



# Technische Grundlagen der Informatik

## Teil 1: Elektrotechnik

Vorlesung

4. Elektrisches Feld und Kondensator

Dr. Solveig Schüßler



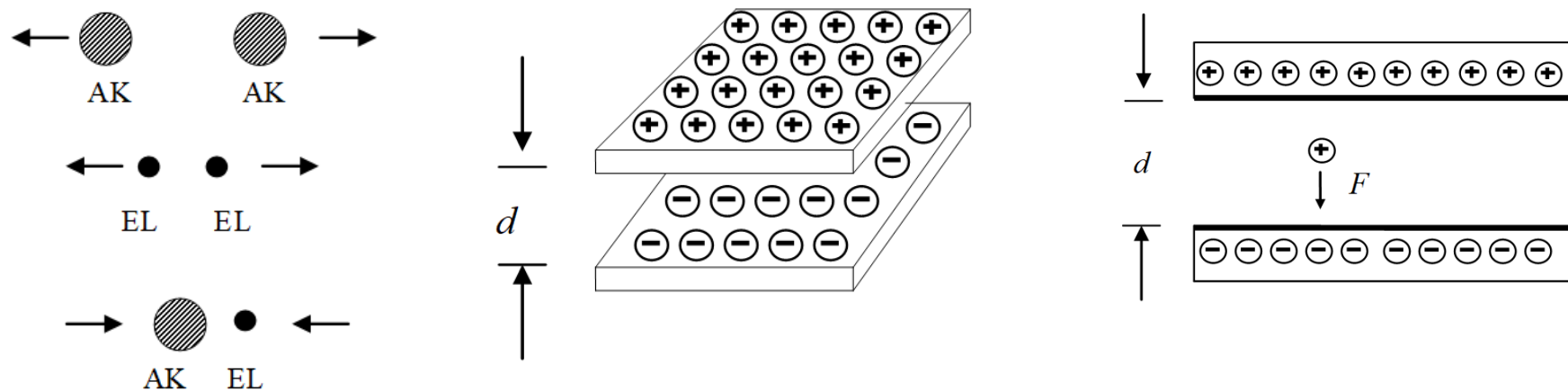
# Thema

## 4. Elektrisches Feld und Kondensator

# 4. Elektrisches Feld und Kondensator

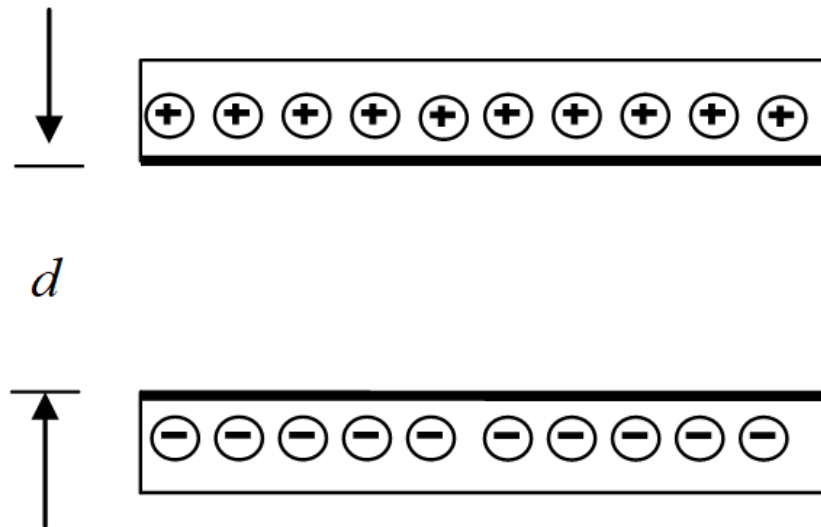


Was wir schon wissen:



- Unterschiedlich geladene Körper ziehen sich an ✓
- zwischen elektrischen Ladungen wirken Kräfte ✓

## 4. Elektrisches Feld und Kondensator

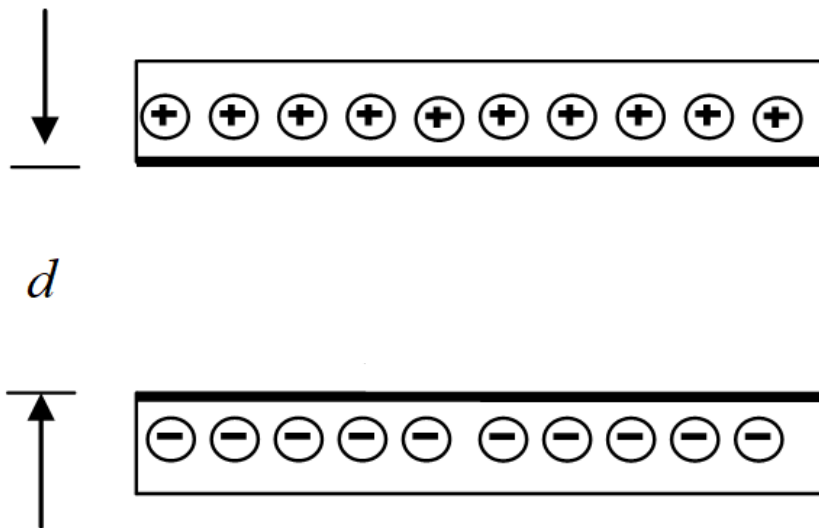


- Die Kräfte resultieren aus Kraftfeldern, die aufgrund ihrer Ursache (elektrisch geladene Teilchen) als **elektrisches Felder** bezeichnet werden

- Größere Ladungen erzeugen größere elektrische Felder
- Kraftfelder mehrerer Teilchen überlagern sich
- Wirkung der Kraft ist für pos. und neg. Ladungen genau entgegengesetzt



