



Physikalisches A-Praktikum

Versuch 10

# Die Potenzialwaage

Praktikanten:	Julius Strake	Betreuer:	Johannes Schmidt
	Niklas Bölter	Durchgeführt:	12.09.2012
Gruppe:	B006	Unterschrift:	_____

E-Mail: [niklas.boelter@stud.uni-goettingen.de](mailto:niklas.boelter@stud.uni-goettingen.de)  
[julius.strake@stud.uni-goettingen.de](mailto:julius.strake@stud.uni-goettingen.de)



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Theorie</b>	<b>4</b>
2.1	Allgemeines . . . . .	4
2.2	Versuchsspezifisches . . . . .	4
<b>3</b>	<b>Durchführung</b>	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>Auswertung</b>	<b>6</b>
<b>5</b>	<b>Diskussion</b>	<b>11</b>
<b>A</b>	<b>Tabellen und Grafiken</b>	<b>12</b>

## 1 Einleitung

Ziel des Versuches ist es, die elektrische Kraft zwischen den Platten eines Kondensators zu messen, um Rückschlüsse auf die Größe der elektrischen Feldkonstante ziehen zu können.

## 2 Theorie

### 2.1 Allgemeines

Lädt man ein elektrisch leitendes Objekt mit einer Ladung  $Q$  auf, so erzeugt diese ein elektrisches Feld. Es steht im statischen Fall überall senkrecht auf der Oberfläche und sein Potential ist dort konstant. Bringt man dann ein weiteres leitendes Objekt in die Nähe des ersten, so wird dort eine Ladungsverteilung influenziert, was bedeutet, dass die Ladungen mit dem  $Q$  entgegengesetzten Vorzeichen in Richtung des ersten Objekts „gezogen“ werden, die mit dem gleichen Vorzeichen wie  $Q$  werden abgestoßen und sammeln sich an weiter entfernten Stellen des zweiten Objekts.

Betrachtet man nun einen Plattenkondensator, der an eine Spannung  $U > 0$  angelegt wird, so laden sich beide Platten mit einer Ladung des Betrags (siehe (Meschede, 2006))

$$Q = C \cdot U \quad (1)$$

auf, wobei natürlich eine der beiden Platten die Ladung  $+Q$  und die andere  $-Q$  trägt.  $C$  bezeichnet hier die Kapazität des Kondensators und kann für einen Plattenkondensator unter Vernachlässigung von Randeffekten leicht bestimmt werden (siehe (Meschede, 2006)):

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d}. \quad (2)$$

Es bezeichnet  $A$  die Fläche der Platten und  $d$  den Abstand.  $\epsilon_0$  ist die zu bestimmende elektrische Feldkonstante und  $\epsilon_r$  die Permittivitätszahl des Materials. Im weiteren Verlauf wird  $\epsilon_r \approx 1$  angenommen, da sich im Wesentlichen Luft zwischen den beiden Platten befindet.

### 2.2 Versuchsspezifisches

Im Versuch wird die in Abbildung 1 gezeigte Apparatur verwendet, um die elektrische Kraftwirkung auszumessen.

Dabei wird die rechte Waagschale einer Balkenwaage durch eine Kondensatorplatte ersetzt und die zweite Kondensatorplatte wird darunter platziert. Der Abstand der Beiden lässt sich über eine Mikrometerschraube einstellen. Die linke Waagschale wird, wie bei einer normalen Waage, mit verschiedenen Gewichten beladen. Dabei kann nun entweder bei festem Abstand die Spannung zwischen den beiden Platten verringert, oder bei fester Spannung der Abstand vergrößert werden, bis die Anziehungskraft zwischen den beiden Platten nicht mehr ausreicht, um die Gewichtskraft

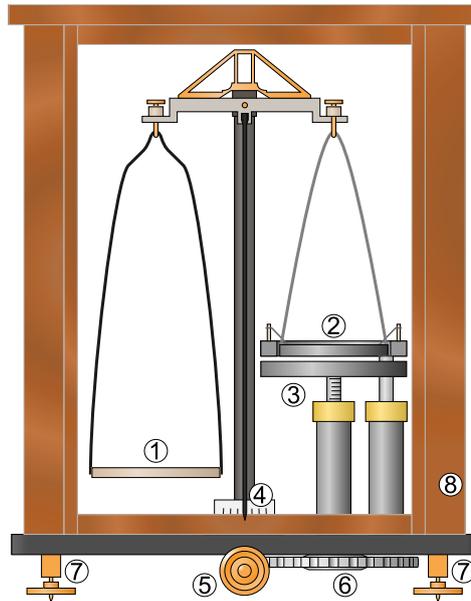


Abbildung 1: Versuchsaufbau mit 1. Gewichtsauflage, 2. oberer Kondensatorplatte, 3. unterer Kondensatorplatte, 4. Lot, 5. Arretierung, 6. Justierrad der unteren Kondensatorplatte, 7. Justierschrauben und 8. Gehäuse aus Holz und Glas. (Quelle: LP (Prior und Schaaf))

