

## Versuchsprotokolle

---

Versuch 003

### Strom- und Spannungsmessung

#### Aufgaben

1. Bestimmen der Innenwiderstände von Vielfachmessern in Spannungs- und Strommessbereichen.
2. Untersuchen der Abhängigkeit von Messergebnissen mit Volt- und Amperemeter und die durch die Innenwiderstände der Messgeräte hervorgerufenen Abweichungen und Ermittlung der Leerlaufspannung bzw. des Kurzschlussstroms.
3. Bestimmen eines Festwiderstandes mit Hilfe verschiedener Messmethoden (siehe Grundlagen)

#### Grundlagen

##### Das Ohmsche Gesetz

Fließt durch einen normalen, nicht supraleitenden Leiter ein Strom, so werden die bewegten Ladungen auf Grund ihrer Wechselwirkungen mit den Elektronen im Metallgitter des Leiters gebremst und wandeln ihre Energie zum Teil in Wärme um. Dabei kommt es zu einem elektrischen Potentialunterschied über dem Leiterstück bzw. dem Bauteil. Man drückt dies in der physikalischen Einheit „*elektrischen Widerstand*“ aus:

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

In komplexeren Schaltungen berechnet sich der Widerstand  $R$  aus  $U$  und  $I$ , welche durch die Kirchhoffschen Gesetze beschrieben (siehe: *Protokoll zum Versuch 002*) sind.

##### Die Spannungsquelle

Eine Spannungsquelle ist ein Bauteil, welches durch Ladungstrennung (in welcher Art und Weise dies auch geschieht) eine Spannung  $U_0$  dem Abnehmer (Nutzer) bereit stellt. Durch diese Spannung kann, falls eine Stromkreis angeschlossen wird, einen Ausgleichsstromfluss hervorrufen. Dieser berechnet sich zu:

$$I = \frac{U_0}{R}, \text{ wobei } R \text{ den elektrischen Gesamtwiderstand der Schaltung angibt.}$$

Die ideale Spannungsquelle liefert immer und unter jeder Belastung eine Spannung  $U_0$ . Weiterhin kann aus der Gleichung abgeleitet werden, dass man es zwei Extremfälle  $R = \infty \Omega$  (Leerlauf) oder  $R = 0 \Omega$  (Volllast oder Kurzschluss) gibt. Für den Leerlauf ergibt sich: es fließt kein Strom, da der Stromkreis nicht geschlossen ist und damit ist die Spannung  $U_0$  maximal, beim Kurzschluss geht  $I$  gegen  $\infty A$ .

Man nennt auf Grund der Eigenschaft einer Spannungsquelle, Spannung bereit zustellen, diese auch „aktiver Dipol“.

Bei realen Spannungsquellen allerdings kommt es dazu, dass diese einen gewissen Innenwiderstand  $R_i$  besitzen. Daraus ergibt sich, dass bei einem Stromfluss über diesem Innenwiderstand  $R_i$  eine Spannung  $U_i$  abfällt. Diese ist nach  $U_i = I_i \cdot R_i$  proportional zum fließenden Strom. Daraus aber folgt, dass die Spannung des realen aktiven Dipols bei zunehmender Belastung zusammenbricht.

Ist der Stromkreis geschlossen und durch einen Widerstand  $R_s$  charakterisiert, dann berechnet sich der Gesamtwiderstand zu:

$$R_{Ges} = R_i + R_s = \frac{U_i + U_s}{I} = \frac{U_i}{I} + \frac{U_s}{I}$$

Damit folgt, dass es eine konkrete Kurzschlussspannung existiert, welche nur über  $R_i$  fließt:  $I_K = \frac{U_0}{R_i}$ . Und für

die Leerlaufspannung gilt:  $U_0 = U_i + U_s = I \cdot R_{Ges} = I \cdot (R_i + R_s)$

ABB I.1 (siehe nächste Seite) zeigt das Schaltbild einer realen Spannungsquelle als gedachte Kombination aus Innenwiderstand  $R_i$  und einer idealen Spannungsquelle.

## Versuchsprotokolle

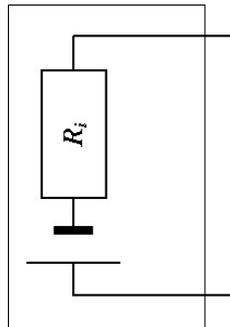


ABB. I.1: Schaltbild einer realen Spannungsquelle

### Das Messgerät

Eine anliegende Spannung wird mit einem *Voltmeter* parallel zur fraglichen Teilschaltung bestimmt. Idealisiert besitzt der Spannungsmesser einen unendlichen großen Widerstand, da ein Stromfluss durch diesen bewirkt, dass die Messwerte (z.B. der elektrische Widerstand) an der Baugruppe nicht exakt wieder gespiegelt werden.

