

# Klassische Physik 2

# Elektrodynamik

SS2013

Johannes Blümer

V10 04. Juni

KIT-Centrum Elementarteilchen- und Astroteilchenphysik KCETA



# Inhalt Klass.Phys.II “Elektrodynamik”

1. Elektrostatik
2. Dielektrika
3. Gleichstrom
4. Elektrische Leitungsmechanismen
5. Statische Magnetfelder
6. Induktion
7. Magnetismus in Materie
8. Wechselstrom
9. Elektromagnetische Wellen
10.  $\Rightarrow$  Optik, Teilchen, erste Quanteneffekte...

# Leistungsanpassung

→ vgl. Ü. aufgabe ...

$$P = U_{\underline{R}} \cdot \underline{I} \text{ am Verbraucher } \underline{R} \text{ gefragt} \rightarrow \left( U_0 - R_I \cdot I \right) \frac{U_0}{R + R_I}$$

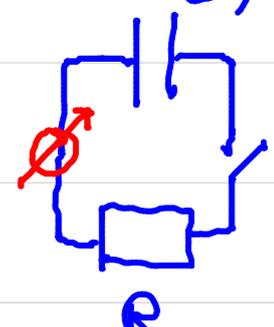
= ... Max. als Funktion von  $R$  finden  
diff., 0 setzen...  $\Rightarrow R = R_I$

Abfall "in der Stromquelle"

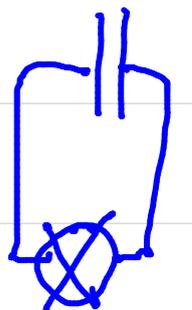
# Kondensatorentladung

vereinfachter "RC-Kreis", Kondensator sei mit Ladung  $Q_0$  aufgeladen  
 $U_0 = U_C(t=t_0=0)$

$t = t_0$ : Schließen



$I(t)$  bei Schließen des Schalters? Erinnerung



Ladung  $Q(t) = C \cdot U(t)$

Strom  $I(t) = - \underbrace{\frac{dQ}{dt}}_{< 0} = \frac{1}{R} \cdot U(t)$

$$\left. \begin{array}{l} Q(t) = C \cdot U(t) \\ I(t) = \frac{1}{R} \cdot U(t) \end{array} \right\} \frac{dQ}{dt} = - \frac{1}{RC} \cdot Q(t)$$

homogene Dgl  
1. Ordnung

Variablentrennung

$$\frac{dQ}{Q} = - \frac{1}{RC} \cdot dt$$

$$\rightarrow d(\ln Q) = - \frac{1}{RC} dt$$

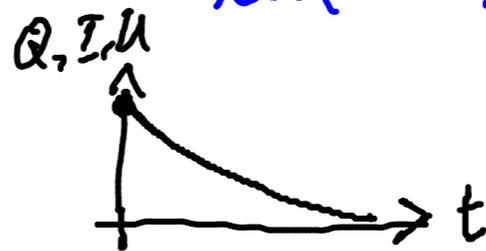
$$\ln(Q(t)) - \ln(Q(t_0)) = - \frac{t}{RC}$$

$$\hookrightarrow Q(t) = Q(t_0) \cdot e^{-t/RC}$$

$$U(t) = U_0 \cdot e^{-t/RC}$$

$$I(t) = \underbrace{\frac{Q_0}{RC}}_{\text{Anfangsstrom}} \cdot e^{-t/RC}$$

Anfangsstrom



$\rightarrow$  exp. Verhalten wie  
 $\tau = RC$   
 $e^{-t/\tau}$

Zeitkonstante des RC-Kreises

# 5. Elektrische Leitungsmechanismen

## freie Elektronen in Metallen

Tolman:  $e^-$  können zentrifugiert werden

$$\hookrightarrow q \cdot E = m \cdot a$$

$$\frac{q}{m} = \frac{a}{E}$$

Zentrif. besch.  
(hohe Drehzahlen)

