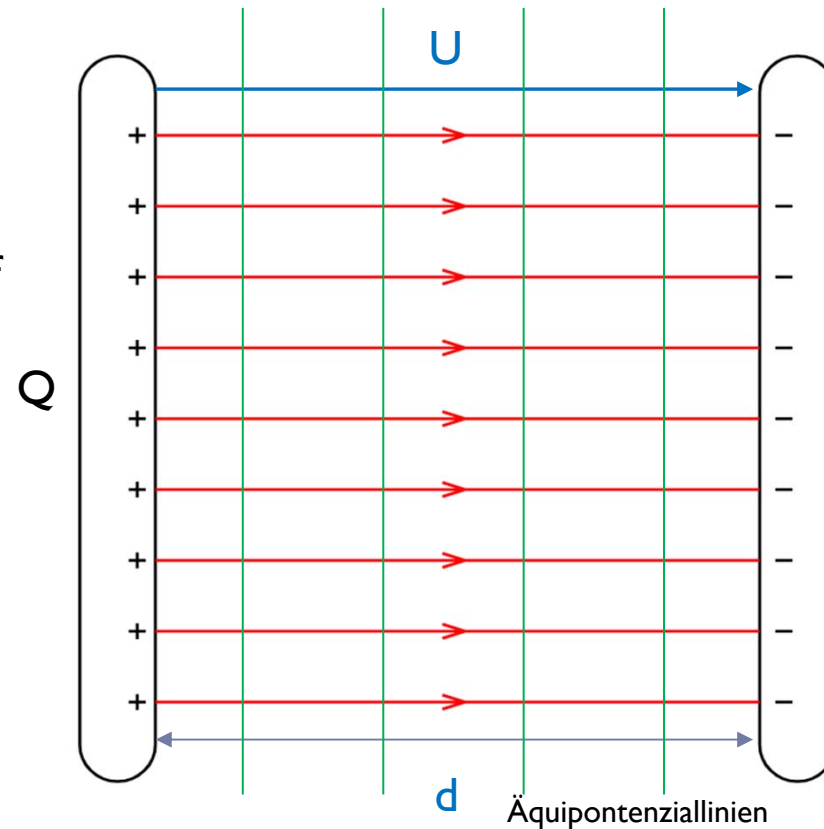


# Grundlagen der Elektrotechnik

## ► Homogenes elektrisches Feld

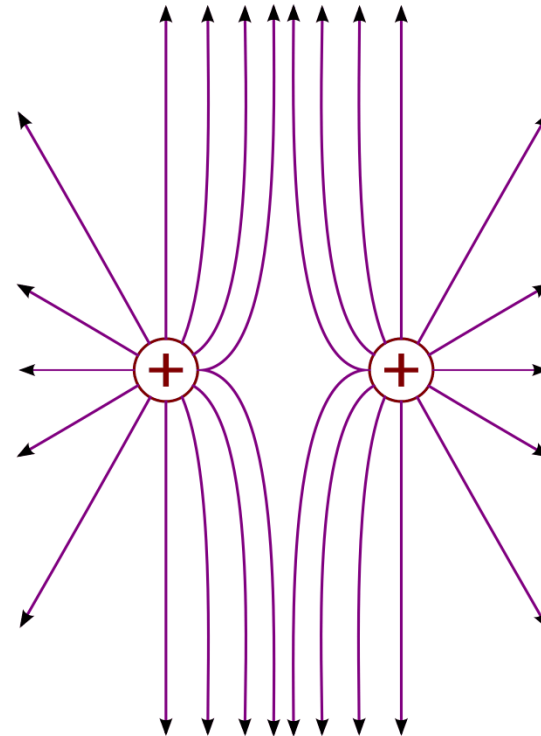
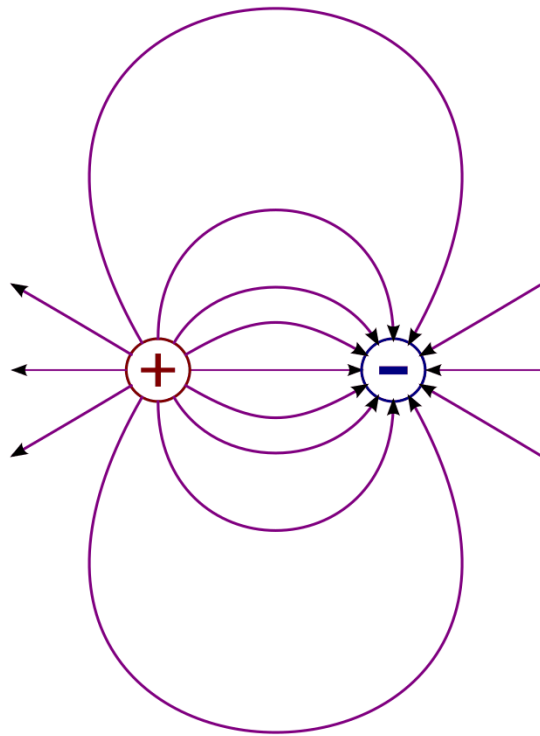
Das elektrische Feld zwischen zwei großen planparallelen Platten, die Ladungen von gleichem Betrag, aber verschiedenem Vorzeichen enthalten, ist annähernd homogen (streng homogen, wenn die Platten unendlich groß sind).

- Die Feldlinien entspringen an **+** und enden an **-**
- Sie stehen normal auf die Aus- bzw. Eintrittsfläche
- Äquipotenziallinien stehen normal auf die Feldlinien und stellen die Linien mit gleichem Potenzial dar



# Grundlagen der Elektrotechnik

- ▶ Feldlinien von unterschiedlichen und gleichen elektrischen Ladungen gleicher Ladungsmenge.



# Grundlagen der Elektrotechnik

## ► Die elektrische Feldstärke $E$ (V/m)

---

Das elektrische Feld lässt sich durch das Vektorfeld der elektrischen Feldstärke  $E$  beschreiben.

