

11

Elektrizität

November 12, 2018

Übersicht

elektrische Ladung ρ

elektrisches Feld \vec{E}

Kraft \vec{F}

elektrostatisches
Potential φ

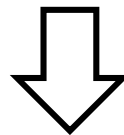
potentielle
Energie E_{pot}

Übersicht

- Was ist eine **Ladungsdichte** ?
- Wie bestimmt man die **Kraft** auf eine **Ladung**?
- Wie sind **elektrische Ladungen** mit dem **elektrisches Feld** verknüpft?
- Wie verhalten sich **Ladungen** in **Materialien**?

elektrische Ladungen

- an Materie geheftet
- positive und negative Ladungen
- gleichnamige Ladungen stoßen sich ab, entgegengesetzte Ladungen ziehen sich an

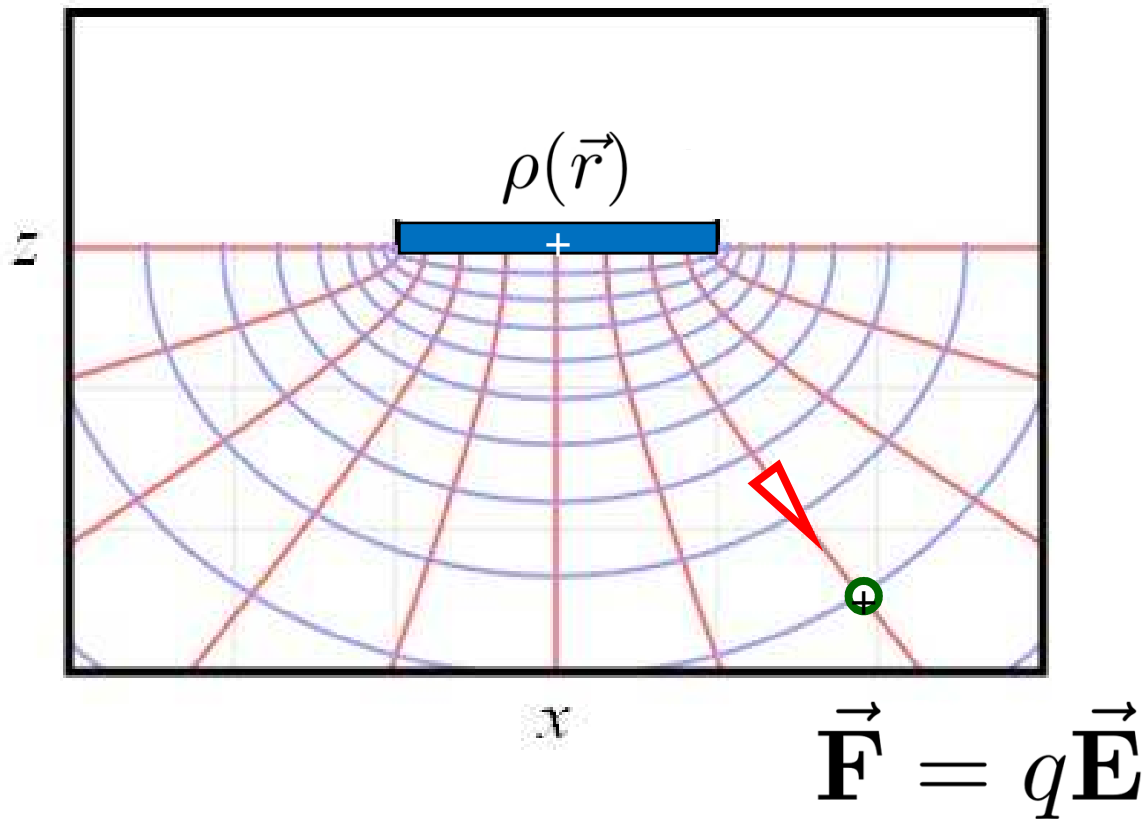


- Verteilung von Ladungen in einem Volumen bzw. einem Volumenelement
- als an verschiedenen Orten \vec{r}_i angeheftete **Punktladungen** q_i oder als **Ladungsdichte** $\rho(\vec{r})$

Kräfte zwischen Ladungen

elektrisches Feld:

Kraft, die eine **Ladungsverteilung** auf **Probeladung** ausübt

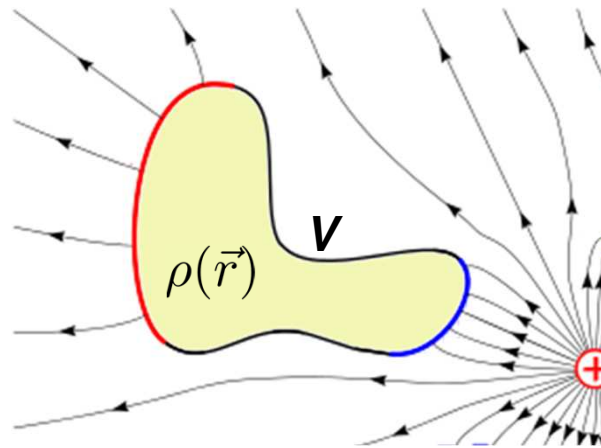


Ladung \leftrightarrow elektrisches Feld

in einem Volumen eingeschlossene **Ladungen**:

