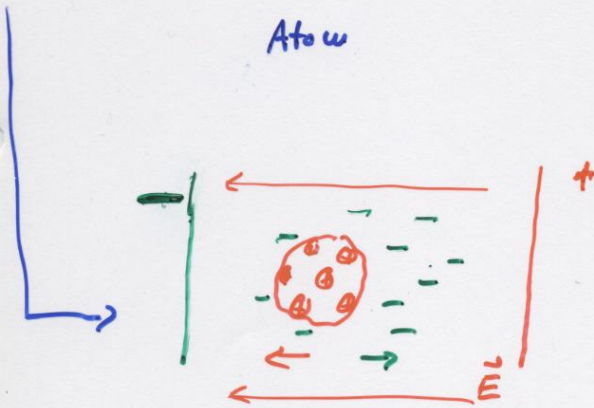


## 2.2.3 Polarisation der Materie



Atom

Kern:  $+Q$  ;  $r \sim 10^{-15}$  m  
Hölle:  $-Q$  ;  $r \sim 10^{-10}$  m



Atom bildet el. Dipol

$$p = Q \cdot d$$

$$d \sim \frac{1}{10} r_{\text{Atom}}$$

$$p = \alpha \cdot E$$

Polarisierbarkeit

| H               | He     | Li   | C                              |
|-----------------|--------|------|--------------------------------|
| $\alpha = 0,66$ | $0,21$ | $12$ | $1,5$                          |
|                 |        |      | $\times 10^{-24} \text{ cm}^3$ |

$\alpha$  ist klein bei Atomen mit abgeschlossenen Schalen

Gesamt dipol moment :

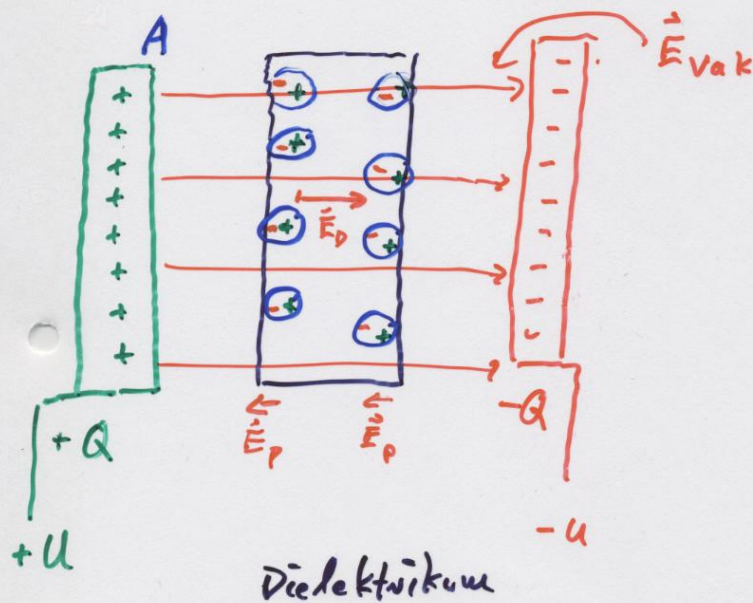
$$P = N \cdot q \cdot d$$

$$\hookrightarrow \frac{\text{Atome}}{\text{cm}^3}$$

$$= N \cdot \alpha \cdot E_D$$

$$= \chi \cdot E_D \cdot \epsilon_0$$

↑  
Dielektrische Suszeptibilität



$$\begin{aligned} \vec{E}_D &= \vec{E}_{vak} - \vec{E}_p \\ &= \vec{E}_{vak} - \frac{\vec{P}}{\epsilon_0} \end{aligned}$$