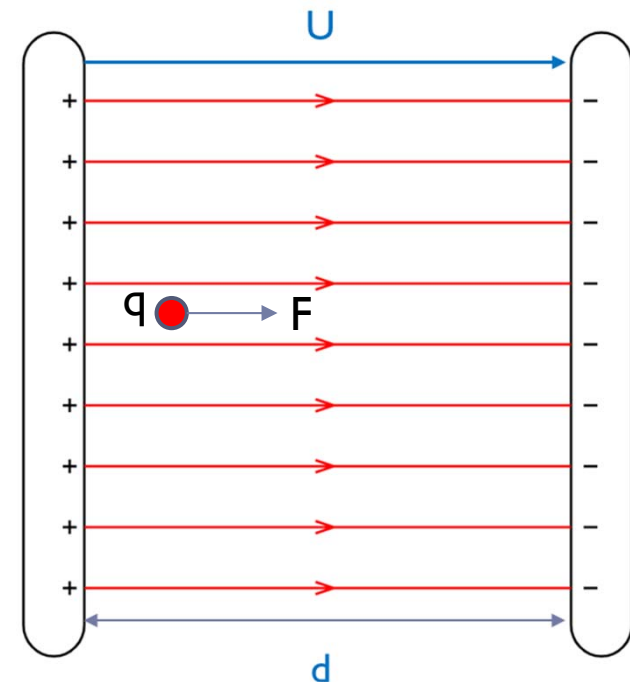
Das Vektorfeld der elektrischen Feldstärke ordnet jedem Punkt im Raum den orts- und zeitabhängigen Vektor  $E$  der elektrischen Feldstärke zu. Die elektrische Feldstärke beschreibt die Kraftwirkung auf Ladungen und lässt sich durch diese Kraftwirkung experimentell bestimmen.

$$E = \frac{U}{d} = \frac{F}{q}$$

Flächenladungsdichte  $\sigma$  (As/m<sup>2</sup>):  $\sigma = \frac{Q}{A}$

Während das elektrische Feld an allen Stellen im Plattenkondensator gleich ist, nimmt die elektrische Spannung im Kondensator von der positiven zur negativen Platte linear auf Null ab.

---



# Grundlagen der Elektrotechnik

## ► Die elektrische Flussdichte $D$ ( $\text{As/m}^2$ )

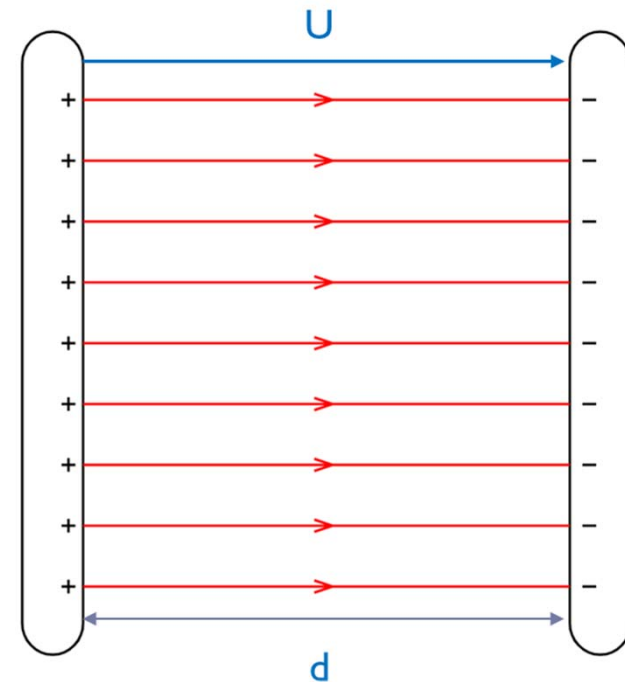
Der Betrag der elektrischen Feldstärke eines Plattenkondensators ist davon abhängig, wie viele zusätzliche Ladungen sich über den Plattenflächen befinden. Das Verhältnis aus der gespeicherten Ladungsmenge  $Q$  und der Plattenfläche  $A$  wird auch als „elektrische Flussdichte“  $D$  bezeichnet.

Für ihren Betrag gilt:

$$D = \frac{Q}{A}$$

Die elektrische Flussdichte  $D$  steht, wie auch die elektrische Feldstärke  $E$  senkrecht zu den Kondensatorplatten. Der Zusammenhang zwischen  $D$  und  $E$  ist:

$$D = \varepsilon_0 * E$$

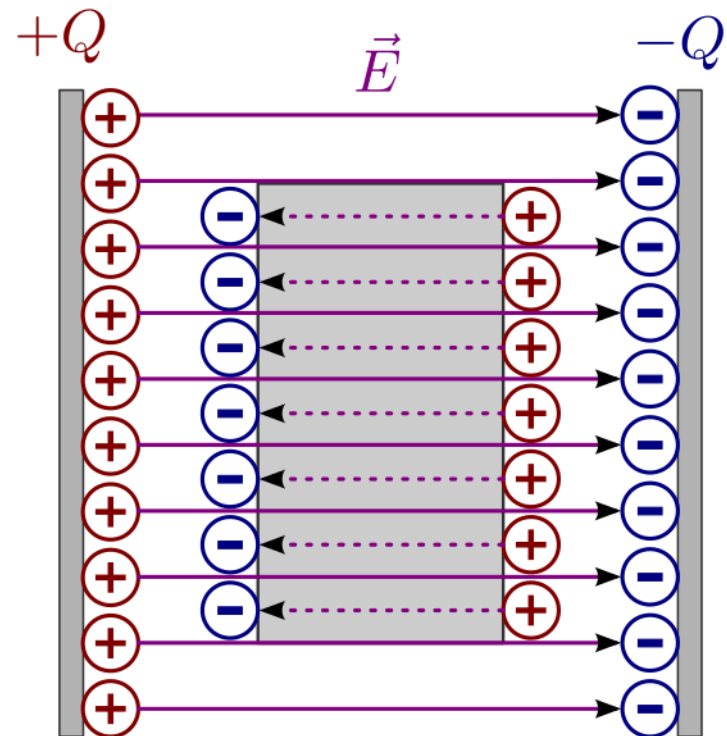


# Grundlagen der Elektrotechnik

## ► Elektrische Influenz und Faradayscher Käfig

In Metallen gibt es stets eine Vielzahl an frei beweglicher Elektronen. Im neutralen Zustand werden die negativen Ladungen der Elektronen durch die positiven Ladungen der Atomrümpfe ausgeglichen. Lädt man ein einzelnes Stück Metall mit weiteren Elektronen auf, so verteilen sich diese ausschließlich entlang der Oberfläche, da die zusätzlichen Elektronen ebenfalls frei beweglich sind und sich gegenseitig abstoßen.

Bringt man ein Stück Metall in ein elektrisches Feld ein, so bewirkt dieses eine Verschiebung der frei beweglichen Elektronen zur positiven Platte hin. An der zur negativen Platte hin orientierten Seite bleiben die positiv geladenen Atomrümpfe übrig. Dieser als „elektrische Influenz“ bezeichnete Effekt hält so lange an, bis sich im Metall durch die Ladungsverschiebung ein gleich starkes, aber entgegengesetzt gerichtetes Feld einstellt.



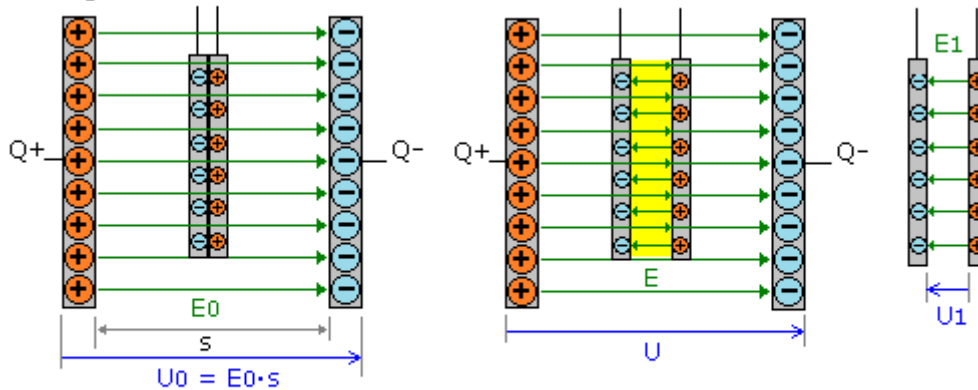
# Grundlagen der Elektrotechnik

## ► Elektrische Influenz und Faraday'scher Käfig

Im Inneren des Metalls überlagern sich das äußere und das induzierte elektrische Feld. Da beide Felder gleich groß, aber entgegengesetzt gerichtet sind, bleibt das Innere des Metalls somit Feld frei. Dies gilt nicht nur massive metallische Körper, sondern auch für metallische Hohlkörper.

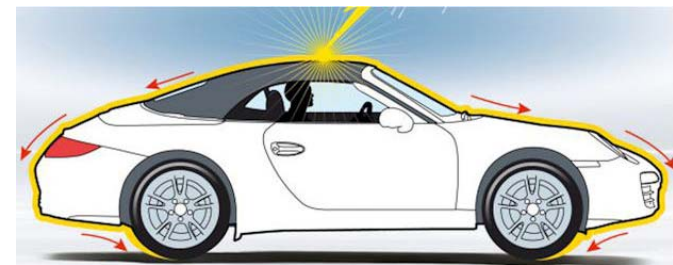
In der Technik stellen beispielsweise Autokarosserien so genannte „Faradaysche Käfige“ dar (benannt nach Michael Faraday), welche die Insassen vor elektrischen Feldern und damit auch vor Stromflüssen, beispielsweise Blitzen, schützen.

homogenes elektrostatisches Feld



Ladungsverschiebung auf den Metallplatten durch Influenz

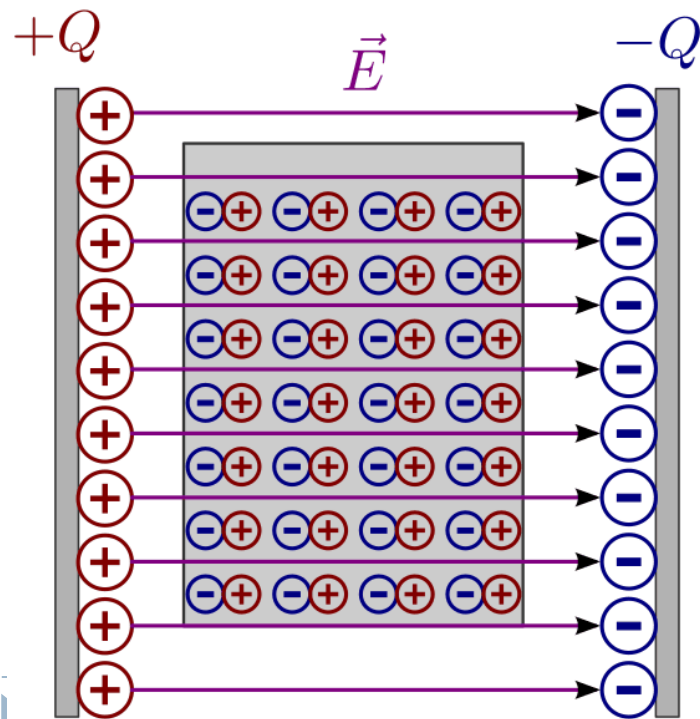
mechanische Trennung der Platten  
E-Feld freier Raum



# Grundlagen der Elektrotechnik

## ► Verschiebungspolarisation und Dielektrikum

Bringt man ein nichtleitendes Material („Dielektrikum“) ohne elektrische Dipole in ein homogenes elektrisches Feld ein, so werden die Ladungsschwerpunkte in allen Atomen leicht verschoben, jeder Atomkern gerät etwas aus dem Zentrum seiner Elektronenhülle. Alle Atome werden somit zu elektrischen Dipolen, auch wenn sie ursprünglich keinen Dipolcharakter besessen haben. Diese Form der Polarisation wird Verschiebungspolarisation genannt.