### Darstellung elektrischer Felder

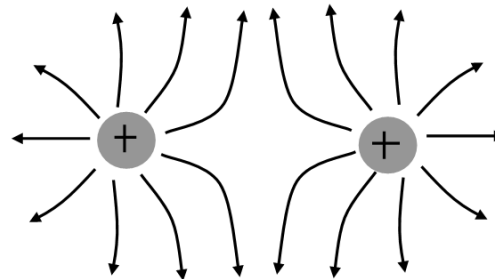
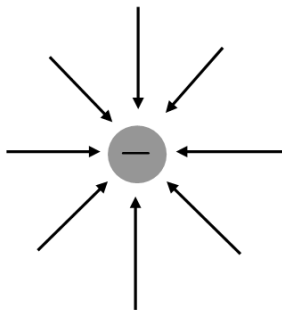
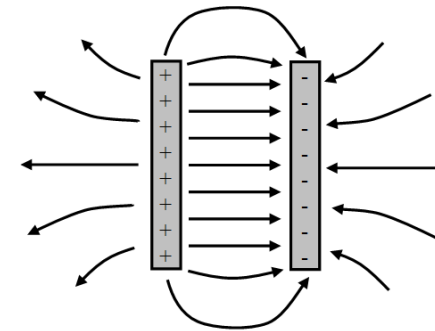
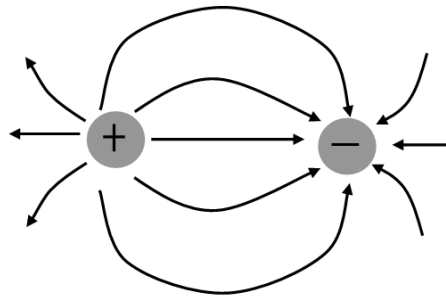
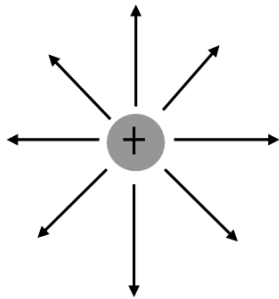


- Darstellung elektrischer Felder erfolgt mit Hilfe von Feldlinien
- Feldlinien verlaufen in Richtung der Kraftwirkung auf eine pos. Probeladung

- Feldlinien beginnen damit stets bei positiver Ladung und enden bei negativer Ladung (+ → -)
- Die Dichte der Feldlinien ist ein Maß für die Stärke des elektrischen Feldes



## Einige elektrische Felder:



Feldlinien zwischen 2 parallelen Platten (Plattenkondensator): Das elektrische Feld zwischen den Platten ist homogen, d.h. überall gleich groß und gleich gerichtet.

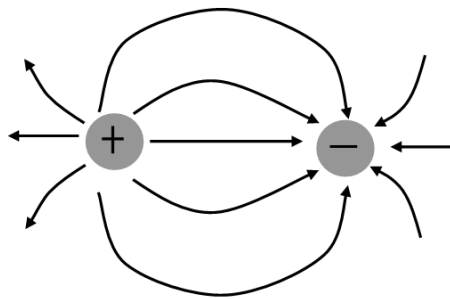
Quantitatives Maß für das elektrische Feld:

**elektrische Feldstärke  $E$**

**$E$  hat eine Richtung!**



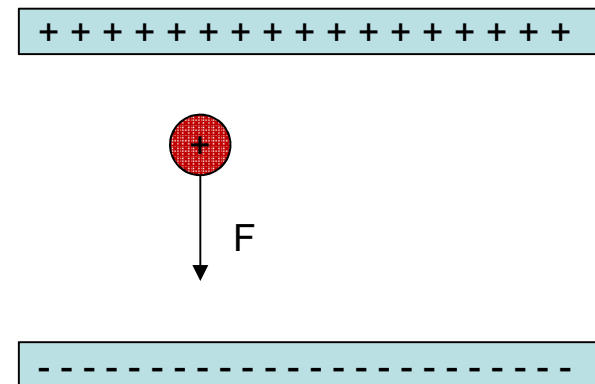
Elektrische Feldstärke **E** entspricht der **Kraft, die pro Ladung** im Feld(-punkt) wirkt



$$E = \frac{F}{Q}$$

Für ein homogenes Feld gilt:

$$E = \frac{U}{d} \quad \text{mit} \quad [E] = \frac{V}{m}$$





## Influenz

- räumliche Verschiebung elektrischer Ladungen durch Einwirkung eines äußeren elektrischen Feldes in einem Metallkörper

