

3 Elektrisches Feld

Lernziele: Sie können ...

- ✓ die Eigenschaften elektrischer Feldlinien nennen
- ✓ die elektrischen Feldlinien korrekt einzeichnen
- ✓ die Begriffe Influenz, Polarisisation und Faraday'scher Käfig erklären
- ✓ Berechnungen zum elektrischen Feld fehlerfrei ausführen

3.1 Elektrische Feldlinien

Körper, zwischen denen eine Spannung herrscht, haben immer unterschiedliche Ladungen. Diese Ladungen beeinflussen sich nach dem *Coulomb'schen-Gesetz* gegenseitig:

Coulomb'sches Gesetz

Gleichartige Ladungen stoßen sich ab; ungleichartige ziehen sich an.

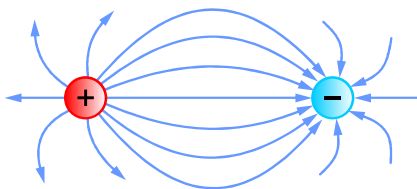


Abb. 37: Ungleiche Ladungen

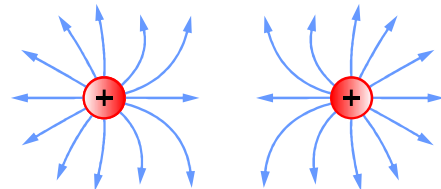


Abb. 38: Gleiche Ladungen

Im Raum zwischen positiv und negativ geladenen Körpern herrscht ein *elektrisches Feld*, das Kräfte auf elektrische Ladungen ausübt.

Elektrisches Feld

Ein elektrisches Feld (kurz: E-Feld) ist ein Raum, in dem auf geladene Körper Kräfte ausgeübt werden.

Ein geladenes Teilchen bewegt sich im elektrischen Feld entlang einer Linie. Solche Linien in Richtung der auftretenden Kräfte nennt man *elektrische Feldlinien*.

Die Stärke und Richtung des elektrischen Feldes lässt sich somit durch Feldlinien veranschaulichen. Für die elektrischen Feldlinien ist ein Richtungssinn festgelegt; dieser wird durch Pfeile dargestellt.

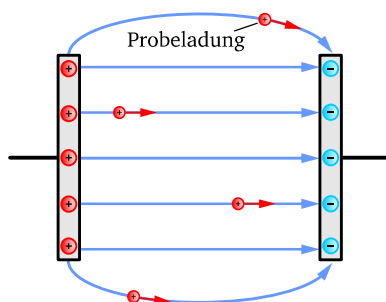


Abb. 39: Probeladung im E-Feld

Die Feldlinien zeigen in Richtung der Kraft, die auf eine *positive* Probeladung wirkt.

Diese Probeladung ist dabei so klein, dass sie das äussere Feld nicht beeinflusst.

Elektrische Feldlinien können gut sichtbar gemacht werden. Dazu werden zum Beispiel Kunststoffstaub oder Griesskörner zwischen geladene Elektroden gebracht.

Das elektrische Feld wird durch sogenannte Kraftlinien dargestellt. Diese sind aber nicht zu verwechseln mit den magnetischen Feldlinien. Man hat folgende Vereinbarungen getroffen:

Elektrische Feldlinien

- Sie beginnen auf positiven und enden bei negativen Ladungen.
- Sie stehen immer senkrecht zur Leiteroberfläche.
- Sie kreuzen und berühren sich nie.
- Je dichter die Feldlinien sind, desto stärker ist das elektrische Feld.

3.1.1 Homogene und inhomogene Feldlinienbilder

Das elektrische Feldlinienbild ist von der Form der geladenen Körper abhängig. Ein elektrisches Feld wird als *homogen* (gleichmässig) bezeichnet, wenn die Feldlinien parallel verlaufen und einen gleichmässigen Abstand aufweisen.

Zwischen den Platten eines Kondensators entsteht ein homogenes Feld.

