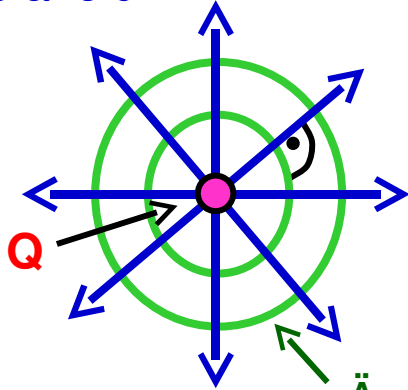


Beispiel 1: Feld des elektrischen Monopols

Radialfeld

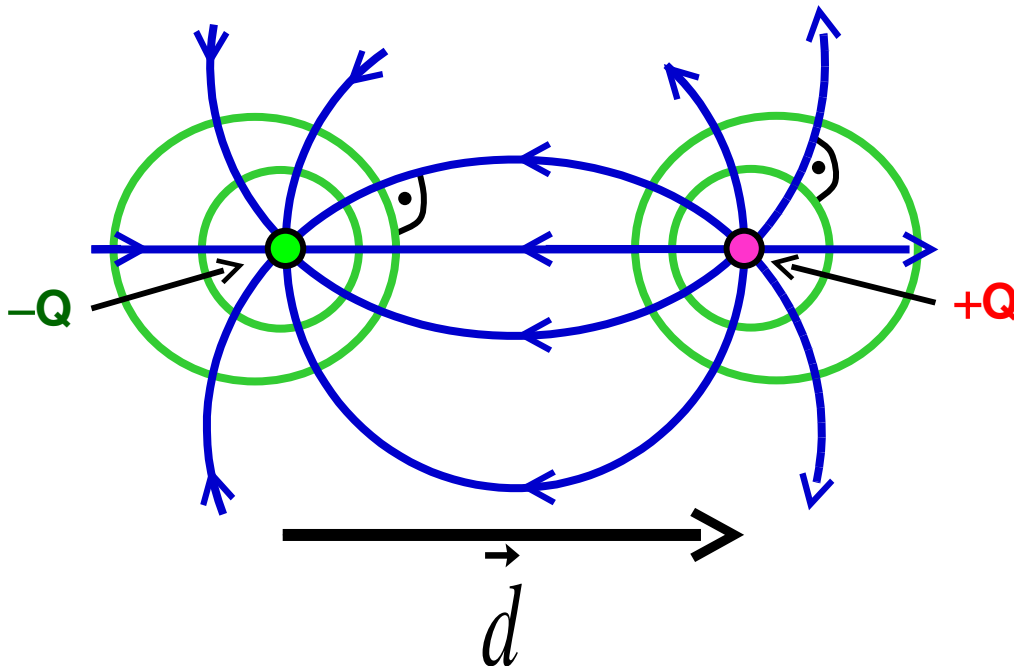


$$\vec{E} = \frac{1}{4 \pi \epsilon_0} \frac{Q \vec{r}}{r^3}$$

$$\phi = \frac{1}{4 \pi \epsilon_0} \frac{Q}{r}$$

Äquipotentialflächen

Beispiel 2: Feld des elektrischen Dipols



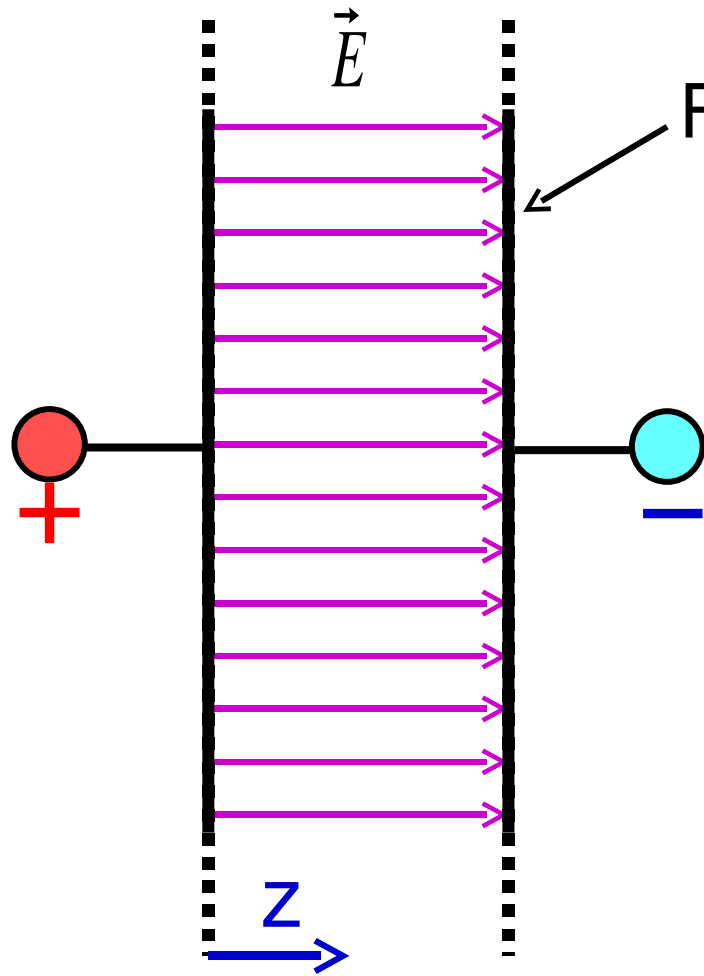
Elektrisches Dipolmoment: $\vec{p}_e = Q \cdot \vec{d}$

