

# Versuch 1.1 Messung linearer Widerstände

Praktikum: Grundlagen der Elektrotechnik und Halbleiterelektronik

Studierende: K. Ratteit, M. Arnold, L. Etzold

Seminargruppe: 5CS23-1

Praktikumsgruppe: 11

Betreuende: Prof. Dr. S. Schneider,

Dipl.-Geophys. L. Aschmann

27. Oktober 2023

**Versuchsaufgabe:** Ermitteln Sie die Werte zweier an Ihrem Versuchsplatz vorhandenen Widerstände durch die Messung ihrer I-U-Kennlinien!

**Aufgabe 1:** Skizzieren Sie alle zu verwendenden Messschaltungen! Als Messobjekte verwenden Sie den unbekanntem Widerstand  $R$  sowie die Spule  $L = 10 \text{ mH}$ .

**Aufgabe 2:** Führen Sie sowohl mit stromrichtiger als auch mit spannungsrichtiger Schaltung jeweils fünf Strom-Spannungs-Messungen mit den am Arbeitsplatz ausliegenden Digitalmultimetern durch. Als Richtgrößen für die Einstellung der DC-Spannungsquelle werden empfohlen:  $U_b = 0,4 \text{ V}$ ;  $0,8 \text{ V}$ ;  $1,2 \text{ V}$ ;  $1,6 \text{ V}$ ;  $2,0 \text{ V}$ .

**Aufgabe 3:** Tragen Sie die Messwerte, die verwendeten Messbereiche der Messgeräte, die ermittelten ohmschen Widerstände sowie die ermittelten Messungenauigkeiten und Fehler für jede Messung in eine Tabelle ein! Stellen Sie die Ergebnisse zusätzlich grafisch in Form von I-U-Kennlinien dar (Fehlerbalken!)

**Aufgabe 4:** Realisieren Sie mit dem Widerstand  $R$  und der Spule  $L$  zunächst eine Reihenschaltung mit einer Betriebsspannung von  $U_b = 5 \text{ V}$ . Messen Sie die an den Bauteilen auftretenden Spannungen und überprüfen Sie anhand dieser Messwerte die Gültigkeit der Spannungsteilerregel! Entwerfen Sie danach eine Parallelschaltung mit  $U_b = 2 \text{ V}$  und messen Sie die an den Bauteilen auftretenden Ströme gemäß der Stromteilerregel!

**Aufgabe 5:** Diskutieren Sie die Fehlereinflüsse!

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Vorbereitung</b>	<b>1</b>
1.1	Theoretische Grundlagen . . . . .	1
1.1.1	Ohmsches Gesetz . . . . .	1
1.1.2	Elektrischer Widerstand . . . . .	1
1.1.3	Gleichstromkreise . . . . .	1
1.1.4	Kirchhoffsche Sätze . . . . .	1
1.1.5	Stromteilerregel . . . . .	2
1.1.6	Spannungsteilerregel . . . . .	2
1.1.7	Strom-Spannungs-Kennlinien . . . . .	2
1.1.8	Stromrichtige- und spannungsrichtige Messung . . . . .	2
1.1.9	Optimaler Messbereich . . . . .	3
1.1.10	Messfehler . . . . .	3
1.2	Planung des Experiments . . . . .	4
<b>2</b>	<b>Messergebnisse</b>	<b>6</b>
2.1	Berechnungen . . . . .	8
<b>3</b>	<b>Auswertung</b>	<b>9</b>
<b>4</b>	<b>Fehlerbetrachtung</b>	<b>13</b>

# 1 Vorbereitung

## 1.1 Theoretische Grundlagen

Zur Vorbereitung des Experiments sind folgende theoretische Grundlagen notwendig.

