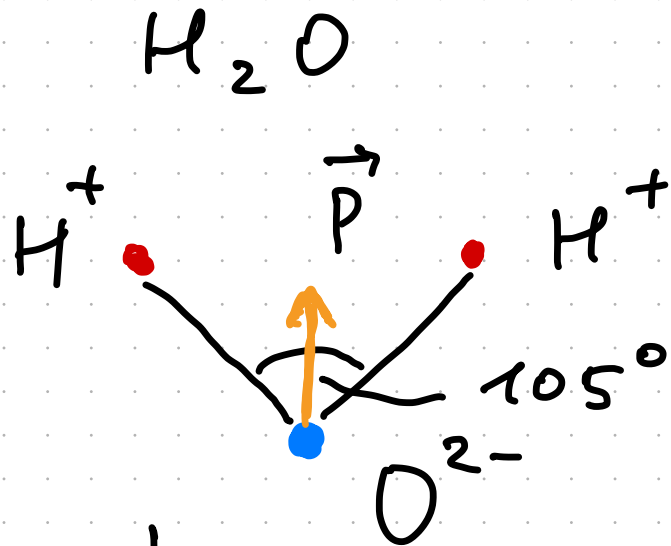


Vorlesung 5

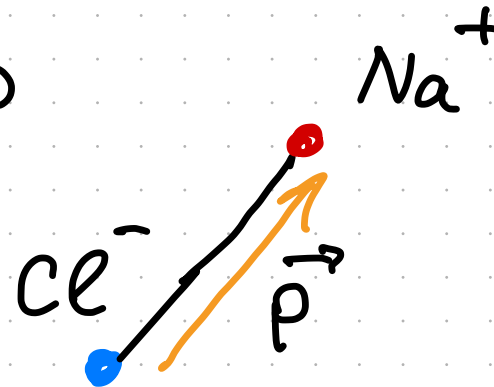
Physik II
A. Ustinov

SS 2020 

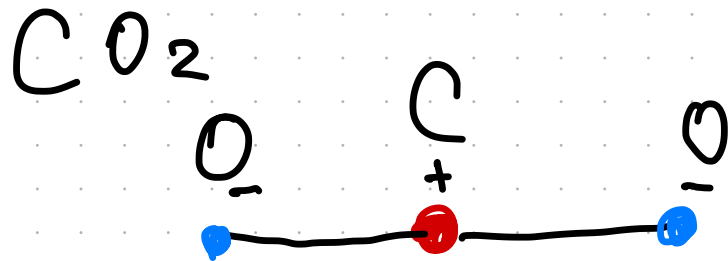
Dielektrika im elektrischen Feld



$$\vec{P} \neq 0$$

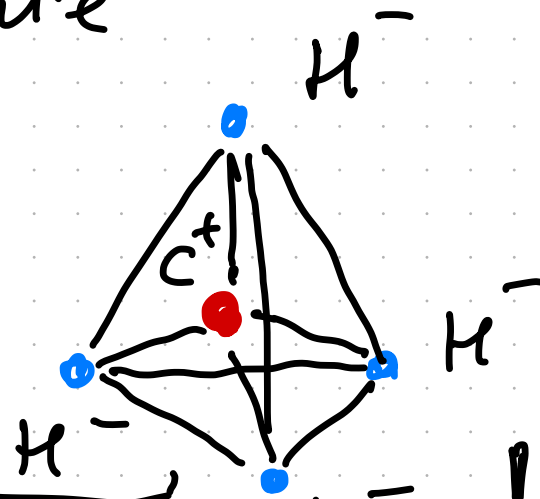


Dipolmomente



$$\vec{P} = 0$$

bei $E = 0$



Metan

kein Dipolmoment

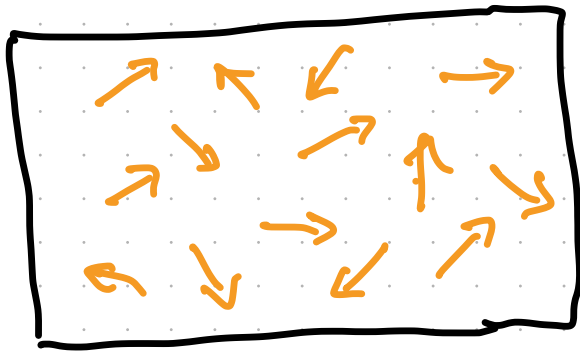
! polarisierbar
 $\vec{E} \neq 0 \rightarrow$ induzierte Dipole

