

Versuch E1 - 624568

Date: 2023-06-11

Tags: E1

Created by: Samuel Brinkmann

Versuch E1: Wheatstone'schen Brücke

Zuerst tragen Sie ganz oben in der "Title" Zeile hinter "Versuch E1" ihre Matrikelnummern ein.

Ab hier befüllen Sie bitte alle blau markierten Textfelder, die Tabellen und ersetzen Sie die Platzhalter Grafiken entsprechend.

	Matrikelnummer
Person 1:	624568
Person 2:	626758

1. Rohdaten der Strom- und Spannungsfehlerschaltung

Schalten Sie alle 1m-langen Nickel-Drähte abwechselnd mit einem Ampere-Meter (Multimeter im Range 200 mA Gleichstrom) in Reihe;

als Spannungsquelle soll die variabel einstellbare Spannungsquelle dienen.

Auch bei kleinen Praktikumsgruppen werden alle vier Versuchsplätze verkabelt, weil wir einen großen Widerstand (10 Ohm statt 2,5 Ohm) haben wollten, um die Stromstärke zu verringern. Dies mussten wir tun, da die Spannungsquelle nur bis zu einer bestimmten Stromstärke betrieben werden darf.

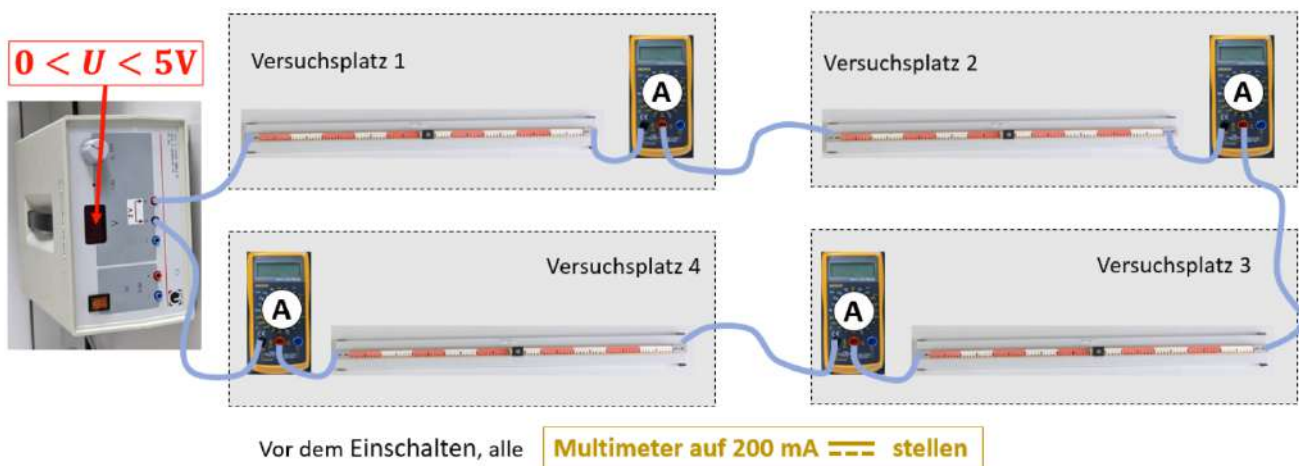


Abb.1: Versuchsaufbau für Strom- und Spannungsfehlerschaltung

1.1. IV-Untersuchungen mit der spannungsrichtigen Stromfehlerschaltung

Erweitern Sie ihren Messplatz durch eine Spannungsmessgerät (Multimeter im Range 2V Gleichstrom), sodass sich die spannungsrichtige Stromfehlerschaltung ergibt.

Nehmen Sie für 10 Gesamtspannungen im Bereich $0,5\text{V} \lesssim V_{\text{ges}} \lesssim 5,0\text{V}$ die IV-Wertepaare Ihres Messplatzes auf.

