

Hinweis

Das vorliegende Protokoll wurde im Rahmen der jeweiligen Lehrveranstaltung an der Universität Bonn erstellt. Sofern im oberen Teil der ersten Seite oder auf der unten angegebenen Webseite nicht anders vermerkt, wurde dieses Protokoll von mir, Marvin Zanke, alleine angefertigt und eingereicht. Bei allem in einer anderen Farbe als dem üblichen Blau handelt es sich in der Regel um Korrekturen von mir oder des Tutors. Für mehr Informationen und meine gesamten Unterlagen, siehe:

<https://www.physics-and-stuff.com/>

Ich erhebe keinen Anspruch auf Richtigkeit und Vollständigkeit des vorliegenden Protokolls! Dies gilt ebenso für obengenannte Korrekturen.

Dieses Werk von [Marvin Zanke](#) ist lizenziert unter einer [Creative Commons Namensnennung – Nicht-kommerziell – Weitergabe unter gleichen Bedingungen 4.0 International Lizenz](#).

28.10.2015 Versuch 236: Galvanometer zur Strom- und Ladungsmessung

In diesem Versuch geht es um das Galvanometer als Instrument zur Bestimmung des großen Grenz-
widerstands R_{gr} , zur Bestimmung der Stromempfindlichkeit C_s und Innenwiderstand R_g des Galvanometer. Diese Resultate werden auf anderen Wegen überprüft und diskutiert. Außerdem soll allgemein der Aufbau und die Funktionsweise des Galvanometers klar werden und es werden Ströme bzw. Ladungen mit dem Galvanometer gemessen.

Größen, Formeln, Begriffe, Schaltungen

Magnetfeldlinien im Eisen Das Eisen verstärkt das Magnetfeld und Luftspalt und damit die Dichte der Magnetfeldlinien. Im Luftspalt laufen die Magnetfeldlinien [?] Schräg auf die runde Oberfläche des Eisenkerns zu, im Innern laufen sie gerade.

Kräfte und Drehmomente Die Anhängung führt bei auf die Spule Auslenkung eine rücktreibende Bewegungskraft aus (Torsion) proportional zu der Auslenkung. Der Stromfluss führt zu einem Drehmoment der Spule nach $\vec{M} = \vec{r} \times \vec{F}$, $[M] = N \cdot m$ durch die Lorentzkraft. Dies wiederum ändert den magnetischen Fluss und es entsteht eine induzierte Spannung und bei „Kurzschluss“ eine Stromstärke über einen Widerstand.

Bewegungsgleichung eines Aus $\Theta \ddot{\varphi}(t) = N$
Drehspulgalvanometers, folgt

$$\Theta \ddot{\varphi}(t) = -D\varphi - f \dot{\varphi} + GI - \frac{G^2}{R_g + R_e} \varphi$$

Entladung eines Kondensators Schließt man einen Kondensator über einen Widerstand an den Strom an, so lädt dieser sich auf. Die Ladung trennt sich also auf beiden Platten. Trennt man den Kondensator von der Spannungsquelle und schließt einen Widerstand zwischen, so entlädt sich der Kondensator bzw. dessen Ladung über den Widerstand. Der Vorgang wird durch eine e-Fkt. beschrieben, da mit der Zeit immer weniger Ladung „gegendrückt“.

Zeitkonstante RC-Glied: $\tau = RC$ $[\tau] = s$

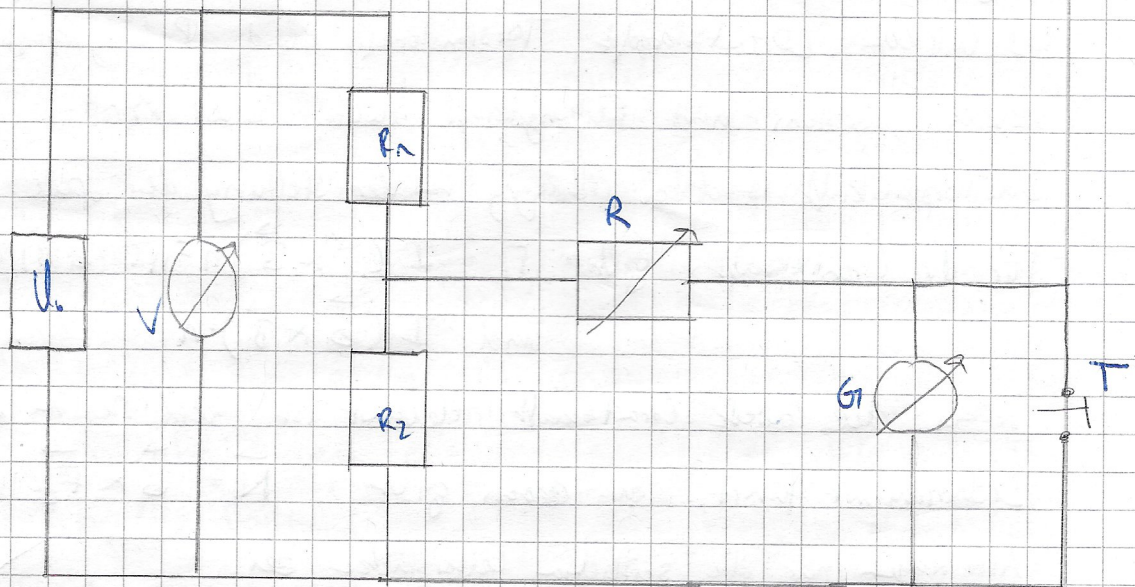
Strahlenweg Lichtzeiger: Da Einfallswinkel = Ausfallswinkel bezüglich des Lots, folgt für die Ablesung auf der Skala $\varphi = 2\alpha$ wobei α die Drehung des Galvanometers ist.

