



# Elektrotechnik 1

## Übung 1 – Elektostatik, Kondensatoren



Bitte Mikrofon stummschalten



Wenn ihr eine Frage habt,  
Chat oder «Unmute»

## Zoom – online Übungsstunde

# Wer bin ich?

- Lars Horvath
- Studiere Elektrotechnik am D-ITET im 8. Semester
- ET1 Assistenz im FS19, NUS Assistenzen, ET1 PVK
  
- Unterlagen: <https://n.ethz.ch/~lhorvath/>
- Email: [lhorvath@student.ethz.ch](mailto:lhorvath@student.ethz.ch)

# Ablauf Übungsstunde

Erste Stunde:

- Kurze Theorie "aus Studenten-Sicht erklärt"
- Eigene Beispiele oder Beispiele aus der Serie
- Tipps

Zweite Stunde:

- Serien lösen

**Wichtig!** keine ausführliche Nachbesprechung, ausser dies wird gewünscht

(Bitte rechtzeitig per Mail bei mir melden!)

# Fahrplan heute

## Theorie:

- E-Feld zeichnen
- Potential vs. Spannung
- Kondensatoren
- Ohm'sches Gesetz

## Beispiele

# Theorie – elektrisches Feld

E-Feld:

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

- Jede Ladung erzeugt ein elektrisches Feld – von plus zu minus
- Feldlinien zeichnen:
  1. Innerhalb eines elektr. Leitfähigen Körpers keine Feldlinien
  2. Feldlinien stehen immer senkrecht auf leitfähigem Körper
  3. Feldlinien schneiden sich nie!
  4. Je stärker das Feld, desto mehr Feldlinien sind vorhanden
  5. Liegen die Ladungen innerhalb der Metallhülle, ist das Feld aussen nur von der Gesamtladung abhängig, nicht von der Verteilung
- Äquipotentialflächen = Flächen mit gleichem Potential

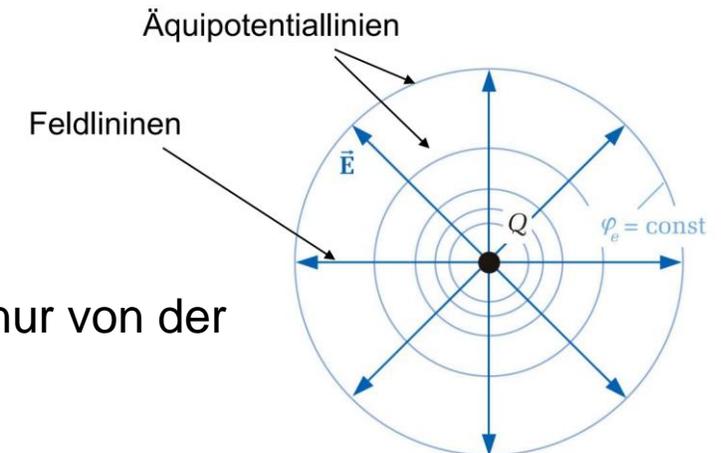


Abbildung 1.13: Feldbild einer Punktladung

# Theorie: Coulomb'sches Gesetz

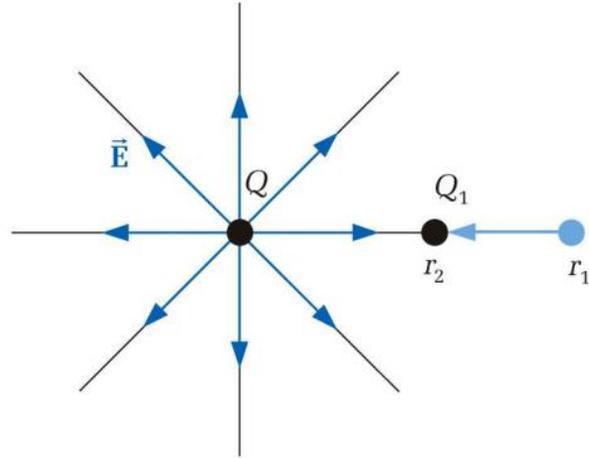


Abbildung 1.12: Verschiebung einer Punktladung im Feld einer zweiten Punktladung

Kraft

$$F_c = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$$

Energie

$$E_{pot} = \int \vec{F} \, d\vec{S}$$

# Theorie: elektrisches Potential

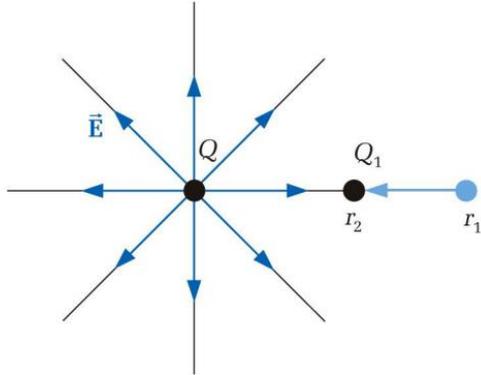


Abbildung 1.12: Verschiebung einer Punktladung im Feld einer zweiten Punktladung

E-Feld einer Punktladung:

$$\mathbf{E} = \frac{Q}{4\pi r^2 \epsilon_0 \epsilon_r} \quad [E] = \frac{V}{m}$$

Kraft

$$F_c = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$$

Energie

$$E_{pot} = \int \vec{F} d\vec{S}$$

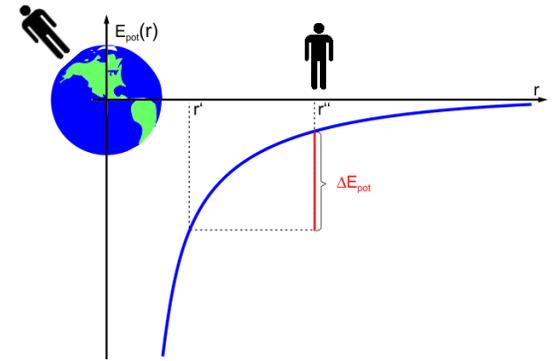
Potential

$$\phi(r) = \frac{E_{pot}}{Q} = - \int_{\infty}^r \vec{E} d\vec{s}$$

Spannung

$$U = \phi(r_1) - \phi(r_2)$$

Vgl. Gravitationspotential



$$F_G = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

$$E_{pot} = mgh$$

# Theorie: Kapazität

## Definition Kapazität:

$$C = \frac{Q}{U}$$

Kapazität entspricht Fähigkeit Ladung aufzunehmen.

Einheit:

$$[C] = \frac{C}{V} = F \quad (\text{Farad})$$

## Allg. Vorgehensweise:

Ladung

$$Q = \oiint_A \vec{D} \, d\vec{A} = \oiint_A \sigma \, dA = \sigma A$$

Spannung

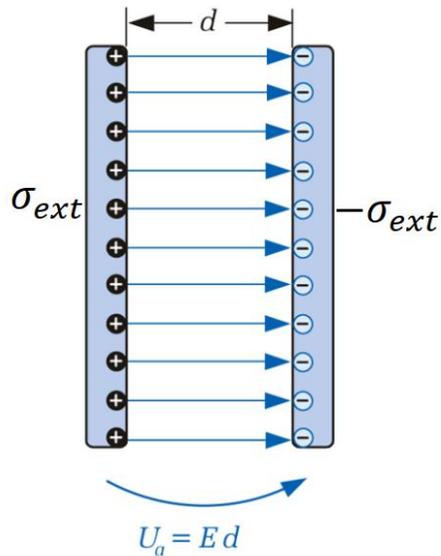
$$U = \int_s \vec{E} \, d\vec{s} = E d$$

Verschieden sind jeweils:

- Fläche  $A$
- Ladungsdichte  $\sigma = \frac{Q}{A}$
- E-Feld  $E = \frac{Q}{A \varepsilon_0 \varepsilon_r}$

# Theorie: Beispiel Plattenkondensator

## Plattenkondensator



Ladung

$$Q = \oiint_A \vec{D} \, d\vec{A} = \oiint_A \sigma \, dA = \sigma A$$

Spannung

$$U = E d = \frac{\sigma}{\epsilon_0 \epsilon_r} d = \frac{Q}{\epsilon_0 \epsilon_r A} d$$

→ Kapazität:

$$C = \frac{Q}{U} = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r A}{d}$$

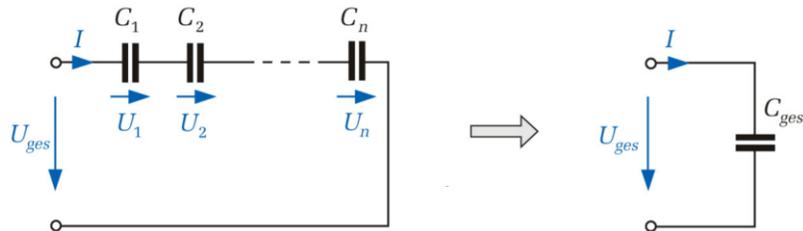


An Prüfung zB. mit Zylinderkondensator, Kugelkondensator

# Theorie: Serien- und Parallelschaltung bei Kondensatoren

## Serienschaltung

$$\frac{1}{C_{ges}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}$$



- Ladung an jedem Kondensator gleich
- Spannung verteilt sich über alle Kondensatoren  
→ Grösserer Gesamtabstand