$r \rightarrow \infty$: Dipol \rightarrow Monopol der
Ladung $Q - Q = 0$

$$\vec{E}(r \rightarrow \infty) \propto \frac{1}{r^3} \quad \phi(r \rightarrow \infty) \propto \frac{1}{r^2}$$

--> Übung

Beispiel 3: Homogenes Feld



Flächenladung: $\sigma = \frac{dQ}{dA} = \text{const.}$

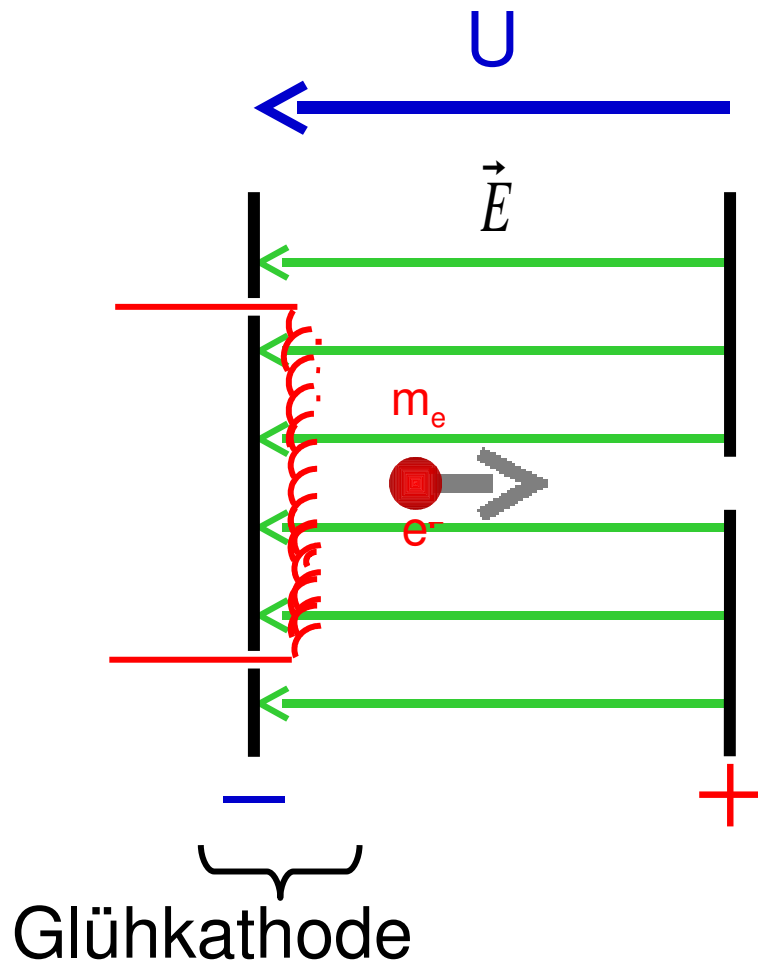
$$\vec{E} = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \cdot \vec{e}_z = \text{const.}$$

$$\phi = -\frac{\sigma}{\epsilon_0} \cdot z + \phi_0$$

Plattenkondensator

Experiment: Feldliniengerät

b) Homogenes Feld, Beschleunigung:



$$E_{\text{kin}} = e \cdot U$$



Einheit „Elektronenvolt“:

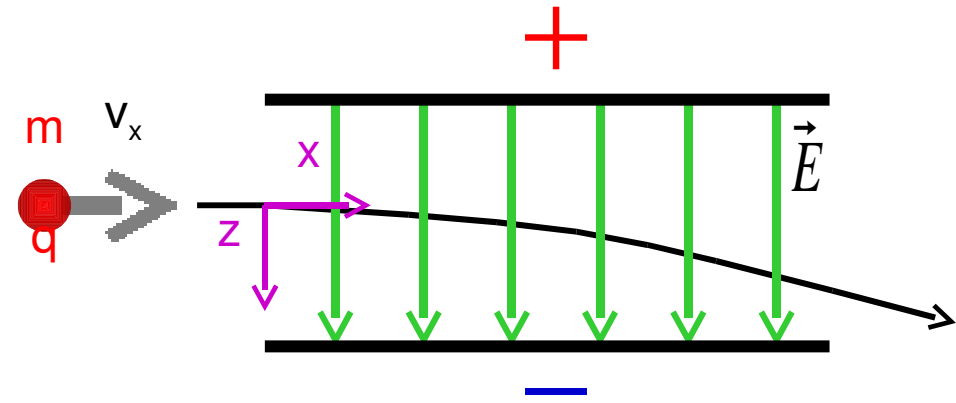
$$U = 1\text{V} \Rightarrow E_{\text{kin}} = e \cdot 1\text{V} \equiv 1\text{eV}$$

$$1\text{eV} = 1,602 \cdot 10^{-19}\text{J}$$

1.1.4. Punktladungen und Dipole im elektrischen Feld

a) Homogenes Feld, Ablenkung:

$$\begin{aligned}\vec{F} &= q \cdot \vec{E} = q \cdot E \cdot \vec{e}_z \\ &= m \cdot \ddot{z} \cdot \vec{e}_z\end{aligned}$$