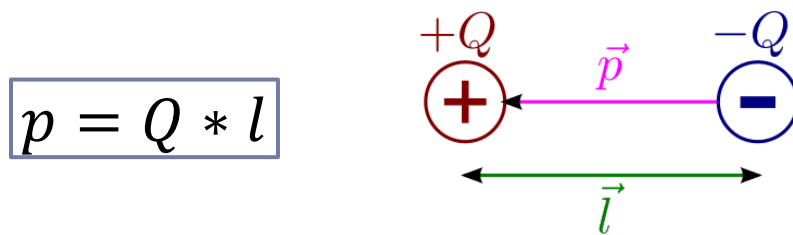


# Grundlagen der Elektrotechnik

## ► Orientierungspolarisation

---

Befinden sich zwei Ladungen mit unterschiedlichem Vorzeichen, aber gleich großer Ladungsmenge  $Q$  im Abstand  $l$  zueinander, so spricht man von einem elektrischen Dipol. Ein solcher Dipol besitzt ein so genanntes Dipolmoment  $p$  das proportional zur Ladungsmenge  $Q$  und zum Abstand  $l$  der Ladungen ist und in Richtung der positiven Ladung zeigt:



$$p = Q * l$$

In der Realität existieren elektrische Dipole in Form von bestimmten Molekülen, die ein permanentes Dipolmoment besitzen, beispielsweise Wasser.

Bringt man einen elektrischen Dipol in ein homogenes elektrisches Feld ein, so richtet er sich parallel zur Feldrichtung aus.

Die Ausrichtung von elektrischen Dipolen durch elektrische Felder wird als Orientierungspolarisation bezeichnet.

---





# Grundlagen der Elektrotechnik

## ▶ Kapazität eines Plattenkondensators C (F)

Die Kapazität eines Plattenkondensators gibt an, wie viel die Ladungsmenge Q ist, die der Kondensator bei einer anliegenden Spannung U insgesamt aufnehmen kann:

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

Bei einem Plattenkondensator ist die Kapazität abhängig von der Fläche A der beiden Kondensatorplatten, von ihrem Abstand d sowie vom Dielektrikum, das sich zwischen den beiden Kondensatorplatten befindet. Handelt es sich beim Dielektrikum um Vakuum oder Luft, so gilt für die Kapazität C des Plattenkondensators:

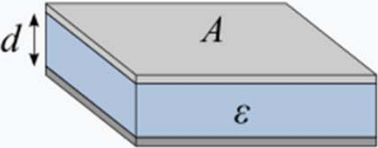
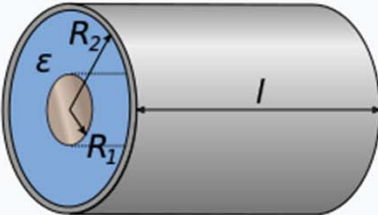
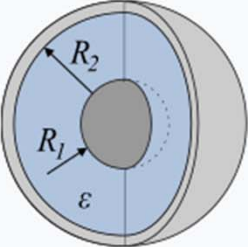
$$C = \epsilon_0 * \epsilon_r * \frac{A}{d}$$

$\epsilon_r$  ist eine Materialkonstante, die als relative Dielektrizitätszahl bezeichnet wird

Material	Dielektrizitätszahl $\epsilon_r$
Erde (feucht)	29
Erde (trocken)	3, 9
Glas	6 bis 8
Glimmer	5, 4
Gummi	3
Glycerin	24, 5
Holz (trocken)	2 bis 3, 5
Luft	1, 00059
Porzellan	2 bis 6
Wasser	80

# Grundlagen der Elektrotechnik

## ► Kapazitätsberechnung von Kondensatoren

Bezeichnung	Kapazität	Elektrisches Feld	Schematische Darstellung
Plattenkondensator	$C = \epsilon_0 \epsilon_r \cdot \frac{A}{d}$	$E = \frac{Q}{\epsilon_0 \epsilon_r A}$	
Zylinderkondensator	$C = 2\pi\epsilon_0\epsilon_r \frac{l}{\ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right)}$	$E(r) = \frac{Q}{2\pi r l \epsilon_0 \epsilon_r}$	
Kugelkondensator	$C = 4\pi\epsilon_0\epsilon_r \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)^{-1}$	$E(r) = \frac{Q}{4\pi r^2 \epsilon_0 \epsilon_r}$	
Kugel	$C = 4\pi\epsilon_0\epsilon_r \cdot R_1$		



# Grundlagen der Elektrotechnik

## ► Elektrische Energie in einem Plattenkondensator

---

Wird in einem Plattenkondensator eine Ladung positive Ladung  $Q$  entgegen der elektrischen Feldlinien bewegt, so muss Arbeit gegen die elektrische Kraft  $F_{el}$  verrichtet werden. Bewegt man die Ladung von der negativen zur positiven Platte, die voneinander den Plattenabstand  $d$  haben, so gilt für die verrichtete Arbeit  $W_{el}$ :

$$W_{el} = F_{el} * d$$

Wird ein Kondensator geladen, so kann man sich die dabei verrichtete elektrische Arbeit als schrittweisen Transport von elektrischer Ladung von einer Kondensatorplatte zur anderen vorstellen – nicht über die Luft zwischen den Kondensatorplatten, aber über die Anschlussdrähte.

