

11.3 Elektrische Feldstärke

Hat man eine Ladung Q und bringt in deren Nähe eine zweite Ladung q so erfährt die zweite Ladung eine abstoßende bzw. anziehende Kraft F_C . Da diese Kraft an jeder Stelle in einer Umgebung der Ladung Q wirkt nennt man deshalb den Raum, in dem die Coulombkraft einer Ladung wirksam ist, das elektrische Feld der Ladung Q .

Das Vorhandensein einer Ladung Q „bewirkt“ somit ein elektrisches Feld. Die Ladung q in der Nähe der Ladung Q spielt für das elektrische Feld der Ladung Q keine Rolle (falls $q \ll Q$). Vielmehr ist die Ladung q nur von Bedeutung wenn es um die wirkenden Kräfte zwischen den beiden Ladungen geht.

Da nun die Ladung q keine Rolle für das elektrische Feld spielt muss es aber eine feldbeschreibende, von q unabhängige, Größe geben.

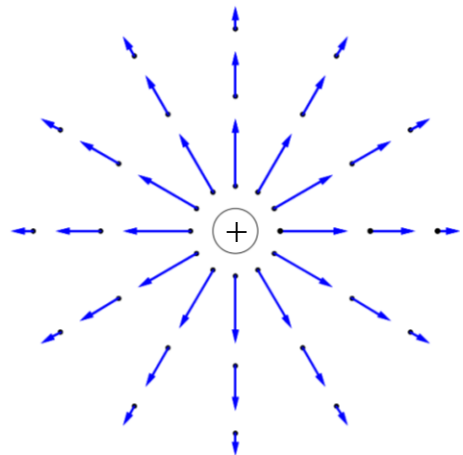
Die elektrische Feldstärke E beschreibt das elektrische Feld einer Ladung Q , für sie gilt:

$$E = \frac{F_C}{q} = \frac{\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q \cdot q}{r^2}}{q} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{r^2}$$

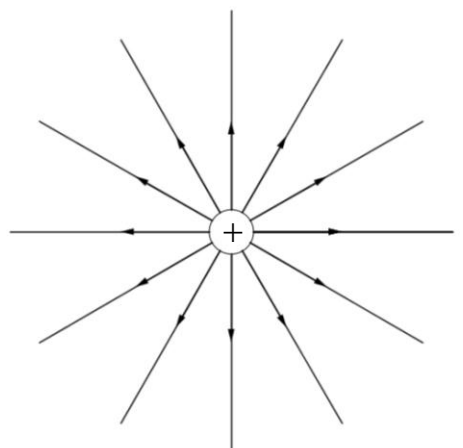
Die elektrische Feldstärke ist eigentlich ein Vektor der in Richtung der Coulombkraft zeigt falls eine (positive) Ladung q vorhanden wäre.

Es gilt: $[E] = 1 \frac{N}{C}$

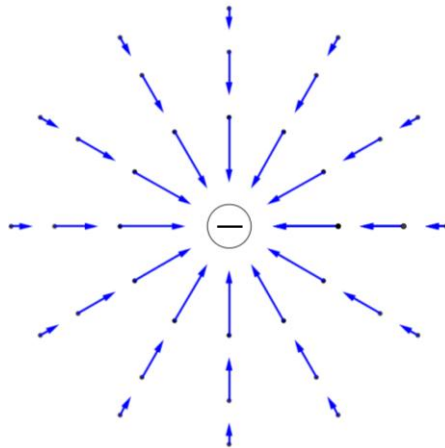
Das elektrische Feld einer Ladung Q kann nun graphisch durch die Angabe von Vektorpfeilen an verschiedenen Punkten im Raum veranschaulicht werden. Die Probeladung q ist dabei stets positiv. D.h. dass die positive Ladung q von der ebenfalls positiven Ladung Q abgestoßen wird. Somit zeigt der Feldstärkevektor von der positiven Ladung Q weg. Das gilt für alle Richtungen in der Umgebung einer (kugelförmigen) Ladung Q



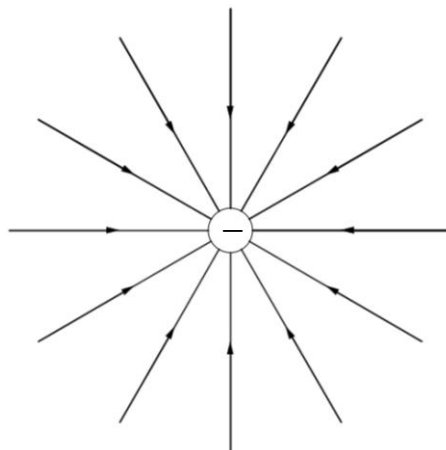
Auf diese Art und Weise erhält man ein Bild von Linien entlang welcher sich eine (positive) Probeladung q bewegen würde. Man nennt dieses Bild auch Feldlinienbild der positiven Ladung Q .