### 1.1.1 Ohmsches Gesetz

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

$$U = I \cdot R$$

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

$$R_{ges} = R_1 + R_2 + \dots + R_n \quad (\text{Reihenschaltung})$$

$$R_{ges} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}} \quad (\text{Parallelschaltung})$$

### 1.1.2 Elektrischer Widerstand

Der elektrische Widerstand ist in der Elektrotechnik ein Maß dafür, welche elektrische Spannung erforderlich ist, um eine bestimmte elektrische Stromstärke durch einen elektrischen Leiter (Bauelement, Stromkreis) fließen zu lassen.

### 1.1.3 Gleichstromkreise

Ein Strom, dessen Richtung sich nicht ändert, wird als Gleichstrom bezeichnet, die entsprechende Spannung als Gleichspannung. Stromkreise, in denen ein Gleichstrom fließt, werden als Gleichstromkreise bezeichnet.

### 1.1.4 Kirchhoffsche Sätze

Der erste Kirchhoffsche Satz besagt, dass die Summe aller Ströme gleich Null ist, also die Summe der zufließenden Ströme gleich der Summe der abfließenden Ströme ist. Der zweite Kirchhoffsche Satz besagt, dass die Summe aller Spannungen in einer Netzmasche gleich Null ist.

$$I_{zu} = I_{ab} \quad (\text{Knotenregel})$$

$$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n \quad (\text{Maschenregel})$$

### 1.1.5 Stromteilerregel

Die Stromteilerregel ist auf Parallelschaltungen anwendbar. Bei zwei Teilströmen, wie im Versuchsaufbau gilt Folgendes:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1} = \frac{G_1}{G_2} \quad (\text{Verhältnis der Teilströme zueinander})$$
$$\frac{I_1}{I_{ges}} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (\text{Verhältnis der Teilströme zum Gesamtstrom})$$
$$\frac{I_2}{I_{ges}} = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

### 1.1.6 Spannungsteilerregel

Die Spannungsteilerregel ist auf Reihenschaltungen anwendbar in denen der gleiche Strom fließt. Sie besagt, dass Spannungen und Widerstände im gleichen Verhältnis zueinander stehen.

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2} \quad (\text{Verhältnis der Teilspannungen zueinander})$$
$$\frac{U_1}{U_{ges}} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \quad (\text{Verhältnis der Teilspannungen zur Gesamtspannung})$$
$$\frac{U_2}{U_{ges}} = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

### 1.1.7 Strom-Spannungs-Kennlinien

Die Strom-Spannungs-Kennlinie beschreibt bei zweipoligen elektrischen Bauelementen wie zum Beispiel dem Widerstand den Zusammenhang zwischen elektrischem Strom und Spannung.

### 1.1.8 Stromrichtige- und spannungsrichtige Messung

**Stromrichtige Messung:** Bei der stromrichtigen Messung wird nur der durch ein Bauteil fließende Strom gemessen. Dazu wird der Strom ohne Verzweigung unmittelbar vor oder hinter dem Bauteil gemessen. In dieser Schaltung wird die Stromstärke korrekt gemessen.

**Spannungsrichtige Messung:** Bei der spannungsrichtigen Messung, wird nur die über dem Bauteil abfallende Spannung gemessen. Da kein weiteres Bauteil die Messung beeinflusst, wird die Spannung korrekt gemessen.

Diese Unterscheidung ist notwendig, da die Messgeräte selbst sonst je eine der beiden Größen verfälschen können.

### 1.1.9 Optimaler Messbereich

Wenn die Höhe der zu messenden Größe unbekannt ist, wählt man zunächst immer den höchsten Messbereich. Dann wird der Messbereich von oben nach unten geregelt und sich so an die Größe des Messwertes herangetastet. Die optimale Einstellung erkennt man an der höchsten Auflösung des Messwerts. Mit dieser Methode stellt man sicher, dass das Messgerät keinen Schaden nimmt.

