

Fakultät für Physik der Ludwig-Maximilians-Universität München  
 Grundpraktikum in Experimentalphysik - Kurs P2  
 Blockpraktikum vom 10. Aug. bis 07. Sept. 2020

Versuch:	ESK	Gruppe:	A1
Vorname:	Corinna Elena	Name:	Wegner

Mit Abgabe der Auswertung wird bestätigt, dass diese eigenständig erstellt wurde!

Punkte der Vorbereitung:	2,0	1,6	1,2	0,8	0,4	0,0
					1. Abgabe	2. Abgabe
Alle Teilversuche vollständig ausgewertet?	Ja	Nein	Ja	Nein		
Wurden immer korrekte Formeln angegeben und eigene Werte eingesetzt?	Ja	Nein	Ja	Nein		
Wurde immer eine Fehlerrechnung durchgeführt?	Ja	Nein	Ja	Nein		
Wurde immer eine aussagekräftige Diskussion geführt?	Ja	Nein	Ja	Nein		
Sind Endergebnisse immer angegeben und korrekt gerundet?	Ja	Nein	Ja	Nein		
Wurden alle Diagramme mit geeignetem Maßstab und Titel eingeklebt?	Ja	Nein	Ja	Nein		
Enthalten die Diagramme alle Messwerte, Beschriftungen u. Konstruktionen?	Ja	Nein	Ja	Nein		
Auswertung erhalten am:						
Auswertung zurückgegeben am:						
Nacharbeit notwendig bis:					nicht möglich	

Wird eine der obigen Fragen bei der ersten Abgabe mit Nein beantwortet ist eine Nacharbeit erforderlich!

Punkte:		Datum, Abtestat:
---------	--	------------------

Bitte bewahren Sie Ihre Hefte nach dem Praktikum unbedingt auf.

# Versuch ESK - Elektrische Stromkreise

Corinna Elena Wegner, 10.08.2020

1

## Vorbereitung

### Grundlegende Begriffe

elektrische Stromstärke  $I$   $[I] = 1 \text{ A}$

Maß für den Ladungsfluss

elektrische Feldstärke  $E = \frac{F}{Q}$ : Quotient aus der Kraft  $F$ , die auf eine Ladung  $Q$  in dem Feld, das von einer anderen Ladung ausgeht, wirkt, und der Ladung  $Q$   $[E] = 1 \frac{\text{N}}{\text{C}}$

Elektrisches Potential zwischen zwei Punkten ist die Spannungsdifferenz zwischen den beiden Punkten

Spannung  $U$  ist der Quotient aus der Arbeit, die geleistet werden muss, um eine Ladung  $Q$  von einem Punkt zu einem anderen Punkt zu bewegen, und der Ladung  $Q$   $[U] = 1 \text{ V}$

### Elektrischer Widerstand

In sog. ohmschen Leitern erfahren Ladungen eine Reibung, die mit der Spannung  $U$  und der Stromstärke  $I$  zusammenhängt. Daraus folgt das Ohmsche Gesetz mit Widerstand  $R$ :  $I = \frac{U}{R}$

Der Widerstand  $R$  ist auch proportional zur Länge und Querschnittsfläche  $A$  eines Leiters. Es gilt

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad \text{mit } \rho = \text{spezifischer Widerstand}$$

(Materialabhängig)

Zu Dual Slope - Verfahren steht nichts im Skript

0,04  
0,05  
0,06  
0,07  
0,08  
0,09  
0,10  
1

Spannungsteiler, Spannungsquelle  
Von Spannungsteiler spricht man, wenn durch  
ein Leiter Stromkreis mit Widerstand  $R$  ein Strom fließt.  
Aus dem Ohmschen Gesetz folgt dann, dass auch  
eine Spannung vorhanden ist ("abfällt")

Ein Potentiometer besteht aus einem Widerstand,  
an dem eine Spannung  $U_0$  angelegt wird. Man kann  
nun über einen Gleitkontakt einen Teil der Spannung  
 $U$  abgreifen, für diesen gilt  $U = \frac{R}{R_0} U_0$ .

Dieses beruht auf dem Prinzip jedes Spannungs-  
teilers: Wenn der gleiche Strom durch eine Kette von  
Widerständen fließt, muss man zwischen den einzelnen  
Widerständen unterschiedliche Spannungsabfälle

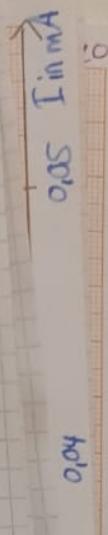
Ein Multimeter ist ein Messgerät zur Messung von Strom,  
Spannung und Widerstand. Auf dem Multimeter ist  
ein Rad, welches mit welchem man durch Verschiebung  
unterschiedliche Messgrößen einstellen kann.

Eine Spannungsquelle ist dadurch ausgezeichnet, dass  
sie eine relativ sta kontinuierliche Spannung liefert,  
obwohl auch wenn Strom abgegriffen wird. Eigentlich  
fällt würde bei Stromfluss die Spannung durch den  
Ladungsausgleich immer geringer werden. Ein Beispiel  
einer Spannungsquelle ist eine galvanische Zelle,  
die auf Basis von chemischen Verbindungen funktioniert.

Als Klemmenspannung bezeichnet man den Teil der  
Quellenspannung einer Spannungsquelle (Quellenspannung),  
den man von (den Klemmen) der Spannungsquelle ab-  
nehmen kann. Sie ist etwas geringer, was an dem

Innenwiderstand des Leiters liegt (Reibung): Wenn sich Ladungsträger in einem Leiter bewegen, wirkt auf sie Reibung. Um dieser entgegen zuwirken, muss der Teil der Spannung aufgewendet werden, der sich als Differenz zwischen Quellen- und Klemmenspannung ergibt.

3



### Kompensationsschaltung

Mit einem Potentiometer kann man eine Spannung  $U < U_0$  abgreifen. Hat man nun eine unbekannte Spannung  $\tilde{U}$  gegeben ( $\tilde{U} < U_0$ ), so kann man mit der Kompensationsschaltung nach Du Bois-R. die Spannung  $U$  an  $\tilde{U}$  angleichen. Hierzu integriert man zum Potentiometer ein Nullinstrument (vgl. Abb 7), welches dann ausschlägt, wenn  $U \neq \tilde{U}$  ist. Durch Verschieben des Schleifens kann man dann einen Punkt herausfinden, an dem das NI nicht mehr ausschlägt und über das Verhältnis  $\frac{R}{R_0}$  dann durch Gleichung (5):  $U = \frac{R}{R_0} U_0$  auf  $U$  kommen.

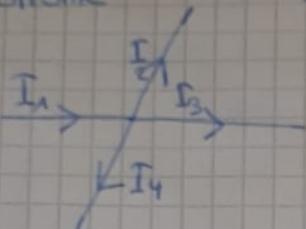
Kennt man  $U_0$  nicht kann man ein Spannungsnormalkreiseln verwenden. Dieses ist ein Bauteil mit einer Spannung  $U_N$ , die (sehr genau) bekannt ist. Durch das oben beschriebene Kompensationverfahren und der Gleichung  $U = \frac{R}{R_0} U_N$  kann man  $U$  herausfinden

#### 4 Kirchhoff'sche Sätze

Knotenregel (1. Kirchhoff'scher Satz)

"Summe der zufließenden Ströme = Summe der auffließenden Ströme"

Bsp.:



$$\Rightarrow I_1 = I_2 + I_3 + I_4$$

Begründung: Was soll sonst mit der Ladung passieren?

#### Maschenregel (2. Kirchhoff'scher Satz)

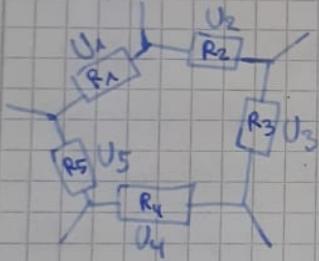
Die Summe der Spannungen in einer Masche, einem geschlossenen Kreis aus Widerständen, ist Null

(Folgerung aus der Energieerhaltung)

Bsp

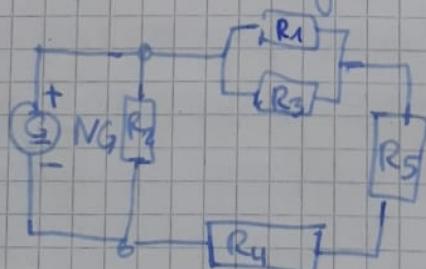
$$U_1 + U_2 + U_3 + U_4 + U_5 = 0$$

Beachte:  $U < 0$  ist erlaubt!