$$= \frac{q_e}{m_e} = \frac{e}{m_e}$$

messen

für Elektronen

$$= 1.76 \cdot 10^{-11} \frac{C}{kg}$$

$e^-$ -Drift: Ohmsches Gesetz  $\vec{j} = \sigma \cdot \vec{E}$

Stromdichte  $\vec{j} = n \cdot e \cdot \vec{v}$

$\hookrightarrow$  Ladungsträgerdichte

$$\vec{v} = b \vec{E}$$

L. "Beweglichkeit" der Ladungsträger

$$[b] = \text{m}^2 \text{V}^{-1} \text{s}^{-1}$$

in Leitern:  $\sigma = n \cdot e \cdot b$

in Vakuum für freie Ladungen:  $v = \frac{eE}{m} \cdot t$

in Leiter  $v = b \cdot E = \text{konstant}$ , gemittelt

∃ eff. "Reibungskraft"  $F_R \sim v$

Elektronen-  
gesthemic

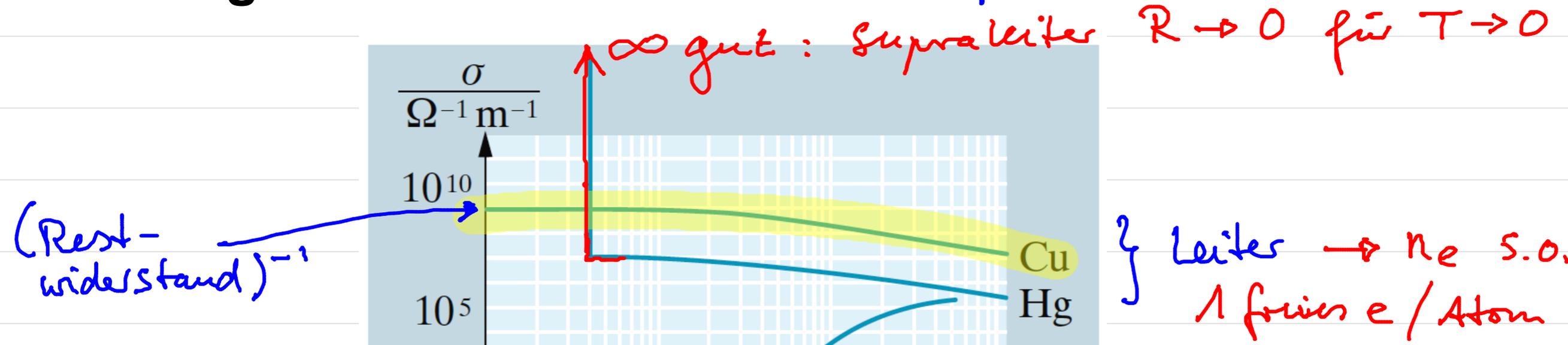
Abschätzung:

1 freies  $e^-$  pro Atom im Gitter

Beispiel Cu:  $n_e = \frac{\rho}{M_{\text{Cu}}} = \frac{8.96 \text{ g/cm}^3}{63.6 \cdot 1.67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}} = 8.4 \cdot 10^{28} \text{ m}^{-3}$

$b = \frac{\sigma}{n_e e} \rightarrow 4.8 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \text{V}^{-1} \text{s}^{-1} \times E \rightarrow v = bE \rightarrow 5 \text{ mm/s}$   
für 1V/m

# Leitfähigkeit als Funktion der Temperatur



Halbleiter:  $\sigma$  hängt stark von der Temp. ab

therm. Energie führt erst zur Freisetzung von genügend Ladungsträgern

In kleinen Temperaturbereichen  $\sim$  lineares Verhalten

$$\sigma = \sigma_0 (1 \pm \alpha T)$$

erwarte Zusk. zwischen el.-leitfähigkeit u. Wärmeleitfähigkeit

"Wärmestrom" mit Leistung  $P = \frac{dW}{dt} = j_w \cdot A = A \cdot \lambda \frac{T_1 - T_2}{l}$

↳ Skizze

↑  
Wärmeleitfähigkeit

$$\frac{\lambda}{\sigma} = a \cdot T \quad [\text{Wiedemann-Franz}]$$

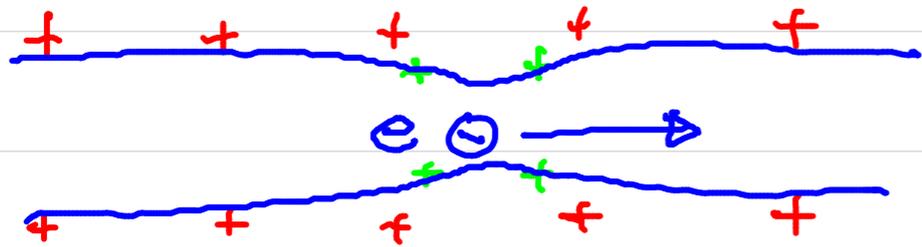
$$L a \approx 3 \cdot \frac{k_B^2}{e^2} \quad \text{für alle Metalle}$$

## Supraleitung

Hg-Sprungtemperatur  $T_c = 4,183 \text{ K}$  ← benötigt fl. He ⚡

1986 Bednorz & Müller  $(\text{La, Ba})_2 \text{CuO}_4$  :  $T_c \sim 30 \text{ K}$  €  
↳ „LN“ €✓

# Supraleitung - Theorie Bardeen, Cooper, Schiffer 1957



Welle durch e-Bewegung  
„Phonon“-Kopplung der  $e^-$

$\uparrow\downarrow \rightarrow$  Spin 0 : gleiche Zustände  
Cooper-Paare

## lichtelektrischer Effekt

Einstein  $E_\gamma = h \cdot \nu$

$\rightarrow$  Photozelle  $\rightarrow$  Solarstrom

Solarkonstante

$\sim 1.4 \text{ kW/m}^2$

Halbleiter- / Photodetektor

Photodiode

LED

Photomultiplier

Übersprünge:

Magnetoresistenz,

Druckabh. des Widerst.

Halleffekt

Dehnungsmessstreifen  
etc

Hydraulik