### 1.1.10 Messfehler

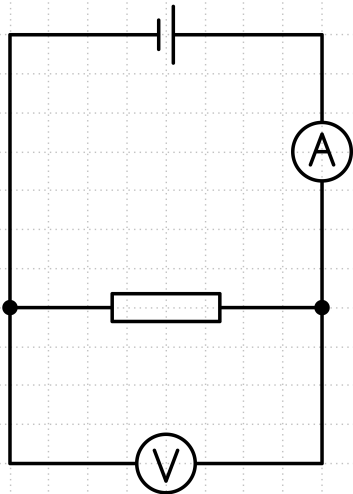
$$\Delta U = x\% \cdot U_M + y \text{ digits} \quad (\text{Systematische Abweichung der Spannung})$$

$$\Delta I = x\% \cdot I_M + y \text{ digits} \quad (\text{Systematische Abweichung der Stromstärke})$$

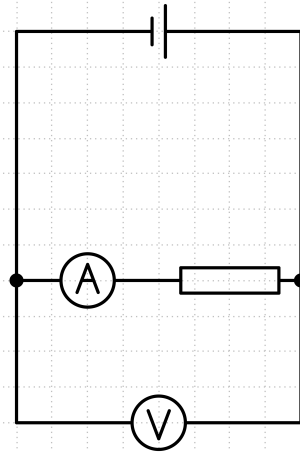
$$\Delta R = R \cdot \left( \frac{\Delta U}{U} + \frac{\Delta I}{I} \right) \quad (\text{relative, systematische Abweichung des Widerstandes})$$

## 1.2 Planung des Experiments

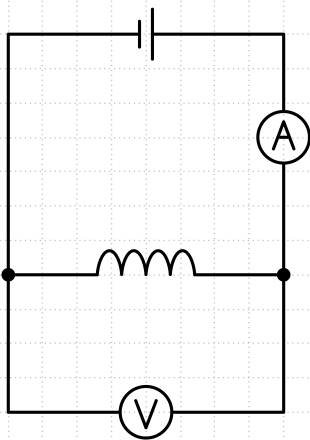
Als Messgeräte zur Verfügung stehen ein Digitalmultimeter, eine DC-Spannungsquelle, ein Elektronik-Steckbrett, Laborkabel, Messleitungen sowie die Bauelemente Widerstand und Spule.



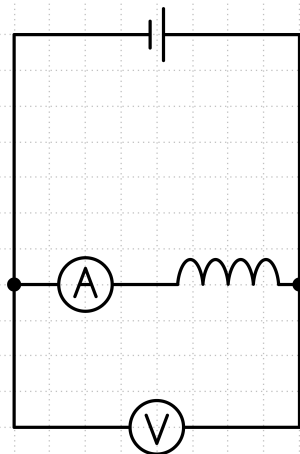
Spannungsrichtige Messung  
des Widerstandes



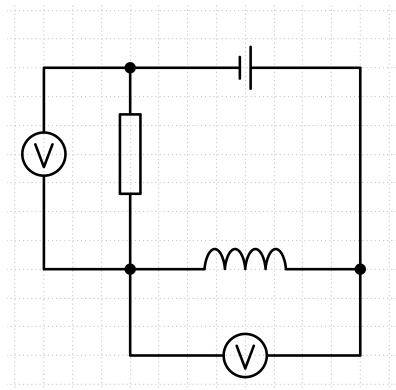
Stromrichtige Messung des  
Widerstandes



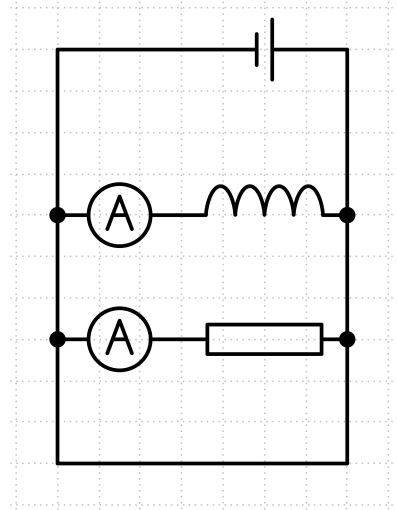
Spannungsrichtige Messung  
der Spule



Stromrichtige Messung der  
Spule



Spannungsmessung in  
Reihenschaltung



Strommessung in  
Parallelschaltung

## 2 Messergebnisse

$U_R$  und  $I_R$  entsprechen den Messungen der Spannung und der Stromstärke am Widerstand R.  $U_L$  und  $I_L$  stehen für die gemessene Spannung und Stromstärke an der Spule L.