Divergenz der **elektrischen Feldlinien** ausserhalb des Volumens

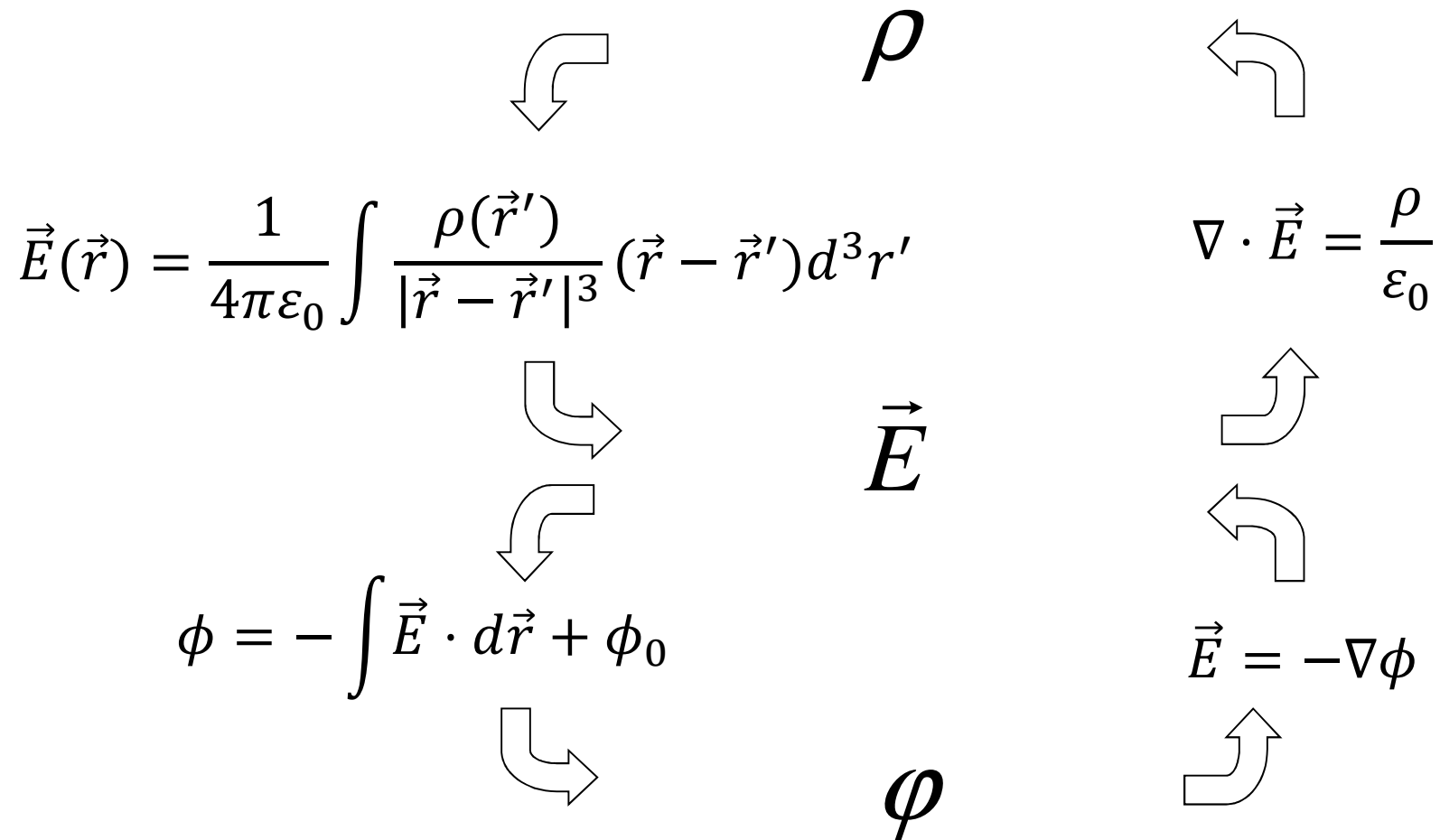
Satz von Gauss



Elektrische Feldstärke ausserhalb des Volumens hängt nur von eingeschlossener **Gesamtladung** ab;

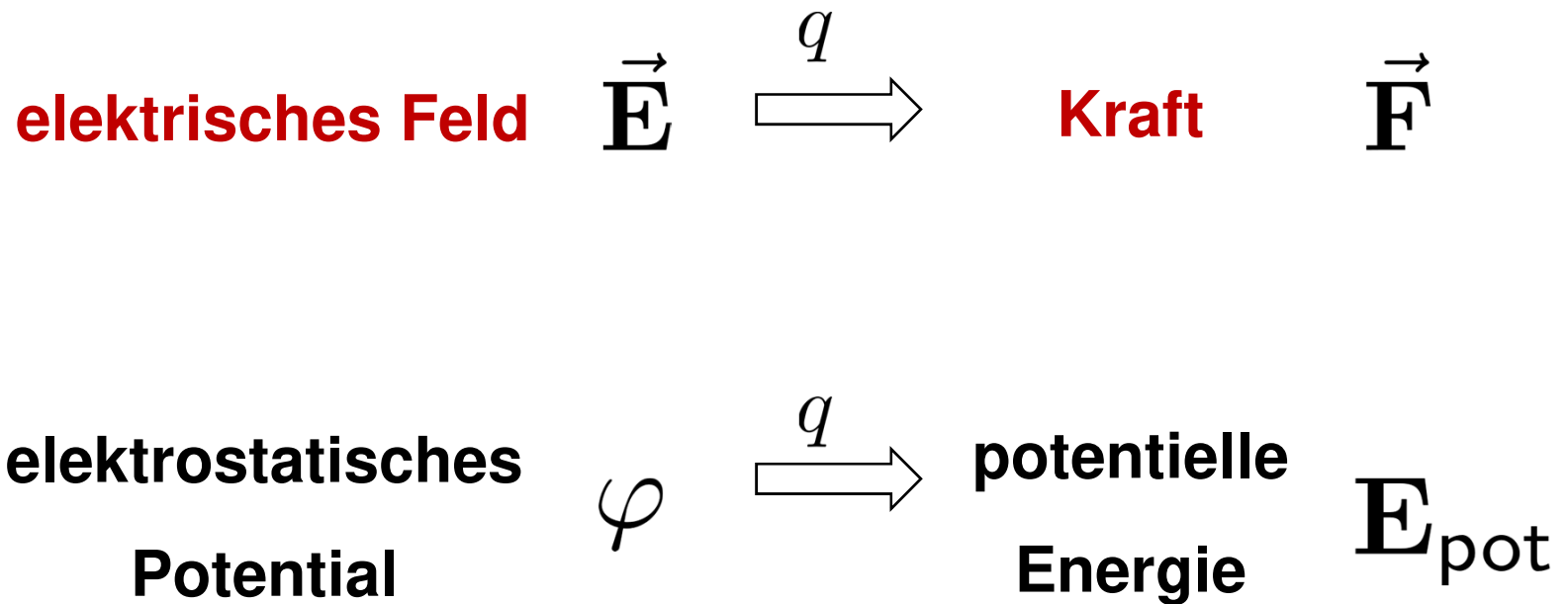
ist unabhängig davon, wie **Ladung** in diesem Volumen **verteilt** ist