Tatsächlich aber basiert die Funktionsweise der meisten Voltmeter darauf (sofern es nicht mittels statischer Energie arbeitet), dass ein kleiner Strom durch das Gerät fließen muss. In den zu verwendenden Geräten wird eine in einem Magnetfeld mit einer Rücktreibfeder drehbar gelagerte Spule stromdurchflossen und lässt durch die resultierende Kraft  $F_L$ - $F_D$  den Zeiger ausschlagen.

Als gedankliche Stütze aber können wir den Voltmeter als eine parallele Schaltung eines idealen Voltmeters und eines definierten inneren Widerstandes ansehen, an dem der Spannungsabfall abgelesen wird. (siehe ABB. I.2).

Da die Nadel nur in einem gewissen Messbereich ausschlagen kann, muss statt einer inneren Veränderung (Magnetfeld, Spule oder Rücktreibfeder) der innere Widerstand verkleinert oder vergrößert werden, bzw. teilungsrichtige Widerstände  $R_{iv}$  in Reihe davor geschaltet werden.. Ergo: Der innere Widerstand ist abhängig vom Messbereich.

Eine Ladungsverschiebung (Stromfluss) wird mit einem *Amperemeter* delektiert. Das ideale Amperemeter besitze keinen inneren Widerstand, da sonst der Strom, der durch das Messgerät fließen soll, im Fluss „gehindert“ wird.

Tatsächlich aber besitzt das analoge Amperemeter auf Grund der Messbereiche einen solchen, da man das reale Amperemeter auf das ideale Voltmeter zurück führen kann, in dem man von einem bekannten Widerstand die abfallende Spannung über einem wohlbekannten elektrischen Widerstand gemessen wird und man somit auf den Stromfluss zurück schlussfolgern kann (siehe ABB. I.3.A und I.3.B).

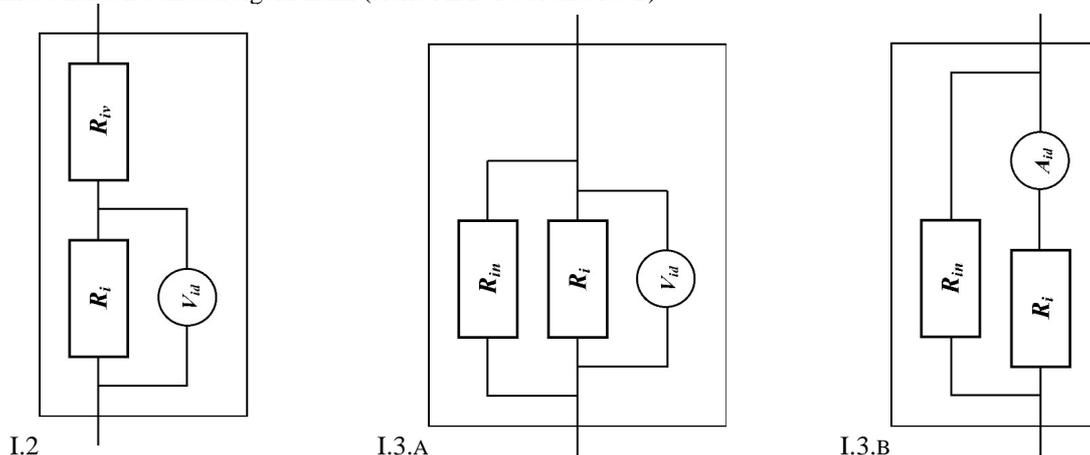


ABB. I.2: Ersatzschaltbild eines Voltmeters,

ABB. I.3.A: und I.3.B: Ersatzschaltbild eines Amperemeters mittels a) eines Voltmeters und b) eines idealen Amperemeters mit Messbereich.

### Messung des Widerstandes mit analogen Volt- und Amperemeter

Auf Grund der Tatsache, dass Amperemeter und Voltmeter einen Innenwiderstand besitzen gibt es zur Bestimmung des Widerstandes eines Bauteils zwei Möglichkeiten der Messung: stromrichtig (d.h. die Stromstärke wird richtig, der Spannung aber durch das Amperemeter verfälscht gemessen) oder spannungsrichtig (Spannung korrekt, Stromstärke durch Voltmeter verfälscht): Schaltpläne ABB I.4.A & B.

