

Ladungen, Kräfte  
ooo

Energieerhaltung  
oo

Ladungen  
oo

Schalt. von Cs  
oo

Vektoren  
oooooooo

E-Feld  
oo

Überlagerung E  
ooo

Kondensator  
ooooooooo

noch offen  
o

# Arbeitsunterlagen zu FOS Elektrotechnik Themenfeld 12.6

## Elektrisches und magnetisches Feld

Thomas Maul

Brühlwiesenschule, Hofheim

V 0.2.0 - im Aufbau  
Stand: 19. Januar 2026



Für eigene Teile gilt:

Ladungen, Kräfte  
○○○

Energieerhaltung  
○○

Ladungen  
○○

Schalt. von Cs  
○○

Vektoren  
○○○○○○○

E-Feld  
○○

Überlagerung E  
○○○

Kondensator  
○○○○○○○○○

noch offen  
○

# Teil

Ladungen, Kräfte  
○○○

Energieerhaltung  
○○

Ladungen  
○○

Schalt. von Cs  
○○

Vektoren  
○○○○○○○

E-Feld  
○○

Überlagerung E  
○○○

Kondensator  
○○○○○○○○○

noch offen  
○

# Teil

Ladungen, Kräfte  
ooo

Energieerhaltung  
oo

Ladungen  
oo

Schalt. von Cs  
oo

Vektoren  
oooooooo

E-Feld  
oo

Überlagerung E  
ooo

Kondensator  
ooooooooo

noch offen  
o

# Inhalt

Überlagerung von elektrischen Feldern

Kondensator Auf- und Entladung

Pflicht-Themen, die noch offen sind

# Elektronen und Atome

- Die Materie besteht aus Atomen.
- Kern: Protonen und Neutronen, Hülle: Elektronen
- Bei Leitern: Elektronen „mobil“, bei Nichtleitern fest(er)
- Reibung von 2 Nichtleitern (Stoff und Glasstab)  $\Rightarrow$  Ladungstrennung

## Katze mit Styroporflocken



Abbildung: Katze mit Styroporflocken

1

---

<sup>1</sup>Quelle: Von Original image: Sean McGrath from Saint John, NB, Canada Derived image: Black Rainbow 999 - Diese Datei ist ein Ausschnitt aus einer anderen Datei, CC BY 2.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=60287175>

# Anziehung und Abstoßung von Ladungen

- gleichnamige Ladungen stoßen sich ab.
- ungleichnamige Ladungen ziehen sich an.
- bei Elektrostatik gibt es keine Bewegung, nur Kräfte

# Inhalt

Ladungen, Kräfte

Energieerhaltung und Einheit

Abmaße von Ladungen

Schaltung von Kondensatoren

Spannung am Kondensator

Vektoren

Elektrische Feldstärke

Überlagerung von elektrischen Feldern

Kondensator Auf- und Entladung

Pflicht-Themen, die noch offen sind

# Energieerhaltung und Einheit

- Energieerhaltung
- Elektrische Ladung Coulomb (C) gemessen
- $1C = 1As.$
- Elementarladung  $e = 1,602 * 10^{-19} C$
- Kräfte zwischen Ladungen
- Anziehung (+ > < -) und  
Abstoßung (+ < > +), (- < > -)