Übersicht



Übersicht

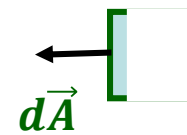
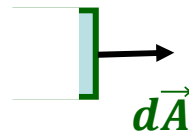
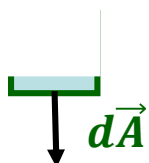
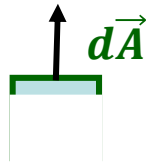
elektrische Ladung ρ



geladene Platte



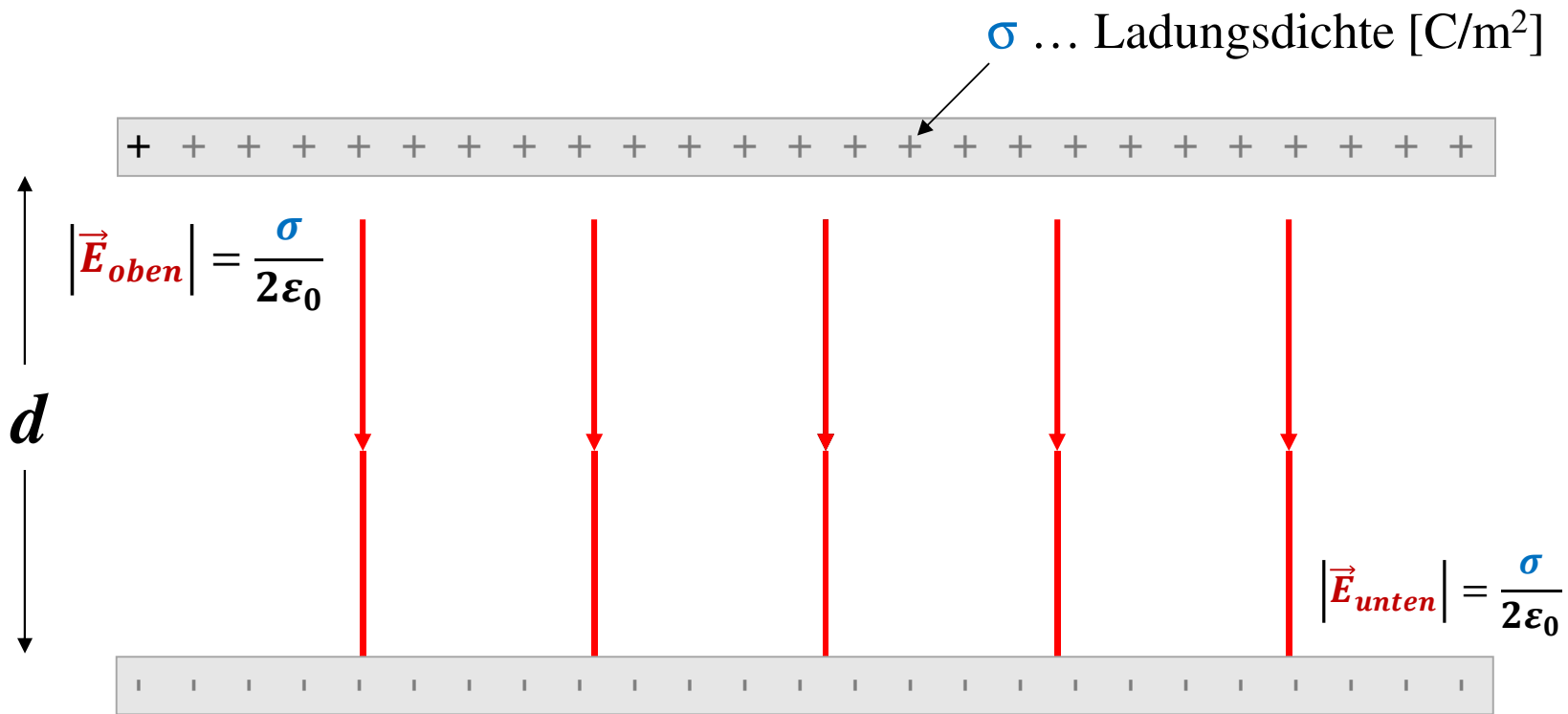
$$\iint_A \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{q}{\epsilon_0} \quad \leftarrow \text{eingeschlossene Ladung}$$



