

Versuche P1-13,14,15

Galvanometer Versuchsauswertung

Marco A. Harrendorf, Thomas Keck, Gruppe: Mo-3
Karlsruhe Institut für Technologie, Bachelor Physik

Versuchstag: 10.01.2011

Inhaltsverzeichnis

1	Versuche	3
2	Versuch 1: Vorversuche	3
2.1	Versuch 1.1	3
2.2	Versuch 1.2	3
2.3	Versuch 1.3	3
3	Versuch 2	4
3.1	Messung Schaltung 2	4
3.2	Messung Schaltung 3	4
3.3	Messung Schaltung 4	6
4	Versuch 3: Bestimmung des Schwingungsverhaltens des Galvanometers	7
5	Versuch 4	11
5.1	Stromstoßempfindlichkeit bei kurzer Stromstoßdauer	11
5.2	Stromstoßempfindlichkeit bei verschiedenen Stromstoßdauern	11
	Literatur	13

1 Versuche

2 Versuch 1: Vorversuche

2.1 Versuch 1.1

Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung Der Aufbau und die Durchführung des Versuches erfolgten wie in der Praktikumsvorbereitung beschrieben.

Auswertung Das erwartete und in der Praktikumsvorbereitung beschriebene Verhalten des Galvanometers konnte gezeigt werden: Es kam zu einem Ausschlag des Galvanometers, als der Stromkreis über die Körperleitung geschlossen wurde.

Die Ursachen für dieses Verhalten wurden bereits in der Praktikumsvorbereitung erläutert, daher wird an dieser Stelle auf diese verwiesen.

2.2 Versuch 1.2

Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung Der Aufbau und die Durchführung des Versuches erfolgten wie in der Praktikumsvorbereitung beschrieben.

Auswertung Das erwartete und in der Praktikumsvorbereitung beschriebene Verhalten des Galvanometers konnte gezeigt werden: Es kam zu einem Ausschlag des Galvanometers, als der Drehregler des Widerstands schnell hin- und herbewegt wurde.

Die Ursachen für dieses Verhalten wurden bereits in der Praktikumsvorbereitung erläutert, daher wird an dieser Stelle auf diese verwiesen.

2.3 Versuch 1.3

Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung Der Aufbau und die Durchführung des Versuches erfolgten wie in der Praktikumsvorbereitung beschrieben.

Auswertung Das erwartete und in der Praktikumsvorbereitung beschriebene Verhalten des Galvanometers konnte gezeigt werden: Es kam zu einem geringfügigen, kurzfristigen Ausschlag des Galvanometers, wenn der Drehwiderstand an das Galvanometer angeschlossen wurde.

Die Ursachen für dieses Verhalten wurden bereits in der Praktikumsvorbereitung erläutert, daher wird an dieser Stelle auf diese verwiesen.

3 Versuch 2

3.1 Messung Schaltung 2

Der Versuch wurde wie in der Aufgabenstellung und Vorbereitung beschrieben durchgeführt.

