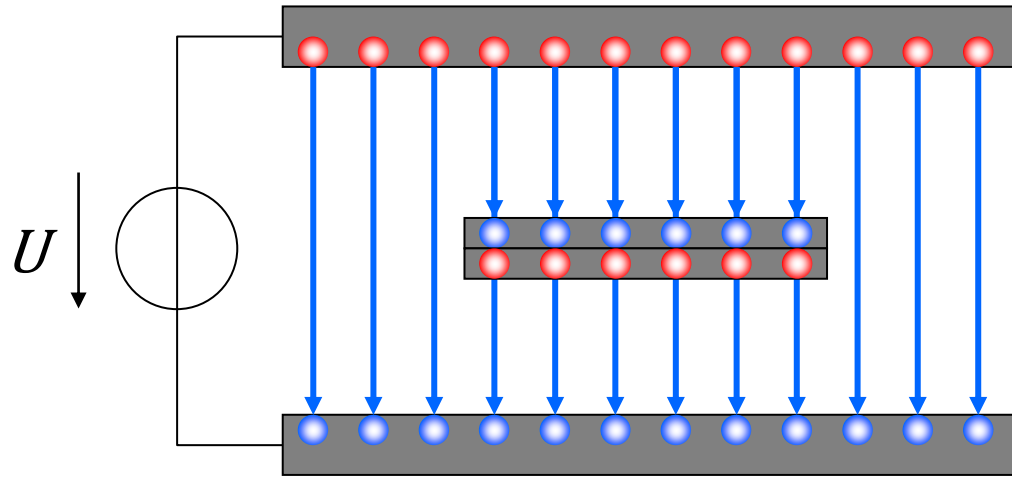


FLUSSDICHTE



Die Flussdichte ist eine Feldeigenschaft.

$\Rightarrow D = \frac{Q}{A}$ gilt auch ohne eingebrachte Metallplatten !

GRUNDLAGEN DER ELEKTROTECHNIK 1 - ET1

Teil 08

Elektrisches Feld und Kondensator

CLASSROOM INVERTED

5 ELEKTRISCHES FELD

5.1 Homogenes Feld

5.2 Inhomogenes Feld

5.3 Influenz

5.4 Permittivität

~~5.5 Punktladungen~~

5.6 Kondensator



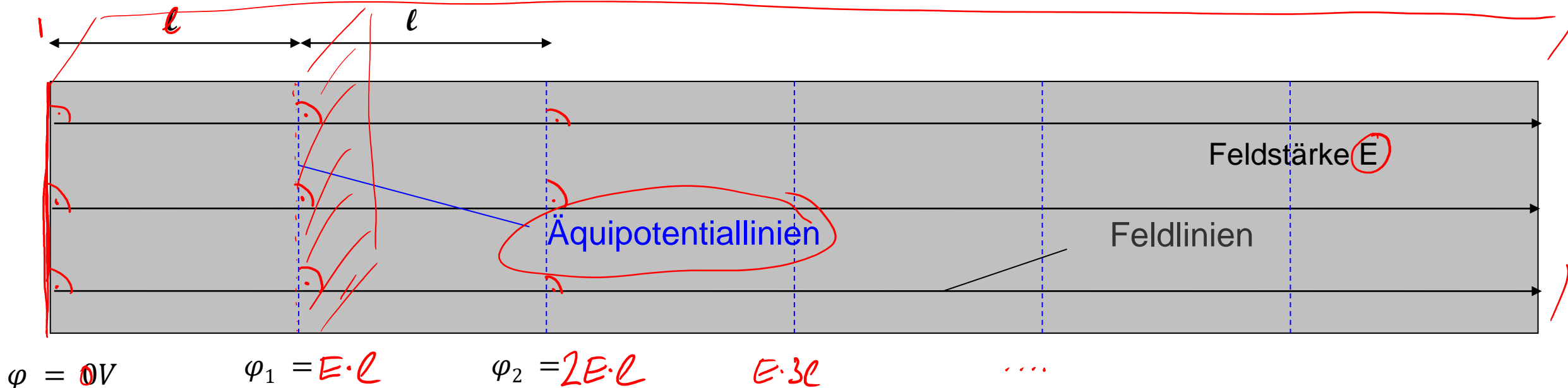
FELDLINIEN UND ÄQUIPOTENTIALLINIEN

$$\phi = E \cdot \ell$$

Frage: Was sind Äquipotentialflächen?

Fläche gleichen Potentials

- bei zweidimensionaler Darstellung \rightarrow Äquipotentiallinien
- schneiden sich immer im rechten Winkel mit Feldlinien