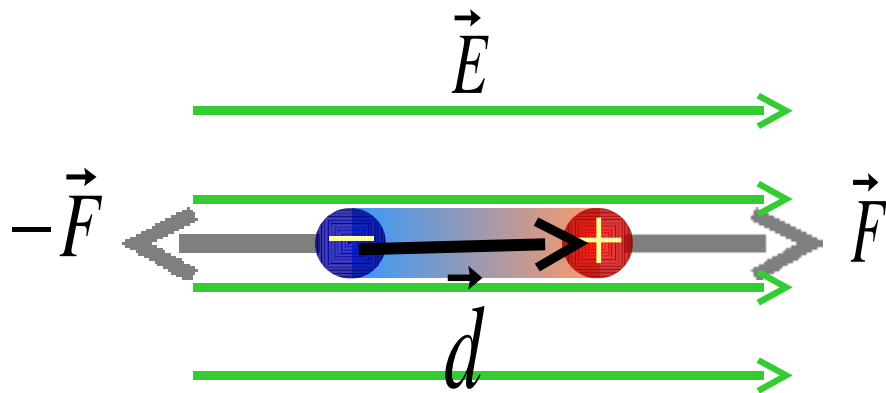


$$\Rightarrow \begin{cases} \dot{v}_z = \frac{qE}{m} \Rightarrow v_z = \frac{qE}{m} t, & z = \frac{1}{2} \frac{qE}{m} t^2 \\ \dot{v}_x = 0 \Rightarrow v_x = \text{const.}, & x = v_x t \end{cases}$$

$$\Rightarrow z(x) = \frac{qE}{2m v_x^2} \cdot x^2 \quad \text{Parabel}$$

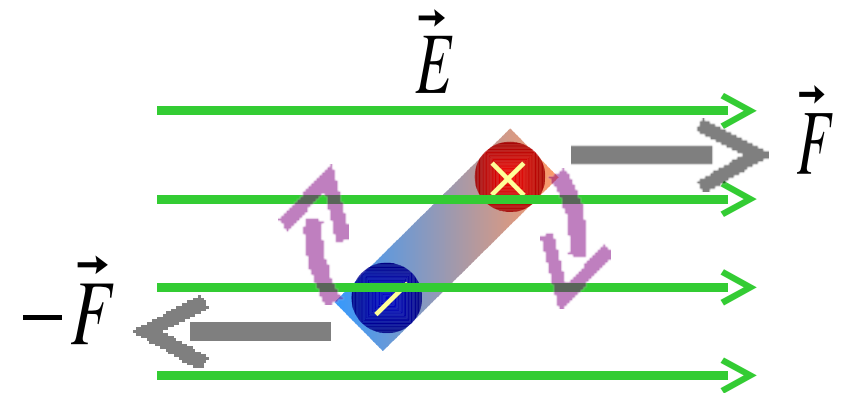
Experiment: Elektronenstrahlröhre

d) Dipol im homogenen Feld:



Dipolmoment: \vec{p}_e

$$\sum \vec{F}_i = \vec{0} \quad , \quad \vec{M} = \vec{0}$$



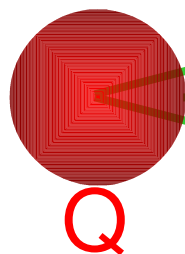
Dipolmoment: \vec{p}_e

$$\sum \vec{F}_i = \vec{0} \quad , \quad \vec{M} = \vec{p}_e \times \vec{E}$$

- Drehschwingung des Dipols um Richtung des E-Feldes
- Dämpfung \Rightarrow Ausrichtung des Dipolmoments in E-Richtung

e) Ausgerichteter Dipol im inhomogenen Feld:

Quellladung



Q

\vec{F}_-

Probepol

\vec{F}_+

\vec{E}



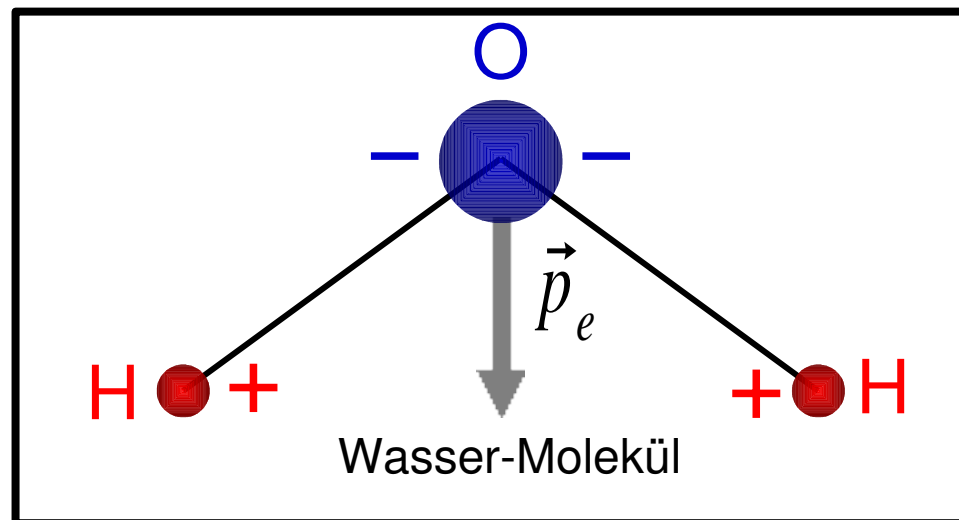
\vec{p}_e

$\vec{F}_+ + \vec{F}_-$ zeigt auf Q, d.h. in Richtung des größten E-Feldes

Allgemein: $\vec{F} = \text{grad}(\vec{p}_e \cdot \vec{E})$

Experiment:

Ablenkung eines
Wasserstrahls



1.2. Elektrische Leiter im elektrischen Feld

Definition: Ein Medium heißt elektrischer Leiter, wenn Ladungsträger frei (ohne Kraftaufwand) verschiebbar sind.

