

ANFÄNGERPRAKTIKUM DER FAKULTÄT FÜR PHYSIK,
UNIVERSITÄT GÖTTINGEN

Messung von großen Widerständen
Protokoll:

Praktikant: Felix Kurtz
Michael Lohmann
E-Mail: felix.kurtz@stud.uni-goettingen.de
m.lohmann@stud.uni-goettingen.de
Betreuer: Björn Klaas
Versuchsdatum: 03.09.2014

Testat:

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
2	Theorie	3
2.1	Messung mittels einem Kondensator	3
2.2	Analoger Stromintegrator	3
2.3	RLC-Schwingkreis	3
3	Durchführung	4
4	Auswertung	4
4.1	Kalibration des Ladungsmessgerätes	4
4.2	Berechnung von ε_0 und Widerständen	4
4.3	Entladung des Kondensators	5
4.4	Schwingkreise	5
5	Diskussion	5
6	Anhang	5

1 Einleitung

Um einen Widerstand zu messen, nutzt man meistens das Ohmsche Gesetz. Ist der Widerstand jedoch hochohmig, stößt dieses Verfahren an seine Grenzen. Man arbeitet mit hohen Spannungen und kleinen Strömen. Außerdem sind die Innenwiderstände der Messgeräte ein großer Störfaktor. Deshalb werden wir in diesem Versuch lernen, wie man das besser machen kann.

2 Theorie

2.1 Messung mittels einem Kondensator

$$Q(t) = Q_0 \exp\left(-\frac{t}{RC}\right) \quad (1)$$

Kennt man die Kapazität C und die Ladung, die sich auf dem Kondensator befindet, zu zwei verschiedenen Zeitpunkten t_1 und t_2 , kann man also den Widerstand R berechnen, über den der Strom abfließt:

$$R = -\frac{t_2 - t_1}{C \cdot \ln \frac{Q(t_2)}{Q(t_1)}} \quad (2)$$

Der hier verwendete Kondensator hat einen Plattenradius $r = 0.1$ m, einen Plattenabstand $d = 0.005$ m und eine Plattenzahl $n = 65$. Für die Berechnung der Kapazität müssen also Randeffekte betrachtet werden. Dabei wird diese Formel verwendet:

$$C_n = (n - 1)\varepsilon_0\varepsilon_r \left[\frac{\pi r^2}{d} + r \left(\ln \frac{16\pi r}{d} - 1 \right) \right] \quad (3)$$

2.2 Analoger Stromintegrator

Nach der *Kirchhoffschen Knotenregel* bei S gilt $I_R + I_C = 0$. Mit den folgenden Beziehungen der Ströme $I_R = U_E/R$ und $I_C = \dot{Q}_C = C\dot{U}_A$ erhält man:

$$U_A = -\frac{1}{RC} \int_{t_0}^t U_E dt \quad (4)$$

2.3 RLC-Schwingkreis

$$\ddot{Q} + 2\beta\dot{Q} + \omega_0^2 Q = 0 \quad (5)$$

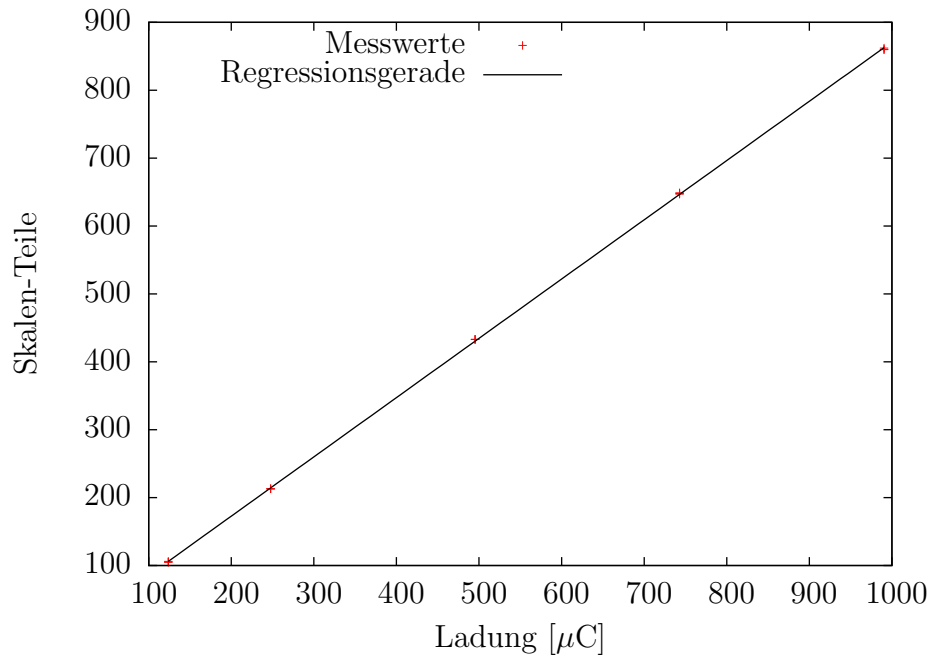


Abbildung 1: Skalenteile des Messgeräts in Abhängigkeit der geflossenen Ladung

$$\beta = \frac{R_L}{2L} \quad , \quad \omega_0 = \sqrt{\frac{1}{LC}} \quad , \quad \omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}$$

Mit dem Logarithmischen Dekrement $\Lambda = \beta T$ ergibt sich für die Induktivität der Spule

$$L = \frac{1}{C\omega_0^2} = \frac{1}{C(\omega^2 + \beta^2)} = \frac{1}{C} \frac{T^2}{4\pi^2 + \Lambda^2} \quad (6)$$

$$L = \mu_0 \cdot A \cdot \left(\frac{n}{l}\right)^2 \quad (7)$$

3 Durchführung

4 Auswertung

4.1 Kalibration des Ladungsmessgerätes

$$m = 0.8729 \pm 0.0017 \text{ Skt./}\mu\text{C}$$

4.2 Berechnung von ε_0

$$\varepsilon_0 = (9.19 \pm 0.07) \cdot 10^{-12} \frac{\text{As}}{\text{Vm}} \quad (8)$$

$$C = \frac{Q}{U}$$

$$C = (4.04 \pm 0.03) \text{ nF}$$

$$\sigma_C = \frac{1}{U^2} \cdot \sqrt{Q^2 \cdot \sigma_U^2 + \sigma_Q^2 \cdot U^2}$$