Als Folge der Ladungstrennung baut sich im Kondensator zunehmend eine elektrische Spannung auf.

Hat die Spannung zwischen den Kondensatorplatten den Wert  $U$ , so musste während des Ladevorgangs schrittweise Spannungen zwischen Null und  $U$  überwunden werden.

Die durchschnittliche Ladespannung hat also

$$\bar{U} = \frac{U}{2}$$

---



## Grundlagen der Elektrotechnik

### ► Elektrische Energie in einem Plattenkondensator

---

Mit  $F_{el} = Q * E$  und  $E = U/d$  ergibt sich:

$$W_{el} = F_{el} * d = Q * E * d = Q * \frac{\bar{U}}{d} * d$$

$$W_{el} = Q * \bar{U} = Q * \frac{U}{2}$$

Mit  $Q = C * U$  ergibt sich weiter:

$$W_{el} = C * \frac{U^2}{2}$$

Diese Arbeitsmenge bleibt in Form von elektrischer Energie im Kondensator gespeichert.

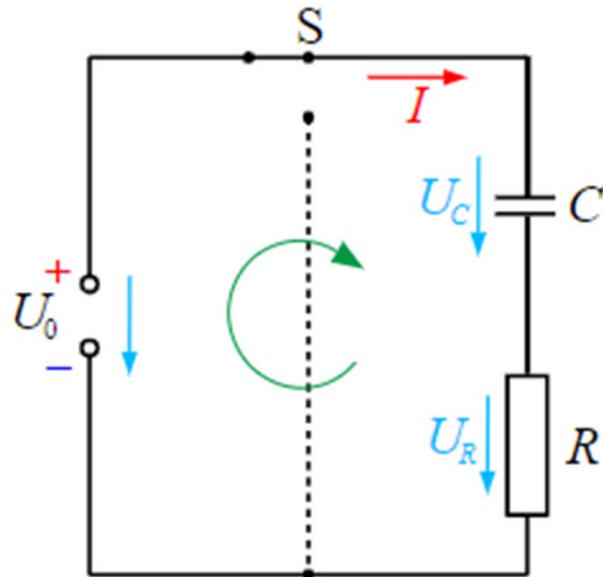
---



## Grundlagen der Elektrotechnik

### ► Kondensator im Gleichstromkreis - Ladevorgang

---



Im Stromkreis befindet sich eine Elektrische Quelle mit der Nennspannung  $U_0$ , ein Umschalter  $S$ , ein Widerstand der Größe  $R$  und ein Kondensator mit der Kapazität  $C$ . Die technische Stromrichtung wird durch den Pfeil verdeutlicht.

Durch Umlegen des Umschalters ("Einschalten") wird der Stromkreis geschlossen und damit der Kondensator aufgeladen, wobei der Stromfluss durch den Widerstand begrenzt wird.

Nach genügend langer Zeit ist der Kondensator aufgeladen und trägt die maximale Ladung  $Q_{\max} = C \cdot |U_0|$ .

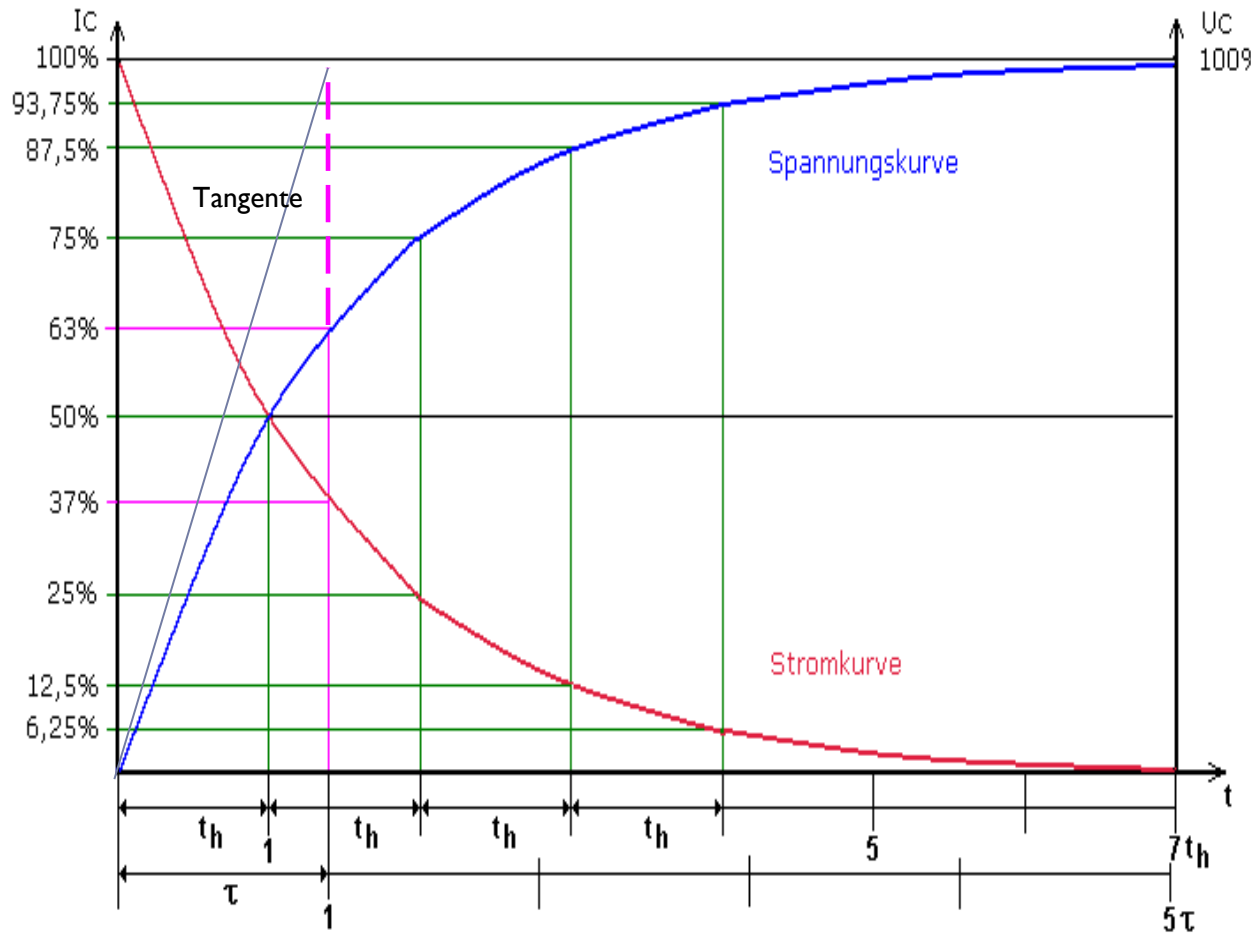
Die Stromrichtung, auf die sich im Folgenden die Darstellung von Stromstärke und Spannungen bezieht, soll nun die gleiche wie beim Einschalten sein, sie wird wieder durch den Pfeil verdeutlicht.

