

Auswertung: Galvanometer

Axel Müller
Marcel Köpke

21.11.2011

Inhaltsverzeichnis

1	Vorexperimente	3
2	Statische Messungen	4
2.1	Schaltung 2	4
2.2	Schaltung 3	5
2.3	Schaltung 4	7
3	Dynamische Messungen	9
4	Ballistische Messungen	11
4.1	Bestimmen der Stromstoßempfindlichkeit	11
4.2	Theoretische Stromstoßempfindlichkeit	11
4.3	Abhängigkeit von der Stromstoßdauer	12

1 Vorexperimente

Durch Anfassen der Galvanometeranschlüsse, konnten wir einen Ausschlag registrieren, der wohl durch statische Aufladung und winzige elektrische Ströme des menschlichen Körpers verursacht wird. Der Ausschlag war im Bereich von etwa 3 bis 10 mm.

Durch Anschließen an einen Drahtdrehwiderstand wurde beim Drehen ein Strom gemessen. Der Ausschlag belief sich auf etwa 5mm. Wie im Vorprotokoll beschrieben, wird der Strom durch Reibungseffekte verursacht.

Auch beim An- und Abschließen der Widerstände konnte wie erwartet ein Strom gemessen werden. Dies zeigt insgesamt, dass das Galvanometer ein sehr empfindliches Messgerät für kleine Ströme ist.

2 Statische Messungen

2.1 Schaltung 2

Mit den verschiedenen Vorwiderständen ergaben sich folgende Zeigerauslenkungen:

$R [\Omega]$	$\alpha [mm]$
10,1	62,00
20,4	51,00
29,8	42,00
38,8	36,00
50,3	30,50
61,8	27,00

Tabelle 2.1: Messprotokoll 1

Dabei ist zu Bemerkem, dass die Widerstände nicht mit denen in der Vorbereitungshilfe übereinstimmen. Die Widerstände R_3 und R_4 waren angegeben mit:

$$R_3 = 19950\Omega$$

$$R_4 = 1,04\Omega$$

Gemessen wurde stets bei $U = 1V$. Trägt man nun die inverse der Auslenkung gegen den Widerstand auf, so erhält man folgende Ausgleichsgerade:

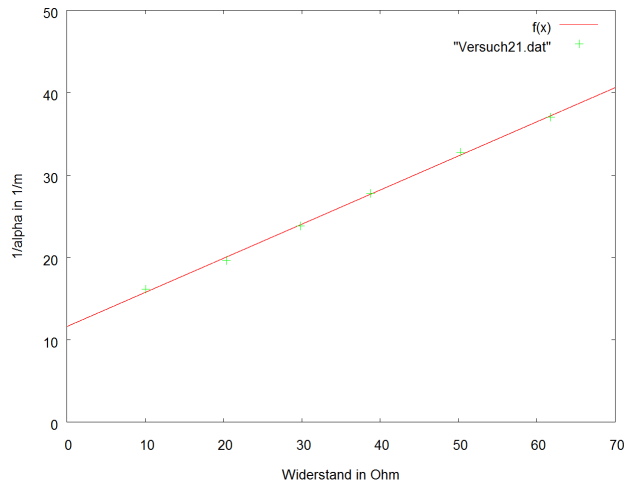


Abbildung 2.1: Ausgleichgerade

Die Steigung der Geraden beträgt: $a = 0,41 \frac{1}{\Omega m}$. Der Y-Achsenabschnitt ist $b = 11,61 \frac{1}{m}$. Damit berechnen sich der Innenwiderstand des Galvanometers und die Stromempfindlichkeit wie folgt:

$$R_G = \frac{b}{a} - R_4 = \frac{11,61}{0,41} \Omega - 1,04 \Omega = 27,0 \Omega$$

$$C_I = \frac{R_3}{aUR_4} = \frac{19950 \Omega}{0,41 \frac{1}{\Omega m} \cdot 1V \cdot 0,04 \Omega} = 46311,07 \frac{m}{A}$$