Ausschlag / Empfindlichkeit: $\varphi = C_1 \cdot I = \frac{G}{D}$

Grenzwiderstand R_{gr} : $R_{gr} = \frac{G^2}{2 \sqrt{D^2} \cdot f} - R_g$

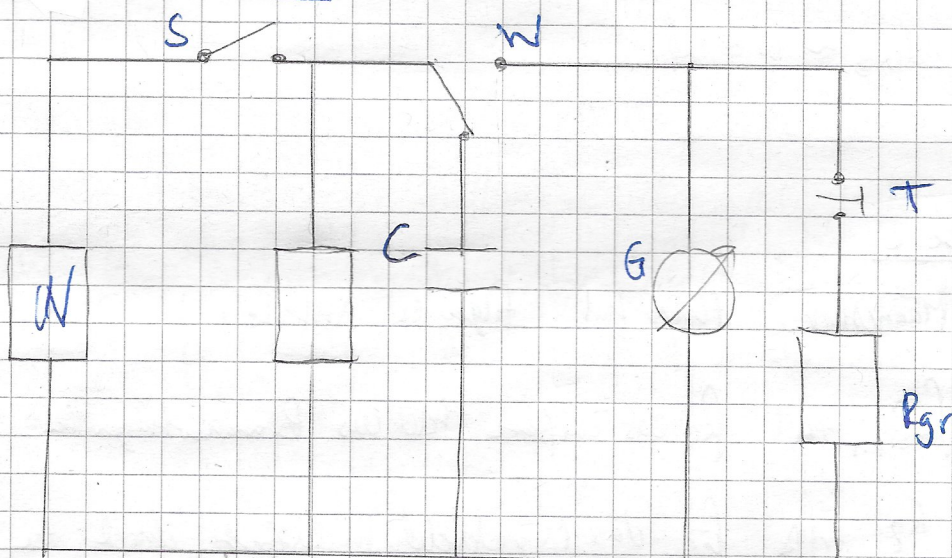


Stromempfindlichkeit:



$$\frac{1}{\varphi} = \frac{R_1 + R_2}{G_1 U_0 R_2} (R_g + R)$$

ballistisches Galvanometer:



$$Q = Q_0 e^{-t/\tau c} \quad \varphi_m = \frac{G}{\sqrt{D \sigma T}} Q$$

Legende: G: Galvanometer

N: Netzteil

W: Wechselschalter

S: Schalter

T: Taster für Kurzschluss

Aufgabe A

Es wirken Lorentzkraft, Torsionskraft und Reibungskraft,
wovon Torsions- und Reibungskraft richtreibend sind.

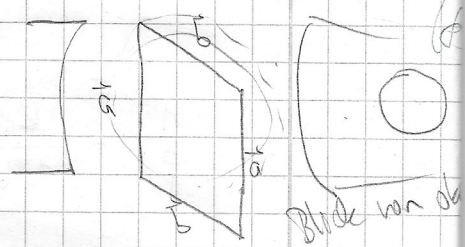
Die Torsionskraft ist dabei abhängig von der Stellung der Spule.

Nur fehlen
aber ein
paar
Rechnungen...

Für die Lorentzkraft gilt: $F_L = I (\vec{a} \times \vec{B}) \cdot \vec{n} = n I (aB)$ weil $\vec{a} \perp \vec{B}$
und $I (\vec{b} \times \vec{B}) \cdot \vec{n}$

wobei die zweite Lorentzkraft irrelevant ist, weil sie zu keinem
Drehmoment führt. Für diesen gilt: $\vec{N} = \vec{b} \times \vec{F}_L$ im ersten Fall.