auf der anderen Seite auszugleichen. Da in diesem Moment die beiden Kräfte etwa gleich groß sind, können sie gleichgesetzt werden.

Um diese elektrische Kraft zu bestimmen, geht man von der Energie aus, die benötigt wird, um bei einer vorhandenen Spannung  $U = Q/C$  eine weitere Ladung  $dq$  auf den Kondensator zu bringen:

$$dW = dq \frac{Q}{C} \quad (3)$$

$$\Rightarrow W = \frac{1}{2} CU^2 = \frac{1}{2} \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d} U^2 \quad (4)$$

Wie immer ist die Kraft der negative Gradient der Energie und damit folgt unter der Annahme eines homogenen elektrischen Feldes zwischen den Platten:

$$F_{\text{el}} = -\nabla W = -\frac{dW}{dd} = \frac{1}{2} \epsilon_0 \epsilon_r A \frac{U^2}{d^2}$$

$$F_G = mg \stackrel{!}{=} \frac{1}{2} \epsilon_0 \epsilon_r A \frac{U^2}{d^2} \quad (5)$$

### 3 Durchführung

Bei der gesamten Versuchsdurchführung ist zu beachten, dass die Gewichte nur bei arretierter Waage aufgelegt oder entnommen werden und ausschließlich mit der Pinzette berührt werden. Außerdem darf die Tür nicht geöffnet werden, solange die Waage nicht arretiert ist oder Hochspannung an den Platten anliegt.

Zuerst wird bei arretierter Waage ein Gewicht der Masse  $m = 3\text{ g}$  ( $4\text{ g}$ ) auf die Waagschale gelegt. Anschließend wird die Spannung  $U = 2(3, 4, 5)\text{ kV}$  eingestellt. Es ist darauf zu achten, dass die Waage sich im Gleichgewicht befindet<sup>1</sup>. Der Plattenabstand  $d$  wird nun vorsichtig vergrößert und der Wert notiert, bei dem die obere Kondensatorplatte abgehoben wird. Diese Messung wird für alle angegebenen Werte wiederholt.

Jetzt wird für jede Messreihe ein fester Plattenabstand  $d = 2(2.5, 3, 4)\text{ mm}$  eingestellt. Man legt nun Gewichte der Masse  $m$  zwischen  $1\text{ g}$  und  $4\text{ g}$  auf und legt dann eine ausreichend große Spannung  $U$  an die Platten an, so dass die Waage in ihrer Gleichgewichtslage verbleibt. Die Spannung wird dann langsam verringert und wiederum der Wert notiert, bei dem die obere Kondensatorplatte abgehoben wird. Auch diese Messung wird für die angegebenen Werte wiederholt.

## 4 Auswertung

Aus Gleichung 5 ergibt sich zwischen Spannung  $U$  und Plattenabstand  $d$  bei konstanter Kraft ein linearer Zusammenhang, der in den Abbildungen 2 und 3 für verschiedene Gewichte graphisch dargestellt ist. Für die Steigung der Geraden gilt dann:

$$m_1 = \sqrt{\frac{\epsilon_0 \epsilon_r A}{2F}} \quad (6)$$

$$\Rightarrow \epsilon_0 = \frac{2F m_1^2}{\epsilon_r A} \quad (7)$$

Für die effektive Fläche  $A$  des Plattenkondensators wird die in der Anleitung (Grosseknetter und Schaaf, 2012, S. 93) angegebene Formel verwendet:

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

Dabei ist  $r = 40\text{ mm}$  der Radius der oberen Platte und  $a = 1\text{ mm}$  die Breite des Schlitzes.

