PROTOKOLL ZUM ANFÄNGERPRAKTIKUM PHYSIK

Messung ohmscher Widerstände und Innenwiderstände von Spannungsquellen

Sebastian Wilken

Versuchsdurchführung:
16. November 2005

0. Inhalt

1. Einleitung

Der erste Teil dieses Versuchs soll einen Einblick in die Messung ohmscher Widerstände geben und den Einfluss von Messungenauigkeiten und -fehlern bei verschiedenen Messmethoden verdeutlichen. Im zweiten Teil werden verschiedene reale Spannungsquellen auf ihre Innenwiderstände untersucht.

Zur Einführung wollen wir uns an dieser Stelle kurz die Grundlagen des elektrischen Widerstands vor Augen führen:

Unter einem Widerstand versteht man in der Elektrotechnik ein Bauteil, welches den durch eine Spannung hervorgerufenen Stromfluss hemmt. Als Widerstand *R* bezeichnet man die entsprechende physikalische Größe. Die SI-Einheit für den elektrischen Widerstand ist Ohm [1 Ω]. Benannt wurde die Einheit nach dem deutschen Physiker Georg Simon Ohm (*1789, †1854), der sich zu Beginn des 19. Jahrhunderts erstmals mit der elektrischen Leitfähigkeit von Metallen beschäftigte und dabei das ebenfalls nach ihm benannte Ohmsche Gesetz formulierte:

$$R = \frac{U}{I} \; ; \; R = Widerstand \; ; \; U = Spannung \; ; \; I = Stromstärke$$

2. Theoretischer Teil

2.1. Kirchhoffsche Gesetze

Der deutsche Physiker Gustav Robert Kirchhoff (*1824, †1887) formulierte zwei wichtige Gesetze, die den Zusammenhang von Stromstärke und Spannung in elektrischen Netzwerken beschreiben:

1. Kirchhoffsches Gesetz: Knotenregel

Die Summe aller Ströme in einem Knotenpunkt ist Null.

Unter der Prämisse, dass man zu- und abfließende Ströme mit einem gegensätzlichen Vorzeichen versieht, lässt sich die Knotenregel wie folgt mathematisieren:

$$\sum_{i=0}^{n} I_i = 0\,;\; n = \textit{Anzahl der Ströme.}$$

Beispiel für die Knotenregel:

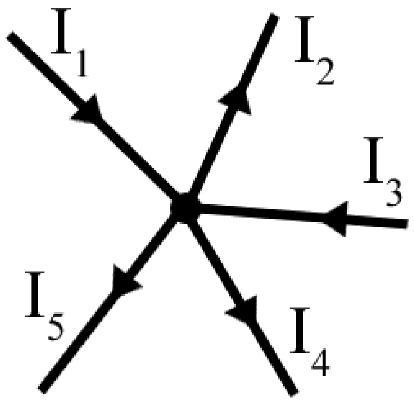


Abb. 1: Beispiel für einen Stromknoten

Gemäß des 1. Kirchhoffschen Gesetzes gilt am Knotenpunkt:

$$I_1 - I_2 + I_3 - I_4 - I_5 = 0.$$

(positives Vorzeichen für zufließende Ströme, negatives Vorzeichen für abfließende Ströme)

2. Kirchhoffsches Gesetz: Maschenregel

In einer geschlossenen Masche eines Netzwerkes ist die Summer der Teilspannungen gleich Null.

In mathematisierter Form lässt sich die Maschenregel wie folgt ausdrücken:

$$\sum_{i=0}^{n} U_n = 0\,;\; n = \textit{Anzahl der Teilspannungen.}$$

Für die Anwendung der Maschnregel wird eine Vorzeichenkonvention benötigt. Dabei wird jeder Spannung im Netzwerk eine Richtung zugeordnet, die vom positiven zum negativen Spannungspol zeigt. Für die Ströme gilt ebenfalls die Richtung vom positiven zum negativen Pol. Zudem muss ein fester Umlaufsinn festgelegt werden. Spannungen, deren Richtungen in Richtung des Umlaufsinns zeigen, werden positiv; die umgekehrt gerichteten Spannungen werden analog dazu negativ.

Beispiel für die Maschenregel:

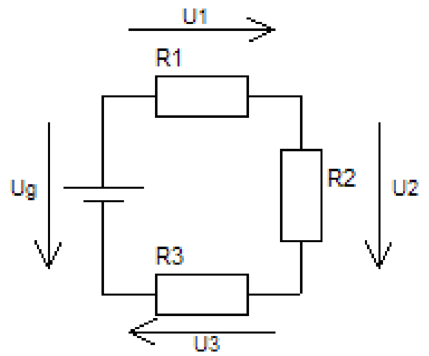


Abb. 2: Beispiel für eine Masche

Gemäß des 2. Kirchhoffschen Gesetzes gilt für die Gesamtspannung:

$$U_g - U_1 - U_2 - U_3 = 0.$$

(Umlaufsinn gegen den Uhrzeigersinn)

Mit Hilfe der Kirchhoffschen Gesetze können wir die Formeln für die Widerstände in Parallel- oder Reihenschatlungen herleiten (vgl. Frage 1):

In einer **Parallelschaltung** mit n Strömen gilt die Knotenregel:

$$I_0 - I_1 - I_2 - I_3 - \ldots - I_n = 0 \quad \Leftrightarrow \quad I_0 = I_1 + I_2 + I_3 + \ldots + I_n$$