Tab.1: IV-Messergebnisse der Stromfehlerschaltung

$U(\text{V})$	$I(\text{mA})$
0,034	13,4
0,066	25,8
0,112	44,0
0,149	58,2
0,205	80,4
0,248	97,3
0,297	116,4
0,369	144,6
0,407	159,3
0,461	180,6

1.2. IV-Untersuchungen mit der stromrichtigen Spannungsfehlerfehlerschaltung

Verändern Sie ihren Messplatz dahingehend, dass Sie stromrichtige Spannungsfehlerfehlerschaltung erhalten.

Das Spannungsmessgerät ist wiederum das Multimeter im Range 2V Gleichstrom.

Nehmen Sie für 10 Gesamtspannungen im Bereich $0,5\text{V} \lesssim V_{\text{ges}} \lesssim 5,0\text{V}$ die IV-Wertepaare Ihres Messplatzes auf.

Tab.2: IV-Messergebnisse der Spannungsfehlerfehlerschaltung

$U(\text{V})$	$I(\text{mA})$
0,100	11,8
0,301	35,2
0,515	60,2
0,631	73,7

0,813	94,5
0,961	111,3
1,079	124,6
1,242	142,5
1,385	158,2
1,585	179,6

2. Rohdaten der Wheatstone'schen Brücke (WB)

Bei der Wheatstone'schen Brücke (WB) werden die Messergebnisse am genauesten, wenn das Potentiometer im mittleren Bereich betrieben wird.

Um eine Größenordnung der zu erwartenden Widerstandswerte zu erhalten, wird zunächst in einer "Vormessung der Widerstände" deren Größen-(Ordnung) bestimmt.

2.1 Vormessung der Widerstände mittels Multimeter

Mit dem Multimeter werden die Widerstände R_1^{Multi} , R_2^{Multi} , R_3^{Multi} , sowie der Wert $R_{\text{Reihe}}^{\text{Multi}}$ (wenn alle drei Widerstände in Reihe geschaltet sind) und $R_{\text{Parallel}}^{\text{Multi}}$ (wenn alle drei Widerstände parallelgeschaltet sind) bestimmt.



Abb.2: Abbildung der zu ermittelten Widerstände R_1 , R_2 und R_3

Tab.3: Messergebnisse der mittels Multimeter gemessenen Widerstände (in Ohm)

R_1^{Multi}	8,2
R_2^{Multi}	46,8
R_3^{Multi}	81,9
$R_{\text{Reihe}}^{\text{Multi}}$	137,1
$R_{\text{Parallel}}^{\text{Multi}}$	6,9

Unsicherheit der Messergebnisse $u_R = 1.2\% \cdot R + 0.5\Omega$ (Geräteangaben).

Diese Ergebnisse dienen als Orientierung für die zu wählenden Normalwiderstände R_N bei den folgenden WB-Untersuchungen

2.2 Bestimmung der der Widerstände mittels Wheatstone'scher Brücke

Im Folgenden wird die Wheatstone'scher Brückenschaltung (WB) aufgebaut

(Die zuvor in Teilaufgabe 1 verwendete variable Spannungsquelle bitte unbedingt auf 2V zurückdrehen.)