$$2 |\vec{E}| A = \frac{\sigma A}{\epsilon_0}$$

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

geladene Platte

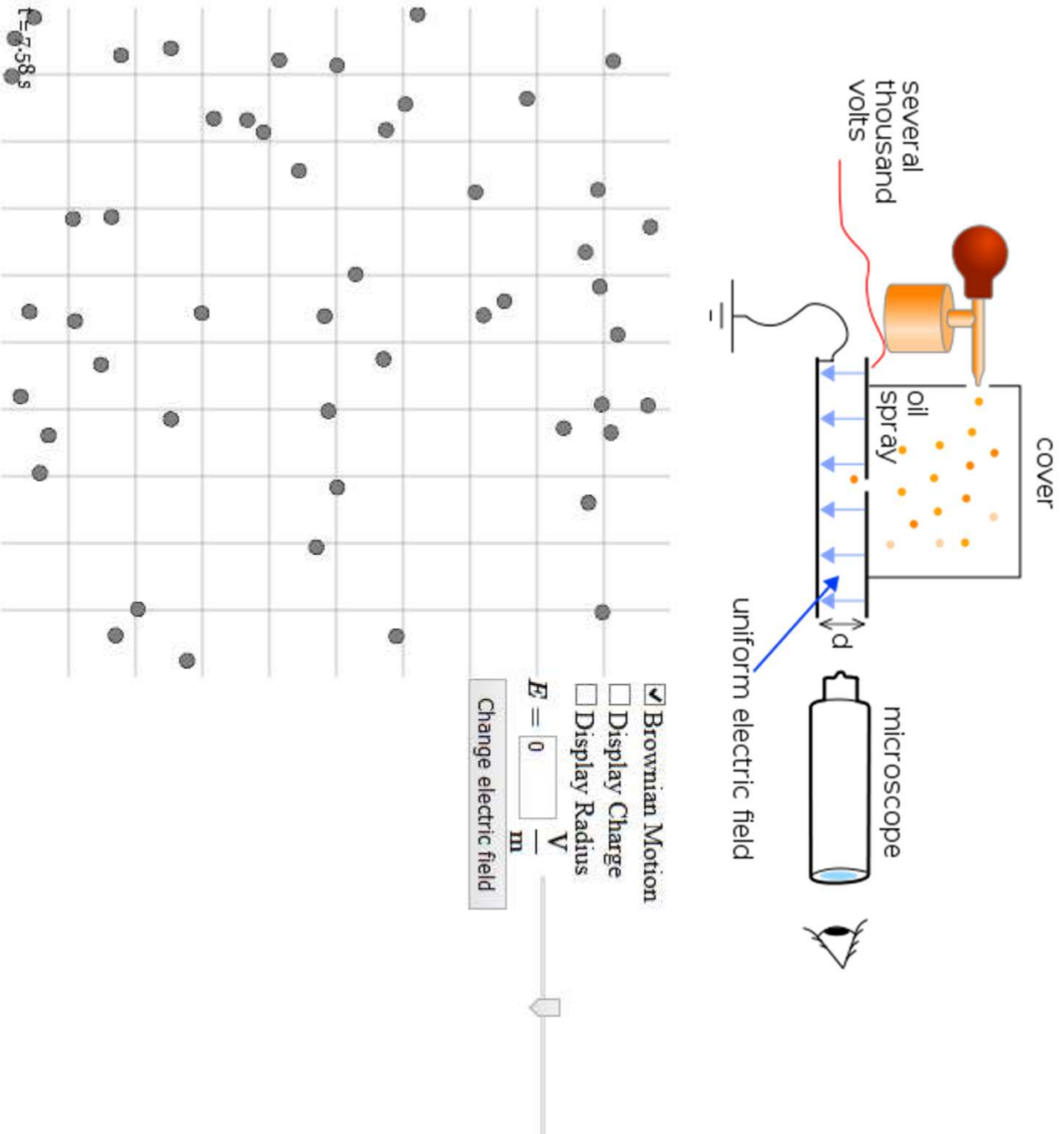


$$\vec{E} = \vec{E}_{oben} + \vec{E}_{unten} = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$$

$$V = - \int_{oben}^{unten} \vec{E} \cdot d\vec{x} \text{ [V]}$$

$$|E| = \frac{V}{d} \text{ [V/m]}$$

Millikan-Versuch



Millikan-Versuch

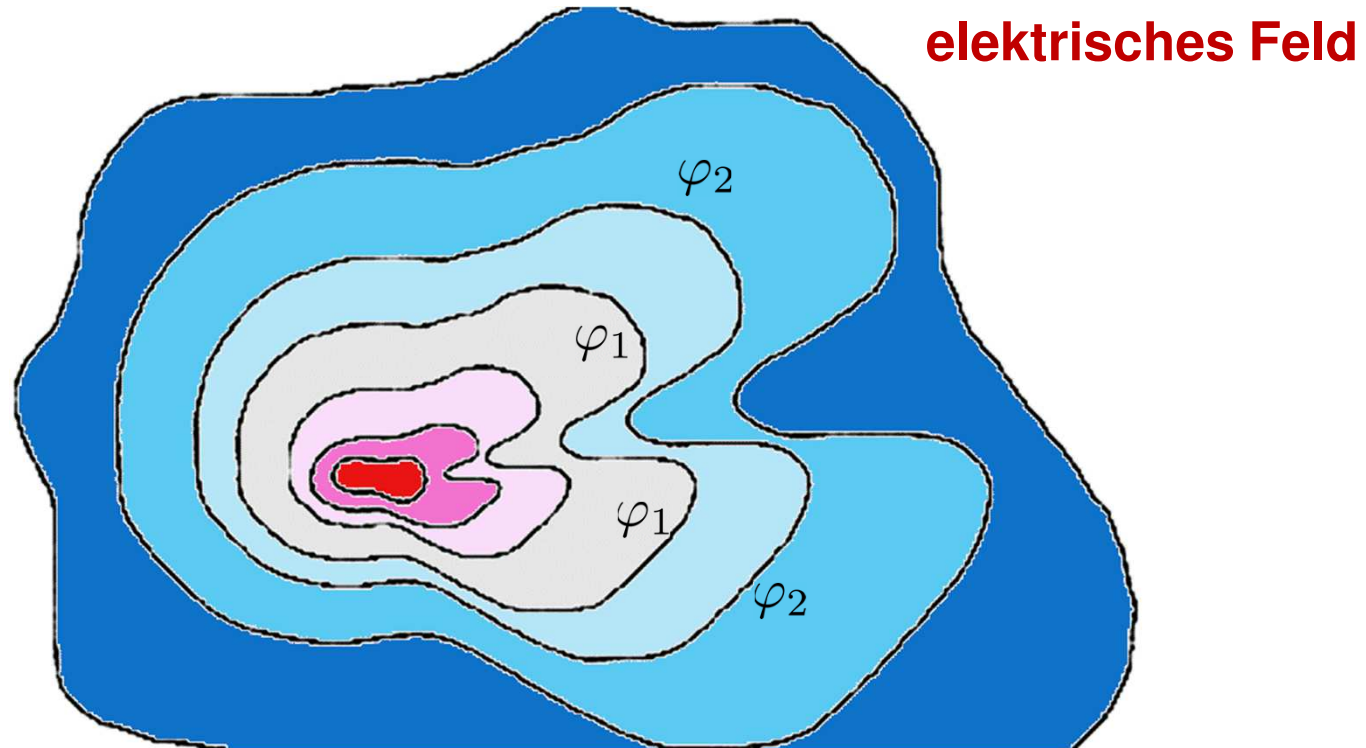
Ladung existiert nur in Vielfachen der
Elementarladung

$$e = 1,60217 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

z.B.:

Elektron: $q_e = -e$; Proton: $q_p = e$

Schätzen des elektrischen Feldes

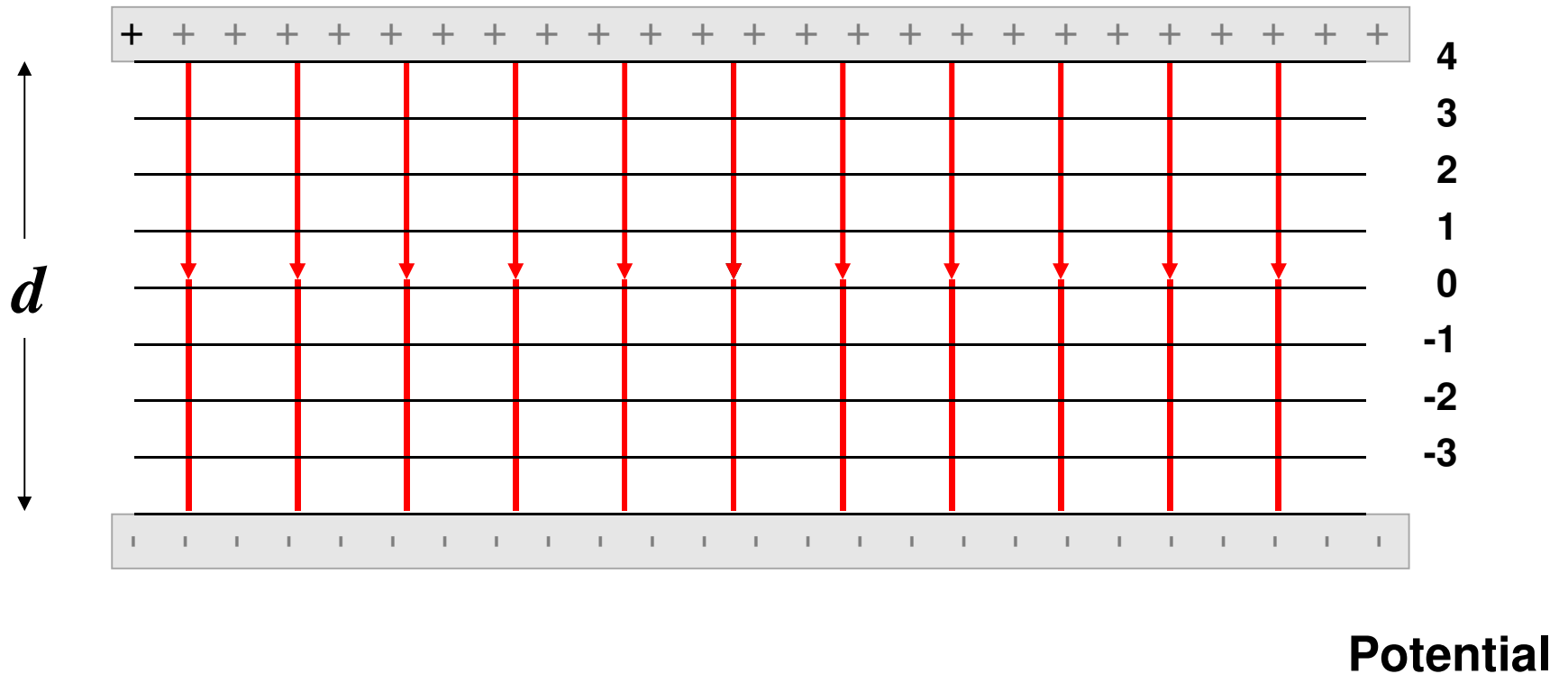


Potential

<http://lampx.tugraz.at/~hadley/physikm/apps/coulombE.de.php>

Schätzen des elektrischen Feldes

elektrisches Feld



Elektrostatisches Potential \rightarrow elektrisches Feld

Sei das elektrostatische Potential in einem gewissen räumlichen Bereich

$$\varphi = -3019x + 4579y - 7140z \text{ [V]},$$

wobei hier x , y und z in Metern gegeben seien. Welches elektrische Feld hat man in diesem Bereich?

$$\vec{E} = \text{[] } \hat{x} + \text{[] } \hat{y} + \text{[] } \hat{z} \text{ [V/m]} \quad \text{Lösung}$$

Problem 4

Sei das elektrostatische Potential in einem gewissen räumlichen Bereich

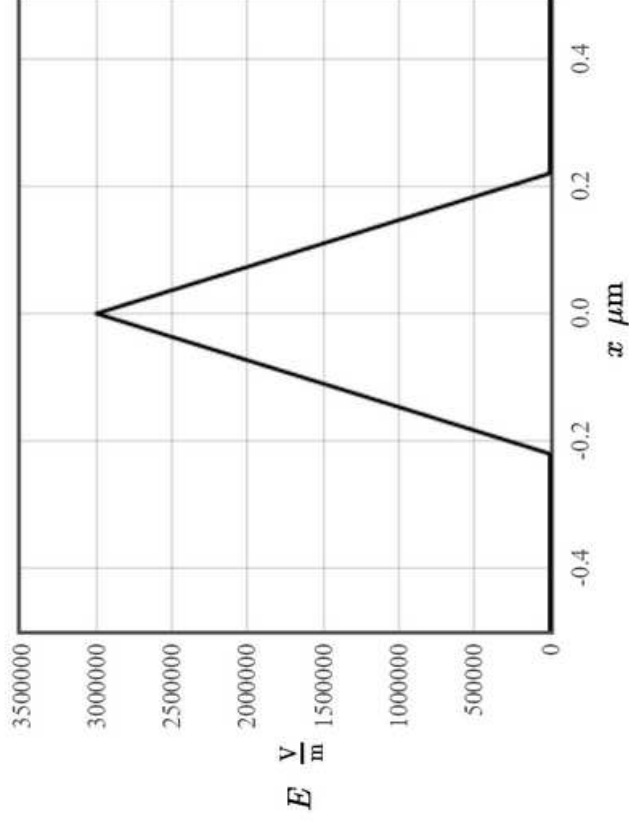
$$\varphi = 5581xyz \text{ V},$$

wobei hier x , y und z in Metern gegeben seien. Welches elektrische Feld hat man in diesem Bereich?

$$\vec{E} = \text{[] } \hat{x} + \text{[] } \hat{y} + \text{[] } \hat{z} \text{ [V/m]}$$

Problem 4

Ein elektrisches Feld in einer Solarzelle zeigt normal auf die Oberfläche der Solarzelle. Das elektrische Feld ist in der folgenden Grafik abgebildet.