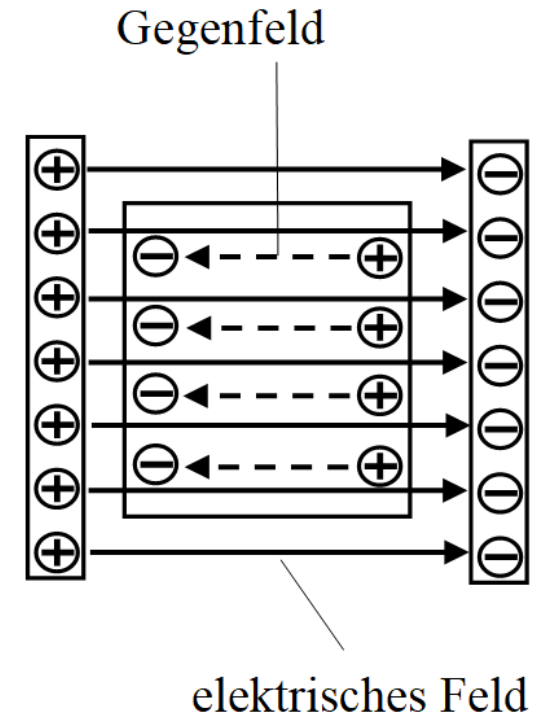






## Influenz

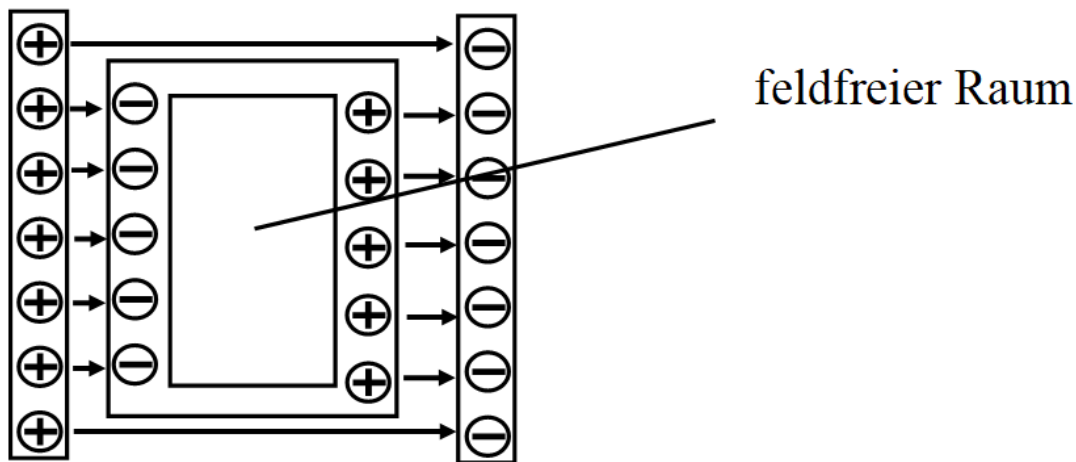
- Im **Metall** erfolgt Ladungstrennung durch äußeres elektrisches Feld
  - die getrennten Ladungen erzeugen im **Metall** ein Gegenfeld
  - im **Metall** werden so lange Ladungen getrennt bis das äußere elektrische Feld und das Gegenfeld sich gegenseitig gerade aufheben
- 
- **Folge: Metall** ist im Inneren stets feldfrei  
(nötige Bedingung im Metall gegeben: „genügend“ freie Ladungsträger für den Aufbau des Gegenfeldes)





## Influenz

- Beobachtbar auch bei Hohlkörpern oder leitend beschichteten Körpern
- Anwendung: Abschirmung empfindlicher Bauteile durch Metallhülle (Faraday'scher Käfig)





## Dielektrische Polarisation

- Ortsgebundene Atome/ Moleküle: Ein äußeres elektrisches Feld verursacht in nicht leitenden Stoffen eine molekulare Ladungstrennung → Polarisation
- Resultierendes elektr. Feld wesentlich geringer als bei Influenz

### Folge:

- Ein äußeres elektrisches Feld wird im Innern von nichtleitenden Stoffen (nur) teilweise kompensiert (also abgeschwächt)
- Nichtleiter wird im elektrischen Feld polarisiert

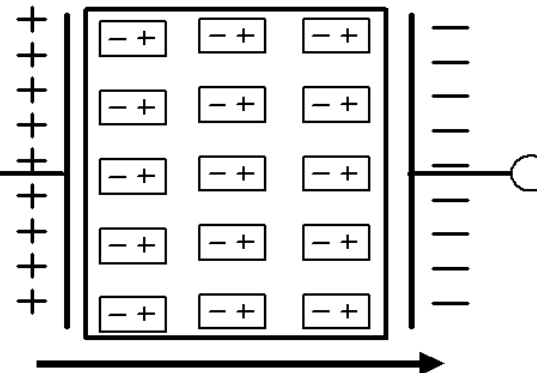


## Dielektrische Polarisation

- Molekulare Ladungstrennung in nicht leitenden Stoffen die das elektrische Feld im Innern (nur) teilweise kompensieren (Feld wird im Inneren abgeschwächt)

### Verschiebungspolarisation

Aufgrund eines äußeren elektrischen Feldes entstehen im Material Dipole durch Verschiebung der Ladungsträgerschwerpunkte. Diese Dipole richten sich aus.



*Kapazitätserhöhung für Kondensatoren*

### Orientierungspolarisation

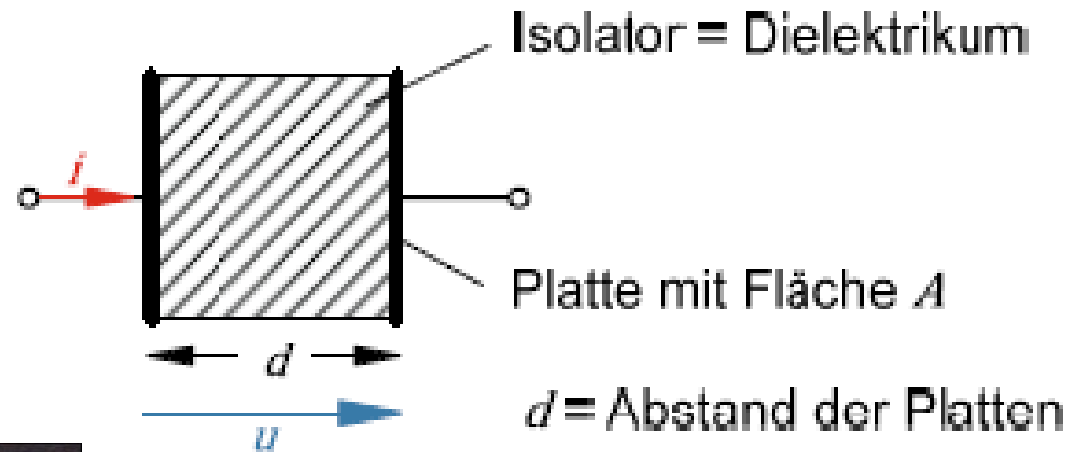
Im Stoff bereits vorhandene Dipole richten sich im äußeren elektrischen Feld aus.