In der Molekülphysik $\rightarrow$ Einheit

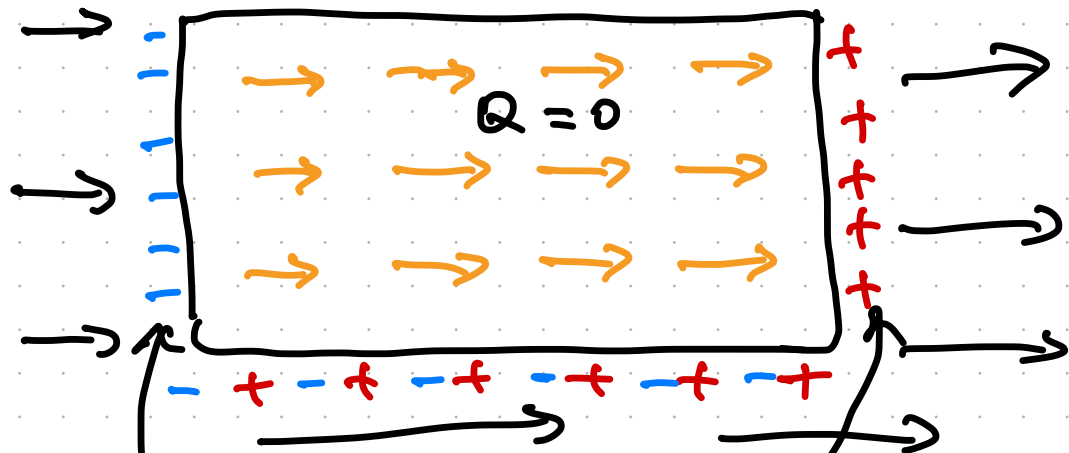
$$[p] = 1 \text{ Debye} \approx 3,34 \cdot 10^{-30} \text{ C} \cdot \text{m} ;$$

$$1 \text{ D} = 1 \cdot 10^{-18} \text{ ESU} \cdot \text{cm} = 10^{-10} \text{ ESU} \cdot \text{Å} ;$$
$$\approx 0,21 \cdot e \cdot \text{Å} ;$$

$$\vec{E} = 0$$



$$\vec{E} \neq 0$$

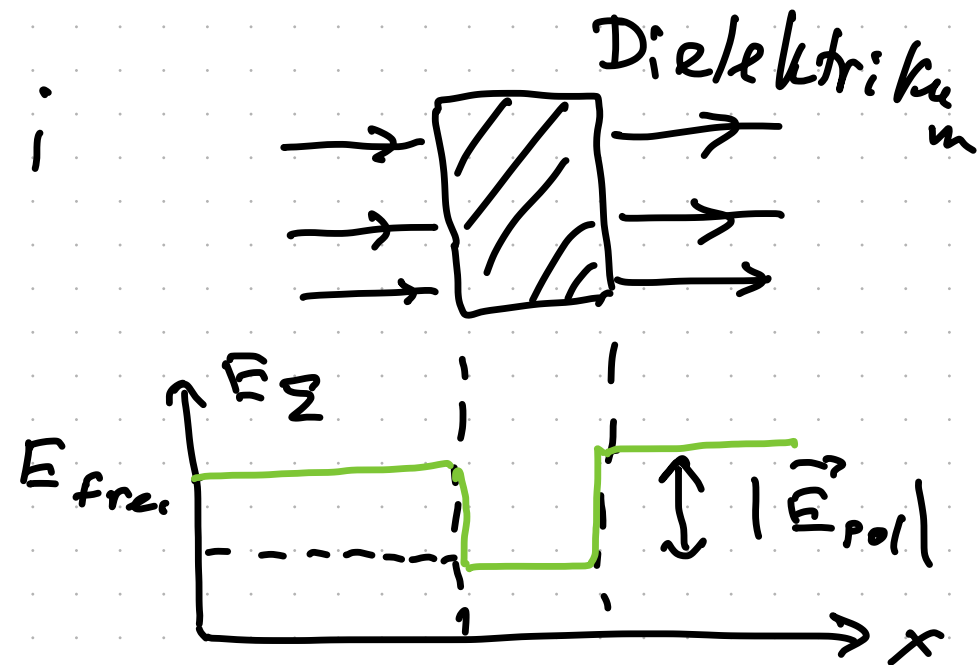
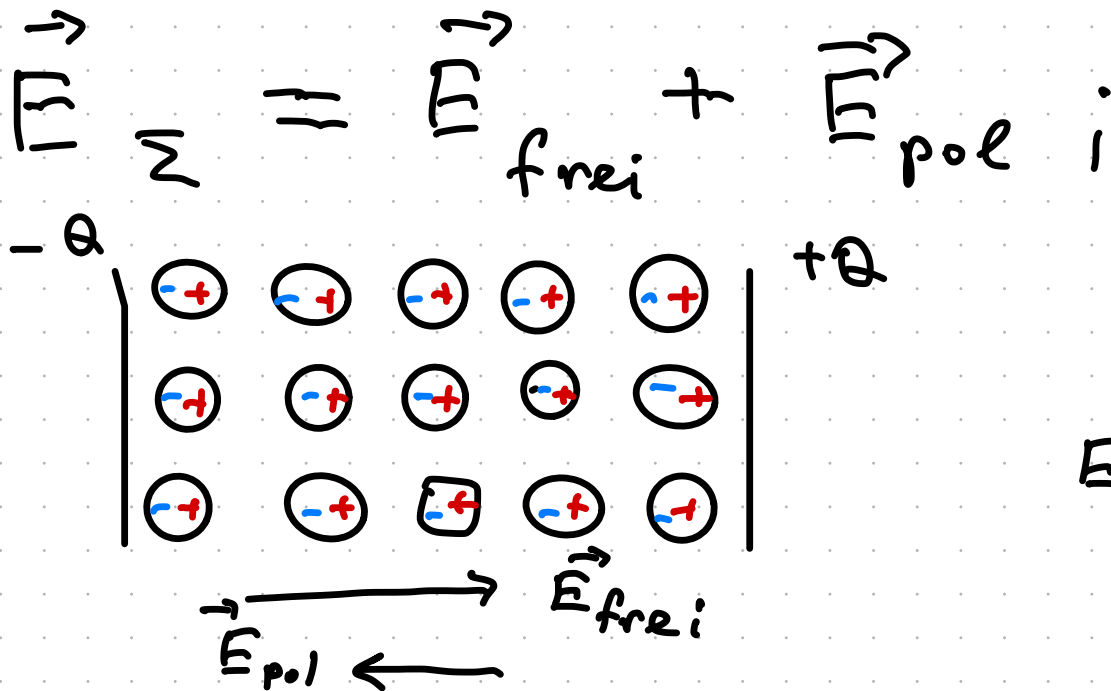


