

VIERTES PROTOKOLL: OHMSCHE WIDERSTÄNDE

NENG TANG, ALLAN A. ZEA, AND ANDREI ZHARSKI

ZUSAMMENFASSUNG. In diesem Protokoll beschreiben wir die Durchführung des Versuchs „Ohmsche Widerstände“, der am 10. 03. 2020 im Physik-Praktikum vom Studienkolleg der Technischen Universität Berlin stattfand. Mithilfe der graphischen Auswertung des Experiments bestimmen wir den Wert eines Widerstands bei der gleichzeitigen Messung von Spannung und Stromstärke in einem einfachen Stromkreis.

1. BESCHREIBUNG UND DURCHFÜHRUNG

Für die gleichzeitige Messung von Spannung U und Stromstärke I mit einem Voltmeter und einem Amperemeter sind zwei Anordnungen der Messgeräte in der Schaltung möglich: die spannungsrichtige Messschaltung (Abb. 1a) und die stromrichtige Messschaltung (Abb. 1b). Jedes Messgerät hat einen entsprechenden Innenwiderstand. Um die Messfehler so klein wie möglich zu halten, sollte der Innenwiderstand $R_{i,V}$ des Voltmeters möglichst groß und der Innenwiderstand $R_{i,A}$ des Amperemeters möglichst klein sein.

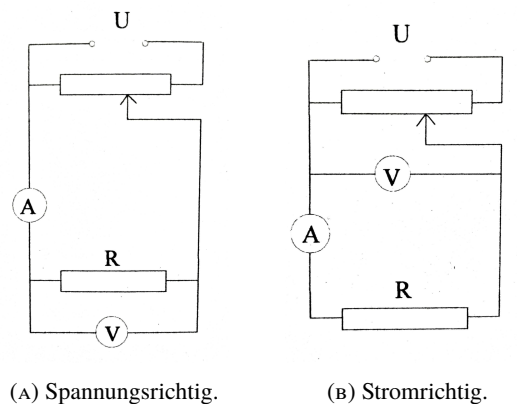


ABBILDUNG 1. Zwei Schaltungen zur gleichzeitigen Messung von U und I .

Bei der spannungsrichtigen Messschaltung wird der Strom durch die Parallelschaltung von R und $R_{i,V}$ bestimmt. In der stromrichtigen Messschaltung wird die Gesamtspannung der Reihenschaltung von R und $R_{i,A}$ bestimmt. Sind die Innenwiderstände der Messgeräte bekannt, kann durch Korrektur der Messergebnisse der gesuchte Wert des Widerstandes R ermittelt werden unter Berücksichtigung aller Ungenauigkeiten. Wir unterteilen diese Arbeit in zwei Hauptversuche, beschrieben in Abschnitten 1.1 und 1.2.

Date: 10. 03. 2020.

[Studienkolleg Kurs 348T Gruppe B].

1.1. Durchführung des ersten Versuches. Für das erste Experiment wurde zunächst die Schaltung nach Abb. 1a aufgebaut. Mit einem Potenziometer wurden 10 Spannungswerte im Bereich 1 V bis 10 V eingestellt; diese waren während des Versuchs ungefähr gleichmäßig verteilt. Anschließend wurde die Schaltung nach Abb. 1b aufgebaut und die Messung wie bei der vorherigen Schaltung wiederholt. Der Widerstandswert in unserem Versuch war nach Herstellerangabe $R = (5 \pm 5\%) \text{ M}\Omega$. Die geschätzten Fehler für die Spannungs- und Strommesswerte waren jeweils $\Delta U = 0,01 \text{ V}$ und $\Delta I = 0,1 \mu\text{A}$.

Alle Messungen von U und I wurden im Labor dokumentiert und in die vorgegebenen Tabellen eingetragen. Die gesammelten Daten sind in den Tabellen 1 (spannungsrichtige Schaltung) und 2 (stromrichtige Schaltung) zusammengefasst.

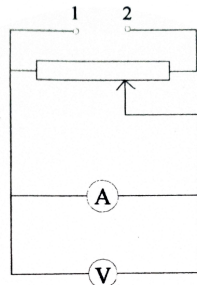
TABELLE 1. Messwerte in spannungsrichtiger Messschaltung.

U / V	0	1,06	2,04	3,02	4,48	5,19	6,22	7,11	8,05	9,07	10,12
$I / \mu\text{A}$	0	0,3	0,6	0,9	1,4	1,6	1,8	2,1	2,4	2,7	3,0

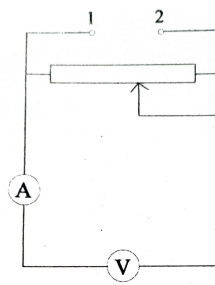
TABELLE 2. Messwerte in stromrichtiger Messschaltung.