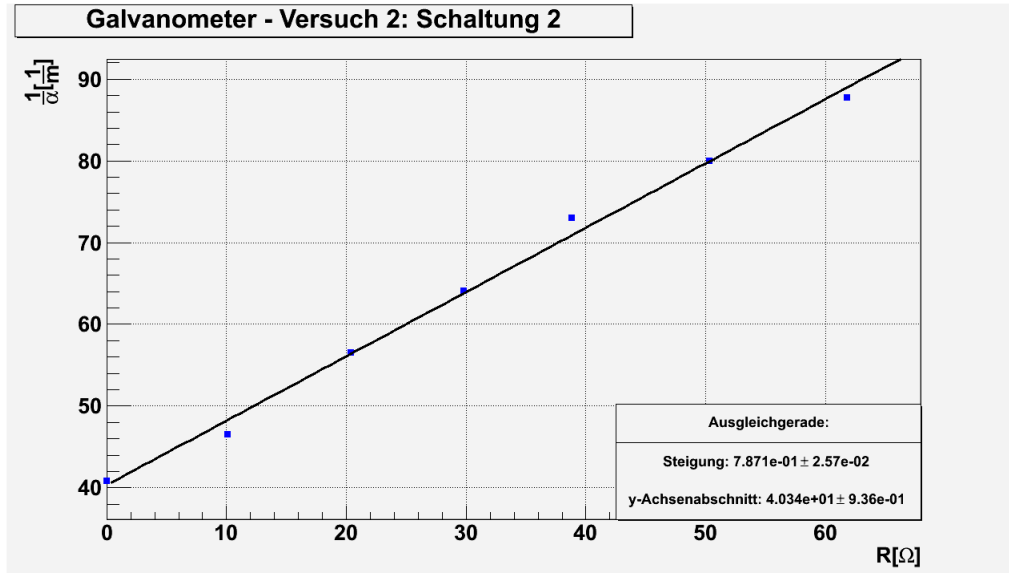


Abbildung 1: Schaltung 2: Messung mit Ausgleichgeraden

Aus der Steigung der Ausgleichsgeraden a ergibt sich nun die statische Stromempfindlichkeit, und aus dem y-Achsenabschnitt b in Folge der Innenwiderstand des Galvanometers:

$$C_I = \frac{R_3}{a \cdot U_0 \cdot R_4} = 24.37 \cdot 10^3 \frac{\text{m}}{\text{A}}$$

$$R_G = \frac{C_I \cdot U_0 \cdot R_4 \cdot b}{R_3} - R_4 = 50.21 \Omega$$

3.2 Messung Schaltung 3

Der Versuch wurde wie in der Aufgabenstellung und Vorbereitung beschrieben durchgeführt.