Bei einer negativen Ladung Q sieht das dann so aus:



Feldlinienbild der negativen Ladung Q :

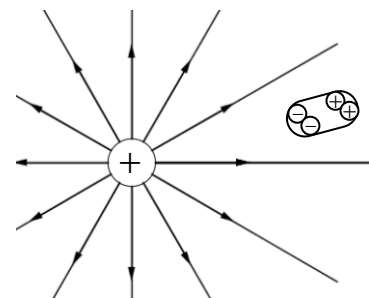


11.4 Influenz

Bringt man einen elektrisch neutralen metallischen Körper in ein elektrisches Feld so werden von der positiven felderzeugenden Ladung die beweglichen Leitungselektronen angezogen. Diese sammeln sich an der der Ladung Q zugewandten Seite. An der entgegengesetzten Seite herrscht nun Elektronenmangel, diese ist somit positiv geladen. Die Feldlinien der felderzeugenden Ladung Q enden z. T. auf dem Körper, und die Feldkräfte halten die getrennten Ladungen an der Oberfläche des Leiters gebunden.

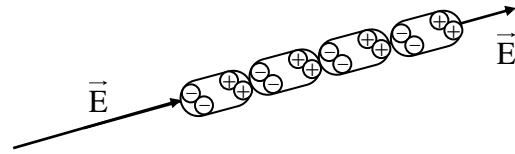
Diesen geschilderten Vorgang der Ladungstrennung in einem elektrischen Feld bezeichnet man als elektrische Influenz.

Entfernt man den Körper aus dem Feldbereich so verteilen sich die Ladungen wieder in der ursprünglichen Weise. Die Wirkung der Influenz ist also nur vorübergehend, solange der Feldeinfluss besteht.

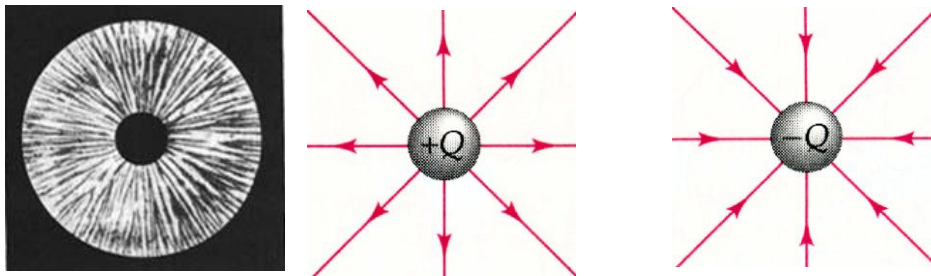


11.5 Feldlinienbilder

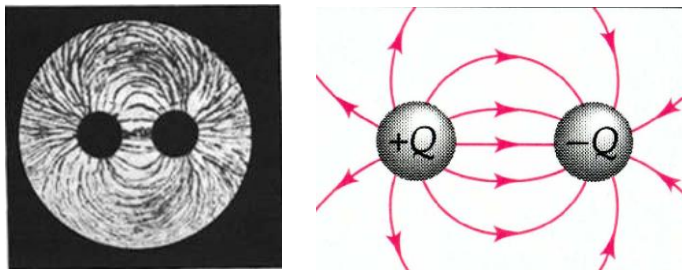
Um die Feldlinienbilder verschiedener Ladungsverteilungen zu veranschaulichen verteilt man gleichmäßig Grießkörner in einer Schale mit Rizinusöl. Setzt man nun verschieden geformte Elektroden in die Schale ein und lädt sie mit einer Hochspannungsquelle auf, so reihen sich die Grießkörner auf Grund der elektrischen Influenz mit ihren entgegengesetzt geladenen Enden kettenförmig aneinander. Somit lassen sich die Feldlinien verschiedener Ladungen sichtbar machen.