Feld im Dielektrikum

El. Feld:

$$\phi_{\text{vak.}} = \int_0 \vec{E}_{\text{vak}} d\vec{A}$$

$$= A \cdot E_{\text{vak}} = \frac{Q}{\epsilon_0}$$

$$\Rightarrow E_{\text{vak}} = \frac{Q}{\epsilon_0 \cdot A}$$

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

Analog:  $E_p = \frac{Q_{\text{pol}}}{A \cdot \epsilon_0}$

$$= \frac{P}{\epsilon_0}$$

Resultierendes Feld:

$$\vec{E}_0 = \vec{E}_{\text{vak}} - \frac{\vec{P}}{\epsilon_0}$$

$$= \vec{E}_{\text{vak}} - \chi \cdot \vec{E}_0$$

$$\Rightarrow \vec{E}_0 = \frac{\vec{E}_{\text{vak}}}{1 + \chi} = \frac{1}{\epsilon} \cdot E_{\text{vak}}$$

$$1 + \chi = \epsilon = \epsilon_R$$

Relative Dielektrizitätskonstante



$\epsilon_R = 1$  im Vakuum (nicht ganz!)

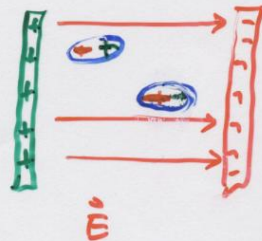
1,00054 Luft

3,5 Papier

4 Plexiglas

$\sim 80$  Wasser

Vakuum:



Virtuelle  $e^+e^-$ -Paare



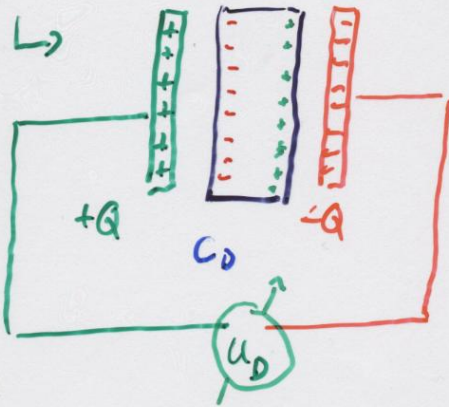
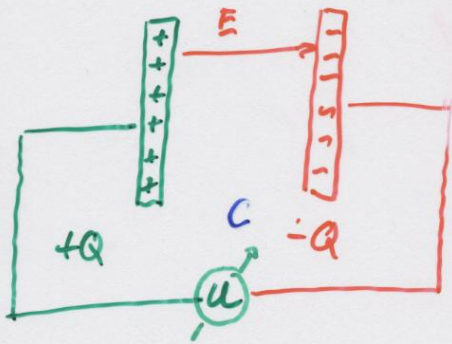
$$(\Delta t \cdot \Delta E \sim \hbar)$$

$\downarrow \sim 1 \text{ MeV}$   
während dieser  
zeit existiert  
virtuelles  $e^+e^-$  Paar

Konsequenz: Auch Vakuum  $\rightarrow$  Dielektrikum  
 $\epsilon_R > 1$

Kapazität einer Plattenkondensator:

Mit  $U = E \cdot d \Rightarrow U_D = d \cdot E_D$   
 $= \frac{E \cdot d}{\epsilon}$   
 $= \frac{U}{\epsilon}$



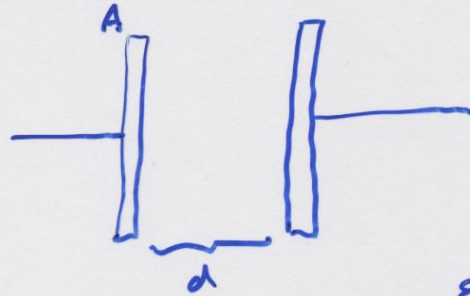
$$\Rightarrow C_D = \epsilon \cdot C$$

Demo 1:

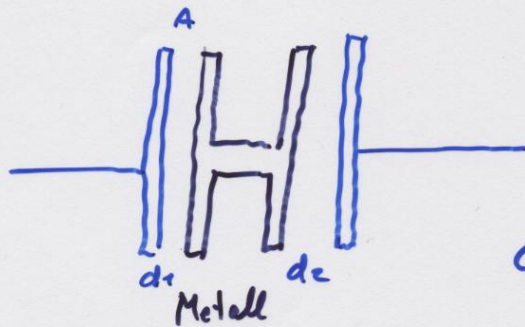
Nach Einschub eines Dielektrikums nimmt Spannung ab  
 $[Q = \text{const}]$

Demo 2:

Einschieben von Metallplatte  
erwartete Abnahme von  $U$



$$C_0 = \frac{\epsilon_0 A}{d}$$



$$C_1 = \frac{\epsilon_0 A}{d_1}$$

$$C_2 = \frac{\epsilon_0 A}{d_2}$$

$$\Rightarrow \frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

$$\Rightarrow C = \frac{\epsilon_0 A}{d_1 + d_2} > C_0$$

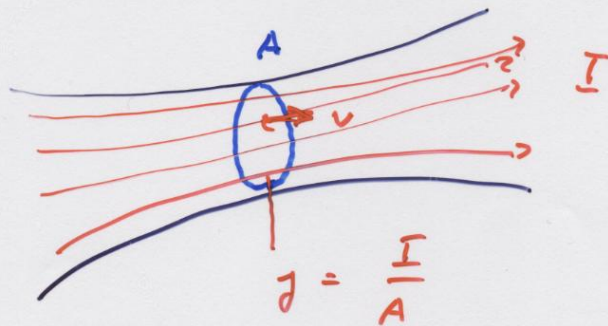
Auch hier:  $C$  nimmt zu



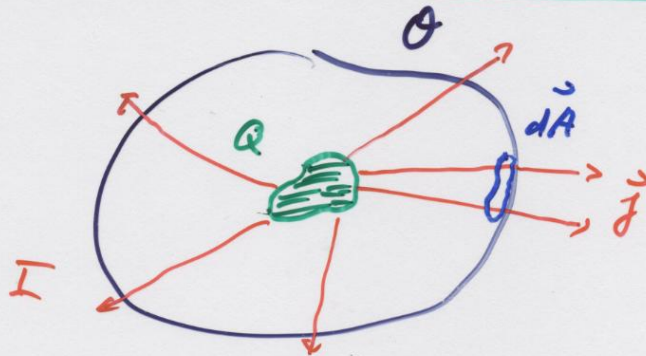
### 3. Elektrische Ströme und ihre Felder

$$I = \frac{dQ}{dt} \quad \text{Strom} \quad [A = \frac{C}{s}]$$

$$j = \frac{I}{A} = s \cdot v \quad \text{stromdichte}$$



#### 3.1 Die Kontinuitätsgleichung



$$I = \oint_Q \vec{j} \cdot d\vec{A} \\ = - \frac{dQ}{dt}$$

Erinnerung :

$$\begin{aligned}\phi &= \oint_{\sigma} \vec{E} d\vec{A} \\ &= \int_V \vec{\nabla} \cdot \vec{E} dV\end{aligned}$$

Analog :

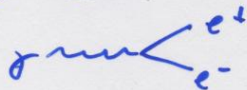
$$\begin{aligned}\oint_{\sigma} \vec{j} d\vec{A} &= \int_V \vec{\nabla} \cdot \vec{j} dV \\ &= -\frac{d}{dt} Q = \frac{d}{dt} \int_V \rho dV\end{aligned}$$

$$\Rightarrow \vec{\nabla} \cdot \vec{j} = -\frac{d}{dt} \rho$$

Kontinuitätsleitung

Elektronen keine Ladung erzeugt  
oder vernichtet werden; Ladungs-  
änderungen führen zu Strömen

nb: Aus Energie kann Ruhemasse erzeugt  
werden :