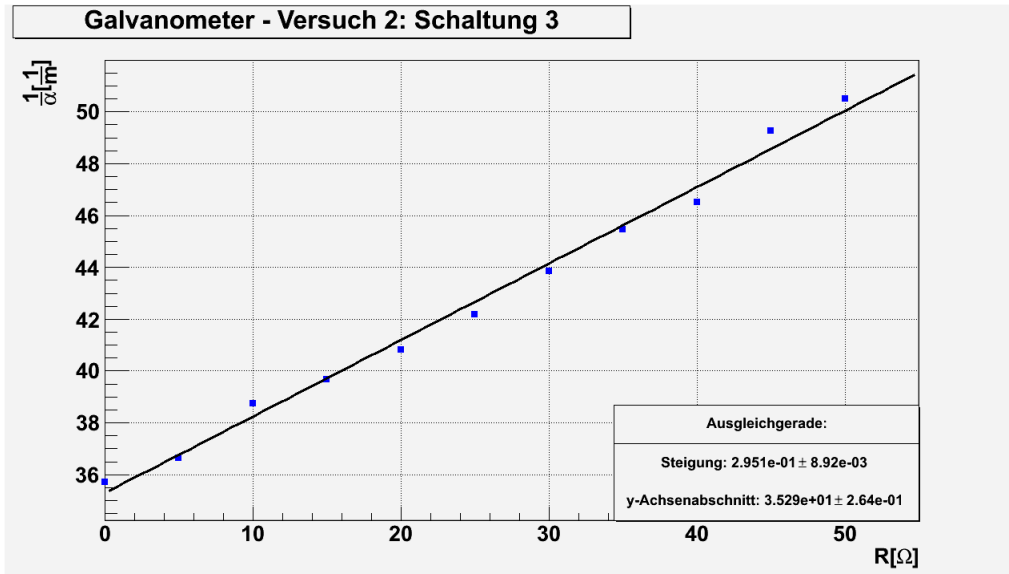


Abbildung 2: Schaltung 3: Messung mit Ausgleichgeraden

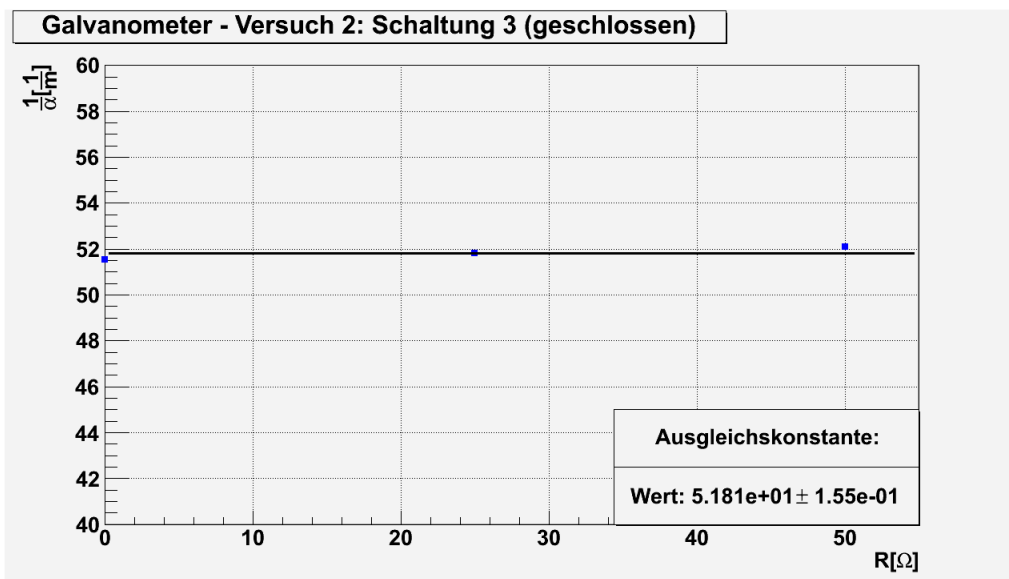


Abbildung 3: Schaltung 3: Messung mit Ausgleichgeraden

Aus dem Schnittpunkt der beiden Ausgleichgeraden ergibt sich der Innenwiderstand des Gal-

vanometers:

$$f_1(x) = a_1 \cdot x + b_1$$

$$f_2(x) = a_2 \cdot x + b_2$$

$$f_1(x) = f_2(x)$$

$$x = \frac{b_2 - b_1}{a_1 - a_2} = 55.98$$

$$R_G = \frac{x \cdot R_{12}}{R_{13}} = 55.98$$

Dieses Ergebnis entspricht innerhalb der Messungenauigkeit dem Wert aus der Messung von Schaltung 2

3.3 Messung Schaltung 4

Der Versuch wurde wie in der Aufgabenstellung und Vorbereitung beschrieben durchgeführt.

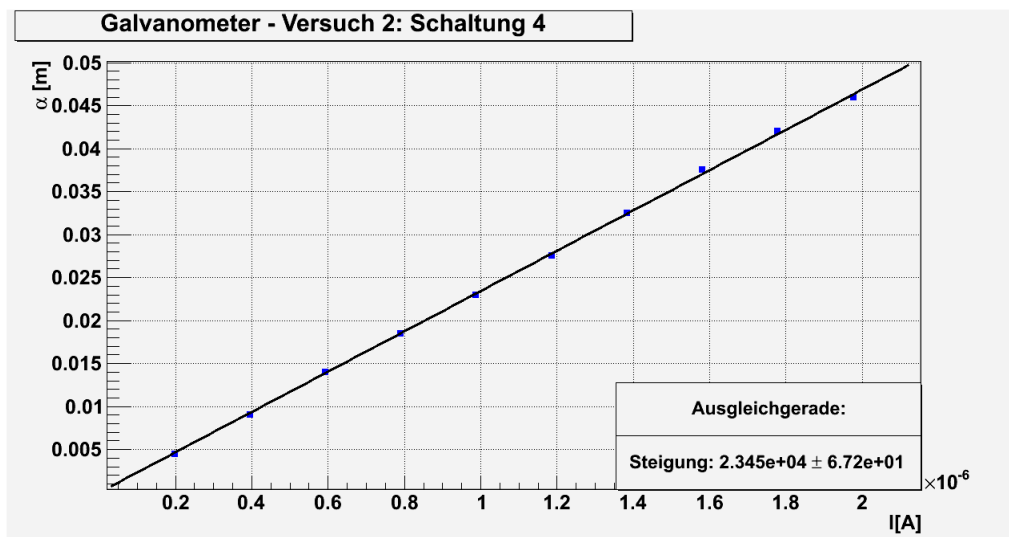


Abbildung 4: Schaltung 4: Messung mit Ausgleichsgeraden

Nach der Vorbereitung ergibt sich die statische Stromempfindlichkeit aus der Steigung der Ausgleichsgeraden:

$$\alpha = C_I \cdot \frac{U}{R_{15}}$$

$$C_I = 23.45 \cdot 10^3 \frac{\text{m}}{\text{A}}$$

Dieses Ergebnis entspricht innerhalb der Messungenauigkeit dem Wert aus der Messung von Schaltung 2