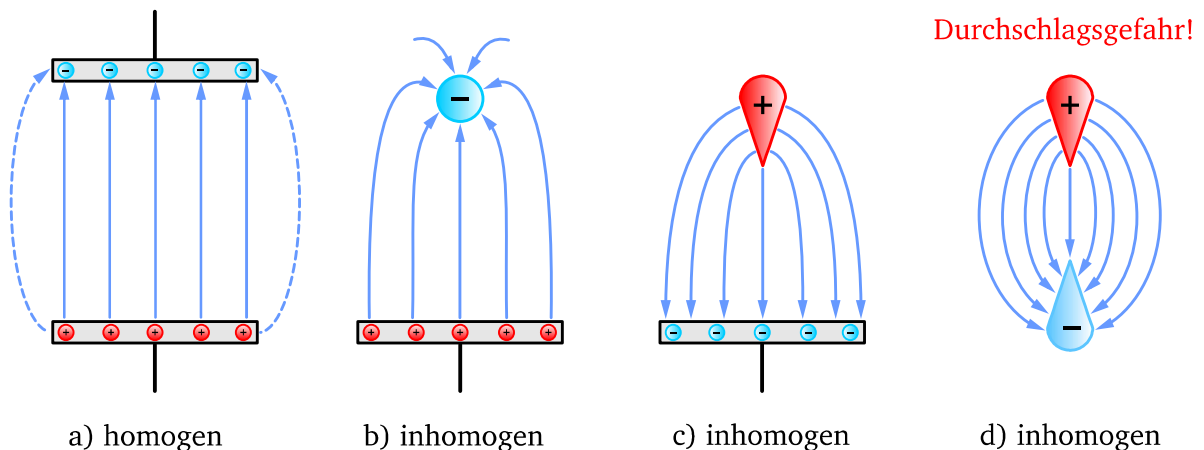
Häufig verlaufen die Feldlinien nicht parallel, das Feld ist dann *inhomogen*.

Weisen die geladenen Körper scharfe Kanten oder Spitzen auf, liegen dort die Feldlinien am nächsten beieinander, d.h. die Feldstärke ist dort am grössten. Da elektrische Durchschläge immer an der Stelle mit der höchsten elektrischen Feldstärke erfolgen, sind bei spannungsführenden Teilen Kanten und Spitzen zu vermeiden.

Bei normaler Umgebungsluft kommt es ab etwa 3000 V/mm Abstand zum Durchschlag.

Übung

- ① Zeichnen Sie bei den untenstehenden Beispielen einige elektrische Feldlinien ein.



Fangstangen beim äusseren Blitzschutz nützen bewusst aus, dass elektrische Durchschläge vor allem bei Kanten und Spitzen erfolgen. Die Stangen sollen den Blitzschlag auf sich ziehen und müssen deshalb so angeordnet sein, dass die Entladung immer leichter nach der Fangstange als nach irgend einem anderen Teil des Gebäudes hingehet. Die Stange leitet dann die Energie des Blitzes kontrolliert über die Ableitungsanlage zur Erde ab.

Bei heftigem Gewitter auf freiem Feld sollte der Regenschirm niemals offen sein. Denn Blitze schlagen immer an der höchsten Stelle ein.

3.1.2 Influenz

Bringt man einen metallischen Körper in ein elektrisches Feld, so werden die freien Elektronen sich auf diejenige Seite hin bewegen, welche der äusseren positiven Ladung näher ist.

Damit ergibt sich innerhalb des Metalls auf der einen Seite eine höhere Dichte negativer Ladungsträger als auf der anderen Seite. Die Oberfläche des leitenden Körpers wird dadurch aufgeladen.

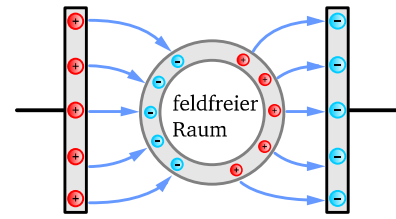


Abb. 40: Influenz im Metallring

Influenz

Ladungsverschiebung durch ein E-Feld wird als **Influenz** bezeichnet.

Der Innenraum des leitenden Körpers ist jedoch feldfrei. Man nennt einen solchen Raum einen *Faraday'schen Käfig*.