5 ELEKTRISCHES FELD

5.1 Homogenes Feld

5.2 Inhomogenes Feld

5.3 Influenz

5.4 Permittivität

5.5 Punktladungen

5.6 Kondensator

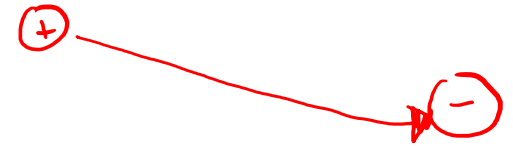


INHOMOGENES FELD

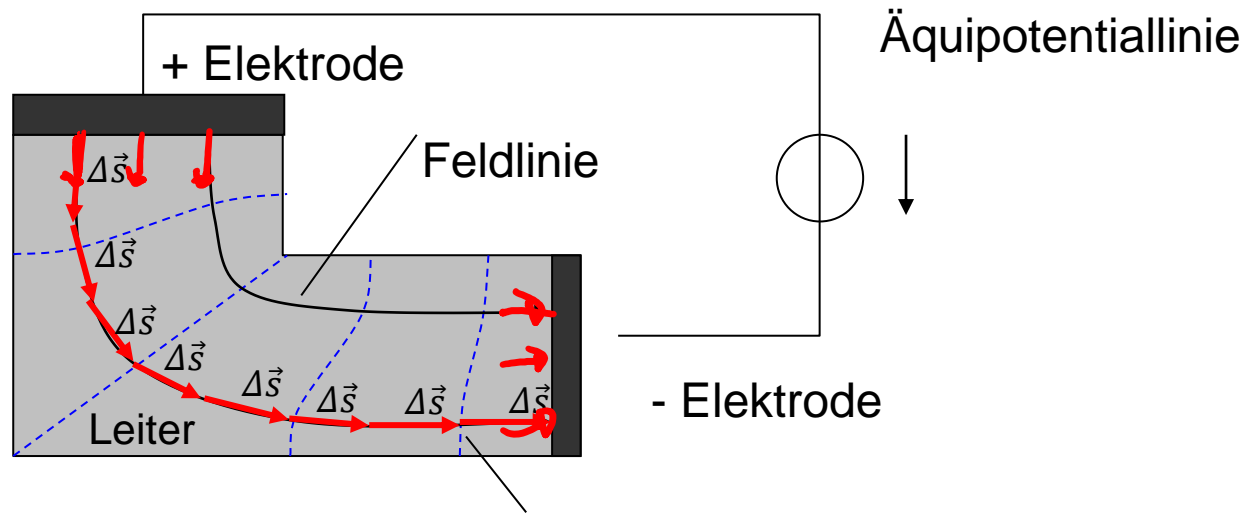
Inhomogen \Leftrightarrow Feldstärke ist nicht an jedem Ort gleich

Allgemeine Eigenschaften von Feldlinien:

- Feldlinien beginnen bei positiven Ladungen und enden auf negativen Ladungen
- Feldlinien stehen senkrecht auf sehr gut leitenden Flächen
- Feldlinien schneiden sich nicht



SPANNUNGSBERECHNUNG IM INHOMOGENEN FELD



Bei Vektoren heisst der Punkt
"Skalarprodukt" sonst "normales"
Produkt

1. Zerlegung eines „Weges“ in gerade Teilstücke $\Delta\vec{s}$

homogen
 $U = E \cdot l$

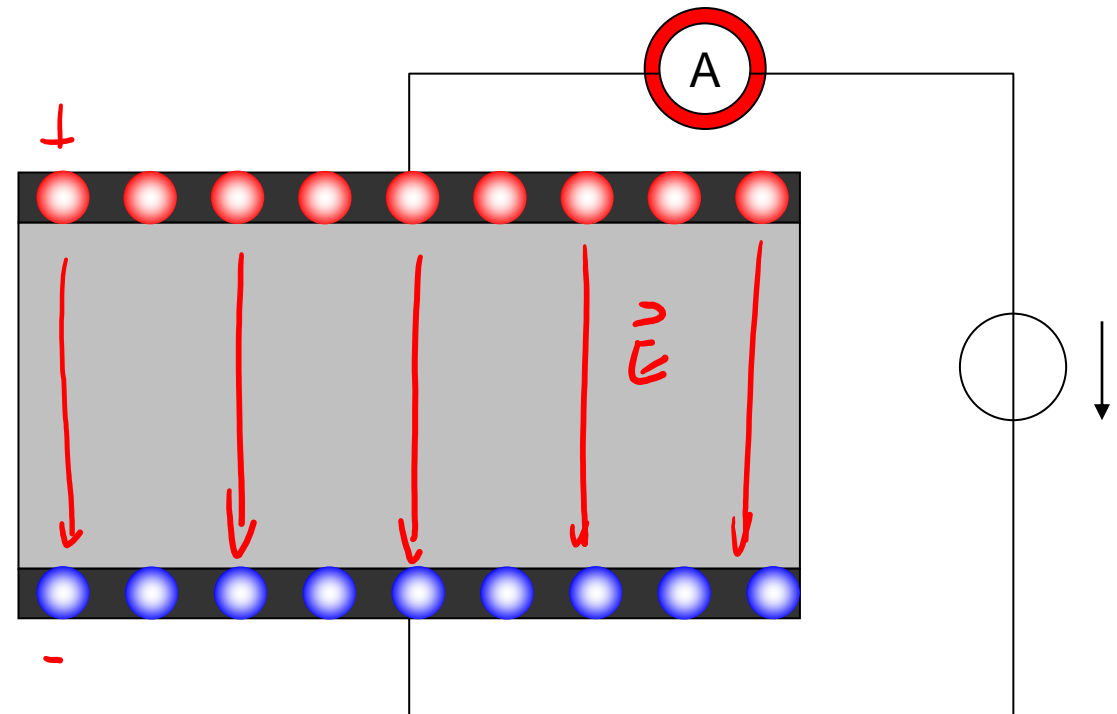
2. Bei $E \cdot s$ wirkt nur die Feldstärke in Richtung des Weges $\Delta\vec{s}$

$$\Rightarrow \vec{E} \cdot \overrightarrow{\Delta s} = E \cdot \Delta s \cdot \cos\angle(\vec{E}, \overrightarrow{\Delta s})$$

$$\Rightarrow U_{12} = \underbrace{E_1 \Delta s_1} + \underbrace{E_2 \Delta s_2}_{\text{klein}} + \dots \Rightarrow U_{12} = \int_1^2 \vec{E} \cdot d\vec{s}$$

