

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Ziel des Versuchs</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Aufbau und Durchführung</b>	<b>1</b>
<b>3</b>	<b>Auswertung</b>	<b>2</b>
3.1	Technischer Widerstand . . . . .	2
3.2	Glühlampe . . . . .	4
3.3	Leuchtdiode . . . . .	7
3.4	Blackbox . . . . .	10
<b>4</b>	<b>Diskussion</b>	<b>12</b>
4.1	Technischer Widerstand . . . . .	12
4.2	Glühbirne . . . . .	12
4.3	LED . . . . .	13
4.4	Blackbox . . . . .	13
4.5	Fehlerquellen . . . . .	14
4.6	Verbesserungsmöglichkeiten . . . . .	14
<b>A</b>	<b>Anhang</b>	<b>15</b>
A.1	Rohdaten . . . . .	15

## 1 Ziel des Versuchs

Das Ziel dieses Versuches ist es für einen technischen Widerstand, eine Glühbirne und eine Leuchtdiode die Strom-Spannungs-Kennlinien zu bestimmen. Anschließend soll von einem unbekanntem elektrischen Bauteil die Strom-Spannungs-Kennlinie erstellt werden und daraus die elektrischen Eigenschaften des Bauteils abgelesen werden.

## 2 Aufbau und Durchführung

Aus einem Steckbrett, zwei Multimetern, einer Spannungsquelle, Verbindungsbrücken und den vier zu untersuchenden Bauteilen wurden Schaltkreise zur Bestimmung von Stromstärke und Spannung aufgebaut. Ein Beispiel für die Messung der Glühbirne ist in Abb. 1 dargestellt. Zunächst wurde mithilfe eines digitalen Multimeters der Widerstand der einzelnen Bauteile grob bestimmt, um zu entscheiden ob eine spannungsrichtige oder eine stromrichtige Schaltung verwendet wird. In Abb. 2 sind beide skizziert. Da die Widerstände der drei bekannten Bauteile alle bedeutend kleiner als die angegebenen  $10^6\Omega$  des Voltmeters waren wurden die Messungen für die bekannten Bauteile mit einer spannungsrichtigen Schaltung durchgeführt. Dazu wurde auf einem Steckbrett das zu untersuchende Bauteil montiert. Anschließend wurde ein PIERRON UT51 Multimeter parallel zum Bauteil geschaltet und ein UNI-T UT51 Multimeter vor das Bauteil in Reihe geschaltet. Zum Schluss wurde eine elektrische Spannungsquelle mit Kabeln an den Anfang und das Ende der Schaltung angeschlossen. Bei der LED wurde zusätzlich noch ein  $220\Omega/1W$  Widerstand vorgeschaltet. Im Falle der Blackbox ergab die grobe Messung des Widerstandes einen sehr hohen Wert. Daher wurde für die Blackbox die Schaltung auf dem Schaltbrett zu einer stromechten Schaltung umgebaut. Aus diesen Schaltungen wurde nun für jedes Bauteil die Spannung und der Strom bei steigender Spannung gemessen und protokolliert.