Faraday'scher Käfig

Ein faraday'scher Käfig ist ein Raum, der im Innern frei von elektrischen Feldern ist.

Die Influenz wird bei Metallen benutzt, um eine Abschirmung elektrischer Felder zu erreichen. Zur Abschirmung werden z.B. Kupfer oder Aluminium in Form von Blechen, Gittern oder Geflechten verwendet. Durch die Abschirmung können unerwünschte Störfelder von Kabeln, Messwerken und Schaltungen ferngehalten werden.

3.1.3 Polarisation

Isolierstoffe haben fast keine freien Elektronen. In Isolierstoffen werden deshalb die Ladungen durch ein elektrisches Feld nicht getrennt wie bei metallischen Teilen, sondern nur geringfügig verschoben oder ausgerichtet. Diesen Vorgang nennt man *Polarisation*.

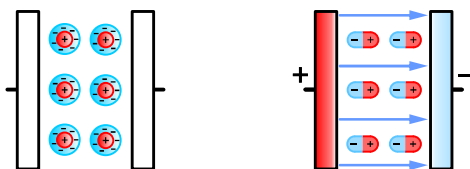


Abb. 41: Verschiebungspolarisation

Bei der *Verschiebungspolarisation* sind die Moleküle des Isolators erst elektrisch neutral. Durch den Einfluss des E-Feldes werden diese polarisiert und ausgerichtet.

Man bezeichnet solche Moleküle als Dipole.

Die Verschiebungspolarisation beeinflusst die Kapazität und die Verluste von Kondensatoren.

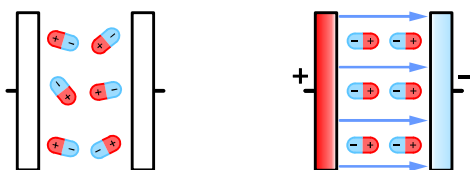


Abb. 42: Orientierungspolarisation

Bei der *Orientierungspolarisation* haben die Moleküle (z.B. Wasser) bereits ohne E-Feld Dipolcharakter. Allerdings sind diese Dipole völlig willkürlich angeordnet. Unter dem Einfluss des äusseren E-Feldes werden diese ausgerichtet.

Die Orientierungspolarisation wird beim Kochen mit einem Mikrowellenherd ausgenutzt.

3.2 Elektrische Feldstärke

Eine an einem Faden aufgehängte Aluminiumkugel wird zwischen zwei Metallplatten eines Experimentierkondensators gebracht. Die beiden Metallplatten werden an Hochspannung angeschlossen. Was können Sie feststellen?

Die Aluminiumkugel pendelt zwischen den Metallplatten hin und her.

Die Kugel wird zunächst an der Platte 1 positiv geladen, dann von der gleichnamigen Ladung abgestossen und zugleich von der negativen Platte 2 angezogen. An dieser Platte 2 wird die Kugel umgeladen und erneut abgestossen. Der Vorgang wiederholt sich, solange eine Spannung anliegt.

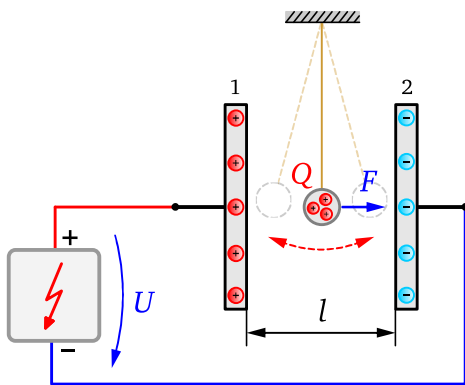


Abb. 43: Kraftwirkung im elektrischen Feld

Bringt man eine elektrische Ladung in ein elektrisches Feld, so wirkt eine Kraft auf die Ladung. Diese Kraft F ist umso grösser, je grösser die Ladung Q und auch je grösser die elektrische Feldstärke E ist. Es gilt:

$$F = Q \cdot E$$

Wir stellen die Formel um, damit sich die magnetische Feldstärke E errechnen lässt:

Elektrische Feldstärke

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

[E]	elektrische Feldstärke ...	$\frac{V}{m}$
[F]	Kraft auf Ladung	N
[Q]	elektrische Ladung	As

Wenn keine Spannung an die Platten angelegt wird, entsteht auch kein elektrisches Feld und damit auch keine Kraftwirkung auf die Kugel. Die Kugel wird nicht abgelenkt.