Ladungen, Kräfte  
○○○

Energieerhaltung  
○○

Ladungen  
●○

Schalt. von Cs  
○○

Vektoren  
○○○○○○○

E-Feld  
○○

Überlagerung E  
○○○

Kondensator  
○○○○○○○○

noch offen  
○

# Inhalt

Ladungen, Kräfte

Energieerhaltung und Einheit

Abmaße von Ladungen

Schaltung von Kondensatoren

Spannung am Kondensator

Vektoren

Elektrische Feldstärke

Überlagerung von elektrischen Feldern

Kondensator Auf- und Entladung

Pflicht-Themen, die noch offen sind

# Abmaße von Ladungen

Punktladung unendlich klein

Linienladung dünne Linie, z. B. Draht

Flächenladung gleichmäßig auf der Fläche

Raumladung gleichmäßig im Raum

Ladungen, Kräfte  
ooo

Energieerhaltung  
oo

Ladungen  
oo

Schalt. von Cs  
●○

Vektoren  
oooooooo

E-Feld  
oo

Überlagerung E  
ooo

Kondensator  
ooooooooo

noch offen  
o

Reihenschaltung höhere Spannung, selbe Kapazität

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

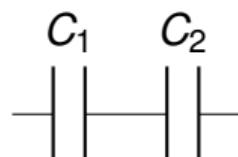


Abbildung: Zwei Kondensatoren in Reihenschaltung

## Parallelschaltung Erhöhung der Kapazität ( $\Sigma$ )

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + \dots \quad (2)$$

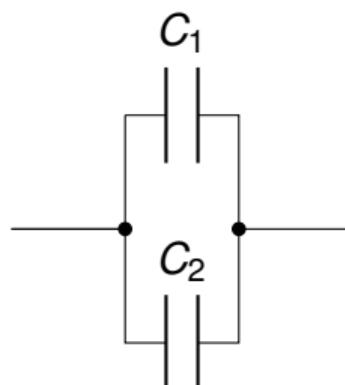


Abbildung: Zwei Kondensatoren in Parallelschaltung

Ladungen, Kräfte  
○○○

Energieerhaltung  
○○

Ladungen  
○○

Schalt. von Cs  
○○

Vektoren  
●○○○○○○

E-Feld  
○○

Überlagerung E  
○○○

Kondensator  
○○○○○○○○

noch offen  
○

# Inhalt

Ladungen, Kräfte

Energieerhaltung und Einheit

Abmaße von Ladungen

Schaltung von Kondensatoren

Spannung am Kondensator

Vektoren

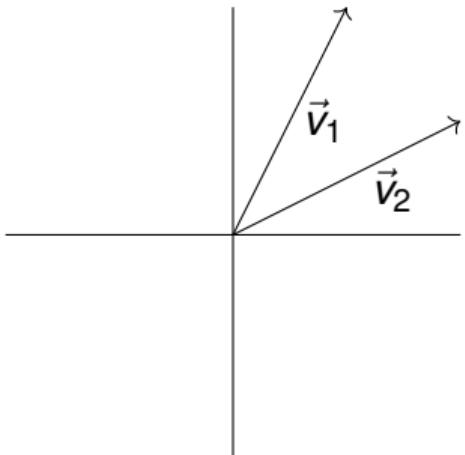
Elektrische Feldstärke

Überlagerung von elektrischen Feldern

Kondensator Auf- und Entladung

Pflicht-Themen, die noch offen sind

# Vektoren



$$\vec{v}_1 = \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \end{pmatrix} \text{ und } \vec{v}_2 = \begin{pmatrix} 2 \\ 1 \end{pmatrix}$$