Wir formen nun das ohmesche Gesetz nach I um und setzen in die o.a. Gleichung ein:

$$R = \frac{U}{I} \quad \Leftrightarrow \quad I = \frac{U}{R}$$

$$\frac{U_0}{R_0} = \frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2} + \frac{U_3}{R_3} + \ldots + \frac{U_n}{R_n}$$

Die Maschenregel besagt, dass an allen Widerständen die selbe Spannung anliegt. Es gilt also:

$$U_0 = U_1 = U_2 = U_3 = \ldots = U_n = konst.$$

Daher können wir die Spannungen gleich eins setzen und erhalten als Formel für die Widerstände einer Parallelschaltung:

$$\frac{1}{R_0} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \ldots + \frac{1}{R_n}$$

In einer **Reihenschaltung** gilt nach der Maschenregel:

$$U_0 - U_1 - U_2 - U_3 - \ldots - U_n = 0 \quad \Leftrightarrow \quad U_0 = U_1 + U_2 + U_3 + \ldots + U_n$$

Die Spannung U drücken wir mit Hilfe des ohmschen Gesetzes durch die Stromstärke I und den Widerstand R aus:

$$R = \frac{U}{I} \quad \Leftrightarrow \quad U = R \cdot I$$

$$R_0 \cdot I_0 = R_1 \cdot I_1 + R_2 \cdot I_2 + R_3 \cdot I_3 + \ldots + R_n \cdot I_n$$

Laut der Knotenregel sind in einer Reihenschaltung alle Teilströme gleich, da es keine Knotenpunkte gibt. Es gilt:

$$I_0 = I_1 = I_2 = I_3 = \ldots = I_n = konst.$$

Wir können nun alle Teilströme gleich eins setzen und erhalten die Formel für die Widerstände in einer Reihenschaltung:

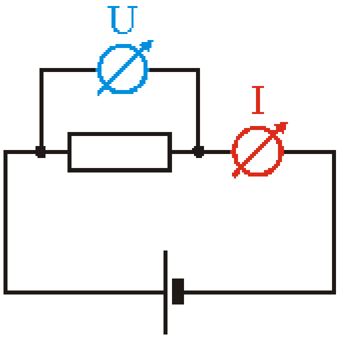
$$R_0 = R_1 + R_2 + R_3 + \ldots + R_n$$

2.2. Farbcodierung von Widerständen

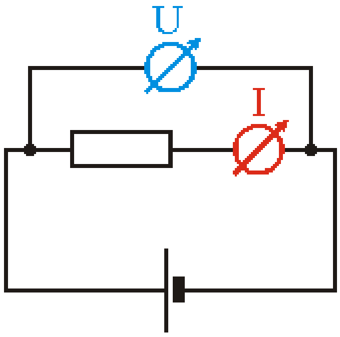
Üblicherweise wird auf Widerständen deren Wert durch verschiedenfarbige Ringe dargestellt, welche anhand einer entsprechenden Farbtabelle entschlüsselt werden können. Ein Widerstand mit der Farkodierung Rot – Violett – Braun – Gold hat zum Beispiel einen Wert von 270 Ω mit einer Toleranz von ±5%. Ein Widerstand von 3,9 kΩ mit einer Toleranz von ±10% trägt die Farbcodierung Orange – Weiß – Rot – Silber (vgl. Frage 2). Bei einigen Widerständen ist der Wert direkt aufgedruckt (zum Beispiel 5R8 für 5,8 Ω, 7k4 für 7,4 kΩ, 1M1 für 1,1 MΩ).

2.3. Bestimmung von Widerständen mit einer Strom-/Spannungsmessung

Mit Hilfe des ohmschen Gesetzes ist es möglich einen Widerstand zu bestimmen, wenn wir die Spannung und die Stromstärke in einen Stromkreis messen. Für eine derartige Messung eignen sich überlicherweise zwei Schaltungen. Dabei ist es von der Größe des zu messenden Widerstands abhängig, welche Schaltung die präziseren Ergebnisse liefert bzw. welche Schaltung mit dem kleineren relativen Fehler behaftet ist. Beide Schaltungen bestehen aus einem einfachen Stromkreis mit dem zu messenden Widerstand und einem Amperemeter in Reihe geschaltet. Dazu parallel wird ein Voltmeter geschaltet.



Schaltung A



Schaltung B

Abb. 3 u. 4: Zwei Schaltungen zur Widerstandsmessung mit Hilfe eines Amperemeters (I) und eines Voltmeters (U)

Schaltung A wird auch als **spannungsrichtige Schaltung** bezeichnet, da wir hier die tatsächliche Spannung messen, die am Widerstand anliegt. Diese wird nicht durch das Amperemeter verfälscht. Der gemessene Strom hingegen ist nicht nur der Strom, der durch den zu messenden Widerstand fließt, sondern ein Teil des am Amperemeter gemessenen Stromes fließt durch das Voltmeter und verfälscht somit das Ergebnis. Schaltung B wird analog dazu als **stromrichtige Schaltung** bezeichnet, da wir hier den Strom messen, der den Widerstand tatsächlich durchfließt. Die gemessene Spannung hingegen wird von Innenwiderstand des Amperemeters beeinflusst (vgl. Frage 3).

