

# III E2

## Modul Elektrizitätslehre II

### **Dielektrika**

Ziel dieses Versuches ist, die Funktionsweise eines Kondensators mit Dielektrikum zu verstehen. Des weiteren soll die Kapazität des Kondensators und die relative Permittivität  $\epsilon_r$  von Luft, Kunststoff und Glas gemessen werden.



## Versuch IIE2 - Dielektrika

Ziel dieses Versuches ist, die Funktionsweise eines Kondensators mit Dielektrikum zu verstehen. Des weiteren soll die Kapazität des Kondensators und die relative Permittivität  $\epsilon_r$  von Luft, Kunststoff und Glas gemessen werden.

## 1.1 Fragen zur Vorbereitung

- Wie funktioniert ein Kondensator? Erkläre in eigenen Worten.
- Welchen Einfluss hat das Dielektrikum? Erkläre in eigenen Worten.
- Was ist ein Elektrofeldmeter und wie funktioniert es?
- Für welche Anwendungen werden Kondensatoren verwendet?

## 1.2 Theorie

### 1.2.1 Der Kondensator

Ein Kondensator ist ein passives elektrisches Bauelement mit der Fähigkeit elektrische Ladung zu speichern. Die Fähigkeit elektrische Energie in Form von Ladung zu speichern nennt man Kapazität. Sie wird in Farad [F] angegeben. Der einfachste Kondensator besteht aus zwei parallel ausgerichteten Metallplatten. Wird an sie eine Spannung angelegt, lagern sich auf Grund des Potentialunterschieds Ladungen auf ihrer Oberfläche an. Diese Ladungen erzeugen ein elektrostatisches Feld zwischen den beiden Platten. Die elektrische Energie ist in diesem Feld gespeichert. Ist die Fläche der Kondensatorplatten gross im Vergleich zu ihrem Abstand, so kann man das elektrische Feld als homogen betrachten. Es gilt dann:

$$E = \frac{U}{d} \quad (1.1)$$

Wobei  $U$  der angelegten Spannung und  $d$  dem Abstand der beiden Platten entspricht. Das elektrische Feld  $E$  hat somit die Dimension  $Vm^{-1}$ .

Die Kapazität ist definiert als diejenige Ladung  $Q$  welche der Kondensator bei einer Spannung  $U$  aufnehmen kann:

$$C = \frac{Q}{U} \quad (1.2)$$

Damit gilt: 1 Farad = 1 Coulomb pro Volt.

Die Energie, die in einem Kondensator gespeichert werden kann berechnet sich dann wie folgt:

$$E_{pot} = \frac{1}{2}CU^2 \quad (1.3)$$

Kondensatoren müssen nicht zwingend aus zwei planparallelen Platten bestehen. Es sind theoretisch alle Formen möglich bei denen sich zwei leitende Oberflächen gegenüberstehen. Die Formeln (1.1) und (1.2) müssen dann angepasst werden. In der Elektronik werden üblicherweise aufgerollte Folien-, Keramik- oder Kunststoffkondensatoren verwendet.

### 1.2.2 Das Dielektrikum

Als Dielektrikum kann jede elektrisch nicht oder schwach leitende, nichtmetallische Substanz bezeichnet werden. Es kann sich dabei um eine Flüssigkeit, ein Gas oder einen Festkörper handeln. Bringt man ein Dielektrikum in das elektrische Feld eines Kondensators, so bewirkt dieses eine Polarisierung der Substanz. Das heisst, dass sich in der Substanz die Ladungsträger und Moleküle mit einem Dipol relativ zum äusseren Feld ausrichten und dadurch ein Gegenfeld erzeugen. Das elektrische Feld zwischen den Kondensatorplatten wird also durch das

