

Messung der Feldstärke einer geladenen Kugel vor einer leitenden Platte (Bildladung)

Versuchsziele

- Bestimmung der elektrischen Feldstärke E in Abhängigkeit von der angelegten Spannung U
- Bestimmung der elektrischen Feldstärke E in Abhängigkeit vom Abstand r zwischen Kugel und Platte

Grundlagen

Bringt man eine geladene Kugel vor eine leitende Platte, so wird an der Oberfläche der Platte eine Influenzladung erzeugt, die das äußere Feld im Inneren der leitenden Platte abschirmt. Der Feldverlauf vor der Platte entspricht dann gerade dem Fall, als würde sich anstelle der Platte eine entgegengesetzt geladene Kugel im doppelten Abstand befinden (Abb. 1). Ladung und Feld erscheinen an der Oberfläche der leitenden Platte gespiegelt; daher spricht man von Spiegel- oder Bildladungen.

Im Versuch wird die elektrische Feldstärke in der Symmetrieachse an der Oberfläche der Platte im Abstand r zur Kugel bestimmt. Es gilt:

$$E = \frac{2Q}{4\pi\epsilon_0 \cdot r^2} \quad (I)$$

Die leitende Platte bzw. die Spiegelladung führt gerade zu einer Verdoppelung der Feldstärke im Vergleich zu einer frei stehenden Kugel.

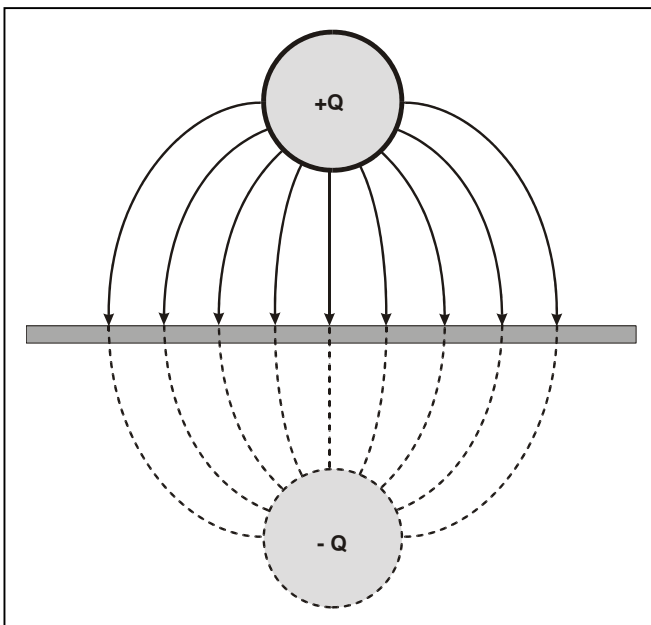


Abb. 1: Feldverlauf zwischen einer geladenen Kugel und einer leitenden Platte mit Bildladung



Abb. 2: Versuchsaufbau

Die Ladung Q auf einer Kugel mit Radius a ergibt sich bei angelegter Spannung U aus: $Q = C \cdot U = 4\pi\epsilon_0 \cdot a \cdot U$. Einsetzen in Gleichung (I) ergibt die elektrische Feldstärke in Abhängigkeit von der angelegten Spannung:

$$E = \frac{2a \cdot U}{r^2} \quad (II)$$

Im Experiment wird zunächst die Abhängigkeit der elektrischen Feldstärke E von der angelegten Spannung U untersucht. Hierzu wird für einen festen Abstand r zwischen Kugelmitte und Plattenoberfläche die Spannung an der Kugel erhöht und jeweils die elektrische Feldstärke gemessen. Anschließend wird die Abstandsabhängigkeit untersucht. Dabei wird die Spannung an der Kugel festgehalten, der Abstand zwischen Kugel und Platte schrittweise vergrößert und jeweils die elektrische Feldstärke bestimmt. Die Messergebnisse werden mit den Werten verglichen, die sich aus Gleichung (II) ergeben.