## Versuchsprotokolle

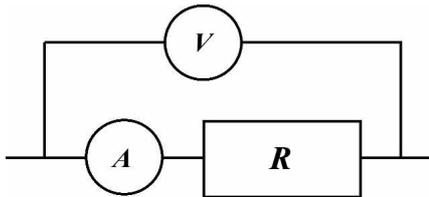


ABB. I.4.A: Stromrichtige Messanordnung

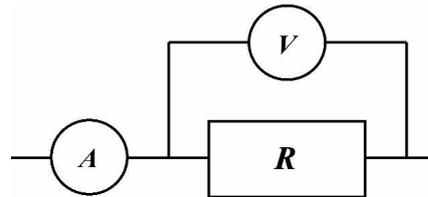
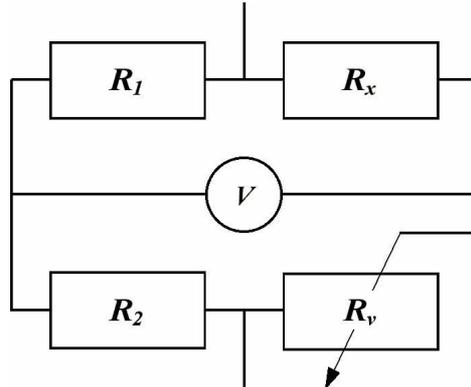


ABB. I.4.B: Spannungsrichtige Messanordnung

### Die Wheatstonsche Brücke

Eine weitere Möglichkeit, einen Widerstand zu messen, ohne auf Spannungs- oder Stromrichtigkeit achten zu müssen bietet die Wheatstonsche Brücke, bei der ein unbekannter Widerstand mittels eines variablen Widerstandes zu zwei bekannten Widerständen abgeglichen wird, so dass die Verhältnisse der jeweiligen paarweisen Widerstände gleich sind.

ABB. I.5: Schaltbild einer Wheatstonschen Brücke mit dem zu bestimmenden Widerstand  $R_x$ .

### **Versuchsdurchführung**

Versuchsteil I: Innenwiderstände in Messgeräten

#### Versuchsobjekt:

Voltmeter, Amperemeter, Stromquellen Q1 und Q2

#### Schaltungsskizze:

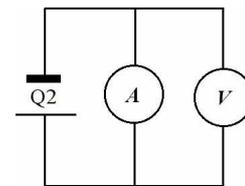
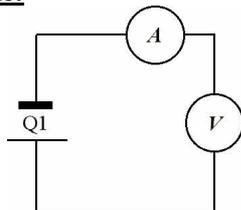


ABB. II.1.A: Bestimmung des Innenwiderstandes des Voltmeters...ABB. II.1.B: ...und des Amperemeters

#### Mögliche systematischen Fehler:

Es wurde keine Eichung der Geräte vor dem Versuch vorgenommen, daher könnten die Geräte systematisch falsche Werte anzeigen.

#### Zu erwartendes Ergebnis:

Aus  $R = \frac{U}{I}$  folgt  $R_i = \frac{U}{I}$ .

#### Versuchsablauf:

- Aufbau der Schaltung und Austarieren des zu vermessenden Instruments auf Vollausschlag
- Messen der Stromstärke und der Spannung

#### Fehlerrechnung:

$$\Delta R = \left| \frac{\partial R}{\partial U} \right| \cdot \Delta U + \left| \frac{\partial R}{\partial I} \right| \cdot \Delta I = \left| \frac{\Delta U}{I} \right| + \left| \frac{U}{I^2} \right| \cdot \Delta I$$

**Versuchsprotokolle**

Versuchsteil II: Bestimmung der Innenwiderstände der Stromquellen Q1 und Q2

**Versuchsobjekt:**

Voltmeter, Amperemeter, Dekadenwiderstand  $R_{dec}$ , Stromquellen Q1 und Q2

**Schaltungsskizze:**

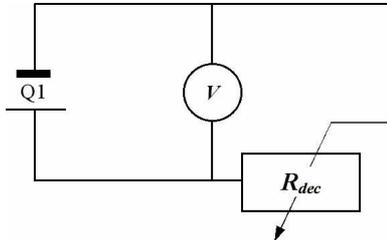


ABB. II.1.A: Bestimmung des Innenwiderstandes von Q1...

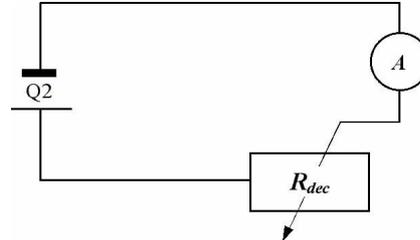


ABB. II.1.B: ...von Q2

**Mögliche systematischen Fehler:**

→ siehe: Versuchsteil I.

**Zu erwartendes Ergebnis:**

Aus  $R = \frac{U}{I}$  folgt:

a) gesucht:  $U_L, R_{Q1}$

$$U_L - U_{Q1} = U_{dec} = U$$

Das heißt, die Spannungsquelle liefert eine konstante Spannung  $U_L$ , welche aber bei einem Stromfluss  $I$  über dem inneren Widerstand  $R_{Q1}$  um  $U_{Q1}$  abfällt. Aus dem zweiten Kirchhoffschen Gesetz folgt: Die Spannungen  $U, U_{dec}$  und  $U_L - U_{Q1}$  sind gleich.