Bei der direkten Messung des Widerstandes kam für den Widerstand  $68,1 \Omega$  und für die Spule  $18,3 \Omega$  heraus.

Tabelle 1: Spannungsrichtige Messung des Widerstandes.

$U_b$ in V	Messbereich	$U_R$ in V	$I_R$ in mA	$R$ in $\Omega$	$\Delta U$ in V	$\Delta I$ in mA	$\Delta R$ in $\Omega$
0	6V 40mA	0,055	0,802	68,579	0,002385	0,01102	2,974
0,4	6V 40mA	0,37	5,427	68,178	0,00459	0,05727	0,846
0,8	6V 40mA	0,656	9,659	67,916	0,006592	0,09959	0,682
1,2	6V 40mA	1,004	14,775	67,953	0,009028	0,15075	0,611
1,6	6V 40mA	1,334	19,789	67,917	0,011408	0,20089	0,576
2,0	6V 40mA	1,704	25,084	67,932	0,013928	0,25384	0,555

Tabelle 2: Spannungsrichtige Messung der Spule.

$U_b$ in V	Messbereich	$U_L$ in V	$I_L$ in mA	$R$ in $\Omega$	$\Delta U$ in V	$\Delta I$ in mA	$\Delta R$ in $\Omega$
0	6V 40mA	0,002	0,13	15,385	0,002014	0,0043	15,492
0,4	6V 40mA	0,26	14,45	17,993	0,00382	0,1475	0,264
0,8	6V 40mA	0,498	27,818	17,902	0,005486	0,28118	0,197
1,2	6V 40mA	0,707	39,472	17,911	0,006949	0,39772	0,176
1,6	6V 400mA	0,948	52,95	17,904	0,008636	0,5325	0,163
2,0	6V 400mA	1,164	64,46	18,058	0,010148	0,6476	0,157

Tabelle 3: Stromrichtige Messung des Widerstandes.

$U_b$ in V	Messbereich	$U_R$ in V	$I_R$ in mA	$R$ in $\Omega$	$\Delta U$ in V	$\Delta I$ in mA	$\Delta R$ in $\Omega$
0	6V 40mA	0,004	0,043	93,023	0,002028	0,00343	47,163
0,4	6V 40mA	0,389	4,853	80,157	0,004723	0,05153	0,973
0,8	6V 40mA	0,738	9,218	80,061	0,007166	0,09518	0,777
1,2	6V 40mA	1,019	12,731	80,041	0,009133	0,13031	0,717
1,6	6V 40mA	1,289	16,036	80,382	0,011023	0,16336	0,687
2,0	6V 40mA	2,062	25,852	79,762	0,016434	0,26152	0,636

Tabelle 4: Stromrichtige Messung der Spule.

$U_b$ in V	Messbereich	$U_L$ in V	$I_L$ in mA	$R$ in $\Omega$	$\Delta U$ in V	$\Delta I$ in mA	$\Delta R$ in $\Omega$
0	6V 40mA	0,004	0,117	34,188	0,002028	0,00417	17,333
0,4	6V 40mA	0,375	12,556	29,866	0,004625	0,12856	0,368
0,8	6V 40mA	0,705	23,447	30,068	0,006935	0,23747	0,296
1,2	6V 40mA	0,984	32,867	29,939	0,008888	0,33167	0,270
1,6	6V 400mA	1,274	41,27	30,870	0,010918	0,4157	0,265
2,0	6V 400mA	1,752	58,6	29,898	0,014264	0,589	0,243