Nach einer linearen Regression<sup>2</sup> liefert die Mittelung der beiden sich ergebenden Ordinatenabschnitte den Versatz der Mikrometerschraube  $\Delta = (0.94 \pm 0.08)\text{ mm}$ . Aus Gleichung 7 kann man jetzt mit den Daten der zwei Messreihen zwei Werte für  $\epsilon_0$  und deren gewichtetes Mittel  $\bar{\epsilon}_0$  errechnen:

$\epsilon_{0,3\text{ g}} = (8.39 \pm 0.68) \cdot 10^{-12} \text{ As/Vm}$ $\epsilon_{0,4\text{ g}} = (7.78 \pm 0.61) \cdot 10^{-12} \text{ As/Vm}$ $\bar{\epsilon}_0 = (8.05 \pm 0.46) \cdot 10^{-12} \text{ As/Vm}$
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Die Kraft auf die Platten  $F$  hängt von der quadratischen Spannung  $U^2$  ab (siehe Gleichung 5), für verschiedene Plattenabstände  $d$  ist der Zusammenhang in den

<sup>1</sup>Das bedeutet hier nicht, dass beide Waagschalen sich auf einer Höhe befinden, sondern dass die Waagschalen sich nicht bewegen.

<sup>2</sup>via gnuplot,  $\chi_{\text{red},1}^2 = 0.00401817$ ,  $\chi_{\text{red},2}^2 = 0.00263054$

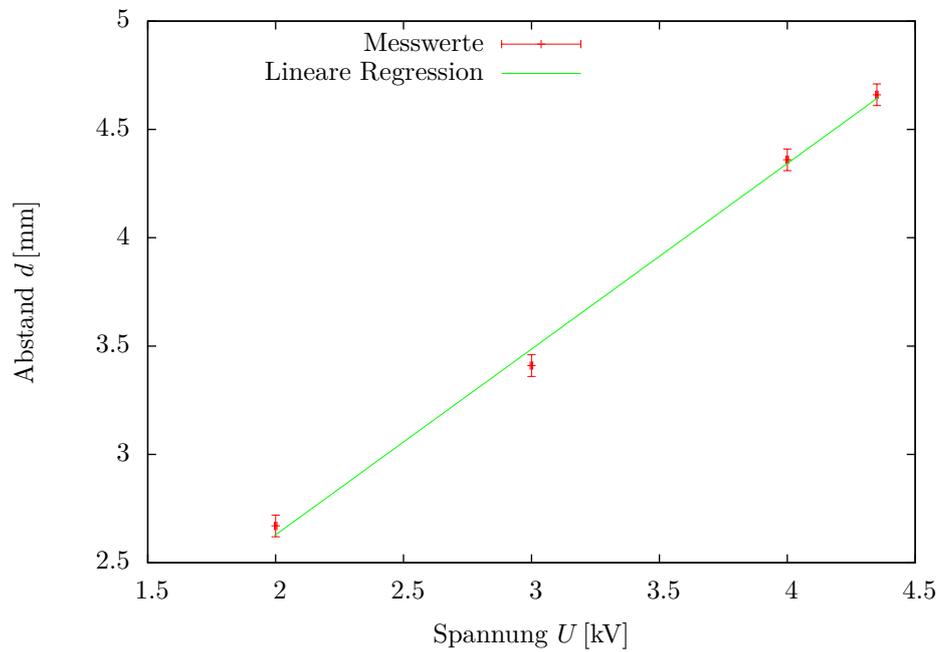


Abbildung 2: Zusammenhang zwischen maximalem Plattenabstand ohne Abhebung und der Spannung bei konstanter Masse ( $m = 3$  g)