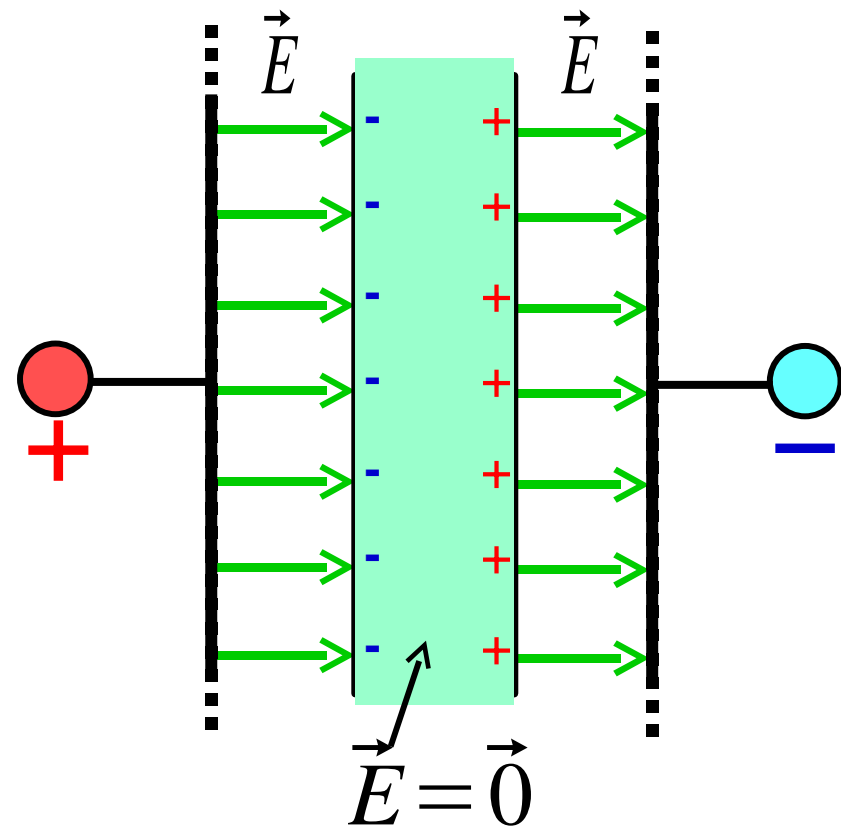
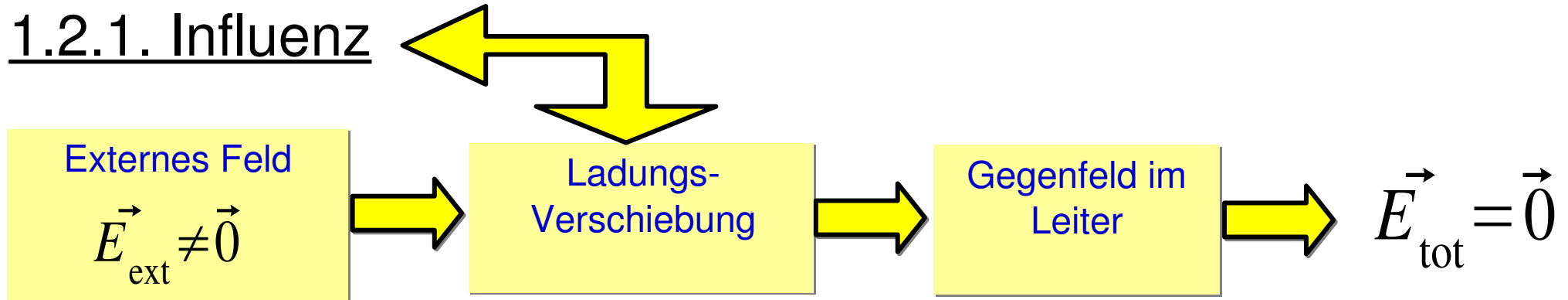
Beispiele:

Supraleiter, Metalle (annähernd), astrophysik. Plasmen (annähernd)

Folgerung: In statischer Situation verschwindet im Innern eines elektrischen Leiters überall das elektrische Feld.

Beweis: Wäre irgendwo $\vec{E} \neq \vec{0}$, würde auf die dort lokalisierten freien Ladungsträger q die Kraft $\vec{F} = q\vec{E}$ wirken
⇒ Ladungsverschiebung
⇒ Widerspruch zur Annahme einer statischen Situation.