4.3 Entladung des Kondensators

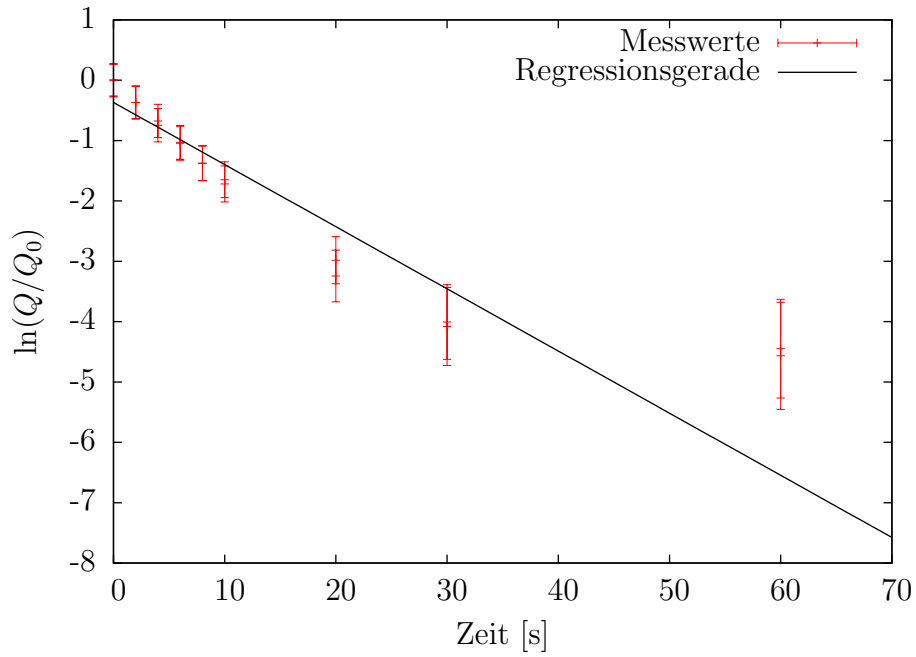


Abbildung 2: Entladung des Kondensators über R_x und R_{iso}

$$R_{\text{iso}} = -\frac{1}{C \cdot m_{\text{iso}}}$$

$$R_{\text{iso}} = (15 \pm 1) \text{ G}\Omega$$

$$\sigma_{R_{\text{iso}}} = \frac{1}{C^2 \cdot m_{\text{iso}}^2} \cdot \sqrt{C^2 \cdot \sigma_{m_{\text{iso}}}^2 + m_{\text{iso}}^2 \cdot \sigma_C^2}$$

$$R = -\frac{1}{C \cdot m}$$

$$R = (2.4 \pm 0.2) \text{ G}\Omega$$

$$\sigma_R = \frac{1}{C^2 \cdot m^2} \cdot \sqrt{C^2 \cdot \sigma_m^2 + m^2 \cdot \sigma_C^2}$$

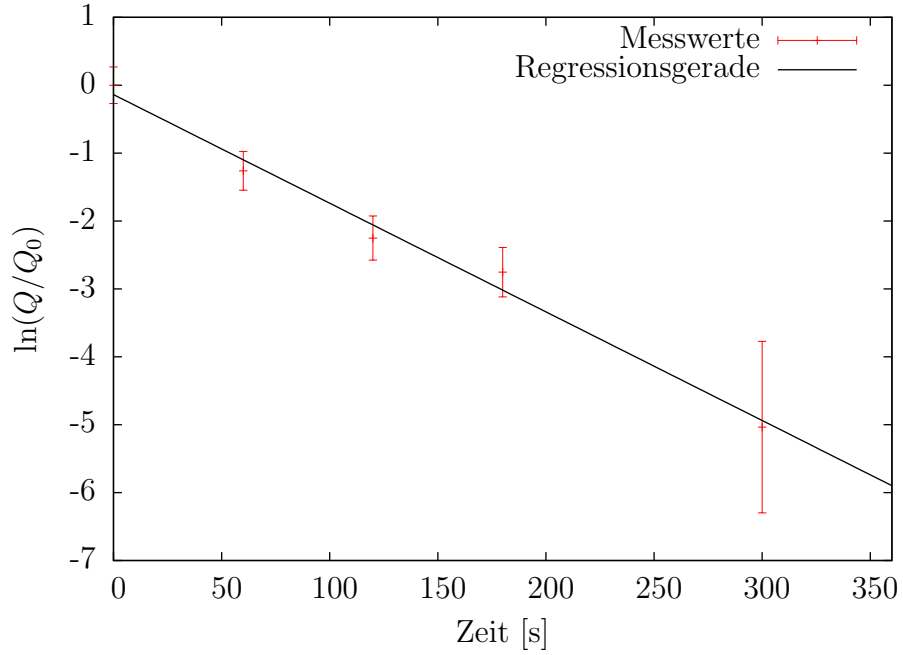


Abbildung 3: Entladung des Kondensators über den Isolationswiderstand R_{iso}

$$R_x = \frac{1}{\frac{1}{R} - \frac{1}{R_{\text{iso}}}}$$

$$R_x = (2.8 \pm 0.4) \text{ G}\Omega$$

$$\sigma_{R_x} = \frac{1}{(R_{\text{iso}} - R)^2} \cdot \sqrt{R_{\text{iso}}^4 \cdot \sigma_R^2 + R^4 \cdot \sigma_{R_{\text{iso}}}^2}$$