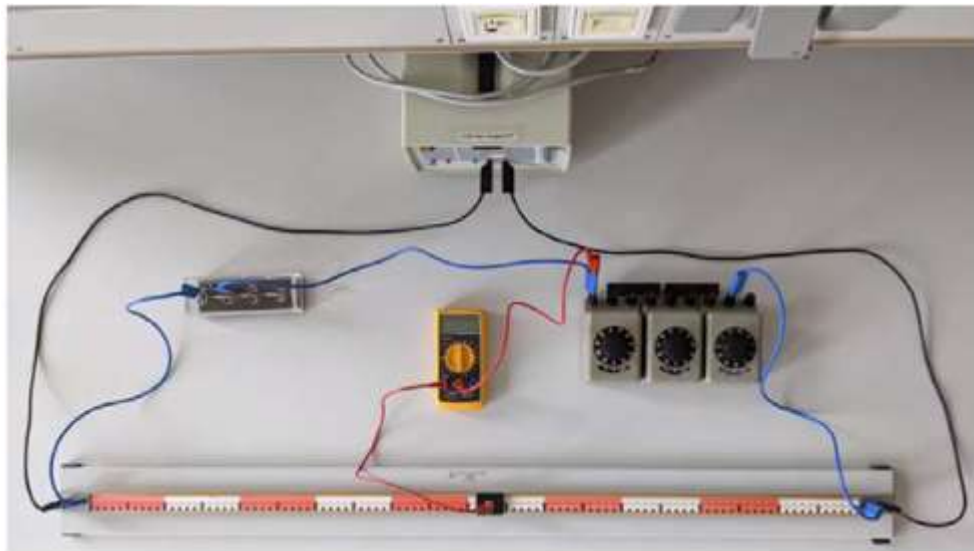


Abb.3: Versuchsaufbau Wheatstone'sche Brücke

Der Nickeldraht wird hierbei als Potentiometer verwendet.

Beim Abgleich der Wheatstone'scher (WB) wird das Multimeter im kleinsten Spannungsrange betrieben, um die Unsicherheit für die ermittelten Längen am Potentiometer sowie Widerstände möglichst gering zu halten. Dies gelingt, da mit einer möglichst kleinen Spannungsrange die 0V am genauesten ermittelt werden können.

Mittels der WB-Schaltung werden nun nacheinander die Widerstände R_1^{WB} , R_2^{WB} , R_3^{WB} , sowie der Wert R_{Reihe}^{WB} (wenn alle drei Widerstände in Reihe geschaltet sind) und $R_{Parallel}^{WB}$ (wenn alle drei Widerstände parallelgeschaltet sind) bestimmt.

Hierbei wird jeder Widerstand mit sechs unterschiedlichen Normalwiderständen R_N untersucht, wobei $0,85R_x^{Multi} \lesssim R_N \lesssim 1,15R_x^{Multi}$ sein sollte.

Die Gesamtlänge des Nickeldrahtes beträgt $\ell_{ges} = (100 \pm 0,2)\text{cm}$ und die Unsicherheit der Länge ℓ_1 wird mit $u_{\ell_1} = 1\text{mm}$ abgeschätzt.

Tab.4: Messergebnisse der Untersuchung von R_1^{WB} mittels der WB-Schaltung

$R_N(\Omega)$	$l_1(\text{cm})$
---------------	------------------

1	8	50,5
2	5	62,0
3	6	57,6
4	7	53,8
5	9	47,5
6	10	44,9

Tab.5: Messergebnisse der Untersuchung von R_2^{WB} mittels der WB-Schaltung

	$R_N(\Omega)$	$l_1(\text{cm})$
1	46	50,4
2	39	54,5
3	41	53,2
4	44	51,5
5	50	48,3
6	53	46,9

Tab.6: Messergebnisse der Untersuchung von R_3^{WB} mittels der WB-Schaltung

	$R_N(\Omega)$	$l_1(\text{cm})$
1	82	49,8
2	70	53,8
3	76	51,7
4	79	50,8
5	88	48,1
6	94	46,4

Tab.7: Messergebnisse der Untersuchung der Reihenschaltung der drei Widerstände $R_{\text{Reihe}}^{\text{WB}}$ mittels der WB-Schaltung

	$R_N(\Omega)$	$l_1(\text{cm})$
1	136	50,05
2	156	46,7
3	146	48,3
4	126	52,0
5	116	54,1
6	131	51,0

Tab.8: Messergebnisse der Untersuchung der Parallelschaltung der drei Widerstände $R_{\text{Parallel}}^{\text{WB}}$ mittels der WB-Schaltung

	$R_N(\Omega)$	$l_1(\text{cm})$
1	6	51,6
2	3	68,1
3	4	61,5
4	5	56,2
5	7	47,8
6	8	44,5

2.3 Des Weiteren wird nun der Widerstandswürfel mittels der WB in analoger Form untersucht.

Tab.9: Messergebnisse der Untersuchung des Widerstandes $R_{\text{Kante}}^{\text{WB}}$ entlang der Würfelkante mittels der WB-Schaltung

	$R_N(\Omega)$	$l_1(\text{cm})$
1	58	50,1
2	49	54,2
3	52	52,7
4	55	51,3
5	63	48,0
6	67	46,4

