

ANFÄNGERPRAKTIKUM DER FAKULTÄT FÜR PHYSIK,  
UNIVERSITÄT GÖTTINGEN

---

**Die Potenzialwaage**  
**Protokoll:**

---

Praktikant: Felix Kurtz  
Michael Lohmann  
E-Mail: felix.kurtz@stud.uni-goettingen.de  
m.lohmann@stud.uni-goettingen.de  
Betreuer: Björn Klaas  
Versuchsdatum: 04.09.2014

Testat:

## **Inhaltsverzeichnis**

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Theorie</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Durchführung</b>	<b>3</b>
<b>4</b>	<b>Auswertung</b>	<b>4</b>
4.1	konstante Kraft . . . . .	4
4.2	konstanter Plattenabstand . . . . .	6
<b>5</b>	<b>Diskussion</b>	<b>7</b>
<b>6</b>	<b>Anhang</b>	<b>7</b>

## 1 Einleitung

In diesem Versuch soll die *elektrische Feldkonstante* gemessen werden. Sie ist eine der wichtigsten Größen in der Elektrodynamik. Zur Messung verwenden wir die *Kirchhoffsche Potentialwaage*. Hierbei werden die Kräfte, die zwischen den Platten eines Kondensators wirken.

## 2 Theorie

Die Kapazität eines Plattenkondensators mit dem Plattenabstand  $d$  und der Plattenfläche  $A$  berechnet sich nach der folgenden Formel:

$$C = \varepsilon_r \varepsilon_0 \frac{A}{d} \quad (1)$$

Dabei ist  $\varepsilon_0$  die elektrische Feldkonstante und  $\varepsilon_r$  die Permittivität des Mediums, welches sich zwischen den Platten befindet. Da unser Versuch in Luft stattfindet, wird im folgenden mit  $\varepsilon_r = 1$  gerechnet.

Energie, die in einem Kondensator gespeichert ist:

$$W = \frac{1}{2} C U^2 \quad (2)$$

Kraft, die zwischen den beiden Platten des Kondensators wirkt:

$$F = \varepsilon_0 \frac{A U^2}{2 d^2} \quad (3)$$

Bei der Kirchhoffschen Potentialwaage wird diese Kraft mit der Gewichtskraft des Wägstüekes  $F_G$  gleichgesetzt:

$$\varepsilon_0 \frac{A U^2}{2 d^2} = m g \quad (4)$$

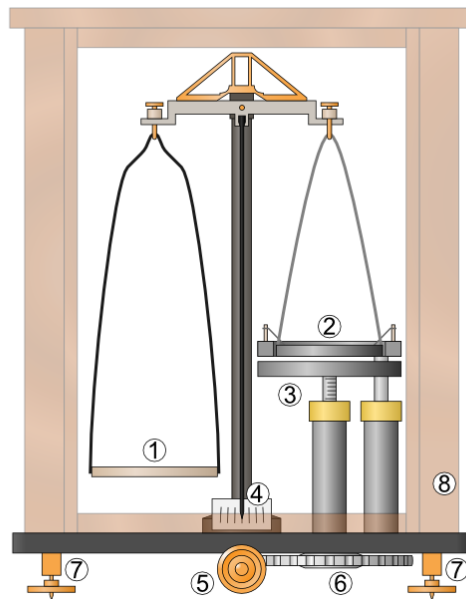
## 3 Durchführung

Die Gewichte sollten nur mit einer Pinzette auf die Waage gelegt werden, da schon der kleinste Fettfleck ihre Masse beträchtlich ändern könnte und so die Messung verfälscht. Außerdem muss bei Betrieb der Waage, also angelegter Hochspannung, aus Sicherheitsgründen das Fenster geschlossen sein.

**Messung 1:** Zuerst wird die Waage arretiert, um 3g auf die Waagschale zu legen. Dann wird eine Spannung  $U$  (2, 3, 4, 5 kV) angelegt und die Arretierung gelöst. Sollte die

---

<sup>1</sup>Quelle: <https://lp.uni-goettingen.de/get/text/3664>, abgerufen am 06.09.2014



**Abbildung 1:** Schema der Potentialwaage: 1. Gewichtauflage; 2. obere Kondensatorplatte; 3. untere Kondensatorplatte; 4. Lot; 5. Arretierung; 6. Justierrad der unteren Kondensatorplatte; 7. Justierschrauben; 8. Holz-/Glas-Gehäuse<sup>1</sup>

Waage kippen, muss der Plattenabstand  $d$  des Kondensators verkleinert werden. Anschließend wird der Plattenabstand vergrößert, bis die obere Kondensatorplatte abgehoben wird. Diesen Wert notiert man dann. All dies wird noch für eine aufgelegte Masse von  $m = 4\text{g}$  wiederholt.

