

# Protokoll zum Versuch „Galvanometer“

Kirstin Hübner     Armin Burgmeier     Gruppe 15 (P1-13)

14. Januar 2008

## 1 Vorversuche

### 1.1 Messung an den Händen

In diesem ersten Versuch haben wir die zwei Anschlussstecker des Galvanometers in die Hände genommen und wie angenommen einen Ausschlag festgestellt. Nachdem wir einen deutlicher Unterschied zwischen den Ergebnissen der Studenten bemerkbar war hatten wir die Vermutung, dass das wesentlich kleinere Ergebnis an den stark kreideverschmutzten Händen liegen könnte. Daher wiederholten wir die Messung am zweiten Studenten nach Säuberung der Hände. In diesem Fall kam der Ausschlag dem ersten deutlich näher.

Wir vermuten, dass die Kreide elektrochemische Prozesse an der Haut behindert hat, die normalerweise für eine Potentialdifferenz sorgen würden.

Auf jeden Fall kann bestätigt werden, dass das Galvanometer derartig kleine Ströme anzeigen kann.

### 1.2 Drahtdrehwiderstand ohne Spannungsquelle

Entgegen unserer Vermutungen konnten wir keinen Ausschlag beim Drehen am Widerstand feststellen. Vielleicht war der entstehende Strom zu gering um vom Galvanometer angezeigt zu werden, wahrscheinlicher ist jedoch, dass im Aufbau der minimale Strom durch beispielsweise den ohmschen Widerstand der Kabel stark reduziert wurde.

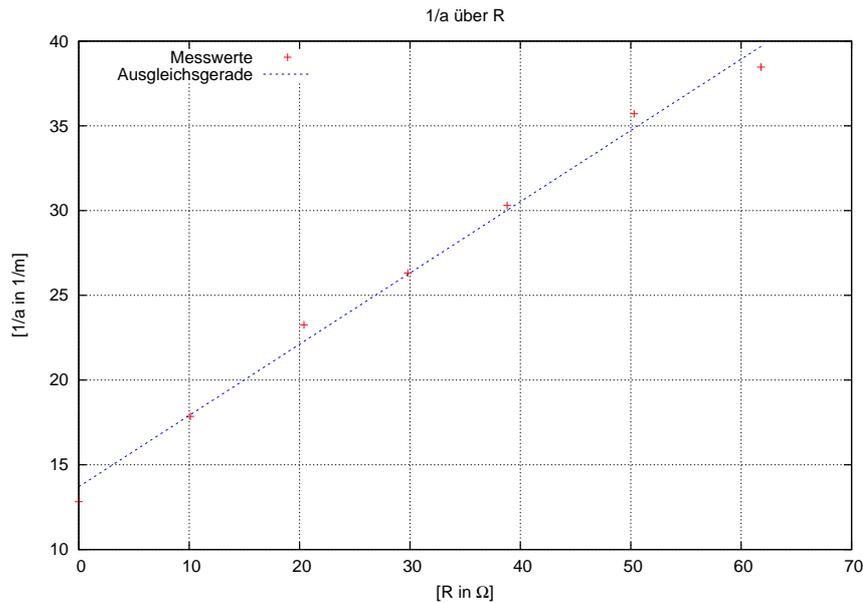
### 1.3 Ruhestellung des Lichtzeigers

Beim offenen Galvanometer haben wir die Skala so eingestellt, dass der Lichtzeiger auf der Null steht. Nach Anschluss des Drehwiderstandes konnten wir keinen Ausschlag beobachten. Wir vermuten ähnliche Fehlerquellen wie im vorherigen Aufgabenteil.