Tabelle 5: Spannungsmessung in Reihenschaltung

$U_b$ in V	$U_R$ in V	$U_L$ in V	$\Delta U_R$ in V	$\Delta U_L$ in V
5	3,846	1,0162	0,029	0,013162

Tabelle 6: Strommessung in Parallelschaltung

$I_b$ in mA	$I_R$ in mA	$I_L$ in mA	$\Delta U_I$ in mA	$\Delta I_L$ in mA
2	23,778	62,9	0,241	0,632

## 2.1 Berechnungen

Da die Messungen der jeweils ersten Werte mit  $U_b = 0$  eher der experimentellen Neugier unterlagen und eigentlich die gemessene Spannung und Stromstärke 0 sein sollten - entsprechend hoch ist auch die Abweichung - beziehen ich für die Berechnung des durchschnittlichen Widerstands von Widerstand R und Spule L nur die letzten 5 Werte ein. Damit kommen wir zu folgenden Ergebnissen für:

Spannungsrichtige Messung des Widerstands:

$$\bar{R} = 67,979 \Omega$$

Spannungsrichtige Messung der Spule:

$$\bar{R} = 17,954 \Omega$$

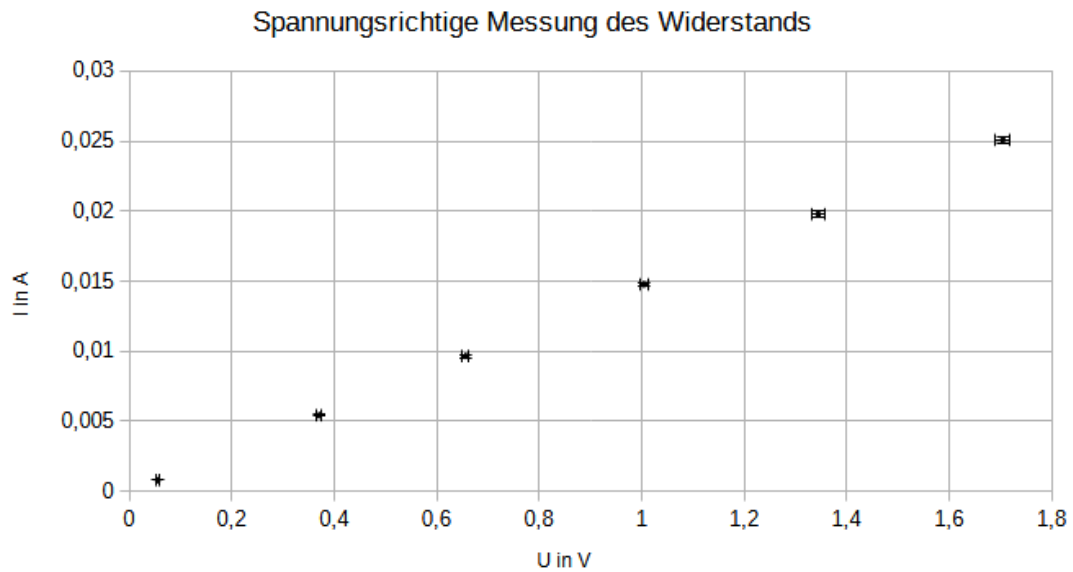
Stromrichtige Messung des Widerstands:

$$\bar{R} = 80,080 \Omega$$

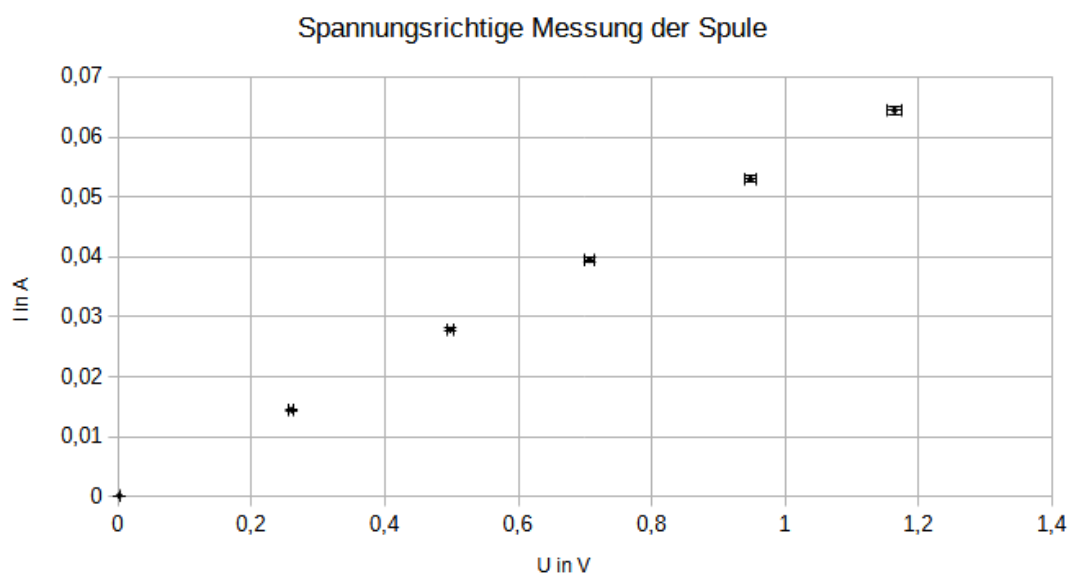
Stromrichtige Messung der Spule:

$$\bar{R} = 30,128 \Omega$$

### 3 Auswertung

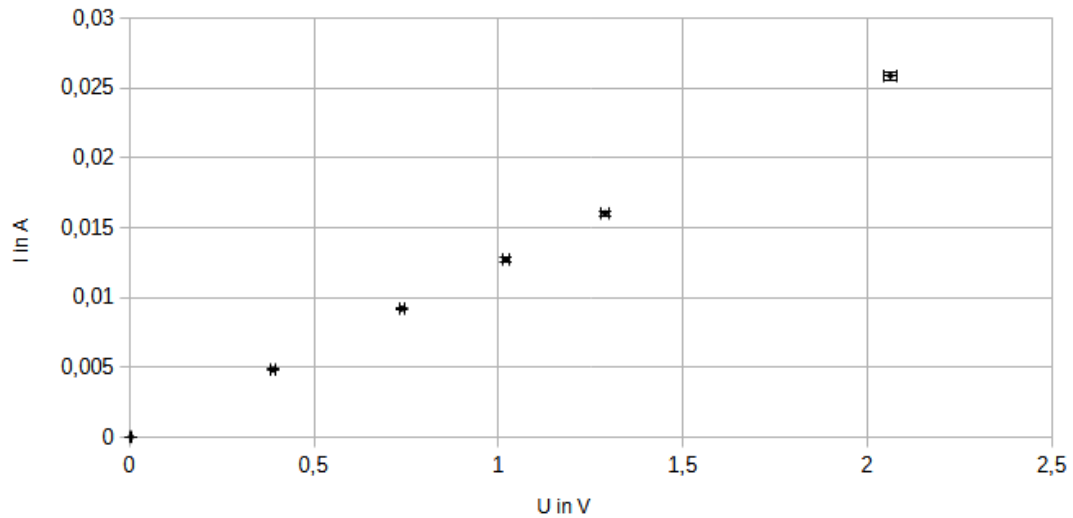


Die U-I Kennlinie für die spannungsrichtige Messung des Widerstandes lässt eine Ursprungsgerade erkennen, was das Ohmsche Gesetz bestätigt, welches es nachzuweisen galt. Es besagt, der Widerstand ist proportional zur Spannung und umgekehrt proportional zur Stromstärke. Die Kennlinie beschreibt den linearen Zusammenhang zwischen Spannung und Stromstärke eines Widerstandes. Je steiler die Gerade wird, desto höher ist der Widerstand. Unser errechneter Durchschnitt von  $67,979 \Omega$  kommt dem direkt gemessenen Widerstand von  $68,1 \Omega$  sehr nah. Bezieht man die durchschnittliche relative, systematische Abweichung von  $0,654 \Omega$  mit ein sollten sich alle Messwerte im Bereich von  $67,466 \Omega$  bis  $68,754 \Omega$  befinden. Dies ist der Fall.



