

## Messung der Feldstärke in einem Plattenkondensator

### Versuchsziele

- Bestimmung der elektrischen Feldstärke  $E$  in einem Plattenkondensator in Abhängigkeit von der angelegten Spannung  $U$
- Bestimmung der elektrischen Feldstärke  $E$  in einem Plattenkondensator in Abhängigkeit vom Plattenabstand  $d$

### Grundlagen

Die einfachste Bauform eines Kondensators ist der Plattenkondensator. Ist der Plattenabstand wesentlich kleiner als die Abmessungen der Platten, so kann die elektrische Feldstärke  $E$  zwischen den Platten als homogen betrachtet werden. Sie wird durch die Ladungen  $+Q$  und  $-Q$  bewirkt, die durch das Anlegen einer Spannung  $U$  auf den Platten vorliegen (siehe Abb.1). Die elektrische Feldstärke ist um so größer, je größer die Flächenladungsdichte  $Q/A$  ist, d.h. je mehr Ladungen auf den Platten vorhanden sind oder je kleiner die Fläche  $A$  der Platten ist. Zudem ist sie abhängig von der Dielektrizitätszahl  $\epsilon_r$  des Materials zwischen den beiden Platten:

$$E = \frac{Q}{\epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot A} \quad (I)$$

Die Dielektrizitätszahl  $\epsilon_r$  beschreibt die durch Einbringen des Materials bewirkte Vergrößerung der Kapazität  $C = Q/U$  des Plattenkondensators gegenüber dem Vakuumwert.

Alternativ kann man die elektrische Feldstärke  $E$  aus der angelegten Spannung  $U$  und dem Abstand  $d$  der Platten bestimmen:

$$E = \frac{U}{d} \quad (II)$$

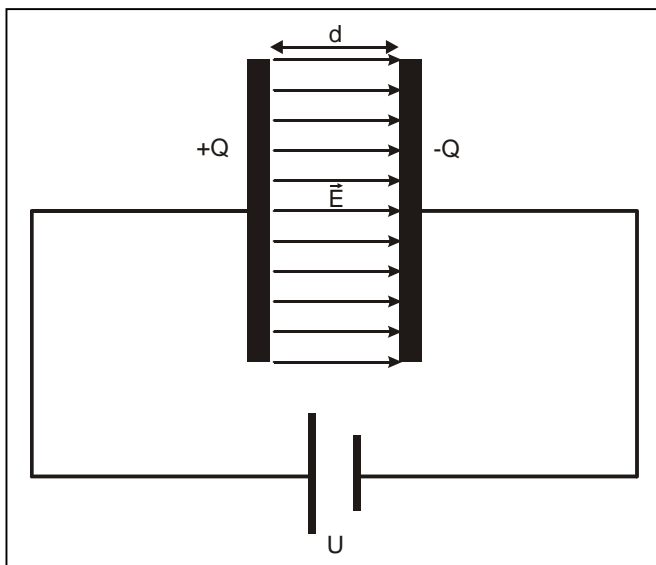


Abb. 1: Elektrisches Feld im Plattenkondensator

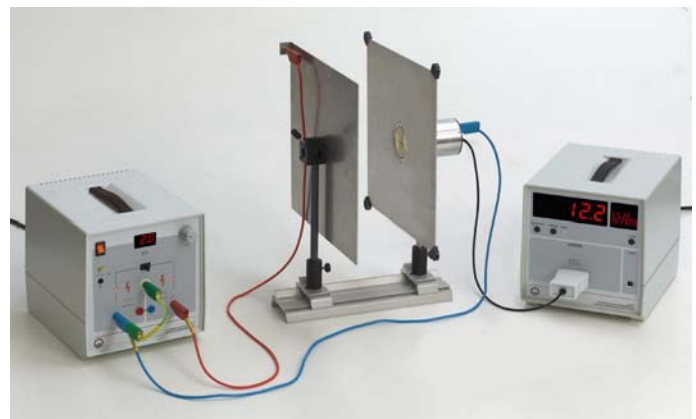


Abb. 2: Versuchsaufbau

Ein Vergleich der Gleichungen (I) und (II) zeigt, dass die Kapazität  $C$  eines Plattenkondensators gegeben ist durch

$$C = \frac{Q}{U} = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \frac{A}{d} \quad (III)$$

Im Experiment wird die Abhängigkeit der elektrischen Feldstärke  $E$  von den unterschiedlichen Parametern untersucht. Zuerst wird ihre Abhängigkeit von der angelegten Spannung  $U$  bestimmt. Hierzu wird bei festem Plattenabstand  $d$  die Größe der angelegten Spannung  $U$  verändert und jeweils die elektrische Feldstärke gemessen. Die Daten werden anschließend graphisch aufgetragen und die Steigung der Geraden mit dem theoretisch zu erwarteten Wert  $1/d$  verglichen.