Abbildung: Zwei Vektoren in zweidimensionalen Raum

Ladungen, Kräfte  
○○○

Energieerhaltung  
○○

Ladungen  
○○

Schalt. von Cs  
○○

Vektoren  
○○●○○○○

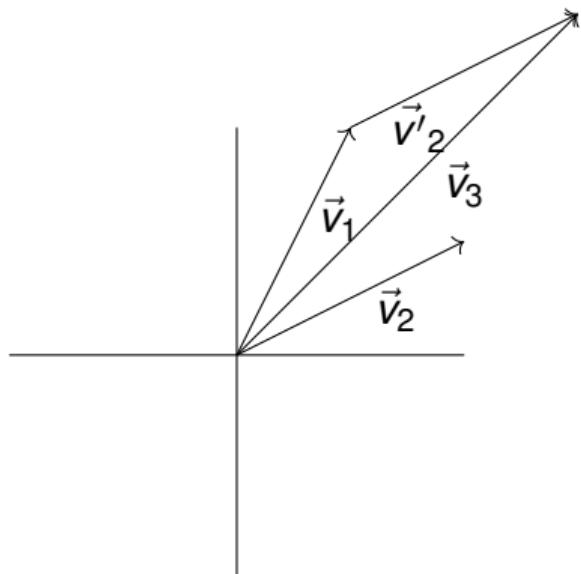
E-Feld  
○○

Überlagerung E  
○○○

Kondensator  
○○○○○○○○

noch offen  
○

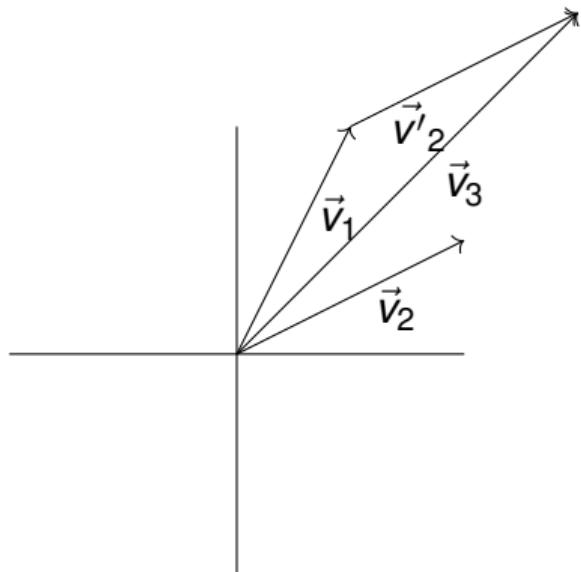
## Addition von Vektoren



$$\vec{v}_1 = \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \end{pmatrix}, \vec{v}_2 = \begin{pmatrix} 2 \\ 1 \end{pmatrix}, \vec{v}'_2 = \vec{v}_2 \text{ und } \vec{v}_3 = \begin{pmatrix} 3 \\ 3 \end{pmatrix}$$

**Abbildung:** Zwei Vektoren in zweidimensionalen Raum

## Länge / Betrag eines Vektors



$$\vec{v}_1 = \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \end{pmatrix}, \vec{v}_2 = \begin{pmatrix} 2 \\ 1 \end{pmatrix}, |\vec{v}_1| = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$$
$$|\vec{v}_1| = \sqrt{(1 - 0)^2 + (2 - 0)^2} = \sqrt{5}$$

Abbildung: Zwei Vektoren in zweidimensionalen Raum

# Kraft als Vektor, Spannung

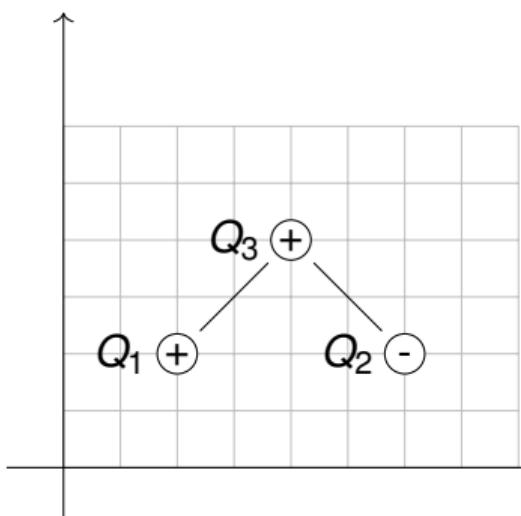
- Kraft  $\hat{=}$  Vektor
- Richtung, Betrag
- Addition ( $\vec{v}_3 = \vec{v}_1 + \vec{v}_2$ ), jeweils x, y, z-Komponente
- Spannung  $\hat{=}$  Potenzial zwischen 2 Punkten
  - ... auch im Raum (E-Feld)

# Kraft auf Ladung

- Abhängig von Ladung Q und Abstand zur Ladung
- $\vec{F} = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon} \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$
- $\vec{F} = \frac{Q_1 \cdot Q_2}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon \cdot r^2} \vec{e}^2$   
 $\vec{e}$  = Einheitsvektor (Länge = 1, für Richtung relevant)

# Kraft auf eine Ladung

## Aufgaben



Gegeben seien drei Ladungen  $Q_1$ ,  $Q_2$  und  $Q_3$ . Alle Ladungen sind ideal punktförmig und haben den Wert  $10\mu C$ .

Die Ladungen befinden sich an folgenden Punkten:

$$Q_1 = \begin{pmatrix} 0 \\ 2 \end{pmatrix}, Q_2 = \begin{pmatrix} 2 \\ 2 \end{pmatrix}, Q_3 = \begin{pmatrix} 1 \\ 3 \end{pmatrix}. \text{ Das}$$

Koordinatensystem ist im m skaliert (eine Einheit = 1 m).