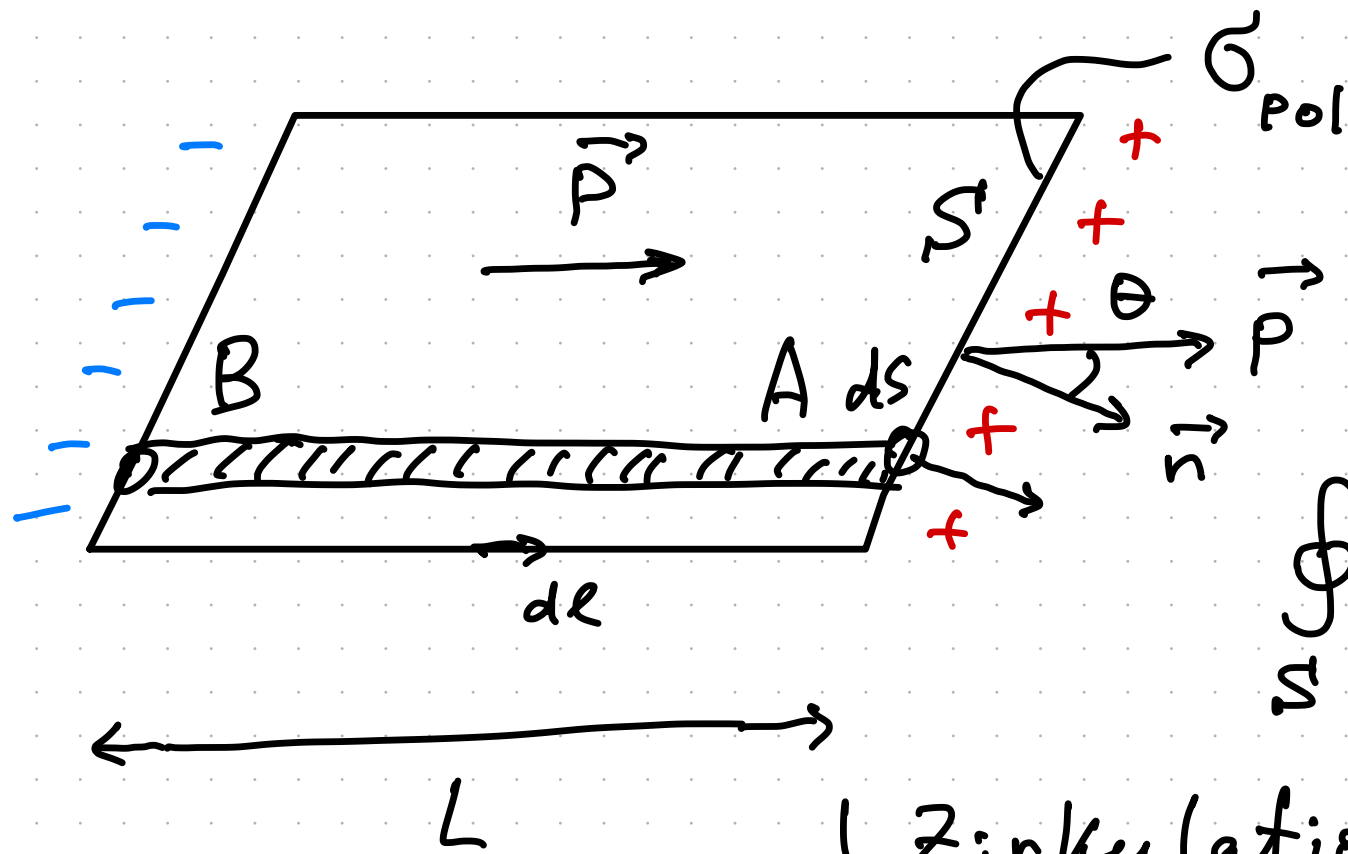
Polarisationsladungen

Polarisation : $\vec{P} = \frac{1}{V} \sum_{i=1}^N \vec{P}_i$;
 $N \sim N_A \sim 10^{23}$;

Polarisierbarkeit : $\vec{P} = \alpha \vec{E} \cdot N$;

Polarisationskonstante α die Zahl der
 Dipole pro Volumeneinheit





Gaußsche Satz



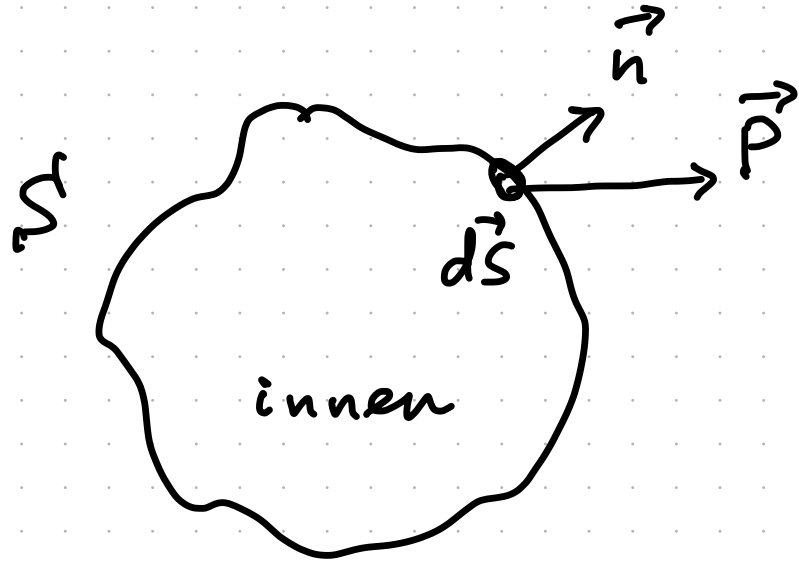
$$\oint_S \vec{E}_n \cdot d\vec{S} = 4\pi \underbrace{\rho}_{\text{frei}} + 4\pi \underbrace{\rho}_{\text{Pol}}$$

! Zirkulation: $\oint_L \vec{E}_e \cdot d\vec{e} = 0;$

$$\vec{P} \cdot \vec{V} = \underbrace{P \cos \theta \cdot S L}_{\int dS \cdot L \cdot \underbrace{\sigma_{\text{pol}}}_{\text{Dipol AB}}} = \sigma_{\text{pol}} \cdot S L ; \quad \underbrace{P \cos \theta}_{P_n} = \sigma_{\text{pol}} ;$$

$$\vec{P} = q \vec{l} ;$$

Gaußsche Satz in Materie (Dielektrikum)



Flux:

$$\oint \vec{P} \cdot d\vec{S} = -q_{\text{innen}};$$

nach außen verschobene Ladung

$$\text{Gauß: } \oint E_n dS = 4\pi q_{\text{frei}} - 4\pi \int P_n dS;$$

$$[\text{cgs}] \quad \oint_S (\underbrace{\vec{E} + 4\pi \vec{P}}_{\hat{=} \vec{D}}) d\vec{S} = 4\pi q_{\text{frei}} \hat{=} 4\pi q;$$