Also tragen nur die seitlichen Leiterstücke bei.



Aufgabe B

$$U_{\text{ind}} = -\dot{\Phi} = -n \dot{A} B = n a b B \omega \sin(\omega t),$$

$$\text{da } A(t) = a \cdot b \cdot \cos(\omega t)$$

$$\text{also } U_{\text{ind}} \sim \omega = \dot{\varphi}$$

Aufgabe C

Der Magnetischen Fluss hat folgende Anteile:

$\int B_{\text{pm}} dA$ für das äußere Feld des Permanentmagneten

$\int B_{\text{ind}} dA$ für das Magnetfeld, induziert durch den
Stromfluß in der Spule

Aufgabe D

$$U_{\text{SE}} = -L \frac{dI_{\text{m}}}{dt} = -L \frac{I (R_g + R_a) - G \dot{\varphi}}{R_g + R_a}$$

$$\text{da } I = I_{\text{m}} - \frac{G}{R_g + R_a} \dot{\varphi}$$

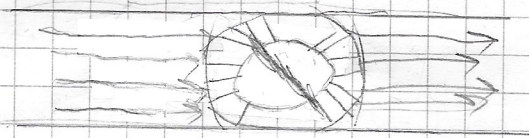
$$\Rightarrow I_{\text{SE}} = -L \frac{I (R_g + R_a) - G \dot{\varphi}}{(R_g + R_a)}$$

$$N_e = G \left(-L \frac{\dot{\varphi} (R_g + R_e) - G \ddot{\varphi}}{(R_g + R_e)^2} \right)$$

$\dot{I} = 0$ und $\ddot{\varphi} \ll 1$, verschwindet nach Einschwingvorgang

Aufgabe F

Durch den Weicheisenkern wird zum einen das Magnetfeld verstärkt und zum anderen im Zusammenspiel mit den abgerundeten Polschuhen ein radialsymmetrisches Feld erzeugt. Ohne beide Faktoren ändert sich der Versuchsaufbau wie folgt:



Im zweiten Fall gibt es Stellungen der Spule, bei welchen kein Drehmoment mehr wirkt, weil die Lorentzkraft parallel zur zweiten Seite ist, also $\vec{N} = -\vec{F}_L \times \vec{b} = 0$. Es gibt dann einen Maximalausschlag.

Aufgabe F

$$[\omega_s] = \left[\frac{D^2}{\theta^2} \right] = \frac{N^2 m^2 \text{ rad}^2}{\text{rad}^2 N^2 m^2 s^2} = \frac{1}{s^2}, \text{ da}$$

$$[D] = \frac{N \cdot m}{\text{rad}} \quad [\theta] = \frac{N \cdot m}{\text{rad}} \cdot s^2$$

$$[B] = \left[\frac{1}{J} \left(J + \frac{G^2}{R_g + R_e} \right) \right] = \frac{\text{rad}}{N \cdot m \cdot s^2} \left(\frac{N \cdot m \cdot s}{\text{rad}} + \frac{N^2 m^2}{A^2} \right)$$

$$= \frac{\text{rad}}{N \cdot m \cdot s^2} \left(\frac{N \cdot m \cdot s}{\text{rad}} + \frac{N^2 m^2}{J} \right) = \frac{1}{s} \quad \frac{J}{A^2 s}$$

Da $[J] = \frac{N \cdot m \cdot s}{\text{rad}}$, $[R] = \frac{V}{A} = \frac{J}{A^2 s}$, $[G] = \frac{N m^2}{A m} = \frac{N m}{A}$

$$[\varphi] = \frac{N s}{A} = \frac{N}{A}$$

Aufgabe G

Wenn man R_g kennt, kann man mit diesem Widerstand den aperiodischen Grenzfall erreichen, welcher von Vorteil ist, da er schnell zur Ruhe kommt um den Wert abzulesen.

Wenn R_a größer gewählt wird, wird die Dämpfung schwächer. Zu einem entgegen man damit zusätzlichen Wärmeverluste und zum anderen kann man durch einen volltändigen² Schwingvorgang zwar besser ablesen.

Aufgabe H

- größere Spule
- mehr Windungen
- größeres B-Feld (P-M)
- kleineres Rückstellmoment D (Richtkonstante)
- größere Stromstärke

Aufgabe I

Der Permanentmagnet kann nicht beliebig stark gemacht werden.

Aufgabe J

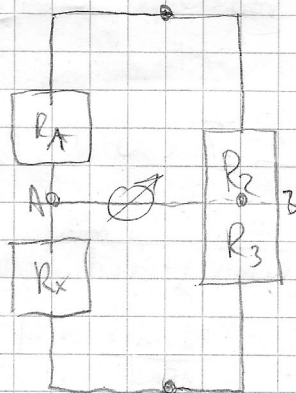
$$[C_1] = \left[\frac{\varphi}{I} \right] = \frac{\text{rad}}{\text{A}}$$

Aufgabe K

Die Wheatstonesche Brücke

z.B.

