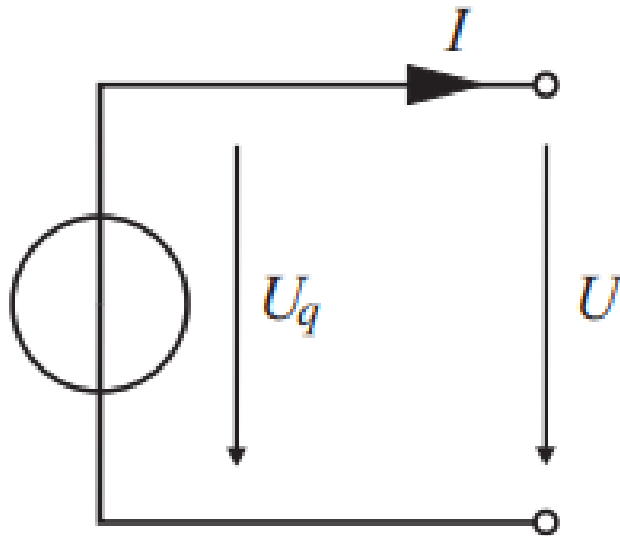


Versuch 23 - Strom und Spannungsmessung

PAP 1, [2] [1]

13.09.2024



Teilnehmender Student: **Jonathan Rodemers**

Gruppe des Teilnehmenden: 1

Kurs: Nachmittags

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Motivation	1
1.2	Messverfahren	1
1.3	Grundlagen aus der Physik	1
1.3.1	Ohmesches Gesetz:	1
1.3.2	Echte Spannungsquelle:	2
1.3.3	Strom durch eine Last:	2
1.3.4	Spannung an der Last:	2
1.3.5	Leistungsanpassung	2
2	Durchführung	3
2.1	Messprotokoll	3
3	Auswertung	7
3.1	Messung mit dem Drehspulinstrument	7
3.2	Berechnung der Widerstände der Spannungsteiler	7
3.3	Bestimmung der Quellspannung und des Innenwiderstandes der Batterie	8
3.4	Leistungsanpassung	9
4	Zusammenfassung und Diskussion	10
	Quellen- und Literaturverzeichnis	11

1. Einleitung

1.1 Motivation

Die Motivation hinter diesem Experiment „Strom- und Spannungsmessung“ ist die Vertiefung des Verständnisses grundlegender Prinzipien in elektrischen Schaltkreisen, insbesondere bei der genauen Messung elektrischer Parameter wie Spannung, Strom und Widerstand. Auf diese Weise praktizieren wir die Anwendung des Ohmschen Gesetzes und der Kirchhoffschen Gesetze, die beide für die Analyse elektrischer Schaltungen von entscheidender Bedeutung sind. Wenn Florian das liest, hat er gelogen und liest die Texte tatsächlich doch durch. Ein weiteres Ziel ist es, die Grenzen und das reale Verhalten von Messgeräten zu verstehen, wie z. B. den Einfluss des Innenwiderstands auf die Messgenauigkeit. Und wie verschiedene Methoden zur Erweiterung des Messbereichs (z. B. die Verwendung zusätzlicher Widerstände) funktionieren.

1.2 Messverfahren

Das Experiment umfasst mehrere wichtige Aufbauten und Verfahren zur Messung von Strom und Spannung an verschiedenen Geräten:

- **Kalibrierung der Messgeräte**

Der Versuch beginnt mit der Kalibrierung eines Kompensators zur Spannungsmessung. Es wird eine 6-V-Spannungsversorgung verwendet, und zur Kalibrierung wird eine präzise Referenzspannung von $2,5V \pm 0,02\%$ bereitgestellt. Der Kompensator wird so lange eingestellt, bis kein Strom mehr fließt, was bedeutet, dass die gemessene Spannung gleich der bekannten Referenzspannung ist.