Geräte

| | |
|-----------------------------------------------------|---------|
| 1 Kugel mit Anschlusskabel | 543 08 |
| 1 Elektrofeldmeter S..... | 524 080 |
| 1 Zubehör zum Elektrofeldmeter S..... | 540 540 |
| 1 Universelles Messinstrument P..... | 531 835 |
| 1 Hochspannungsnetzgerät 10 kV | 521 70 |
| 2 Sockel | 300 11 |
| 1 Holzmaßstab, L = 1m / 39 Zoll..... | 311 03 |
| oder | |
| 2 Optikreiter mit Muffe 45/35..... | 460 312 |
| 1 Optische Bank S1 Profil, 50 cm | 460 317 |
| 1 Sicherheits-Experimentierkabel, 10 cm, gb/gr..... | 500 600 |
| 1 Sicherheits-Experimentierkabel, 100 cm, rot..... | 500 641 |
| 1 Sicherheits-Experimentierkabel, 100 cm, blau | 500 642 |

Hinweis:

Zur Durchführung dieses Experiments können alternativ zum Universellen Messinstruments P eingesetzt werden:

- 1 Mobile CASSY (524 009)
- oder
- 1 Sensor-CASSY (524 010USB) + CASSY Lab (524 200)) / CASSY-Display (524 020)
- oder
- 1 Pocket CASSY (524 009) + CASSY Lab (524 200)

Aufbau

Der Versuchsaufbau ist in Abb. 2 gezeigt. Für den Aufbau sind folgende Schritte nötig:

- Die Kugel mit Anschlusskabel in einem Sockel befestigen.
- Die durchbohrte Kondensatorplatte auf das Elektrofeldmeter S schieben und das Elektrofeldmeter ebenfalls in einem Sockel befestigen.
- Die Kugel und das Elektrofeldmeter auf den Holzmaßstab setzen und die Kondensatorplatte senkrecht zum Holzmaßstab ausrichten.
- **Den linken Minuspol des Hochspannungsnetzgeräts 10 kV erden und mit der Erdungsbuchse auf der Rückseite des Elektrofeldmeters verbinden.**
- Den linken Pluspol des Hochspannungsnetzgeräts 10 kV an die Kugel mit Anschlusskabel anschließen.
- Das Elektrofeldmeter mit dem Universellen Messinstrument P verbinden.

Hinweis:

Metallische Gegenstände (z.B. Hochspannungsnetzgerät, Universelles Messinstrument P) möglichst weit entfernt von der Kugel aufstellen, damit das Potential und das elektrische Feld um die geladene Kugel möglichst wenig gestört werden.

Achtung

Es ist unbedingt auf eine korrekte Masseführung bzw. Erdung des Elektrofeldmeter S zu achten. Da typischerweise in Verbindung mit Hochspannung gemessen wird, darf das Elektrofeldmeter S nie ohne Verbindung der rückseitigen 4 mm Buchse mit der Versuchsmasse betrieben werden.

Sollte keine korrekte Erdung vorliegen, so kann die an das Elektrofeldmeter S angeschlossene Peripherie (z.B. Messgerät oder Sensor-CASSY) beschädigt werden!

Durchführung

a) Messung in Abhängigkeit von der angelegten Spannung

- Den Abstand $r = 20$ cm zwischen Kugelmittelpunkt und Elektrofeldmeter einstellen. Darauf achten, dass sich die Mitte des Elektrofeldmeters gerade auf Höhe des Kugelmittelpunktes befindet.
- Die Spannung an der Kugel schrittweise auf 5,0 kV erhöhen und den Wert der elektrischen Feldstärke E ablesen. Anschließend Spannung auf Null zurückdrehen.
- Den Abstand auf $r = 40$ cm erhöhen und den Versuch wiederholen.

b) Messung in Abhängigkeit vom Abstand r zwischen Kugel und Platte

- Den Abstand $r = 10$ cm und die Spannung $U = 5,0$ kV einstellen. Den Wert der elektrischen Feldstärke E ablesen.
- Den Abstand schrittweise erhöhen und jeweils die elektrische Feldstärke E ablesen.