Der relative Fehler berechnet sich bei den beiden Schaltungen wie folgt:

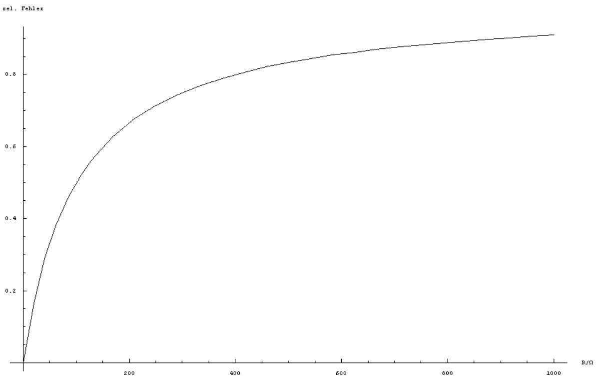
Schaltung A: $$\frac{\Delta R}{R} = \frac{R}{R + R_V}$$

Schaltung B: $$\frac{\Delta R}{R} = \left| -\frac{R_A}{R} \right|$$

Die Widerstände R_V und R_A stehen dabei für die Innenwiderstände des Volt- bzw. Amperemeters. Hätten wir ideale Messgeräte zur Verfügung, bei denen R_A gleich Null und R_V unendlich groß wäre, würden beide Schaltungen das gleiche Ergebnis liefern.

Trägt man den relativen Fehler für beide Schaltungen über dem Widerstand R auf, kommt man zu folgenden Ergebnissen:

Schaltung A



Schaltung B

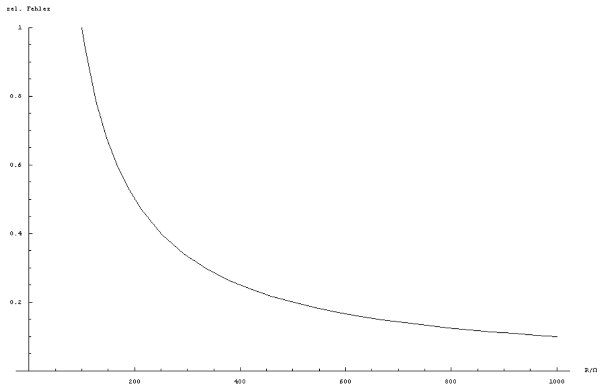


Abb. 5 und 6: Verlauf des relativen Fehlers von Schaltung A und Schaltung B; $R_V = R_A = 100\ \Omega$

Aus den Diagrammen ist ersichtlich, dass sich Schaltung A besser für kleinere Widerstände eigenet, da der relative Fehler von 0 bis ca. 200 Ω geringer ist als bei Schaltung B. Ab ca. 200 Ω ist hingegen Schaltung B aufgrund des geringeren relativen Widerstands im Vorteil (vgl. Frage 3).

2.4. Widerstandmessung mit einem Ohmmeter

Mit Hilfe eines Ohmmeters kann man einen Widerstand direkt messen, ohne den Umweg über eine Strom-/Spannungsmessung gehen zu müssen. In einem Ohmmeter befindet sich meist eine Batterie als Spannungsquelle und ein veränderbarer Innenwiderstand R_I, welcher mit dem zu messenden Widerstand R in Reihe geschaltet wird. Dazu wird der Strom gemessen, der durch den Widerstand R fließt. Dieser Strom bewegt einen Zeiger, welcher auf einer geeichten und zur normalen Stromskala umgekehrt proportionalen Skala anzeigt. Da die Batterie Spannungsschwankungen unterworfen ist, muss das Ohmmeter vor einer Messung tariert werden. Dazu schließt man die Kontakt kurz und stellt den Zeiger auf 0 Ω ein.

2.5. Widerstandmessung mit der Wheatstoneschen Messbrücke

Eine Wheatstonsche Messbrücke besteht aus einem Konstantan-Widerstandsdraht, der sich mit Hilfe eines Schiebers in zwei Widerstände der Längen l_1 und l_2 teilen lässt. Parallel zur Messbrücke schaltet man einen bekannten Vorwiderstand R_3 und den zu bestimmenden Widerstand R. Nun sschaltet man ein Amperemeter zwischen die Widerstände R_3 und R sowie die Messbrücke. Nun können wir mit Hilfe des Amperemeters Aussagen über die Verhältnisse l_1/l_2 und R_3/R machen.