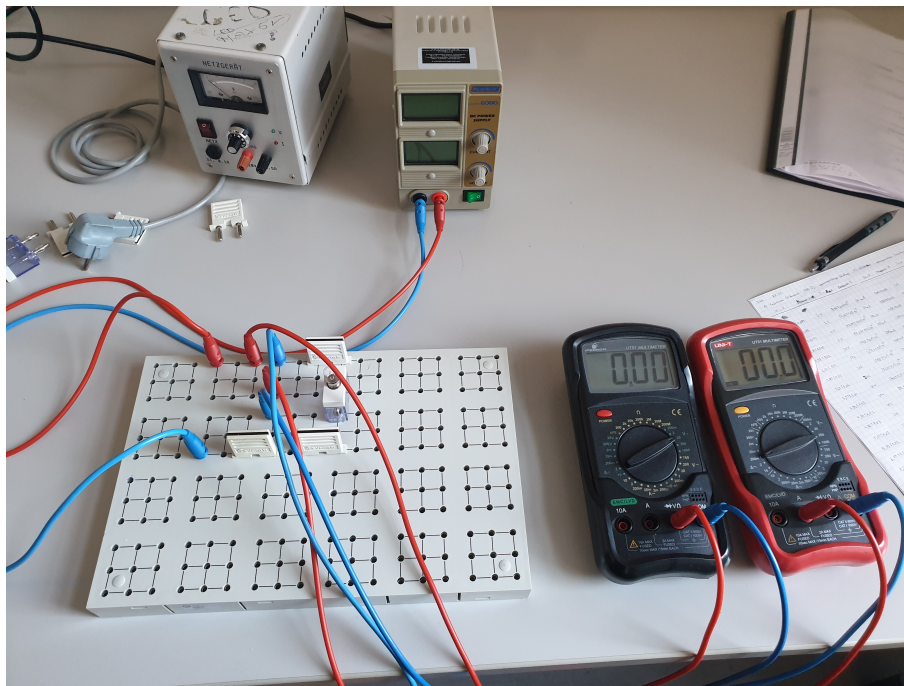


Abbildung 1: Beispiel Versuchsaufbau für die Messung der Stromstärke einer Glühbirne

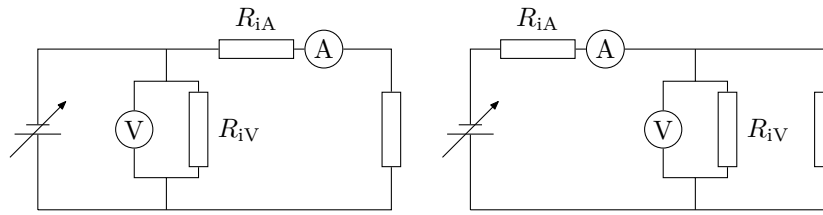


Abbildung 2: Skizze der Schaltpläne. Die linke Schaltung ist stromrichtig, die rechte ist spannungsrichtig.

### 3 Auswertung

#### 3.1 Technischer Widerstand

Für den technischen Widerstand wurden 17 Messwerte bei steigender Spannung aufgenommen.

Für die Spannung  $U$  und die Stromstärke  $I$  ergeben sich die Unsicherheiten  $s_U$  und  $s_I$  aus dem internen Messfehler der Multimeter  $s_{\text{intern}}$  und aus dem Ablesefehler der angezeigten Werte  $s_{\text{ablese}}$ , der bei jeder Messung auf Basis der Schwankung der angezeigten Werte geschätzt wurde.

Beispielsweise ergibt sich der interne Messfehler für einen Messwert  $U_{\text{mess}}$  durch

$$s_{U,\text{intern}} = (U_{\text{mess}} \cdot \%_{\text{intern}} + n \cdot \text{dig}),$$

wobei  $\%_{\text{intern}}$  und  $n$  sich für unterschiedliche Messbereiche unterscheiden und vom Hersteller angegeben sind. Für  $I$  berechnet sich die interne Ungenauigkeit analog.

Der gesamte Fehler auf die Werte für  $U$  und  $I$  ergibt sich dann mit Gaußscher Fehlerfortpflanzung durch

$$s_U = \sqrt{(s_{\text{ablese}})^2 + (s_{\text{intern}})^2}. \quad (1)$$

Analog ergibt sich der Messfehler  $s_I$  der Stromstärke.

Mit dem ohmschen Gesetz gilt

$$R = \frac{U}{I}. \quad (2)$$

Da wir einen technischen Widerstand verwendet haben, erwarten wir mit Gleichung (2) für die Auftragung von  $I$  gegen  $U$  einen linearen Zusammenhang  $y = mx + c$  mit einem y-Achsenabschnitt von  $c = 0$  und einer Steigung von  $m = 1/R$ . Die Auftragung von  $I$  gegen  $U$  ist in Abb. 3 dargestellt.