#### Experimentelle Überprüfung der Kirchhoff'schen Sätze

In Teilversuch 4 wird werden die Kirchhoff'schen Sätze durch folgende Schaltung überprüft (Abbildung 2g):



Dabei werden die Ströme und Spannungen mit einem Multimeter gemessen. Es muss gelten

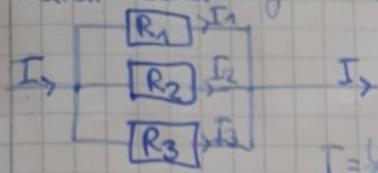
$$U_2 + U_5 + U_4 + U_{13} = 0 \quad U_1 + U_3 = 0$$

$$I_2 = I_1 + I_3 = I_5$$

## Anwendung der Kirchhoff'schen Sätze

### Parallelschaltung von Widerständen

5



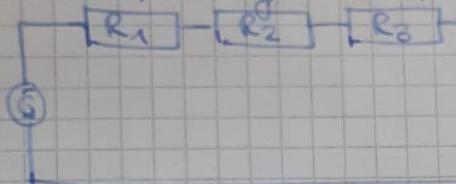
Es gilt  $I = I_1 + I_2 + I_3$  (Knotenregel)

Umformung nach Ohmschen Gesetz:

$$I = \frac{U}{R} \Rightarrow \frac{U}{R} = \frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2} + \frac{U_3}{R_3}$$

$$U_1 = U_2 = U_3 = U, \text{ daher gilt } \frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

### Serienschaltung von Widerständen



Nach der Maschen-

$\downarrow I$  regel gilt:

$$U = U_1 + U_2 + U_3$$

Mit  $U = RI$  folgt

$$RI = R_1 I_1 + R_2 I_2 + R_3 I_3$$

Nach der Knotenregel fließt durch alle Widerstände der selbe Strom  $I$ , da man den Stromkreis insgesamt als eine Masche betrachten kann

$$\Rightarrow RI = R_1 I + R_2 I + R_3 I \quad | : I$$

$$\Rightarrow R = R_1 + R_2 + R_3$$

## Versuchsdurchführung

Teilversuch 1: Belastungsabhängigkeit zweier Spannungsquellen

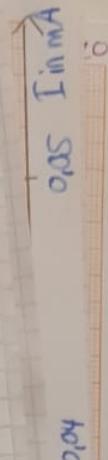
Versuchsziel:

Skizze:

Skizze:

(Foto)

6



## Versuchsdurchführung

- Aufbau der Schaltung zur galvanischen Zelle falsche Einstellung
- Messung der Leerlaufspannung  $U_L = 1,24 \text{ V}$

- Messung von Strom und Spannung für 10 Schritte \* Potentiometer auf 100  $\rightarrow I = 0,01 \text{ mA}$   $U = 1,37 \text{ V}$

- Erneute Messung der Leerlaufspannung  $U_L = 1,24 \text{ V}$

- Aufbau der Schaltung mit Netzgerät (Austausch)

- Messung der Stromstärke für maximalen Widerstand

und  $U = 10 \text{ V}$ :  $I = 0,10 \text{ mA}$   $I = 0,17 \text{ mA}$

- Messung von Stromstärke und Spannung für

niedrigen Potentiometerwiderstand:  $I = 0,22 \text{ mA}$   $I_M = 0,24 \text{ mA}$   $U = 1,02 \text{ V}$

$I_M = 0,19 \text{ mA}$   $U = 1,09 \text{ V}$

Potentiometer bei 20

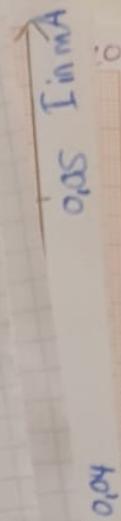
Spannung  
fiktiv  
Strom  
reine

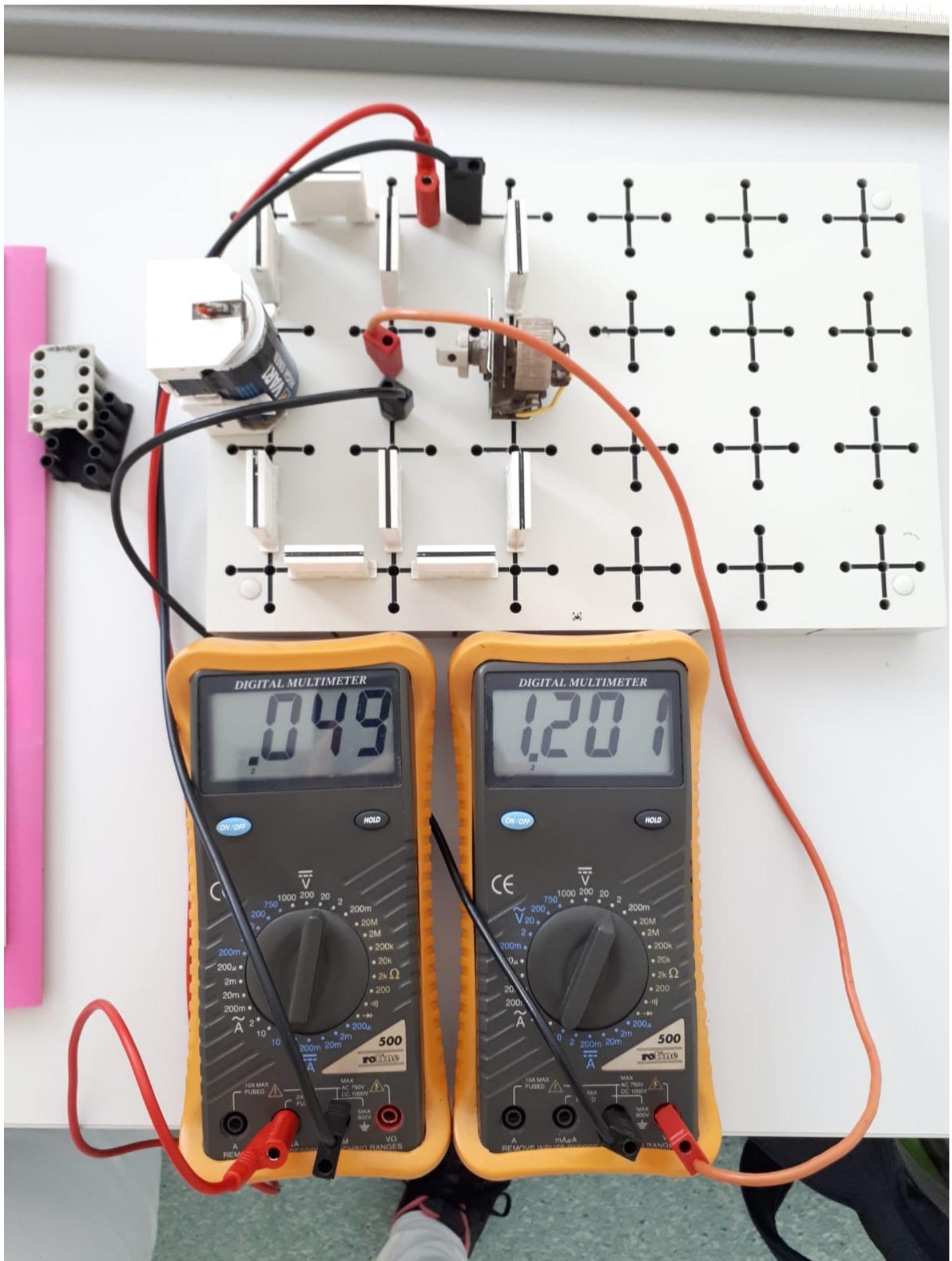
Potentiometer	Strom/ mA	Spannung / V	
20	0,025	1,314	
40	0,019	1,338	
10	0,030	1,290	
<del>30</del>	0,021		
100	0,011	1,204	nicht am Strom orientiert (äquidistante Schritte)
0	0,050	1,213	
70	0,015	1,359	
35	0,020	1,337	
20	0,025	1,316	
10	0,030	1,292	