*Mikrowelle, Medizin, Diathermie*



## Kondensatoren

- 2 leitende Platten bzw. Elektroden, durch einen Isolator getrennt



**Isolator: Zwischen den Platten fließt kein Strom!!**



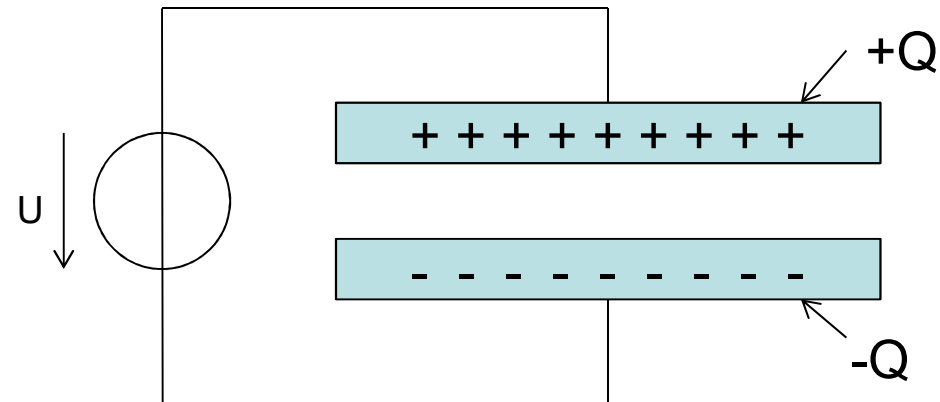
<http://www.vias>



<http://rn-wissen.de>

# Kondensatoren

- Bei einer Verbindung beider Platten mit einer Spannungsquelle werden Ladungen (Elektronen) bewegt.
- Die Bewegung der Ladung ist als ein Stromfluss erkennbar.
- Zwischen den geladenen Platten entsteht ein elektrisches Feld  $E$
- Der Betrag der bewegten Ladung entspricht der im Kondensator gespeicherten Ladung.



$$Q = C \cdot U$$

Durch das Anlegen einer Spannung  $U$  nimmt der Kondensator eine Ladung  $Q$  auf.

**$C$  –Kapazität** als  
Proportionalitätskonstante



# Kondensatoren

- Kapazität C: Maß für die Fähigkeit, bei Anlegen einer Spannung Ladungen zu speichern

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

- $[C] = \frac{As}{V} = 1F$  (Farad)  
typisch: pF ...  $\mu F$
- Kapazität abhängig von Geometrie und Dielektrikum



## Plattenkondensator

Für den Plattenkondensator gilt

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

A - Fläche einer Kondensatorplatte

d – Abstand der Kondensatorplatten

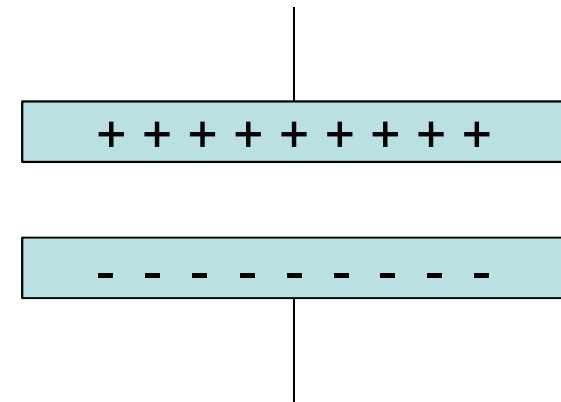
$\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \frac{As}{Vm}$  (Dielektrizitätskonstante)

$\epsilon_r$  - relative Dielektrizitätskonstante des verwendeten Isolators

*Abhängigkeit vom Dielektrikum:  
Siehe Beispiele*

$\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$

Material	Luft	Papier	Porzellan	Glimmer	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	H <sub>2</sub> O(dest.)
$\epsilon_r$	1	4.....6	5....7	5....8	6....9	4	22	80







# Abhängigkeit der Kapazität vom Dielektrikum $\epsilon_r$

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



# Abhängigkeit der Kapazität vom Dielektrikum $\epsilon_r$

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

$$C = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \cdot \frac{A}{d}$$

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



## Beispiel zu Plattenkondensator

Gegeben ist ein Plattenkondensator mit  $A=12\text{cm}^2$  und  $d=6\text{mm}$ . Als Dielektrikum wird Luft mit  $\varepsilon_r=1$  verwendet. Der Kondensator liegt an einer Spannungsquelle mit  $U=12\text{V}$ . ( $\varepsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \frac{\text{As}}{\text{Vm}}$ )

Gesucht ist die Kapazität des Kondensators und die auf ihm vorhandene Ladung!



### **Weiter: Beispiel zu Plattenkondensator**

Nun wird ein Dielektrikum zwischen die Platten eingebracht ( $\epsilon_r=14$ ). Wie groß ist jetzt die gespeicherte Ladung?

Nun wird die Spannungsquelle getrennt und danach das Dielektrikum wieder entfernt. Welche Ladung liegt nun auf den Kondensatorplatten. Welche Spannung kann zwischen den Platten gemessen werden?