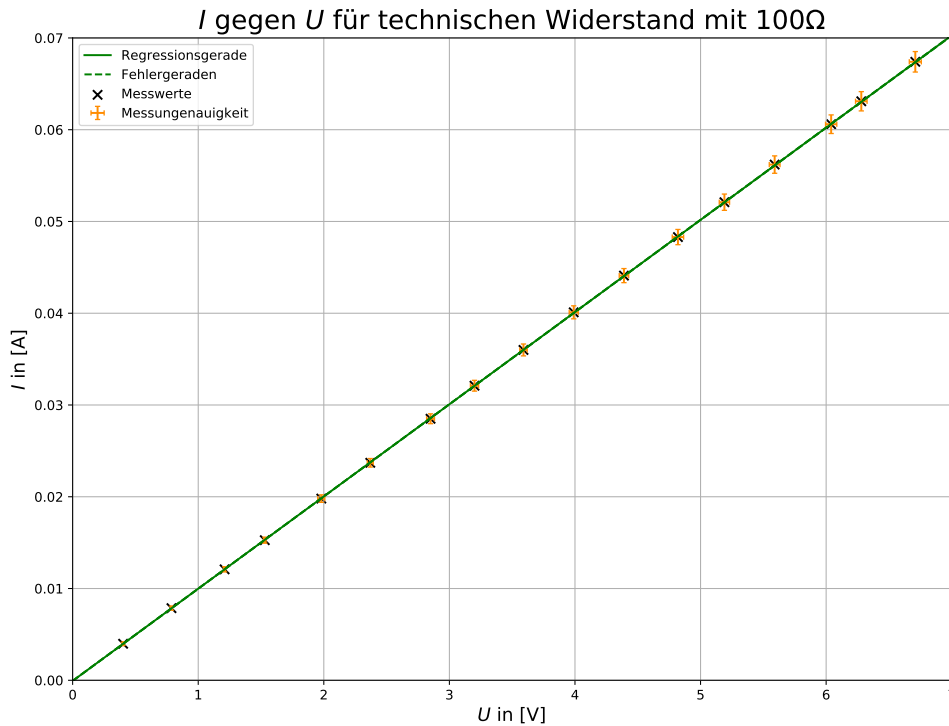


Abbildung 3: Auftragung des Stroms  $I$  gegen die Spannung  $U$  mit Mess- und Ablesefehlern bei einer spannungsrichtigen Schaltung mit einem Widerstand von  $R = 1.00 \cdot 10^2 \Omega$ . Mit `curve_fit` von `scipy.optimize` wurde durch  $\chi$ -Quadrat Minimierung eine gewichtete lineare Regression an  $y = m x + c$  durchgeführt. Die Regressionsgerade und Fehlergeraden sind auch eingezeichnet.

Die Regressionsgerade und die Fehlergeraden wurden mit einer gewichteten linearen Regression bestimmt. Es wurde eine gewichtete Regression gewählt, da die Unsicherheiten für verschiedene Messwerte unterschiedlich sind. Dazu wurde die `curve_fit` Funktion von `scipy.optimize` verwendet, die die Regression durch  $\chi$ -Quadrat Minimierung bestimmt. Für die Steigung  $m$  und den y-Achsenabschnitt  $c$  erhält man

$$m = (1.0048 \pm 0.0005) \cdot 10^{-2} \Omega^{-1}$$

$$c = (-7 \pm 1) \cdot 10^{-5} \text{ A}$$

Da für den Ohmschen Widerstand mit Gleichung (2)  $I = U/R$  gilt, ist der Widerstand der Kehrwert von  $m$ . Somit erhalten wir für den Bestwert

$$R_{\text{Best}} = \frac{1}{m} = 9.952 \cdot 10^1 \Omega$$

und durch Gaußsche Fehlerfortpflanzung für die Unsicherheit

$$s_R = \sqrt{\left(\frac{\partial R}{\partial m} s_m\right)^2} = \frac{s_m}{m^2} = 5 \cdot 10^{-2} \Omega.$$

Insgesamt erhalten wir also einen Widerstand von

$$R = (9.952 \pm 0.005) \cdot 10^1 \Omega$$

und einen relativen Fehler von

$$\frac{\Delta R}{R} = 0.052\%.$$

### 3.2 Glühlampe

In diesem Versuchsteil wurden der Strom  $I$  für verschiedene Spannungen  $U$  gemessen. Die Auftragung von  $I$  gegen  $U$  ist in Abb. 4 dargestellt.

