

Protokollant: Name ☒Kurs: Anfängerpraktikum 2Zusammenarbeit¹ mit: Name ☐Assistent: NameDatum: 15. März 2021Versuch-Nr.: 32

Ab HIER vom Assistenten auszufüllen:

Eingangsstempel:



Rückgabedatum: _____

Bemerkungen:

☐ Protokoll OK☐ Protokoll **nicht** OK

2. Abgabedatum: _____

Rückgabedatum: _____

Bemerkungen:

☐ Protokoll OK☐ Protokoll **nicht** OK

3. Abgabedatum: _____

Rückgabedatum: _____

Bemerkungen:

☐ Protokoll OK☐ Protokoll **nicht** OK☐ Versuch bestanden☐ Versuch **NICHT BESTANDEN**

Unterschrift Assistent: _____

Inhaltsverzeichnis

1	Aufgabenstellung	2
1.1	Physikalischer Hintergrund	2
1.1.1	Berechnung der Permittivität	2
2	Messmethoden	3
2.1	Versuchsaufbau	3
2.2	Schaltbilder	4
3	Versuchsdruchführung	4
4	Versuchsergebnisse	5
5	Diskussion der Messergebnisse	5
6	Fazit	5

1 Aufgabenstellung

Der Versuch 32 behandelt das Ermitteln der Dielektrizitätskonstante (bzw. Permittivität) im Experiment.

1.1 Physikalischer Hintergrund

Die Permittivität gibt die Polarisationsfähigkeit eines Materials durch elektrische Felder an². Dabei bezeichnet die naturkonstante ε_0 die Permittivität von Vakuum. Die Permittivität aller Stoffe wird als ein Vielfaches dieser Konstanten angegeben mit $\varepsilon = \varepsilon_r \cdot \varepsilon_0$ und ε_r als relative Permittivität.

Wir bestimmen die Permittivität mit Hilfe von Kondensatoren. Hierbei ist diese³ mit der Kapazität verbunden durch

$$C = \frac{U}{Q} = \varepsilon \frac{A}{d} \quad (1)$$

Der Zusammenhang zeigt also, dass die Kapazität mit der Permittivität zusammenhängt, d.h. der Kondensator im Vakuum besitzt eine andere Kapazität, als in Wasser oder, wenn beispielsweise Papier zwischen den Platten befindlich ist⁴.

$$C = \varepsilon_r \cdot \varepsilon_0 \cdot \frac{A}{d} \quad (2)$$

1.1.1 Berechnung der Permittivität

Wir wollen nun zunächst die Gleichung zur Berechnung der Permittivität herleiten. Für unser Experiment nutzen wir einen *elektromagnetischen Schwingkreis* (mehr dazu später) und wollen diesen in den Resonanzfall versetzen (bzw. halten). Damit dies geschieht, müssen die Frequenzen des Schwingkreises und eines Senders von außen (Entgegenwirken der Dämpfung) übereinstimmen.

$$f_{\text{Sender}} = f_{\text{Schwing}} \quad (3)$$

$$2\pi\sqrt{L_{\text{Sender}} \cdot C_{\text{Sender}}} = 2\pi\sqrt{L_{\text{Schwing}} \cdot C_{\text{Schwing}}} \quad (4)$$

$$C_{\text{Sender}} = C_{\text{Schwing}} \quad (5)$$

Für Gleichung 5 muss dabei aber gelten $L_{\text{Sender}} = L_{\text{Schwing}}$.

²Quelle: Wikipedia

³(bei Plattenkondensatoren - die wir verwenden)

⁴Vakuum: $\varepsilon_{r,\text{Vakuum}} = 1$, sonst: $\varepsilon_r > \varepsilon_{r,\text{Vakuum}}$

Für die Messungen in diesem Versuch ist es nun notwendig, die Kapazität des Schwingkreises zu eichen, sodass wir auch tatsächlich den Resonanzfall herstellen und Gleichung 5 gilt. Dazu schalten wir in den Empfängerkreis einen Kondensator mit bekannter Kapazität C_{ref} ein (Siehe: Abbildung 1b) und stellen den Drehkondensator im Senderkreis so ein, dass der Empfängerkreis in Resonanz ist (*Indikator*: die Glühbirne leuchtet dann am hellsten). Hierbei notieren wir die Kapazität am Drehkondensator als $C_0 := C_{Dreh}(\phi_0)$. Es gilt die Gleichheit von Gleichung 5.