$\epsilon = \epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{As}{Vm}$  Berechnen Sie die resultierende Kraft auf  $Q_3$ , die von  $Q_1$  und  $Q_2$  ausgeht.

# Elektrische Feldstärke

- Abhängig von Ladung Q und Abstand zur Ladung
- $\vec{F} = \frac{Q_2}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon \cdot r^2} Q_1$  Kraft von  $Q_2$  auf  $Q_1$ .
- $\vec{F} = \vec{E} \cdot Q_1$
- $\vec{E} = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot r^2 \cdot \epsilon}$

# Elektrische Feldstärke

## Aufgaben

Berechnen Sie die Kraft  $F_{12}$  von  $Q_2$  auf  $Q_1$ .

1.  $Q_1 = Q_2 = 10 \mu C$ . Der Abstand sei 1,2 m.
2.  $Q_1 = 5 \mu C, Q_2 = 10 \mu C$  Abstand = 1 m
3.  $Q_1 = 5 \mu C, Q_2 = 10 \mu C$  Abstand = 1,5 m

$$\vec{F} = \frac{Q_2}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon \cdot r^2} Q_1$$

# Überlagerung von elektrischen Feldern

- E-Felder beeinflussen sich.
- Vektorielle Addition am Punkt.
- $V_{res} = V_1 + V_2$
- $V_{res} = \begin{pmatrix} 10 \\ 15 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 5 \\ 7 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 15 \\ 22 \end{pmatrix}$
- $\vec{E} = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot r^2 \cdot \epsilon_0} \cdot \vec{e}^2$
- $|\vec{v}| = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$

# Überlagerung von elektrischen Feldern

## Aufgaben

Berechnen Sie das resultierende Feld am Schnittpunkt.

1.  $\vec{v}_1 = \begin{pmatrix} 12 \\ 12 \end{pmatrix}, \vec{v}_2 = \begin{pmatrix} -9 \\ 6 \end{pmatrix}, Q_1 = 10\mu C, Q_2 = 20\mu C, \varepsilon = \varepsilon_0$   $Q_1$  befindet sich an  $\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}$ ,  $Q_2$  an  $\begin{pmatrix} 10 \\ 0 \end{pmatrix}$

## Aufgaben E-Feld - Überlagerung

1. Berechne das elektrische Feld an folgenden Punkten  $P_n$ .
2. Zeichne zusätzlich die Feldlinien quantitativ, Feld von Q1, Feld von Q2 und resultierendes Feld.

$$Q_1 = 3 \text{ nC}, \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix} Q_2 = -10 \text{ nC}, \begin{pmatrix} 2 \text{ m} \\ 0 \text{ m} \end{pmatrix}$$

$$P_1 = \begin{pmatrix} 1 \text{ m} \\ 0 \text{ m} \end{pmatrix} P_2 = \begin{pmatrix} 2 \text{ m} \\ 0 \text{ m} \end{pmatrix} P_3 = \begin{pmatrix} 0.5 \text{ m} \\ 0.5 \text{ m} \end{pmatrix} P_4 = \begin{pmatrix} 0,5 \text{ m} \\ 0 \text{ m} \end{pmatrix} P_5 = \begin{pmatrix} 1 \text{ m} \\ 2 \text{ m} \end{pmatrix}$$

Ladungen, Kräfte  
○○○

Energieerhaltung  
○○

Ladungen  
○○

Schalt. von Cs  
○○

Vektoren  
○○○○○○○

E-Feld  
○○

Überlagerung E  
○○○

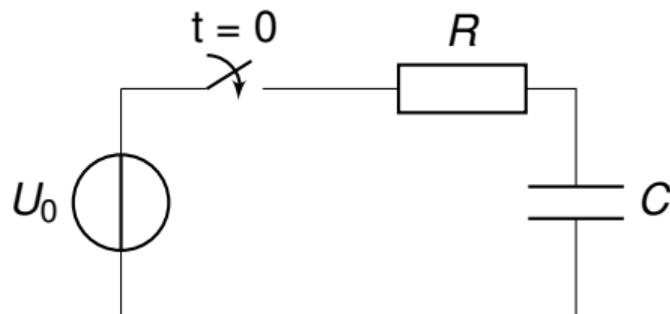
Kondensator  
●○○○○○○○

noch offen  
○

## Kondensator - Eigenschaften

- Kondensatorplatten haben (große) Fläche.
- Zwischen Platten ist Luft / Dielektrikum (nicht Leitfähig)
- Durch den Kondensator fließt *kein* (Gleich-)Strom.