4 Versuch 3: Bestimmung des Schwingungsverhaltens des Galvanometers

Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung Der Aufbau und die Durchführung des Versuches erfolgten wie in der Praktikumsvorbereitung beschrieben.

Auswertung: Bestimmung des Dämpfungsverhältnisses und der Schwingungsdauer sowie daraus abgeleiteter Größen Das Dämpfungsverhältnis $k = \frac{\alpha_{n1}}{\alpha_n}$ und die Schwingungsdauer T wurde jeweils – sofern möglich – für eine optimale Anzahl von Schwingungen N bestimmt.

Hierbei wurde festgestellt, dass bei der Bestimmung des Dämpfungsverhältnisses k der für kleinere Auslenkungen α größer werdende Ablesefehler den Zugewinn an statistischer Genauigkeit durch die Verwendung weiterer kleinerer Schwingungen zunichte macht, sodass jeweils nur eine Schwingung ($N = 1$) zur Bestimmung des Dämpfungsverhältnisses k benutzt wurde.

Zur Bestimmung der Schwingungsdauer T wurden hingegen so viele N Schwingungen herangezogen, dass die Auslenkung der N -ten Schwingung immer noch $\alpha_N > 1 \text{ mm}$ war.

In der Tabelle 1 sind die aus den Messungen bestimmten Auslenkungen α_0 und α_1 , die daraus bestimmten Dämpfungsverhältnisse k und die gemessenen Schwingungsdauern T sowie die berechneten Abklingkonstanten β_{Ra} und die daraus jeweils resultierenden Verhältnisse $\frac{1}{\beta_{Ra} - \beta_\infty}$ in Abhängigkeit vom jeweiligen Außenwiderstand R_a aufgeführt.

Allerdings konnten für Außenwiderstände $R_a < 329 \Omega$ keine Dämpfungsverhältnisse k und Schwingungsdauern T bestimmt werden, da sich das Schwingungssystem des Galvanometers im Bereich der kritischen Dämpfung befand und höchstens beim Rückschwingen ein Überspringen beobachtet werden konnte.

R_a [Ω]	α_0 [mm]	α_1 [mm]	k	T [s]	β_{Ra} [Hz]	$\frac{1}{\beta_{Ra} - \beta_\infty}$ [s]
47.8	20.5	-	-	-	-	-
99.8	28.5	-	-	-	-	-
221	36.0	-	-	-	-	-
329	38.5	1	38.50	2.80	1.30	0.81
477	39.5	2	19.75	2.70	1.10	0.96
1026	41.0	10	4.10	2.40	0.59	1.89
1484	41.5	12	3.46	2.35	0.53	2.13
1986	42.0	15	2.80	2.30	0.45	2.56
2500	42.0	20	2.10	2.30	0.32	3.85
3010	42.5	24	1.77	2.20	0.26	5.00
∞	43.0	38	1.13	2.20	0.06	-

Tabelle 1: Gemessene Auslenkungen α_0 und α_1 , das daraus bestimmte Dämpfungsverhältnis k , die gemessene Schwingungsdauer T sowie die berechnete Abklingkonstante β_{Ra} und das daraus folgende Verhältnis $\frac{1}{\beta_{Ra} - \beta_\infty}$ für die Außenwiderstände R_a

Bestimmung der Ausgleichsgeraden Zur Bestimmung der Ausgleichsgerade wurde das Verhältnis $\frac{1}{\beta_{R_a} - \beta_\infty}$ über dem Außenwiderstand R_a in ROOT aufgetragen, wobei zusätzlich der Punkt $(-R_G, 0)$ verwendet und eingezeichnet wurde. Für den Innenwiderstand R_G wurde hierbei der in Versuch 2.1 bestimmte Wert $R_G = \Omega$ benutzt.