Ursache

Elektrische Felder entstehen, sobald eine elektrische Spannung anliegt.

Übung

1 Zeigen Sie mittels Einheitengleichung, dass das elektrische Feld die Masseinheit V/m hat.

$$[E] = \frac{N}{As} = \frac{N \cdot m}{As \cdot m} = \frac{W \cdot s}{As \cdot m} = \frac{V \cdot A \cdot s}{As \cdot m} = \frac{V \cdot \cancel{A} \cdot s}{\cancel{A} \cdot s \cdot m} = \frac{V}{m}$$

3.2.1 Elektrische Feldstärke im Kondensator

Weil die Feldstärke im Kondensator homogen ist, lässt sich diese einfach bestimmen. Die elektrische Feldstärke ist dann um so grösser, je grösser die Spannung U und je kleiner der Plattenabstand l ist. Beim homogenen Feld gilt folgender Zusammenhang:

Elektrische Feldstärke im Kondensator

$$E = \frac{U}{l}$$

$$[E] = \frac{\text{V}}{\text{m}}$$

$[E]$	elektrische Feldstärke ...	$\frac{\text{V}}{\text{m}}$
$[U]$	Spannung	V
$[l]$	Plattenabstand	m

 Übung

- ❶ Zwei grossflächige, parallele Platten eines Kondensators liegen an einer Spannung von 1.5 kV und sind 2 mm voneinander entfernt.
- Wie gross ist die elektrische Feldstärke E zwischen den Platten?
 - Bei welcher Spannung muss mit einem Durchschlag gerechnet werden, wenn die maximal zulässige Feldstärke in Luft $E = 3000 \text{ V/mm}$ beträgt?

$$\text{a) } E = \frac{U}{l} = \frac{1500 \text{ V}}{0.002 \text{ m}} = \underline{\underline{750\,000 \frac{\text{V}}{\text{m}}}} = \underline{\underline{750 \frac{\text{kV}}{\text{m}}}}$$

$$\text{b) } U = E \cdot l = 3000 \frac{\text{V}}{\text{mm}} \cdot 2 \text{ mm} = \underline{\underline{6000 \text{ V}}}$$

- ❷ Zwischen zwei im Abstand $l = 10 \text{ cm}$ entfernten Kondensatorplatten liegt eine Spannung $U = 4 \text{ kV}$ an. Ein metallisierter Tischtennisball wird an einem langen Faden genau in die Mitte zwischen die Kondensatorplatten gebracht.

Welche Ladung Q muss auf den Tischtennisball aufgebracht werden, damit dieser mit einer Kraft $F = 0.12 \text{ N}$ in Richtung positiv geladener Kondensatorplatte abgelenkt wird?

$$E = \frac{U}{l} = \frac{4000 \text{ V}}{0.1 \text{ m}} = \underline{\underline{40\,000 \frac{\text{V}}{\text{m}}}} = \underline{\underline{40 \frac{\text{kV}}{\text{m}}}}$$

$$Q = \frac{F}{E} = \frac{0.12 \text{ N}}{40\,000 \frac{\text{V}}{\text{m}}} = \frac{0.12 \text{ V} \cdot \text{A} \cdot \text{s} \cdot \text{m}}{\text{m} \cdot 40\,000 \text{ V}} = \frac{0.12 \text{ V} \cdot \text{A} \cdot \text{s} \cdot \text{m}}{\text{m} \cdot 40\,000 \text{ V}} = \underline{\underline{3 \cdot 10^{-6} \text{ As}}}$$

(negative Ladung)

$$\text{Hinweis: } 1 \text{ N} = 1 \frac{\text{Nm}}{\text{m}} = 1 \frac{\text{Ws}}{\text{m}} = 1 \frac{\text{V} \cdot \text{A} \cdot \text{s}}{\text{m}}$$