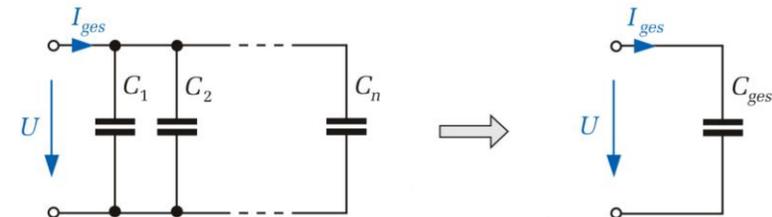
Spezialfall 2 Kondensatoren:

$$C_{ges} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$$

$$C_{ges}^{-1} = \sum C_i^{-1}$$

## Parallelschaltung

$$C_{ges} = C_1 + C_2 + \dots + C_n$$



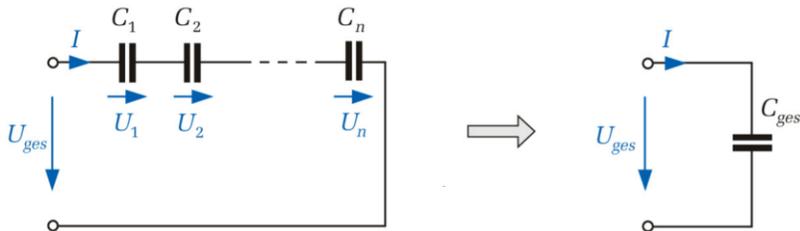
- Spannung ist gleich über jeden Kondensator
- Ladung verteilt sich über alle Kondensatoren  
→ Grössere Gesamtfläche

$$C_{ges} = \sum C_i$$

# Theorie: Serien- und Parallelschaltung bei Kondensatoren

## Serienschaltung

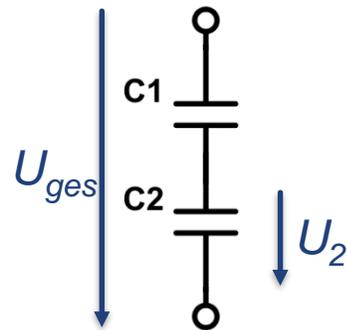
$$\frac{1}{C_{ges}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}$$



$$C_{ges}^{-1} = \sum C_i^{-1}$$

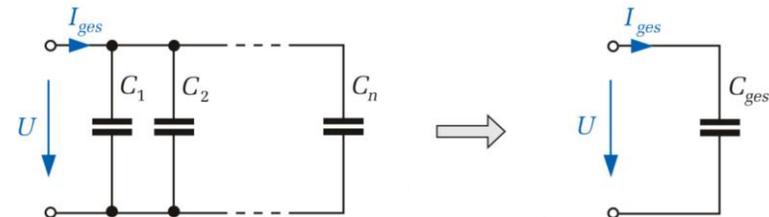
## Spannungsteiler:

$$U_2 = U_{ges} \frac{C_1}{C_1 + C_2}$$



## Parallelschaltung

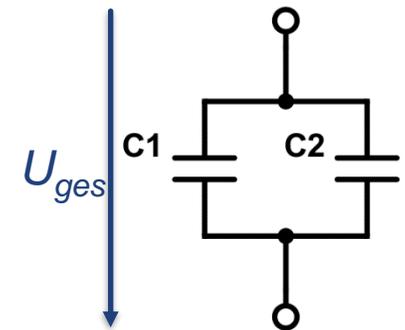
$$C_{ges} = C_1 + C_2 + \dots + C_n$$



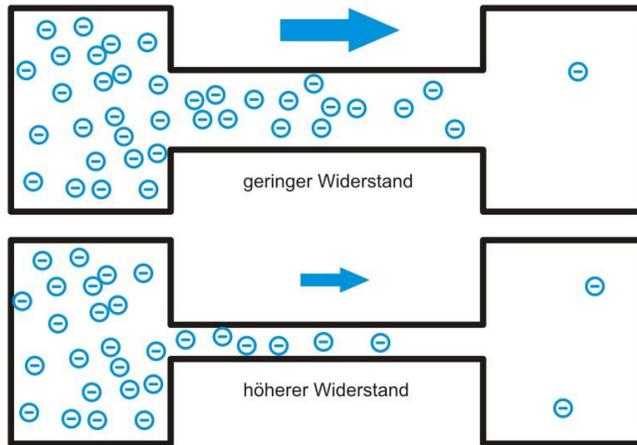
$$C_{ges} = \sum C_i$$

## Ladungsteiler:

$$Q_2 = Q_{ges} \frac{C_2}{C_1 + C_2}$$



# Theorie: Ohmsches Gesetz



**Widerstand** Gibt an, wie frei sich die Ladungsträger bewegen können. Ein höherer Widerstand führt zu einem reduzierten Strom.