## 2 Stromempfindlichkeit und Innenwiderstand

### 2.1 Messung über mehrere Widerstände

Wir haben an Schaltung 2 eine Spannung von  $U = 0,93\text{V}$  angelegt, da bei dieser Spannung selbst bei dem kleinsten Widerstand von  $0\Omega$  der Zeiger innerhalb der Skala bleibt. Wir haben den Ausschlag bei jedem der Widerstände gemessen. Um den Galvanometerinnenwiderstand  $R_G$  und die statische Stromempfindlichkeit  $C_I$  zu bestimmen tragen wir  $\frac{1}{\alpha}$  über  $R$  auf:



Die Steigung der Ausgleichsgeraden wurde von gnuplot bestimmt und ist  $m = 0.420451/\text{m}\Omega$ . Der Y-Achsenabschnitt beträgt  $c = 13.70421/\text{m}$ . Wie in der Vorbereitung hergeleitet gilt

$$C_I = \frac{R_3}{mR_4U} = 49,06 \cdot 10^3 \text{m/A}$$

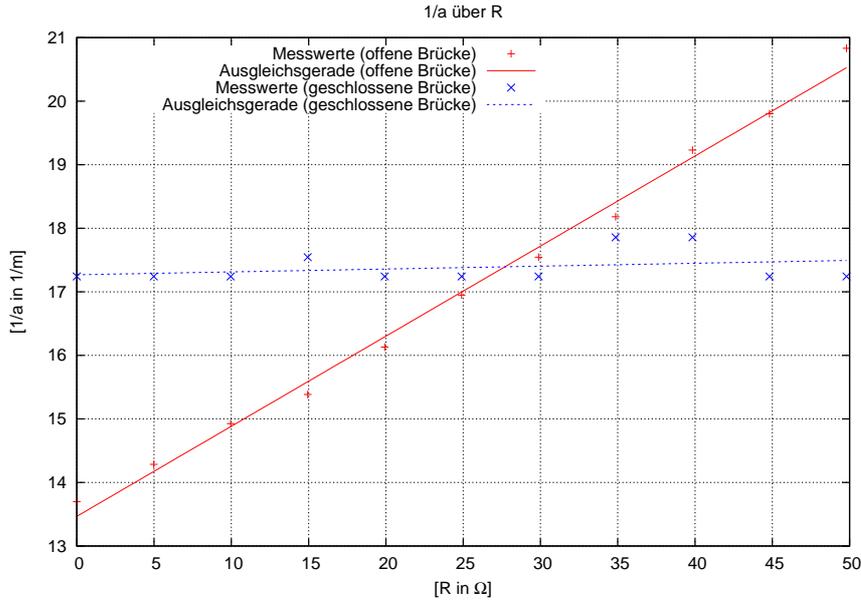
$$R_G = \frac{c}{m} - R_4 = 31,55\Omega$$

In einigen Abständen haben wir zwischen den Messungen kontrolliert, dass bei offenem Galvanometer der Zeiger immer noch null anzeigt. Mögliche Fehlerquellen sind Ablesefehler an der Skala des Galvanometers und Ungenauigkeiten beim Einstellen der Spannung. Die Widerstände wurden aus der Vorbereitungsmappe entnommen und sind daher sehr genau bekannt.

Für unsere Messung spricht, dass beide Werte nahe an den angegebenen Werten von  $30\Omega$  bzw.  $50 \cdot 10^3 \text{m/A}$  liegen.

## 2.2 Messung über Brückendiagonale

Wir haben in Schaltung 3 erst bei offener und dann bei geschlossener Brückendiagonale bei verschiedenen Widerständen  $R_{14}$  den Ausschlag gemessen. Wie in den Vorbereitungen hergeleitet können nun beide Messreihen in ein Diagramm eingetragen und der Schnittpunkt der Ausgleichsgeraden als  $R_G$  bestimmt werden.