1.2.1. Influenz



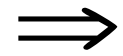
Experiment: Influenz

- Ungeladene Metallplatten in Berührung
⇒ ins Feld schieben
- Metallplatten trennen und herausziehen
- Platte 1 → Elektrometer → Ausschlag
- Platte 2 → Elektrometer → Kompensation

Folgerungen:

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \rho / \epsilon_0$$

a) $\vec{E} = \vec{0}$ im Inneren



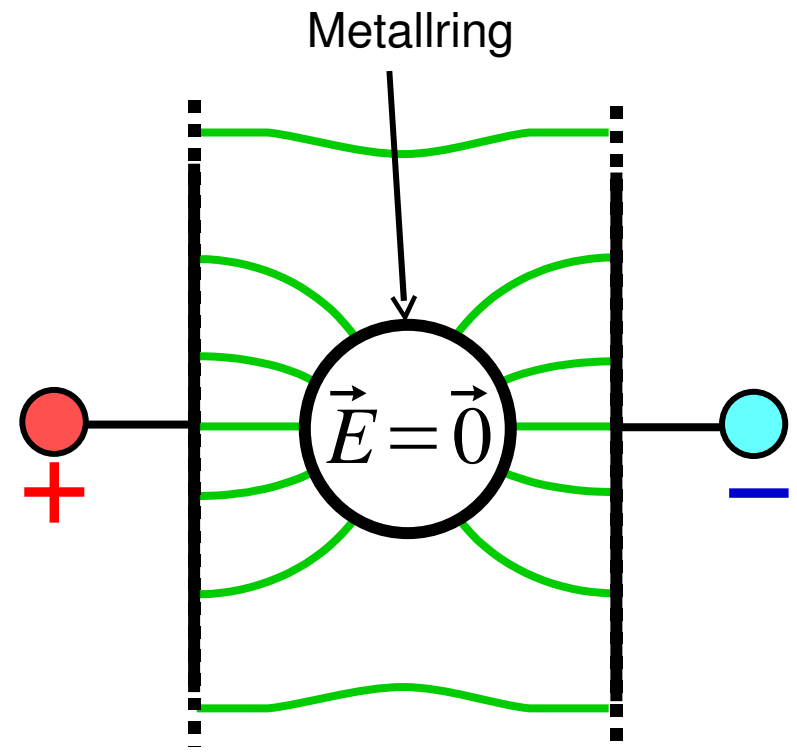
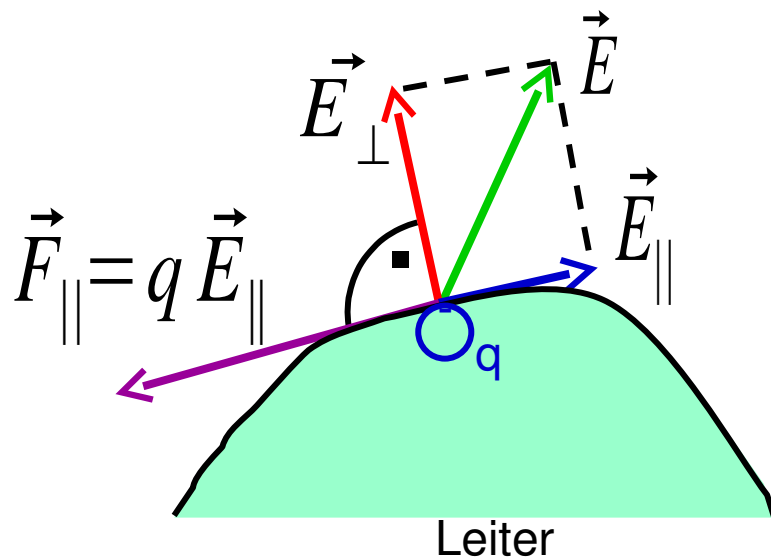
Ladung nur auf Leiteroberfläche

b) statische Situation $\Rightarrow \vec{E} \perp$ Oberfläche \Rightarrow Oberfläche = Äquipotentialfläche

c) In zusammenhängenden Leitern gilt $\phi = \text{const.}$

d) Abschirmung äußerer elektrostatischer Felder

--> Faraday-Käfig (Ladungsverschiebung auf Oberfläche bis zur Kompensation)