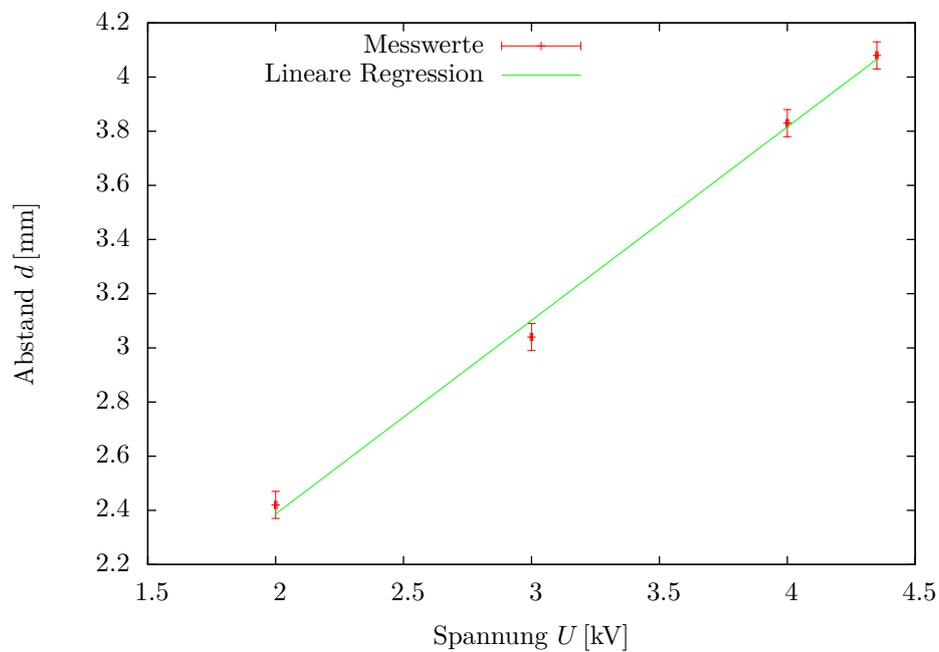


Abbildung 3: Zusammenhang zwischen maximalem Plattenabstand ohne Abhebung und der Spannung bei konstanter Masse ( $m = 4$  g)

Abbildungen 4, 5, 6, 7 graphisch dargestellt. Hier gilt für die Steigung der Geraden:

$$m_2 = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r A}{2d^2} \quad (8)$$

$$\Rightarrow \epsilon_0 = \frac{2d^2 m_2}{\epsilon_r A} \quad (9)$$

Es ist darauf zu achten, den wahren Plattenabstand mit einberechnetem Versatz für diese Formel zu verwenden. Aus den Messwerten ergeben sich dann folgende Ergebnisse:

$$\begin{aligned} \epsilon_{0,2 \text{ mm}} &= (6.34 \pm 0.20) \cdot 10^{-12} \text{ As/Vm} \\ \epsilon_{0,2.5 \text{ mm}} &= (5.68 \pm 0.89) \cdot 10^{-12} \text{ As/Vm} \\ \epsilon_{0,3 \text{ mm}} &= (6.20 \pm 0.44) \cdot 10^{-12} \text{ As/Vm} \\ \epsilon_{0,4 \text{ mm}} &= (7.05 \pm 0.23) \cdot 10^{-12} \text{ As/Vm} \\ \bar{\epsilon}_0 &= (6.56 \pm 0.14) \cdot 10^{-12} \text{ As/Vm} \end{aligned}$$

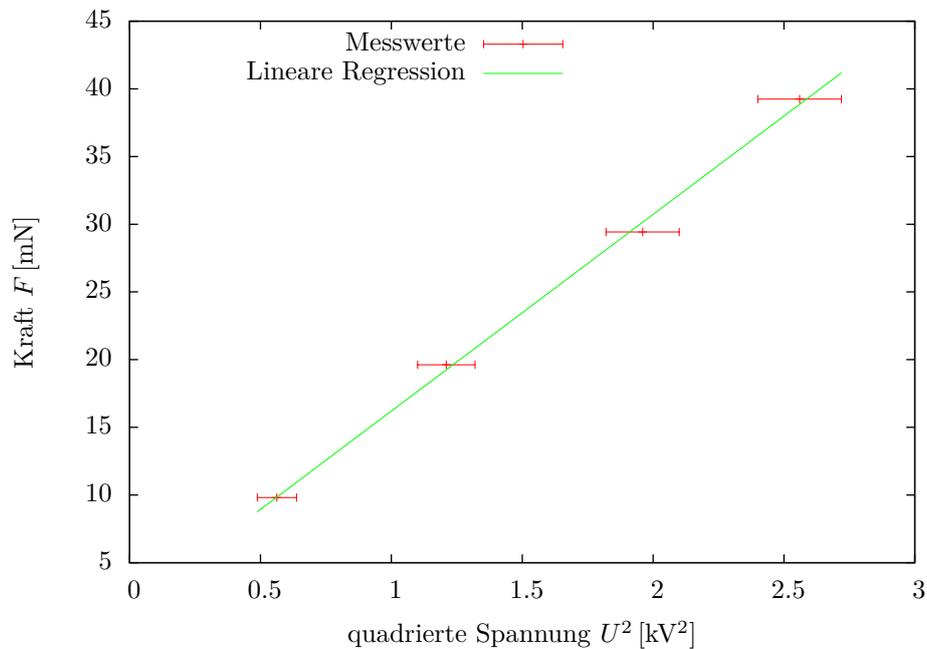


Abbildung 4: Quadrierte Spannung und Kraft auf die Platten bei  $d = 2$  mm.