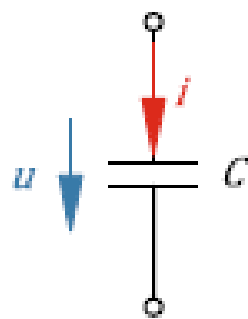
## 4. Elektrisches Feld und Kondensator



ähnliche Übungsaufgabe: Aufgabe 12



# Zusammenhang Strom und Spannung

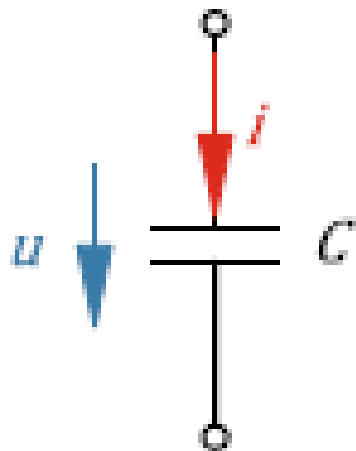


1. Anlegen einer Gleichspannung an einen ungeladenen Kondensator  
(oder Anlegen einer Gleichspannung ungleich der Kondensatorspannung)



# Zusammenhang Strom und Spannung

2. Konstante Gleichspannung über den Kondensatorplatten  
(geladener Kondensator, keine Ladungsänderung)

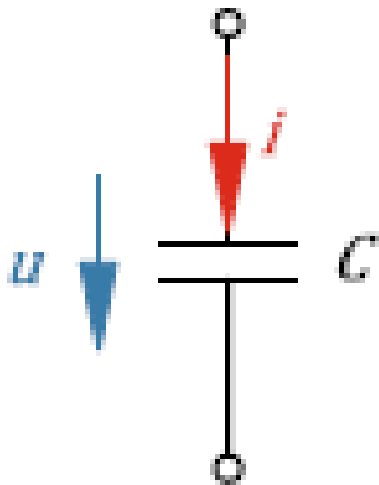




# Zusammenhang Strom und Spannung

Es gilt allgemein:

$$i = \frac{dq}{dt} \quad \text{mit} \quad Q = C \cdot U \quad (\text{am Kondensator})$$



$$i(t) = C \cdot \frac{du(t)}{dt}$$

$$u(t) = \frac{1}{C} \int i(t) dt$$

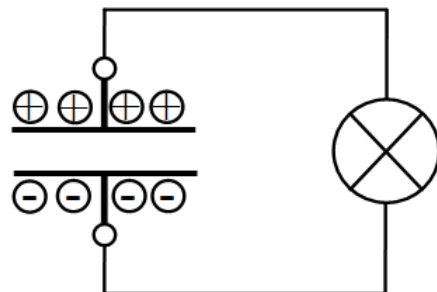
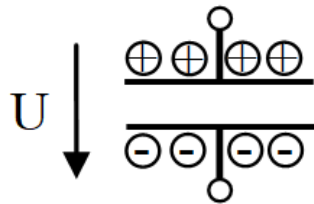
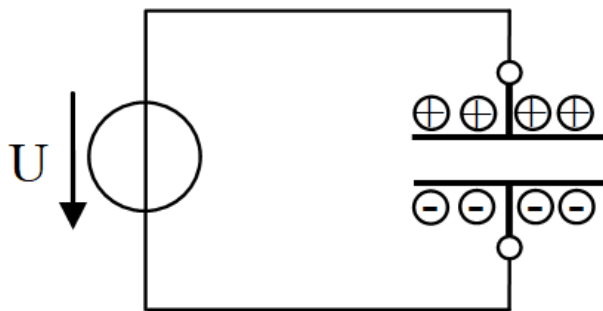
→ nach Ende von Lade-/ Entladevorgängen fließt kein Strom im Kondensatorzweig



# 4. Elektrisches Feld und Kondensator



## Laden eines Kondensators und Verwendung als Spannungsquelle





### **Zusammenfassung:**

**Bestimmung von  $i_c(t)$  bei Angabe eines Verlaufs für die Spannung  $u_c(t)$**

$$i_c(t) = C \cdot \frac{du_c(t)}{dt}$$

### Vorgehen:

1. Einteilen des Verlaufs in „gleichartige Abschnitte“ wie auf nächster Folie (Konstante, lineare Fkt, *sinusförm. Verlauf*)
2. Bestimmung der 1. Ableitung der Spannung  $u_c(t)$  für jeden Abschnitt (0, Konstante, *sinusförm. Verlauf*)
3. Berechnen des Stromes  $i_c(t)$  für jeden Abschnitt durch Multiplikation mit der Kapazität C des Kondensators (0, Konstante, *sinusförm. Verlauf*)

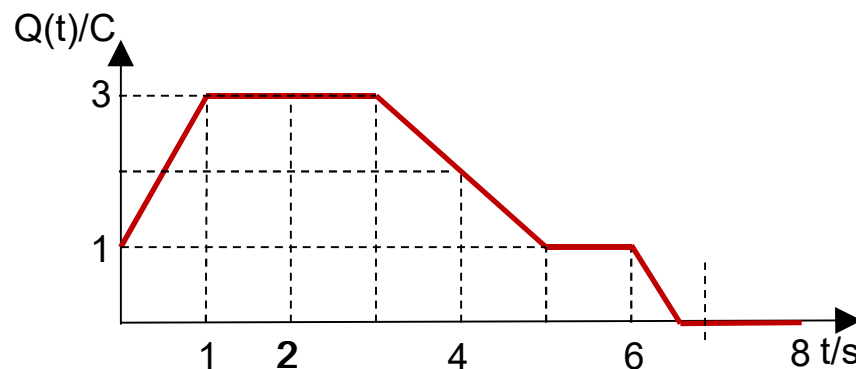
## 4. Elektrisches Feld und Kondensator



An einem Plattenkondensator mit der Kapazität  $C_1 = 50 \text{ nF}$  wurde der folgende zeitliche Verlauf der Spannung gemessen.