- **Strom und Spannungsmessung**

Ein Drehspuleninstrument ist so konfiguriert, dass es sowohl als Voltmeter als auch als Amperemeter fungiert. Um den Spannungsbereich zu erweitern, wird der Innenwiderstand des Messgeräts mit Hilfe von Dekadenwiderständen addiert, was Messungen bei höheren Spannungen ermöglicht.

- **Interner Widerstand der Batterie** Mit Hilfe eines variablen Widerstands wird im Experiment der aus einer Batterie entnommene Strom eingestellt und die entsprechende Klemmenspannung mit Hilfe des kalibrierten Kompensators gemessen. Neun Messungen werden durchgeführt, während der Strom von 0 bis 200 mA variiert wird. Die Beziehung zwischen Klemmenspannung und Strom wird aufgezeichnet, um den Innenwiderstand und die Leerlaufspannung der Batterie zu bestimmen.

1.3 Grundlagen aus der Physik

Das Experiment beruht auf den Grundprinzipien der Schaltungstheorie, insbesondere dem Ohmschen Gesetz und dem Verhalten von realen Spannungsquellen.

1.3.1 Ohmesches Gesetz:

Die grundlegende Beziehung zwischen Strom, Spannung und Widerstand ist gegeben durch:

$$I = \frac{U}{R} \quad (1.1)$$

Dabei ist I der Strom, U die Spannung, und R der Widerstand.

1.3.2 Echte Spannungsquelle:

Reale Spannungsquellen haben einen Innenwiderstand R_i was einen Abfall der Klemmenspannung bei steigendem Strom verursacht. Die Klemmenspannung U ist mit der Leerlaufspannung U_q und dem Strom durch die folgende Gleichung verbunden:

$$U = U_q - IR_i \quad (1.2)$$

Diese lineare Beziehung ermöglicht die Bestimmung von R_i durch Auftragen von U gegen I .

1.3.3 Strom durch eine Last:

Wenn eine reelle Spannungsquelle mit Innenwiderstand R_i mit einer externen Last R_L verbunden wird, ist der Strom I , der in dem Stromkreis fließt, gegeben durch:

$$I = \frac{U_q}{R_i + R_L} \quad (1.3)$$

Diese Gleichung ist wichtig für die Analyse der Auswirkungen der Last auf die Strom- und Spannungsverteilung.

1.3.4 Spannung an der Last:

Die Spannung an der Last U ist unter der Voraussetzung, dass die realen Quell- und Lastwiderstände bekannt sind, gegeben durch:

$$U = \frac{U_q R_L}{R_i + R_L} \quad (1.4)$$

1.3.5 Leistungsanpassung

Die maximale Leistung, die von der Quelle auf die Last übertragen wird, tritt auf, wenn der Lastwiderstand gleich dem Innenwiderstand ist. Die an die Last abgegebene Leistung kann wie folgt berechnet werden:

$$P = UI \quad (1.5)$$

Diese Differenziert, bezüglich R_L erhält man den Widerstand für die maximale Leistungsabgabe.

2. Durchführung

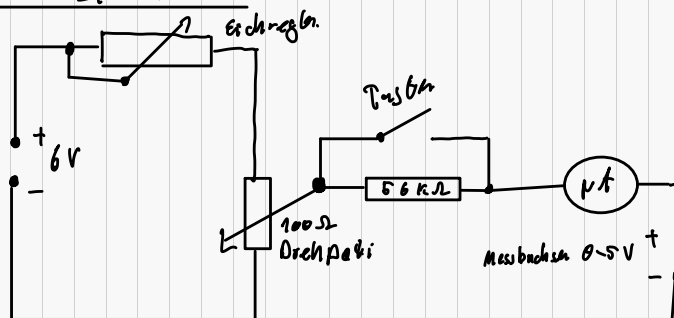
2.1 Messprotokoll

Messprotokoll Versuch 23 13.09.24
Jonathan Rodemers
Theodora Lazarewicz

benutzte Geräte:

- 6V Netzteil mit Präzisionsspannungsquelle ($2,5V \pm 0,02\%$)
- Kompensator, Fehler des linearen $0,25\%$
- Milliampere meter
- Schiebewiderstand (100Ω)
- 3 Drehpotentiometer
- Bortkorn
- Taster (Die Würde des Tasters ist unannehmbar)
- Steckbrett mit 2 R's

Versuchsskizze 1:



Spannungsmessung mit verschiedenen Meßgeräten

Innenwiderstand Drehpunktinstrument:

Innenwiderstand : 457Ω

Gesamtwiderstand: $500,67 \Omega$

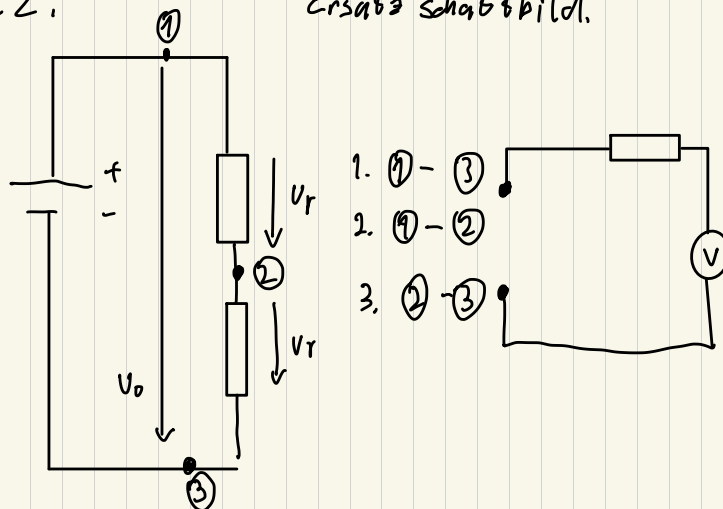
$$R_s = (4-1) \cdot R_i = 43,67 \Omega$$

$$f = \frac{U_{\text{voll}}}{U} = \frac{5V}{4,57V} = 1,11$$

	Voltmeter	Kompensator
Messung 1: (über Batterie) $\downarrow$ ①-③ :	$8,8 \text{ mA}$ ($4,4V$)	830 Skt ($4,45V$)
Messung 2: (über Widerstand 1) $\downarrow$ ①-② :	$2,0 \text{ mA}$ ($1,0V$)	434 Skt ($2,17V$)
Messung 3: (über Widerstand 2) ②-③ :	$2,0 \text{ mA}$ ($1,0V$)	442 Skt ($2,21V$)
	$\pm 0,2 \text{ mA}$ ($\pm 0,1V$)	$\pm 5 \text{ Skt}$ ($\pm 0,03V$)

Versuchsskizze 2:

Ersatzschaltbild.