(am Ende des Praktikums noch mehr, hoffe ich)



Versuchsdurchführung

Bei der ersten aufgebauten Schaltung wird die Spule einmal mit und einmal ohne kurzgeschlossenen Stromkreis ausgelenkt, um die spürbare Dämpfung zu analysieren.

Im nächsten Teil des Versuchs wird bei der selben Schaltung der sogenannte Grenz Widerstand ermittelt. Das ist der Widerstand, bei der die Auslenkung möglichst schnell in ihre Ruhelage zurück findet (aperiodischer Grenzfall), wobei man dies durch herumprobieren versucht herauszufinden. Dieser Teil wird mit verschiedenen Zusatzgewichten wiederholt.

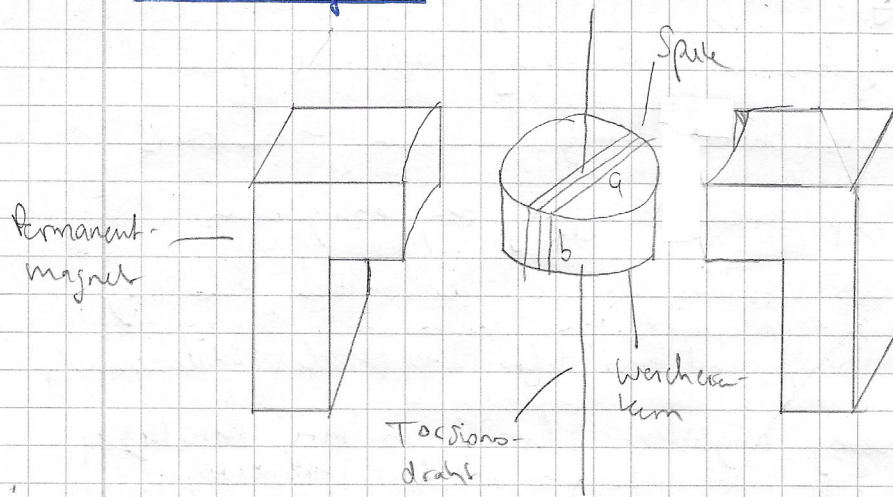
Bei der zweiten aufgebauten Schaltung soll die Stromempfindlichkeit C_n und der Innenwiderstand des Galvanometers R_g ermittelt werden, wobei man dafür den linearen Zusammenhang zwischen φ und R misst und graphisch aufträgt.

Danach misst man den Ausschlag φ für ein festes R_a und ermittelt damit c_n unter Verwendung von verschiedenen Zusatzgewichten.

Bei der dritten und letzten Schaltung will man die Zeitkonstante τ_c und damit einen großen Widerstand bestimmen. Dafür lädt man einen Kondensator auf eine bestimmte Spannung auf, bevor er dann über dem unbekanntem Widerstand entladen wird.

Zur Zeit t_0 öffnet man S und zur Zeit t_1 W_1 , sodass man im Zeitintervall $t = t_1 - t_0$ bereits eine gewisse Menge entladen hat und zu t_2 den Maximalausschlag des Galvanometers messen kann. Dies wird für unterschiedliche Zeitintervalle t wiederholt.

Versuchsaufbau



Messung

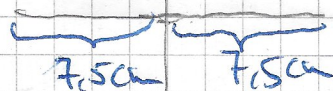
Aufgabe a)

ohne Kurzgeschlossenen Stromkreis: periodische Bewegung,
Spule / Ausschlag pendelt mit kurzer
Schwingungsdauer T

mit " " : nach Ausschlag kann
noch eine Bewegung spürbar. Die
Spule schwingt ganz langsam zurück
in die Ruhelage, ohne weiteren Ausschlag.

- b)
- ohne Gewicht: $R_a = R_g = (1400 \pm 50) \Omega$
 - mit 2 kl. Gew: $R_a = R_g = (450 \pm 50) \Omega$
 - mit 2 gr. Gew: $R_a = R_g = (300 \pm 50) \Omega$