4.4 Schwingkreise

4.4.1 Schritt 5

$$R_{\text{oszi}} = R_2 \cdot \left(\frac{m_{\text{ges}}}{m_{\text{oszi}}} - 1 \right)$$

$$R_{\text{oszi}} = (900 \pm 60) \text{ k}\Omega$$

$$\sigma_{R_{\text{oszi}}} = \frac{1}{m_{\text{oszi}}^2} \cdot \sqrt{m_{\text{ges}}^2 \cdot R_2^2 \cdot \sigma_{m_{\text{oszi}}}^2 + m_{\text{oszi}}^2 \cdot \left(R_2^2 \cdot \sigma_{m_{\text{ges}}}^2 + \sigma_{R_2}^2 \cdot (m_{\text{ges}} - m_{\text{oszi}})^2 \right)}$$

$$C = -\frac{1}{m_{\text{oszi}} \cdot R_{\text{oszi}}}$$

$$C = (4.3 \pm 0.3) \text{ nF}$$

$$\sigma_C = \frac{1}{m_{\text{oszi}}^2 \cdot R_{\text{oszi}}^2} \cdot \sqrt{m_{\text{oszi}}^2 \cdot \sigma_{R_{\text{oszi}}}^2 + R_{\text{oszi}}^2 \cdot \sigma_{m_{\text{oszi}}}^2}$$

4.4.2 Schritt 6

$$R_x = \frac{R_{\text{oszi}}}{\frac{m_x}{m_{\text{oszi}}} - 1}$$

$$R_x = (-0.3 \pm 1.2) \text{ G}\Omega$$

$$\sigma_{R_x} = \frac{1}{(m_x - m_{\text{oszi}})^2} \cdot \sqrt{m_{\text{oszi}}^2 \cdot \sigma_{R_{\text{oszi}}}^2 \cdot (m_x - m_{\text{oszi}})^2 + R_{\text{oszi}}^2 \cdot (m_x^2 \cdot \sigma_{m_{\text{oszi}}}^2 + m_{\text{oszi}}^2 \cdot \sigma_{m_x}^2)}$$

4.4.3 Schritt 7

$$L = \frac{T^2}{C \cdot (\beta^2 \cdot T^2 + 4 \cdot \pi^2)}$$

$$\sigma_L = \frac{T}{C^2 \cdot (\beta^2 \cdot T^2 + 4 \cdot \pi^2)^2} \cdot \sqrt{4 \cdot \beta^2 \cdot C^2 \cdot \sigma_\beta^2 \cdot T^6 + 64 \cdot \pi^4 \cdot C^2 \cdot \sigma_T^2 + \sigma_C^2 \cdot T^2 \cdot (\beta^2 \cdot T^2 + 4 \cdot \pi^2)^2}$$

$$L = (9.6 \pm 0.7) \text{ H}$$

$$L = (0.018 \pm 0.001) \text{ H}$$

$$R_L = 2 \cdot \beta \cdot L$$

$$\sigma_{R_L} = 2 \cdot \sqrt{\beta^2 \cdot \sigma_L^2 + L^2 \cdot \sigma_\beta^2}$$

$$R_L = (6.1 \pm 0.5) \text{ k}\Omega$$

$$R_L = (160 \pm 10) \Omega$$

4.4.4 Schritt 9

$$C_2 = \frac{C_{\text{Pl.}}}{m_g} \cdot m_c$$

$$C_2 = (3.1 \pm 0.2) \text{ nF}$$

$$\sigma_{C_2} = \frac{1}{m_g^2} \cdot \sqrt{C_{\text{Pl.}}^2 \cdot m_c^2 \cdot \sigma_{m_g}^2 + m_g^2 \cdot (C_{\text{Pl.}}^2 \cdot \sigma_{m_c}^2 + m_c^2 \cdot \sigma_{C_{\text{Pl.}}}^2)}$$

