U(t) = U_s \sin(2\pi ft + \varphi)$$

$$U(t) = \sqrt{U_{\text{thm}} \cdot \cos(2\pi ft)}$$

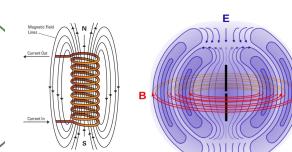
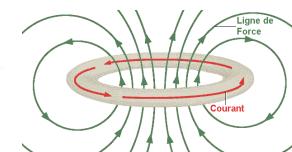
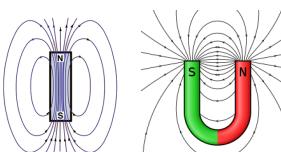
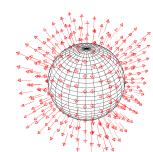
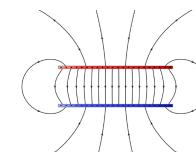
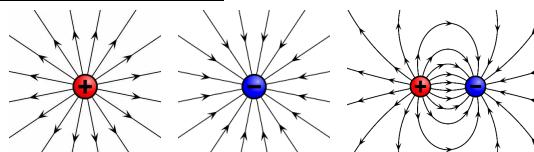
### Transformator:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

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



## Feldlinienbilder



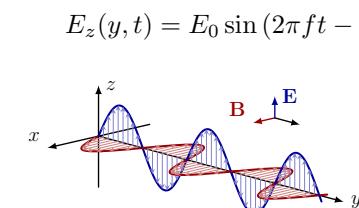
## Elektromagnetische Wellen

Wellengleichung (1D):

$$\vec{E}(y, t) = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ E_z(y, t) \end{pmatrix}$$

$$\frac{\partial^2}{\partial y^2} E_z(y, t) = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} E_z(y, t)$$

Ebene Welle:



Intensität der ebenen Welle:

$$\frac{E_0}{c} = B_0 \quad I = \frac{E_0 B_0}{2\mu_0} = \frac{E_0^2}{2c\mu_0} = \frac{cB_0^2}{2\mu_0}$$

Periode, Wellenlänge und -zahl:

$$T = \frac{1}{f}, \quad f = \frac{c}{\lambda}, \quad k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

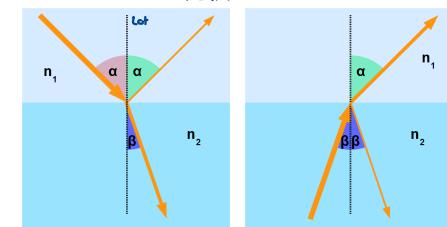
$$c = \lambda \cdot f$$

Lichtbrechung:

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

$$n_i \cdot c_i = c$$

$$\text{Brechzahl } n = \frac{\text{elektrum}}{\text{medium}}$$

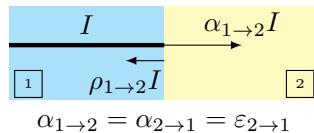


$$c_{\text{Vakuum}} = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

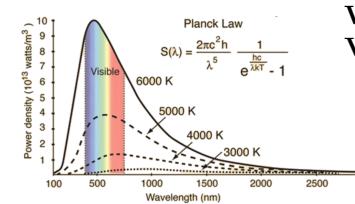
Intensität  $I$  ( $\text{Wm}^{-2}$ ), Feldamplituden  $E_0$  ( $\text{Vm}^{-1}$ ) bzw.  $B_0$  ( $\text{T}$ ), Periode  $T$  (s), Frequenz  $f$  (Hz), Wellenlänge  $\lambda$  (m), Wellenzahl  $k$  (rad/m), Winkel  $\alpha$  &  $\beta$ , Ausbreitungsgeschw.  $c_1$  &  $c_2$  ( $\text{ms}^{-1}$ ), Brechungsindizes  $n_1$  &  $n_2$

## Thermische Strahlung

$$T_K = T_C + 273.15 \text{ K}$$



Temperatur  $T$ ,  $T_K$  (K) bzw.  $T_C$  (°C), Energiestrom  $I$  (W), Absorptionskoeffizient  $\alpha$ , Reflexionskoeffizient  $\rho = 1 - \alpha$ , Emissionskoeffizient  $\varepsilon$ , Wellenlänge  $\lambda$  (m), Leistung  $P$  (W), Oberfläche  $A$  ( $\text{m}^2$ ), Einfallsinkel  $\beta$ , Energiedichte  $j$  ( $\text{Wm}^2$ ), Wärmeübergangskoeffizient  $h$  ( $\text{m}^2 \text{KW}^{-1}$ ), nicht zu verwechseln mit der Planck-Konstante in der zweiten Abbildung.