Einbringen eines Dielektrikums abgeschwächt. Dies führt zu einer Erhöhung der Kapazität des Kondensators. Das kann mittels der Gleichungen (1.1) und (1.2) gezeigt werden. Es gilt:

$$E \sim U \Rightarrow C \sim \frac{1}{E}$$

Die relative Permittivität  $\epsilon_r$  gibt an, um welchen Faktor die Kapazität durch das Einbringen eines Dielektrikums in den Kondensator erhöht wird. Es gilt also:

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d} \quad (1.4)$$

Hier entspricht  $A$  der Fläche einer Kondensatorplatte und  $\epsilon_0 = 8.8541 \cdot 10^{-12} \frac{F}{m}$  der elektrischen Feldkonstante. Für einen Kondensator im Vakuum gilt  $\epsilon_r = 1$ . Mit den Gleichungen (1.1) und (1.2) ergibt sich für das elektrische Feld folgende Relation:

$$E = \frac{Q}{\epsilon_0 \epsilon_r \cdot A} \quad (1.5)$$

Beinhaltet ein Kondensator  $N$  verschiedene Dielektrika mit den relativen Permittivitäten  $\epsilon_r^{(i)}$  mit den jeweiligen Dicken  $d^{(i)}$  kann man sich jede Schicht als eigener Kondensator vorstellen. Schaltet man  $N$  Kondensatoren in Serie, berechnet sich die gesamte Kapazität wie folgt:

$$\frac{1}{C^{(total)}} = \sum_{i=1}^N \frac{1}{C^{(i)}} \quad (1.6)$$

Mit der Gleichung (1.4) ergibt sich also die gesamte Kapazität für  $N$  verschiedene Dielektrika:

$$\frac{1}{C^{(total)}} = \frac{1}{\epsilon_0 \cdot A} \sum_{i=1}^N \frac{d^{(i)}}{\epsilon_r^{(i)}} \quad (1.7)$$

Vom Energiestandpunkt kann man folgende Überlegungen anstellen: Je mehr Ladungen auf die Kondensatorplatten gebracht werden können, desto stärker wird das elektrische Feld und damit auch die Energiemenge die in diesem gespeichert ist. Es können so lange weitere Ladungen auf die Platten gebracht werden, bis der Potentialunterschied (= Spannung) der Platten demjenigen der Quelle entspricht. Der maximale Potentialunterschied ist nur vom Feld  $E_t$  und dem Abstand  $d$  der Platten nicht aber vom Dielektrikum abhängig (siehe Gleichung (1.1)). Bringt man nun das Dielektrikum in den Kondensator muss folgende Gleichung gelten:

$$E_t = E_{Luft} - E_{Dielektrikum} \quad (1.8)$$

Das negative Vorzeichen bei  $E_{Dielektrikum}$  beschreibt das Gegenfeld. Das Feld  $E_{Luft}$  ist jetzt stärker als vor dem einbringen des Dielektrikums aber das Gesamtfeld  $E_t$  ist gleich gross geblieben. Da laut Gleichung (1.5) Die Ladung proportional zum Feld ist, können also bei gleicher Spannung mehr Ladungen auf die Platten gebracht werden. Auf Grund des vergrößerten Feldes  $E_{Luft}$  kann mehr Energie im Kondensator gespeichert werden. Man kann auch argumentieren, dass mehr Energie gespeichert werden kann da ein Teil der Energie nicht ins elektrische Feld, sondern in die Polarisation des Dielektrikums investiert wird.

## 1.3 Experiment

### 1.3.1 Versuchszubehör

Komponente	Anzahl
Elektrofeldmeter	1
Anzeigegerät für Elektrofeldmeter	1
Kondensatorplatten auf optischer Bank	1
Abstandshalter	4
Halterung für Dielektrika	1
Glasplatte	1
Kunststoffplatte (Polystyrol)	1
Regelbarer Transformator 450 V	1
Multimeter	1
Experimentierkabel	5
Ausschalter 1-Polig	1