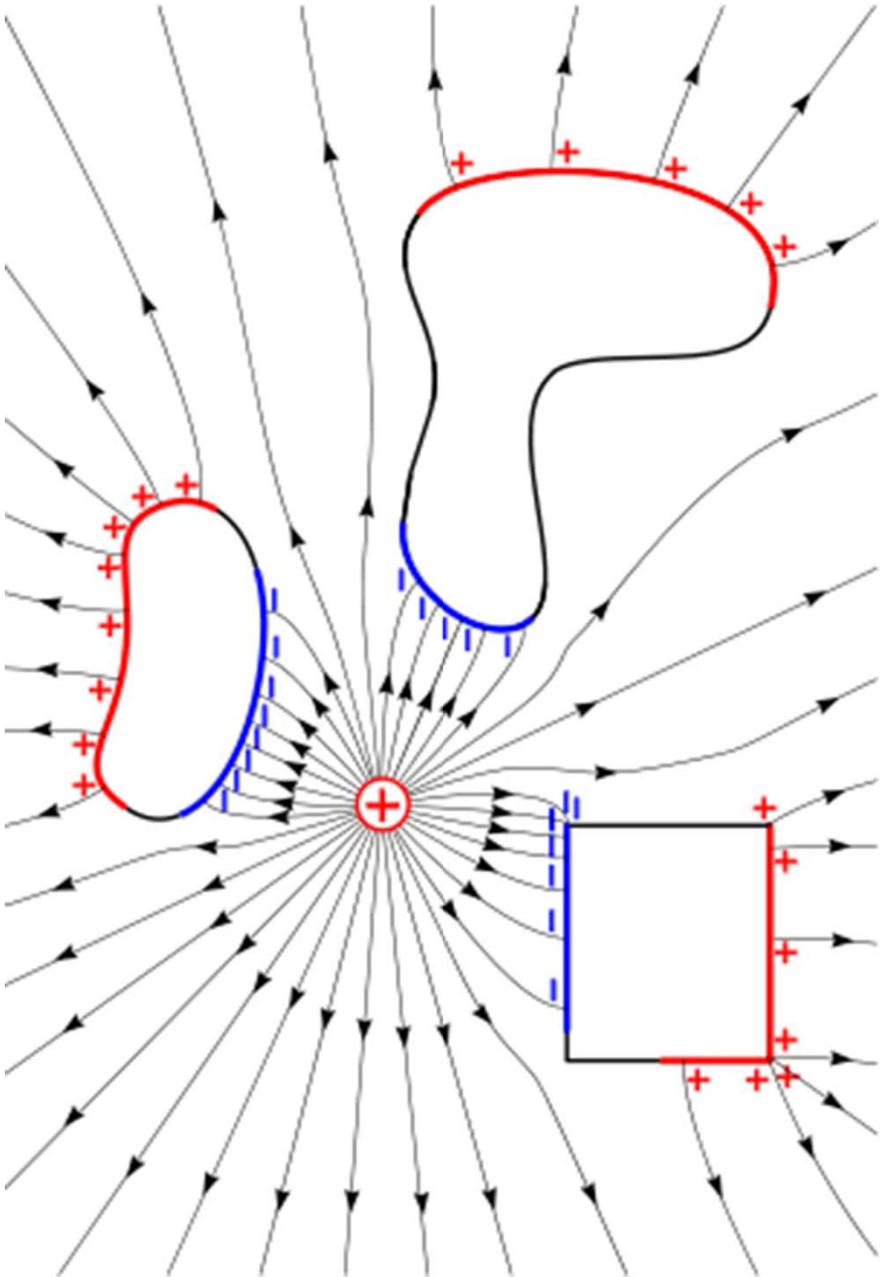


Zeichnen Sie die Ladungsdichte, welche zu dem elektrischen Feld gehört. Kennzeichnen Sie die Maximal- und Minimalwerte der Ladungsdichte.

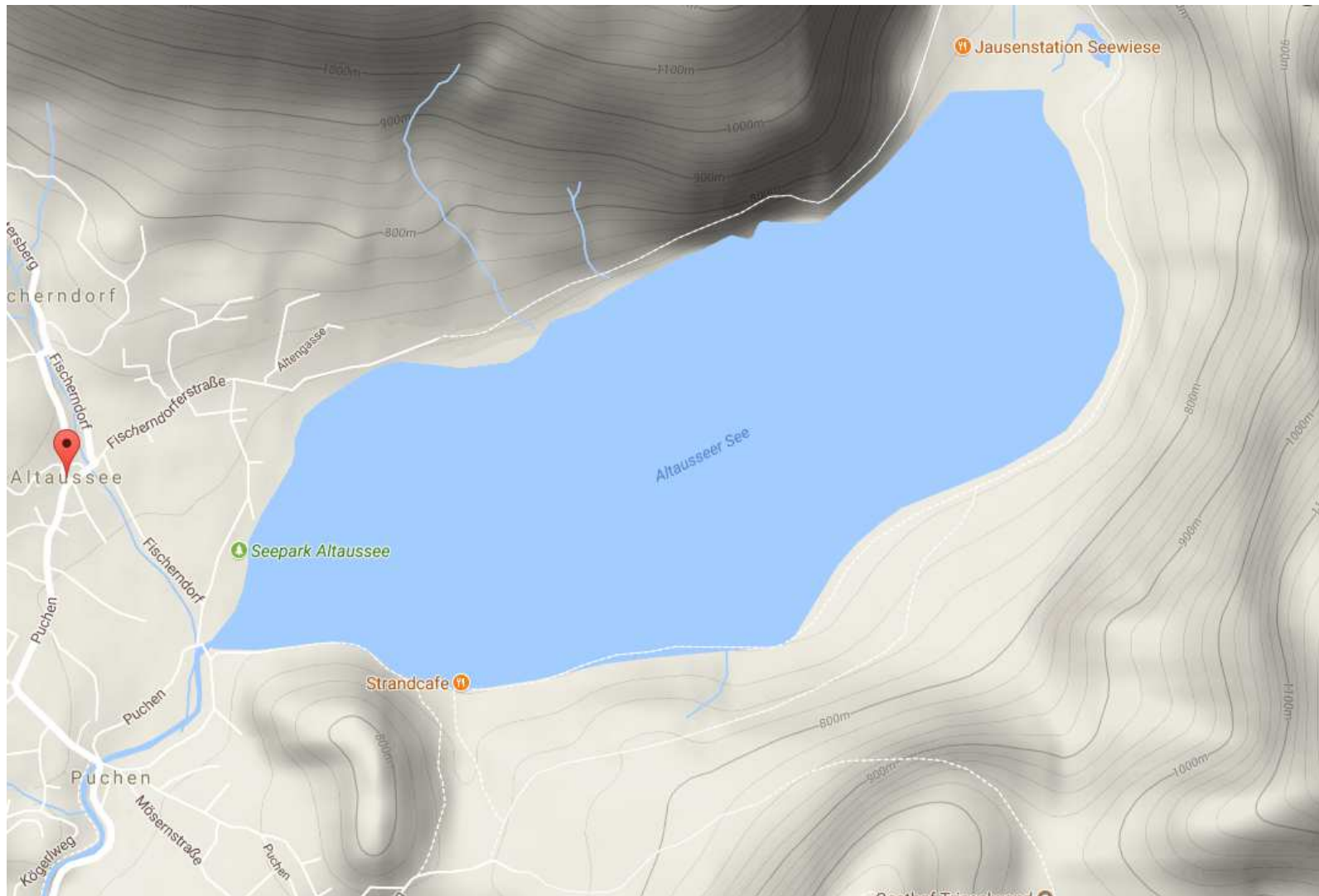
elektrische Ladungen in Materie

- **Materialien:** enthalten positive und negative **Ladungen**
Geladene Atomrümpfe (**Ionen**)
Elektronen
- **Ladung im makroskopischen System: Nettoladung**
 - negative Ladung: Elektronenüberschuss
 - positive Ladung: Elektronenmangel
- **Ladungsdichte:** hängt stark vom Material ab!