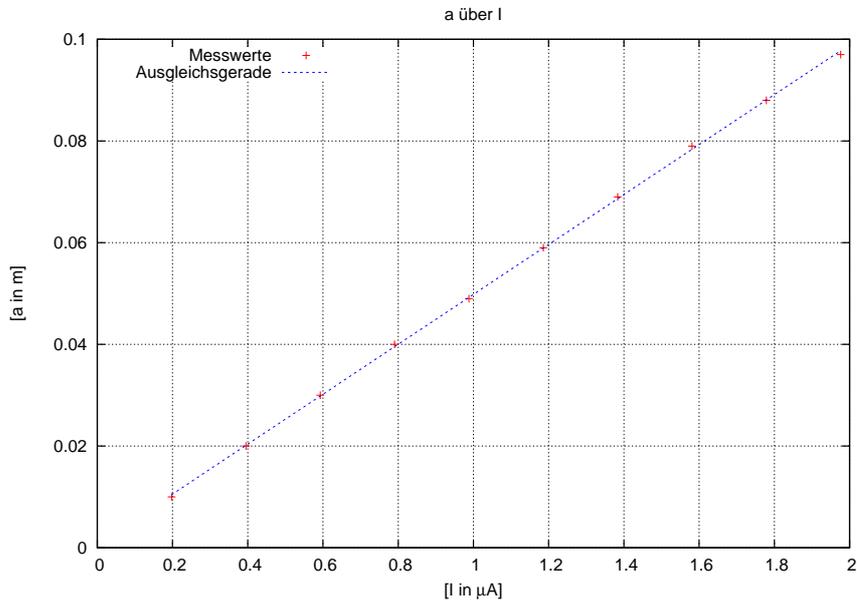


Der Schnittpunkt ergibt sich bei  $R_G = 27,70\Omega$ . Dieser Wert ist zwar weiter von dem in der Vorbereitungsmappe erwähnten Wert entfernt, jedoch sehr nahe an dem auf dem Galvanometer angegebenen Wert von  $R_G = 28\Omega$ . Der wahre Wert ist also wahrscheinlich eher dieser, was darauf hindeuten würde, dass diese Messmethode die genauere ist.

Wir haben wieder nach einigen Messungen den Nullpunkt überprüft. Interessanterweise ergeben sich vor allem bei der zweiten Messreihe, wo wir eigentlich konstante Werte erwarten, genau nach diesen Überprüfungen Schwankungen. Möglich wäre, dass sich das Galvanometer noch nicht vollständig eingeschwungen hatte, da in allen Fällen der Kriechfall vorgelegen hat.

## 2.3 Ausschlag in Abhängigkeit von der Spannung

Nachdem wir Schaltung 4 an das Galvanometer und die Spannungsquelle angeschlossen haben, haben wir dieses Mal bei konstantem Widerstand die Spannung variiert und eine Messreihe aufgenommen. Trägt man nun  $\alpha$  über  $I$  auf, so kann man  $C_I$  direkt aus der Steigung der Regressionsgeraden ablesen. Dabei berechnen wir den Strom  $I$  zu  $I = \frac{U}{R_{15}}$ .



Die Stromempfindlichkeit  $C_I$  ergibt sich somit zu

$$C_I = 49,10 \cdot 10^3 \text{m/A}$$

Dieser Wert entspricht fast genau unserem zuvor ermittelten Wert von  $49,06 \cdot 10^3 \text{m/A}$ . Die größten Fehlerquellen liegen wieder im Ablesen von Ausschlag und Spannung.

### 3 Schwingungsverhalten

Zunächst haben wir für verschiedene Widerstände  $R_a$  die Schwingungsdauer und die Ausschläge bei jeder Periode gemessen wenn der Zeiger nach Abtrennen der Spannungsquelle wieder zur Nulllage zurückschwingt.

$R_a$ [ $\Omega$ ]	Dämpfungsverhältnis $k$	$T$ [s]
1026	7,25	4,5
1484	4,74	3,7
1986	3,18	4,2
2500	2,61	4,2
3010	2,21	4,1
$\infty$	1,34	4,1

Wir haben das Dämpfungsverhältnis über mehrere Auslenkungen gemittelt. Dabei ergab sich das Problem, dass die Ausschläge in Nähe der Ruhelage nur sehr schwer präzise abzulesen waren. Da diese später ins Verhältnis gesetzt werden wiegen diese Ablesefehler bei den kleinen Auslenkungen viel schwerer als

bei den großen. Allgemein kann man sagen, dass diese Messreihen sehr fehlerbehaftet sind, da neben den Ablesefehlern auch das Stoppen der Zeit ungenau ist.