$\hat{=} \vec{D}$ dielektrische Verschiebungsdichte

$$[SI] \Rightarrow \vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P} = \epsilon \epsilon_0 \vec{E} ;$$

$$[cgs] \Rightarrow \vec{D} = \vec{E} + 4\pi \vec{P} = \vec{E} (1 + 4\pi \alpha N) = \epsilon \vec{E} ;$$

$\epsilon \hat{=}$ Dielektrizitätskonstante ;

$$\vec{E}_{\text{Diel}} = \frac{1}{\epsilon} \vec{E}_{\text{vak}} ; \quad \epsilon > 1$$

Die Feldstärke wird im Dielektrikum kleiner,

im Metall : $\epsilon \rightarrow \infty$, $E_{\text{Metall}} = 0$;

$$\oint_S \vec{D} \cdot d\vec{S} = 4\pi q \quad [cgs]$$

Differentialform:

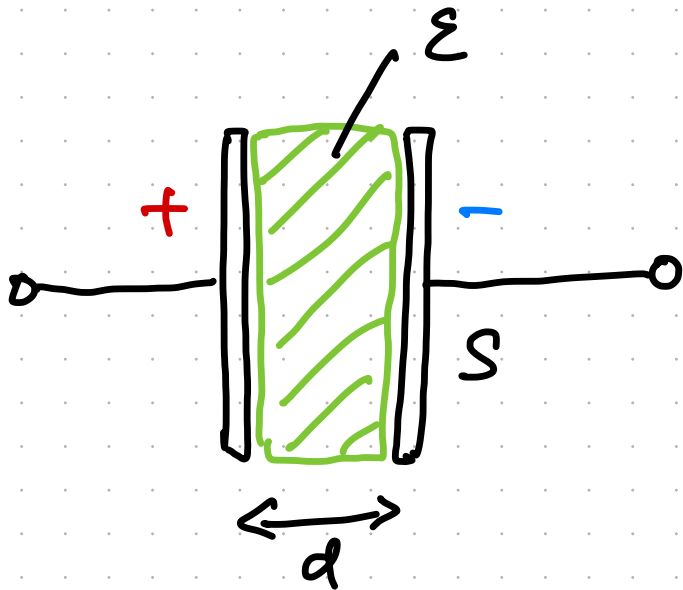
$$\text{div } \vec{D} = 4\pi \rho ;$$

Dielektrische Suszeptibilität χ :

$$[SI] \Rightarrow \chi = \frac{N \cdot d}{\epsilon_0} ; \quad \vec{P} = \epsilon_0 \chi \vec{E}_{\text{Die}} ;$$

$$\boxed{\epsilon = 1 + \chi}$$

Die elektrische Feldenergie im Dielektrikum



Kondensator mit einem Dielektrikum

! Kapazität C steigt um Faktor ϵ .

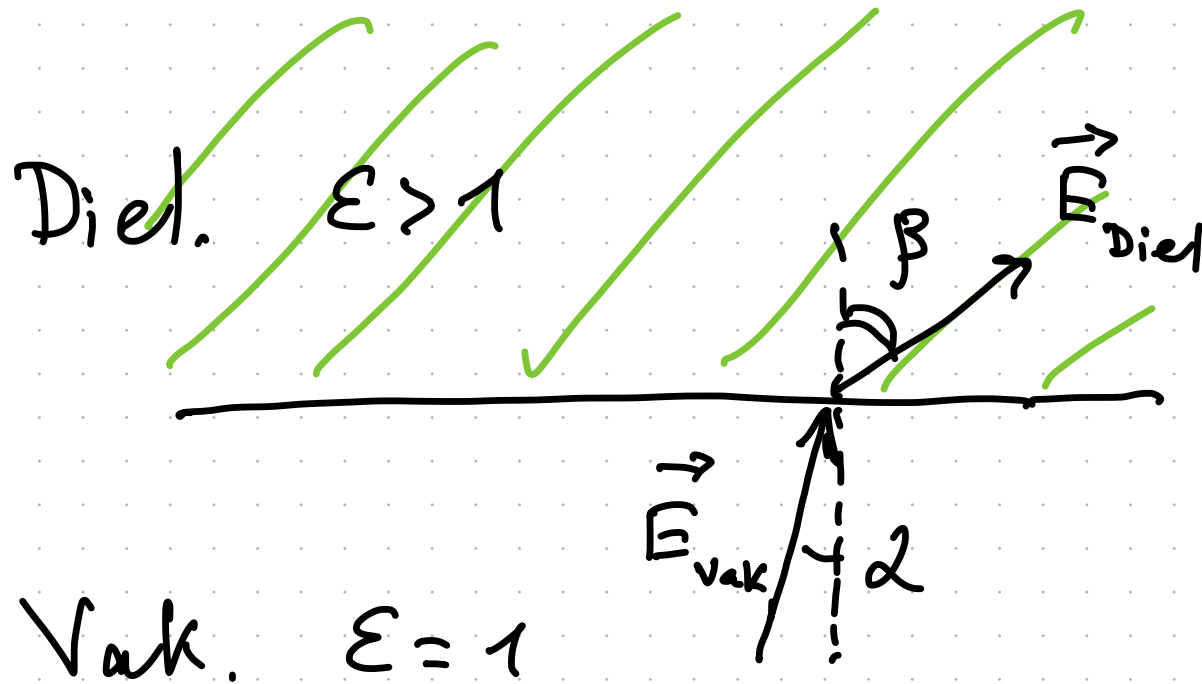
$\Rightarrow$ bei gleiche U wird eine höhere Q erzielt.