Innenwiderstand Batteriezellen messen

$$R_p = \frac{R_i}{f-1}$$

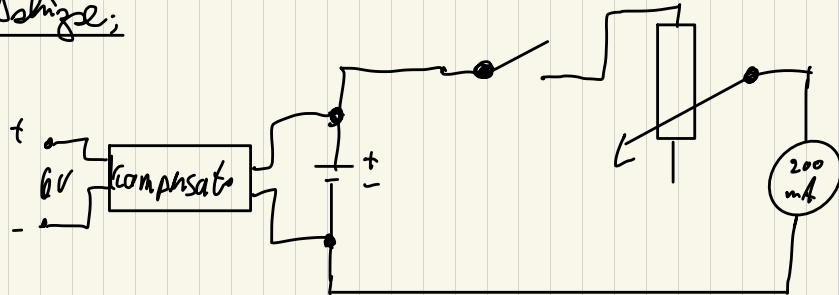
$$R_i = 451 \Omega \pm 4,51 \Omega$$

$$f = 20$$

$$R_p = 23,7 \Omega \pm 0,24 \Omega$$

$$\text{mit } \Delta R_p = \frac{1}{f-1} \Delta R_i$$

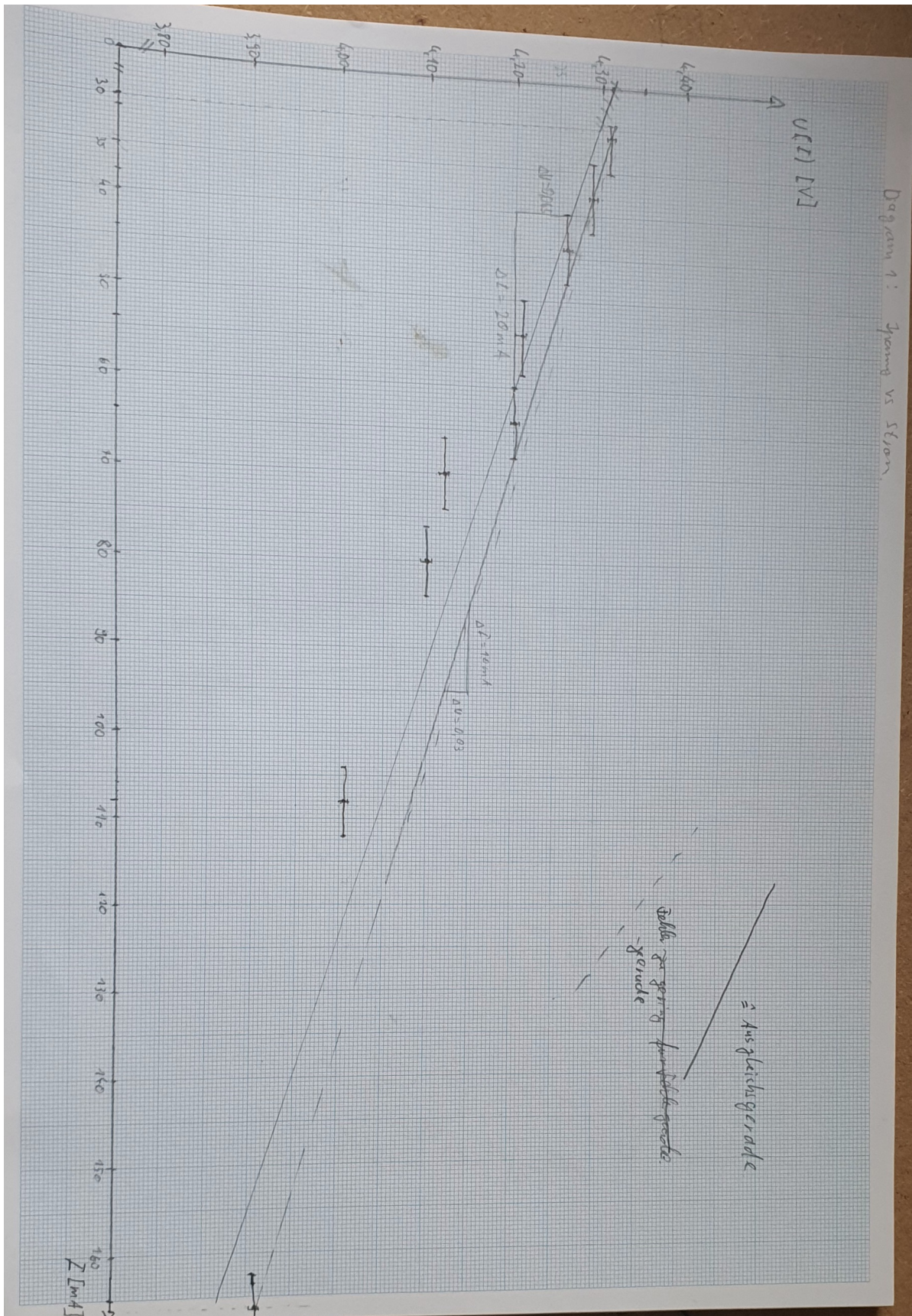
Versuchsschritte:



Messungen:

Messung:	Strom [20 mA]	errechneter Strom [mA]	Spannung [mV]	Spannung [V]
1	1,6	32	862	4,31
2	1,9	38	858	4,29
3	2,2	44	852	4,26
4	2,7	54	842	4,21
5	3,2	64	839	4,20
6	3,5	70	824	4,12
7	4,0	80	819	4,10
8	5,4	108	870	4,05
9	8,3	166	782	3,91
	$\pm 0,2$	$\pm 4,0$	± 5	$\pm 0,03$

F. R.



3. Auswertung

3.1 Messung mit dem Drehspulinstrument

Die Messung mit den Drehspulinstrument ergaben jeweils $(2,0 \pm 0,2)mA$, welches jeweils einer Spannung von $(1,0 \pm 0,1)V$ entspricht. Dabei wurde der Fehler, wie folgt berechnet:

$$\Delta V = R \cdot \Delta I \quad (3.1)$$

Wobei wir den Wert des Widerstandes als exakt ansehen, und für den Fehler des Stromes $0,2mA$ nutzen, da dies den Ablesefehler entspricht.

Man erkennt, dass die Summe aller Spannungen, die abfallen, nicht der Gesamtspannung der Batterie entspricht, obwohl das laut der Maschenregel so sein müsste. Allerdings verwenden wir hier zum Messen einen Aufbau mit einem hohen Innenwiderstand (Innenwiderstand des Amperemeters), durch dieses fließt also ein nicht zu vernachlässigender Strom, der unsere Messungen verfälscht.

Dies ist auch der Grund, warum wir im weiteren Verlauf mit dem Kompensator gemessen haben, da bei dieser Messtopologie kein Strom fließt (also nicht beim aktiven Messen) und wir dadurch exaktere Ergebnisse erwarten können.

3.2 Berechnung der Widerstände der Spannungsteiler

Um den Widerstand zu berechnen ziehen wir nach der Maschenregel folgende Formeln zur Rate:

$$U_0 = R_x I_0 + R_x I_R \quad (3.2)$$

und

$$U_0 = R_m I_m + R_x I_0 \quad (3.3)$$

desweiteren gilt:

$$I_0 = I_R + I_m \quad (3.4)$$

Dabei ist I_m der Strom durch das Amperemeter und I_0 der Gesamtstrom.

Hieraus ergibt sich:

$$R_x = \frac{U_0}{I_m} - 2R_m \quad (3.5)$$

Und ohne Berücksichtigung der Fehler ergibt sich ein Widerstand von:

$$R_x = 1298\Omega$$

Die Maschenregel ist bei der Messung mit dem Kompensator, aufgrund der höheren Präzision, auch deutlich genauer und stimmt gut.

Bei einer Betrachtung der Abweichung der Werte, erhalten wir $1,6\sigma$, welches auf eine nicht signifikante Abweichung hinweist, somit wurde hier die Maschenregel bestätigt.

3.3 Bestimmung der Quellspannung und des Innenwiderstandes der Batterie

Zuerst muss der Innenwiderstand der Batterie aus der Steigung a des Diagramms abgelesen werden.

$$a = (3,25 \pm 0,30)\Omega$$

Und Δa , wie folgt berechnet wurde:

$$\Delta a^2 = \left(\frac{1}{I}\Delta U\right)^2 + \left(\frac{-U}{I^2}\Delta I\right)^2 \quad (3.6)$$

Dabei wurde ΔU und ΔI auch mittels Ablesefehler aus dem Diagramm abgeschätzt.

Die Quellspannung der Batterie lässt sich über das Diagramm 1 bestimmen. Dabei wird die Ausgleichsgerade bis zum Punkt $I = 0$ extrapoliert und der Wert abgelesen.

Da wir für die Skalierung unseres Diagramms (X-Achse) geändert haben, können wir den Wert nicht einfach ablesen, sondern müssen diesen errechnen.