Messbeispiel und Auswertung

a) Messung in Abhängigkeit von der angelegten Spannung

In Tabelle 1 sind die Messergebnisse einer Beispielmessung für die elektrische Feldstärke E in Abhängigkeit von der Spannung U gezeigt und in Abb. 3 graphisch aufgetragen. Die Werte E_1 wurden für den Abstand $r_1 = 20$ cm und die Werte E_2 für den Abstand $r_2 = 40$ cm gemessen.

| | | | | | |
|---------------------|------|------|------|------|------|
| U / kV | 0,5 | 1,0 | 1,5 | 2,0 | 2,5 |
| $E_1 / \text{kV/m}$ | 1,4 | 2,6 | 3,9 | 5,1 | 6,4 |
| $E_2 / \text{kV/m}$ | 0,30 | 0,53 | 0,80 | 1,06 | 1,34 |
| U / kV | 3,0 | 3,5 | 4,0 | 4,5 | 5,0 |
| $E_1 / \text{kV/m}$ | 7,6 | 8,9 | 10,2 | 11,4 | 12,7 |
| $E_2 / \text{kV/m}$ | 1,63 | 1,94 | 2,24 | 2,55 | 2,90 |

Tab. 1: Messergebnisse in Abhängigkeit von der Spannung U

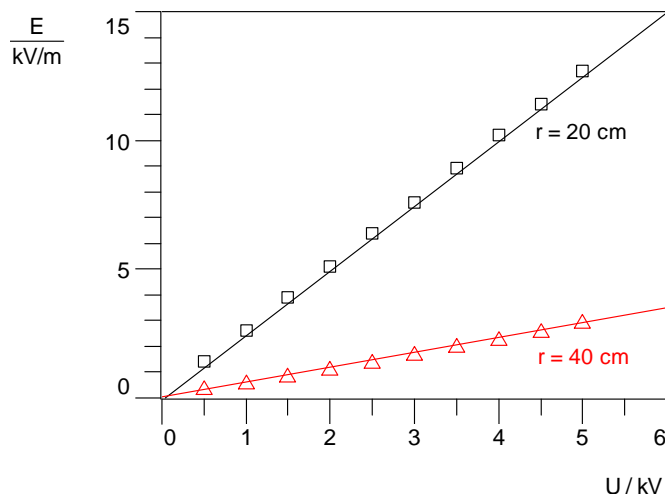


Abb. 3: Elektrische Feldstärke E in Abhängigkeit von der angelegten Spannung U für die Abstände $r_1 = 20$ cm und $r_2 = 40$ cm zwischen Kugel und Platte

Deutlich ist die lineare Abhängigkeit der elektrischen Feldstärke E von der angelegten Spannung U zu beobachten. Die Steigung der Ausgleichsgeraden ist laut Gleichung (II) gegeben durch

$$\frac{\Delta E}{\Delta U} = \frac{2a}{r^2}$$

Aus der Messung ergibt sich mit dem Kugelradius $a = 5,0$ cm:

$$r = 20 \text{ cm: } \frac{\Delta E}{\Delta U} = 2,5 \text{ m}^{-1}; \frac{2a}{r^2} = 2,5 \text{ m}^{-1}$$

$$r = 40 \text{ cm: } \frac{\Delta E}{\Delta U} = 0,58 \text{ m}^{-1}; \frac{2a}{r^2} = 0,63 \text{ m}^{-1}$$

Es zeigt sich für beide Abstände eine gute Übereinstimmung.

b) Messung in Abhängigkeit vom Abstand r zwischen Kugel und Platte

In Tabelle 2 sind die Messergebnisse einer Beispielmessung für die elektrische Feldstärke E in Abhängigkeit vom Abstand r zwischen Kugel und Platte gezeigt und in Abb. 4 graphisch aufgetragen.