## Ladung eines Kondensators I



**Abbildung:** Reihenschaltung von Widerstand und Kondensator

- Anfangszustand: Kondensator ist leer (ungeladen - auf beiden Platten selbe Anzahl Ladungen)
- Verbindung mit Spannungsquelle ( $t = 0$ ) - Kondensator lädt sich auf - Anzahl der Ladungen verschiebt sich.
- Dauer: i.d.R wenige Millisekunden bis einige Sekunden (abhängig von  $R$  und  $C$ )

Ladungen, Kräfte  
○○○

Energieerhaltung  
○○

Ladungen  
○○

Schalt. von Cs  
○○

Vektoren  
○○○○○○○

E-Feld  
○○

Überlagerung E  
○○○

Kondensator  
○○●○○○○○

noch offen  
○

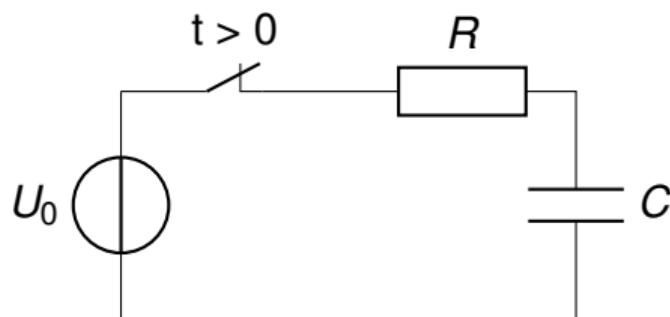
## Ladung eines Kondensators II

$$\tau = R \cdot C \quad (3)$$

$$\tau = 1k\Omega \cdot 330\mu F \quad (4)$$

$$\tau = 330mS \quad (5)$$

## Ladung eines Kondensators III



- Kondensator lädt sich auf.
- Strom fließt durch  $R$ .
- $u_c(t) = U_0 \cdot (1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$   
 $\tau = R \cdot C$

**Abbildung:** Reihenschaltung von Widerstand und Kondensator

# Ladung eines Kondensators IV

Spannung bestimmen

Zeitpunkt Spannung an C

$$t = \tau = 0,63 \cdot U_0$$

$$t = 2\tau = 0,86 \cdot U_0$$

$$t = 3\tau = 0,95 \cdot U_0$$

$$t = 4\tau = 0,98 \cdot U_0$$

$$t = 5\tau = 0,99 \cdot U_0 \Rightarrow \approx U_0$$

mit R und C = 1,  $U_{max} \hat{=} U_0$

$$u_c(t) = U_0 \cdot (1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$$

$$i_c(t) = \frac{U_0}{R} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$$\tau = R \cdot C$$

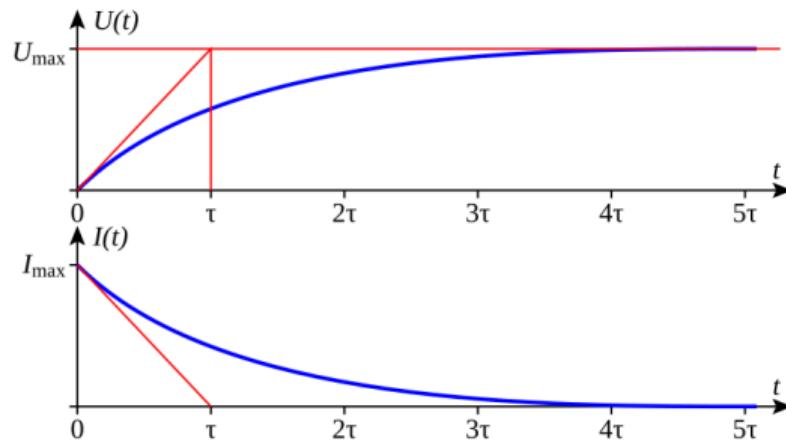


Abbildung: Von Honina.Frank Murmann at de:Wp via Wikipedia (abgerufen: 06.01.26)