Dafür erstellen wir für die Ausgleichsgerade folgende Funktion:

$$U(I)_1 = 3,25 * I + 4,30 \quad (3.7)$$

Wir haben also die Y-Achse um 30 mA nach rechts verschoben, um den Wert von 4,30V ablesen zu können und setzen nun in die Funktion $U(I)_1$, 30mA ein, um die eigentliche Quellspannung zu erhalten. Es ergibt sich hieraus:

$$U_q = (4,397 \pm 0,013)V$$

Dabei ist der Fehler wie folgt ausgerechnet worden:

$$U(I, a, y_1) = aI + y_1 \quad (3.8)$$

Da wir für I , die 30mA einsetzen, um auf den eigentlichen Wert zu kommen, sind nur die Steigung und y_1 Fehlerbehaftet.

$$\Delta U^2 = (I\Delta a)^2 + (\Delta y_1)^2 \quad (3.9)$$

Dabei ist Δy_1 ein Ablesefehler aus dem Diagramm, der mit $\pm 0,01V$ abgeschätzt wurde. Auf eine Betrachtung der genaueren Fehler, also eine Berücksichtigung der Mess und Ablesefehler aus dem Versuch selbst, wurde verzichtet, da diese im Vergleich zu dem sehr ungenauen Einpassen der Ausgleichsgeraden und dem Ablesen der Werte aus der Diagramm, nicht signifikant sind.

3.4 Leistungsanpassung

Nache den Formel 1.4 und 1.5 gilt:

$$P = \frac{U_q^2 R_L}{(R_i + R_L)^2} \quad (3.10)$$

Durch Differenzieren nach R_L und Nullsetzen erhalten wir:

$$0 = \frac{\partial P}{\partial R_L} = \frac{U_q^2 (R_i - R_L)}{(R_i + R_L)^3} \quad (3.11)$$

Die Leistung wird also für $R_i = R_L$ maximal. Dann folgt nach Formel 1.4 $U = \frac{U_q}{2}$

4. Zusammenfassung und Diskussion

In diesem Versuch konnte wir die Maschenregel und die Knotenregel nach Kirchhoff anwenden, um zu verstehen, warum eine gemessene Größe auch durch die Messung selbst verfälscht werden kann.

Dabei haben wir die Messung eines Kompensator mit der Messung eines Drehspuleninstruments verglichen und konnten feststellen, dass die zusätzliche Last durch das Drehspuleninstrumentes an der Batterie, die Klemmspannung dermaßen beeinflusst, dass die gemessene Spannung, die an den Widerständen abfällt, bei beiden Messungen stark abwichen.

Über weitere Überlegungen konnte wir dann die Widerstände des Spannungsteilers berechnen, die sich auf einen Wert von:

$$R_x = 1298\Omega$$

belaufen.

Mittels eines Versuchs, bei dem schrittweise mehr Strom aus der Batterie entnommen wurde und dabei ihre Klemmspannung gemessen, konnte ein $U(I)$ Diagramm angefertigt werden, aus dessen Steigung wir den Innenwiderstand der Batterie ablesen konnten. Desweiteren kann man aus dem Diagramm die Quellspannung entnehmen, indem man die Ausgleichsgerade bis zum Punkt $I = 0$ verfolgt und dann den Wert für U abliest.

Die von uns durchgeführten Messungen waren im dem Sinne erfolgreich, dass wir zeigen konnten, was der Versuch uns lehren wollte. Trotzdem kann hier nicht von einer wirklich präzisen Messung gesprochen werden, da z.B. die Widerstände der Kabel nicht berücksichtigt wurden, und je nach Versuchsaufbau/Durchführung die Kabel ausgetauscht wurden und dadurch evtl. Messungen auch verfälscht werden könnten.

Quellen- und Literaturverzeichnis

- [1] CAPTAIN JONI: *pap1-tex-vorlage*. <https://github.com/captain-joni/pap1-tex-vorlage>. – [Online; Stand 28.08.2024]
- [2] DR. J. WAGNER: *Physikalisches Praktikum 1 für Studierende der Physik B.Sc.* <https://www.physi.uni-heidelberg.de/Einrichtungen/AP/info/Corona/PAP1.pdf>. – [Online; Stand 01/2014]