Wien'scher Verschiebungssatz:

$$\lambda_{\max} = \frac{b}{T} \quad [m]$$

$$b = 2.8978 \cdot 10^{-3} \text{ Km}$$

Stefan-Boltzmann Gesetz:

$$P_{\text{rad}} = \sigma A T^4$$

$$\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ Wm}^{-2} \text{K}^{-4}$$

$$T = \sqrt[4]{\frac{P_{\text{rad}}}{\sigma A}}$$

Energiebilanzrechnungen:

$$I_{\text{rad,sun}} = \alpha_{\text{sun}} \sin(\beta) A j_{\text{sun}}$$

$$I_{\text{rad,env}} = \varepsilon A \sigma (T^4 - T_{\text{env}}^4)$$

$$I_{\text{cond,env}} = Ah(T - T_{\text{env}})$$

$$\frac{dE}{dt} = A \varepsilon \sin(\beta) j_{\text{sun}} - A \varepsilon \sigma (T_p^4 - T_{\text{env}}^4) = 0$$

$$\frac{dE}{dt} = \sum_n \pm I_n$$



## Fourier-Transformation, Aliasing

Reelle Fourierreihe (kontinuierlich,  $f_n = nT^{-1}$ ):

$$g(t) = \frac{1}{2} a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos(2\pi f_n t) + b_n \sin(2\pi f_n t) = \frac{1}{2} A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos(2\pi f_n t - \varphi_n)$$

Periodische Funktion  $g(t)$ , deren Periode  $T$  (s), Zeit  $t$  (s), Fourierreff.  $a_n, b_n \in \mathbb{R}$ ,  $G_s \in \mathbb{C}$ , Frequenz  $f$  (Hz), Amplitude  $A_n$ , Phase  $\varphi_n$ , imaginäre Einheit  $i$ , Anzahl Samples  $N$

Komplexe Fourierreihe (diskret,  $f_s = (s-1)T^{-1}$ ):

$$g(t_r) = \frac{1}{N} \sum_{s=1}^N G_s \exp(2\pi i f_s t_r)$$

Theorem von Nyquist:

$$f_{\text{abtasten}} > f_{\text{Nyquist}} = 2f_{\text{max}}$$

Messpunkte:  $N > 2T \cdot f_{\text{max}}$  oder  $T \cdot f_{\text{abtast}}$

Minimale Frequenz:

$$f_{\min} = \frac{1}{T} \quad f_{\text{signal}} = \frac{f_{\text{abtast}}}{2}$$

## Signale, Intensitäten, Dezibel, Schallpegel

Unschärfe:

Intensität:

Kugelwelle:

Eindringtiefe:

Dezibel:

Schallintensitätspegel:

Signal to Noise Ratio:

Effektivspannung:

$$\frac{\Delta f \cdot \Delta t}{2} \sim 1$$

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

Kugelw.

$$I = \frac{P}{4\pi r^2}$$

$$I_2 = \frac{r_1^2 I_1}{r_2^2}$$

$$I(x) = I_0 \exp\left(-\frac{x}{\lambda}\right)$$

$$Q = 10 \log_{10} \left( \frac{I_1}{I_2} \right) \text{ dB}$$

→ Vergleich von Intensitäten

$$H = 10 \log_{10} \left( \frac{I}{I_0} \right) \text{ dB}$$

$$\text{SNR} = \frac{P_{\text{signal}}}{P_{\text{noise}}} = \frac{A_{\text{signal}}^2}{A_{\text{noise}}^2}$$

$$U_{\text{eff}} = \frac{1}{\sqrt{2}} U_s$$

Signalbreite  $\Delta f$  (Hz), Signaldauer  $\Delta t$ , Intensität  $I$  ( $\text{Wm}^{-2}$ ), Leistung  $P$  (W), Fläche  $S$  ( $\text{m}^2$ ), Radius  $r$  (m), Ort  $x$  (m), Eindringtiefe  $\lambda$  (m), Unterschied  $Q$  (dB), Schallintensitätspeg.  $H$  (dB), Amplitude  $A$ , Spannung  $U$  (V)