$$m = m_{e^+} + m_{e^-}$$

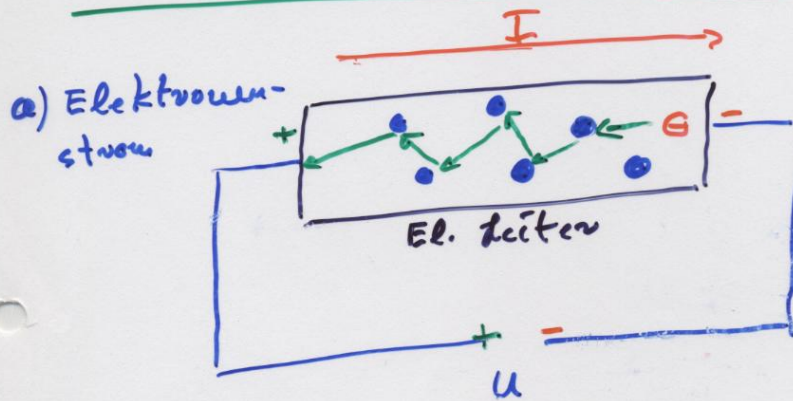
$$\sum q_i = 0 !$$

$$Q = q_{e^+} + q_{e^-} = 0$$



## 3.2. Ströme und Schaltkreise

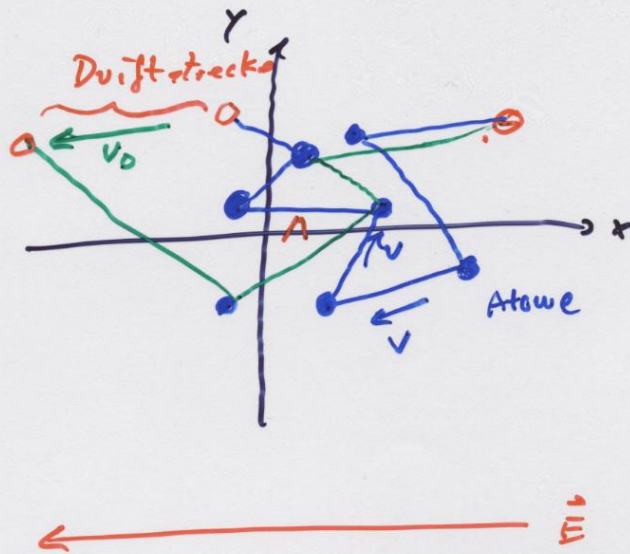
### 3.2.1 Das Ohmsche Gesetz



Bewegung von Elektronen im Material:  
Streuung an Atomkernen

- b) Ionenstrom : Bewegung von positiven oder negativen Ionen durch Medium (Bsp: Elektrolyse)
- c) Plasmastrom : Bewegung von  $e^-$ , Ionen durch ein Gas

## Elektronenstrom



— Bewegung  
ohne Feld  
— mit Feld

Elektronen: Diffusion durch therm. Stöße

$v_D$  Driftgeschwindigkeit

$\langle v \rangle$  Mittlere Geschwind. zwischen zwei Stößen

$\Lambda$  Mittlere freie Weglänge der El.

$\tau$  Mittlere Zeit zw. zwei Stößen

Bsp Cu (20°C):

$$\Lambda = 400 \cdot R_{\text{Atom}}$$

$$\langle v \rangle = 10^8 \text{ cm/s}$$

$$v_D = 10^{-2} \text{ cm/s}$$

Betrachte eine  $e^-$ :

$$a = \frac{v_D}{\tau} = \frac{e \cdot E}{m_e}$$

$$\Rightarrow v_D = \frac{e \cdot E}{m_e} \cdot \tau$$

$$\Rightarrow j = n e \cdot v_D$$

$$n = \frac{4e^-}{m^3}$$

$$= \underbrace{\frac{n \cdot e \cdot \tau}{m_e}}_{\sigma_e} \cdot e \cdot E = \sigma_e \cdot E$$

$$j = \sigma_e \cdot E$$

Ohm'scher Gesetz