MATERIE IM FELD

Was passiert wenn ein Isolator zwischen zwei geladene Platten gebracht wird?



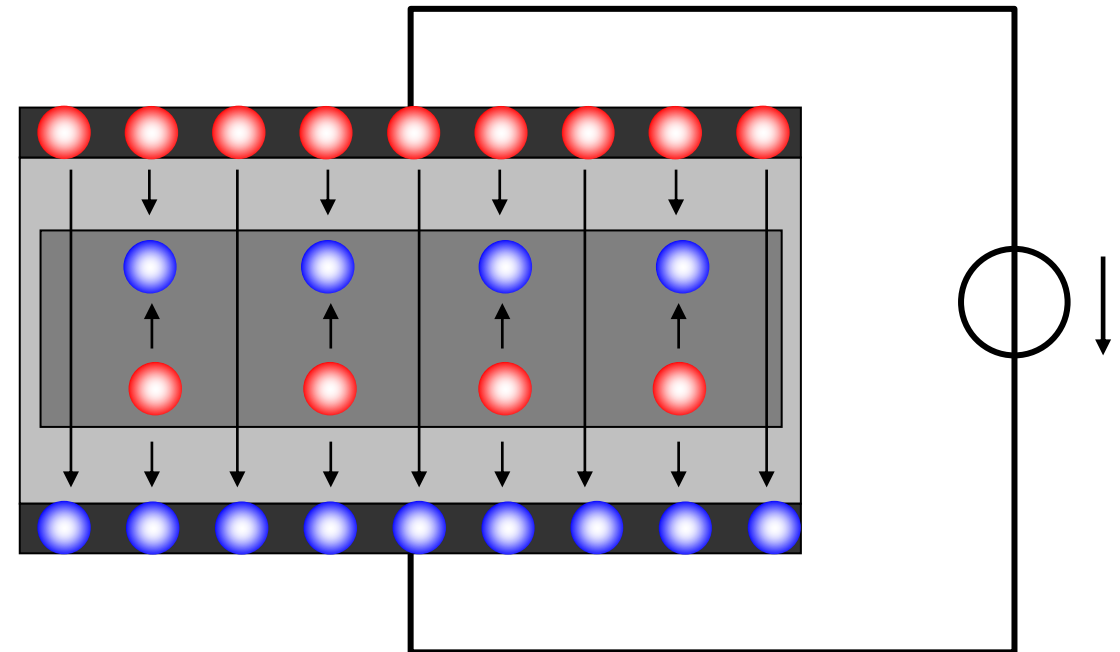
MATERIE IM FELD $\Rightarrow Q \uparrow$

- Spannung U bleibt konstant
- Aus $E = U / d$ folgt dass die Feldstärke unverändert bleibt
- Mit $\epsilon_r > 1$ folgt aus $D = \epsilon_r \epsilon_0 E$ dass die Flussdichte steigt
- Aus $D = Q / A$ folgt dass die Ladung steigt

→ Grund hierfür: Moleküle polarisiert

Typische Werte für ϵ_r :

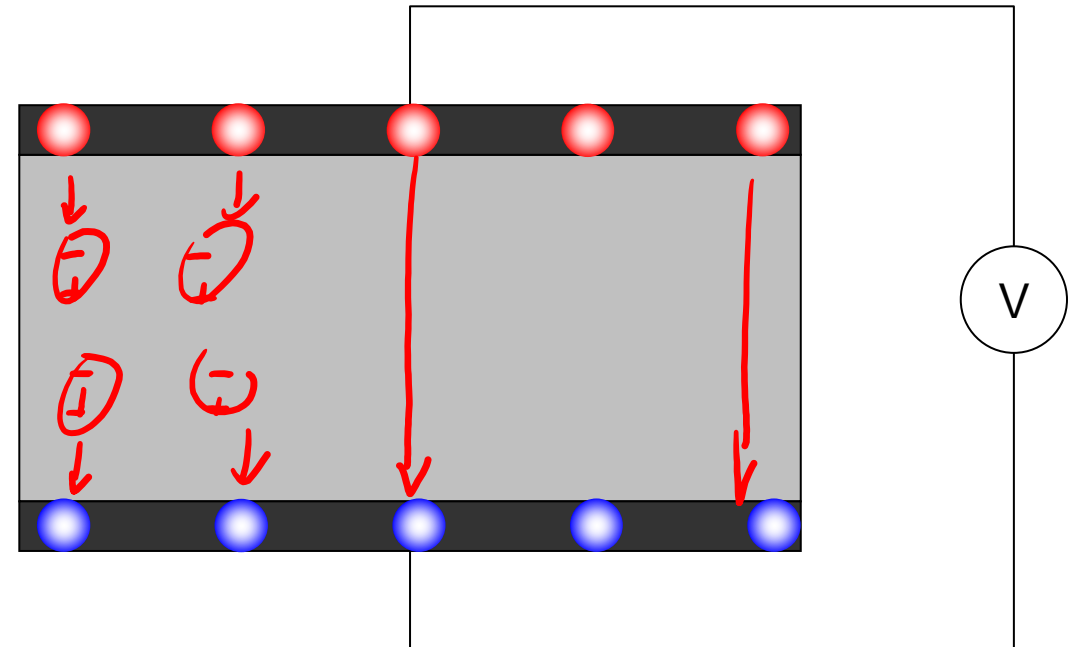
- | | |
|-----------------------|----------|
| • Luft: | 1 |
| • Kunststoffolie | 2 ... 4 |
| • Papier, imprägniert | 4 ... 6 |
| • Glas | 5 ... 16 |
| • Aluminiumoxid | 8 |