## Konstanten und Mathematik

Elektrische Feldkonstante  $\epsilon_0 = 8.854 \cdot 10^{-12} \text{ AsV}^{-1} \text{m}^{-1}$

Magnetische Feldkonstante  $\mu_0 = 1.257 \cdot 10^{-6} \text{ VsA}^{-1} \text{m}^{-1}$

Lichtgeschwindigkeit  $c = (\epsilon_0 \mu_0)^{-0.5} = 299792458 \text{ ms}^{-1}$

Fallbeschleunigung  $g = 9.81 \text{ ms}^{-2}$

Gravitationskonstante  $\gamma = 6.674 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \text{kg}^{-1} \text{s}^{-2}$

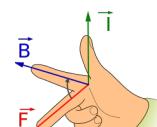
Planck-Konstante  $h = 6.627 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$

Boltzmann-Konstante  $k = 1.381 \cdot 10^{-23} \text{ JK}^{-1}$

Menschl. Hörschwelle  $I_0 = 10^{-12} \text{ Wm}^{-2}$

Elementarladung  $e = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

$$\vec{a} \cdot \vec{b} = ab \cos(\theta) \quad \vec{a} \times \vec{b} = \begin{pmatrix} a_2 b_3 - a_3 b_2 \\ a_3 b_1 - a_1 b_3 \\ a_1 b_2 - a_2 b_1 \end{pmatrix}$$