Auch die spannungsrichtige Messung der Spule bestätigt das Ohmsche Gesetz, denn auch hier lässt die U-I Kennlinie eine Ursprungsgerade erkennen, wenn auch der Widerstand der Spule deutlich geringer ist. Unser errechneter Durchschnitt von  $17,954 \Omega$  kommt dem direkt gemessenen Widerstand von  $18,3 \Omega$  nah. Bezieht man die durchschnittliche relative, systematische Abweichung von  $0,192 \Omega$  mit ein sollten sich alle Messwerte im Bereich von  $18,108 \Omega$  bis  $18,492 \Omega$  befinden. Dies bei uns allerdings nicht der Fall gewesen. Das kann verschiedene Gründe haben, auf die wir in der Fehlerbetrachtung weiter eingehen.

### Stromrichtige Messung des Widerstandes

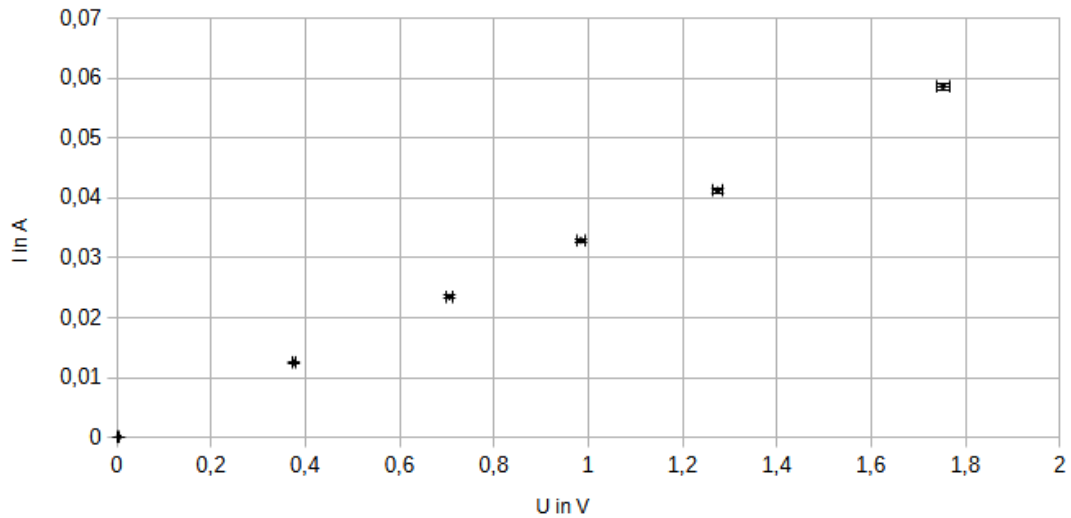


Bei der stromrichtigen Messung ist ein deutlich größerer Widerstand aus den Messungen abzulesen.

In dieser Schaltung entsteht ein Spannungsteiler aus dem Innenwiderstand des Strommessgerätes und dem zu messenden Widerstand. Der Spannungsabfall am Strommessgerät verfälscht die Spannungsmessung. Die gemessene Spannung ist um die Spannung des Strommessgerätes zu groß. Typischerweise ist der Innenwiderstand von Strommessern sehr klein. Die stromrichtige Schaltung eignet sich deshalb nur für Messungen an großen Widerständen, wo der Spannungsabfall am Innenwiderstand des Strommessers die Messung sehr wenig beeinflusst. Sobald man mit dieser Schaltung einen kleinen Widerstand messen will, verfälscht die Reihenschaltung aus Innenwiderstand des Strommessers und dem zu messenden Widerstand das Ergebnis.