Wobei wir die Gewichte ganz oben an die Stange
gehängt haben:



$$c) R_1 = (10.000 \pm 10) \Omega$$

$$R_2 = (50 \pm 1) \Omega$$

$$U_0 = (2 \pm 0,1) V$$

R in $\Omega (\pm 1\%)$	$2 \Delta \varphi$ in $skt \pm 2skt$
1	39,0
5	33,5
10	31,5
20	30,5
40	27,5
50	26,0
70	24,5
100	21,5
150	18,0
200	15,5
400	10,0
600	7,5
800	6,0
1000	5,0 $\bar{0}$

$$f) (15 \pm 1) \Omega = R_g$$

$$g) 800 \Omega = R_a$$

2 kleine Gewichte: $2 \Delta \varphi = (6 \pm 1) skt$

2 größere Gewichte: $2 \Delta \varphi = (5,5 \pm 1) skt$

h) Kondensator: $C = 10,21 \mu\text{F}$

Entladungszeit t in s ($\pm 0,5$)	Maximalauslenkung z_{max} in cm (± 5)
4,28	45
6,22	35
8,22	29
10,13	24
12,22	18
14,06	15
16,13	13
18,09	11
20,03	8

Auswertung

b) Gleichung 236.15: $R_{gr} = R_a = \frac{G^2}{2 \cdot 10^5 - G} - R_g$

Also ist $R_{gr} \sim \frac{1}{10^5}$

Nach dem Steinerschen Satz gilt:

$$J = J_{\text{SP}} + m d^2, \text{ wobei } m \text{ die Masse und } d \text{ der Abstand der Masse von der Drehachse durch den Schwerpunkt ist.}$$

Damit folgt sofort, dass der Trägheitsmoment durch Anbringen von Gewichten größer wird, für die kleinen Gewichte erhalten wir also bereits einen kleineren Massenwiderstand als ohne Gewichte und für die großen Gewichte nochmal einen kleineren Widerstand. Da dies mit $\frac{1}{10^5}$

Skaliert, werden die Abstände der Werte für R_{gr} kleiner.

0) Wie suche $\frac{1}{\Phi}$ und haben gemessene ($2\Delta\Phi$)

$$\frac{1}{\Phi} = \frac{2}{(2\Delta\Phi)}$$

Messwert \rightarrow

$$\Delta\left(\frac{1}{\Phi}\right) = \sqrt{\left(\frac{2}{(2\Delta\Phi)^2} \Delta(2\Delta\Phi)\right)^2}$$

$$= \frac{2}{(2\Delta\Phi)^2} \Delta(2\Delta\Phi) = \frac{2}{x^2} \Delta x$$

wobei $x = (2\Delta\Phi)$ unser gemessener Wert ist.

R in Ω	ΔR in Ω	$2\Delta\Phi$ in skt	$\Delta(2\Delta\Phi)$ in skt	$1/\Phi$ in skt	$\Delta(1/\Phi)$ in skt
1	0.01	34	2	0.058823529	1
5	0.05	33.5	2	0.059701493	1
10	0.1	31.5	2	0.063492063	1
20	0.2	30.5	2	0.06557377	1
40	0.4	27.5	2	0.072727273	1
50	0.5	26	2	0.076923077	1
70	0.7	24.5	2	0.081632653	1
100	1	21.5	2	0.093023256	1
150	1.5	18	2	0.111111111	1
200	2	15.5	2	0.129032258	1
400	4	10	2	0.2	1
600	6	7.5	2	0.266666667	1
800	8	6	2	0.333333333	1
1000	10	5	2	0.4	1