Tab.10: Messergebnisse der Untersuchung des Widerstandes $R_{\text{Flächen-Diag}}^{\text{WB}}$ entlang der Flächendiagonalen mittels der WB-Schaltung

	$R_N(\Omega)$	$l_1(\text{cm})$
1	75	49,9
2	64	53,8
3	68	52,3
4	72	50,9
5	80	48,3
6	86	46,5

Tab.11: Messergebnisse der Untersuchung des Widerstandes $R_{\text{Raum-Diag}}^{\text{WB}}$ entlang der Raumdiagonalen mittels der WB-Schaltung

	$R_N(\Omega)$	$l_1(\text{cm})$
--	---------------	------------------

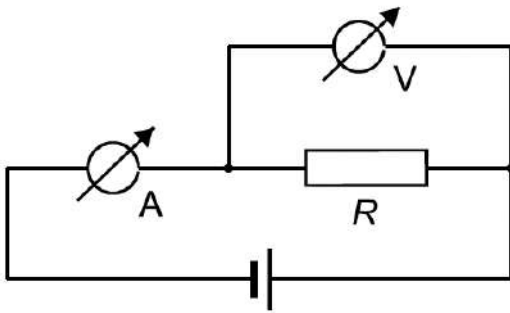
1	83	50,0
2	71	53,9
3	75	52,5
4	79	51,2
5	89	48,3
6	95	46,6

3. Theorie

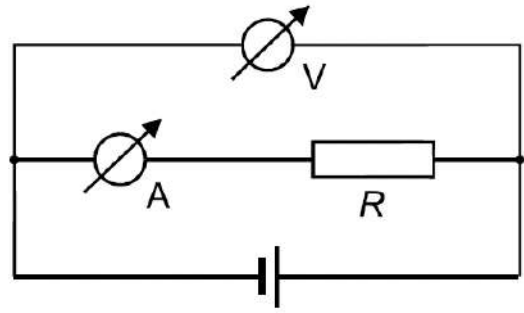
3.1. Was sind die Ziele des Versuchs?

1	Untersuchung der Auswirkung von Spannung- bzw. Stromfehlerschaltung auf die Messergebnisse
2	Ermittlung unbekannter Widerstände mittels Wheatstone'scher Brücke
3	Ermittlung des Widerstandes des Potentiometers (Nickeldrahts)

3.2. Motivation



a) spannungsrichtig



b) stromrichtig

Abb.4: Schaltung für spannungs- (a) bzw stromrichtige (b) Messung (aus Versuchsanleitung)

Die folgende Beschreibung der spannungs- und stromrichtigen Messung stammt aus der Versuchsanleitung:

"Bei der sog. „spannungsrichtigen“ Schaltung (auch Stromfehlerschaltung genannt) (Abb. [4] a)) wird die Spannung am Widerstand R korrekt gemessen; aber der Strommesser A erfasst neben dem über R fließenden Strom zusätzlich auch noch den durch den Spannungsmesser V fließenden Strom. (Dieser Strom durch das V -Meter ist zu viel in der Messung gemessen -> Stromfehlerschaltung.) Der gemessene Strom würde nur dann richtig gemessen, wenn der Spannungsmesser einen unendlich hohen Innenwiderstand hätte; was nicht der Realität entspricht.

Bei der sog. „stromrichtigen“ Schaltung (auch Spannungsfehlerschaltung genannt) (Abb. [4] b)) wird der Strom durch den Widerstand R korrekt gemessen; aber die gemessene Spannung V setzt sich aus dem Summe des Spannungsabfalls entlang von dem Widerstand UND dem Spannungsabfall über das Ampere-Meter (mit eigenem Innenwiderstand) zusammen (Diese Teilspannung entlang des A -Meter wird zu viel in der Messung von V gemessen -> Spannungsfehlerschaltung.) Die gemessene Spannung würde nur dann richtig gemessen werden, wenn der Spannungsmesser einen unendlich hohen Innenwiderstand hätte; was nicht der Realität entspricht.

(Mit der sog. „stromrichtigen“ Schaltung könnte die Spannung nur dann richtig gemessen werden, wenn der Innenwiderstand des Strommessers $R_A = 0$ wäre; was nicht der Realität entspricht.)"