---



# Grundlagen der Elektrotechnik

## ► Kondensator im Gleichstromkreis - Ladekurve



$$\tau = R * C$$

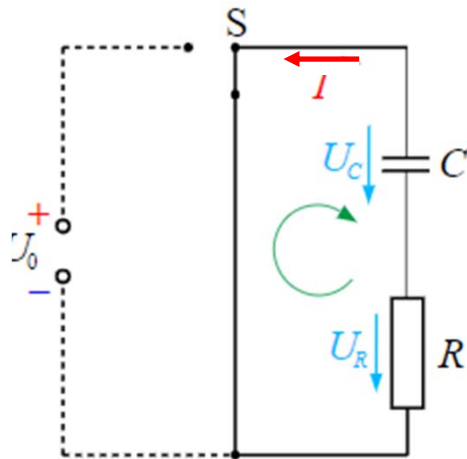
$$U_c = U_0 * (1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$$

$$I_c = I_{cmax} * e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$$I_{cmax} = \frac{U_0}{R}$$

# Grundlagen der Elektrotechnik

## ► Kondensator im Gleichstromkreis - Entladevorgang



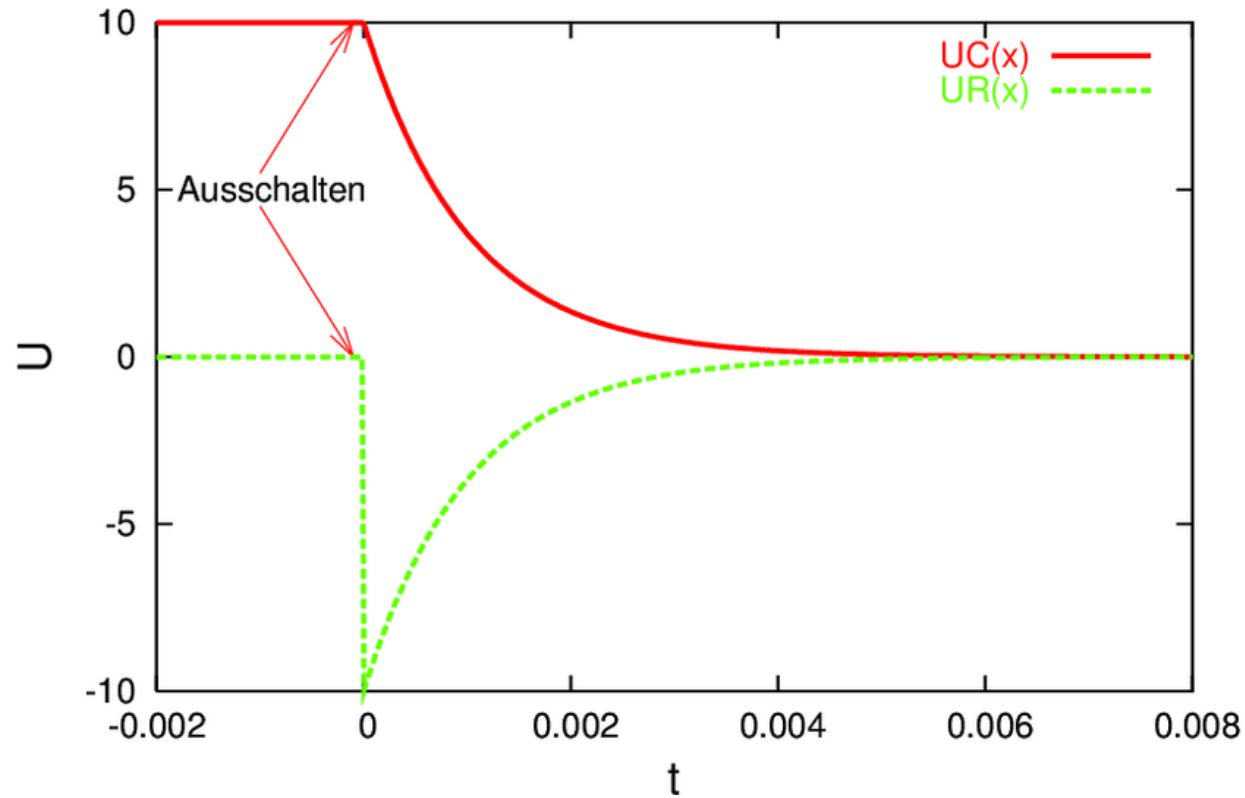
Der Umschalter  $S$  wird nun umgelegt. Dadurch wird die zum Einschalten angeschlossene Elektrische Quelle im gestrichelten Teil des Stromkreises abgetrennt und dafür ein Kurzschluss im Stromkreis hergestellt ("Ausschalten"), so dass der Strom "zusammenbrechen" kann, wobei der Stromfluss wieder durch den Widerstand  $R$  begrenzt wird.