**Messung 2:** Nun wird der Plattenabstand auf  $d = 2, 2.5, 3, 4\text{mm}$  fest eingestellt. Für mindestens 3 verschiedene Massen  $1\text{g} \leq m \leq 4\text{g}$  wird durch Vermindern der angelegten Spannung  $U$  die Spannung bestimmt, bei der die Waage kippt.

## 4 Auswertung

Bevor mit der eigentlichen Auswertung begonnen wird, berechnen wir die effektive Fläche  $A$  des Kondensators, da hier die kapazitiven Effekte zwischen Ring und Platte beachtet werden müssen. Diese berechnet man nach der Formel aus dem Praktikumshandbuch:

$$A = \pi(r^2 + ra)$$

Dabei ist  $r = 40\text{mm}$  der Radius der oberen Platte ohne Schutzring und  $a = 1\text{mm}$  die Breite des Schlitzes. So ergibt sich:

$$A = 5.152 \cdot 10^{-3}\text{m}^2$$

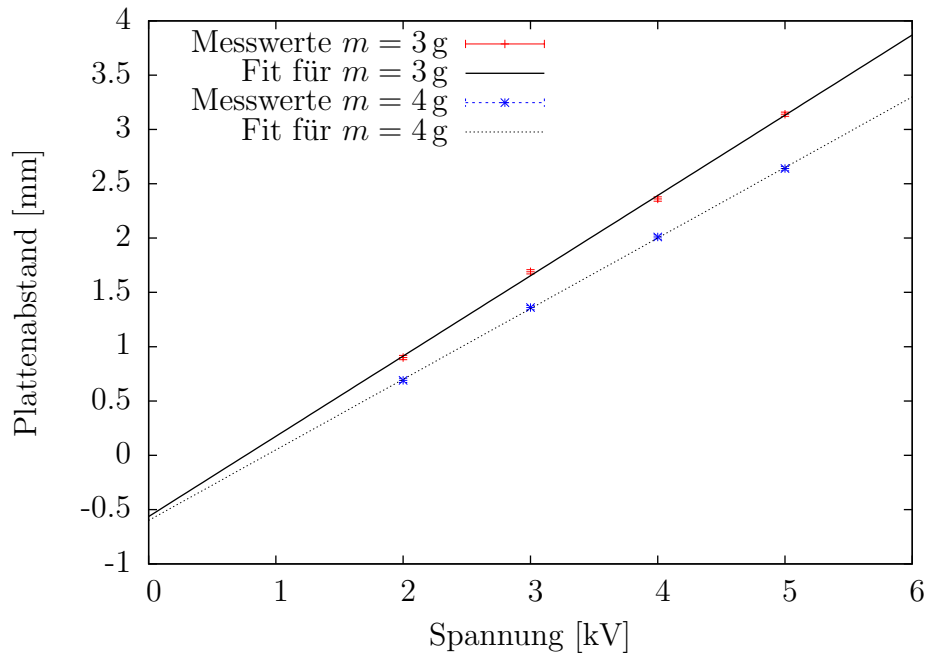
Im folgenden wird mit einer Erdbeschleunigung von  $g = 9.81\text{m/s}^2$  gerechnet.

### 4.1 konstante Kraft

Aus Gleichung (4) folgt eine lineare Abhängigkeit zwischen der Spannung  $U$  und dem Plattenabstand  $d$  für eine konstante Gewichtskraft, also wenn die Masse  $m$  fest ist.

$$d = \sqrt{\frac{\varepsilon_0 A}{2mg}} \cdot U \quad (5)$$

In der nachfolgenden Abbildung 2 ist diese Abhängigkeit dargestellt. Aus der Geraden-



**Abbildung 2:** Plattenabstand in Abhängigkeit der angelegten Spannung

steigung  $k$  lässt sich durch Umstellen der obigen Formel  $\varepsilon_0$  berechnen:

$$\varepsilon_0 = \frac{2mg}{A} \cdot k^2$$

Es ergeben sich diese Steigungen  $k$  und die daraus resultierenden Werte für  $\varepsilon_0$ :

$m$ [g]	$k$ [ $\frac{\text{mm}}{\text{kV}}$ ]	$\varepsilon_0$ [ $10^{-12} \frac{\text{As}}{\text{Vm}}$ ]
3	$0.739 \pm 0.017$	$6.24 \pm 0.29$
4	$0.650 \pm 0.007$	$6.44 \pm 0.14$