AUFGABE

Die Platten seien zu Beginn mit Q geladen. Dann wird ein Kunststoffblock zwischen die Platten geschoben. Das Voltmeter habe einen unendlichen Innenwiderstand.

Ändert sich die angezeigte Spannung und wenn ja, wie?

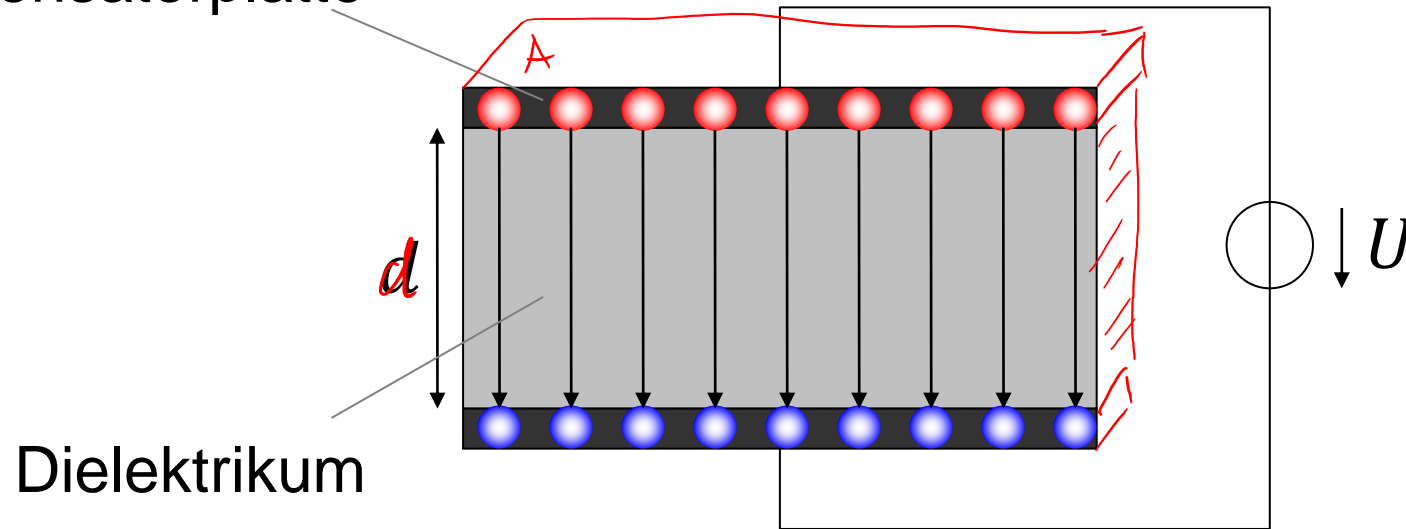


- A. Spannung muss gleich bleiben
- B. Spannung steigt
- C. Spannung sinkt ✓

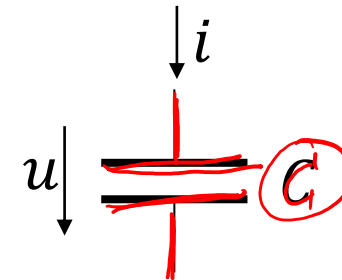
KONDENSATOR

- zwei parallele Metallplatten in definiertem Abstand d
 - isolierender Abstandshalter heißt Dielektrikum
- ⇒ elektronisches Bauelement, das Ladung speichert

Kondensatorplatte



Schaltzeichen



C : Capacitor (engl.)