$I \text{ in mA}$

Potentiometer	Strom	Spannung	7
8	0,035	1,257	
6	0,040	1,235	
5	0,045	1,221	

Leerlaufsp  
U<sub>l</sub>





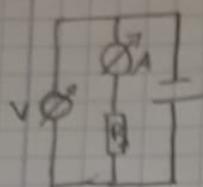
Versuchsaufbau zu Teilversuch 1

8

Teilversuch 2: Bestätigung des Ohmschen Gesetzes

Versuchsziel: Bestätigung des Ohmschen Gesetzes

Skizze:



Versuchsdurchführung

- Aufbau obiger Schaltung

- Messung von Strom und Spannung:

I in mA	U in V
0	0
1,680	2,89
0,001 A	4,30
0,0018 A	5,94
0,0024 A	7,96
0,003 A	10,46
0,0036 A	11,90
0,0042 A	13,97
0,0048 A	15,82
0,0053 A	17,68
0,0061 A	19,59

Fehler

~~R1 = Rot - Orange - orange~~ Verwendeter Widerstand

Fet

~~2 · 10³~~

~~brown - red~~

R1 bestimmen

(siehe Auswertung)

### Teilversuch 3: Spannungsabfall und Potentiometer

1

Versuchsziel: Messung der an einem Stromdurchflossenen Draht abfallenden Spannung als Funktion der Drahtlänge

Versuchsskizze: vgl. Teilversuch 2

Versuchsdurchführung

Draht  
x

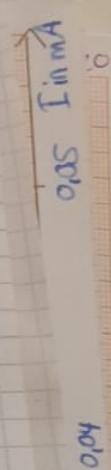
- Einstellung von  $I = 0,5 \text{ A}$  21 +  $U = 6,85$
- Feststellung, dass sich der Draht durch Stromfluss erwärmt
- Spannungsabfall am Draht messen (3 Mal)  
 $U_1 = 2,00 \text{ V}$   $U_2 = 2,10 \text{ V}$   $U_3 = 2,07 \text{ V}$
- Spannungsabfall für verschiedene Längen messen
- Aufbau der Schaltung mit Potentiometer

Länge in cm      Spannungsabfall in V

10 cm	2,21
30 cm	4,63
50	6,80
70	6,81
90	6,83

Fehler der Längenmessung ca.  $0,4 \text{ cm} \pm 0,2 \text{ cm}$

Fehler der Spannungsmessung ca.  $\pm 0,5 \text{ V}$



10

## Spannungsteilung am Potentiometer

$$U = 9,40 \text{ V}$$

Messwerte

Position

Spannung U in V

vom falschen  
Messgerät abgelesen

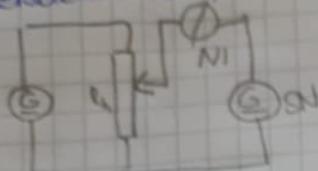
0 - 60	9,32	9,25	0,56
1 - 60	1,48		
2 - 60	2,40		
3 - 60	3,31		
4 - 60	4,24		
5 - 60	5,16		
6 - 60	6,09		
7 - 60	7,00		
8 - 60	7,93		
9 - 60	8,85		

## Teilkursach II: Spannungsmessung durch Kompensation

Versuchziel: Spannung einer galvanischen Zelle bestimmen

11

Versuchsskizze:



Versuchsdurchführung:

- Aufbau der Schaltung in der Skizze
- Überprüfung des Nullinstruments
- Einstellung einer Spannung von 2V am Netzgerät:  $U = 2,24 \pm 0,01 \text{ V}$
- Durchführung der Kompensation

Heilpotstellung: 1 - 8 Fehler:  $\pm 0,5$  für die zweite Ziffer in der Stellungsangabe  
Spannung  $U = 29,33 \text{ V} \pm 0,02 \text{ V}$

Fehler beim Ablesen des Nullinstruments:

$\pm 0,1 \text{ mA}$

- Austauschen des Spannungsnormals durch die galvanische Zelle

Kompensation der galvanischen Zelle Spannung des Netzgeräts  $U = 1,83 \pm 0,005 \text{ V}$   
Einstellung des Heilpots bei Kompensation  
~~7#6~~ 7 - 46  $\pm 0,01$  für die zweite Ziffer

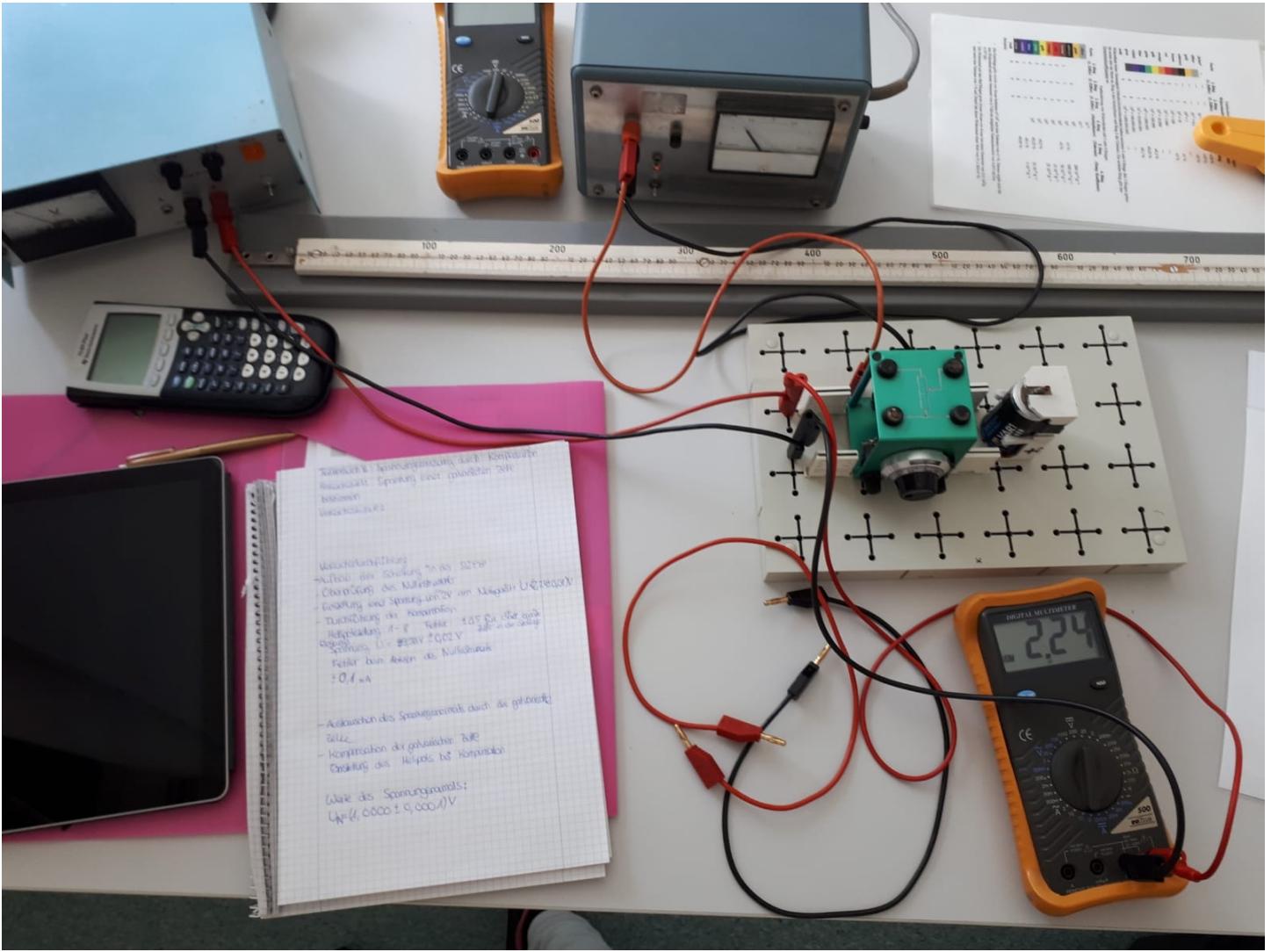
Werte des Spannungsnormals:

$$U_N = (1,0000 \pm 0,0001) \text{ V}$$

$I \text{ in mA}$   
0,25  
0,5  
1,0

10

?