So gilt:

$$\frac{1}{\frac{1}{R_i} + \frac{1}{R_{dec}}} = R_{Ges}$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{R_i} + \frac{1}{R_{dec}}} \cdot I = U_L - R_{Q1} \cdot I$$

$$U_L = U \cdot \left[ 1 + R_{Q1} \cdot \left( \frac{1}{R_i} + \frac{1}{R_{dec}} \right) \right]$$

Es ergibt sich also eine Gleichung mit zwei Unbekannten, welche durch zwei unterschiedliche  $R_{dec}$  eindeutig bestimmbar ist.

$$R_{Q1} = - \frac{U_1 - U_2}{\frac{U_1}{R_{dec1}} - \frac{U_2}{R_{dec2}} + \frac{U_1 - U_2}{R_i}}$$

**Versuchsablauf:**

- Aufbau der Schaltung
- Tarieren des Messinstruments aus Vollausschlag bei  $R_{dec} = \infty \Omega$  (Leerlauf, Bestimmung von  $R_{Q1}$ ) und  $R_{dec} = 0 \Omega$  (Kurzschluss, Bestimmung von  $R_{Q2}$ )
- Schrittweise Herab-, bzw. Heraufregeln des Widerstandes, Aufnehmen der Messwertpaare

b) gesucht:  $I_K, R_{Q2}$

$$U_L - U_{Q2} = U_{dec} + R_i \cdot I$$

Das heißt, der Strom wird von der Quellspezifischen Leerlaufspannung  $U_L$  angetrieben und bestimmt sich über die angeschlossene Last. Mit der Lösung der folgenden Gleichung gelangen wir also zu  $U_L$  und damit zu  $R_{Q2}$ :

$$U_L = (R_{dec} + R_i + R_{Q2}) \cdot I$$

Wir wissen, dass unter einer Vollast ( $R_{dec} + R_i = 0 \Omega$ ) wird die Kurzschlussstromstärke nur noch über  $R_{Q2}$  bestimmt, also gilt:

$$U_L = R_{Q2} \cdot I_K$$

$$I_K = \left( \frac{R_{dec} + R_i}{R_{Q2}} + 1 \right) \cdot I$$

wobei:

$$R_{Q2} = \frac{(R_{dec1} + R_i) \cdot I_1 - (R_{dec2} + R_i) \cdot I_2}{I_1 - I_2}$$

**Versuchsprotokolle**

**Fehlerrechnung:**

für a) gilt:

(unter der Annahme, dass  $\Delta R_i$  für die Rechnung vernachlässigbar klein sei)

$$\Delta U_L = \left| 1 + \frac{R_{Q1}}{R_i} + \frac{R_{Q1}}{R_{dec}} \right| \cdot \Delta U + \left| \frac{U}{R_i} + \frac{U}{R_{dec}} \right| \cdot \Delta R_{Q1}$$

mit:

$$\Delta U = \pm \left( \frac{1}{2} i_{skala} + U \cdot \text{Gerätetoleranz} \right)$$

$$\Delta R_{Q1} = \frac{(\Delta U_1 + \Delta U_2) \cdot \left( \frac{U_1}{R_{dec1}} - \frac{U_2}{R_{dec2}} + \frac{U_1 - U_2}{R_i} \right) - \Delta U_1 \left( \frac{1}{R_{dec1}} + \frac{1}{R_i} \right) - \Delta U_2 \left( \frac{1}{R_{dec2}} + \frac{1}{R_i} \right)}{\left| \frac{U_1}{R_{dec1}} - \frac{U_2}{R_{dec2}} + \frac{U_1 - U_2}{R_i} \right|^2}$$

für b) gilt:

$$\Delta I_K = \left| 1 + \frac{R_{dec} + R_i}{R_{Q2}} \right| \cdot \Delta I + \left| \frac{I \cdot (R_{dec} + R_i)}{R_{Q2}^2} \right| \cdot \Delta R_{Q2} + \left| \frac{I}{R_{Q2}} \right| \cdot \Delta R_i$$

mit:

$$\Delta I = \pm \left( \frac{1}{2} i_{skala} \cdot \text{Messbereich} + I \cdot \text{Gerätetoleranz} \right)$$

$$\Delta R_{Q2} = \left| \frac{(R_{dec1} - R_{dec2}) \cdot I_2}{(I_1 - I_2)^2} \right| \cdot \Delta I_1 + \left| \frac{(R_{dec1} - R_{dec2}) \cdot I_1}{(I_1 - I_2)^2} \right| \cdot \Delta I_2 + \Delta R_i$$

$i_{skala}$  sei hierbei der Wert zwischen zwei Skaleneinteilungen.