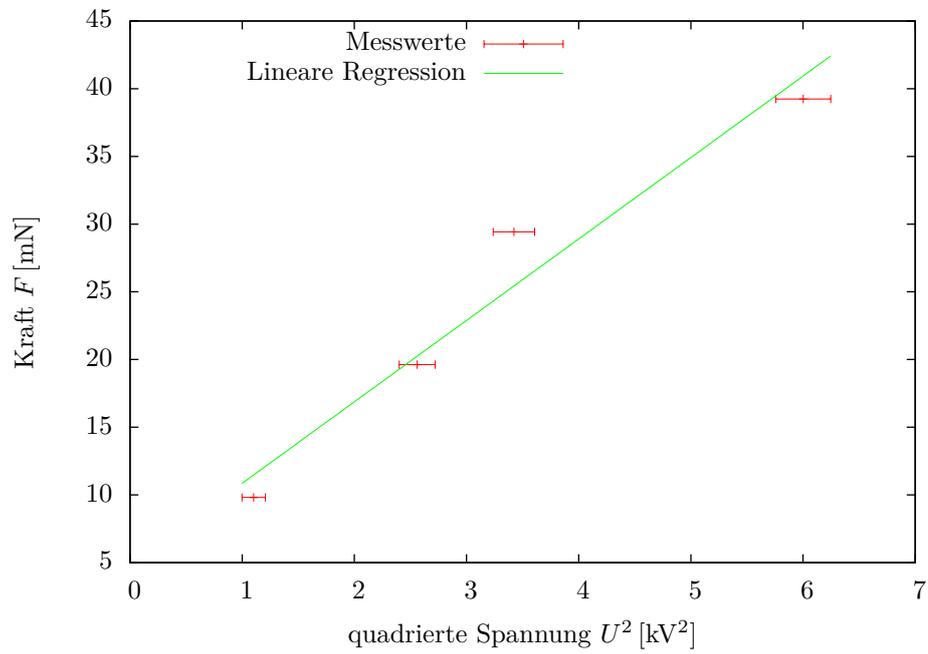


Abbildung 5: Quadrierte Spannung und Kraft auf die Platten bei  $d = 2.5$  mm.

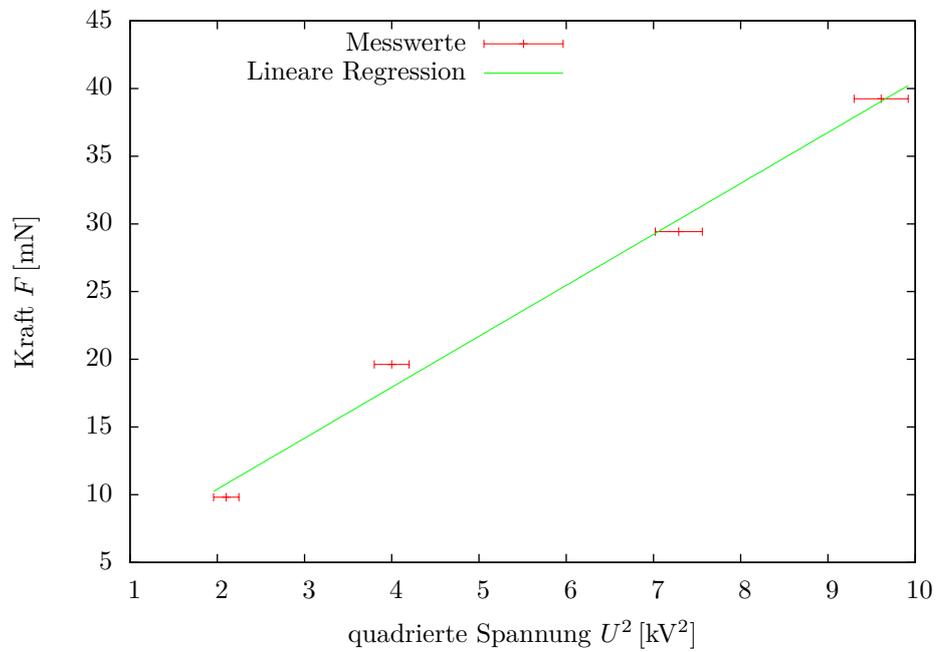


Abbildung 6: Quadrierte Spannung und Kraft auf die Platten bei  $d = 3$  mm.