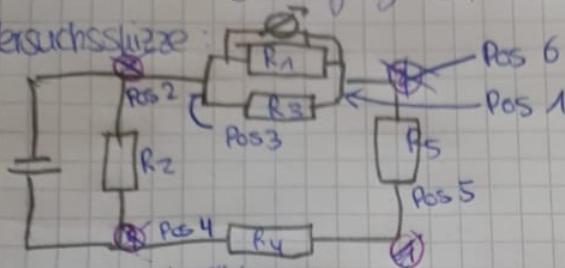
## Kompensationsanordnung zu Teilversuch 4

# Teilversuch 5: Bestätigung der Kirchhoff'schen Sätze

12

Versuchsziel: Bestätigung der Kirchhoff'schen Sätze

Versuchsschaltung:



Versuchsdurchführung

- Aufbau der Schaltungsschaltung  $U = 9,30 \text{ V}$
- Messung der Ströme und Spannungen in den Zweigen

Position	Strom	Spannung $U$ in V
R <sub>1</sub> R <sub>1</sub>	1,135	
R <sub>2</sub> R <sub>2</sub>	1,134	
R <sub>3</sub> R <sub>3</sub>	1,135	
R <sub>4</sub> R <sub>4</sub>	2,99	5,21
R <sub>5</sub> R <sub>5</sub>	2,99	

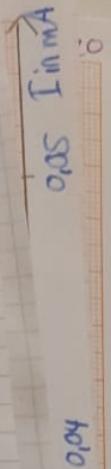
Ströme an den Positionen messen

Position  $I$  in mA

1	0,4
2	0,4 - 1,3
3	0,4
4	0,7
5	0,7
6	0,7

Fehler für die Spannungen:  $\Delta U = \pm 0,5\% + 1 \text{ dg}$

Fehler für den Strom:  $\Delta I = \pm 0,8\% + 1 \text{ dg}$



13

LMU München  
Physikalische Praktika

Versuch: ESK  
Datum: 23.06.20  
Betreuer: SCHWICK

## Auswertung ESK - Elektrische Stromkreise

141

### Teilversuch 1

- Einzeichnen der Messwerte, Zeichnen einer optimalen Geraden
- Es wurden auch 4 Messwerte berücksichtigt, die anfänglich gemessen wurden, aber irrtümlicherweise nicht auf die äquidistanten Schritte beim Strom geachtet wurde. Da diese Messwerte dennoch nicht falsch sind, wurden sie auch mit einbezogen.
- ⊕ - Man erkennt im Diagramm, dass der Messwert zu  $I = 0,011 \text{ mA}$  sehr stark von den anderen Werten abweicht. Hier ist offenbar ein Messfehler unterlaufen, z.B. könnte hier der Wert der Leerlaufspannung eingetragen worden sein, statt des abgelesenen Wertes. Er wird daher für die Best. Zeichnung der optimalen Geraden und für die weitere Auswertung nicht berücksichtigt.
- Innenwiderstand ermitteln

Nach Gleichung (7) gilt  $U = U_q - R_i I$ , wobei  $U$  die Klemmenspannung,  $I$  die Stromstärke,  $U_q$  die Quellenspannung (Leerlaufspannung) und  $R_i$  der Innenwiderstand ist.  $R_i$  ist also die Steigung der Geraden im Diagramm.

Wir wählen die Punkte

$$P_1 = (0,0162 \text{ mA}; 1,35 \text{ V}) \quad P_2 = (0,0498 \text{ mA}; 1,21 \text{ V})$$

und erhalten daraus die Steigung

15

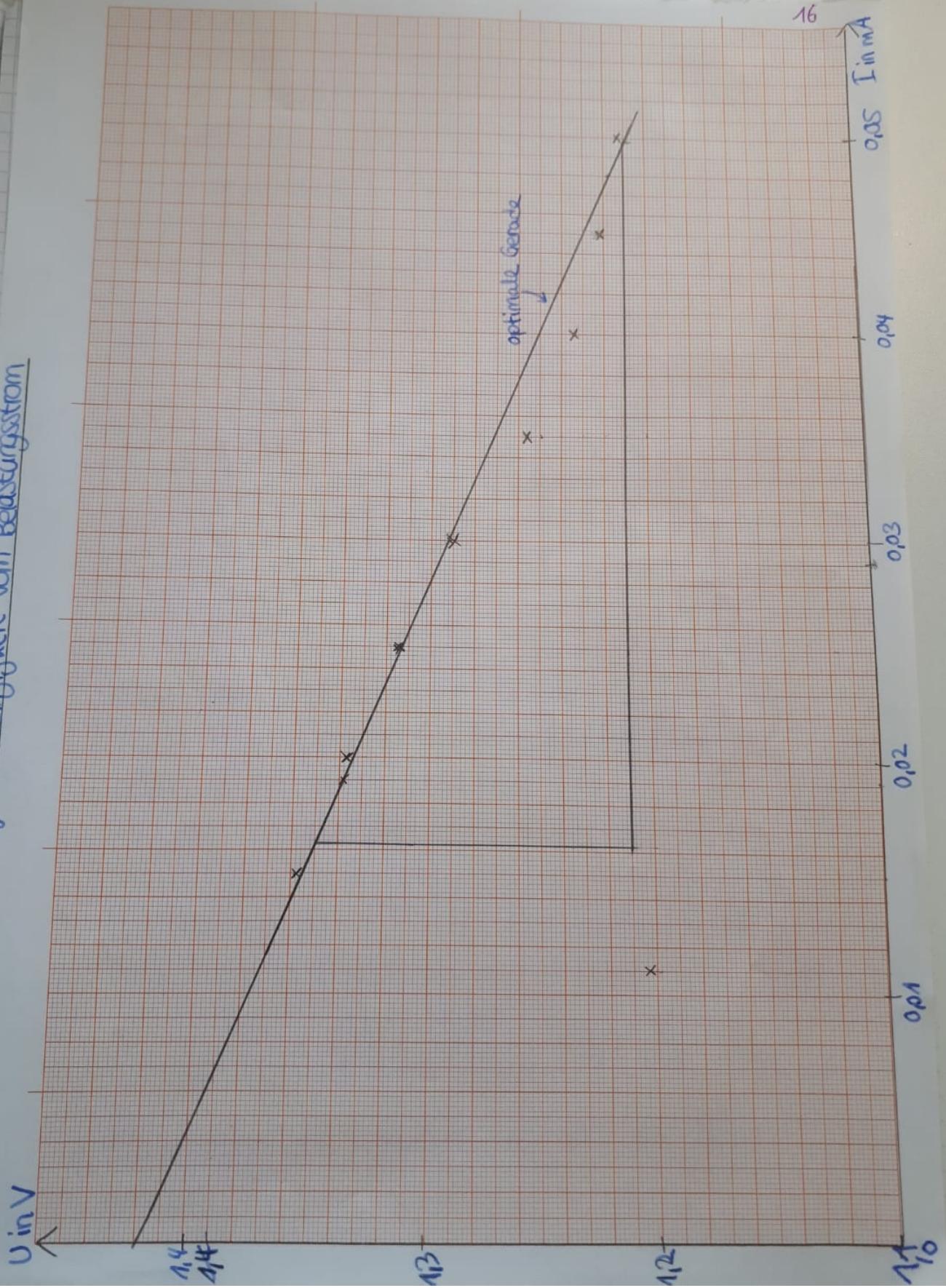
$$\alpha = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{1,21\text{V} - 1,15\text{V}}{0,0488\text{mA} - 0,0162\text{mA}} = -4,17 \frac{\text{V}}{\text{mA}}$$

- Wir extrapolierten die Gerade auf  $I=0$ , indem wir sie weiter zeichnen und erhalten den Wert  $U(I=0) \approx 1,42\text{V}$ . Ein ähnlicher Wert wurde auch als Leerlaufspannung gemessen, jedoch wurde dieser (vmtl. irrtümlich) durchgestrichen und ~~eff~~ ersetzt.
- Beim Netzgerät wurde ein gemessen, dass bei einer eingestellten Spannung von etwa  $10\text{V}$  und maximalem Widerstand die Stromstärke bei  $I = 0,205\text{mA}$  (nach Stromzange) bzw.  $I = 0,221\text{mA}$  (nach Angabe des Multimeters) liegt. Der Wert der Stromstärke, bei dem die Spannung gerade noch nicht absank, lag bei  $1,023\text{mA}$  bzw.  $1,050\text{mA}$ , die Potentiometereinstellung war dort bereits bei

20

Ursache hierfür liegt in den Arten der Spannungsquellen. Die galvanische Zelle basiert auf chemischen Bindungen und der Stromfluss bewirkt, dass die getrennten Ladungen wieder zusammengeführt werden. Dadurch nimmt die Spannung mit der Zeit ab. Das Netzgerät liefert hingegen relativ konstant eine stabile Spannung, was man daran erkennen kann, dass die Spannung erst später absinkt.