### 1.3.2 Versuchsaufbau und Justage

- Befestige die Kondensatorplatten auf der optischen Bank.
- Die Stangen der Kondensatorplatten sollen durch die entsprechenden Löcher der Halterung für die Dielektrika geführt werden; die Seite mit dem Elektrofeldmeter bei der runden und die andere Seite bei länglichen Öffnung.
- Verbinde das Elektrofeldmeter mit dem Anzeigegerät.
- Verbinde mit einem Experimentierkabel das Elektrofeldmeter mit dem Minuspol des Transformators.
- Die andere Kondensatorplatte wird mit dem Ausschalter und dieser mit dem Pluspol des Transformators verbunden.
- Das Multimeter wird so an den Transformator angeschlossen, dass seine Spannung abgelesen werden kann.
- Dieser Versuch ist sehr anfällig für Leckströme. Achte darauf, dass die Experimentierkabel den Tisch möglichst nicht berühren.

### 1.3.3 Durchführung

- Stelle mit den Abstandshaltern die erste Distanz ein (ca. 10 mm, nachmessen!).
- Verbinde den Kondensator mit dem Transformator.
- Bei einer Spannung von 0 V am Transformator sollte auch das elektrische Feld  $0 \text{ kVm}^{-1}$  betragen. Ist dies nicht der Fall, kannst du das Anzeigegerät auf Null stellen.
- Erhöhe die Spannung am Transformator langsam bis auf 300 V und lies fortlaufend die elektrische Feldstärke ab.
- Stelle die Spannung zurück auf 0 V und bring die Glasplatte zwischen die Kondensatorplatten.

- Achte darauf, dass sie unten bei der Halterung für die Dielektrika in der richtigen Kerbe liegt, sodass sie sich genau in der Mitte des Kondensators befindet.
- Das Glas sollte die Kondensatorplatten nicht berühren, da es sich sonst aufladen und die Messung verfälschen könnte.
- Lies das elektrische Feld ab. Ist es nicht Null, so ist das Glas geladen. Du kannst es entladen, indem du es unter fließendes Wasser hältst und mit Seife wäschst. Danach trocknen lassen und auf keinen Fall trocken reiben!
- Nimm jetzt wiederum eine U-E-Kurve mit einer maximalen Spannung von 300 V auf.
- Wiederhole den Versuch mit der Kunststoffplatte.
- Wiederhole den ganzen Versuch mit der zweiten Distanz (ca. 30 mm, nachmessen!).

### 1.3.4 Aufgaben zur Auswertung

Das Elektroföldmeter misst nicht das gesamte Feld des Kondensators, sondern das von der Ladung  $Q$  erzeugte Feld in der Luft vor der Kondensatorplatte.

1. Erstelle für beide Distanzen jeweils einen Plot indem du die Spannung gegen das elektrische Feld aufträgst. In jedem Plot sollen die Messwerte für Luft, Glas und Kunststoff zusammen dargestellt werden.
2. Erstelle für jede Messreihe einen linearen Fit und gib die Steigung an. Welcher physikalischen Grösse entspricht sie?
3. Bestimme die relative Permittivität von Luft. Tipps: Nimm an, dass du einen Kondensator im Vakuum betrachtest, der mit dem Dielektrikum Luft gefüllt ist. Verwende dazu die Gleichungen (1.1) und (1.5).
4. Bestimme auch die relativen Permittivitäten von Glas und Kunststoff. Tipp: Verwende zusätzlich Gleichung (1.8).
5. Middle  $\epsilon_r$  für jedes Material über alle Messungen und gib den systematischen Fehler an und vergleiche mit den Literaturwerten.
6. Bestimme die Kapazität des Kondensators für die verschiedenen Konfigurationen.

## 1.4 Literatur

- Paul A. Tipler, *Physik für Naturwissenschaftler und Ingenieure*, Spektrum
- Horst Stöcker, *Taschenbuch der Physik*, Verlag Harri Deutsch
- Horowitz & Hill, *The Art of Electronics*, Cambridge University Press