**Versuchsteil III: Bestimmung eines unbekannten Widerstandes**

**Versuchsobjekt:**

Stromquelle, Voltmeter, Amperemeter, Multimeter, Dekadenwiderstand  $R_{dec}$ , Spannungsteiler  $R_1$  und  $R_2$ , unbekannter Widerstand  $R_x$ .

**Schaltungsskizze:**

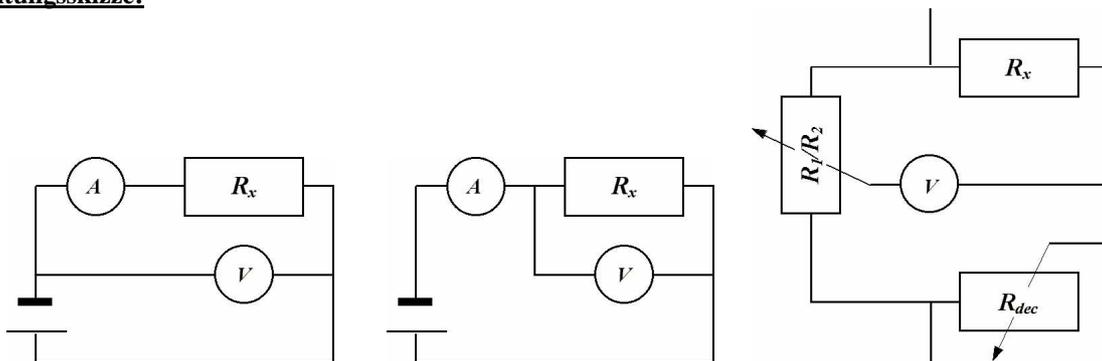


ABB. II.2.A: Stromrichtige und ABB. II.2.B: spannungsrichtige Messung der ABB. II.2.C: Wheatstoneschen Messbrücke gegenübergestellt.

**Mögliche systematische Fehler:**

→ siehe: Versuchsteil I

Spannungs- und stromrichtige Messung führen zu systematischen Fehlern (siehe: Fehlerkorrektur)

**Versuchsprotokolle**

**Versuchsablauf:**

- Aufbau der Versuchsanordnung 1 und 2
- Stromrichtige Messung
- Spannungsrichtige Messung
- Aufbau der Wheatstonschen Brücke
- Messung von  $R_x$  mittels der Brücke
- Messung von  $R_x$  mittels des Multimeters

**Fehlerrechnung:**

für die direkte Messung über  $U$  und  $I$  gilt:

$$\Delta R = \left| \frac{\partial R}{\partial U} \right| \cdot \Delta U + \left| \frac{\partial R}{\partial I} \right| \cdot \Delta I = \left| \frac{\Delta U}{I} \right| + \left| \frac{U}{I^2} \right| \cdot \Delta I$$

für die Messung mittels Wheatstonescher Brücke gilt:

$$\Delta R = \Delta \frac{R_1}{R_2} \cdot R_{dec} = \Delta \frac{R_1}{1000 - R_1} \cdot R_{dec} = \Delta R_1 \cdot \frac{1000}{(1000 - R_1)^2} \cdot R_{dec}$$

für die Messung mittels Multimeters gilt die Messtoleranz des Multimeters.

**Fehlerkorrektur:**

Die Korrektur der Messergebnisse in den Teilversuchen a und b weisen systematische Fehler auf: in a wird die Stromstärke richtig und die Spannung falsch, in b Spannung richtig und Stromstärke verfälscht gemessen. Die Fehler entstehen auf Grund des inneren Widerstandes des mitgemessenen Instruments.

Die Korrekturformeln sehen daher folgender Maßen aus:

für Teilversuch a gilt:

$$R = R_{Amp} + R_x$$

$$\frac{U}{I} = R_{Amp} + R_x$$

$$R_x = R - R_{Amp}$$

für Teilversuch b gilt:

$$I = I_{Vmt} + I_x$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_{Vmt}} + \frac{1}{R_x}$$

$$R_x = \frac{1}{\frac{1}{R} - \frac{1}{R_{Vmt}}}$$

**Messwerte**

Versuchsteil I: Innenwiderstände in Messgeräten

	Voltmeter	Amperemeter
Messbereich:	2,5 V	1 mA
$U_{in V}$	2,5	0,2
$I_{in A}$	0,049	0,001
$R_{i in \Omega}$	51.020,41	200
	$\pm 4,60 \Omega$	$\pm 21 \Omega$