| | | | | | | |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| r / cm | 10 | 12,5 | 15 | 17,5 | 20 | 25 |
| $E / \text{kV/m}$ | -63,0 | -36,3 | -24,3 | -17,5 | -13,1 | -8,4 |
| r / cm | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 60 |
| $E / \text{kV/m}$ | -5,7 | -4,2 | -3,5 | -2,8 | -2,3 | -1,8 |

Tab. 2: Messergebnisse in Abhängigkeit vom Abstand r

Die elektrische Feldstärke nimmt schnell mit zunehmenden Abstand zwischen Kugel und Platte ab. Der Verlauf ist stark nichtlinear. Zur Überprüfung der Abhängigkeit $E \sim 1/r^2$ aus Gleichung (I) wurden die Messwerte zusätzlich doppellogarithmisch aufgetragen (siehe Abbildung 5). Der Verlauf wird durch die Ausgleichsgerade mit einer Steigung 1,8 gut wiedergegeben; die Abhängigkeit $E \sim 1/r^2$ ist daher in der Messung erfüllt.

Die Abweichung von der Geraden bei kleinen Abständen r ist darauf zurückzuführen, dass der Kugelradius nicht mehr klein gegenüber dem Abstand zur Platte ist. Dies führt zu Abweichungen der elektrischen Feldstärke.

Die endliche Größe der Platte beeinflusst die Werte bei großen Abständen r . Allerdings sind die Abweichungen bei den gewählten Abständen noch klein. Zusätzlich wird die elektrische Feldstärke bei großen Abständen durch weitere Gegenstände oder Personen in der Nähe des Messaufbaus verändert, was zu Abweichungen vom erwarteten Verlauf führt.

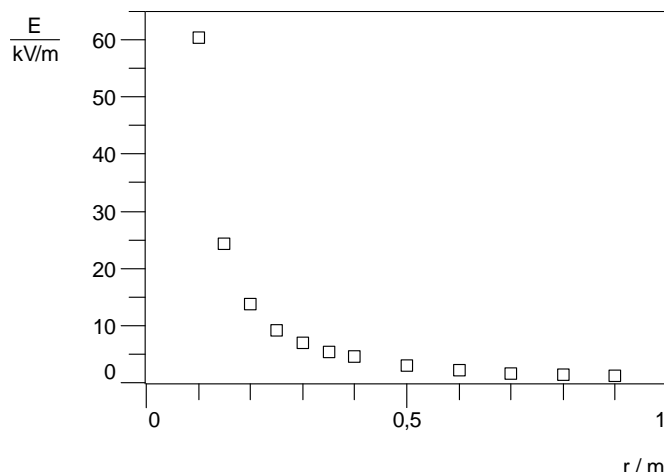


Abb. 4: Elektrische Feldstärke E in Abhängigkeit vom Abstand r zwischen Kugel und Platte

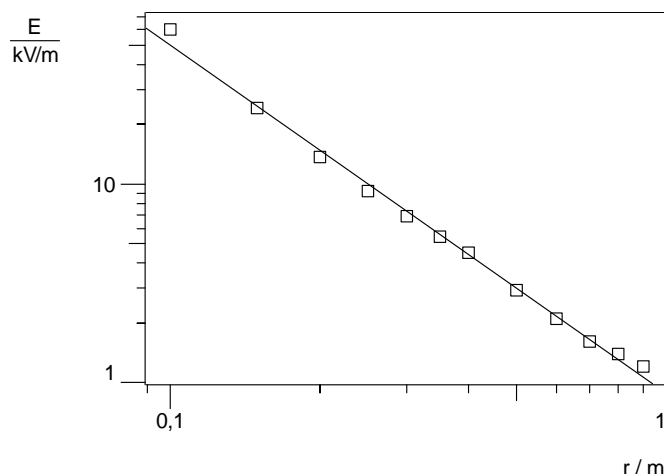


Abb. 5: Elektrische Feldstärke E in Abhängigkeit vom Abstand r in doppellogarithmischer Auftragung.