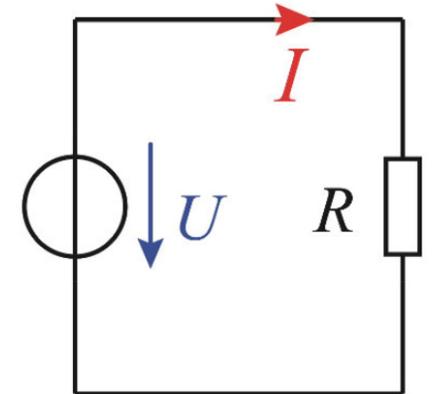
**Ohm'scher Widerstand**

$$[R] = \Omega$$

Ein Bauteil, welches immer den selben Widerstand hat, unabhängig vom Strom, welcher durch ihn hindurch fließt.

Es gilt das Ohm'sche Gesetz:

$$U = R \cdot I$$



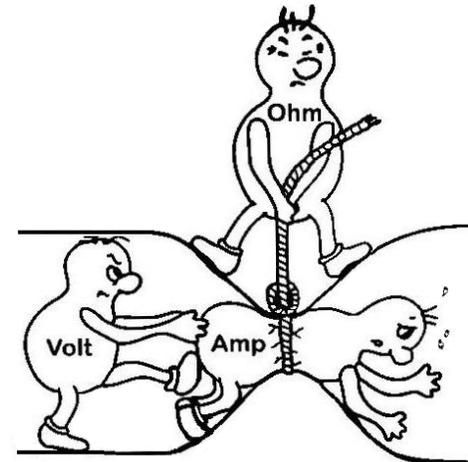
Schaltsymbol:



Weitere Definitionen:

Leitwert:

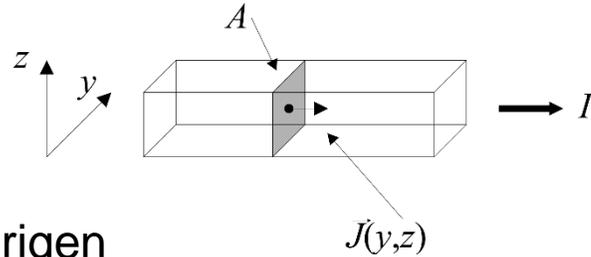
$$G = 1/R$$



# Theorie: elektrisches Strömungsfeld

Strom (allg.)

$$I = \int_A \vec{J} d\vec{A}$$



Wobei  $d\vec{A}$  senkrecht auf dem zugehörigen Flächenelement steht.

Wenn Stromdichte gleichmäßig über die Querschnittsfläche verteilt ist (meistens, bei Gleichstrom), dann

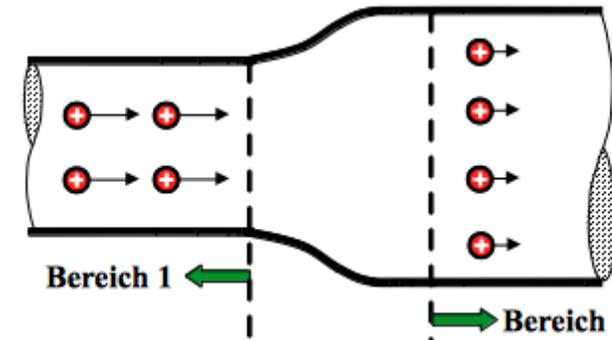
$$I = \vec{J} * \vec{A} = J * A$$

Skalarprodukt vereinfacht sich, da Fläche senkrecht durchflossen (meistens)