$$[SI] \Rightarrow W = \frac{1}{2} C U^2 = \frac{1}{2} \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d} \cdot (d \cdot E)^2$$
$$= \frac{1}{2} \underbrace{\epsilon \epsilon_0 E}_{D} \cdot E \cdot \underbrace{d \cdot S}_V ;$$

$$w \left| \begin{array}{l} = \frac{W}{V} = \frac{1}{2} E \cdot D ; \\ \text{Volumeneinheit} \end{array} \right.$$

$$[cgs] \quad w \left| \begin{array}{l} = \frac{E D}{8\pi} = \frac{\epsilon E^2}{8\pi} ; \\ \text{Volumeneinheit} \end{array} \right.$$

Randbedingungen auf eine Vakuum - Dielektrikum Grenzfläche



$$\vec{E}_{\parallel}^{\text{vak}} = \vec{E}_{\parallel}^{\text{diel}};$$

$$\vec{D}_{\parallel}^{\text{vak}} = \frac{1}{\epsilon} \vec{D}_{\parallel}^{\text{diel}}.$$

"Brechungsgesetz" : $\tan \beta = \epsilon \tan \alpha;$

Dielektritätskonstante:

Glas : $\epsilon \sim 5 \div 10$;

Luft : $\epsilon \sim 1,0006$;

Wasser : $\epsilon \sim 80$;

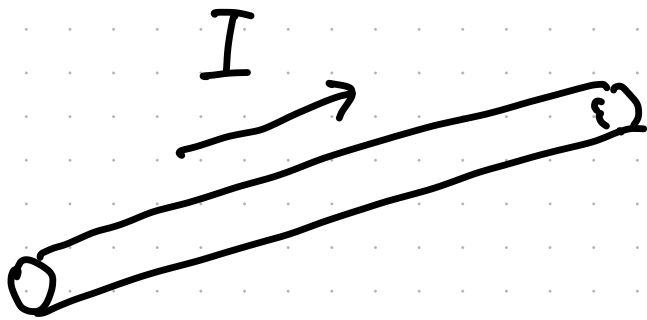
Si : $\epsilon \sim 11$.

2. Elektrische Ströme

2.1 Basisgröße Strom

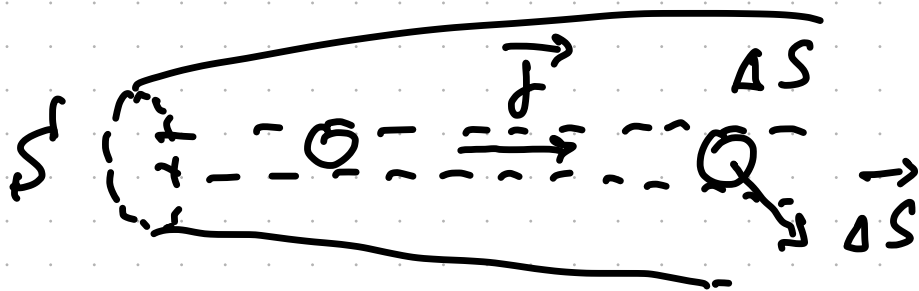
Strom: $I = \frac{dq}{dt}$;

$[SI] \rightarrow [I] = 1 \text{ A}$;
Ampere



$[cgs] \rightarrow [I] = \frac{1 \text{ ESL}}{1 \text{ s}}$;

! Bewegung positive Ladungen.