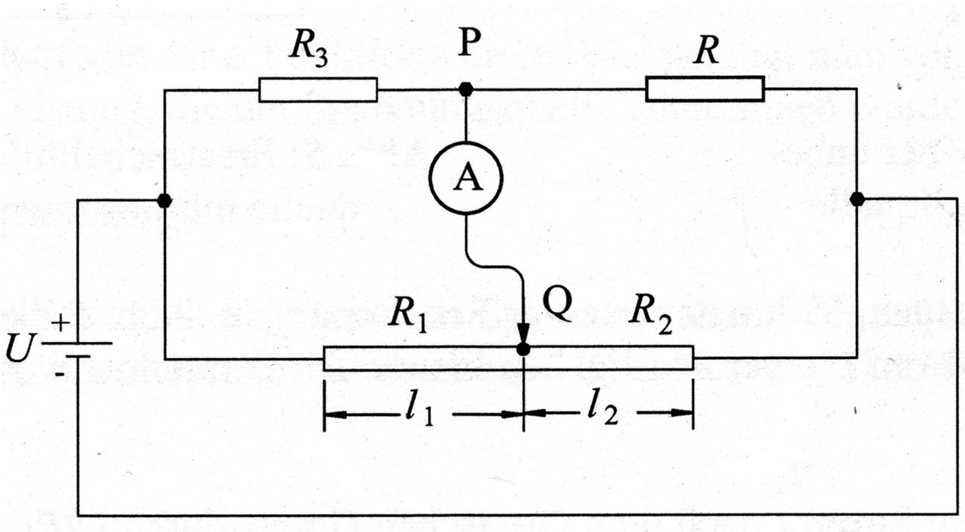


Abb. 7: Schaltkreis zur Widerstandsbestimmung mit einer Wheatstoneschen Messbrücke

Wenn wir den Schieber der Messbrücke so einstellen, dass das Amperemeter keinen Ausschlag zeigt, gilt:

$$\frac{R_3}{R}=\frac{l_1}{l_2} \quad \Leftrightarrow \quad R=\frac{R_3 \cdot l_2}{l_1}$$

Mit Hilfe der Wheatstoneschen Messbrücke haben wir eine elegante Methode gefunden, einen unbekannten Widerstand zu ermitteln, da wir nicht den Fehlern und Innenwiderständen von Amperemetern und Voltmertern unterworfen sind. Der Nachteil an dieser Methode ist jedoch, dass wir die Längen an der Messbrücke nur mit einer endlichen Genauigkeit ablesen können und der Vergleichswiderstand R_3 ebenfalls mit einem gewissen Fehler behaftet ist.

2.6. Innenwiderstand realer Spannungsquellen

Bei einer idealen Spannungsquelle liegt bei jeder Belastung eine konstante Klemmspannung an. In der Realität haben wir es aber mit realen Spannungsquellen wir Batterien, Funktionsgeneratoren etc. zu tun, welche über eine mit zunehmender Belastung abnehmende Klemmspannung verfügen. Um den Spannungsabfall messen zu können, benutzen wir ein Modell, bei dem eine ideale Spannungsquelle G und ein Innenwiderstand R_I in Reihe liegen. An dieses Ersatzschaltbild für eine reale Spannungsquelle schließen wir nun einen Lastwiderstand R_L an. Dieser vermindert die Spannung U gegenüer der Quellspannung U_0. Mit einem Voltmeter können wir diesen Spannungsabfall messen. Gemäß des ohmschen Gesetzes gilt für die Spannung U:

$$U = U_0 \cdot \frac{R_L}{R_L + R_I}$$

Der Verlauf der Klemmspannung U als Funktion des Lastwiderstandes R_L sieht wie folgt aus (vgl. Frage 5):

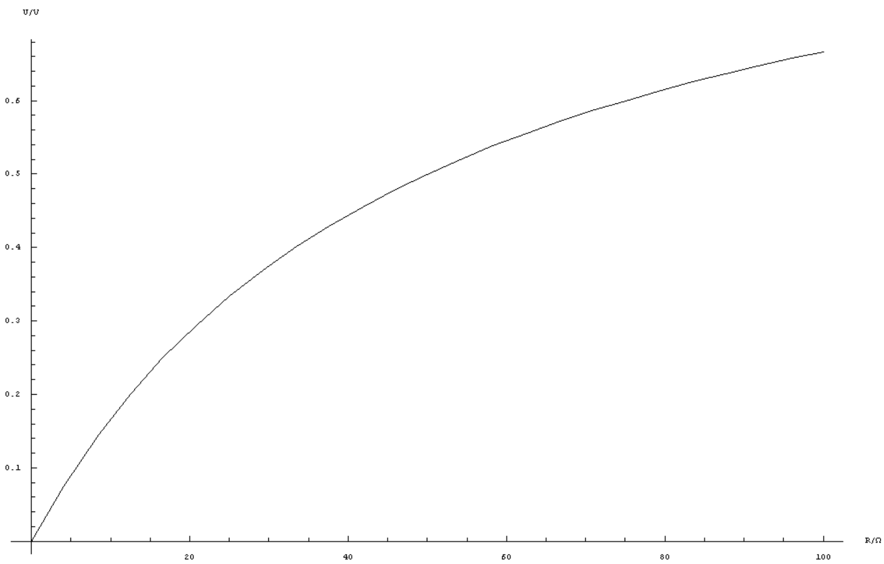


Abb. 8: Funktion der Klemmspannung U über dem Lastwiderstand R_L

Wenn wir den Lastwiderstand R_L so wählen, dass er mit dem Innenwiderstand R_I identisch ist, gilt:

$$U = U_0 \cdot \frac{R_L}{R_L + R_L} = \frac{1}{2} \cdot U_0$$

Diesen Prinzip machen wir uns zu Nutze, wenn wir den Innenwiderstand einer realen Spannungsquelle bestimmen wollen: Wir wählen so lange verschiedene Lastwiderstände, bis die gemessene Spannung halb so groß wie die Quellspannung ist.