Anschließend wird die Spannung  $U$  festgehalten und die elektrische Feldstärke  $E$  in Abhängigkeit vom Plattenabstand  $d$  bestimmt. Anhand der Messdaten wird die Gültigkeit der Abhängigkeit  $E \sim 1/d$  überprüft.

**Geräte**

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 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 Messinstrument 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:

- Eine der Kondensatorplatten mit Stativblock auf einer Stativstange aus Kunststoff aufbauen und mit einem Optikreiter mit Muffe auf der Optischen Bank S1 Profil befestigen.
- Die durchbohrte Kondensatorplatte auf das Elektrofeldmeter S schieben. Ebenfalls mit einem Optikreiter mit Muffe auf der Optischen Bank S1 Profil befestigen
- Das Elektrofeldmeter mit dem Universellen Messinstrument P verbinden.
- **Den linken Minuspol des Hochspannungsnetzgeräts 10 kV erden und mit der Erdungsbuchse auf der Rückseite des Elektrofeldmeters verbinden.**
- Den Pluspol des Hochspannungsnetzgeräts 10 kV an die freie Kondensatorplatte anschließen.
- Plattenabstand  $d = 6$  mm einstellen. Abstände bis 6 mm können mit den Kunststoffstücken definierter Dicke (1 mm und 3 mm) realisiert werden. Darauf achten, dass die Platten möglichst exakt parallel zueinander ausgerichtet sind, um Randeffekte möglichst klein zu halten.

**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. Bei korrektem Anschluss fließt der Strom bei einem Spannungsüberschlag direkt wieder zum Netzteil zurück und nicht zum Messgerät.

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

*Hinweis:*

Für den Abstand zwischen Kondensatorplatte und Elektrofeldmeter S, der für die Größe des elektrischen Feldes maßgeblich ist, muss jeweils 1 mm addiert werden. Die Messelektroden im Elektrofeldmeter liegen - durch den Aufbau des Messgeräts bedingt - 1 mm hinter der Kondensatorplatte, in die das Elektrofeldmeter eingesetzt wird.

**Durchführung und Messbeispiel**

**a) Bestimmung der elektrischen Feldstärke E in Abhängigkeit von der angelegten Spannung U**

Das Hochspannungsnetzgerät 10 kV wird eingeschaltet, die Spannung schrittweise erhöht und jeweils die elektrische Feldstärke E auf dem Universellen Messinstrument P abgelesen. In Tab. 1 sind die Messwerte einer Beispielmessung gezeigt.

$\frac{U}{kV}$	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
$\frac{E}{kV/m}$	142	272	407	552	690

Tab. 1: Messbeispiel zur Abhängigkeit der elektrischen Feldstärke E von der angelegten Spannung U

**b) Bestimmung der elektrischen Feldstärke E in Abhängigkeit vom Plattenabstand d**

Am Hochspannungsnetzgerät 10 kV wird die Spannung  $U = 1,0$  kV eingestellt und der Wert der elektrischen Feldstärke E auf dem Universellen Messinstrument P abgelesen. Anschließend wird die Spannung ausgeschaltet, der Plattenabstand d nacheinander mit Hilfe der Abstandshalter auf 4, 3, 2 und 1 mm verkleinert, jeweils der Plattenkondensator mit der Spannung  $U = 1,0$  kV aufgeladen und die elektrische Feldstärke E gemessen. Tab. 2 zeigt Werte eines Messbeispiels. Der Abstand  $d'$  entspricht dem tatsächlichen Abstand zum Elektrofeldmeter (siehe Hinweis).

$\frac{d}{mm}$	6,0	4,0	3,0	2,0	1,0
$\frac{d'}{mm}$	7,0	5,0	4,0	3,0	2,0
$\frac{E}{V/m}$	138	188	242	334	496

Tab. 2: Messbeispiel zur Abhängigkeit der elektrischen Feldstärke E von der angelegten Spannung U (d: Abstand der Kondensatorplatten, d': Abstand Kondensatorplatte - Elektrofeldmeter)

Zusätzlich können Plattenabstände > 6 mm eingestellt werden, indem bei ausgeschalteter Hochspannung die Nullposition auf der Optischen Bank S1 (Platten liegen direkt aneinander) bestimmt und anschließend eine Platte um den gewünschten Abstand verschoben wird.

## Auswertung

### a) Bestimmung der elektrischen Feldstärke $E$ in Abhängigkeit von der angelegten Spannung $U$

In Abbildung 3 sind die Werte aus Tab. 1 aufgetragen. An die Punkte wurde eine Ursprungsgerade angepasst. Deren Steigung  $m$  beträgt  $137,5 \text{ 1/m}$ . Gleichung (II) zeigt, dass die Steigung gerade den Wert  $1/d$  haben sollte. Mit  $m = 137,5 \text{ 1/m}$  erhält man  $d = 7,3 \text{ mm}$ , was dem tatsächlich eingestellten Abstand  $d^* = 7,0 \text{ mm}$  zwischen Kondensatorplatte und Elektrofeldmeter S gut entspricht.