Dies zeigt, dass das Messgerät höchst empfindlich für sehr kleine Ströme ist. Messungen von z.B. 1A sind völlig unmöglich! Die angegebene Stromempfindlichkeit ist die für die Auslenkung α auf der Skala. Gibt man sie für die Auslenkung φ des Spiegels an, muss sie mit dem Faktor $\frac{1}{2r}$ rad skaliert werden:

$$C'_I = 92622,1 \frac{rad}{A}$$

2.2 Schaltung 3

Wiederum unterschieden sich einige Widerstände von Angabe in der Aufgabenstellung:

$$R_{12} = R_{13} = 43 \Omega$$

Für die geöffnete Brücke ergaben sich folgende Messwerte:

$R [\Omega]$	$\alpha [mm]$
50	54
45	56
40	58
35	60
30	61,5
25	64
20	66
15	69
10	71,75
5	74,75

Tabelle 2.2: Messprotokoll 2

Bei geschlossener Brücke fanden wir folgende Messwerte:

$R [\Omega]$	$\alpha [mm]$
50	63,5
40	63
30	62,75
15	62,75
10	62,75
5	62,75

Tabelle 2.3: Messprotokoll 3

Bei geschlossener Brücke fanden wir wie erwartet (bis auf Messungenauigkeiten) konstante Werte. Um den Innenwiderstand des Galvanometers zu bestimmen, ermitteln wir den Schnittpunkt beider Geraden.

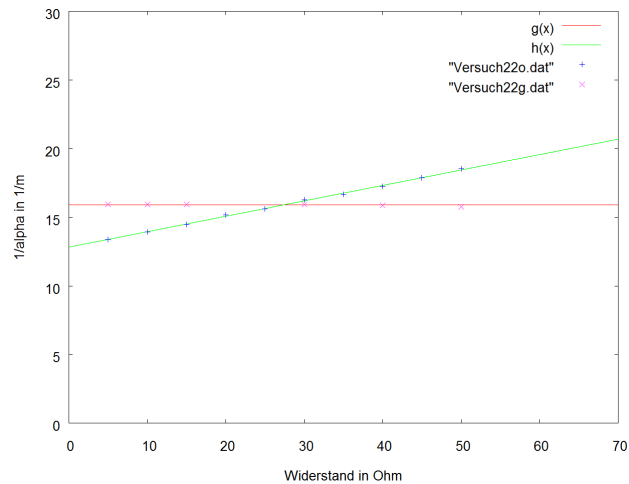


Abbildung 2.2: Schnittpunkt der Ausgleichgeraden

Für den Schnittpunkt, und somit für den Innenwiderstand des Galvanometers, ergibt sich:

$$R_G = 27,3\Omega$$

Es zeigt sich also eine sehr geringe Abweichung zum Messergebnis aus Abschnitt 2.1.

2.3 Schaltung 4

Für R_{15} war ein Widerstand von $500k\Omega$ verbaut. Der Strom I ergibt sich aus:

$$I = \frac{U}{R_G + R_{15}}$$

wobei für R_G der Mittelwert der ersten beiden Messungen genommen wird.

$I [\mu A]$	$\alpha [mm]$
0,26665	13,25
0,53330	26,50
0,79996	39,50
1,06661	52,75
1,33326	66,00
1,59991	79,25
1,86657	91,25
1,99989	96,75

Tabelle 2.4: Messprotokoll 4

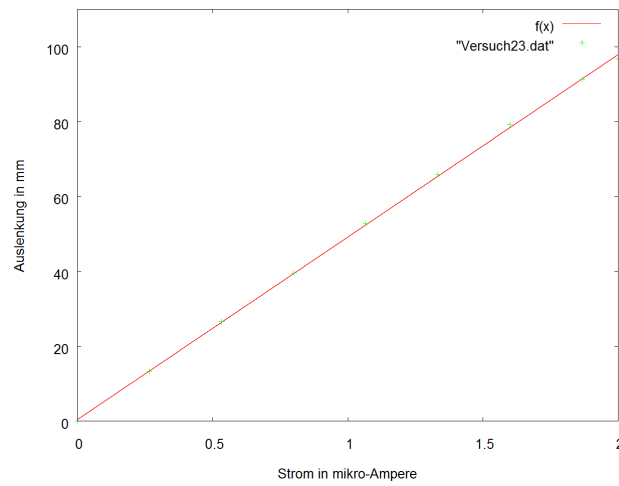


Abbildung 2.3: Ausgleichgerade

Aus der Steigung der Ausgleichgeraden ergibt sich die Stromempfindlichkeit zu:

$$C_I = 48724,8 \frac{m}{A}$$

Auch hier liegen wir wieder in der Nähe des zuvor ermittelten Wertes. Die umgerechnete Empfindlichkeit ist dann:

$$C'_I = 97449,6 \frac{rad}{A}$$

3 Dynamische Messungen

Folgende Messwerte wurden bei $U = 1V$ ermittelt.

$R_a [k\Omega]$	$T [s]$	k
1,0	4,1	12,046
1,5	4,14	6,229
2,0	3,98	4,137
2,5	4,02	3,473
3,0	4,05	3,011
∞	4,0	1,556

Tabelle 3.1: Messprotokoll

Aus diesen Werten soll die Abklingkonstante berechnet werden:

$$\beta_{R_a} = \frac{\ln(k)}{T}$$

$R_a [\Omega]$	$\beta_{R_a} = \frac{\ln(k)}{T}$ in $\frac{1}{s}$
1,0	0,607
1,5	0,442
2,0	0,357
2,5	0,310
3,0	0,272
∞	0,111

Tabelle 3.2: Abklingkonstante

Außerdem ergibt sich die Eigenfrequenz:

$$\omega_0 = \sqrt{\left(\frac{2\pi}{T_\infty}\right)^2 + \beta_\infty^2} = 1,575 \frac{1}{s}$$

Nun tragen wir $y = (\beta_{R_a} - \beta_\infty)^{-1}$ über R_a auf. Damit erhalten wir folgende Ausgleichgerade:

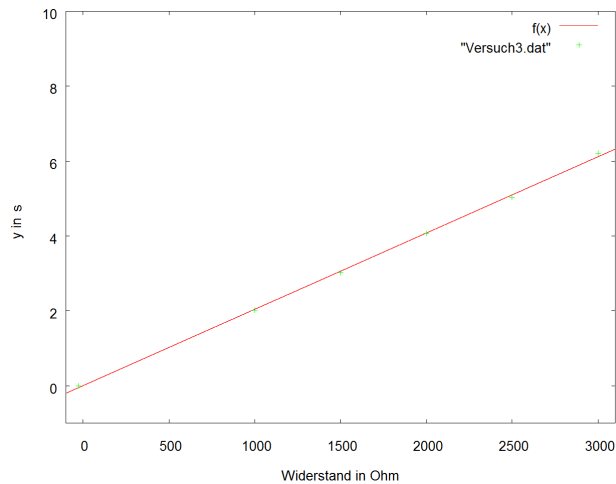


Abbildung 3.1: Ausgleichgerade

Die Steigung m und der y-Achsenabschnitt c sind:

$$m = 2,04 \cdot 10^{-3} \frac{s}{\Omega}$$

$$c = 3,8 \cdot 10^{-3} s$$

Gesucht ist jetzt der Grenzwiderstand bei $\beta_{R_a} = \omega_0$. Wir lesen also den Widerstand für den y-Wert $y = (\omega_0 - \beta_{\infty})^{-1} = 0,683s$. Es ergibt sich der Grenzwiderstand zu:

$$R_{a,gr} = 333,441\Omega$$

Nun sollen noch die charakteristischen Galvanometerkenngrößen bestimmt werden:

$$G = \frac{2}{m\omega_0^2 C_I'} = \frac{2}{2,04 \cdot 10^{-3} \frac{s}{\Omega} \cdot (1,575 \frac{1}{s})^2 \cdot 97449,6 \frac{rad}{A}} = 4,2 \cdot 10^{-3} m^2 T$$

$$\Theta = \frac{2}{m\omega_0^4 C_I'^2} = \frac{2}{2,04 \cdot 10^{-3} \frac{s}{\Omega} \cdot (1,575 \frac{1}{s})^4 \cdot (97449,6 \frac{rad}{A})^2} = 17,7 \cdot 10^{-9} kgm^2$$

$$D = \frac{2}{m\omega_0^2 C_I'^2} = \frac{2}{2,04 \cdot 10^{-3} \frac{s}{\Omega} \cdot (1,575 \frac{1}{s})^2 \cdot (97449,6 \frac{rad}{A})^2} = 43,8 \cdot 10^{-9} \frac{N}{rad}$$