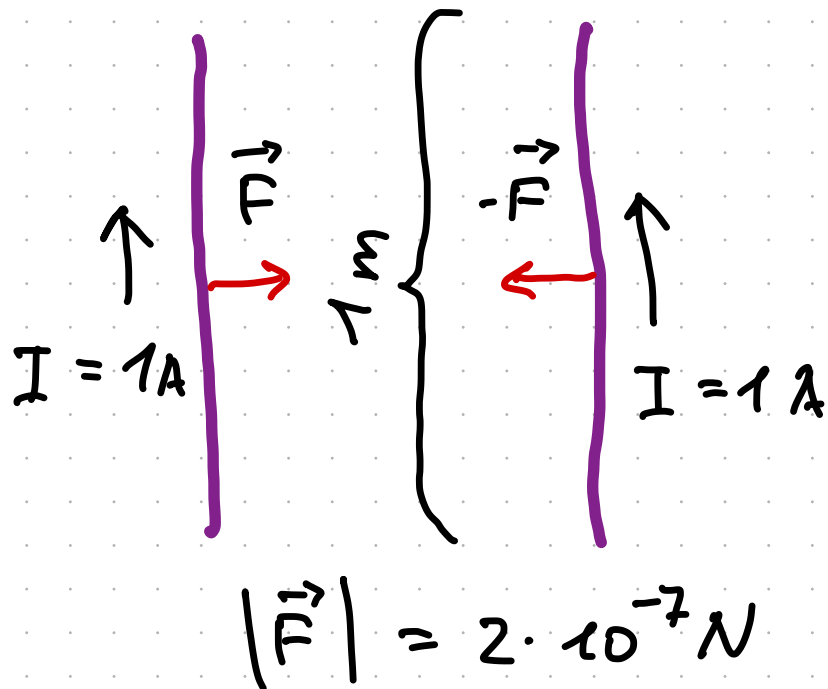


Stromdichte $\vec{J}$:

$$I = \int_S \vec{J} \cdot d\vec{S} ;$$

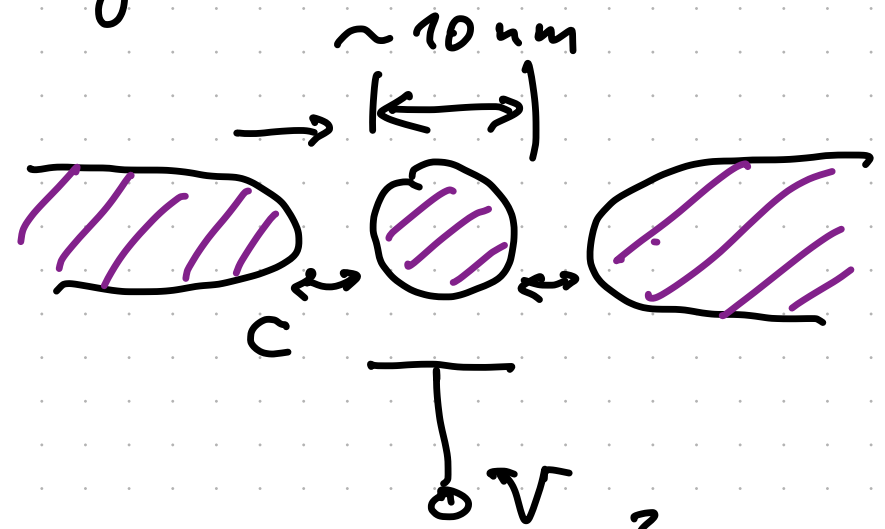
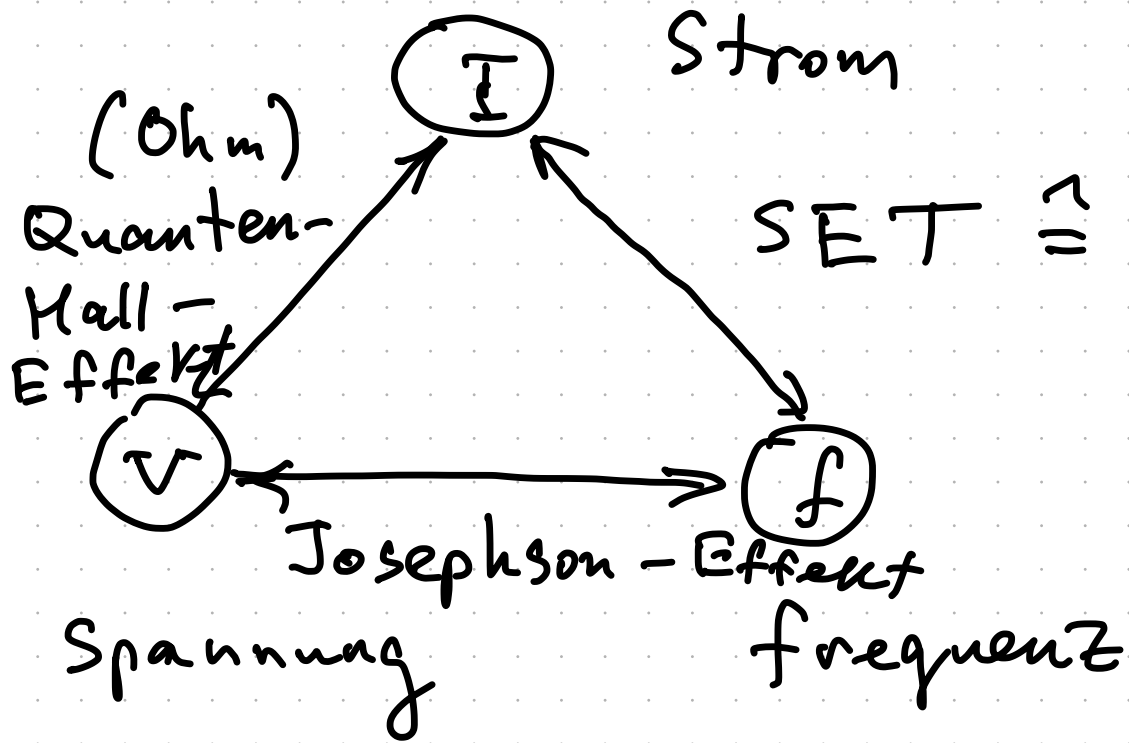
Die Einheit der Stromstärke [SI]:

1 A:



Stärke eines zeitlich konstanten Stromes, der durch zwei im Vakuum parallel im Abstand von 1 m von einander angeordnete unendlich lange, dünne Leiter fließt und zwischen diesen Leitern eine Kraft von $2 \cdot 10^{-7} \text{ N}$ je meter Leitungslänge bewirkt.

Quanten - Definition (e , h , etc.)



Energie : $w = \frac{e^2}{2C} \gg k_B T$

Strom : $I = ef$; $\langle \delta I \rangle \sim 10^{-6} e$;

- 1) elektrische Leiter (Metalle, Halbleiter)
- 2) Ionen-Leiter (Elektrolyte)
- 3) gemischte (Plasma-Ionisierte Gas)

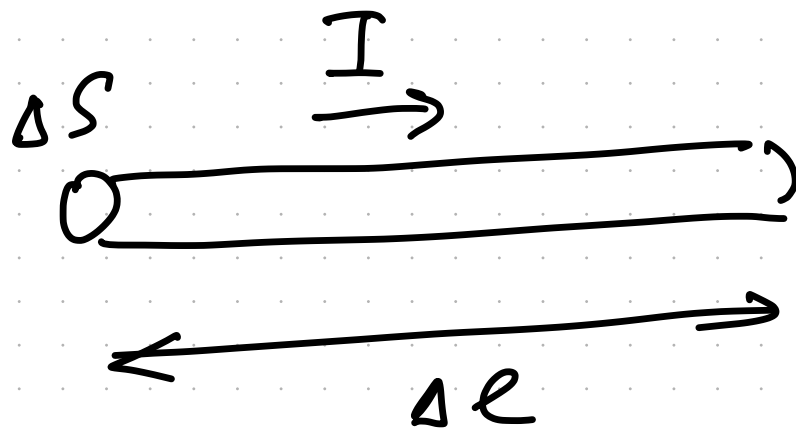
2.2. Ohmsches Gesetz

$$I = \frac{U}{R} ; \begin{array}{l} \text{spannung} \\ \text{widerstand} \end{array}$$

$$U \rightarrow E \Delta l ;$$

$$I \rightarrow j \Delta S ;$$

$$R \rightarrow \rho \frac{\Delta l}{\Delta S} ;$$



$\rho \hat{=}$ spezifische Widerstand ;

$\sigma_{el} = \frac{1}{\rho} \hat{=}$ Leitfähigkeit ;

$$[S] \rightarrow [\rho] = 1 \text{ Ohm} \cdot \text{m} ; 1 \text{ Ohm} \hat{=} 1 \Omega = \frac{1 \text{ V}}{1 \text{ A}} ;$$

$[cgs] \begin{cases} \nearrow E S U & \text{statistisches} \\ \searrow E M U & \text{magnetisches} \end{cases}$

$$[cgs] \rightarrow [\rho]_{cgs} = \tau_s \hat{=} ab \Omega \cdot cm$$

$$[\rho]_{cgs} = \underbrace{9 \cdot 10^9 \cdot \Omega m \cdot m}_{10^{11} \cdot c^{-2}} ;$$

$\uparrow$
Lichtgeschwindigkeit.