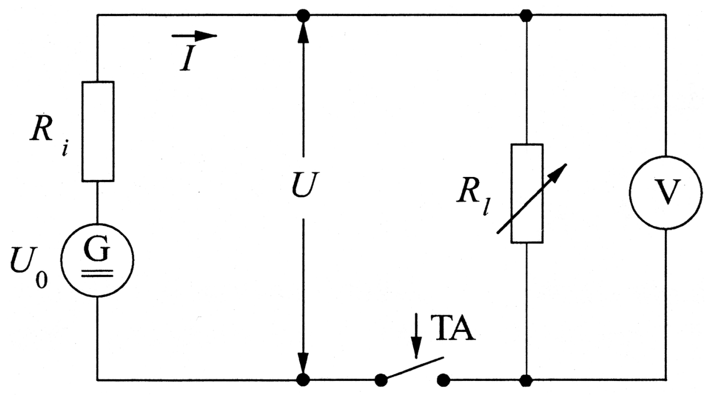


Abb. 9: Schaltkreis zur Bestimmung von Innenwiderständen

3. Praktischer Teil

3.1. Messung eines unbekannten Widerstandes

Ziel dieses Versuches ist es, einen unbekannten Widerstand (Größenordnung 1 kΩ) mit Hilfe verschiedener Messmethoden möglichst genau zu bestimmen und dabei die unterschiedlichen Methoden kennenzulernen. Als Fazit werden die Messmethoden bezüglich ihrer Vor- und Nachteile bewertet.

3.1.1. Messung mit dem Ohmmeter

Der Widerstand soll mit zwei verschiedenen Ohmmetern gemessen werden. Dabei werden die jeweiligen Größfehler der Geräte als Summe der Ablesegenauigkeit und des Anzeigefehlers berechnet. Vor den Messungen werden die Geräte auf den richtigen Messbereich eingestellt und tariert. Dabei wurden folgende Ergebnisse erzielt:

Kontron DMM 3021		**Philips PM 2505**	
Ablesegenauigkeit:	± 0,001 kΩ	Ablesegenauigkeit:	± 0,01 kΩ
Anzeigefehler:	± 0,1%	Anzeigefehler:	± 3%
Angezeigter Wert:	1,194 kΩ	Angezeigter Wert:	1,17 kΩ
Messergebnis:	1,194 kΩ ± 0,002 kΩ	Messergebnis:	1,17 kΩ ± 0,05 kΩ

Für die Auswertung in 3.1.4. wird das Ergebnis des Kontron DMM 3021 verwedet, da es mit dem geringeren Fehler behaftet ist.

3.1.2. Messung mit einer Strom-/Spannungsmessung

Wir bauen Schaltung A gemäß Abb. 3 auf und messen die Spannung U und die Stromstärke I bei zwölf verschiedenen Quellspannungen aus einem Netzgerät. Wir ermitteln für jedes Wertpaar den Widerstand R mit Hilfe des ohmschen Gesetzes Dann berechnen wir den Mittelwert für R und den Mittelwert der Standardabweichung. Dabei wurden folgende Ergebnisse erzielt:

U / V	**I / A**	**R / Ω**
1,21	0,00095	1273,684
2,21	0,0018	1227,778

U / V	I / A	R / Ω
3,17	0,0026	1219,231
4,14	0,0034	1217,647
5,16	0,00424	1216,981
6,14	0,0051	1203,922
7,06	0,0058	1217,241
8,02	0,0066	1215,152
9,06	0,0075	1208
9,98	0,0083	1202,41
10,98	0,0091	1206,593
11,91	0,0099	1203,03

Tab.1: Messwerte für die Spannung U und die Stromstärke I; daraus berechnet sich der Widerstand R *nach der Formel* R = U / *I*

Für die Größtfehler der Messung halten wir fest:

Amperemeter		**Voltmeter**	
Ablesegenauigkeit:	± 0,00005 A	Ablesegenauigkeit:	± 0,01 V
Anzeigefehler:	± 1,5%	Anzeigefehler:	± 0,02%

Für den Mittelwert ergibt sich:

$$\bar{R} = \frac{14611{,}669\,\Omega}{12} = 1217{,}639\,\Omega$$

Die Standardabweichung des Mittelwertes berechnet sich wie folgt:

$$\sigma_{\bar{R}} = \sqrt{\frac{1}{132} \cdot \sum_{i=1}^{12} (R_i - \bar{R})^2} = 19{,}309\,\Omega$$

Als Messergebnis können wir also festhalten: R = 1217,639 Ω ± 19,309 Ω.

Nun tragen wir unsere gemessenen Werte für U über den gemessenen Werten für I auf und zeichnen den Größtfehler als Fehlerbalken ein. Dann zeichnen wir eine Ausgleichgerade ein und bestimmen deren Steigung:

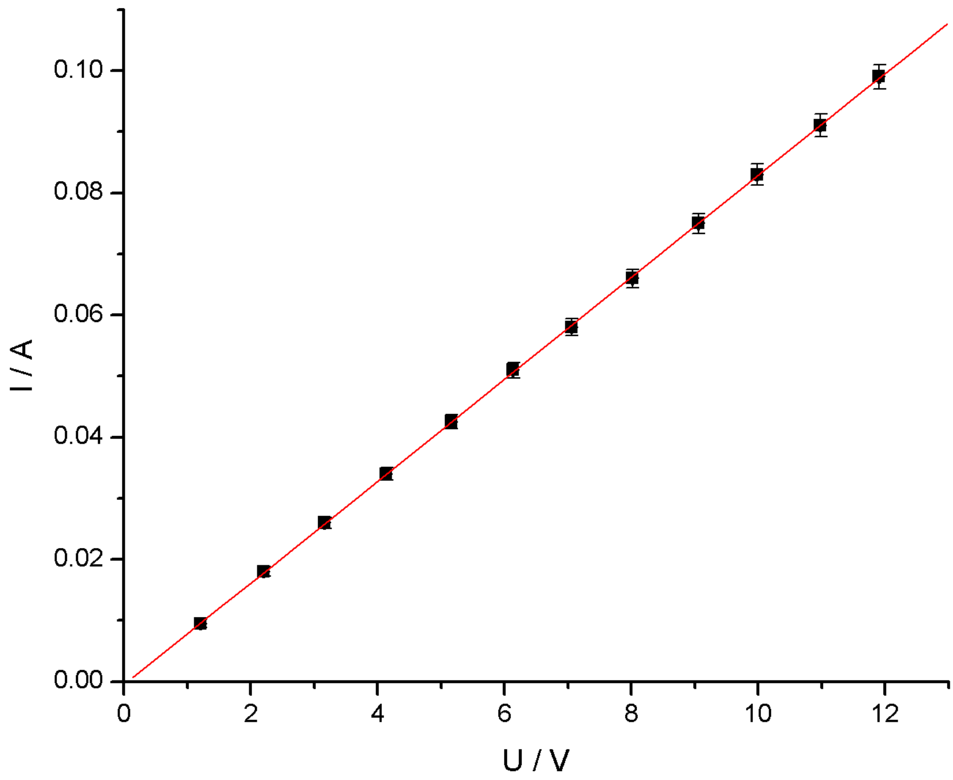


Abb. 10: Graphische Darstellung der Messwerte für die Spannung U und die Stromstärke I

Für die Steigung m ermitteln wir einen Wert von ca. 1250. Mit der graphischen Lösung haben wir also einen Schätzwert von 1250 Ω für den zu bestimmenden Widerstand erhalten.

3.1.3. Messung mit der Wheatstoneschen Messbrücke

Für diesen Versuch wir die Wheatstonesche Messbrücke gemäß Abb. 7 aufgebaut. Als Spannungsquelle dient ein Netzgerät. Den Vergleichswiderstand R_3 stellen wir mit Hilfe einer Widerstandsdekade ungefähr auf den zu messenden Widerstand R ein. Wenn R_3 und R ungefähr gleich groß sind, sind auch die beiden zu messenden Längen l_1 und l_2 annähernd identisch. Dadurch wird der Fehler für den Widerstand R minimal, da Ablesefehler bei annähernd identischen Längen nicht so sehr ins Gewicht fallen wie bei größen Längenunterschieden (vgl. Frage 7).

Für den Versuch wählen wir einen Vergleichswiderstand R_3 von 1000 Ω ± 10 Ω und erhalten folgende Ergebnisse: l_1 = 54,4 cm ± 0,01 cm; l_2 = 45,6 cm ± 0,01 cm.

Nun können wir den Wert des zu bestimmenden Widerstandes R ermitteln:

$$R = R_3 \cdot \frac{l_1}{l_2} = 1000\,\Omega \cdot \frac{54{,}4\,cm}{45{,}6\,cm} = 1192{,}98\,\Omega$$

Den Größtfehler für den Widerstand berechnen wir mit Hilfe des Größtfehlers aus der Fehlerfortpflanzung. Es gilt:

$$\Delta R = \left|\frac{\partial R}{\partial l}\right|_M \Delta l + \left|\frac{\partial R}{\partial R_3}\right|_M \Delta R_3; \quad sei \;\; l = \frac{l_1}{l_2}$$

Nun setzen wir unsere Messergebnisse und die jeweiligen Größtfehler ein (ΔR_3 = 1% = 10 Ω; Δl = 0,01 cm; l_1/l_2 = 1,19 cm):

$$\Delta R = R_3 \cdot \Delta l + l \cdot \Delta R_3 = 1000 \cdot 0{,}01 + 1{,}19 \cdot 10 = 21{,}9$$

Wir können nun als Messergebis festhalten: R = 1192,98 Ω ± 21,9 Ω.

3.1.4. Vergleich der Messmethoden

Wir halten also folgende Ergebnisse für die drei verschiedenen Messmethoden fest:

- Messung mit dem Ohmmeter: R = 1194 Ω ± 2 Ω
- Messung mit der Strom-/Spannungsmessung: R = 1217,639 Ω ± 19,309 Ω
- Messung mit der Wheatstoneschen Messbrücke: R = 1192,98 Ω ± 21,9 Ω

Mit allen Messmethoden haben wir einen Wert für R von etwa 1200 Ω ermitteln können. Bei der Bewertung der unterschiedlichen Methoden ist der Fehler des Messergebnisses das wichtigste Kriterium. Die Messung mit dem Ohmmeter hat eindeutig den geringsten Fehler und ist somit bei der Bestimmung von Widerständen als Methode vorzuziehen. Die beiden anderen Methoden sind mit einem ähnlich großen Fehler behaftet. Das rührt daher, dass wir bei der Messung mit der Strom-/Spannungsbestimmung vier Fehlerquellen vorliegen haben, nämlich sowohl die Ablesegenauigkeit, als auch die Anzeigegenauigkeit des Voltmeters und des Amperemeters. Bei der Wheatstoneschen Messbrücke haben wir zwei Fehlerquellen: Die endliche Genauigkeit des Wertes des Vergleichswiderstandes und der Ablesefehler bei der Messbrücke. Streng genommen müsste man noch den Fehler des Amperemeters dazuzählen. Bei dem Ohmmeter hingegen haben wir nur die Ablesegenauigkeit und den Anzeigefehler zu berücksichtigen. Bei moderenen digitalen Geräten sind diese Fehler sehr gering, daher kann man einen Widerstand mit einem Ohmmeter sehr genau messen.