5 Diskussion

6 Anhang

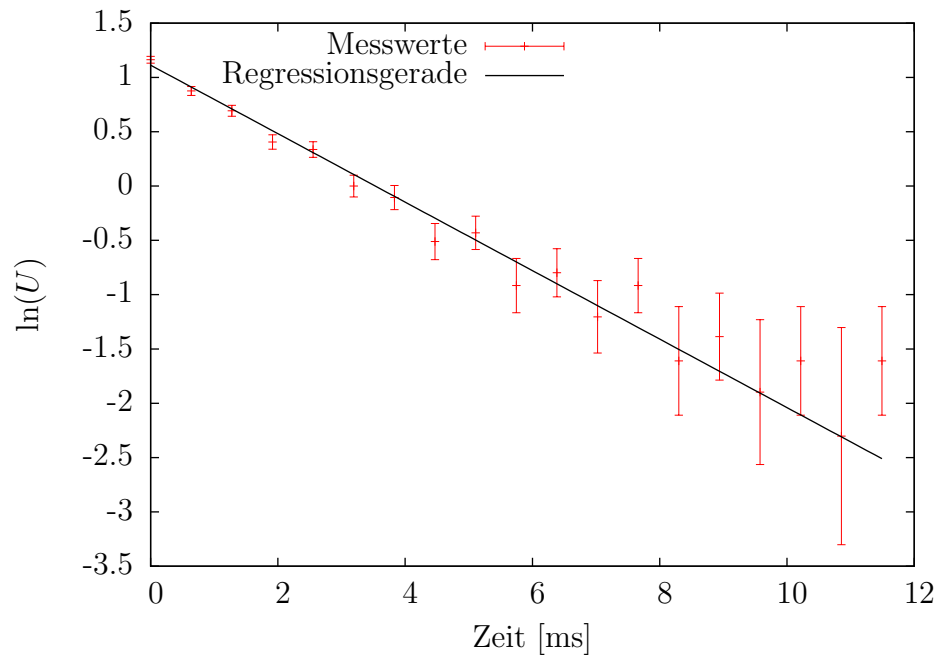


Abbildung 4: *Drosselspannung:* Extrema des Spannungsverlauf logarithmisch gegen die Zeit

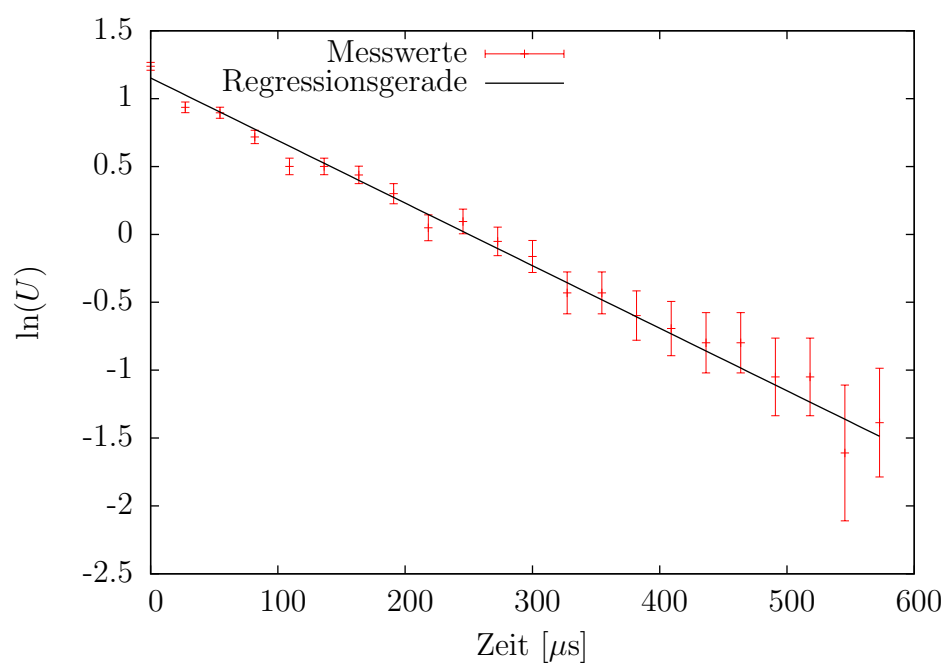


Abbildung 5: *Luftspule*: Extrema des Spannungsverlauf logarithmisch gegen die Zeit