TV 1: Klemmenspannung in Abhängigkeit vom Belastungsstrom



## Teilversuch 2

17

- Zeichnen des U-I-Diagrammes. Hierzu verwenden wir die Messwerte aus dem Protokoll (hier werden die Werte für I noch in mA umgerechnet):

I in A (Protokoll)	I in mA	U in V
0 hier wurde in mA angegeben	0,80	2,89
0,001	1	4,30
0,0018	1,8	5,54
0,0024	2,4	7,96
0,003	3	10,46
0,0036	3,6	11,90
0,0042	4,2	13,97
0,0048	4,8	15,82
0,0053	5,3	17,68
0,0061	6,1	19,99

- Einzeichnen einer optimalen Geraden

Nach dem Ohmschen Gesetz gilt  $U = R \cdot I$ . Das heißt, R ist unsere Steigung.

Steigung der optimalen Geraden bestimmen

Wir wählen die Punkte

$$P_1 = (1,4 \text{ mA}; 5,1 \text{ V}) \text{ und } P_2 = (5,75 \text{ mA}; 19,0 \text{ V})$$

und bestimmen daraus die Steigung

$$R = \frac{U_2 - U_1}{I_2 - I_1} = \frac{19,0 \text{ V} - 5,1 \text{ V}}{5,75 \text{ mA} - 1,4 \text{ mA}} = 3,2 \frac{\text{V}}{\text{mA}}$$

- Einzeichnen des Fehlerstreifens und der Fehlergeraden

18

Wähle  $P_3 = (1,2 \text{ mA}; 4,0 \text{ V})$ ,  $P_4 = (5,5 \text{ mA}; 18,8 \text{ V})$

Dann gilt für die Steigung der unteren Fehlergeraden

$$R_{\max} = \frac{U_4 - U_3}{I_4 - I_3} = \frac{18,8 \text{ V} - 4,0 \text{ V}}{5,5 \text{ mA} - 1,2 \text{ mA}} = 3,5 \frac{\text{V}}{\text{mA}}$$

Wähle  $P_5 = (1,1 \text{ mA}; 4,5 \text{ V})$ ,  $P_6 = (5,45 \text{ mA}; 18,2 \text{ V})$

Dann gilt für die Steigung der oberen Fehlergeraden

$$R_{\min} = \frac{U_6 - U_5}{I_6 - I_5} = \frac{18,2 \text{ V} - 4,5 \text{ V}}{5,45 \text{ mA} - 1,1 \text{ mA}} = 3,1 \frac{\text{V}}{\text{mA}}$$

Damit gilt für den Widerstand

$$(320 \pm 30) \cdot 10^3 \Omega$$

$$R_{\text{exp}} = (3,2 \pm 0,3) \frac{\text{V}}{\text{mA}} = (3,2 \pm 0,3) \cdot 10^3 \frac{\text{V}}{\text{A}} = (3,2 \pm 0,3) \cdot 10^3 \Omega$$

Bestimmung des Widerstands mit der Farbstabtafel

Auf dem beigelegten Bild erkennt man die

Farben des Widerstands  $R_1$ . Die Farbkombination  
orange - braun - orange - braun - rot - braun  
~~brown - red - brown - orange - brown - orange~~ ergibt

falsch herum gelesen

nach der Farbkodierung einen Widerstand von

$$R_1 = 3,13 \cdot 10^3 \Omega \pm 2\%$$

$R_1 = 3,13 \cdot 10^3 \Omega \pm 1\%$  mit einem Temperatur-

Koeffizienten von  $1,5 \cdot 10^{-6} \frac{\Omega}{K}$ . Wegen  $9,81 \cdot 121 \cdot 10^3 \Omega$

$$= 1,21 \cdot 10^3 \Omega \approx 1,2 \cdot 10^3 \Omega$$

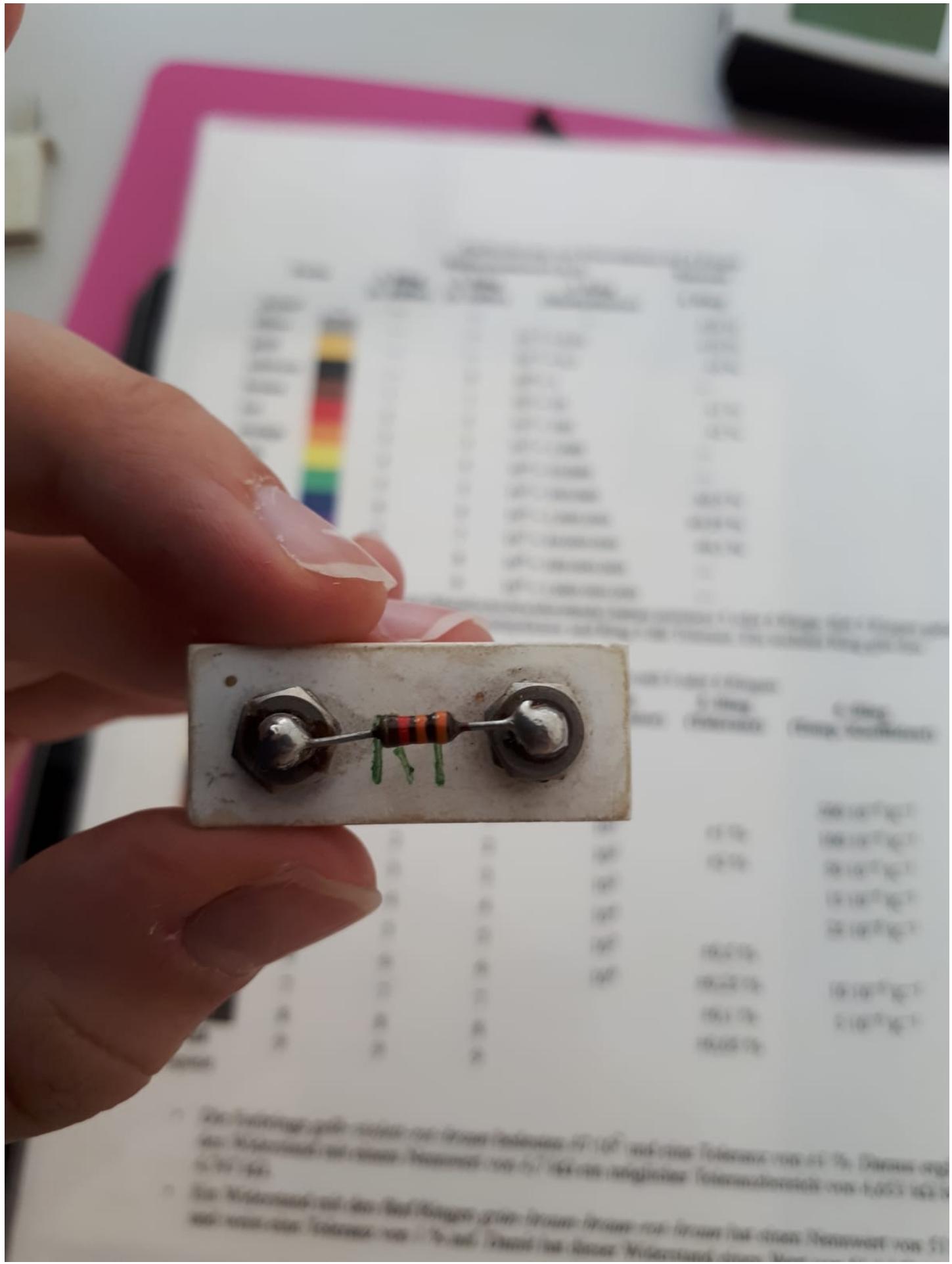
sicheres Aufrunden

$$R_1 = 121,0$$

$$R_1 = (121,0 \pm 1,3) \cdot 10^3 \Omega \quad \begin{array}{l} \text{Aufrunden} \\ \text{auf 1 signifikante} \\ \text{Stelle} \end{array}$$

$$2\% \cdot 3130 \Omega = 0,02 \cdot 3130 \Omega = 62,6 \Omega \approx 70 \Omega$$