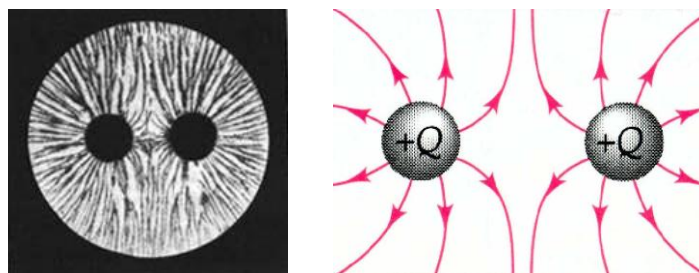
1. Elektrisches Feld einer punktförmigen Ladung



2. Elektrisches Feld zweier ungleich geladener Kugeln



3. Elektrisches Feld zweier gleich geladener Kugeln

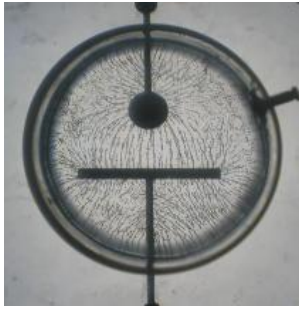


4. Elektrisches Feld zweier ungleich geladener planparalleler Platten (Plattenkondensator)

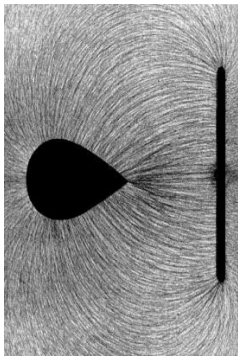


Da hier die Feldlinien parallel verlaufen spricht man hier auch von einem homogenen elektrischen Feld. Für die elektrische Feldstärke gilt: $E = \text{konst.}$

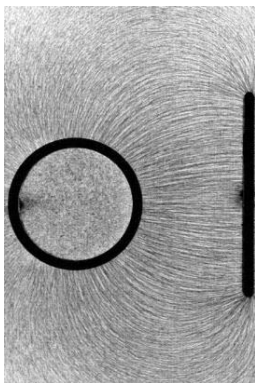
5. Elektrisches Feld einer positiv geladener Metallkugel mit geerdeter Metallplatte



6. Elektrisches Feld zwischen einer geladenen Spitze und einer entgegengesetzt geladenen Metallplatte



7. Elektrisches Feld zwischen einem geladenen Ring und einer entgegengesetzt geladenen Metallplatte



Zusammenfassung:

- Die betrachteten Felder sind elektrostatische Felder (Ladungen ruhen).
- Die Feldlinien beginnen auf der positiven und enden auf der negativen Ladung (willkürliche Festlegung), sie haben also Anfang und Ende.
- Die positiven Ladungen werden als Quellen, die negativen als Senken des elektrostatischen Feldes bezeichnet. Da es keine geschlossenen Feldlinien gibt, wird das elektrostatische Feld als wirbelfreies Feld bezeichnet.
- Die Feldlinien sind gedachte Linien, welche die Richtung der wirkenden Kräfte auf eine ins Feld gebrachte Probeladung angeben.

- Positive Ladungen bewegen sich in Richtung der Feldlinien, negative Ladungen bewegen sich der Feldlinienrichtung entgegen.
- Je dichter die Feldlinien in einem Gebiet verlaufen, desto stärker ist dort die Kraftwirkung.
- Feldlinien schneiden sich nicht.
- Die Feldlinien beginnen und enden senkrecht auf der Leiteroberfläche
- Das Innere eines Leiters ist feldfrei (Abschirmung – Faraday-Käfig).

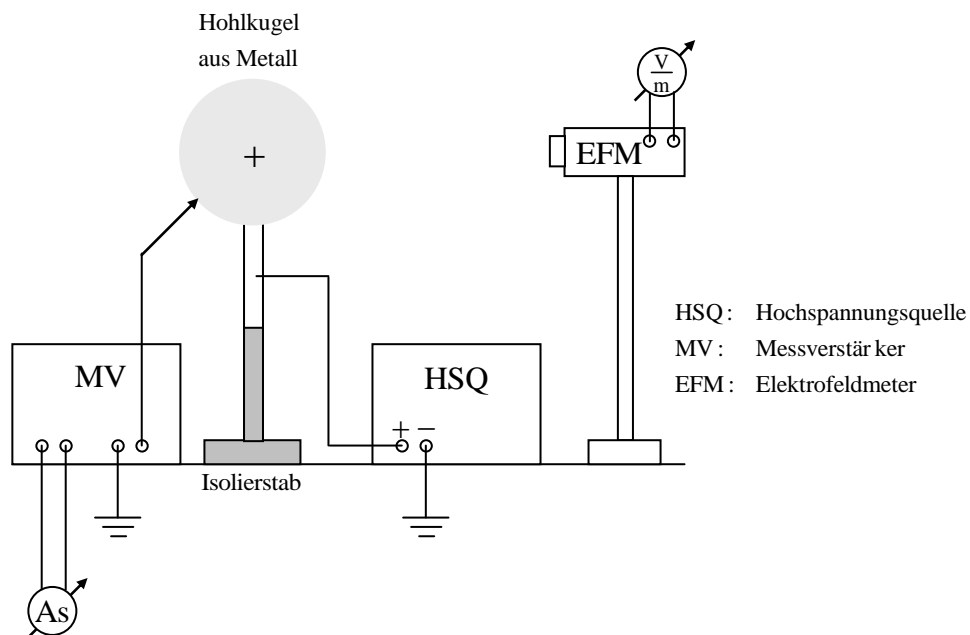
11.6 Experimentelle Untersuchung des elektrischen Feldes einer radialsymmetrischen Ladung