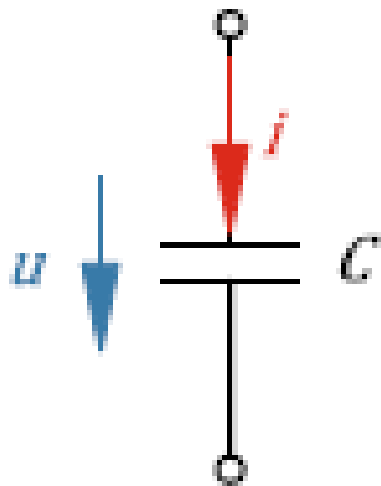
Berechnen Sie hierfür den Stromverlauf  $i(t)$ !

$$i(t) = C \frac{du(t)}{dt}$$





# Kondensatoren und Energie



- Für die Ladungstrennung wird Arbeit aufgewendet (Elektronen bewegen sich).
- Diese Arbeit entspricht der im elektrischen Feld zwischen den Platten gespeicherten Energie.
- Kondensatoren speichern elektrische Energie im elektrischen Feld zwischen den Elektroden (Platten)

$$E_C = W_C = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U_C^2$$



### Durchschlag

- Das elektrische Feld übt auf die nichtbeweglichen (stationären) Ladungsträger (im Isolator) eine Kraft aus.
- Wird diese Kraft zu groß, kommt es zum Durchschlag, d.h. Elektronenübergang durch den Isolator.
- Der Isolator kann dabei zerstört werden.

### Stichworte:

- Lichtbogen
- Funkenschlag
- Blitz



### Durchschlagsfestigkeit

- Elektrische Feldstärke, bei der ein Isolierstoff durchschlägt
- Angegeben i.d.R. in  $kV/mm$

### Typ. Werte:

Luft: 1 kV/mm

Papier: 10 kV/mm

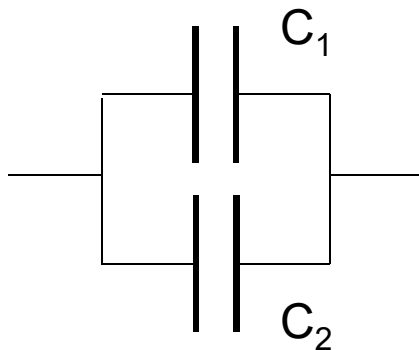
Porzellan: 20kV/mm

Destilliertes Wasser: 65-70 kV/mm



### Parallelschaltung von Kondensatoren

$$Q = C \cdot U$$



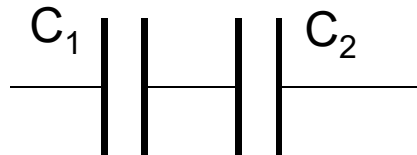
$$Q = Q_1 + Q_2 \quad U = U_1 = U_2$$

Kondensatoren werden parallel geschaltet, um die Kapazität zu erhöhen.  
(Bsp. Drehkondensator)

$$C_{ges} = C_1 + C_2$$



### Reihenschaltung von Kondensatoren $Q = C \cdot U$



$$U = U_1 + U_2 \quad Q = Q_1 = Q_2$$

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

Reihenschaltungen von Kondensatoren verringern die Gesamtkapazität. Sie werden verwendet

- um einen gewünschten Kapazitätswert einzustellen
- um der Gefahr eines Durchschlags bei großen Spannungen zu begegnen (U teilt sich über den Kondensatoren auf)



## 4. Elektrisches Feld und Kondensator



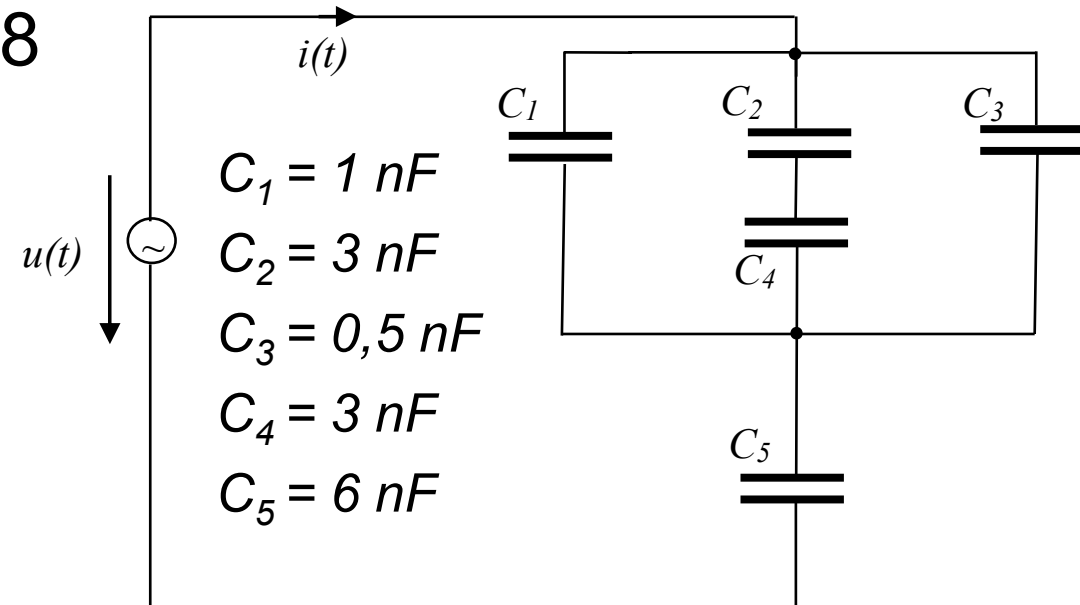
- Aufgabe 14a)

Aufgaben für zuhause zum Üben: A11,  
A13 (Reihen- und Parallelschaltung von Kond.) und A14 b **und alte Klausuraufgaben!**

## 4. Elektrisches Feld und Kondensator



### Aufgabe 3a SoSe2018





## Aufgabe 3c/d SoSe2018

$$i_c(t) = C \cdot \frac{du_c(t)}{dt}$$

- c) Der Spannungsverlauf  $u(t)$  ist in Bild 3 dargestellt.  
Berechnen Sie für  $0\mu s \leq t \leq 14\mu s$  den Strom  $i(t)$  für die gegebene Spannung  $u(t)$ .
- d) Skizzieren Sie den Verlauf von  $i(t)$  im Koordinatensystem auf der nächsten Seite.  
(Denken Sie an die Achsenbeschriftung!)