3.3. Die Wheatstone'sche Brücke

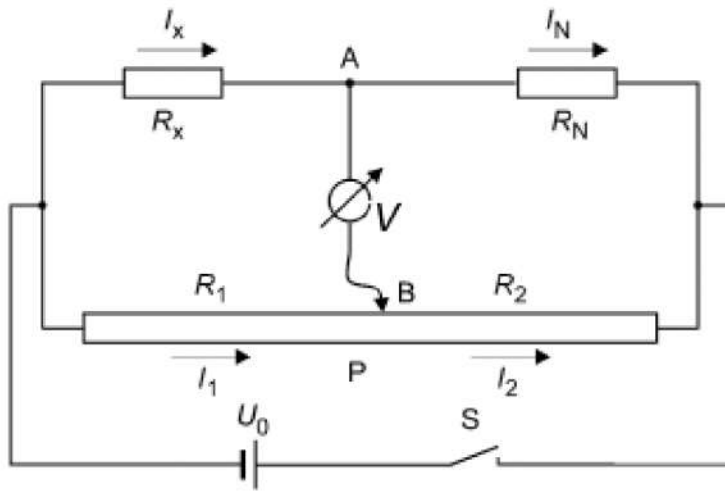


Abb.5: Schaltung für die Wheatstone'sche Brücke (aus Versuchsanleitung)

Die in 3.2. beschriebenen erschwerenden Umständen zur Bestimmung von Spannung und Stromstärke werden bei der Wheatstoneschen Brücke umgangen, weshalb sie gut für präzise Messungen von Widerständen geeignet ist.

"Sie besteht aus einem unbekannten Widerstand R_x , einem sehr genau bekannten Normalwiderstand R_N , einem Potentiometer P , einem empfindlichen Anzeigeelement V , einer Spannungsquelle U_0 und einem Schalter S . Der Widerstand des Potentiometers wird durch einen verstellbaren Schleifkontakt in die Teilwiderstände R_1 und R_2 geteilt. Zur Messung wird das Potentiometer so eingestellt, dass das Anzeigegerät bei geschlossenem Schalter keinen Ausschlag zeigt, d.h. zwischen den Punkten A und B keine Potentialdifferenz besteht und damit keine Spannung abfällt. In Folge dessen fließt auch kein Strom entlang der Verbindung AB." (aus Versuchsanleitung)

In diesem Fall (dem sogenannten Brückengleichgewicht) liefern die Kirchhoffschen Gesetze den Zusammenhang $R_x = R_N \cdot \frac{R_1}{R_2}$. Somit wird nur R_N sowie das Verhältnis von R_1/R_2 benötigt, um R_x zu bestimmen.

"Das Potentiometer besteht aus einem homogenen Nickeldraht der Länge ℓ_{ges} mit einem verschiebbaren Schleifkontakt, welcher den Draht in zwei Abschnitte mit den Teillängen ℓ_1 und $\ell_2 = \ell_{ges} - \ell_1$ unterteilt. Dadurch wird das Widerstandsverhältnis R_1/R_2 durch ein Längenverhältnis ausgedrückt und aus der Gleichung für die Wheatstonesche Brücke [...] folgt

$$R_x = R_N \cdot \frac{\ell_1}{\ell_{ges} - \ell_1} \text{ (aus Versuchsanleitung)}$$

4. Auswertung

4.1. Strom-Spannungscharakteristik der spannungsrichtigen Stromfehlerschaltung und der stromrichtigen

Spannungsfehlerfehlerschaltung

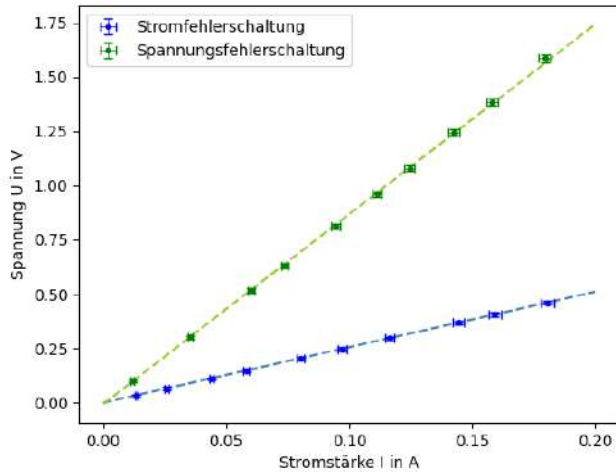


Abb.6: Messergebnisse von Tabelle 1 und 2 mit linearem Fit (gestrichelte Linie)