Versuchsteil II: Bestimmung der Innenwiderstände der Stromquellen Q1 und Q2

	$R_{dec}$	$R_i$	U	$R_{ges}$	$1/R_{ges}$	$1/U$
a)	100000	51020,408	2,125	33783,7837	0,0000296	0,47058824
	50000	51020,408	1,875	25252,5252	0,0000396	0,53333333
	25000	51020,408	1,5	16778,5235	0,0000596	0,66666667
	10000	51020,408	0,95	8361,20401	0,0001196	1,05263158
	5000	51020,408	0,575	4553,73406	0,0002196	1,73913043
	500	51020,408	0,075	495,147554	0,0020196	13,3333333
	0	51020,408	0	0	0	$\infty$

Mit  $R_{dec1}=10.000 \Omega$  und  $R_{dec2}=100.000 \Omega$  ergibt sich ein Widerstand von  $R_{Q1}=23.166,4 \Omega \pm 1.895,2 \Omega$  und damit eine Leerlaufspannung  $U_L=3,58 V \pm 0,36 V$ . (Die Werte wurden nach der kleinsten Abweichung für  $U_L$  gewählt.)

**Versuchsprotokolle**

	$R_{dec}$	$R_i$	$I$	$R_{ges}$	$1/R_{ges}$	$1/I$	
b)		0	200	0,001	200	0,005	1000
		5	200	0,00098	205	0,00488	1020,41
		50	200	0,00087	250	0,004	1149,43
		100	200	0,00078	300	0,00333	1282,05
		500	200	0,00042	700	0,00143	2380,95
		1000	200	0,00027	1200	0,00083	3703,7
		10000	200	0,00004	10200	0,0001	25000

Mit  $R_{dec1}=1.000 \Omega$  und  $R_{dec2}=5 \Omega$  ergibt sich ein Widerstand von  $R_{QI}=173,38 \Omega \pm 0,36 \Omega$  und ein Kurzschlussstrom  $I_K= 2,14 \text{ mA} \pm 0,77 \text{ V}$ . ( $\rightarrow$  siehe auch ABB. III.1.A und III.1.B)

**Versuchsteil III: Bestimmung eines unbekannten Widerstandes**

	U	I	R	Fehler:	Mit $R_i$
a) I-richtig	11,5	0,037	310,810811	$\pm 20,28 \Omega$	306,891
b) U-richtig	13,5	0,044	306,818182	$\pm 18,37 \Omega$	306,6336
c)			307	$\pm 1,228 \Omega$	
d)			307		

Im Teilversuch a) und b) wurden die Messbereiche verändert. Wurde mit der Korrekturformel a zurück gerechnet, wobei (innere Parallelschaltung im Amperemeter) angenommen wurde.

$$R_i' = \frac{1}{\frac{49}{50} + \frac{1}{50}} R_i$$

$R_i' = 10 \cdot R_i$  dagegen ist die Grundlage zur Berechnung bei b (innere Reihenschaltung im Voltmeter).

Im Teilversuch c (Wheatstonsche Brücke) nutzen wir ein Teilverhältnis von 1:1 (Einstellung 500) und stellten den Dekadenwiderstand auf 307  $\Omega$ . Am Wendepotentiometer konnten wir um  $\pm 1$  verstellen, ohne dass sich dies auf die Brückenschaltung auswirkte.