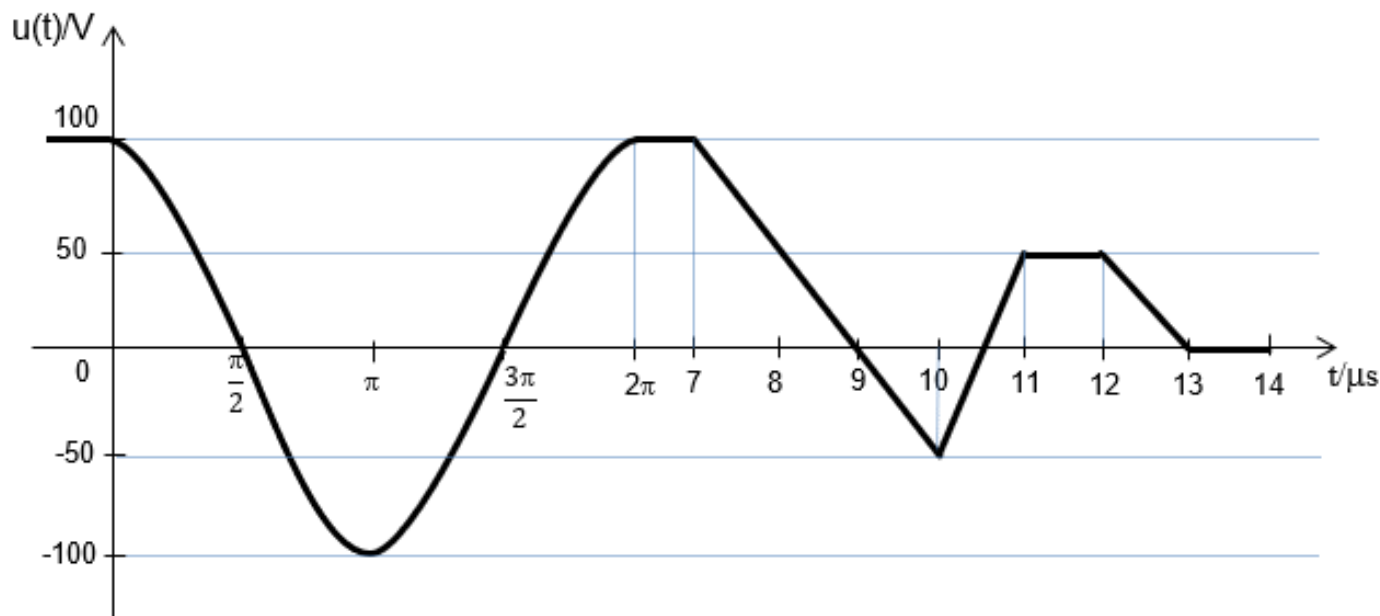
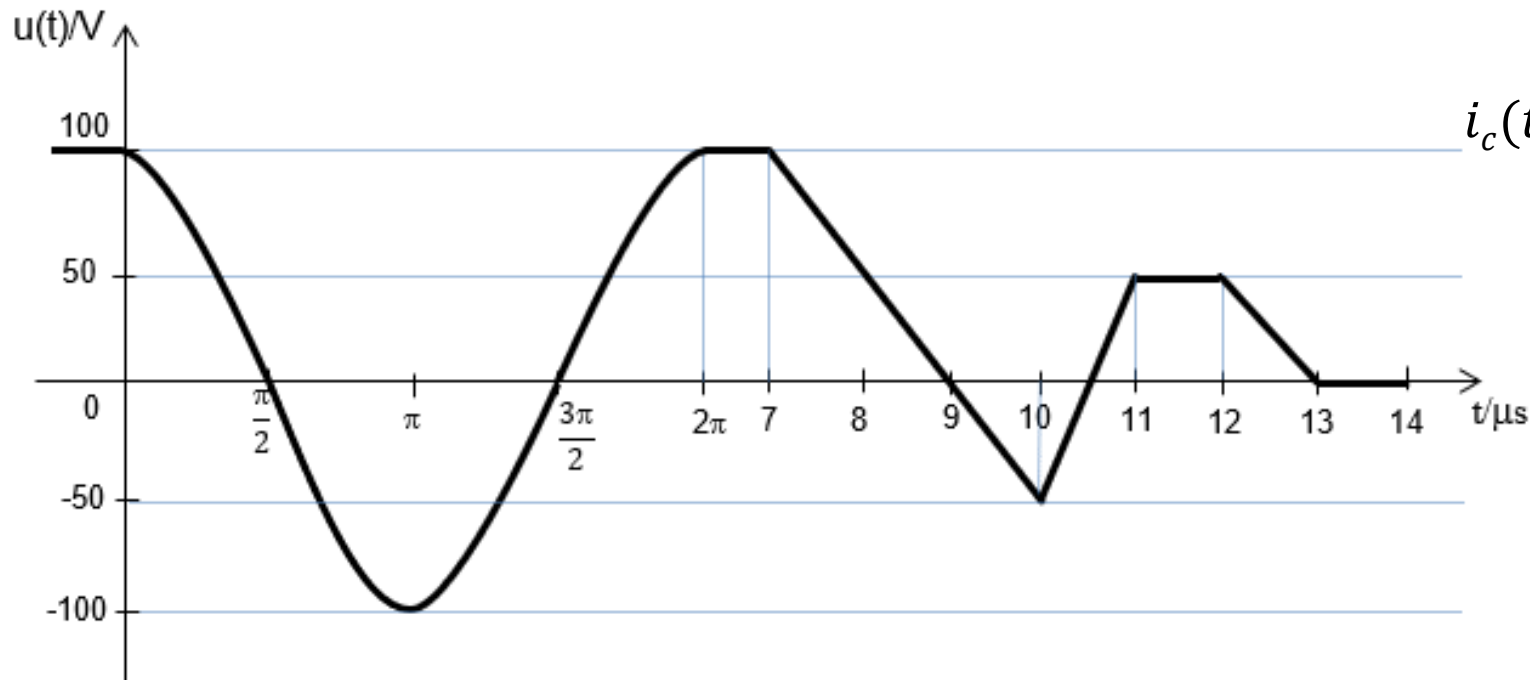