Da der Strom  $I$  im Stromkreis beim Entladen des Kondensators entgegen der beim Aufladen festgelegten Stromrichtung fließt, ist die Stromstärke theoretisch negativ.



# Grundlagen der Elektrotechnik

## ► Kondensator im Gleichstromkreis - Entladekurve



$$\tau = R * C$$

$$U_c = U_0 * e^{\frac{-t}{\tau}}$$

$$I = \frac{-U_0}{R} * -e^{\frac{-t}{\tau}}$$

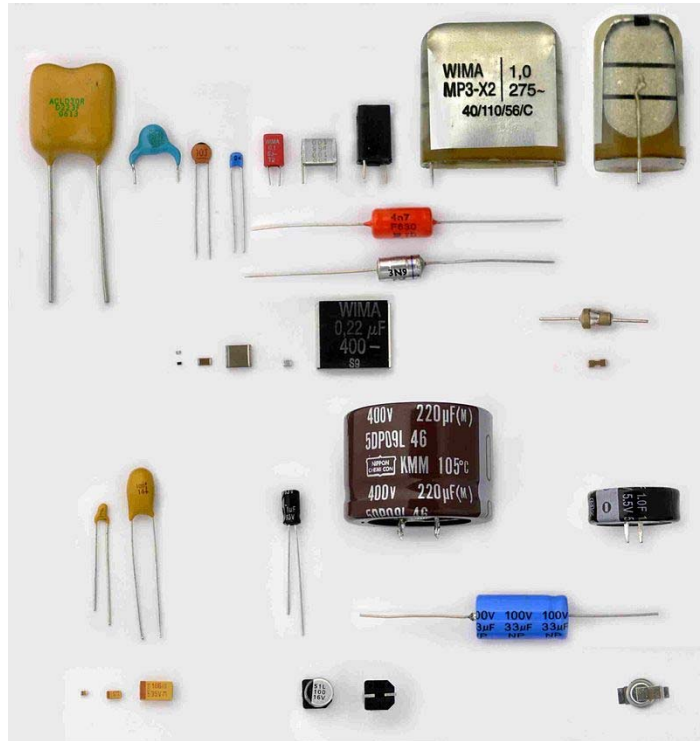
$$U_{Rx} = I * R$$



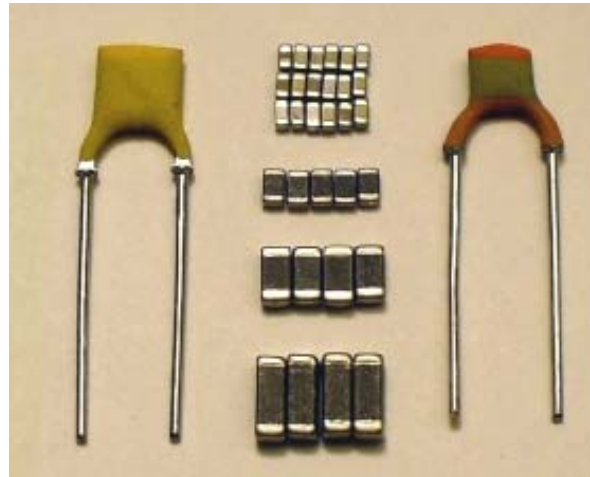


# Grundlagen der Elektrotechnik

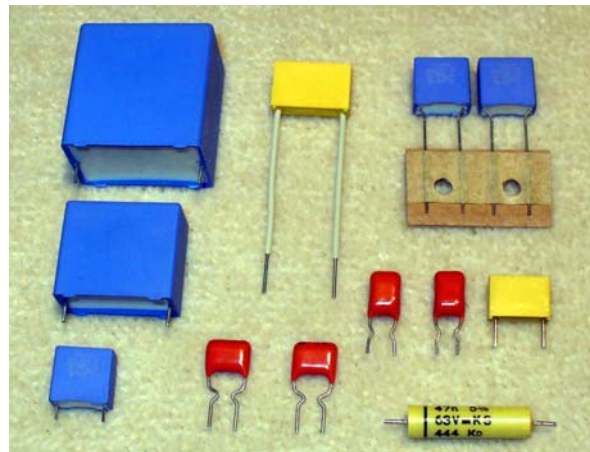
## ► Bauformen Kondensatoren



Verschiedene Kondensatoren zur Montage auf Leiterplatten



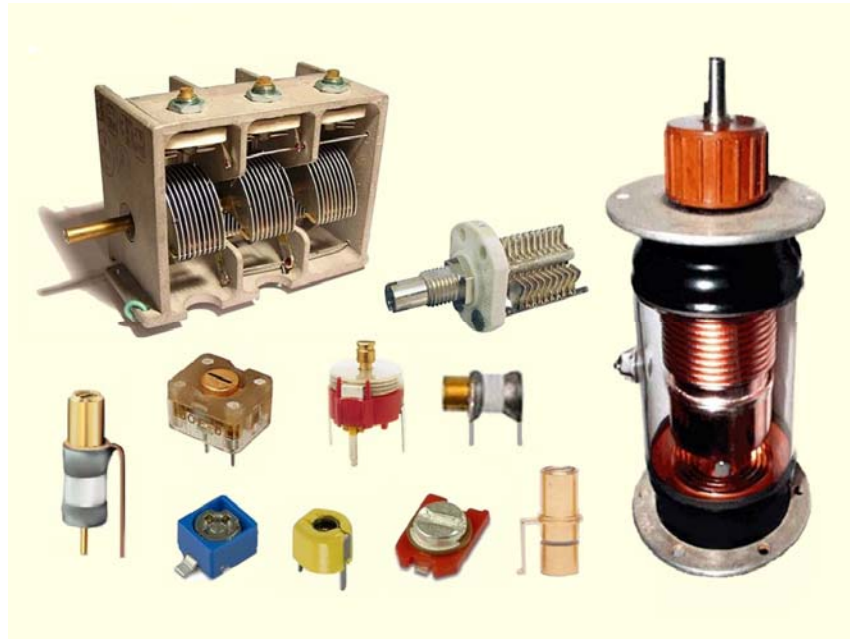
Keramikvielschicht-Chipkondensatoren unterschiedlicher Größe zwischen Keramik-Scheibenkondensatoren