Nach dem Eichen kann nun der Tauchkondensator (in Luft) eingeschaltet werden (Abbildung 1a). Dadurch erhöht sich die Gesamtkapazität, die nun mit dem Drehkondensator wieder justiert werden muss. Im Resonanzfall haben wir dann wieder Gleichung 5 erfüllt und können berechnen:

$$C_{Sender} = C_{Empfänger} = C_0 = C_{Dreh}(\phi_{luft}) + C_{tauch} \quad (6)$$

$$C_{tauch} = C_0 - \underbrace{C_{luft}}_{C_{Dreh}(\phi_{luft})} \quad (7)$$

Als nächstes tauchen wir den Tauchkondensator in Öl ein und stellen den Drehkondensator wieder ein.

$$C_{Sender} = C_{Empfänger} = C_0 = C_{Dreh}(\phi_{oel}) + \varepsilon \cdot C_{tauch} \quad (8)$$

Wir setzen nun Gleichung 7 in Gleichung 8 ein:

$$C_0 = C_{oel} + \varepsilon \cdot (C_0 - C_{luft}) \quad (9)$$

$$\varepsilon = \frac{C_0 - C_{oel}}{C_0 - C_{luft}} \quad (10)$$

Wir haben nun die Formel zur Berechnung der Permittivität in diesem Versuch hergeleitet, doch wir können diese Formel noch weiter vereinfachen. Wie bereits klar wurde, arbeiten wir mit einem Drehkondensator, dessen Kapazität wir anhand der Winkeleinstellung bestimmen. Dabei hängt die Kapazität vom Winkel ϕ anhand einer linearen Funktion ab:

$$C_{Dreh} = a \cdot \phi + b \quad (11)$$

Wir können die hergeleitete Formel nun weiterrechnen:

$$\begin{aligned} \varepsilon &= \frac{C_0 - C_{oel}}{C_0 - C_{luft}} \\ \varepsilon &= \frac{a \cdot \phi_0 + b - (a \cdot \phi_{oel} + b)}{a \cdot \phi_0 + b - (a \cdot \phi_{luft} + b)} \\ \varepsilon &= \frac{\phi_0 - \phi_{oel}}{\phi_0 - \phi_{luft}} \end{aligned} \quad (12)$$

Wir können somit also die Permittivität durch den Winkel am Drehkondensator bestimmen.

2 Messmethoden

In diesem Versuch wollen wir einen **elektromagnetischen Schwingkreis** nutzen, um die Kapazitäten - und daraus die Permittivität - zu bestimmen. Dazu bauen wir zwei Schwingkreise auf, einen **Senderschwingkreis** und einen **Empfängerschwingkreis**. Zweiterer wird zu einem **Resonanzschwingkreis**, der über den *Senderschwingkreis* im Resonanzfall gehalten wird (Siehe: Abbildung 1 (Schaltbilder)).

2.1 Versuchsaufbau

Für diesen Versuch benötigen wir

- Eine Spannungsquelle
- Zwei Spulen (mit gleicher Induktivität L)
- Ein Drehkondensator

- Ein Tauchkondensator
- Eine Lampe (als Indikator zur Erkennung der Resonanz)
- Ein Tauchbecken für den Tauchkondensator; Pflanzliches Öl

Zusätzlich werden natürlich Kabel benötigt, um alles zu verbinden. Des weiteren schalten wir noch einen Hochvolt-Schalt-Transistor mit Schutzschaltung ein (Abbildung 2).