Die Werte sind der obigen Tabelle zu entnehmen

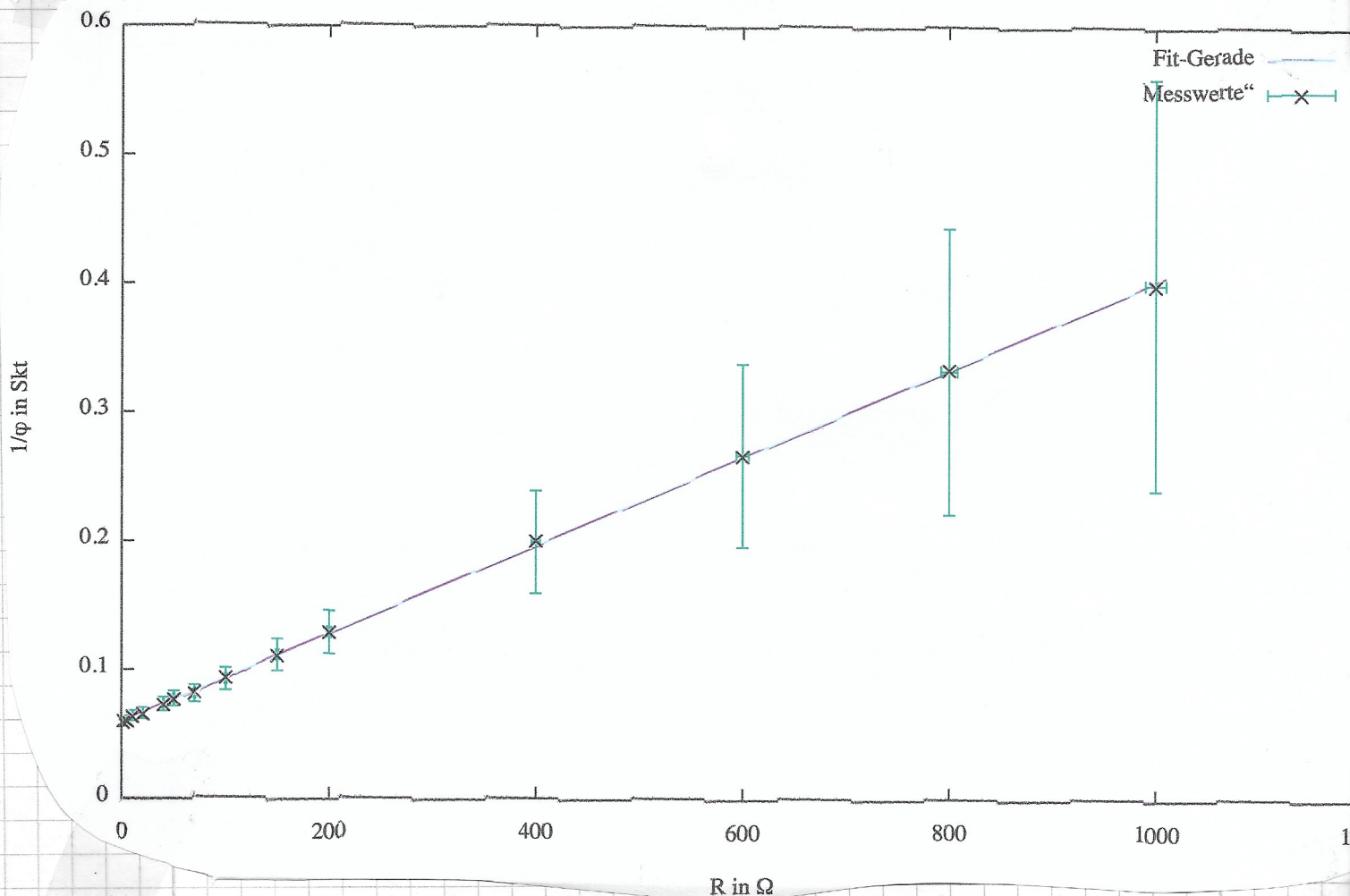
Gruplot liefert für die Steigung: $m =$

$$m = (0,000343 \pm 0,000001) \frac{1}{\Omega \cdot \text{skt}}$$

und für den Achsenabschnitt

$$b = (0,05931 \pm 0,00052) \text{ skt}$$

Zur folgenden Plot



d) Es gilt bekanntlich: $y = \frac{1}{\varphi} = \underbrace{\frac{R_1 + R_2}{c_1 u_0 R_2}}_m R + \underbrace{\frac{R_1 + R_2}{c_1 u_0 R_2} R_g}_b$ (*)

$$\Rightarrow c_1 = \frac{R_1 + R_2}{u_0 R_2 m} = \left(\frac{R_1 + R_2}{R_2} \right) \frac{1}{u_0 m}$$

Für den Fehler folgt damit:

$$\Delta c_1 = \sqrt{\left(\frac{1}{u_0 R_2 m} \Delta R_1 \right)^2 + \left(\frac{R_1}{R_2^2 u_0 m} \Delta R_2 \right)^2 + \left(\frac{R_1 + R_2}{u_0^2 R_2 m} \Delta u_0 \right)^2 + \left(\frac{R_1 + R_2}{u_0 R_2 m^2} \Delta m \right)^2}$$

und mit den Werten:

$$R_1 = (10.000 \pm 10) \Omega, \quad R_2 = (50 \pm 1) \Omega$$

$$u_0 = (2 \pm 0,1) \text{ V}, \quad m = (0,000343 \pm 0,000001) \text{ folgt}$$

$$c_1 = (293.002,9155 \pm 15793,7) \frac{\text{Skt}}{\text{A}}$$

$$e) \text{ Aus (*) folgt: } R_g = \frac{C_1 U_0 R_2}{R_1 + R_2} \quad b = \frac{C_1 U_0 b}{1} \left(1 - \frac{R_1}{R_1 + R_2}\right)$$