4 Ballistische Messungen

4.1 Bestimmen der Stromstoßempfindlichkeit

Die Kapazitäten waren je $C = 4,12\mu F$ und den Vorwiderstand stellten wir auf $R = 2k\Omega$, sodass unsere theoretische Stromstoßzeit $T_Q = 3RC = 0,02472s$ betrug und damit deutlich unter der Periodendauer T lag.

$R_a[\Omega]$	$\alpha_{max}[mm]$	$U[V]$
∞	78,00	0,2
999	84,33	0,33
341	72,17	0,5
33	20,92	1

Tabelle 4.1: Messprotokoll 6

Die Stromstoßempfindlichkeiten ergeben sich damit zu:

$R_a[\Omega]$	$C'_b = \frac{R_a + R_G}{R_a} \cdot \frac{\alpha_{max}}{CU \cdot 2r}$
∞	$189320,388 \frac{rad}{C}$
999	$127424,229 \frac{rad}{C}$
341	$75649,460 \frac{rad}{C}$
33	$18514,569 \frac{rad}{C}$

Tabelle 4.2: Stromstoßempfindlichkeit

4.2 Theoretische Stromstoßempfindlichkeit

Mit den in Aufgabe 2 und 3 ermittelten Werten ergeben sich die theoretischen Stromstoßempfindlichkeiten:

- Schwingfall ($R_a = \text{groß genug}$):

$$C'_b = \frac{G}{\Theta\omega_0} = 149691,183 \frac{rad}{C}$$

- aperiodischer Grenzfall ($R_a \approx 333,441\Omega$):

$$C'_b = \frac{G}{\Theta\omega_0 e} = 55068,309 \frac{rad}{C}$$

- Kriechfall ($R_a = 33\Omega$):

$$C'_b = \frac{R_G + R_a}{G} = 14445,018 \frac{\text{rad}}{C}$$

Man sieht, dass im Schnitt unsere gemessenen Werte um einen Faktor 1,5 über den theoretischen Werten liegen, wobei die theoretischen Werte natürlich auch nur auf vorherigen Messungen beruhen, die Fehler enthalten können. Man kann also nicht genau sagen, welche der beiden Datenreihen exakter ist. Auch wird zum Beispiel der aperiodische Grenzfall mit einem Widerstand $R_a = 341\Omega$ nicht genau nach dem zuvor ermittelten Wert getroffen. Aber auch hier gilt wieder, die Unsicherheit über den genauen Wert.

4.3 Abhängigkeit von der Stromstoßdauer

Wir regelten den Vorwiderstand R von $400\text{ k}\Omega$ bis $5\text{ k}\Omega$ bei einem Widerstand $R_a = 341\Omega$ und einer angelegten Spannung von $U = 0,4\text{ V}$. Damit konnten wir die Stromstoßdauer in Bereiche bringen, für die nicht $T_Q \ll T$ gilt. Die Ergebnisse sind in folgender Tabelle zu sehen:

$R[\text{k}\Omega]$	$T_Q[\text{s}]$	$\alpha_{max}[\text{mm}]$	$C'_b[\frac{\text{rad}}{C}]$
400	4,944	30	39307,950
360	4,450	31,5	41273,347
320	3,955	34	44549,010
240	2,966	38	49790,070
160	1,978	45	58961,925
80	0,989	53,5	70099,177
40	0,494	59,5	77960,767
20	0,247	60,5	79271,032
10	0,124	61,5	80581,297
5	0,062	62,5	81891,562

Tabelle 4.3: Messreihe 7

Wie man sieht ist also die Stromstoßempfindlichkeit stark von der Stromstoßdauer abhängig. R sollte also für solche Messungen möglichst klein gehalten werden!