2.2 Schaltbilder

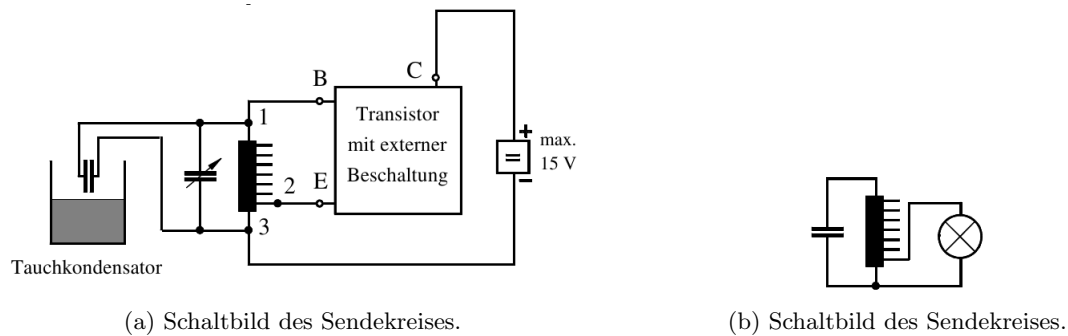


Abbildung 1: Schaltbilder des Sende- und Resonanzkreises.⁵

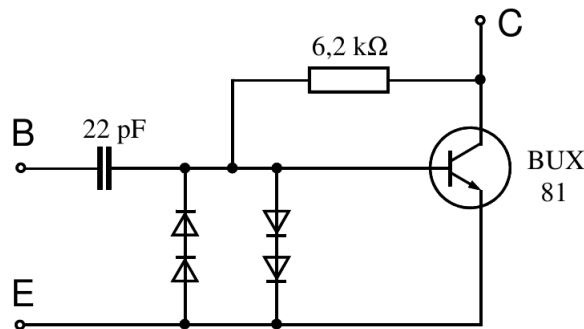


Abbildung 2: Schaltbild des Hochvolt-Schalt-Transistors mit Schutzschaltung.⁵

3 Versuchsdruchführung

Hinweis: In der Herleitung der Formel zur Berechnung der Permittivität (Abschnitt 1.1.1) ist der Ablauf des Versuches bereits beschrieben.

Wir beginnen, indem wir die beiden Kreise aus den Schaltbildern (Abbildung 1) aufbauen. Danach können wir den Schwingkreis eichen, damit unsere hergeleiteten Formeln gelten. Dazu schalten wir den Tauchkondensator noch nicht in den schwingkreis ein, lediglich den Vergleichskondensator C_{ref} in den Empfängerkreis. Wir stellen nun den Drehkondensator ein, sodass ein Resonanzkreis entsteht (Empfängerkreis \rightarrow Resonanzkreis) - der Punkt an dem die Lampe am hellsten leuchtet. Wir notieren den Winkel am Drehkondensator als ϕ_0 .

Als nächstes schalten wir den Tauchkondensator ein (behalten in aber in Luft) und justieren den Drehkondensator, sodass wieder der Resonanzkreis steht. Wir notieren diesen Winkel des Drehkondensators als ϕ_{luft} .

Zum Schluss machen wir das gleiche mit dem tauchkondensator in Öl getaucht. Dieser Wert des Drehkondensators ist ϕ_{oel} .

⁵Bilderquelle: Versuchsanleitung zu Versuch 32 des Anfängerpraktikum II, Institut für Angewandte Physik, Goethe-Universität Frankfurt a. M.

Wir bestimmen diese Winkel für drei verschiedene Vergleichskondensatoren und notieren die Ergebnisse.

4 Versuchsergebnisse

Tabelle 1: Messergebnisse der Winkel am Drehkondensator.

$C_{ref}[pF]$	$\phi_0[^\circ]$	$\phi_{luft}[^\circ]$	$\phi_{oel}[^\circ]$	$\Delta\phi[^\circ]$	ε	$\Delta\varepsilon$
780	152	125.5	59	5	3.51	0.378
560	94.5	67.5	6.5	5	3.26	0.371
680	124.5	99.5	33.5	5	3.64	0.4

Die Tabelle 1 zeigt die Messergebnisse der Winkel am Drehkondensator⁶, sowie die berechneten Werte für die Permittivität. Aus diesen Werten bestimmen wir den Mittelwert:

(a) Berechnung des Mittelwertes

$$\begin{aligned}\bar{\varepsilon} &= \frac{1}{n} \sum \varepsilon_i \\ &\approx \frac{10.40869}{3} \\ &\approx 3.47\end{aligned}$$

(b) Berechnung des Standardfehlers

$$\begin{aligned}\sigma_{\bar{x}} &= \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum(\varepsilon_i - \bar{\varepsilon})^2}{n-1}} \cdot \frac{1}{\sqrt{n}} \\ &= \frac{0.1934754512}{\sqrt{3}} \\ &\approx 0.11\end{aligned}$$

Wir haben somit die Permittivität des pflanzlichen Öls bestimmt, mit $\varepsilon \approx 3.47 \pm 0.11$.

5 Diskussion der Messergebnisse

Wir haben die Permittivität bestimmt und können daran nun ermitteln, welches Öl verwendet worden sein könnte. Es kommen folgende Substanzen in betracht⁷.

- Raps ($\varepsilon = 3.3$)
- Isosafrol ($\varepsilon = 3.3$)
- Rübensamen ($\varepsilon = 3.5$)

Wir sehen also, dass unser Ergebnis der Permittivität des verwendeten Öls um mehr als den berechneten Fehler $\Delta\varepsilon$ abweichen kann. Die tatsächliche Permittivität ist jedoch nicht bekannt.

6 Fazit

Der Versuch 32 hat gezeigt, dass ein Versuch nicht unbedingt ausreicht, um etwas zu ermitteln - in diesem Versuch konnten wir das verwendete Öl nicht konkret bestimmen.

⁶Wir verwenden hier $\Delta\phi = 5^\circ$, da der tatsächliche Fehlerrahmen nicht angegeben ist. Die 5° sollten aber eine gute Fehlerabdeckung sein.

⁷Quelle (es wurden nur pflanzliche Substanzen betrachtet)