**Auswertung**

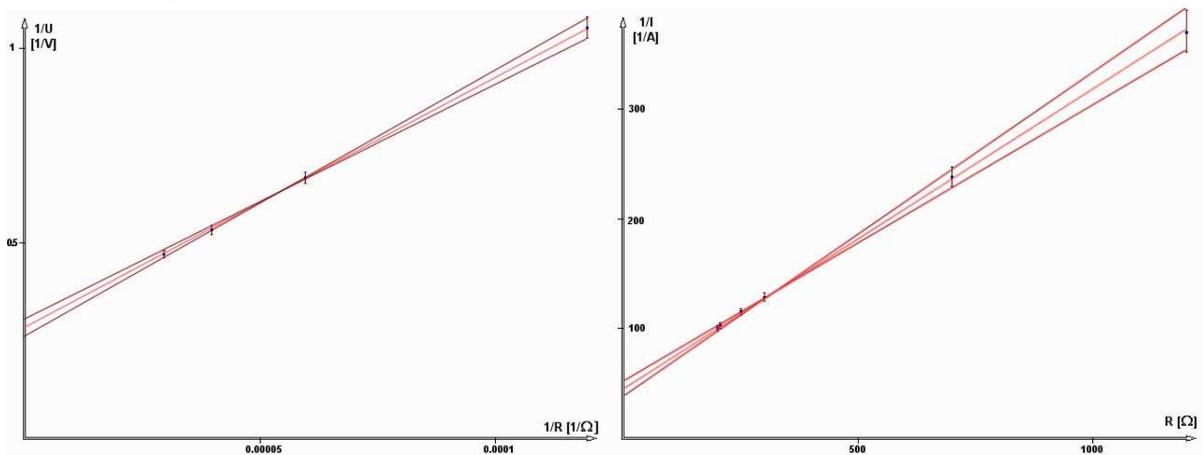


ABB. III.1.A und B: Graphische Darstellung der Versuche des II. Versuchsteils. Zur besseren Ablesbarkeit wurden die letzten zwei Messwerte aus dem Diagramm entfernt. Man sieht: die theoretischen Vorhersagen werden bestätigt.

**Diskussion**

Die Versuche bestätigten sich durch Redundanzmessungen und die Herstellerangaben. Die während der Versuche aufgeworfene Frage, wann man welches Messverfahren zu verwenden habe, ist nach den Erkenntnissen der Vorbereitung und Auswertung folglich zu beantworten: bei hohem Strom stromrichtig (kleiner  $R_i$  am Amperemeter) und bei hohen Spannungen spannungsrichtig (großes  $R_i$  im Voltmeter).  
 Noch eine Anmerkung zum Experiment: Während unseres ersten Teilversuches (I.1.b) versagte uns das Amperemeter den Dienst- wir mussten es durch ein baugleiches Gerät ersetzen. Dadurch ist ein systematischer Fehler, welcher sich durch  $R_{iV_{olt}}$  an jeder Stelle im Protokoll auftauchen könnte, möglich.  
 Die abgezeichneten Messwerte sind im Anhang zum Protokoll zu finden.

**Versuchsprotokolle**

Versuch 003

**Nachtrag/ Nachbesserung**

**Messwerte**

**Geräte:**

- Voltmeter (Genauigkeit:  $\pm$  ein halber Skalenwert; 1,5% Messtoleranz),
- Amperemeter (Genauigkeit:  $\pm$  ein halber Skalenwert; 1,5% Messtoleranz),
- Dekadenwiderstand, Potentiometer, simulierte Stromquelle  $Q_1$  und  $Q_2$ , unbekannter Widerstand  $R_x$

Versuchsteil I: Innenwiderstände in Messgeräten

	Voltmeter	Amperemeter
Messbereich:	2,5 V	1 mA
$U_{in V}$	2,5	0,2
$I_{in A}$	0,049	0,001

Versuchsteil II: Bestimmung der Innenwiderstände der Stromquellen  $Q_1$  und  $Q_2$

	$R_{dec}$	U
a)	100000	2,125
	50000	1,875
	25000	1,5
	10000	0,95
	5000	0,575
	500	0,075
	0	0

	$R_{dec}$	I
b)	0	0,001
	5	0,00098
	50	0,00087
	100	0,00078
	500	0,00042
	1000	0,00027
	10000	0,00004

Versuchsteil III: Bestimmung eines unbekanntes Widerstandes

	U in V	I in A	R in $\Omega$
a) I-richtig	11,5	0,037	-
b) U-richtig	13,5	0,044	-
c)			307 $\Omega$
d)			307 $\Omega$

**Auswertung/ Ergebnisse**

Eingesetzt in die angeführten Formeln zum Sachverhalt und zur Fehlerrechnung ergibt sich:

Versuchsteil I: Innenwiderstände in Messgeräten

	Voltmeter	Amperemeter
Messbereich:	2,5 V	1 mA
$U_{in V}$	2,5	0,2
$I_{in A}$	0,049	0,001
$R_i$ in $\Omega$	51.020,4 $\pm$ 4,6 $\Omega$	200 $\pm$ 6 $\Omega$
Herstellerangabe:	>48.543,68 $\Omega$	< 350 $\Omega$

Versuchsteil II: Bestimmung der Innenwiderstände der Stromquellen  $Q_1$  und  $Q_2$

Bei Versuchsteil A (Bestimmung bei  $Q_1$ ) ergibt sich mit  $R_{dec1}=10.000 \Omega$  und  $R_{dec2}=100.000 \Omega$  nach der oben angeführten Formel ein Widerstand von

$$R_{Q1} = 23.166,4 \Omega \pm 1.895,2 \Omega$$

und damit eine Leerlaufspannung

$$U_L = 3,58 V \pm 0,36 V.$$

**Versuchsprotokolle**

Im Versuchsteil B (Spezifizierung an Q<sub>2</sub>) ergibt sich beim Messwertpaar  $R_{dec1}=1.000 \Omega$  und  $R_{dec2}=5 \Omega$  ein Widerstand von

$$R_{Q1}=173,38 \Omega \pm 0,36 \Omega$$

und ein Kurzschlussstrom

$$I_K= 2,14 \text{ mA} \pm 0,77 \text{ mA}.$$

(Die Werte wurden nach der kleinsten Abweichung für  $U_L$  bzw.  $I_K$  gewählt.