**Tabelle 1:** Geradensteigung und daraus berechnete elektrische Feldkonstante

Es ergibt sich ein gewichteter Mittelwert von

$$\overline{\varepsilon_0} = (6.40 \pm 0.13) \cdot 10^{-12} \frac{\text{A s}}{\text{V m}}$$

Aus der linearen Regression folgt der Offset des Plattenabstandes als das Negative des y-Achsenabschnittes:

$m$ [g]	$\Delta$ [mm]
3	$0.56 \pm 0.06$
4	$0.650 \pm 0.007$

**Tabelle 2:** Offset des Abstandes

Es ergibt sich ein gewichteter Mittelwert von

$$\overline{\Delta} = (0.595 \pm 0.022) \text{ mm}$$

Für den wahren Plattenabstand  $d_w$  muss also zum gemessenen Wert  $d$  noch  $\Delta$  addiert werden.

## 4.2 konstanter Plattenabstand

$$\varepsilon_0 = k \cdot \frac{2d_w^2}{A} \quad (6)$$

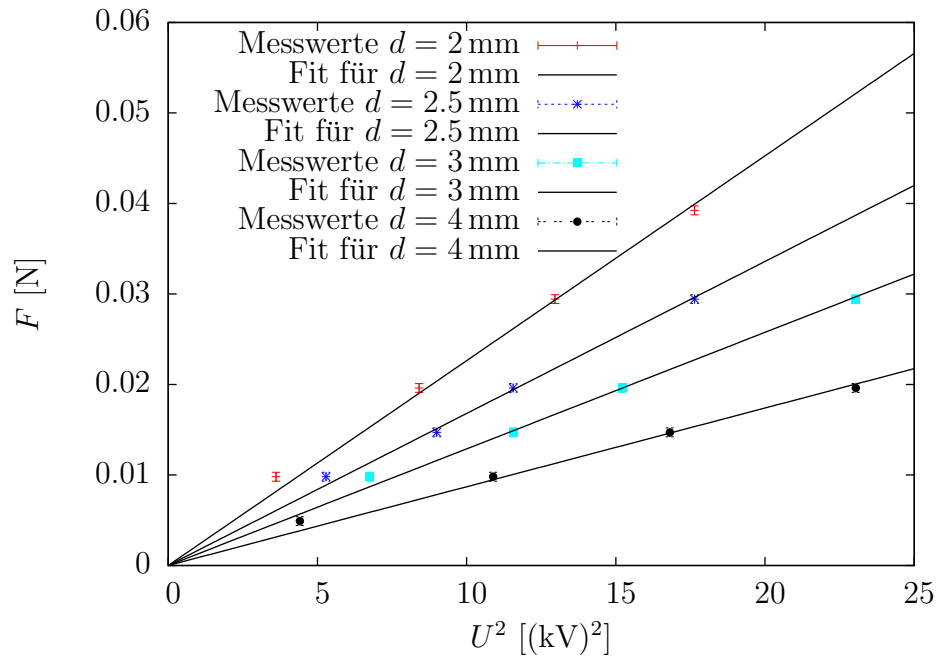
$$\sigma_{\varepsilon_0} = \sqrt{\sigma_k^2 \cdot \left(\frac{2d_w^2}{A}\right)^2 + \sigma_{d_w}^2 \cdot \left(\frac{4d_w k}{A}\right)^2} \quad (7)$$

$d$ [mm]	$d_w$ [mm]	$k$ [N/(kV) <sup>2</sup> ]	$\varepsilon_0$ [ $10^{-12} \frac{\text{A s}}{\text{V m}}$ ]
$2.000 \pm 0.010$	$2.595 \pm 0.032$	$0.00226 \pm 0.00005$	$5.92 \pm 0.19$
$2.500 \pm 0.010$	$3.095 \pm 0.032$	$0.001680 \pm 0.000026$	$6.25 \pm 0.16$
$3.000 \pm 0.010$	$3.595 \pm 0.032$	$0.001288 \pm 0.000022$	$6.46 \pm 0.16$
$4.000 \pm 0.010$	$4.595 \pm 0.032$	$0.000870 \pm 0.000022$	$7.13 \pm 0.21$

**Tabelle 3:** Werte dieser Messung

Für  $\varepsilon_0$  ergibt sich ein gewichteter Mittelwert von

$$\overline{\varepsilon_0} = (6.40 \pm 0.09) \cdot 10^{-12} \frac{\text{A s}}{\text{V m}}$$



**Abbildung 3:** Kraft in Abhängigkeit des Quadrats der angelegten Spannung

## 5 Diskussion

## 6 Anhang