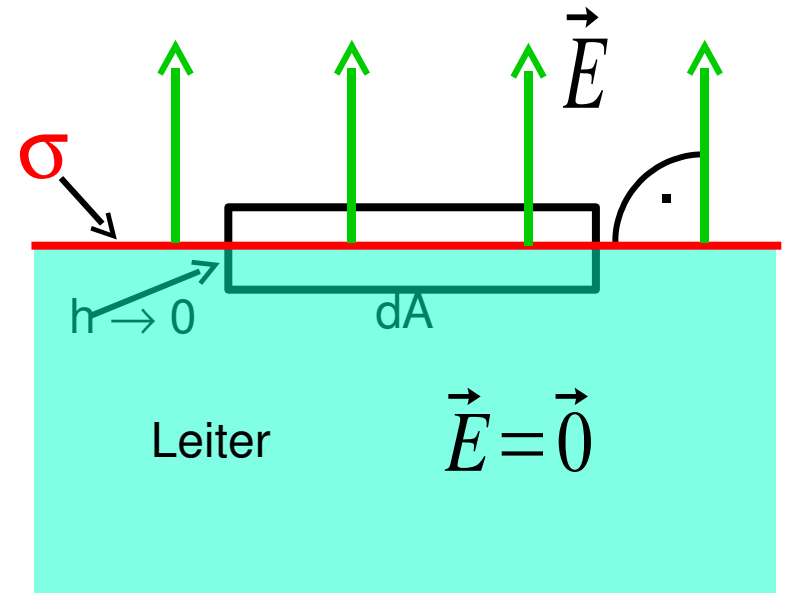
Experiment: Feldliniengerät

1.2.2. Ladung auf metallischen Oberflächen

Generell gilt: $\vec{E} \perp \text{Oberfläche}$ $\phi = \text{const.}$

$$\int_{\square} \text{div } \vec{E} \, dV = \int_{\square} \frac{\rho}{\epsilon_0} \, dV = \frac{\sigma \cdot dA}{\epsilon_0}$$

$$\int_{\square} \text{div } \vec{E} \, dV = \oint_{\square} \vec{E} \, d\vec{A} = E \cdot dA$$



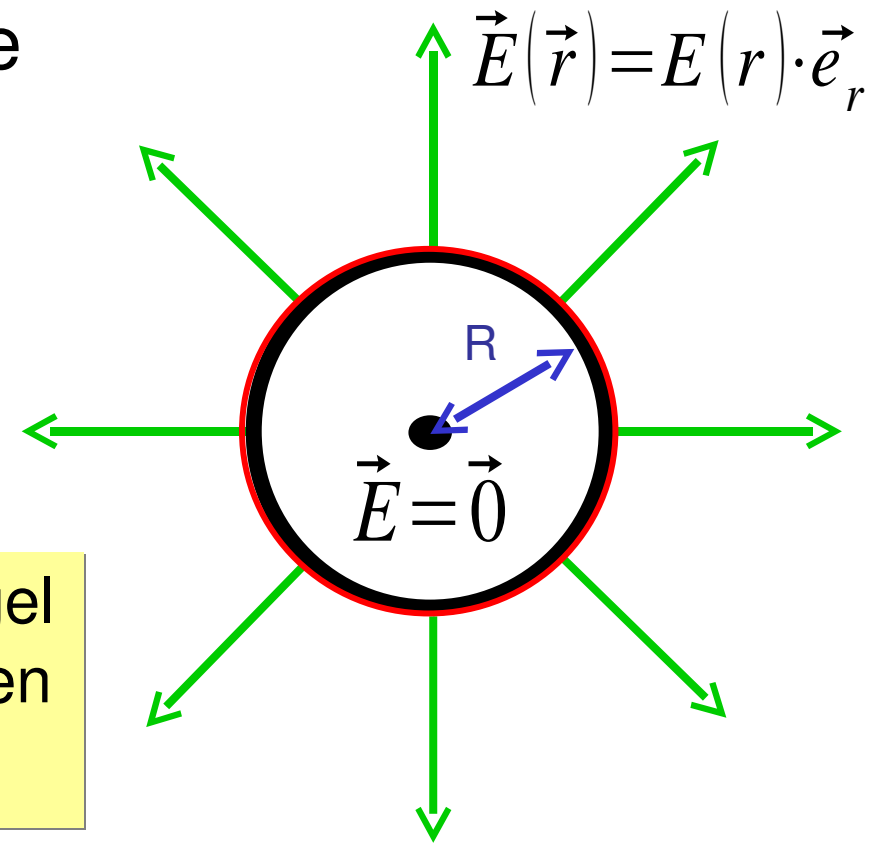
Oberflächenfeld: $\vec{E} = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \cdot \vec{e}_A$

Beispiel: Die geladene Kugelschale

$$Q = 4 \pi R^2 \cdot \sigma$$

$$E(R) = \frac{\sigma}{\epsilon_0} = \frac{1}{4 \pi \epsilon_0} \cdot \frac{Q}{R^2}$$

Das Feld außerhalb der geladenen Kugel ist identisch mit dem der entsprechenden Punktladung im Zentrum der Kugel