elektrische Leiter: Influenz



Influenz

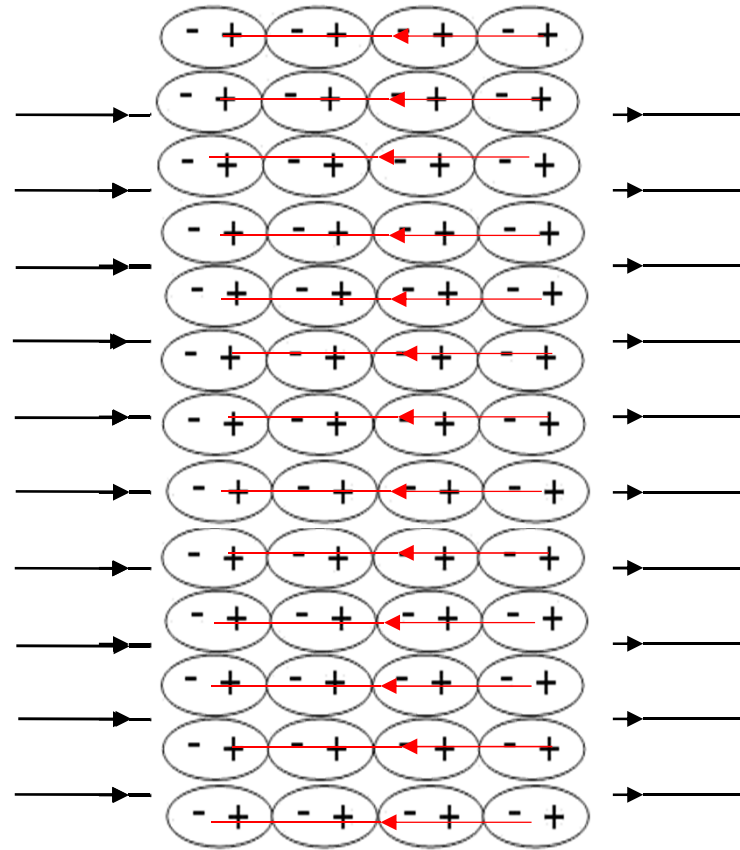


Faradayscher Käfig



Dielektrikum

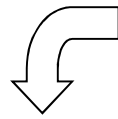
$$\epsilon_r = \frac{E_{vacuum}}{E_{dielekt}} \leftarrow \text{relative Dielektrizitätszahl}$$



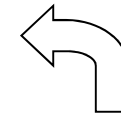
Nichtleiter (Isolator)

Polarisierung im Isolator schwächt elektrisches Feld ab

Elektrostatik

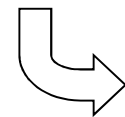


ρ

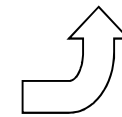


$$\vec{E}(\vec{r}) = \frac{1}{4\pi\epsilon_r\epsilon_0} \int \frac{\rho(\vec{r}')}{|\vec{r} - \vec{r}'|^3} (\vec{r} - \vec{r}') d^3r'$$

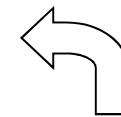
$$\nabla \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_r\epsilon_0}$$



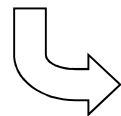
\vec{E}



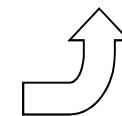
$$\phi = - \int \vec{E} \cdot d\vec{r} + \phi_0$$



$$\vec{E} = -\nabla\phi$$



ϕ

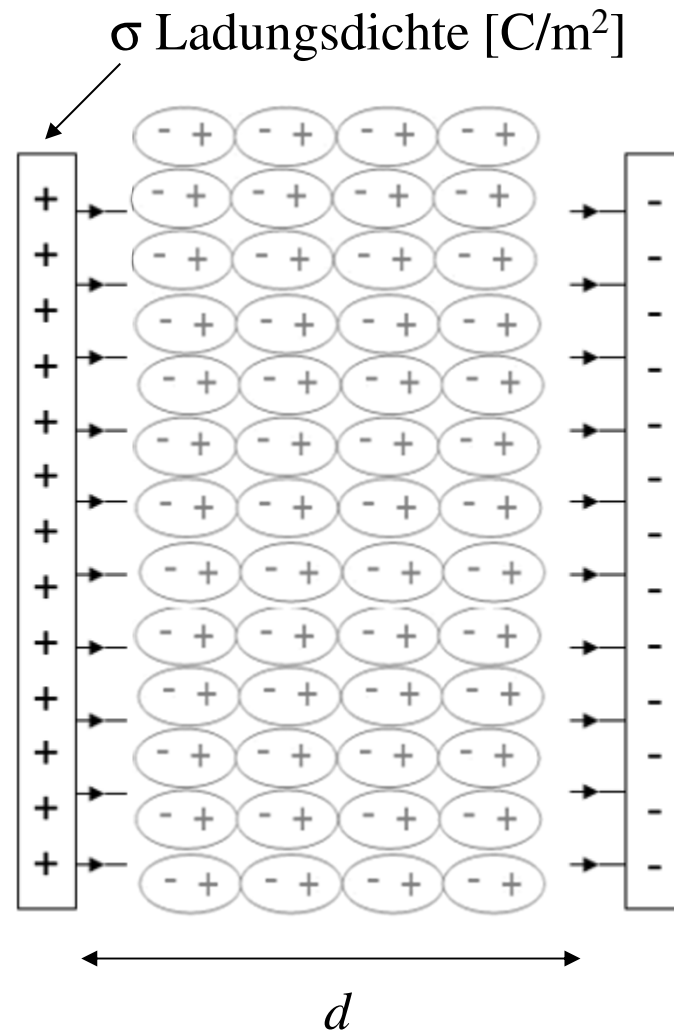


Kondensator

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_r \epsilon_0} \quad [\text{V/m}]$$

$$V = -\int \vec{E} \cdot d\vec{x} \quad [\text{V}]$$

$$|E| = \frac{|V|}{d} \quad [\text{V/m}]$$



$$\frac{\sigma}{\epsilon_r \epsilon_0} = \frac{V}{d} \quad [\text{V/m}]$$

$$Q = \frac{\epsilon_r \epsilon_0 A}{d} V$$

$$Q = CV$$

Kapazität

E-Bus



Das sind E-Busse einer neuen Generation. Hauptenergiespeicher sind Kondensatoren, sogenannte ‚Supercaps‘. Die schnelle Ladung ist einer der großen Vorteile, so werden die Energiereserven an den Endhaltestellen innerhalb von zwei Minuten geladen. Weiters gibt es die Möglichkeit des ‚Ultra Fast Charging‘ an den Zwischenhaltestellen. Dort ist ein Aufladen innerhalb von 30 Sekunden möglich.