Die Unsicherheiten für die Messergebnisse aus Tabelle 1 und 2 wurden wie folgt mit den Geräteangaben (Range 2V und 200mA) berechnet:

$$u_U = 0.8\% \cdot U + 0.005V$$
$$u_I = 1.2\% \cdot I + 0.0005A$$

Aus den Fitergebnissen der Steigungen mit Unsicherheit

$$A_{\text{Stromfehlerschaltung}} = (2.55 \pm 0.05)\Omega$$

$$A_{\text{Spannungsfehlerschaltung}} = (8.74 \pm 0.10)\Omega$$

ergibt sich mittels $U = A \cdot I$ also $A = \frac{U}{I} = R$ (mit Ohm'schem Gesetz)

der Widerstand des Nickeldrahts

$$R_{\text{Stromfehlerschaltung}} = (2.55 \pm 0.05)\Omega \text{ und}$$

$$R_{\text{Spannungsfehlerschaltung}} = (8.74 \pm 0.10)\Omega.$$

Man kann in den Tabellen 1 und 2 sehen, dass die Stromstärke I nicht davon beeinflusst wurde, ob mit Strom- oder Spannungsfehlerschaltung gemessen wurde. Dies liegt an dem hohen Innenwiderstand des Voltmeters verglichen mit dem Widerstand des Nickeldrahtes. Da somit bei der Stromfehlerspannung der Fehler in der Strommessung gering ist und die Spannung richtig gemessen wird, ist dieser Wert sehr zuverlässig. Im Gegensatz dazu verbessert die Spannungsfehlerschaltung die Werte der Stromstärke nur geringfügig und skaliert die Werte für die Spannung mit einem Faktor größer 3, wodurch das Ergebnis sehr anzuzweifeln ist.

4.2. Bestimmung der Widerstände mittels der WB-Messergebnisse

Mittels $R_x = R_N \cdot \frac{\ell_1}{\ell_2}$ ergeben sich für jeden untersuchten Widerstand (bzw. Widerstandskombination) sechs Messergebnisse mit Unsicherheit (nach Gauß'scher Fehlerfortpflanzung):

$$u_{R_x} = \sqrt{\left(\frac{\ell_1}{\ell_2} \cdot u_{R_N}\right)^2 + \left(R_N \cdot \frac{\ell_1}{\ell_2^2} \cdot u_{\ell_2}\right)^2 + \left(\frac{R_N}{\ell_2} \cdot u_{\ell_1}\right)^2},$$

wobei gilt:

$$\ell_{ges} = 100cm$$

$$u_{\ell_{ges}} = 0.2cm$$

$$u_{\ell_1} = 1mm$$

$$\ell_2 = \ell_{ges} - \ell_1$$

$$u_{\ell_2} = \sqrt{\ell_{ges}^2 + \ell_1^2}$$

$$u_{R_N} = ((R_N \bmod 10) \cdot 0.005) + \left(\left\lfloor \frac{R_N}{10} \right\rfloor \bmod 10\right) \cdot 0.001 + \left(\left\lfloor \frac{R_N}{100} \right\rfloor \bmod 10\right) \cdot 0.001$$

Aus diesen sechs Messergebnissen wird der jeweilige gewichteten Mittelwert $\bar{y} = \frac{\sum \frac{y_i}{u_{y_i}^2}}{\sum \frac{1}{u_{y_i}^2}}$ mit Unsicherheit

$$u_{\bar{y}} = \frac{1}{\sqrt{\sum \frac{1}{u_{y_i}^2}}} \text{ (siehe Versuchsanleitung) bestimmt.}$$