Stromdichte

$$J = \frac{I}{A}$$

Gleiche Anzahl Ladungen = konst. Strom



kleiner Querschnitt

großer Querschnitt

Grosse Stromdichte

kleine Stromdichte

# Beispiel: Feldlinien

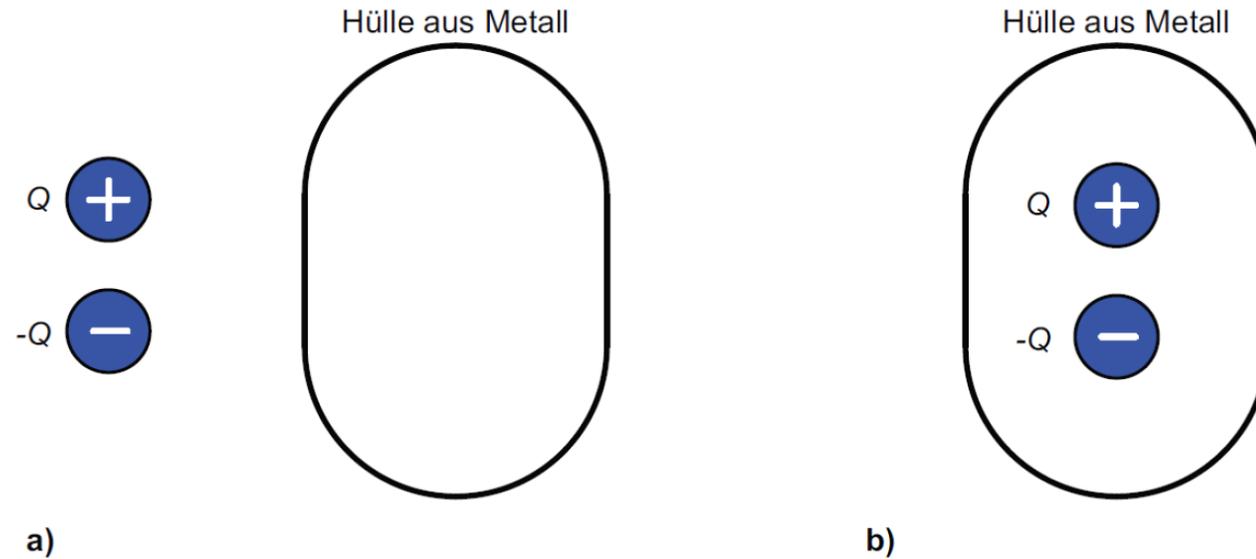


Abbildung 2 Punktladungen ausserhalb (a) und innerhalb (b) einer ungeladenen Metallhülle (idealer Leiter)

# Beispiel: Feldberechnung

## 4. Feldberechnung

- (a) Betrachten Sie eine Metallkugel mit Radius  $a$ , die mit einer Ladung  $Q$  geladen ist im Vakuum. Bestimmen Sie das elektrische Feld  $\vec{\mathbf{E}}(\vec{\mathbf{r}})$  um die Kugel. *Hinweis:* Benutzen sie Kugelkoordinaten und nutzen Sie die Symmetrie der Situation aus.
- (b) Berechnen Sie das Potential  $\varphi$  der Kugel.
- (c) Berechnen Sie die Feldstärke an der Oberfläche der Kugel  $E_{\text{Oberfläche}} = |\vec{\mathbf{E}}(|\vec{\mathbf{r}}| = a)|$ .

# Beispiel: Kugelkondensator

## 1. Kondensatorberechnung

- (a) In der Vorlesung haben wir das Beispiel eines Zylinderkondensators angeschaut. In dieser Übung betrachten wir einen Kugelkondensator wie in Abbildung 1 gezeigt. Die innere Kugel mit Radius  $a$  sei mit einer Ladung  $Q$  auf der Oberfläche geladen, die äussere Hohlkugel mit Radius  $b$  mit  $-Q$ . Zwischen den Kugeln befindet sich Vakuum. Berechnen Sie das elektrische Feld  $\vec{E}(\vec{r})$  für diese Anordnung ausgehend von der Ladung  $Q$ . Benutzen Sie ein sphärisches Koordinatensystem.
- (b) Berechnen Sie nun die Spannung  $U_{ab}$  aus dem elektrischen Feld.
- (c) Was ist die Kapazität  $C$  des Kugelkondensators?

## Tipps Serie 2

1. Siehe Beispiel
2. Wende Formeln für Serie und Parallelschaltung von Kondensatoren an
3. Formeln einsetzen,  $U = R \cdot I$ ,  $P = U \cdot I$
4.  $U = E \cdot d$

### Innerhalb eines Leiters:

$$\vec{E} = \rho_R \vec{J} \quad \text{oder} \quad \vec{J} = \kappa \vec{E}$$

Spez. Widerstand  $\rho_R = 1/\kappa$       Spez. Leitfähigkeit  $\kappa = ne\mu$