3.2. Innenwiderstand einer Batterie

Um den Innenwiderstand einer Batterie zu messen, bauen wir eine Schaltung gemäß Abb. 9 auf. Wir benutzen einen Taster, um die Batterie nur kurz an den Lastwiderstand anzuschließen und somit eine schnelle Entladung zu verhindern. Zuerst wählen wir einen sehr hohen Widerstand (ca. 100 kΩ) um die Quellspannung U_0 annähernd zu ermitteln. Dannach wählen wir nacheinander Widerstände im Bereich von 1 Ω bis 15 Ω und notieren jeweils die Spannung U. Anschließend tragen wir in einem Diagramm die Messwerte für U über den eingesetzten Lastwiderständen R_L auf und interpolieren die einzelnen Punkte mit einer Kurve. Nun ermitteln wir grafisch den Widerstandswert, bei dem die Spannung der Batterie auf die Hälfte der Quellspannung U_0 abgefallen ist. Der so ermittelte Wert antspricht dem Innenwiderstand der Batterie.

Bei diesem Versuch wurden folgende Messwerte ermittelt:
U_0 = 4,17 V (bei ca. 100 kΩ)

R_L / Ω	1	1,5	2,2	3,3	4,7	5,6	6,8*	8,2	12	15
U / V	2,27	2,6	2,93	3,24	3,44	3,57	4,22*	3,72	3,81	3,9

Tab.2: Messwerte für die Spannung U bei verschiedenen Lastwiderständen R_L

Für die einzelnen Widerstände ergibt sich jeweils ein relativer Fehler von ± 10% (Genauigkeitsangabe auf den Widerständen).

* bei diesem Wertepaar handelt es sich offenbar um einen Messfehler. Daher wird es in der Auswertung nicht weiter berücksichtigt!

Trägt man nun U über R_L erhält man folgende Kurve:

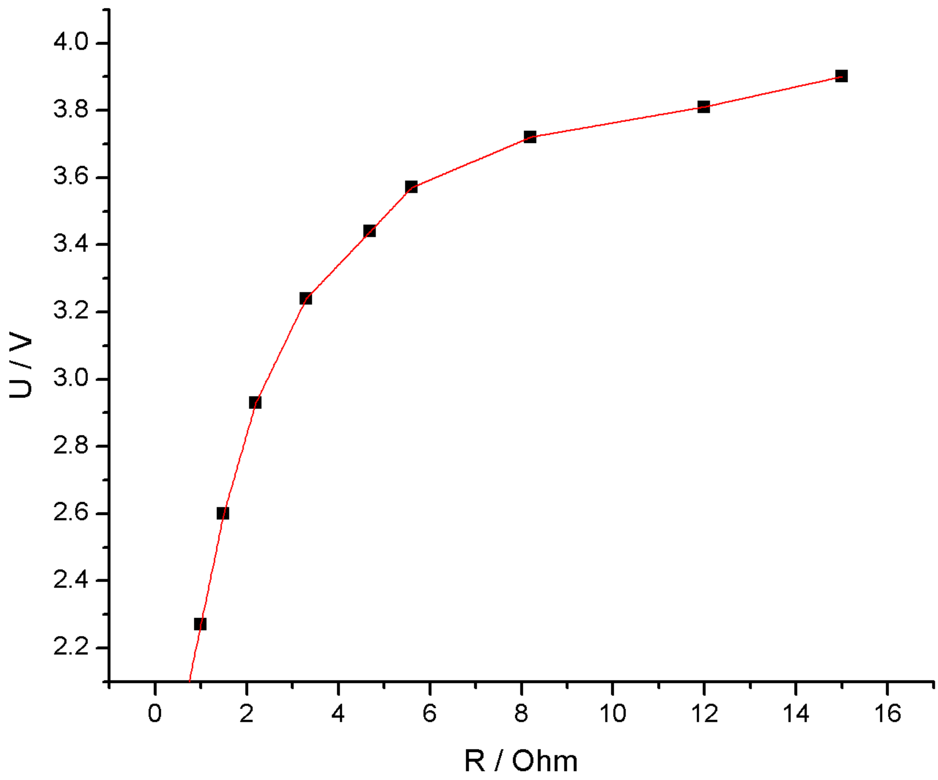


Abb. 11: Verlauf der Spannung U über den verschiedenen Lastwiderständen R_L

Wir können nun sehen, dass die Spannung ungefähr bei einem Widerstand von 0,8 Ω auf die Hälfte der Quellspannung U_0 abgefallen ist. Damit beträgt der Innenwiderstand der Batterie 0,8 Ω.