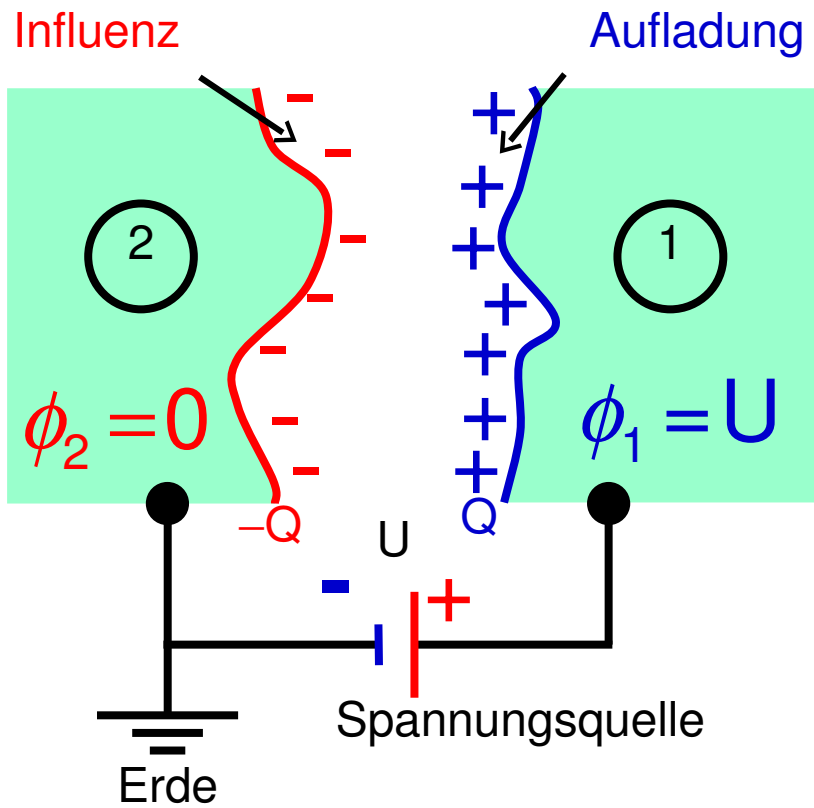


Potential: $\phi(R) \propto \sigma \propto Q$

Definition: $C = \frac{Q}{\phi}$ heißt Kapazität bzw.

Ladungsfassungsvermögen der Oberfläche.

1.2.3. Kondensatoren



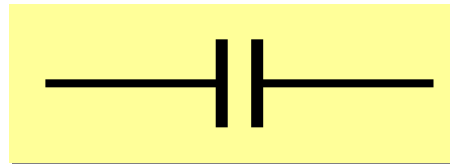
Kapazität: $C = \frac{Q}{\phi_1} = \frac{Q}{U}$

$\Rightarrow Q = C \cdot U$

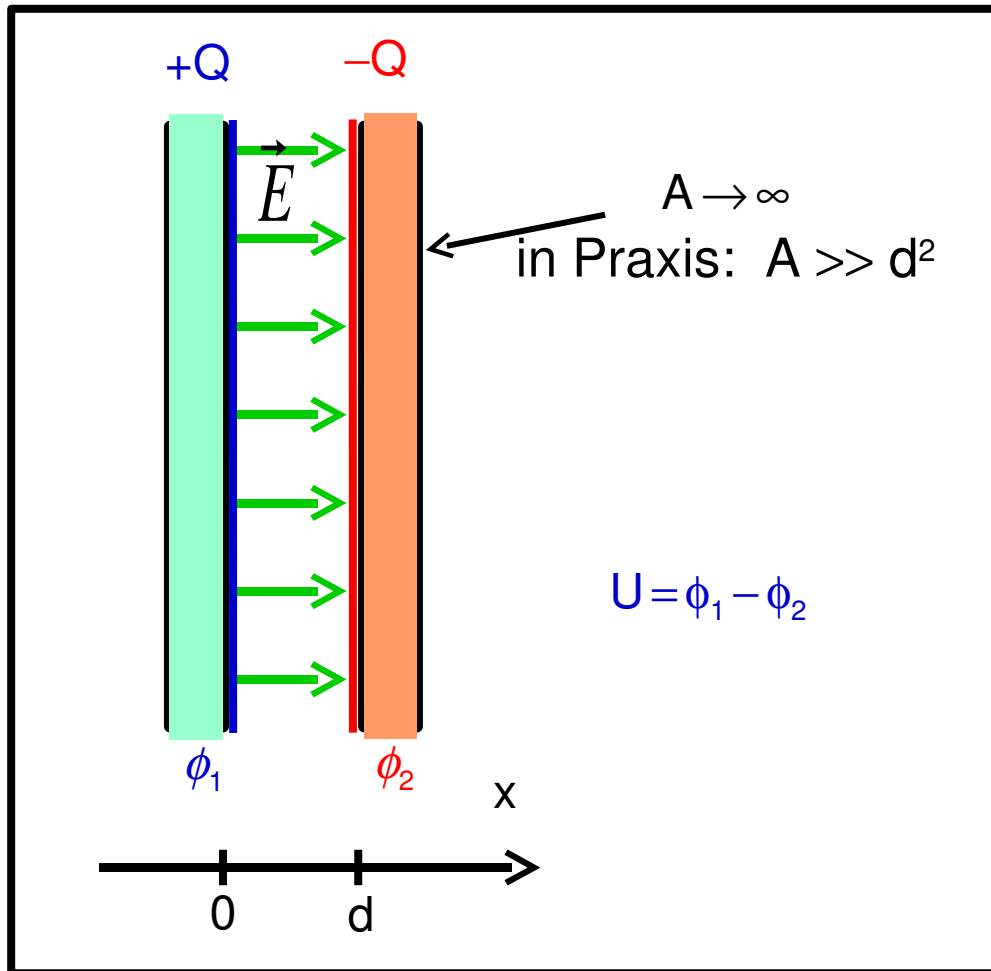
Einheit: $[C] = AsV^{-1} = CV^{-1} = F = \text{Farad}$

(gebräuchlich: pF, nF, μ F)

Schaltzeichen:



Beispiel: Plattenkondensator



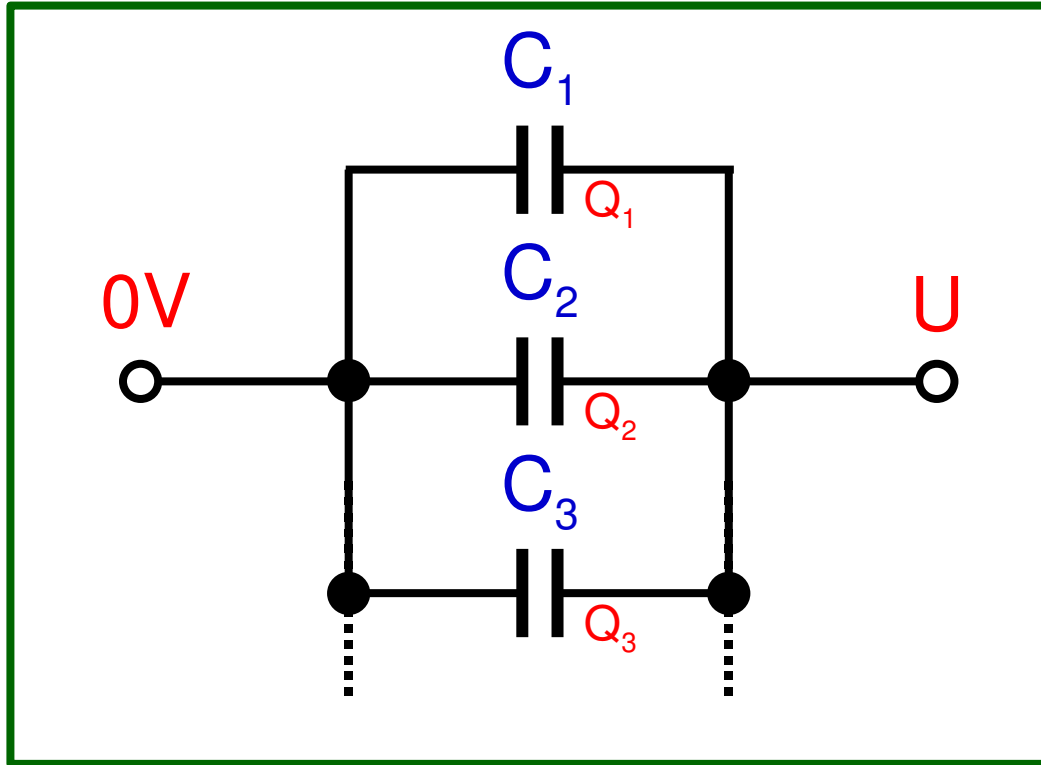
$$E = \frac{U}{d} \quad \text{homogen}$$

Experiment:

Abstandsänderung beim Plattenkondensator

$$\frac{U}{d} = E = \frac{\sigma}{\epsilon_0} = \frac{Q}{\epsilon_0 A} \Rightarrow Q = \epsilon_0 \frac{A}{d} \cdot U \Rightarrow C = \epsilon_0 \cdot \frac{A}{d}$$

Parallelschaltung:



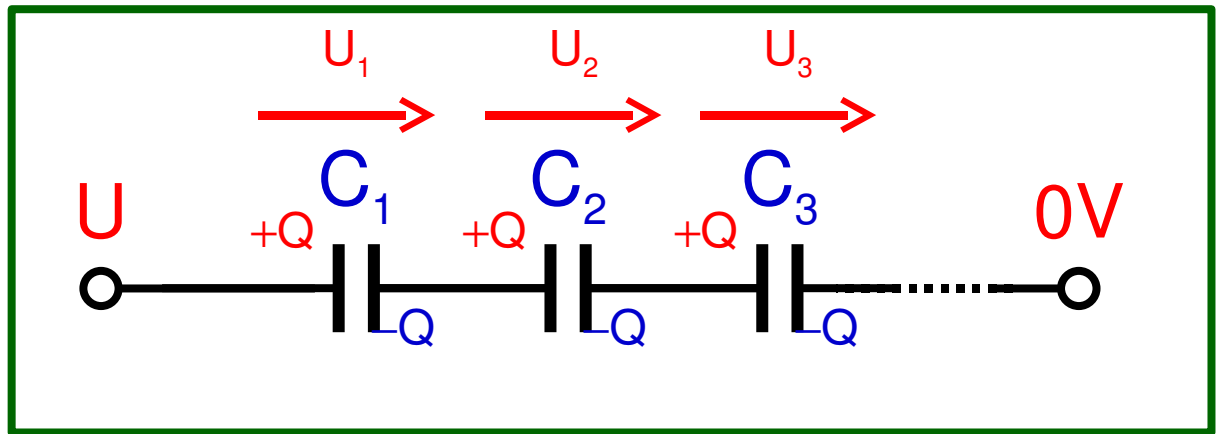
$$U = U_1 = U_2 = U_3 = \dots$$

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots$$

$$C = \frac{Q}{U} = \frac{Q_1}{U} + \frac{Q_2}{U} + \frac{Q_3}{U} + \dots = \frac{Q_1}{U_1} + \frac{Q_2}{U_2} + \frac{Q_3}{U_3} + \dots$$

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + \dots$$

Serienschaltung:



$$Q = Q_1 = Q_2 = Q_3 = \dots \quad U = U_1 + U_2 + U_3 + \dots$$

$$\frac{1}{C} = \frac{U}{Q} = \frac{U_1}{Q} + \frac{U_2}{Q} + \frac{U_3}{Q} + \dots = \frac{U_1}{Q_1} + \frac{U_2}{Q_2} + \frac{U_3}{Q_3} + \dots$$

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots$$