Aus dem Fit ergab sich die Steigung m und die Ordinate y_0 zu:

$$m = (\pm) \frac{s}{\Omega}$$

$$y_0 = (\pm) s$$

Die Abbildung 5 zeigt die einzelnen Messwerte und die Ausgleichsgerade.

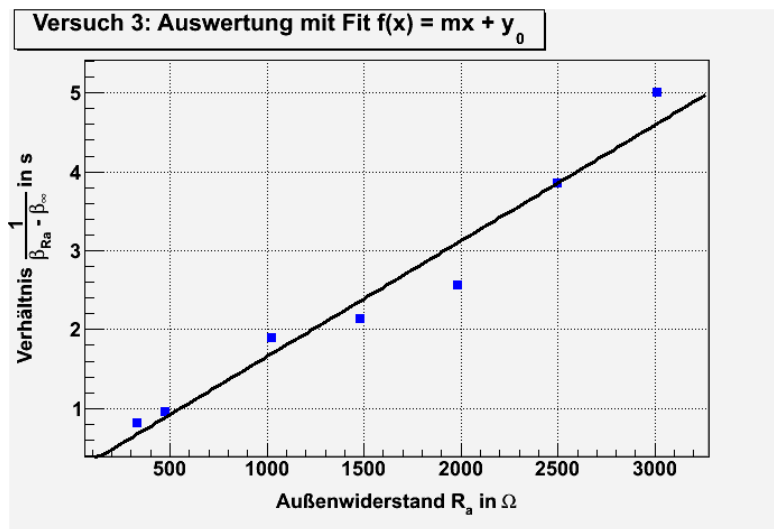


Abbildung 5: Messwerte und Ausgleichsgerade für Versuch 3

Bestimmung der Frequenz des ungedämpften Galvanometers Die Frequenz des ungedämpften Galvanometers ergibt sich aus den Messdaten zu:

$$\omega_0 = \sqrt{\left(\frac{2\pi}{T_\infty}\right)^2 + \beta_\infty^2}$$

$$\omega_0 = \sqrt{\left(\frac{2\pi}{2.2}\right)^2 + (0.06)^2} \text{ Hz}$$

$$\omega_0 = 2.86 \text{ Hz}$$

Bestimmung des Außenwiderstands für Grenzdämpfung Der Wert des Außenwiderstands für Grenzdämpfung $R_{a,gr}$, der im Punkt $(R_{a,gr}, \frac{1}{\omega_0 - \beta_\infty})$ des Diagramms abgelesen

werden kann, wurde bestimmt, indem der y-Wert

$$y = \frac{1}{\omega_0 - \beta_\infty}$$

$$y = \frac{1}{2.86 - 0.06} \text{ s}$$

$$y = 0.36 \text{ s}$$

in die zuvor bestimmte Ausgleichsgerade eingesetzt wurde und nach dem x-Wert bzw. dem Widerstandswert umgeformt wurde.

Der Außenwiderstand für Grenzdämpfung $R_{a,gr}$ ergibt sich dann zu:

$$R_{a,gr} = \Omega$$

Da zwischen den Außenwiderständen $R_a = 221 \Omega$ und $R_a = 329 \Omega$ der Bereich der kritischen Dämpfung aufhören und der aperiodische Grenzfall liegen muss, andernfalls wäre nicht erst für $R_a = 329 \Omega$ eine Schwingung zu beobachten, ist der oben aufgeführte Wert des Außenwiderstands für Grenzdämpfung $R_{a,gr}$ plausibel.