Bild 3: Zeitabhängige Spannung  $u(t)$



# Erweiterung Regeln zur 1. Ableitung von Funktionen: Sinus-Funktionen

## 4. Elektrisches Feld und Kondensator

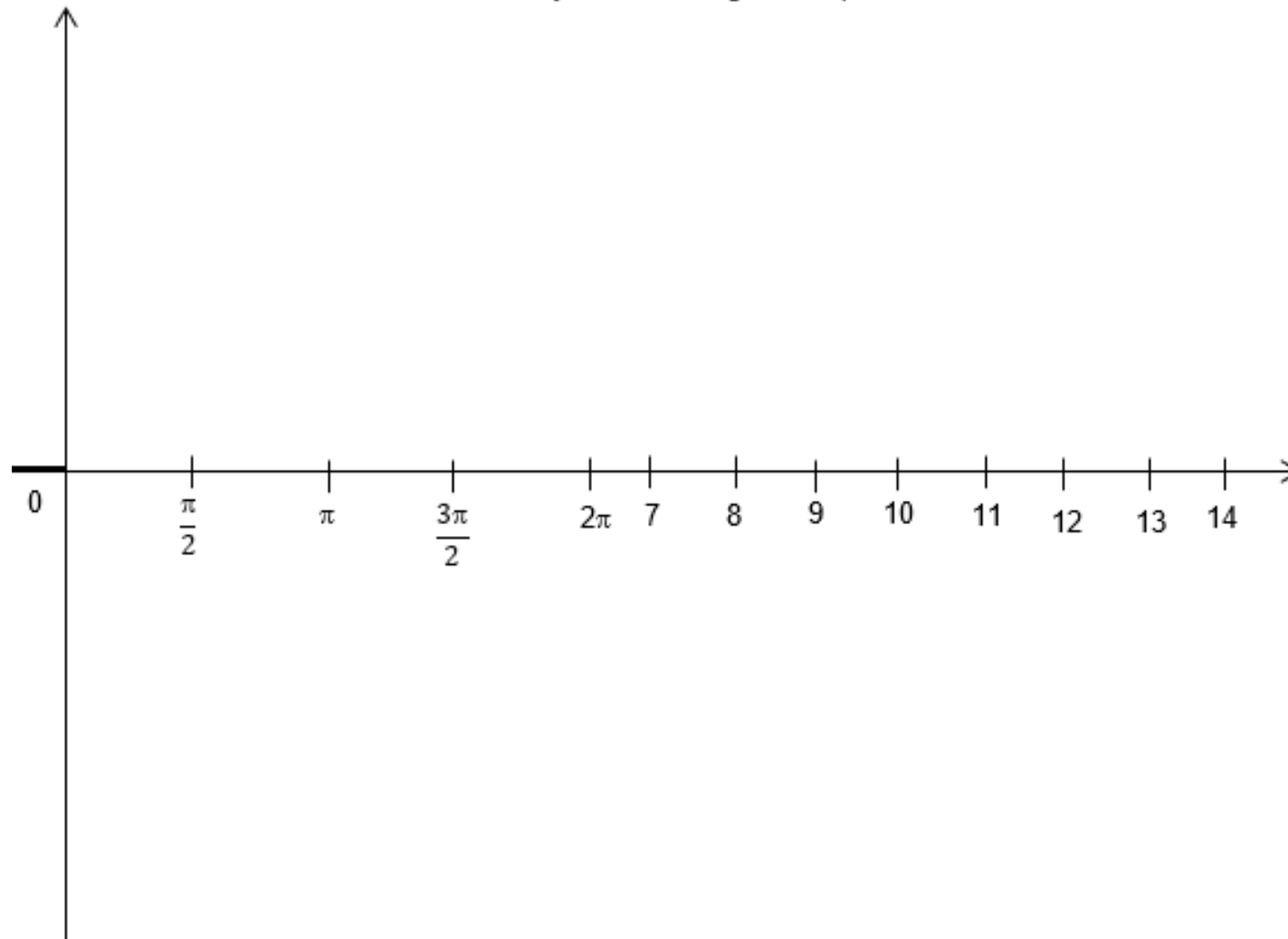


$$i_c(t) = C \cdot \frac{du_c(t)}{dt}$$

$$C_{ges} = 2nF$$



Koordinatensystem für Aufgabe 3 d)



## 4. Elektrisches Feld und Kondensator



Jetzt möglich Aufgabe 16, 17, 18



## Nächste Themen

- Magnetfeld und Spulen
- Halbleiter, Dioden, Transistoren





# Vielen Dank!