Damit ist  $R_1 = (313 \pm 7) \cdot 10^3 \Omega$



Verwendeter Widerstand R1

Es gilt  $3060 \Omega < 3100 \Omega < 3200 \Omega < 3500 \Omega$

$$(313-7) \cdot 10^3 \Omega < (320-10) \cdot 10^3 \Omega < (313+7) \cdot 10^3 \Omega < (320+30) \cdot 10^3 \Omega$$

$$R_{1,\min} < R_{1,\text{exp,min}} < R_{1,\max} < R_{1,\text{exp,max}}$$

d.h. die Fehlerintervalle des experimentellen Widerstandswerts und des Widerstandswertes nach der Farbskala überschneiden sich. Die Werte stimmen also überein.

Die Messung von  $R_1$  hat mit dem Multimeter wurde vergessen zu dokumentieren. Daher verwende ich den von Maya Chaudhuri gemessenen

Widerstandswert  $R_{\text{Multimeter}} = 3,2 \text{ k}\Omega$  mit  $\Delta R_{\text{Multimeter}}$   
 $\Delta R_{\text{Multimeter}} = 0,5\%$

$$\Rightarrow 0,5\% \cdot R_{\text{Multimeter}} = 0,005 \cdot 3,2 \text{ k}\Omega = 16 \Omega \quad \text{Aufgerundet da Ergebnis auch nicht genauer angegeben}$$

$$\Rightarrow R_M = (3,2 \pm 0,1) \text{ k}\Omega$$

Damit gilt

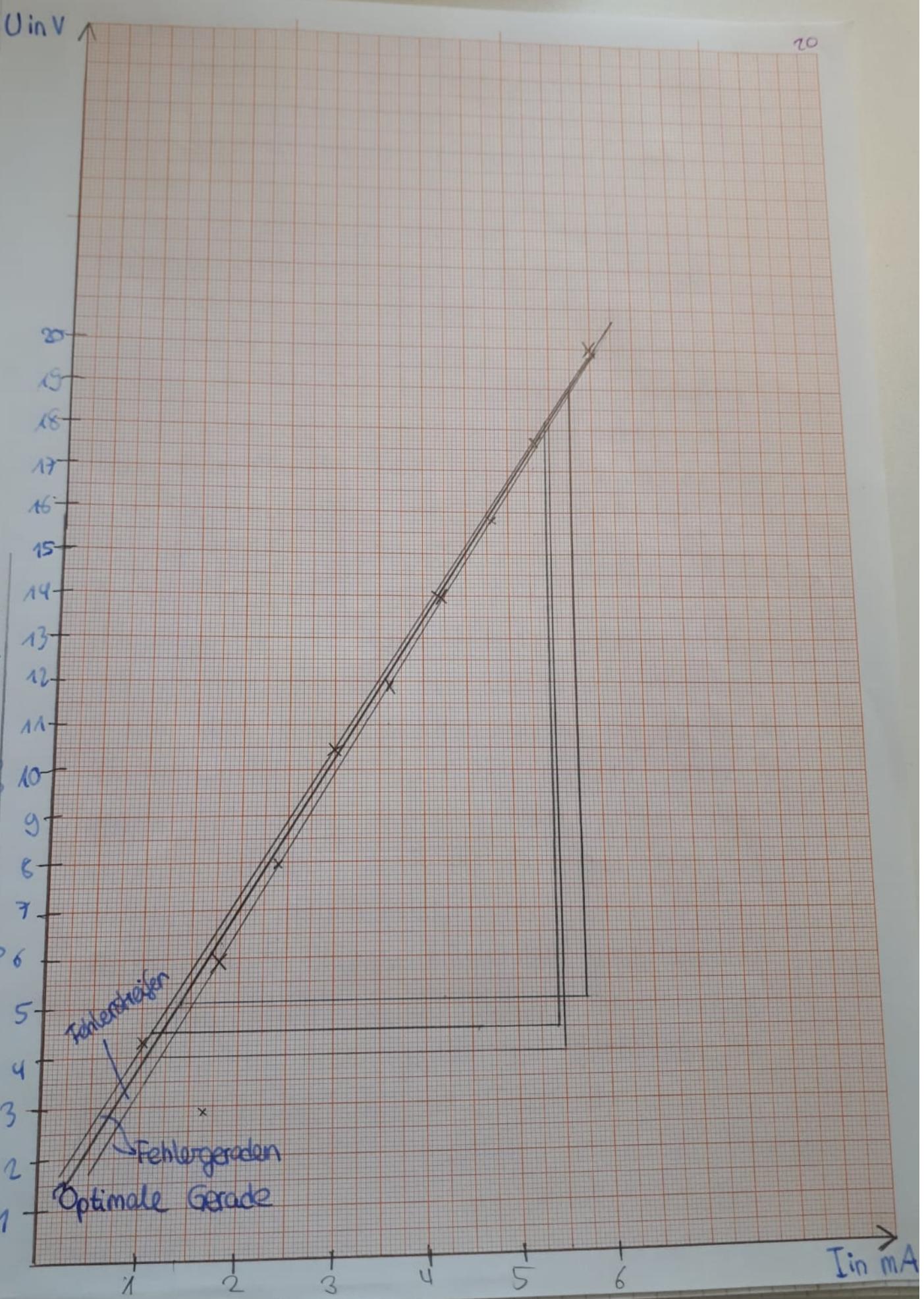
$$R_{1,\max} = (313 \pm 7) \cdot 10^3 \Omega = 3200 \Omega \quad 34000$$

$$R_{M,\min} = (3,2 - 0,1) \text{ k}\Omega = 3100 \Omega$$

$$\Rightarrow R_{1,\max} > R_{M,\min} > R_{1,\min} = 3060 \Omega$$

Also überschneiden sich auch diese Fehlerintervalle und die Werte stimmen überein.

TV 2: Spannungen in Abhängigkeit vom Strom



### Teilversuch 3: Spannungsabfall am Potentiometer

21

Die Messwerte für den Spannungsabfall am Draht lassen darauf schließen, dass bei einer Verlängerung des Drahtabschnitts der Spannungsabfall vergrößert wurde.

Dies ist gemäß des Ohmschen Gesetzes eine richtige Beobachtung, denn eine Vergrößerung des Drahtabschnitts geht mit einer Vergrößerung des Widerstands einher, und nach dem Ohmschen Gesetz ist  $U \sim R$ ! Eine lineare Abhängigkeit nach

$U = RI$  konnte allerdings nicht festgestellt werden, was man daran erkennt dass z.B. von 10cm zu 30cm eine Spannungsdifferenz von  $4,63V - 2,21V = 2,42V$ ; bei  $(60,0 \pm 0,2)cm$  zu  $(90,0 \pm 0,2)cm$  die Spannungsdifferenz nur bei  $6,83V - 6,81V = 0,02V$  liegt.