# Aufladen eines Kondensators

Zeit bestimmen

gesucht: t

$$u_c(t) = U_0 \cdot (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) | : U_0 \quad (6)$$

$$\frac{u_c(t)}{U_0} = 1 - e^{-\frac{t}{\tau}} | - 1, \cdot (-1) \quad (7)$$

$$1 - \frac{u_c(t)}{U_0} = e^{-\frac{t}{\tau}} | \ln() \quad (8)$$

$$\ln \left( 1 - \frac{u_c(t)}{U_0} \right) = -\frac{t}{\tau} | \cdot (-\tau) \quad (9)$$

$$-\tau \cdot \ln \left( 1 - \frac{u_c(t)}{U_0} \right) = t \quad (10)$$

$\tau = R \cdot C$ ,  $\ln(x)$  ist Umkehrfunktion zu  $e^x$

## Aufgaben - Laden des Kondensators

$U_0$	$U_c$	$\tau$	t	R	C
12 V	$U_c(t)$		100 mS, 220 mS, $3\tau$ , 1 S	1 k $\Omega$	$220 \mu F$
12 V	$U_c(t)$	0,484 S	$2\tau$ , 2 S, 4 S		$220 \mu F$
12 V	$U_c(t)$	1,034 S	$0,5\tau$ , $\tau$ , 4 S	2,2 k $\Omega$	
	8,56 V		600 mS	1,2 k $\Omega$	$560 \mu F$

- berechnen die fehlenden Parameter( $\tau$ , R, C,  $U_0$ ) und  $U_c(t)$
- Bei Widerstandswerten und Kondensatorwerten sind jeweils Werte der E12-Reihe zu bestimmen.
- $U_c(t) =$  berechne alle Spannungen für  $U_c$  zu den angegebenen Zeitpunkten t.
- Als weitere Übungsmöglichkeit:  $U_0 = 15$  V; 18 V; 20 V; 24 V.

## Entladen des Kondensators

- Spannung fällt von  $U_{max}$  auf 0 V
- Strom fließt „umgekehrt“
- nach  $5\tau$  gilt der Kondensator als entladen.

$$u_c(t) = U_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (11)$$

$$i_c(t) = -\frac{U_0}{R} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (12)$$

## Beispiel: C laden „ohne“ Vorwiderstand

Wie groß ist  $i(0+ = 1 \text{ mS})$ , wenn folgendes gegeben ist:

- ideale Spannungsquelle
- $R = 1 \text{ m}\Omega$
- $C = 10\mu\text{F}$

## Beispiel: C laden „ohne“ Vorwiderstand

Wie groß ist  $i(0+ = 1 \text{ mS})$ , wenn folgendes gegeben ist:

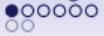
- ideale Spannungsquelle
- $R = 1 \text{ m}\Omega$
- $C = 10\mu\text{F}$
- $\tau = R \cdot C$
- $\tau = 1 \cdot 10^{-9} \text{ s}$
- $i_c(t) = -\frac{U_0}{R} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$
- $i_c(t) = -\frac{5 \text{ V}}{1 \text{ m}\Omega} \cdot e^{-\frac{1 \text{ mS}}{1 \text{ nS}}}$
- $i_c(t = 1 \text{ mS}) \approx 5 \text{ kA}$

## Pflicht-Themen, die noch offen sind

Folgende Themen sind gemäß Prüfungserlass für die Prüfung 2026 Pflicht, aber noch nicht ausgearbeitet.

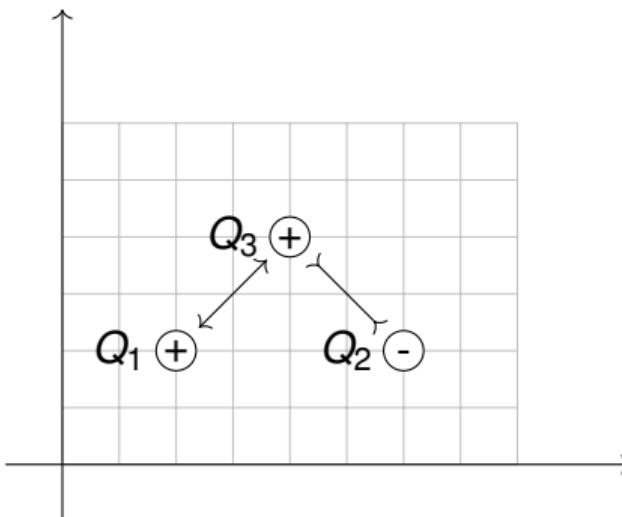
- Induktion
  - Magnetischer Fluss (Phi)
  - Flussdichte (B)
- Spule
  - Ein- und Ausschaltvorgang