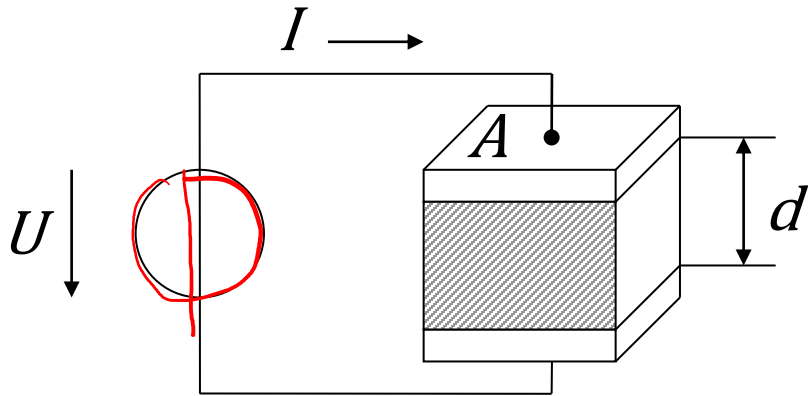
d : Plattenabstand
 A : Fläche einer Platte

KAPAZITÄT

Ladungsmenge Q ist proportional zur Spannung U

$$\Rightarrow Q \propto U$$

\Rightarrow Proportionalitätskonstante heißt **Kapazität C**



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

$\frac{As}{V}$
✓

$$[C] = 1 \frac{As}{V} = 1 F \text{ (Farad)}$$



ANALOGIE ZUM WASSERMODELL

Frage:

Womit kann man einen Kondensator vergleichen?

Analogie zum Wassereimer

- Ladungsmenge Q : *Wassermenge*
- Spannung U : *Füllstand*
- Kapazität C : *Grundfläche*

WOZU IST DER KONDENSATOR GUT?

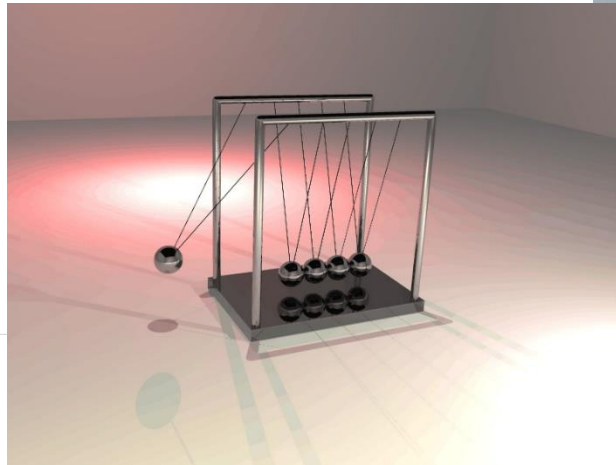
Ladungsspeicher



Frequenzabhängiger Widerstand
→ Hochpass- oder Tiefpassfilter



Schwingkreise



KONDENSATORGLEICHUNG

$$U \Rightarrow u(t) \quad \text{Diagram: a sine wave with an arrow pointing right and the letter } t \text{ below it.}$$

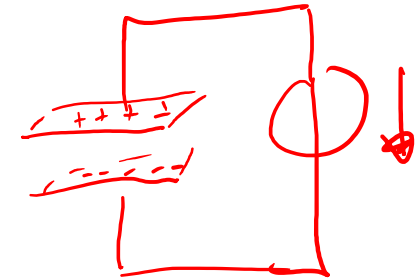
$$Q = C \cdot U$$

- Bei einer veränderlichen Spannung am Kondensator gilt:

$$\underline{q(t)} = \underline{C} \underline{u(t)} \quad \parallel \quad d/dt \Rightarrow \textcircled{dq/dt} = d/dt (C \cdot u(t)) = C \cdot \frac{du}{dt}$$

- Zusammenhang zwischen Ladung q und Strom i :

$$i = dq/dt$$



- Beiderseitiges Ableiten der ersten Gleichung ergibt:

$$i = C \cdot \frac{du}{dt}$$

Kondensatorgleichung

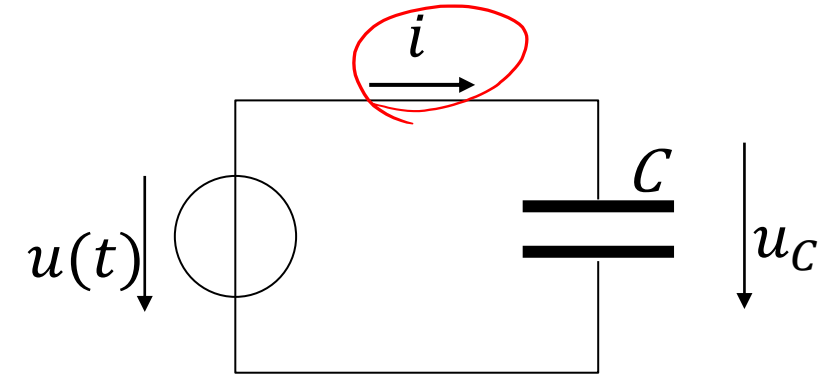
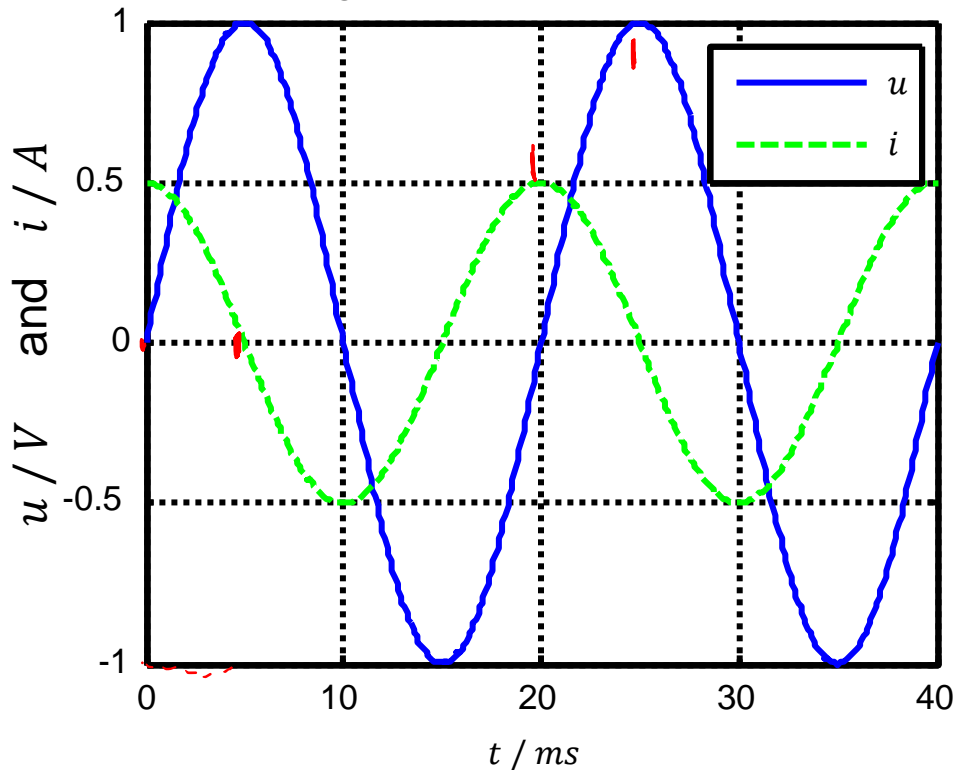
⇒ Es fließt nur dann ein Strom, wenn sich die Spannung ändert