U / V	0	1,00	2,03	3,08	4,15	5,00	6,01	7,18	8,17	9,01	10,12
$I / \mu\text{A}$	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0

1.2. Durchführung des zweiten Versuches. Für das zweite Experiment wurde zuerst die Schaltung nach Abb. 2a aufgebaut und 11 Spannungswerte im Bereich 5 V bis 10 V mit dem Potenziometer eingestellt, ebenfalls gleichmäßig im Intervall verteilt. Danach wurde die Schaltung nach Abb. 2b umgebaut und auf ähnliche Weise 10 Wertepaare mit Stromwerten aus dem Bereich $100 \mu\text{A}$ bis $4000 \mu\text{A}$ bestimmt. Alle Messwerte, sowie eine Berechnung des Innenwiderstands $R_i = U/I$ für jedes Gerät, findet man in den Tabellen 3 und 4. Das benutzte Messgerät für die Spannungsmessungen hatte die Inventar-Nr. Ph57 (Messbereich V=), und das Messgerät für die Strommessungen die Inventar-Nr. Ph61 (Messbereich μA).



(A) Für das Voltmeter.



(B) Für das Amperemeter.

ABBILDUNG 2. Schaltungen zur Bestimmung der Innenwiderstände der Messgeräte in den benutzten Messbereichen.

TABELLE 3. Messwerte zum Innenwiderstand des Voltmeters.

U / V	5,15	5,55	6,22	6,58	7,14	7,59	8,19	8,68	9,07	9,52	10,07
$I / \mu\text{A}$	0,6	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0
$R_{i,V} / \text{M}\Omega$	8,58	9,25	8,86	9,40	8,93	9,49	9,20	9,64	9,07	9,52	9,15

TABELLE 4. Messwerte zum Innenwiderstand des Amperemeters.

U / V	0,026	0,043	0,060	0,179	0,215	0,262	0,283	0,327	0,384	0,401
$I / \mu\text{A}$	266	412	606	1767	2125	2583	2794	3225	3795	3956
$R_{i,A} / \Omega$	97,74	104,37	99,01	101,30	101,18	101,43	101,29	101,40	101,19	101,37

1.3. **Beobachtungen.** Am Anfang des Versuches kam es zu Schwierigkeiten bei der Messung der Spannungs- und Stromwerte, denn es gab eine schlechte Kontaktstelle im verwendeten Potenziometer. Dieses Problem ließ sich aber schnell durch eine mechanische Erschütterung des Geräts korrigieren.

2. AUSWERTUNG

2.1. **Graphische Auswertung.** Mit den gesammelten Daten des vorherigen Abschnittes können wir jetzt die Kennlinie des Ohmschen Widerstands in spannungsrichtiger und stromrichtiger Messschaltung zeichnen und die gesuchten Größen bestimmen.

2.1.1. *Bestimmung von R_{ges} .* Die Messwerte von Tabellen 1 und 2 mit Fehlerrechtecken wurden in zwei getrennte Zeichnungen auf Millimeterpapier eingezeichnet. Hierbei ist I als Funktion von U dargestellt. Nach dem Ohmschen Gesetz ist die Kennlinie eine Gerade mit der Steigung $1/R_{\text{ges}}$, die durch den Ursprung geht. Es gilt also:

$$(1) \quad I = \frac{1}{R_{\text{ges}}} \cdot U.$$

Gleichung (1) ermöglicht die Bestimmung des Gesamtwiderstands R_{ges} mit Maximalfehler aus Ausgleichgerade und Grenzgeraden in jeder der beiden Zeichnungen, die sich am Ende dieses Dokuments befinden.

Aus der Ausgleichgerade der ersten Zeichnung ergibt sich einerseits der Gesamtwiderstand $R_{\text{ges}}^{(1)} = 6,0 \text{ V} / 1,78 \mu\text{A} = 3,37 \text{ M}\Omega$. Der Maximal- bzw. Minimalwert von $R_{\text{ges}}^{(1)}$ ergibt sich andererseits aus oberer und unterer Grenzgeraden:

$$R_{\text{ges}_{\text{max}}}^{(1)} = \frac{6,0 \text{ V}}{1,7 \mu\text{A}} = 3,53 \text{ M}\Omega \quad ; \quad R_{\text{ges}_{\text{min}}}^{(1)} = \frac{6,0 \text{ V}}{1,84 \mu\text{A}} = 3,26 \text{ M}\Omega.$$

Es gilt dann für den Maximalfehler, dass $\Delta R_{\text{ges}}^{(1)} = \frac{1}{2} (R_{\text{ges}_{\text{max}}}^{(1)} - R_{\text{ges}_{\text{min}}}^{(1)}) = 0,14 \text{ M}\Omega$ und somit $R_{\text{ges}}^{(1)} \pm \Delta R_{\text{ges}}^{(1)} = (3,37 \pm 0,14) \text{ M}\Omega$.