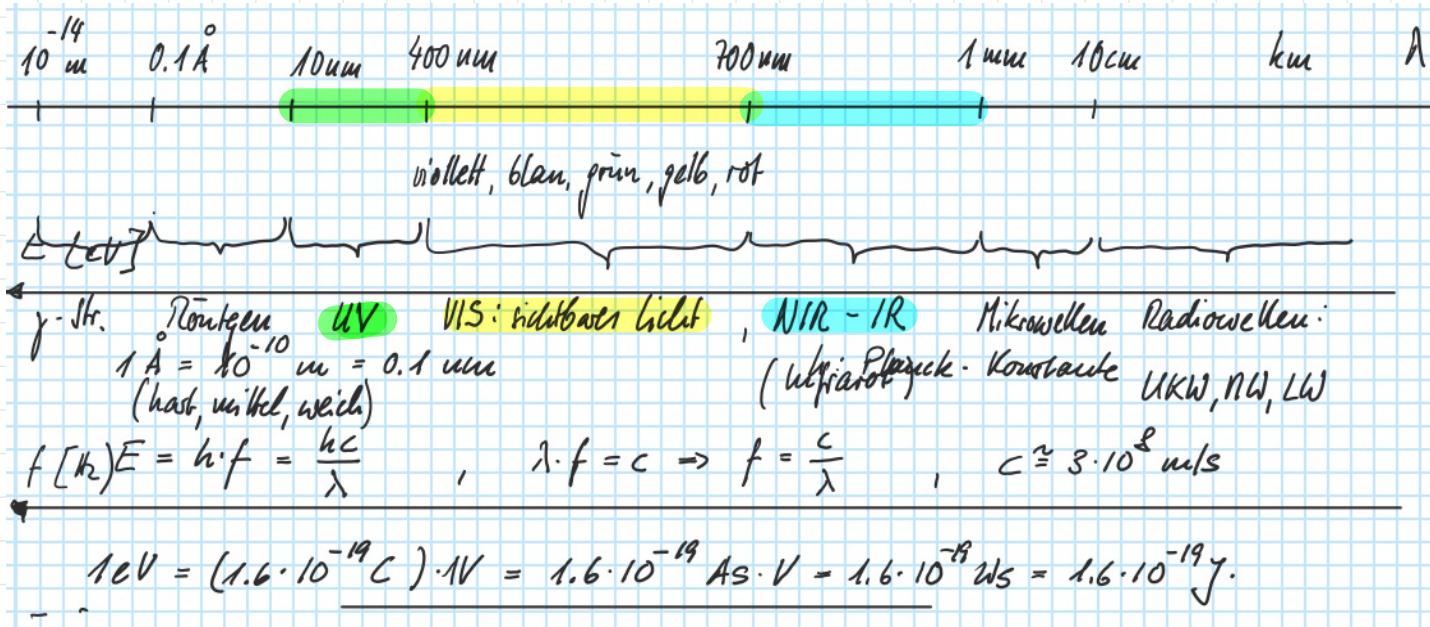
# Masseneinheiten

M	Mega	gr. μέγα, méga = groß	$(10^3)^2 = 10^6$
k	Kilo	gr. χίλιοι, chilioi = tausend	$(10^3)^1 = 10^3$
h	Hekto	gr. εκατόν, hekatón = hundat	$10^2$
da	Deka	gr. δέκα, déka = zehne	$10^1$
---	---	---	$10^0$
d	Dezi	lat. decimus = zehnta	$10^{-1}$
c	Zenti	lat. centesimus = hundatsta	$10^{-2}$
m	Milli	lat. millesimus = tausendsta	$(10^{-3})^1 = 10^{-3}$
μ	Mikro	gr. μικρός, mikrós = gloa	$(10^{-3})^2 = 10^{-6}$
n	Nano	gr. νάνος, nános und ital. nano = Zwergl	$(10^{-3})^3 = 10^{-9}$
p	Piko	ital. piccolo = gloa	$(10^{-3})^4 = 10^{-12}$
f	Femto	skand. femton/femten = fuchzehn	$(10^{-3})^5 = 10^{-15}$

Vorsatz	Bezeichnung	Vergleich Meter
mm	Millimeter	0,001 m
um	Mikrometer	0,000 001 m
nm	Nanometer	0,000 000 001 m
pm	Pikometer	0,000 000 000 001 m
fm	Femtometer	0,000 000 000 000 001 m
am	Attometer	0,000 000 000 000 000 001 m

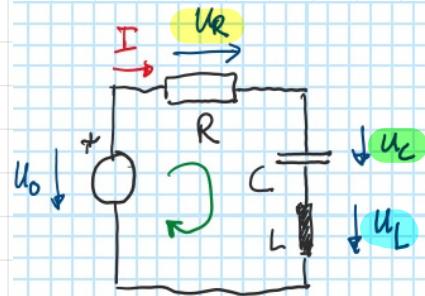
$$\cdot 10^6 \quad : 10^6$$

## Elektromagnetische Wellen



- Jeder Körper mit der Temperatur  $T$  strahlt einen Mix elektromagnetischer Wellen ab.
- Für alle schwarzen Strahler ist dieser Mix gleich. Zwar hängt der Mix von der Temperatur, nicht aber von der Struktur oder Material des Körpers ab.
- Man kann die temperatur- und Frequenzabhängige Intensität  $I(\nu, T)$  für eine bestimmte Frequenz berechnen<sup>2</sup>.
- Je heißer ein Objekt ist, desto größer ist die Intensität der thermischen Strahlung.
- Je heißer ein Objekt ist, desto "blauer" ist die thermische Strahlung (d.h. desto kürzer ist die Wellenlänge des Hauptteils der Strahlung, bzw. desto höher ist dessen Frequenz).

# Widerstandsnetzwerk



$$MS: U_R + U_C + U_L - U_0 = 0 \Leftrightarrow U_R + U_C + U_L = U_0$$

$$U_R = R \cdot I$$

$$[R] = \Omega = \frac{V}{A}$$

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

$$(C := \frac{Q}{U_C}) [C] = F = \frac{C}{V} = \frac{As}{V}$$

$$Q_{\infty} = \frac{1}{e^{\infty}} = 0$$

$$U_L = L \cdot \dot{I} = L \cdot \frac{dI}{dt} = L \cdot \frac{d^2Q}{dt^2}$$

$$I = Q = \frac{dQ}{dt}$$

$$[I] = A = \frac{C}{S} \Rightarrow C = A \cdot S$$