Es fällt auf, dass die Periodendauer  $T$  für alle Messungen nahezu konstant ist während das Dämpfungsverhältnis mit größerem Widerstand kleiner wird. Aus diesen Messwerten können nun die folgenden Größen berechnet werden:

- Abklingkonstante  $\beta_{R_a}$

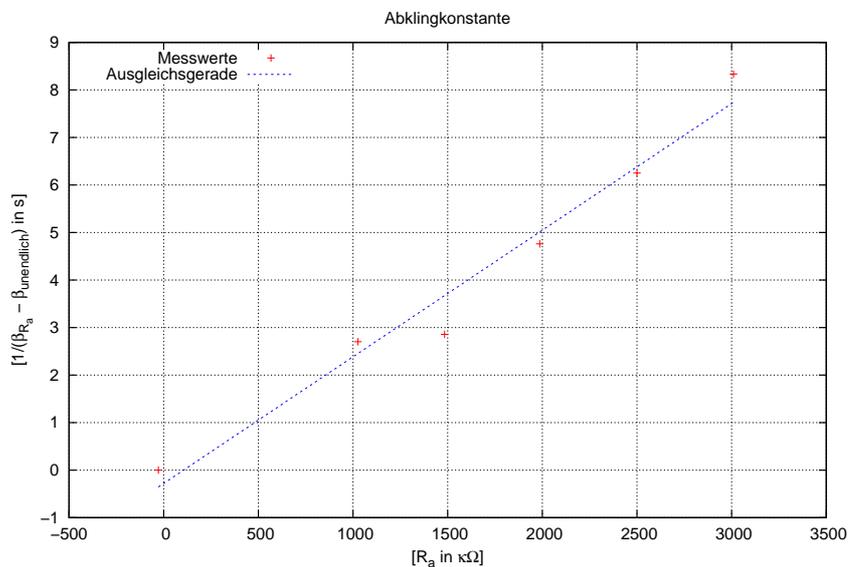
Wie in den Vorbereitungen beschrieben ergibt sie sich zu

$$\beta_{R_a} = \frac{1}{T} \ln \left( \frac{a_{n-1}}{a_n} \right)$$

Damit finden wir für die verschiedenen Widerstände die folgenden Abklingkonstanten:

$R_a$ [ $\Omega$ ]	$\beta_{R_a}$ [1/s]
1026	0,44
1484	0,42
1986	0,28
2500	0,23
3010	0,19
$\infty$	0,07

Trägt man  $\frac{1}{\beta_{R_a} - \beta_{\infty}}$  über  $R_a$  auf, so ergibt sich folgende Ausgleichsgerade. Zudem wurde noch der Wert  $(-R_G, 0)$  aufgenommen.



Die Geradengleichung lautet

$$\frac{1}{\beta_{R_a} - \beta_\infty} = 2,66 \cdot 10^{-3} s / \Omega R_a - 0,280 s$$

- Frequenz des ungedämpften Galvanometers  $\omega_0$   
Mit  $\beta_\infty = 0,071/s$  und  $T_\infty = 4,1s$  ergibt sich

$$\omega_0 = \sqrt{\left(\frac{2\pi}{T_\infty}\right)^2 + \beta_\infty^2} = 1,531/s$$

- Außenwiderstand für Grenzämpfung  
Im aperiodischen Grenzfall gilt  $\omega_0 = \beta_{R_a}$ . Setzt man also den Wert  $\omega_0$  für  $\beta_{R_a}$  in die obige Gleichung ein, so ergibt sich für den Grenzwiderstand

$$R_{a,gr} = 361,22\Omega$$

Da in Aufgabe 4 für einen Widerstand bei dem der aperiodische Grenzfall auftreten soll  $330\Omega$  gegeben ist können wir annehmen, dass unser berechneter Widerstand, der von diesem um ca. 8% abweicht, in der richtigen Größenordnung liegt.