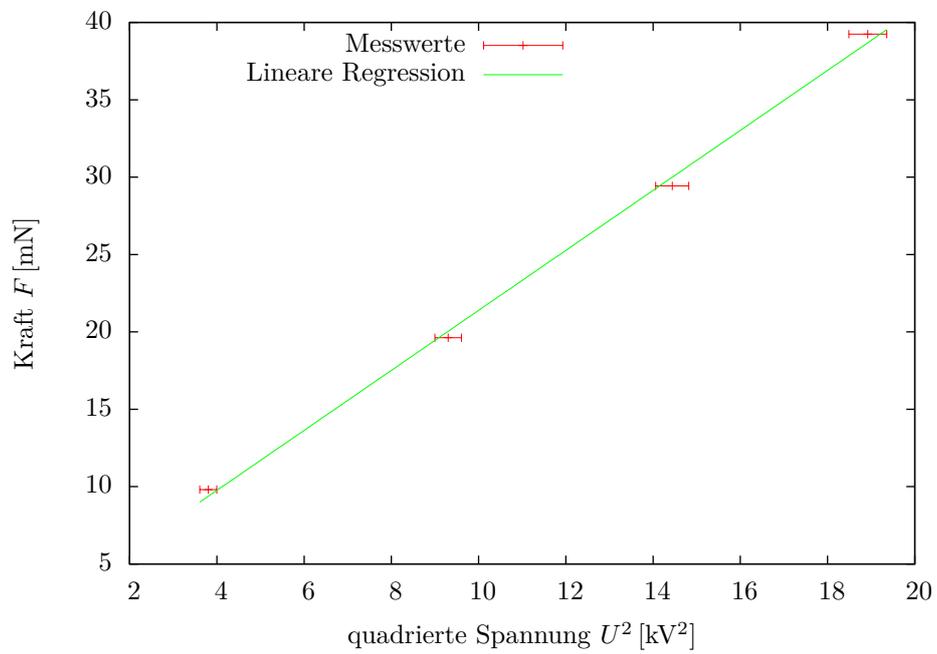


Abbildung 7: Quadrierte Spannung und Kraft auf die Platten bei  $d = 4$  mm.

## 5 Diskussion

Es fällt sofort auf, dass die Abweichung des gewichteten Mittels vom Literaturwert bei der zweiten Messreihe mit etwa 26.0% sehr viel größer ist als bei der ersten Messreihe (etwa 9.1%). Eine mögliche Ursache hiervon ist, dass die zweite Messreihe sehr viel weniger Zeit in Anspruch nahm und man häufiger die Gewichte wechseln musste, sodass Schwankungen der Waagschale nicht genug Zeit zum Abklingen gelassen wurde. Diese Schwankungen führen natürlich zu Schwankungen des gemessenen Gewichts, die bei kleinen Kräften, wie sie im Versuch auftreten, zu großen Fehlern führen können. Möglich wäre auch eine nicht zu vernachlässigende Schwankung der angelegten Spannung, die vor allem beim Verstellen des Spannungswerts auftritt. Dafür spricht auch, dass bei wiederholten Messungen bei sehr langsamem Verstellen der Spannung im Bereich des bereits festgestellten Minimalwertes größere Abstände der Kondensatorplatten möglich waren als zuvor.

Ein allgemeiner systematischer Fehler könnte auch in der hohen Luftfeuchte am Versuchstag liegen. Die Annahme von  $\epsilon_r = 1$  wäre dann nicht gerechtfertigt. Dagegen spricht jedoch, dass eine Erhöhung von  $\epsilon_r$  zu noch kleineren Werten führt, was jedoch zu höheren Abweichungen vom Literaturwert führen würde. Durchgängig geschlossene Fenster könnten zu solch einer guten Isolation des Raumklimas geführt haben.

## A Tabellen und Grafiken

### Literatur

[Grosse-Knetter und Schaaf 2012] GROSSE-KNETTER, Jörn ; SCHAAF, Peter: *Das Physikalische Praktikum : Handbuch 2012 für Studentinnen und Studenten der Physik*. Universitätsverlag Göttingen, 2012

[Meschede 2006] MESCHEDÉ, Dieter: *Gerthsen Physik*. 23. Ausgabe. Springer, 2006

[Prior und Schaaf ] PRIOR, Mira ; SCHAAF, Peter: *LP - Die Potenzialwaage*. – URL <http://lp.uni-goettingen.de/get/text/3664>. – Zugriffsdatum: 2012-09-17