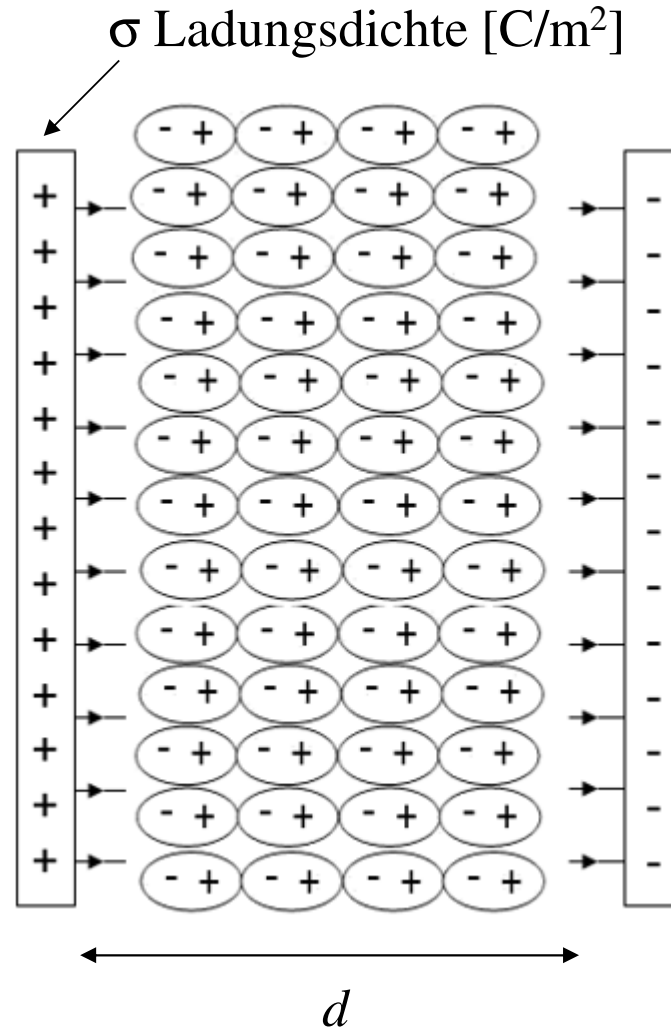
<https://www.meinbezirk.at/graz/lokales/der-erste-e-bus-fuer-graz-rollt-an-d1875525.html>

Energie

$$E = \frac{q}{\epsilon_r \epsilon_0 A}$$

$$dW = dqEd = \frac{qd}{\epsilon_r \epsilon_0 A} dq$$

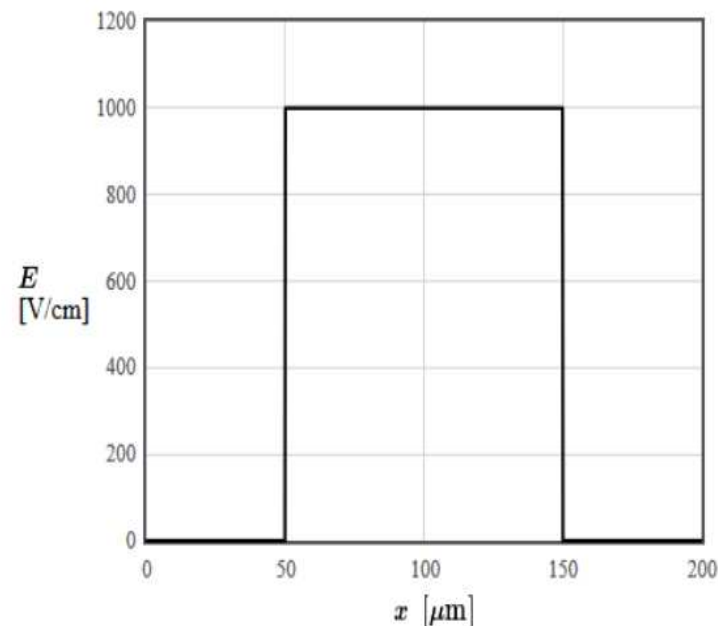
$$W = \int_0^Q dqEd = \frac{Q^2 d}{2\epsilon_r \epsilon_0 A} = \frac{Q^2}{2C}$$



Pruefung 29.06.2017

Problem 4

Ein Kondensator besteht aus zwei Kupferplatten, die durch eine 100 μm dicke SiO_2 -Dielektrikumsschicht getrennt sind. Das elektrische Feld im Kondensator ist zwischen den Metallelektroden konstant. Das elektrische Feld ist in der folgenden Grafik abgebildet.



Zeichnen Sie das zu dem elektrischen Feld gehörende elektrostatische Potential. Kennzeichnen Sie die Maximal- und Minimalwerte des elektrostatischen Potentials.

Problem 3

Ein Proton befindet sich in einem elektrischen Feld,

$$\vec{E} = 7x \hat{x} + 4y \hat{y} + 9x \hat{z} \text{ [V/m]}.$$

Wie groß ist die Differenz im elektrostatischen Potential zwischen $\vec{r}_0 = 0$ und $\vec{r}_1 = 0.2 \hat{x} \text{ m}$?

$$\varphi(\vec{r}_1) - \varphi(\vec{r}_0) = \boxed{} \text{ [V]}$$

Wie viel Arbeit wird benötigt um das Proton von $\vec{r}_0 = 0$ nach $\vec{r}_1 = 0.2 \hat{x} \text{ m}$ zu verschieben?

$$W = \boxed{} \text{ [J]}$$