STROM UND SPANNUNG AM KONDENSATOR

Gegeben: $\underline{u(t)} = u = \hat{u} \sin(\omega t)$

$$\Rightarrow i = \dot{C} \cdot \frac{du}{dt} = \dot{C} \cdot \frac{d(\hat{u} \cdot \sin(\omega t))}{dt} = \dot{C} \cdot \hat{u} \cdot \frac{d(\sin(\omega t))}{dt} = \dot{C} \cdot \hat{u} \cdot \omega \cdot \cos(\omega t)$$

Voltage and current at capacitor



Vorgriff auf Wechselstromrechnung

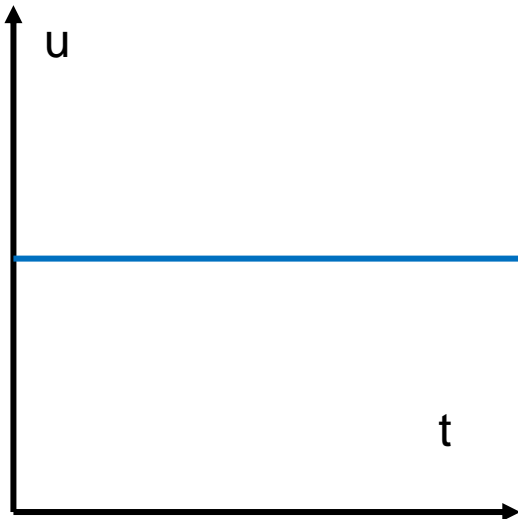
Spannung folgt um $\pi/2$ Strom

$$[i] = \left[\frac{As}{V} \right] \cdot [V] \cdot \left[\frac{1}{s} \right] = [A]$$

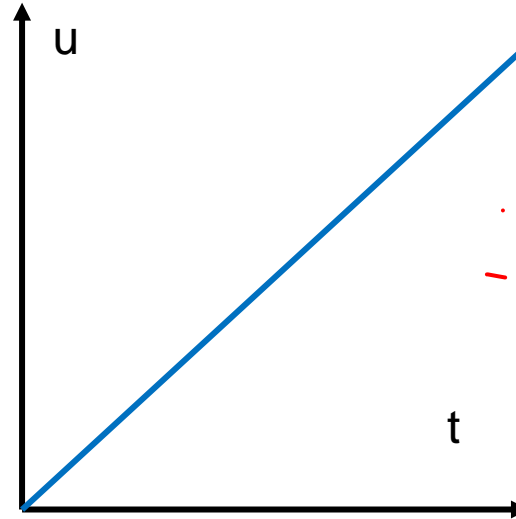
KONDENSATORGLEICHUNG

Welchen zeitlichen Verlauf muss die Kondensator-spannung haben, damit durch den Kondensator ein konstanter Strom fließt?