- Galvanometerkenngrößen  $G$ ,  $\Theta$  und  $D$

Aus den in den Vorbereitungen hergeleiteten Formeln zusammen mit der Geradensteigung  $m$  und dem Achsenabschnitt  $c$  der obigen Ausgleichsgeraden können wir nun die Kenngrößen berechnen. Dabei ist zu beachten, dass die dort vorkommende Stromempfindlichkeit  $C'_I$  sich auf den Ausschlagswinkel und nicht mehr auf den gemessenen zur Nulllage bezieht. Es gilt  $C'_I = \frac{C_I}{2r}$ , wobei  $r = 250\text{mm}$  der Abstand vom Galvanometer zur Skala ist.

$$G = \frac{2}{mC'_I\omega_0^2} = 3,27 \cdot 10^{-3} \text{Vs}$$

$$\Theta = \frac{2}{mC_I'^2\omega_0^4} = 1,42 \cdot 10^{-8} \text{kgm}^2$$

$$D = \frac{2}{mC_I'^2\omega_0^2} = 3,33 \cdot 10^{-8} \text{Nm}$$

Durch Bestimmung dieser Größen können wir nun die Schwingungsgleichung des Galvanometers (abhängig von  $R_a$ ) komplett aufstellen.

$$\ddot{\varphi} + 2\beta_{R_a}\dot{\varphi} + \omega_0^2\varphi = \frac{G}{\Theta}I$$

## 4 Wirkung von kurzen Stromstößen

### 4.1 Gemessene Stromstoßempfindlichkeit

Wir haben mit Hilfe von Schaltung 5 einen Kondensator aufgeladen und über das Galvanometer bei verschiedenen Widerständen  $R_a$  entladen. Dabei haben wir den Maximalausschlag  $a$  des Galvanometers gemessen. Diesen können wir nun über  $\alpha = \frac{a}{2r}$  bestimmen und daraus die Stromstoßempfindlichkeit  $C_b = \frac{\alpha}{Q_G}$  berechnen. Dabei gilt  $Q_G = 0,95CU = 0,95 \cdot 4,12\mu\text{F} \cdot 0,2\text{V} = 0,78\mu\text{C}$ .

Pro Widerstand  $R_a$  haben wir drei Messungen durchgeführt, über die in folgender Tabelle bereits gemittelt wurde. Um eine geringe Stoßzeit zu erhalten wählten wir den Widerstand  $R$ , über den der Kondensator entladen wird, möglichst gering ( $R = 6\text{k}\Omega$ ).

$R_a$ [ $\Omega$ ]	Ausschlag $a$ [mm]	$C_b$ [ $1/\text{C}$ ]
33	11	$28,10 \cdot 10^3$
341	27,33	$69,83 \cdot 10^3$
999	46,33	$118,37 \cdot 10^3$
$\infty$	62,33	$159,25 \cdot 10^3$

Bei unseren Messungen konnten wir sehr schön bei  $R_a = 33\Omega$  den Kriechfall erkennen, da der Zeiger nach dem Ausschlag nur langsam zum Nullpunkt zurückging. Bei  $R_a = 341\Omega$  ging der Zeiger deutlich schneller zurück, da dieser Widerstand nahe beim zuvor bestimmten Grenzwiderstand  $R_{a,gr}$  liegt. Für  $R_a = 990\Omega$  und  $R_a = \infty$  schwang der Zeiger mehrmals um den Nullpunkt bevor er zur Ruhe kam. Das Schwingen war jedoch für den unendlich großen Widerstand noch deutlich ausgeprägter.

### 4.2 Berechnete Stromstoßempfindlichkeit

Mit den in Aufgabe 3 bestimmten Werten können wir nun die Stromstoßempfindlichkeiten auch berechnen. Die benötigten Formeln haben wir in der Vorbereitung aufgeführt.