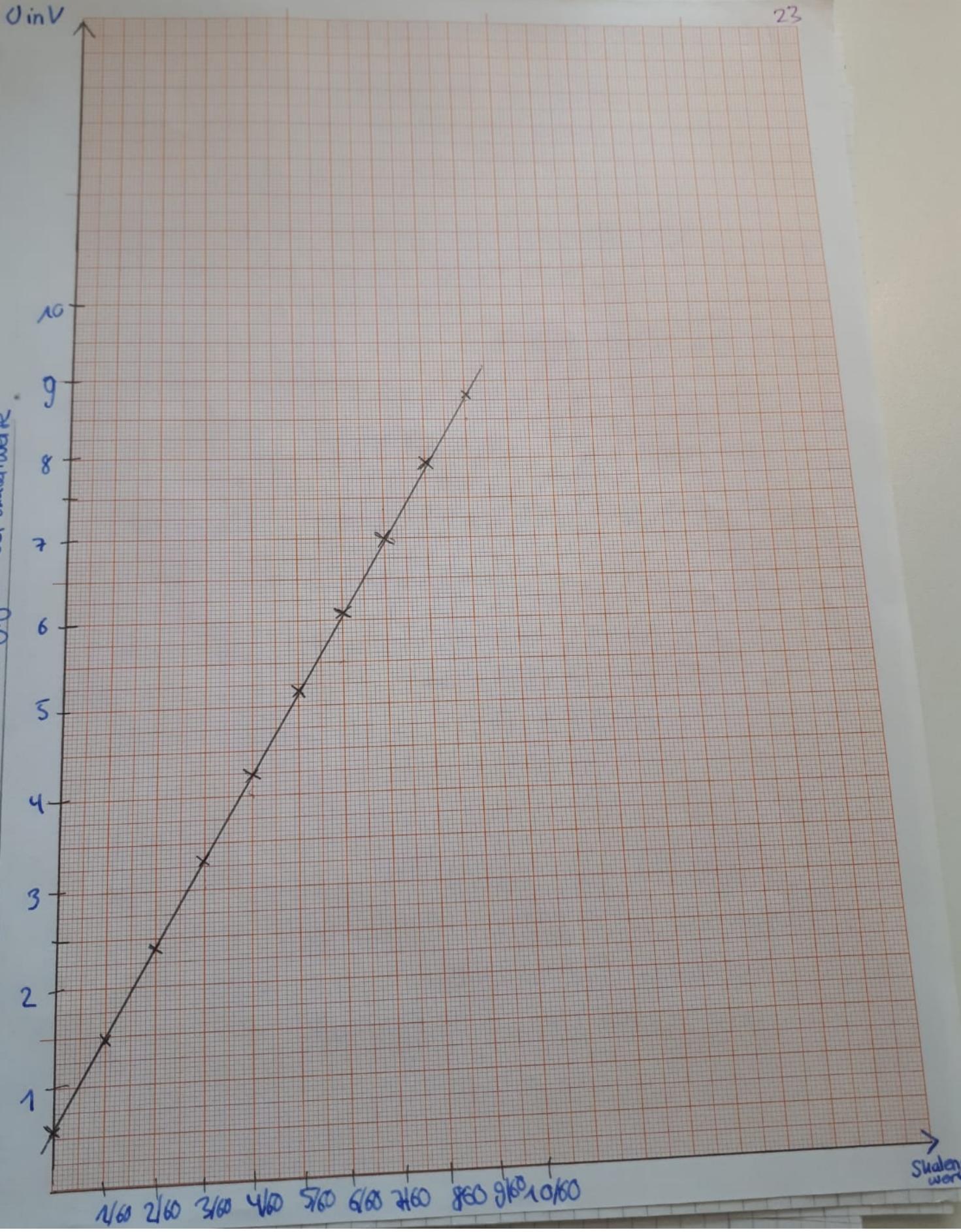
Ursachen für die den nichtlinearen Zusammenhang könnte sein, dass sich mit zunehmender Drahtlänge auch der Innenwiderstand erhöht, da die sich die Elektronen im Draht über eine längere Strecke gegen die Reibung bewegen müssen, wodurch dann mehr ein größerer Anteil der Quellenspannung aufgewendet werden muss.

Im gezeichneten Diagramm kennt man, dass oft unter Verwendung des Heliports ein linearer Zusammenhang zwischen der Spannung und der Skalenwerke des Heliports existiert. Hier wurde also der die Proportionalität  $U \sim R$  festgestellt, wobei der Widerstand folglich direkt linear mit den Skalenwerten des Heliports zusammenhängt. Zeichnet man durch die

72

Messwerte eine optimale Gerade, so erkennt man kaum Abweichungen der Messwerte. Im Vergleich zum Versuch mit dem stromdurchflossenen Draht besteht hier der Vorteil, dass der Aufbau während des Experiments nur Fehler durch Ablesen der Messwerte, Unsicherheit bei der Einstellung des Heilipots durch den Strichabstand oder Parallaxenfehler denbar ist, während beim Draht zusätzlich der Fehler durch die Länge des Drahtes ( $\pm 0,2\text{ cm}$ ) durch nicht perfektes Positionieren der Kontakte und ggf. nicht optimale Herstellung der Verbindung zwischen Draht und Kontakten (z.B. Berührfläche zu gering, etc.)

TV 3: Spannungen des Heliops in Abhängigkeit der Skalenwerte



## Teilversuch 4: Spannungsmessung durch Kompen- sation

24

Berechnung der Spannung des Netzgerätes

Laut dem Skript gilt für die Spannung  $U_0$  die

$$U_0 = \frac{R_0}{R_N} U_N$$

wobei  $U_N$  die Spannung des Spannungsnormals ist, die laut Protokoll bekannt ist als

$$U_N = (1,0000 \pm 0,0001) V$$

Die Komensation ergab laut Heipotsstellung<sup>1/821</sup> das gesuchte Verhältnis

$$\frac{R_0}{R_N} = (0,18 \pm 0,01)$$

Anz. Nachkommastellen  
entsprechen dem

$$\text{Damit gilt } U_0 = 0,18 \cdot 1,0000 V \stackrel{!}{=} 0,18 V$$

Fehler durch Min-Max-Methode

$$U_{0,\min} = \left( \frac{R_0}{R_N} \right)_{\min} \cdot U_{N,\min} = 0,17 \cdot 0,9999 V \\ \approx 0,17 V$$

$$U_{0,\max} = \left( \frac{R_0}{R_N} \right)_{\max} \cdot U_{N,\max} = 0,19 \cdot 1,0001 V \\ \approx 0,19 V$$

Damit ist  $U_0 = (0,18 \pm 0,01) V$ .

Da die der Messwerte<sup>für V</sup> aufgrund der Messungen gegebenen Ungenauigkeit nur auf zwei Nachkommastellen genau angegeben werden darf, spielt der Fehler des Spannungsnormals hier keine Rolle.

## Klemmenspannung einer galvanischen Zelle

2.6

Berechnung der Spannung der galvanischen Zelle

Nach Gleichung (5) im Skript gilt: für

$$U = \frac{R}{R_0} U_0$$

Also

Die Spannung des Netzeigens wurde gemessen als  $U_0 = (1,833 \pm 0,005) \text{ V}$

Die Heilipoteinstellung lag bei  $7/14,6 \text{ V}$ , also gilt für das Verhältnis  $\frac{R}{R_0} = (0,746 \pm 0,001)$

Damit erhalten wir

$$U = \frac{R}{R_0} U_0 = 0,746 \cdot 1,833 \text{ V} = 1,367 \text{ V}$$

Fehler mit der Min-Max-Methode bestimmen

$$U_{\min} = \left( \frac{R}{R_0} \right)_{\min} \cdot U_{0,\min} = (1,833 - 0,005) \text{ V} \cdot (0,746 - 0,001) \\ = 1,362 \text{ V}$$

$$U_{\max} = \left( \frac{R}{R_0} \right)_{\max} \cdot U_{0,\max} = (0,746 + 0,001) \cdot (1,833 + 0,005) \text{ V} \\ = 1,378 \text{ V} \quad 1,373 \text{ V}$$

$$\text{Damit ist } U = 1,362 \pm (1,362 \pm 0,011) \text{ V}$$

Im Teilversuch 1 wurde die Leerlaufspannung der galvanischen Zelle auf  $U_L = 1,204 \text{ V}$  bzw. am Schluss auf  $U'_L = 1,249 \text{ V}$  gemessen.

Es gilt

$$U_L < U'_L = 1,249 \text{ V} < U - 3 \cdot \Delta U = U_{\min} = 1,362 \pm 0,001 \cdot 3 \text{ V} \\ = 1,359 \text{ V}, \text{ daher}$$

daher überschreite liegen  $U'_L$  und  $U_L$  nicht im dreifachen Fehlerintervall von  $U$ . Die Werte sind also

27

nicht verträglich.