3.3. Innenwiderstand eines Funktionsgenerators

Analog zum Versuch 3.2. messen wir nun den Innenwiderstand eines Funktionsgenerators. Zur Messung benutzen wir den Funktionsgenerator TOELLNER 7401. Statt eines Voltmeters benutzen wir aber ein Oszilloskop zur Ermittlung der Spannung. Außerdem ist der Taster nicht mehr notwenig. Zuerst führen wir eine Messung mit einem Widerstand von etwa 100 kΩ durch, um die Quellspannung U_0 zu ermitteln. Wir erzeugen am Funktionsgenerator ein sinusförmiges Signal mit einer Amplitude von etwa 4 V und einer Frequenz von ca. 1 kHz. Am Oszilloskop können wir nun die Spannungsamplitude des Signals ablesen. Wir führen den Versuch nun mit Hilfe einer Widerstandsdekade für verschiedene Lastwiderstände R_L durch unter erhalten folgende Ergbenisse:

U_0 = 3 V (bei ca. 100 kΩ)

R_L / Ω	500	300	150	100	70	60	50	40	30	20	10	5
U / V	2,72	2,6	2,32	2,04	1,84	1,72	1,56	1,4	1,2	0,92	0,6	0,36

Tab.3: Messwerte für die Spannung U bei verschiedenen Lastwiderständen R_L

Nun tragen wir unsere Messwerte in einem Diagramm auf:

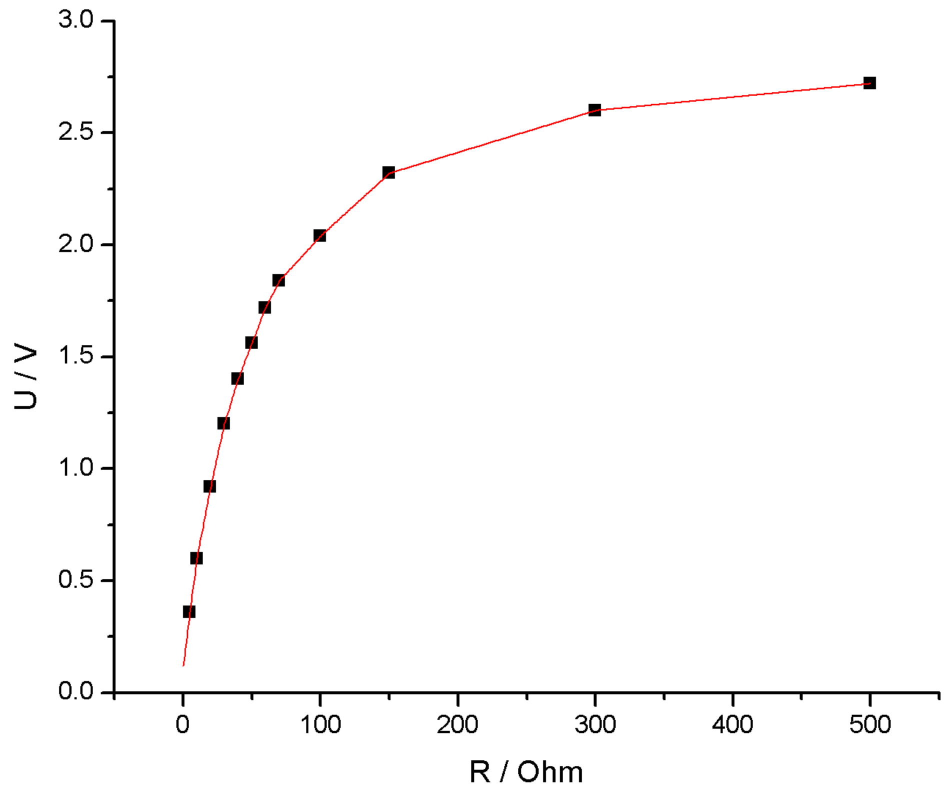


Abb. 12: Verlauf der Spannung U über den verschiedenen Lastwiderständen R_L

Wir können nun aus dem Diagramm ablesen, dass der Innenwiderstand des Funktionsgenerators etwa 50 Ω beträgt.

4. Anhang

4.1. Quellen

[1] Skript zum Anfängerpraktikum Physik I, CvO Universität Oldenburg, Institut für Physik, Oktober 2005

[2] dtv-Atlas Physik, Band 1, Deutscher Taschenbuch Verlag, 7. Auflage, August 2004

[3] http://de.wikipedia.org/wiki/Elektrischer_Widerstand

[4] http://de.wikipedia.org/wiki/Kirchhoffsche_Gesetze

4.2. Abbildungsnachweis

- **Abb. 1:**
  http://de.wikipedia.org/wiki/Bild:Stromknoten.png
  Lizenz: GNU-FDL
- **Abb. 2:**
  http://www.dieelektronikerseite.de/Lections/Maschenregel,%20Knotenregel%20-%20Nichts%20fuer%20Seeleute.htm
- **Abb. 3 und 4:**
  http://www.physik.uni-muenchen.de/leifiphysik/web_ph10/musteraufgaben/04_widerstand/strom_spannung_richtig/strom_spann_richtig_l.htm
- **Abb. 7:**
  Abb. 3 auf S. 61 in [1]
- **Abb. 9:**
  Abb. 5 auf S. 62 in [1]