Bestimmung der Galvanometerkonstanten Zur Bestimmung der Galvanometerkonstanten G wurde zunächst die statische Stromempfindlichkeit im Bogenmaß C'_I berechnet, indem der arithmetische Mittelwert $\overline{C_I}$ der im Versuch 2.1 ($C_I = \frac{mm}{A}$) und der im Versuch 2.3 ($C_I = \frac{mm}{A}$) bestimmten statischen Stromempfindlichkeit C_I gebildet wurde und dann die folgende Formel verwendet wurde:

$$C'_I = \frac{\overline{C_I}}{2 \cdot A}$$

$$C'_I = \frac{\overline{C_I}}{2 \cdot 250 \text{ mm}} \frac{\text{rad}}{A}$$

$$C'_I = \frac{\text{rad}}{A}$$

Anschließend wurde hieraus die Galvanometerkonstante G berechnet:

$$G = \frac{2}{m \cdot C_I \cdot \omega_0^2}$$

$$G = \frac{2}{m \cdot C_I \cdot (2.86)^2} \text{ A}\Omega\text{s}$$

$$G = \text{A}\Omega\text{s}$$

Bestimmung des Trägheitsmoments des Galvanometers Zur Bestimmung des Trägheitsmoments des Galvanometers Θ wurde zunächst die statische Stromempfindlichkeit im Bogenmaß C'_I berechnet, indem der arithmetische Mittelwert $\overline{C_I}$ der im Versuch 2.1 ($C_I = \frac{mm}{A}$) und der im Versuch 2.3 ($C_I = \frac{mm}{A}$) bestimmten statischen Stromempfindlichkeit C_I gebildet

wurde und dann die folgende Formel verwendet wurde:

$$C'_I = \frac{\overline{C}_I}{2 \cdot A}$$
$$C'_I = \frac{\overline{C}_I}{2 \cdot 250 \text{ mm}} \frac{\text{rad}}{A}$$
$$C'_I = \frac{\text{rad}}{A}$$

Anschließend wurde hieraus das Trägheitsmoment des Galvanometers Θ berechnet:

$$\Theta = \frac{2}{m \cdot C_I^2 \cdot \omega_0^4}$$
$$\Theta = \frac{2}{m \cdot C_I^2 \cdot (2.86)^4} A^2 \Omega s^3$$
$$\Theta = A^2 \Omega s^3$$

Bestimmung der Rückstellkonstanten der Torsionsaufhängung Zur Bestimmung der Rückstellkonstanten der Torsionsaufhängung D wurde zunächst die statische Stromempfindlichkeit im Bogenmaß C'_I berechnet, indem der arithmetische Mittelwert \overline{C}_I der im Versuch 2.1 ($C_I = \frac{mm}{A}$) und der im Versuch 2.3 ($C_I = \frac{mm}{A}$) bestimmten statischen Stromempfindlichkeit C_I gebildet wurde und dann die folgende Formel verwendet wurde:

$$C'_I = \frac{\overline{C}_I}{2 \cdot A}$$
$$C'_I = \frac{\overline{C}_I}{2 \cdot 250 \text{ mm}} \frac{\text{rad}}{A}$$
$$C'_I = \frac{\text{rad}}{A}$$

Anschließend wurde hieraus die Rückstellkonstante der Torsionsaufhängung D berechnet:

$$D = \frac{2}{m \cdot C_I^2 \cdot \omega_0^2}$$
$$D = \frac{2}{m \cdot C_I^2 \cdot (2.86)^2} A^2 \Omega s$$
$$D = A^2 \Omega s$$

5 Versuch 4

5.1 Stromstoßempfindlichkeit bei kurzer Stromstoßdauer

Der Widerstand $R = 20 \cdot 10^3 \Omega$ war für diesen Teilversuch fest, sodass die Stromstoßdauer mit $T_Q = 0.282$ wesentlich kleiner als die Schwingungsdauer des Galvanometers betrug.

R_a	α	U	
33Ω	11.5mm	0.6V	fluxmetrische Empfindlichkeit im Kriechfall
341Ω	80mm	0.6V	ballistische Empfindlichkeit nahe Grenzdämpfung
999Ω	43.5mm	0.2V	ballistische Empfindlichkeit mit geringer Dämpfung
$\infty\Omega$	61mm	0.2V	ballistische Empfindlichkeit mit minimaler Dämpfung

Tabelle 2: Messdaten: Für kurze Stromstoßdauer

Hierbei ist zu beachten, dass die Spannung für die beiden letzten Messungen mit geringer Dämpfung nach unten gesetzt wurde, um den gültigen Messbereich des Galvanometers nicht zu verlassen.