- Schwingfall

Für  $R_a = \infty$  ergibt sich

$$C_b = 150,51 \cdot 10^3 1/\text{C}$$

Bei  $R_a = 1000\Omega$  gilt  $\beta \ll \omega_0$  nicht mehr, daher kann die Näherungsformel  $\alpha = \frac{GQ}{\Theta\omega_0}$  nicht verwendet werden. Nach Abschnitt 5 aus der Vorbereitungshilfe lautet die ungenäherte Formel

$$\alpha = \frac{GQ}{\Theta\omega_0} e^{-\frac{\beta}{\omega} \arctan\left(\frac{\omega}{\beta}\right)}$$

mit  $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}$ . In diesem Fall ergibt sich

$$C_b = 102,51 \cdot 10^3 1/C$$

Diese Werte weichen nicht zu sehr von den experimentell bestimmten Werten ab.

- Aperiodischer Grenzfall  
Mit  $R_a = 341\Omega$  ergibt sich

$$C_b = 55,37 \cdot 10^3 1/C$$

In diesem Fall weichen berechneter und experimentell bestimmter Wert deutlich voneinander ab.

- Kriechfall  
Es gilt  $R_a = 33\Omega$ :

$$C_b = 18,56 \cdot 10^3 1/C$$

Auch hier gibt es eine deutliche Abweichung zum gemessenen Wert.

Bei der Berechnung der Stromstoßstromempfindlichkeiten ist zu beachten, dass die verwendeten Galvanometerkenngrößen bereits fehlerbehaftet sind, und sich diese dadurch natürlich fortpflanzen. Bei den experimentell bestimmten Werten war wiederum das Ablesen des Maximalausschlags problematisch, da dieser ja nur kurz erreicht wurde. Daher lassen sich die unterschiedlich großen Abweichungen erklären.

### 4.3 Abhängigkeit von $T_Q$

Abschließend soll die Abhängigkeit der Stromstoßempfindlichkeit bei großer Stromstoßdauer untersucht werden. Dazu haben wir den Widerstand  $R$  erhöht, sodass die Stromstoßdauer zunimmt. Dabei haben wir  $R_a = 341\Omega$  gewählt, da sich der Zeiger hier am schnellsten wieder beruhigt.

An den (angehängten) Messwerten sieht man, dass der Ausschlag, und damit die Stromstoßempfindlichkeit, bei längeren Stromstößen abnimmt.

Auffällig in unserer Messreihe ist der Wert für  $R = 90k\Omega$ , da hier ein signifikant kleinerer Ausschlag gemessen wurde. Dies liegt daran, dass bei größeren Widerständen der Ausschlag umso größer wird, je länger sich der Kondensator über den Widerstand entlädt, und bei dieser Messung diese Zeit kurz gewählt wurde. Bei kleinen Widerständen (z.B.  $R = 3k\Omega$ ) hingegen ist es irrelevant, wie lange die Taste gedrückt bleibt.

## 5 Fazit

Wir waren von der Empfindlichkeit des Messgeräts beeindruckt, jedoch wurde auch deutlich, dass es auch gegenüber Störungen aus dem Umfeld sehr empfindlich war. In unserem Fall beeinträchtigten vor allem Ablesefehler an der Skala die Messergebnisse, da es vor allem bei kurzen Ausschlägen schwer zu sagen war, wo genau der Messwert liegt. Eine mögliche Lösung wäre eine lichtempfindliche Skala, die den Maximalausschlag (z.B. über eine digitale Anzeige) zuverlässig ausgibt. Die kostengünstigere Variante wäre es, den Abstand zwischen Spiegel und Skala noch zu vergrößern. Dann wäre jedoch auch ein besseres Fokussieren des Lichtpunkts notwendig.

Es war sehr interessant die verschiedenen Lösungen der Differentialgleichung beobachten zu können, und dass die mathematische Theorie der physikalischen Wirklichkeit entspricht.