### b) Bestimmung der elektrischen Feldstärke $E$ in Abhängigkeit vom Plattenabstand $d$

In Abbildung 4 sind die Werte aus Tab. 2 aufgetragen. Zur Überprüfung, ob der Verlauf der Werte der erwarteten Abhängigkeit  $E \sim 1/d$  entspricht, wurde an die Werte eine Hyperbel mit der Gleichung  $E = A/d$  angepasst. Der Verlauf der Kurve gibt die Werte gut wieder. Der Wert für die Proportionalitätskonstante  $A$ , der sich aus der Anpassung ergibt, beträgt für die gezeigten Messwerte  $A = 0,97 \text{ kV}$ . Ein Vergleich mit Gleichung (II) zeigt, dass  $A$  gerade der angelegten Spannung  $U = 1,0 \text{ kV}$  entsprechen sollte. Dies ist im Rahmen der Messgenauigkeit erfüllt.

#### Hinweise:

Für große Plattenabstände  $d$  ist das elektrische Feld nicht mehr homogen und kleiner als der theoretisch zu erwartende

Wert  $E = \frac{U}{d}$ . Diese Abweichung kann im Experiment systematisch

untersucht werden, indem der Plattenabstand  $d$  schrittweise bis Werte  $> 30 \text{ cm}$  vergrößert wird und jeweils die elektrische Feldstärke  $E$  gemessen wird.

Eine Durchführung des Versuchsteils bei höheren Spannungen ist ebenfalls möglich. Es ist jedoch darauf zu achten, dass die Durchschlagsfestigkeit von Luft bei etwa  $2 \text{ kV/mm}$  liegt. Bei der Verwendung höherer Spannungen sind daher Überschlüsse nicht auszuschließen, die die angeschlossenen Geräte schädigen können.

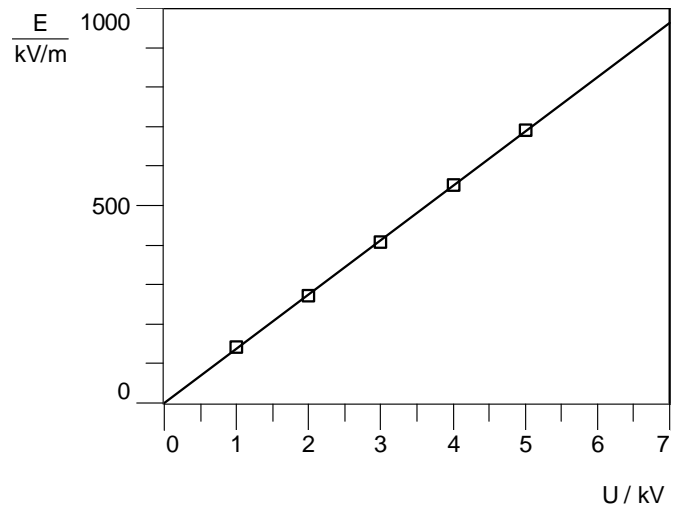


Abb. 3: Elektrische Feldstärke  $E$  in Abhängigkeit von der angelegten Spannung  $U$

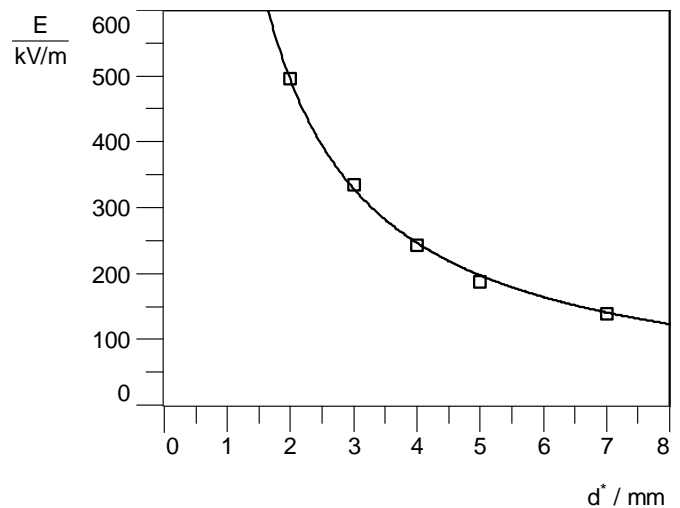


Abb. 4: Elektrische Feldstärke  $E$  in Abhängigkeit vom Abstand  $d^*$  zwischen Kondensatorplatte und Elektrofeldmeter S