4.2.1 Bestimmung der einzelnen Widerstände mittels der WB-Messergebnisse

Aus den in Tab. 4 dargestellten Messergebnissen ergibt sich:

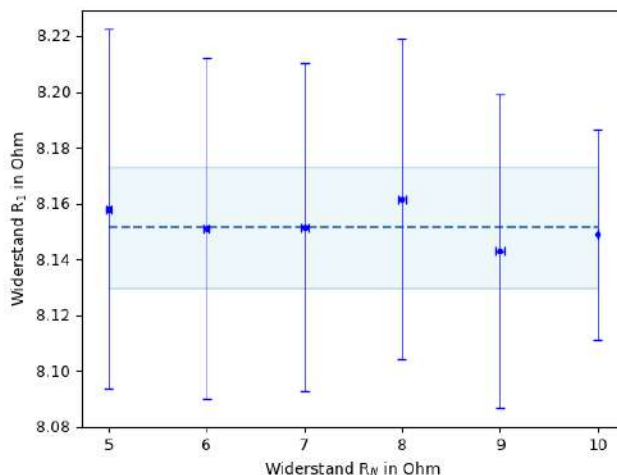


Abb. 7: Messergebnisse von Tabelle 4 (Errorbars) mit gewichtetem Mittelwert (gestrichelte Linie) und dessen Unsicherheit (markierter Bereich)

Für den Widerstand R_1 ergibt sich ein gewichteten Mittelwert von $\bar{R}_1^{WB} = (8.151 \pm 0.022)\Omega$.

In analoger Weise ergibt sich aus den in Tab 5 und 6 dargestellten Messergebnissen

$$\bar{R}_2^{WB} = (47.7 \pm 0.10)\Omega$$

$$\bar{R}_3^{WB} = (81.45 \pm 0.17)\Omega$$

4.2.2 Prognose der Reihen- und Parallelschaltung der drei Widerstände

Aus den soeben bestimmten Widerständen \bar{R}_1^{WB} , \bar{R}_2^{WB} und \bar{R}_3^{WB} kann mittels

$$R_{\text{Reihe}}^{\text{prog}} = \sum_{i=1}^3 R_i = (137.30 \pm 0.20)\Omega$$

$$R_{\text{Parallel}}^{\text{prog}} = \frac{1}{\sum_{i=1}^3 1/R_i} = (6.413 \pm 0.014)\Omega$$

eine Prognose für die Reihen- und Parallelschaltung der drei Widerstände gegeben werden (Unsicherheiten mittels Gauß'scher Fehlerfortpflanzung).

4.2.3 Bestimmung des Widerstands der Reihen und Parallelschaltung mittels der WB-Messergebnisse

Analog zu dem Vorgehen in Kap. 4.2.1 ergibt sich aus den in Tab. 7 und 8 dargestellten Messergebnissen aus den WB-Untersuchungen der Reihen- bzw. Parallelschaltung der drei Widerstände:

$$\bar{R}_{\text{Reihe}}^{\text{WB}} = (136.48 \pm 0.28)\Omega$$

$$\bar{R}_{\text{Parallel}}^{\text{WB}} = (6.406 \pm 0.020)\Omega$$

Die Prognose für die Parallelschaltung trifft zu mit relativ zu den Unsicherheitsbereichgrößen großen Überschneidungen. Für die Prognose der Reihenschaltung gibt es eine Abweichung von in etwa 0.4 Ohm, was jedoch relativ zur Größenordnung des Ergebnisses mit $\sim 10^2$ ein sehr kleiner Wert ist, welcher durch zum Beispiel die Vernachlässigung aller elektrischer Widerstände von Kabeln in der Schaltung mit Ausnahme des Nickeldrahtes begründet werden kann. Aus diesem Grund würde ich beide Prognosen mit Ergebnis als zuverlässig ansehen.