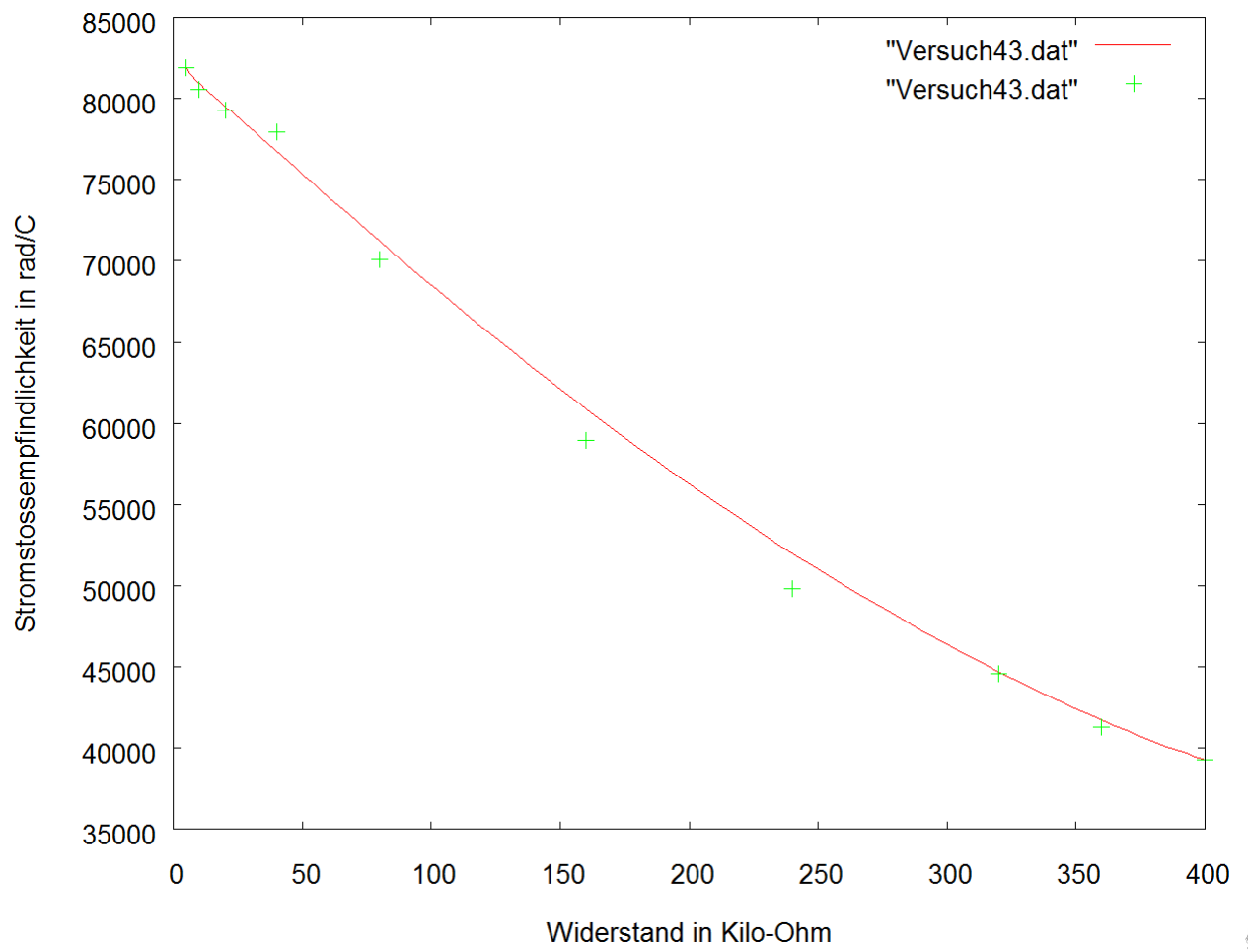


Abbildung 4.1: Zusammenhang zwischen Widerstand und C'_b