Wie wir bereits gesehen haben gilt für die elektrische Feldstärke E

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{r^2}$$

In einem Versuch soll nun die Abhängigkeit des Betrages E der elektrischen Feldstärke von der Ladung Q einer Hohlkugel (felderzeugende Ladung) und von der Entfernung r vom Kugelmittelpunkt untersucht werden. (vgl. AP 2007 AII)

Versuchsaufbau:



Versuchsbeschreibung:

Auf eine Hohlkugel mit dem Radius R wird über eine Hochspannungsquelle (HSQ) eine Ladungsmenge Q aufgebracht. Die Ladung Q erzeugt im Außenraum der Hohlkugel ein radialsymmetrisches elektrisches Feld. Mit Hilfe eines Elektrofeldmeters wird die elektrische Feldstärke E im Abstand r vom Mittelpunkt ($r > R$) der Hohlkugel direkt gemessen.

Der Betrag der Ladung Q kann nach erfolgter Messung über einen Messverstärker (MV) ermittelt werden.

Versuchsdurchführung:

Bei der Durchführung des Versuchs erhält man die folgenden Messergebnisse:

Messung Nr.	1	2	3	4	5	6	7
Q in 10^{-9} As	15,0	15,0	15,0	15,0	7,5	3,8	1,9
r in cm	10,0	12,0	16,0	20,0	12,0	12,0	12,0
E in $\frac{kV}{m}$	13,5	9,4	5,3	3,4	4,5	2,3	1,3

Versuchsauswertung: (angelehnt an die AP 2007 AII Aufgaben 1.1 – 1.2.4)

- Geben Sie die Nummern derjenigen Messungen an, in denen die Abhängigkeit des Betrages E der elektrischen Feldstärke von der Ladung Q untersucht wird. Ermitteln Sie rechnerisch wie E von Q abhängt.
- Ermitteln Sie durch graphische Auswertung der Messreihe, wie E von r abhängt.
- Geben Sie den Zusammenhang zwischen E und r in Form einer Gleichung an und bestimmen Sie die dabei auftretende Konstante k aus dem Diagramm von Teilaufgabe b).
- Bestimmen Sie nun mit Hilfe der Konstanten k die elektrische Feldstärke ϵ_0 .

Aufgaben:

- Die elektrische Feldstärke eines Plattenkondensators beträgt $E = 7,5 \cdot 10^4 \frac{N}{C}$, der Plattenabstand beträgt $d = 5,0 \text{ cm}$.
- Bestimmen Sie die Kraft die eine Ladung von $q = 7,5 \cdot 10^{-9} \text{ C}$ im elektrischen Feld des Kondensators erfährt.
- Berechnen Sie die Arbeit die nötig ist, um die Ladung von einer Platte zur anderen zu befördern.
- Ein Plattenkondensator ist so aufgestellt, dass die Feldlinien vertikal von oben nach unten verlaufen. Die elektrische Feldstärke beträgt $E = 4,5 \cdot 10^4 \frac{N}{C}$.
In den Feldraum des Kondensators bringt man eine kleine geladene Kugel, dessen Masse genau $m = 0,025 \text{ g}$ beträgt. Berechnen Sie die Ladung der Kugel, wenn diese schwebt. Welche Ladung trägt die Kugel?
- Eine Hohlkugel mit dem Radius $R = 3,0 \text{ cm}$ trägt die Ladung Q. In einer Entfernung von $r_1 = 53,0 \text{ cm}$ vom Kugelmittelpunkt wird eine elektrische Feldstärke $E_1 = 170 \frac{N}{C}$ gemessen.
- Berechnen Sie den Betrag der Ladung Q.
- Berechnen Sie welche elektrische Feldstärke E_2 in einer Entfernung $r_2 = 110 \text{ cm}$ gemessen werden kann.
- Begründen Sie inwiefern sich die elektrische Feldstärke ändern würde, wenn die Kugel mit der Ladung Q den Radius $R = 5,0 \text{ cm}$ haben würde?