Dennoch spiegelt die U-I Kennlinie das Ohmsche Gesetz wieder, da auch hier eine Ursprungsgerade zu erkennen ist.

### Stromrichtige Messung der Spule



Aus dem schon beim Widerstand erläuterten Grund scheint auch der Widerstand der Spule deutlich größer zu sein als er tatsächlich ist. Grundsätzlich ist auch hier das Ohmsche Gesetz bestätigt. Doch da der Widerstand der Spule nochmal kleiner ist, fällt die Beeinflussung durch den systematischen Fehler der Messung noch deutlicher auf.

Nun zur **Aufgabe 4** und der Messung der Spannung in Reihenschaltung. Aus der Spannungsteilerregel müsste sich folgendes ergeben:

$$\frac{U_R}{R_R} = \frac{U_L}{R_L} = I.$$

Setzen wir die gemessenen Spannungen aus der Tabelle, sowie den direkt gemessenen Widerstand von Widerstand und Spule ein ergibt das:

$$I = \frac{3,846}{68,1} = \frac{1,0162}{18,3}$$

$$I \approx 0,0564 \text{ A} \approx 0,0555 \text{ A}$$

Die Messwerte bestätigen also die Spannungsteilerregel, bis auf eine minimale Abweichung die man aus den systematischen Abweichungen der Messgeräte erklären kann.

Jetzt zur Strommessung in Parallelschaltung und der Stromteilerregel.

$$\begin{aligned} \frac{I_L}{I_R} &= \frac{R_L}{R_R} \\ \frac{0,023778}{0,0629} &= \frac{18,3}{68,1} \\ 0,269 &\neq 0,378 \end{aligned}$$

Wie zu erkennen ist bewegen wir uns in der richtigen Größenordnung, jedoch sind die Werte nicht gleich und die Abweichung deutlich. Eine Erklärung für diese Abweichung ist auch hier der Innenwiderstand des Messgerätes, der auch schon bei der stromrichtigen Messung von Widerstand und Spule bei solch kleinen Messbereichen zum Tragen kam.

## 4 Fehlerbetrachtung

Man kann einen unbekanntem Widerstand durch Messung der Spannung und der Stromstärke bestimmen, mithilfe des Ohmschen Gesetzes. Dabei muss man jedoch Fehler in den Messungen berücksichtigen. Auf den systematischen Fehler bei den Messgeräten sind wir bereits eingegangen, jedoch gibt es weitere Faktoren, die einen Einfluss auf die Messergebnisse haben können.

**Messmittel:** Jedes Messgerät hat eine Genauigkeitsklasse, die einbezogen werden muss. Auch haben Bauteile eine bestimmte Fertigungstoleranz, die die Messung beeinflussen kann. Minimiert werden solche Fehler durch sachgemäße Handhabung, Wartung der Geräte und Bauteile sowie Verwendung von hochwertigen Bauteilen.

**Experimentator:** Die Person, die das Experiment durchführt kann Fehler begehen. Das beginnt bei Ablesefehlern am Messgerät oder Ungenauigkeit beim Auslösen von Zeitmessungen. Minimiert werden solche Fehler durch gute Vorbereitung, gute Verfassung der Experimentatoren und eine ordentliche Arbeitsumgebung.

**Nicht-idealer Stromverlauf:** In einem realen Stromkreis kann es zu Abweichungen vom idealen Stromverlauf kommen. Dadurch kann es zu ungenauen Messungen der Stromstärke kommen.

**Temperaturänderungen:** Eine Änderung der Umgebungstemperatur kann die Eigenschaften von Widerständen beeinflussen und sich daher auf die Messwerte auswirken. Konstante Temperaturbedingungen sind daher notwendig um solche Fehler klein zu halten.