Werte wie gehabt, zusätzlich: $b = (0,05931 \pm 0,00052) \text{ Skt}$

$$\Delta R_g = \sqrt{\left(\frac{U_0 R_2 b}{R_1 + R_2} \Delta C_1\right)^2 + \left(\frac{C_1 R_2 b}{R_1 + R_2} \Delta U_0\right)^2 + \left(\frac{b C_1 U_0 (R_1 + R_2) - C_1 U_0 R_2}{(R_1 + R_2)^2} \Delta R_2\right)^2 + \left(\frac{C_1 U_0 R_2}{(R_1 + R_2)^2} \Delta R_1\right)^2 + \left(\frac{C_1 U_0 R_2}{R_1 + R_2} \Delta b\right)^2}$$

$$\Rightarrow R_g = (172,91 \pm 13,57) \Omega$$

$$f) R_g = (115 \pm 1) \Omega \text{ mit dem DMM.}$$

Dies ist allerdings nicht verwunderlich, da die Apparatur sehr empfindlich auf kleine Bewegungen oder ähnliches reagiert. Selbst wenn man die Messwerte noch einigermaßen gut ablesen konnte, so hätte man den Fehler von Anfang an vielleicht größer schätzen sollen um die eben genannten Probleme abzudecken. Auch die Geräte und Widerstände können veraltet sein und so die 2 V nicht unbedingt der wahren Spannung entsprechen. Auf jeden Fall liegt unser Wert deutlich höher und auch nicht in der Fehlergrenzen.

$$g) \text{ ohne Gewichte: } (6,0 \pm 2) \text{ Skt}$$

$$\text{kl. Gewichte: } (6,0 \pm 1) \text{ Skt}$$

$$\text{gr. Gewichte: } (5,5 \pm 1) \text{ Skt}$$

Innerehalb der Fehlergrenzen ist der Ausschlag immer gleich und damit unabhängig von den

Zusätzliches Grundgesetz. Das lässt sich sehr einfach durch Gleichung 236.11 erklären;

$$f = \frac{G}{D} \cdot I = C_1 \cdot I \Leftrightarrow C_1 = \frac{G}{D}$$

wonach die Stromempfindlichkeit unabhängig von dem Trägheitsmoment der Spule ist.

h) Es gilt hier $\Delta \ln(\varphi_m) = \frac{1}{\varphi_m} \Delta \varphi_m$
 Und damit folgt für die Tabelle

Entladungszeit t in s	Δt in s	Maximalauslenkung φ_m in skt	$\Delta \varphi_m$ in skt	$\ln(\varphi_m)$	$\Delta \ln(\varphi_m)$ in skt
4.28	0.5	45	5	3.80666249	0.111111111
6.22	0.5	35	5	3.555348061	0.142857143
8.22	0.5	29	5	3.36729583	0.172413793
10.13	0.5	24	5	3.17805383	0.208333333
12.22	0.5	18	5	2.890371758	0.277777778
14.06	0.5	15	5	2.708050201	0.333333333
16.13	0.5	13	5	2.564949357	0.384615385
18.09	0.5	11	5	2.397895273	0.454545455
20.03	0.5	8	5	2.079441542	0.625