4.3. Bestimmung der Widerstände des Widerstandwürfels

Analog zu dem Vorgehen in Kap. 4.2.1 ergibt sich aus den in Tab. 9 bis 11 dargestellten Messergebnissen aus den WB-Untersuchungen des Widerstandwürfels:

$$\bar{R}_{\text{Kante}}^{\text{WB}} = (58.04 \pm 0.12)\Omega$$

$$\bar{R}_{\text{Flächen-Diag}}^{\text{WB}} = (74.66 \pm 0.16)\Omega$$

$$\bar{R}_{\text{Raum-Diag}}^{\text{WB}} = (82.97 \pm 0.17)\Omega$$

Unter der Annahme, dass der Würfel aus 12 gleich großen Widerständen besteht, kann aus diesen Messergebnissen mittels $R_{\text{K}} = 12/7 \cdot \bar{R}_{\text{Kante}}^{\text{WB}}$, $R_{\text{F}} = 4/3 \cdot \bar{R}_{\text{Flächen-Diag}}^{\text{WB}}$ und $R_{\text{R}} = 6/5 \cdot \bar{R}_{\text{Raum-Diag}}^{\text{WB}}$ jeweils der Wert R eines jeden der 12 Widerstände, aus denen der Würfel besteht, abgeleitet werden:

Aus den Messergebnissen entlang der Würfelkante ergibt sich $R_{\text{K}} = (99.50 \pm 0.21)\Omega$.

Aus den Messergebnissen entlang der Flächendiagonalen ergibt sich $R_F = (99.55 \pm 0.22)\Omega$.

Aus den Messergebnissen entlang der Flächendiagonalen ergibt sich $R_R = (99.56 \pm 0.21)\Omega$.

Alle drei Ergebnisse haben paarweise Überschneidungen ihrer Unsicherheitsbereich, weshalb diese als in sich konsistent und zuverlässig angesehen werden können. Um die Richtigkeit zu überprüfen, hätte man als Referenzwert mit dem Multimeter die Widerstände messen können, wobei dies ja die Ergebnisse und die Motivation dieses Versuches obsolet machen würde.

5. Fazit

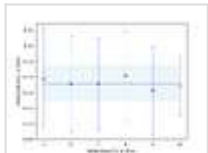
Es wurde mit Hilfe von Strom- und Spannungsfehlerschaltung der Widerstand des Nickeldrahtes (Potentiometers) bestimmt und basierend auf der Größenordnung des Wertes eine Diskussion der Glaubwürdigkeit geführt und die Stromfehlerschaltung als zuverlässiger eingestuft. Es wurden unbekannte Widerstände mittels der Wheatstonschen Brückenschaltung ermittelt und erfolgreich zuverlässige Prognosen für Reihen- und Parallelschaltung dieser aufgestellt und überprüft. Zu guter Letzt wurden erfolgreich die einzelnen Widerstände eines Würfels mit Widerständen auf den Kanten über unterschiedliche Messungen von zwei Ecken ermittelt.

Diese Versuchsreihen haben aufgezeigt wie man mit der Wheatstoneschen Brückenschaltung sehr präzise unbekannte Widerstände messen kann sowie die Gefahren einer Fehlmessung mit Strom- bzw. Spannungsfehlerschaltung. Bei zukünftigen Versuchen kann dieses Wissen für genauere/zuverlässigere Ergebnisse genutzt werden.

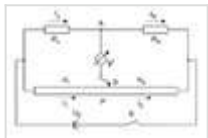
Attached files

20230612173019-timestamped.zip (Timestamp archive by Samuel Brinkmann)
sha256: 1fe7a11c84cc5ea592849b86fcf2163de78df4a9f11bce3a66e174d80a4f2cd0

unknown.png
sha256: 9b8fde2caf115450674f5cd0e483556682a4fef15014e0d2dfe5c4caf2b8bc2b



unknown.png
sha256: dde65e59a93eb5810be26d7a2593a2201096009cd60bae582a8b0686261a9cff



20230618184450-timestamped.zip (Timestamp archive by Samuel Brinkmann)
sha256: b69b9145ae9e01528f9121da73da192b09a0780432d27212f52e4ed10067b3cb



Unique eLabID: 20230611-501ee7a789933149f27d300621bfec2081e879df
Link: <https://elabftw.physik.hu-berlin.de/experiments.php?mode=view&id=1712>

Changelog