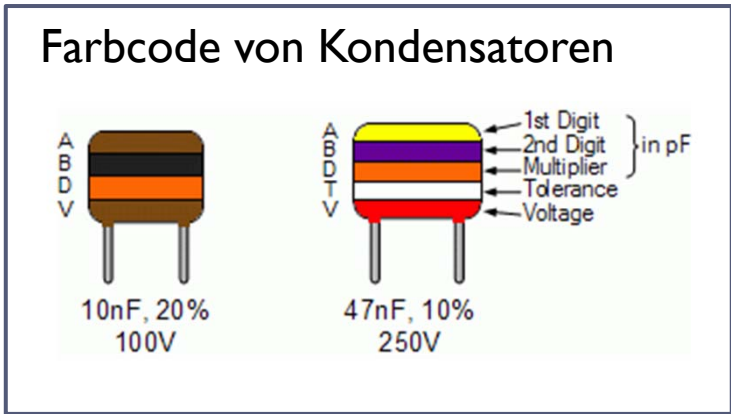
Gebecherte und tauchlackierte Kunststoff-Folienkondensatoren

# Grundlagen der Elektrotechnik

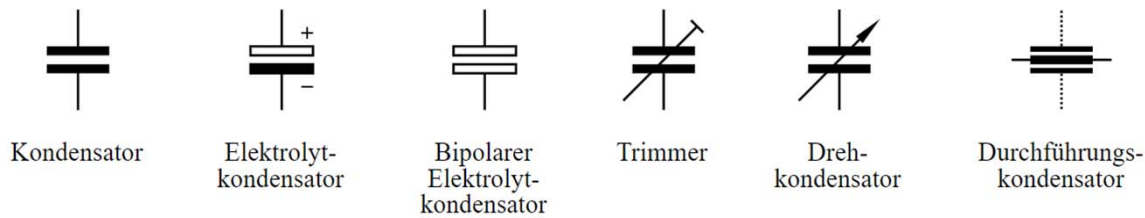
## ► Bauformen Kondensatoren



mechanisch variable Dreh- und Trimmkondensatoren

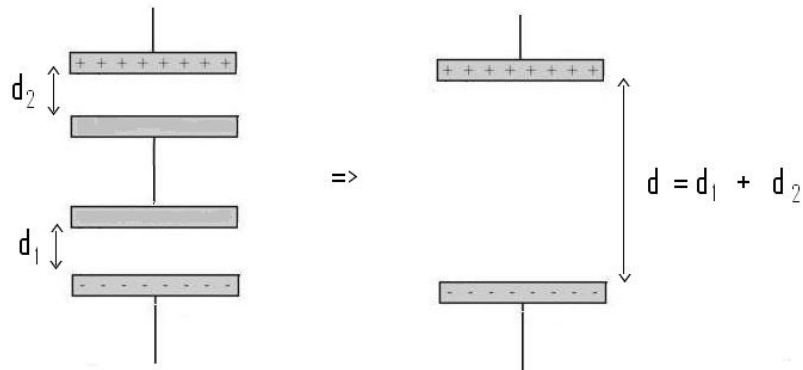


### Schaltzeichen



# Grundlagen der Elektrotechnik

## ► Serienschaltung von Kondensatoren



$$C_1 = \epsilon_0 * \epsilon_r * \frac{A}{d_1}$$

$$C_2 = \epsilon_0 * \epsilon_r * \frac{A}{d_2}$$

$$C_s = \epsilon_0 * \epsilon_r * \frac{A}{d_1 + d_2}$$

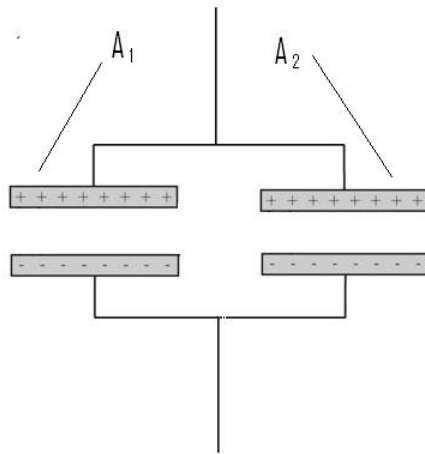
$$\frac{1}{C_s} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} = \frac{C_2 + C_1}{C_1 C_2}$$

$$C_s = \frac{C_1 * C_2}{C_1 + C_2}$$

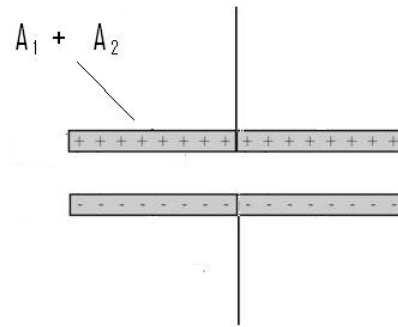


# Grundlagen der Elektrotechnik

## ► Parallelschaltung von Kondensatoren



$$C_p = C_1 + C_2$$



$$C_1 = \epsilon_0 * \epsilon_r * \frac{A_1}{d}$$

$$C_2 = \epsilon_0 * \epsilon_r * \frac{A_2}{d}$$

$$C_p = \epsilon_0 * \epsilon_r * \frac{A_1 + A_2}{d}$$