Ballistische Empfindlichkeit

$$Q_G = \frac{C \cdot U}{1 + \frac{R_G}{R_a}}$$

$$C_b = \frac{\alpha}{Q_G}$$

$C_b = 10.3 \cdot 10^3 \frac{\text{m}}{\text{C}}$	$C_{b,t} =$	$R_a = 33\Omega$
$C_b = 32.5 \cdot 10^3 \frac{\text{m}}{\text{C}}$	$C_{b,t} =$	$R_a = 341\Omega$
$C_b = 48.6 \cdot 10^3 \frac{\text{m}}{\text{C}}$	$C_{b,t} =$	$R_a = 999\Omega$
$C_b = 64.9 \cdot 10^3 \frac{\text{m}}{\text{C}}$	$C_{b,t} =$	$R_a = \infty\Omega$

Die theoretisch errechneten Messwerte $C_{b,t}$ ergeben sich aus den in der Vorbereitung beschriebenen Formeln für den jeweiligen Dämpfungsfall. Für den Innenwiderstand des Galvanometers wurde hierbei der aus 2.1 bestimmte Wert $R_G = 50.21\Omega$ verwendet.

5.2 Stromstoßempfindlichkeit bei verschiedenen Stromstoßdauern

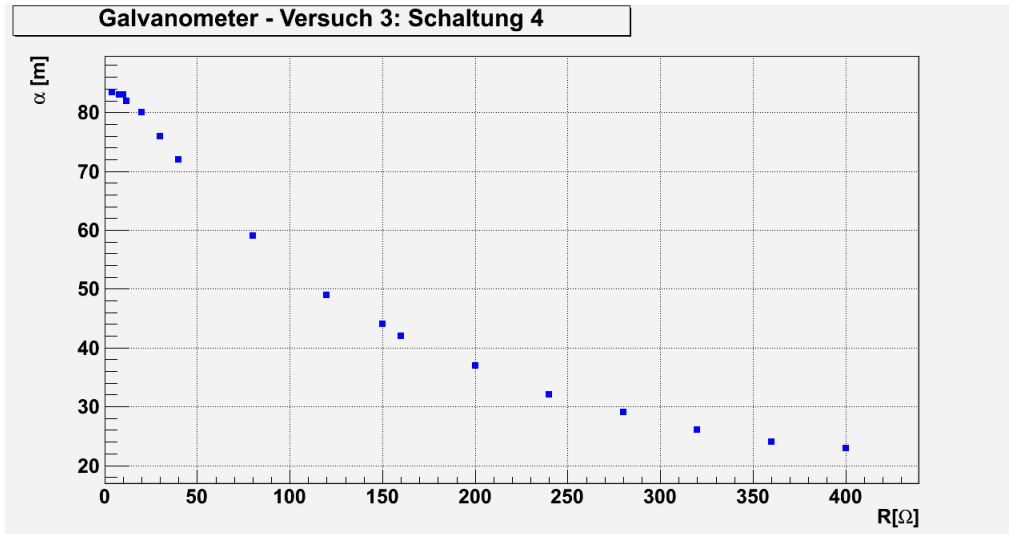


Abbildung 6: Schaltung 4

Die aufgenommenen Messwerte zeigen eine konstante Abhängigkeit der Stromstoßempfindlichkeit $C_b \sim \alpha$ in einem sehr kleinen Bereich für kleine Widerstände R . Außerhalb des Bereichs fällt die Empfindlichkeit jedoch stark ab, ein Fitversuch mit verschiedenen Funktionen (Lorenz, Gauss $\frac{1}{x}$, ...) ergab jedoch kein zufriedenstellendes Ergebnis um den funktionalen Zusammenhang näherungsweise beschreiben zu können.

Literatur

[Aufgabenstellung] Aufgabenstellung der Versuche P1-13,P1-14,P1-15

[Vorbereitungshilfe] Vorbereitungshilfe zu den Versuchen P1-13,14,15