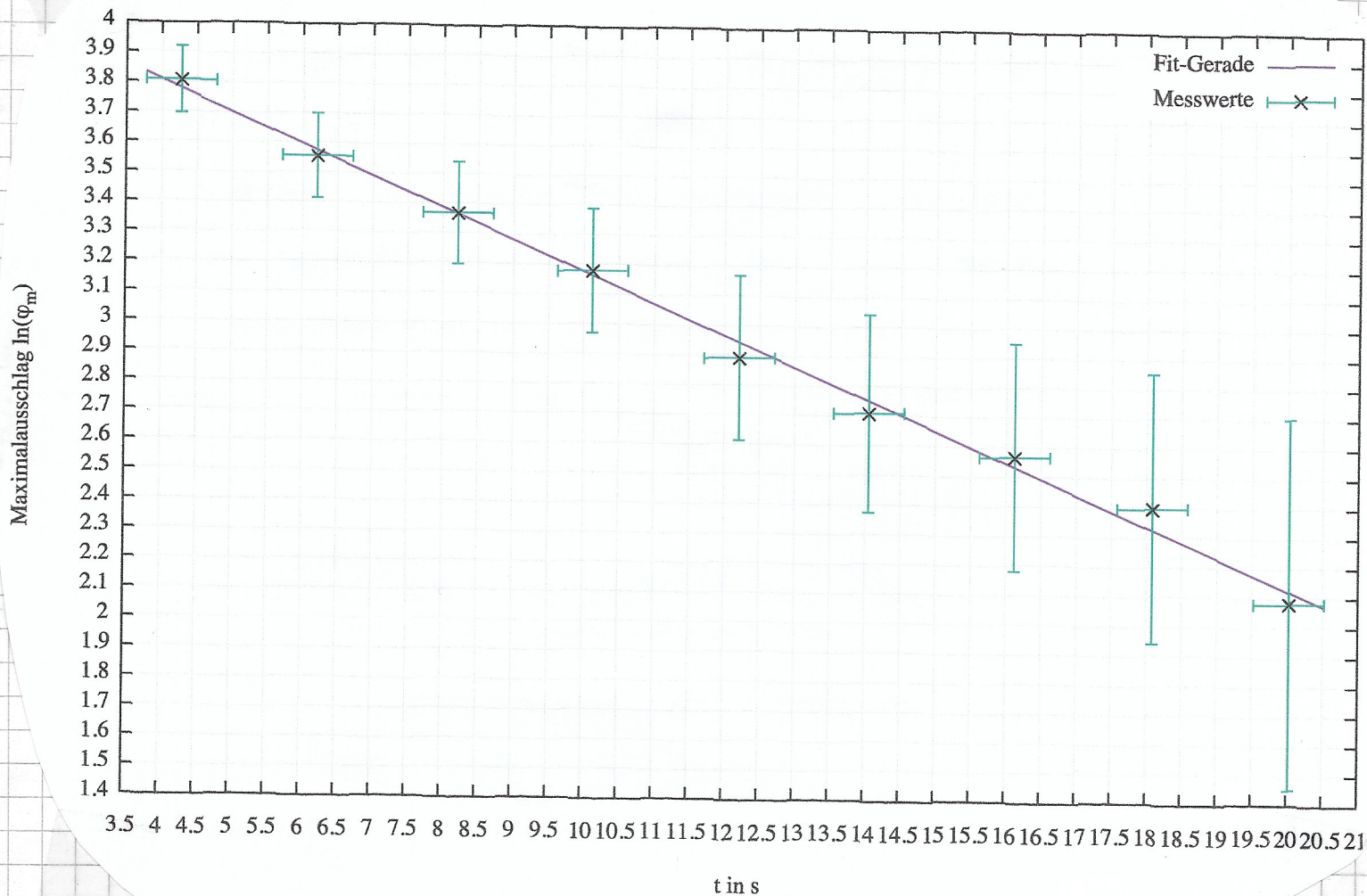
Grapher liefert als Werte für den Gerade-Fit hier

$$m = (-0,105228 \pm 0,002926) \frac{1}{s}$$

und für den y-Achsenabschnitt

$$b = (4,22866 \pm 0,03856) [-]$$

Bei nachfolgendem Plot:



Für die Gleichung (236.27): $\varphi_m = \frac{Q}{\sqrt{100}} Q_0 e^{-\frac{t}{RC}}$ gilt
mit der halblogarithmischen Darstellung:

$$\ln(\varphi_m) = \ln\left(\frac{Q}{\sqrt{100}} Q_0 e^{-\frac{t}{RC}}\right) = \underbrace{-\frac{1}{RC} t}_{\text{cm}} + \ln\left(\frac{Q}{\sqrt{100}} Q_0\right)$$

Und mit der gefitteten Geraden demnach:

$$-\frac{1}{RC} = m \Leftrightarrow RC = -\frac{1}{m}$$

$$\Rightarrow \Delta(RC) = \left(\frac{1}{m^2} \Delta m\right)$$

$$\Rightarrow RC = (9,503174 \pm 0,264248) \text{ s}$$

Da die Kapazität exakt mit $C = 10,21 \mu\text{F}$ angegeben war,
folgt mit $R = -\frac{1}{cm}$, $\Delta R = \frac{1}{cm^2} \Delta m$

$$R = (930771,2047 \pm 25881,2917) \Omega$$

Der Widerstand erscheint zunächst ziemlich groß, allerdings besitzt der Kondensator bei $U=2V$ mit $Q=C \cdot U$

$$= 2,042 \cdot 10^{-5} C$$

Ladung. Wäre der Widerstand nicht so groß, so würde der Kondensator sich sehr schnell entladen, was neben den Problemen beim Ableken auch zu sehr hohen Stromstärken und damit Überhitzung des Drahts führen könnte.

schön

Zeit

Abschließend zu dem Versuch lässt sich sagen, dass die Messungen sehr gut geklappt haben, die Bestimmung des Widerstands vom Galvanometer erwies sich allerdings als Problem, da der Wert gemessen mit dem DMM - deutlich von dem bestimmten Wert verschieden war. Allerdings hätte man vermutlich auch die Justierung von der Skala genauer (eventuell Wasserwaage) vornehmen müssen. Kleine Veränderungen haben dort schnell zu sehr großen Unterschieden in den Werten geführt. Die Messwerte liegen allerdings alle in einem sehr schmalen Bereich um die Fit-Gerade, es gab keine schlimmen Abweichungen.

Die Bestimmung des R_C -Wertes hat auch gut geklappt, einen "Leakwert" gab es hier nicht, ein Vergleich bleibt also aus.