Aus der zweiten Zeichnung bekommt man den Gesamtwiderstand $R_{\text{ges}}^{(2)} = 5,08 \text{ M}\Omega$ mit dem Fehler $\Delta R_{\text{ges}}^{(2)} = 0,26 \text{ M}\Omega$ und Maximal- bzw. Minimalwerten $R_{\text{ges}_{\text{max}}}^{(2)} = 5,33 \text{ M}\Omega$ und $R_{\text{ges}_{\text{min}}}^{(2)} = 4,8 \text{ M}\Omega$. Man sieht also, $R_{\text{ges}}^{(2)} \pm \Delta R_{\text{ges}}^{(2)} = (5,08 \pm 0,26) \text{ M}\Omega$.

2.1.2. *Berechnung der Innenwiderstände der Messgeräte.* Mithilfe von Tabellen 3 und 4 sind wir nun in der Lage, den Mittelwert mit Standardabweichung und Fehler des Mittelwertes der Innenwiderstände unserer Messgeräte zu bestimmen. Unsere Ergebnisse befinden sich in der Tabelle 5. Die erste und die zweite Zeile dieser Tabelle zeigen relevante Werte zum Innenwiderstand des Voltmeters bzw. Amperemeters. Da die entsprechenden Fehler so klein waren, wurde eine zusätzliche Spalte für die prozentualen Fehler hinzugefügt.

TABELLE 5. Innenwiderstände der Messgeräte

	$\overline{R_i}$	σ_{N-1}	$\Delta \overline{R_i}$	$(\Delta \overline{R_i} / \overline{R_i}) * 100\%$
Voltmeter	9,18 M Ω	0,32 M Ω	0,096 M Ω	1%
Amperemeter	101,03 Ω	1,72 Ω	0,54 Ω	0,53%

2.1.3. *Berechnung des verwendeten Widerstandes R .* Aus den Gesamtwiderständen aus Abschnitt 2.1.1 und den Innenwiderständen aus Abschnitt 2.1.2 können zwei Ergebnisse für den verwendeten Widerstand R ermittelt werden. Wir wissen, dass bei der spannungsrichtigen Messschaltung der Gesamtwiderstand R_{ges} als eine Parallelschaltung von R und $R_{i,V}$ betrachtet werden kann, das heißt:

$$(2) \quad \frac{1}{R_{\text{ges}}} = \frac{1}{R} + \frac{1}{R_{i,V}}.$$

Bei der stromrichtigen Messschaltung gilt dagegen

$$(3) \quad R_{\text{ges}} = R + R_{i,A}.$$

In der unteren Tabelle findet man die Berechnungen des verwendeten Widerstands R bei der spannungsrichtigen und stromrichtigen Schaltung nach Gleichungen (2) und (3).

TABELLE 6. Berechnungen des verwendeten Widerstands R .

	$R / \text{M}\Omega$	$R_{\text{max}} / \text{M}\Omega$	$R_{\text{min}} / \text{M}\Omega$	$\Delta R / \text{M}\Omega$
Voltmeter	5,32	5,72	4,85	0,44
Amperemeter	5,08	5,34	4,82	0,26

3. AUSBLICK

Unsere Schätzung des verwendeten Widerstands R für die spannungsrichtige Schaltung $((5,32 \pm 0,44) \text{ M}\Omega)$ und die stromrichtige Schaltung $((5,08 \pm 0,26) \text{ M}\Omega)$ entspricht der Angabe des Herstellers $((5 \pm 5\%) \text{ M}\Omega)$. An diesen Zahlen erkennt man, dass die Fehlerintervalle überlappen und die Herstellerangabe ganz zuverlässig ist.

TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN, STRASSE DES 17. JUNI 135, 10623 BERLIN, DEUTSCHLAND
Email address: tang_neng@campus.tu-berlin.de

TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN, STRASSE DES 17. JUNI 135, 10623 BERLIN, DEUTSCHLAND
Email address: zealobo@campus.tu-berlin.de

TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN, STRASSE DES 17. JUNI 135, 10623 BERLIN, DEUTSCHLAND
Email address: andrei.zharski@gmail.com