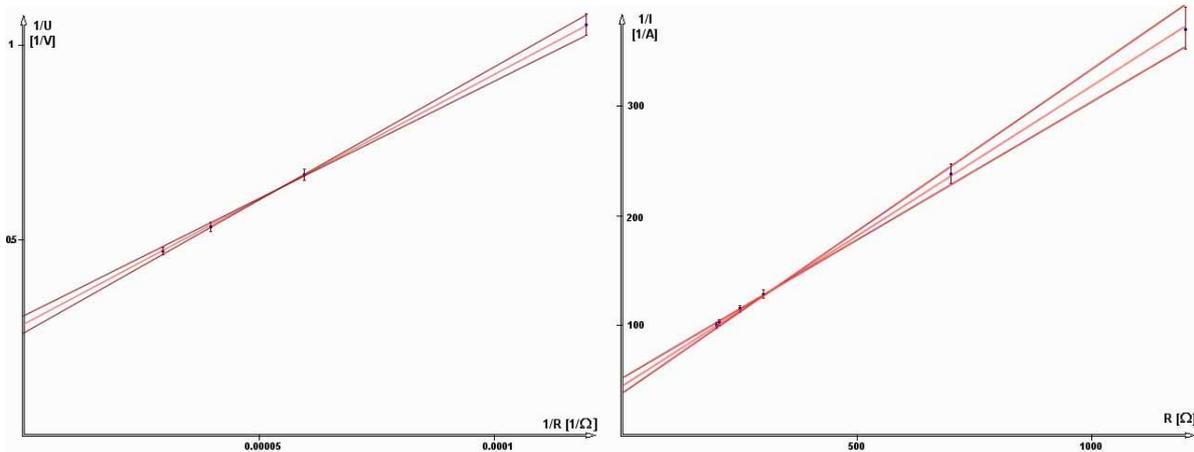


ABB. III.1.A und B: Graphische Darstellung der Versuche des II. Versuchsteils. Zur besseren Ablesbarkeit wurden die letzten zwei Messwerte aus dem Diagramm entfernt. Man sieht: die theoretischen Vorhersagen werden bestätigt.

**Versuchsteil III: Bestimmung eines unbekannten Widerstandes**

Im Teilversuch a) und b) wurden die Messbereiche verändert (Voltmeter: 25 V, Amperemeter: 50 mA). Damit verändern sich selbstverständlich auch die Innenwiderstände der Geräte. Auf Grund unseres Wissens über den Aufbau eines Amperemeters verhält sich der neue Innenwiderstand  $R_i'$

$$R_i' = \frac{1}{\frac{49}{50} + \frac{1}{50}} R_i$$

Der Innenwiderstand des Voltmeters hingegen wird durch einen Serienschaltung von inneren Widerständen bestimmt:

$$R_i' = 10 \cdot R_i$$

Im Teilversuch c) (Wheatstonsche Brücke) nutzen wir ein Teilverhältnis von 1:1 (Einstellung 500) und stellten den Dekadenwiderstand auf 307  $\Omega$ . Am Wendepotentiometer konnten wir um  $\pm 1 \Omega$  verstellen, ohne dass sich dies auf die Brückenschaltung auswirkte.

	$U$	$I$	$R$	Mit $R_i$ (Fehlerkorrektur)
a) I-richtig	11,5	0,037	$310,81 \pm 20,28 \Omega$	$306,89 \pm 20,28 \Omega$
b) U-richtig	13,5	0,044	$306,81 \pm 18,37 \Omega$	$306,63 \pm 18,37 \Omega$
c)			$307 \pm 1,22 \Omega$	
d)			$307 \Omega$	

**Diskussion**

Die Versuche bestätigten sich durch Redundanzmessungen und die Herstellerangaben.

Die während der Versuche aufgeworfene Frage, wann man welches Messverfahren zu verwenden habe, ist nach den Erkenntnissen der Vorbereitung und Auswertung folglich zu beantworten: bei hohem Strom relativ zur Spannung stromrichtig (kleiner  $R_i$  am Amperemeter) und bei hohen Spannungen spannungsrichtig (großes  $R_i$  im Voltmeter).

Noch eine Anmerkung zum Experiment: Während unseres ersten Teilversuches (I.1.b) versagte uns das Amperemeter den Dienst- wir mussten es durch ein baugleiches Gerät ersetzen. Dadurch ist ein systematischer Fehler, welcher sich durch  $R_{iVolt}$  an jeder Stelle im Protokoll auftauchen könnte, möglich.