Theoretisch sollte die in Teilversuch 4 bestimmte Spannung jedoch mit der Leerlaufspannung übereinstimmen, denn dies ~~f~~ in Teilversuch 4 wurde der Widerstand durch die weitere Spannungsquelle ausgeglichen (komponiert), wodurch das gleiche Ergebnis wie ohne <sup>Berücksichtigung eines</sup> Widerstandes zu erwarten wäre.

Ursachen für das Nichtübereinstimmen der Werte liegen z.B. in dem Ungenauen Ablesen der Messwerte, der nicht exakt durchgeführten Komensation, des Spannungsabfalls bei längerer Benutzung der Galvanischen Zelle etc.

### Teilversuch #5

78

Nach den Kirchhoffischen Sätzen muss gelten  
Knotenregel:

$$I_2 = I_1 + I_3 = I_6 \quad (1)$$

Maschenregel:

$$U_4 + U_2 + U_5 + U_3 = U \quad (2)$$

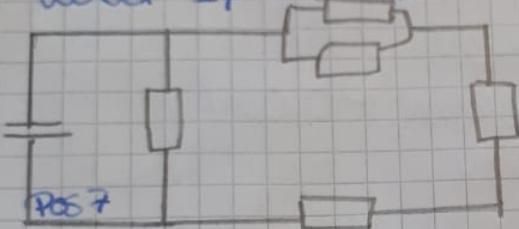
$$U_4 + U_2 + U_5 + U_1 = U \quad (3)$$

$$U_2 = U \quad (4)$$

Nochmal Knotenregel:

$$(*) I_7 + I_2 = I_4 \quad (5)$$

wobei  $I_7$  an Position 7 gemessen wurde:



Allerdings wurde hier vergessen die Stromstärke zu messen, daher übernehme ich hier den Wert von Maya Chaudhuri für  $I_7 = 2,7 \text{ mA}$ , wobei sie eine Nettospannung von  $U_N = 9,92 \text{ V}$  eingesetzt hatte. Dadurch könnte es dazu kommen, dass Gleichung 5 nicht vollständig aufgeht.

Überprüfung der Gleichungen durch Einfügen der Werte aus dem Protokoll

29

Hierzu bestimmen wir zunächst die absoluten Fehler aus den Angaben des Multimeters ( $\Delta I = \pm 0,8\%$ ,  $\Delta U = \pm 0,5\%$ )

$$U_1 = 1,135 \text{ V} \quad 0,005 \cdot 1,135 \text{ V} \approx 0,001 \text{ V}$$

$$\Rightarrow U_1 = (1,135 \pm 0,001) \text{ V}$$

$$U_2 = 9,34 \text{ V} \quad 0,005 \cdot 9,34 \text{ V} \approx 0,05 \text{ V}$$

$$\Rightarrow U_2 = (9,34 \pm 0,05) \text{ V}$$

$$U_3 = 1,135 \text{ V} \quad 0,005 \cdot 1,135 \text{ V} \approx 0,001 \text{ V}$$

$$\Rightarrow U_3 = (1,135 \pm 0,001) \text{ V}$$

$$U_4 = 5,21 \text{ V} \quad 0,005 \cdot 5,21 \text{ V} = 0,03 \text{ V}$$

$$\Rightarrow U_4 = (5,21 \pm 0,03) \text{ V}$$

$$U_5 = 2,99 \text{ V} \quad 0,005 \cdot 2,99 \text{ V} \approx 0,02 \text{ V}$$

$$\Rightarrow U_5 = (2,99 \pm 0,02) \text{ V}$$

$$I_1 = 0,4 \text{ mA} \quad 0,8\% \cdot 0,4 \text{ mA} = 0,008 \cdot 0,4 = 0,1 \text{ mA}$$

$$I_1 = (0,4 \pm 0,1) \text{ mA}$$

Da I nur auf 1 Nachkommastelle angegeben wurde, wird hier sehr stark aufgerundet

$$I_2 = 1,3 \text{ mA} \quad 0,008 \cdot 1,3 \approx 0,1$$

$$\Rightarrow I_2 = (1,3 \pm 0,1) \text{ mA}$$

$$I_3 = (0,4 \pm 0,1) \text{ mA}$$

$$I_5 = I_1$$

$$I_4 = 0,7 \text{ mA} \quad 0,008 \cdot 0,7 \text{ mA} \approx 0,01 \text{ mA}$$

$$I_4 = (0,7 \pm 0,1) \text{ mA} = I_5 = I_6$$

$$U = 9,30 \text{ V} \quad 0,005 \cdot 9,30 \text{ V} \approx 0,05 \text{ V}$$

$$\Rightarrow U = (9,30 \pm 0,05) \text{ V}$$

$$I_7 = 2,7 \text{ mA} \quad 0,008 \cdot 2,7 \text{ mA} = 0,02 \text{ mA} \approx 0,1 \text{ mA}$$

$$\Rightarrow I_7 = (2,7 \pm 0,1) \text{ mA}$$

Wir überprüfen Gleichung (1) durch Einsetzen der angegebenen Werte

30

- $I_1 + I_3 = 0,4 \text{ mA} + 0,4 \text{ mA} = 0,8 \text{ mA} \approx 0,97 \text{ mA} = I_4$   
Durch die Wahl von z.B.  $I_{1,\min} = (0,4 - 0,1) \text{ mA} = 0,3 \text{ mA}$   
gilt sogar  $I_{1,\max} + I_{3,\max} = 0,7 \text{ mA} > I_4$ , also gilt diese Gleichung
- $I_1 + I_3 = 0,8 \text{ mA} \neq 1,3 \text{ mA} = I_2$ , jedoch ist durch die Wahl von  $I_{1,\max}$  und  $I_{3,\max}$   
 $I_{1,\max} + I_{3,\max} = 0,5 \text{ mA} + 0,5 \text{ mA} = 1,0 \text{ mA}, I_2$   
näherungsweise erreicht. Vermutlich wurde hier ein Messwert ungenau abgelesen

- Gleichung (2)

$$U_4 + U_5 + U_3 = 5,21 \text{ V} + 2,99 \text{ V} + 1,135 \text{ V} \\ = 9,335 \text{ V} \approx 9,30 \text{ V} = U$$

Also kann man im Rahmen der Messungenauigkeit sagen, dass Gl. (2) stimmt

- Gleichung (3) ( $U_1 = U_3$ ) siehe oben

$$U_4 + U_5 + U_1 \stackrel{!}{=} U_4 + U_5 + U_3 \stackrel{!}{=} U_1 \text{ also gilt auch}$$

Gleichung (3)

- Gleichung (4)

$$U_2 = (9,34 \pm 0,05) \text{ V}$$

$$U = (9,30 \pm 0,05) \text{ V}$$

$$\tilde{U}_2 = U_2 - 0,04 \text{ V} = (9,34 - 0,04) \text{ V} = 9,30 \text{ V} = U$$

und da  $\tilde{U}_2$  im Fehlerbereich von  $U_2$  liegt,  
kann man sagen, dass  $\overset{\text{Gl. (4)}}{U_2 = U}$  erfüllt ist

- Gleichung (5)

$$I_7 + I_2 = 2,7 \text{ mA} + 1,3 \text{ mA} = 4,0 \text{ mA} < 0,7 \text{ mA} = I_4$$

Wenn man jedoch  $I_{7,\max}, I_{2,\max}$  und  $I_{4,\min}$  wählt erhält man

31

$$I_7 + \Delta I_7 + I_2 + \Delta I_2 = (2,7 + 0,1 + 1,3 + 0,1) \text{ mA}$$
$$= 8,4 \text{ mA} \leftarrow$$

Jedoch kann man sagen, dass sich die Werte unter Berücksichtigung der Fehlsgrenzen und der Tatsache, dass  $I_7$  unter einer höheren NetzsSpannung gemessen wurden, nicht zu sehr unterscheiden.

Insgesamt konnten anhand der Messwerte die Kirchhoffsschen Regeln also nicht vollständig bestätigt werden, da bei einigen Gleichungen selbst unter Berücksichtigung der Fehlerintervalle die Werte nicht gepasst haben. Jedoch stimmten andere Gleichungen wiederum im Rahmen der Fehlerintervalle.