Die Themen folgen demnächst hier.



# Anhang

## Zu Folie 20



$$F_{31} = \frac{Q_1 \cdot Q_2}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot r^2}$$

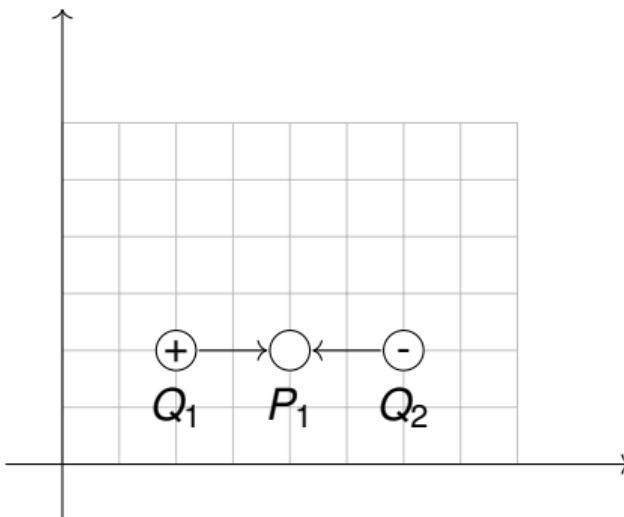
$$F_{31} = \frac{10 \mu C^2}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot \sqrt{2} m^2}$$

$$F_{31} = \frac{10 \mu A s^2}{4 \cdot \pi \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{As}{Vm} \cdot \sqrt{2} m^2}$$

$|F_{31}| = 0,64 N$ . Da  $Q_1$ ,  $Q_2$  und  $Q_3$  gleich groß sind und der Abstand ebenfalls gleich ist, ist  $F_{32} = 0,64 N$   $|F_{31}| = 0,64 N$ . Da  $Q_1$ ,  $Q_2$  und  $Q_3$  gleich groß sind und der Abstand ebenfalls gleich ist, ist  $F_{32} = 0,64 N$

## zu Folie24

Abstand  $Q_1 - P_1 : P_1 - Q_1 =$   
 $\begin{pmatrix} 1 \text{ m} \\ 0 \text{ m} \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 0 \text{ m} \\ 0 \text{ m} \end{pmatrix} = \sqrt{1 \text{ m}^2 + 0 \text{ m}^2} = 1 \text{ m}$



$$E = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot r^2 \cdot \varepsilon}$$

$$E_{p1q1} = \frac{Q_1}{4 \cdot \pi \cdot r^2 \cdot \varepsilon_0}$$

$$E_{p1q1} = \frac{3 \text{ nC}}{4 \cdot \pi \cdot 1 \text{ m}^2 \cdot \varepsilon_0}$$

$$E_{p1q1} = \frac{3 \text{ nAs}}{4 \cdot \pi \cdot 1 \text{ m}^2 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{As}}{\text{Vm}}}$$

$$E_{p1q1} = 26,9 \frac{\text{V}}{\text{m}}$$

$$E = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot r^2 \cdot \varepsilon}$$