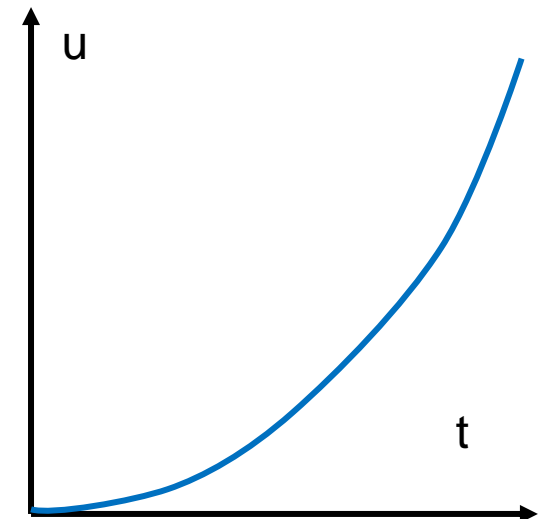
A. Konstant



B. Linear



C. exponentiell



REIHENSCHALTUNG VON KONDENSATOREN

Durch beide Kondensatoren fließt derselbe Strom und es gilt:

$$i = \frac{dq}{dt} \Rightarrow Q_1 = Q_2 = Q$$

Für die Gesamtspannung gilt:

$$u = u_1 + u_2$$

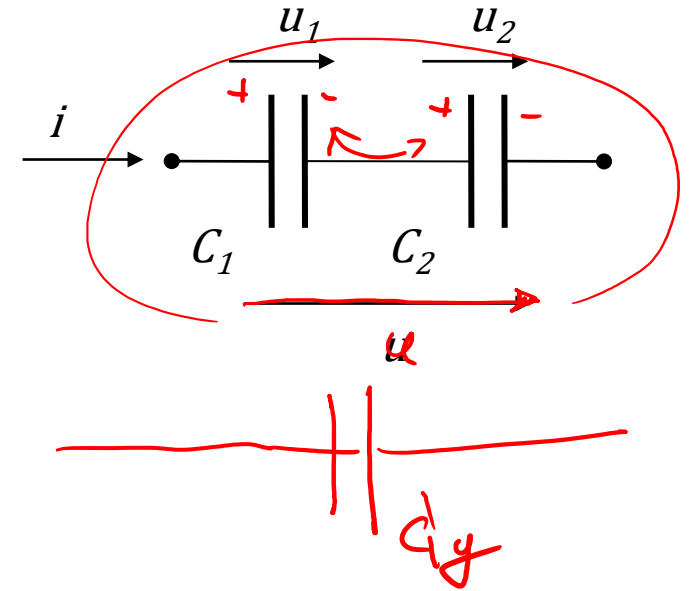
Mit der Definitionsgleichung der Kapazität $C_1 = q/u_1$ folgt:

$$\frac{Q}{C_g} = u = \frac{Q_1}{C_1} + \frac{Q_2}{C_2} = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2}$$

\Rightarrow

$$\frac{1}{C_g} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

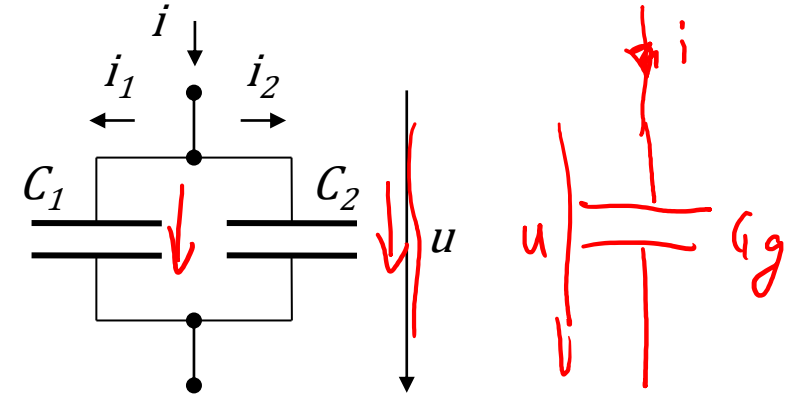
„Reihenschaltung von Kondensatoren wie
Parallelschaltung von Widerständen“



PARALLELSCHALTUNG VON KONDENSATOREN

Aus der Kirchhoffschen Knotenregel folgt:

$$i = i_1 + i_2$$



Aus $q = \int i dt$ folgt damit:

$$q = \int i dt = \int i_1 dt + \int i_2 dt = q_1 + q_2$$

$$\frac{dq}{dt} = i \quad || \quad q = \int i dt$$

Mit der Definitionsgleichung der Kapazität $C = q/u$ folgt:

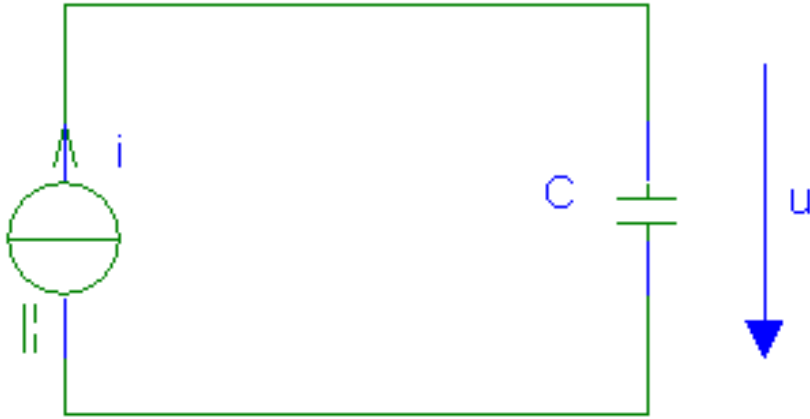
$$q = \cancel{C_g \cdot u} = C_1 \cdot u_1 + C_2 \cdot u_2 \Rightarrow \\ = \cancel{C_1 \cdot u} + \cancel{C_2 \cdot u}$$

$$C_g = C_1 + C_2$$

„Parallelschaltung von Kondensatoren wie
Reihenschaltung von Widerständen“

ENERGIE IM KONDENSATOR

Ladevorgang eines Kondensators:



Ladungsmenge um den Kondensator zu laden:

$$Q = C U$$

Arbeit während des Ladens gegeben durch:

$$w(t) = u(t) \cdot q(t) = u(t) \cdot C \cdot u(t) = C \cdot u(t)^2$$

Da die Spannung nicht konstant während des Ladens ist sondern von 0 auf U steigt ist die aufzubringende Arbeit gegeben durch:

$$W = \frac{1}{2} C \cdot U^2$$



KAPAZITÄT DES PLATTENKONDENSATORS

109:55

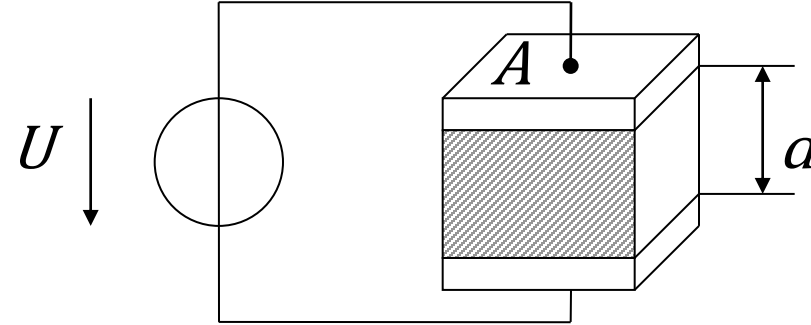
Für den Plattenkondensator gilt:

$$U = E \cdot d \quad \checkmark$$

$$Q = D \cdot A \quad \checkmark$$

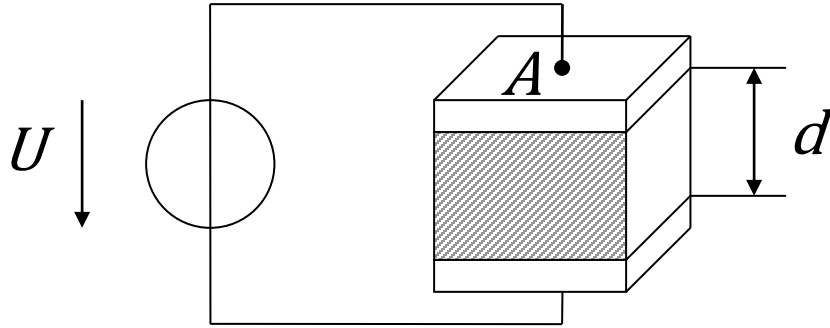
$$D = \varepsilon \cdot E \Rightarrow$$

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



$$\Rightarrow C = \frac{D \cdot A}{U} = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_r (E) A}{U} = \varepsilon_0 \varepsilon_r \cdot \frac{U}{d} \cdot \frac{A}{U} \Rightarrow C = \varepsilon_0 \varepsilon_r \cdot \frac{A}{d}$$

WIE ERZIELE ICH EINE HOHE KAPAZITÄT?



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

Hohe Kapazität erfordert:

- $A \uparrow$
 - Aufwickeln
 - Aufrauen der Fläche (Ätzen)
- $d \downarrow$
 - dünne Schicht, aber: Durchschlagsgefahr
- $\epsilon_r \uparrow$

Luft:	1
Kunststoffolie	2 ... 4
Papier, imprägniert	4 ... 6
Glas	5 ... 16
Aluminiumoxid	8
Tantaloxid	25
Keramik	6 ... 50 000

5 ELEKTRISCHES FELD

5.1 Homogenes Feld

5.2 Inhomogenes Feld

5.3 Influenz

5.4 Permittivität

5.5 Punktladungen

5.6 Kondensator

Definition der Kapazität

Kondensatorgleichung

Reihen- und Parallelschaltung

Energie im Kondensator

Berechnung der Kapazität

Bauformen

WAS SIE MITNEHMEN SOLLEN...

Begriffe

- Feldlinie
- Äquipotentiallinie

homogenes und inhomogenes Feld

- Unterschied verstehen
- Ausrichtung von Feldlinien und Äquipotentiallinien kennen
- Spannung und Feldstärke im homogenen Feld berechnen können

Influenz

- Effekt der Influenz beschreiben können
- Definition der Flussdichte kennen und anwenden können
- Anwendung der Flussdichte verstehen

Zusammenhang zwischen Q , E , D , U

- formelmäßigen Zusammenhang zwischen den Größen verstehen
- Formeln anwenden können

Permittivität

- Begriff verstehen und erklären

WAS SIE MITNEHMEN SOLLEN...

Kondensator

- Aufbau und Funktionsprinzip verstehen und erklären
- Definition der Kapazität kennen:
- Kondensatorgleichung herleiten und anwenden:
- Reihen- und Parallelschaltung von Kondensatoren

$$C =$$

$$i =$$

Reihenschaltung:

$$C =$$

Parallelschaltung:

$$C =$$

- Energie im Kondensator berechnen:
- Kapazität eines Kondensators berechnen:
- Bauformen erkennen

$$W =$$

$$C =$$