$$E_{p1q2} = \frac{Q_1}{4 \cdot \pi \cdot r^2 \cdot \varepsilon_0}$$

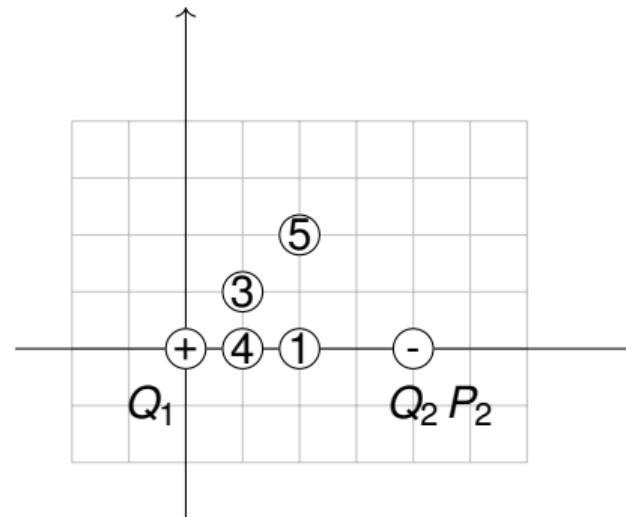
$$E_{p1q2} = \frac{-10 \text{ nC}}{4 \cdot \pi \cdot 1 \text{ m}^2 \cdot \varepsilon_0}$$

$$E_{p1q1} = \frac{-10 \text{ nAs}}{4 \cdot \pi \cdot 1 \text{ m}^2 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{As}}{\text{Vm}}}$$

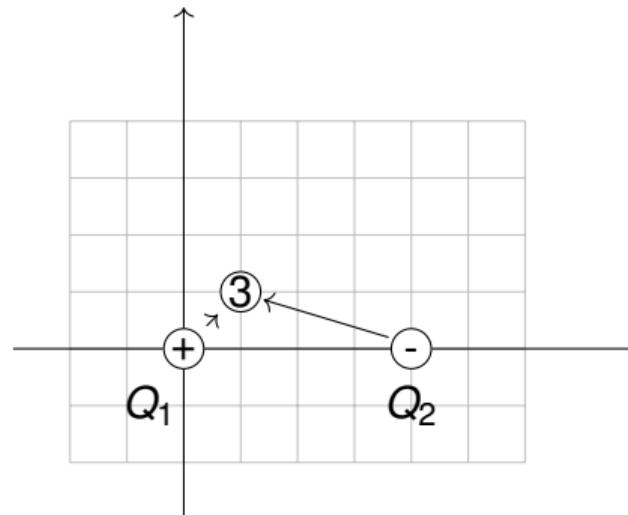
$$E_{p1q2} = -98,82 \frac{V}{m}$$

$$E_{p1} = 26,9 \frac{V}{m} - 98,82 \frac{V}{m} = 62,92 \frac{V}{m}$$

## zu Folie24, Abstand der Punkte zur Ladung



## zu Folie24, Abstand der Punkte zur Ladung



# Aufgaben - Laden des Kondensators

$U_0$	$U_c$	$\tau$	t	R	C
12 V	siehe unten	0,22 S	100 mS, 220 mS, $3\tau$ , 1 S	1 k $\Omega$	220 $\mu F$
12 V	$U_c(t)$	0,484 S	$2\tau$ , 2 S, 4 S	<u>2,2 k<math>\Omega</math></u>	220 $\mu F$
12 V	$U_c(t)$	1,034 S	$0,5\tau$ , $\tau$ , 4 S	<u>2,2 k<math>\Omega</math></u>	<u>470 <math>\mu F</math></u>
14,5 V	8,56 V	0,672 S	600 mS	1,2 k $\Omega$	560 $\mu F$

## Aufgaben Laden C LSG Teil 2

Zu Zeile 1 ( $12V$ ,  $\tau = 0,22S$ ,  $R = 1 k\Omega$ ,  
 $C = 220 \mu F$ )

$t$	$U_c(t)$
100 mS	4,38 V
220 mS	7,59 V
$3\tau = 0,66 S$	11,4 V
1 S	11,9V

Zu Zeile 2 ( $12V$ ,  $\tau = 0,484S$ ,  
 $R = 2,2 k\Omega$ ,  $C = 220 \mu F$ )

$t$	$U_c(t)$
$2\tau = 0,968S$	10,4 V
2 S	11,8 V
4 S	12,0V

Zu Zeile 3 ( $12V$ ,  $\tau = 1,034S$ ,  
 $R = 2,2 k\Omega$ ,  $C = 470 \mu F$ )

$t$	$U_c(t)$
$0,5\tau = 0,517S$	7,88 V
$\tau = 1,034 S$	10,6 V
4 S	12V