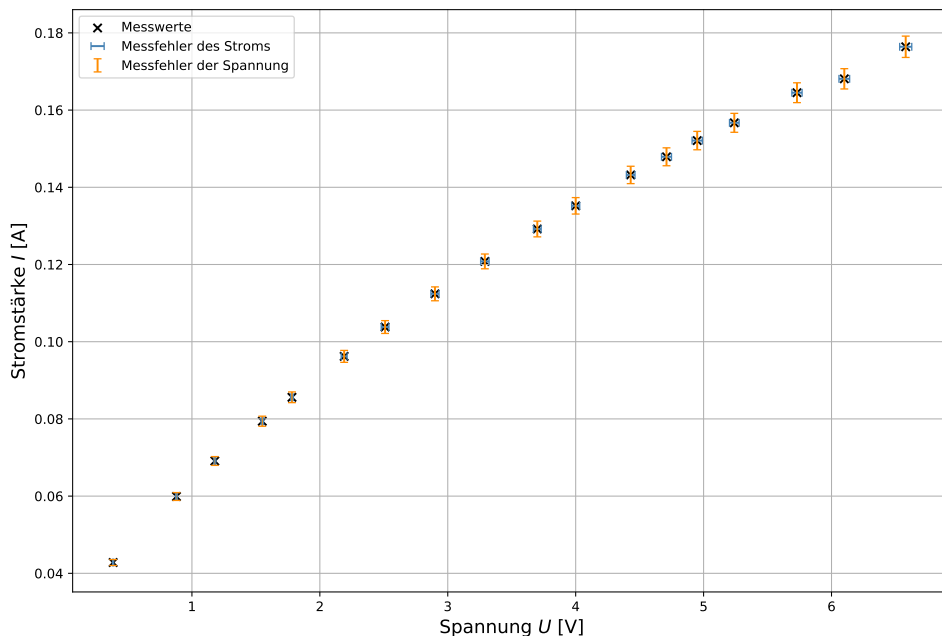


Abbildung 4: Kennlinie des Stroms  $I$  gegen die Spannung  $U$  für eine Glühlampe. Die aus den Messungenauigkeiten und Ablesefehlern stammenden Fehler sind auch eingetragen.

Dann wurde mithilfe von `curve_fit` von `scipy optimize`, das einen Fit durch  $\chi$ -Quadrat Minimierung mit Gewichtung durchführt, eine Anpassung an  $y = ax + bx^3$  durchführt. Die Daten zusammen mit der Anpassung sind in Abb. 5 zu sehen. Die Anpassung ist dabei die grüne Linie. Für die Parameter ergeben sich Bestwerte von

$$a = (4.7 \pm 0.3) \cdot 10^{-2} \Omega^{-1}$$

$$b = (-5.7 \pm 1.2) \cdot 10^{-4} \text{ A/V}^3.$$

Offensichtlich passt dieser Fit nicht sehr gut zur Kennlinie. Deswegen wurde eine weitere Anpassung durchgeführt, diesmal an eine Funktion der Form  $y = cx + dx^3 + e$ , die also Verschiebung entlang der y-Achse hat. Dieser Fit ist in der blauen Linie in Abb. 5 dargestellt.

Für die Parameter ergeben sich Bestwerte von

$$c = (2.87 \pm 0.06) \cdot 10^{-2} \Omega^{-1}$$

$$d = (1.80 \pm 0.17) \cdot 10^{-4} \text{ A/V}^3$$

$$e = (3.38 \pm 0.09) \cdot 10^{-2} \text{ A}$$

Für kleine Spannungen liegen die Daten näherungsweise auf einer Geraden, die Glühlampe verhält sich somit in einem kleinen Bereich wie ein ohmscher Widerstand. Um einen Wert für den Widerstand bei kleinen Spannungen zu erhalten, wurde wieder eine gewichtete lineare Regression  $y = mx + c$  an die fünf niedrigsten Werte von  $U$  durchgeführt. Die Regressionsgerade sowie die

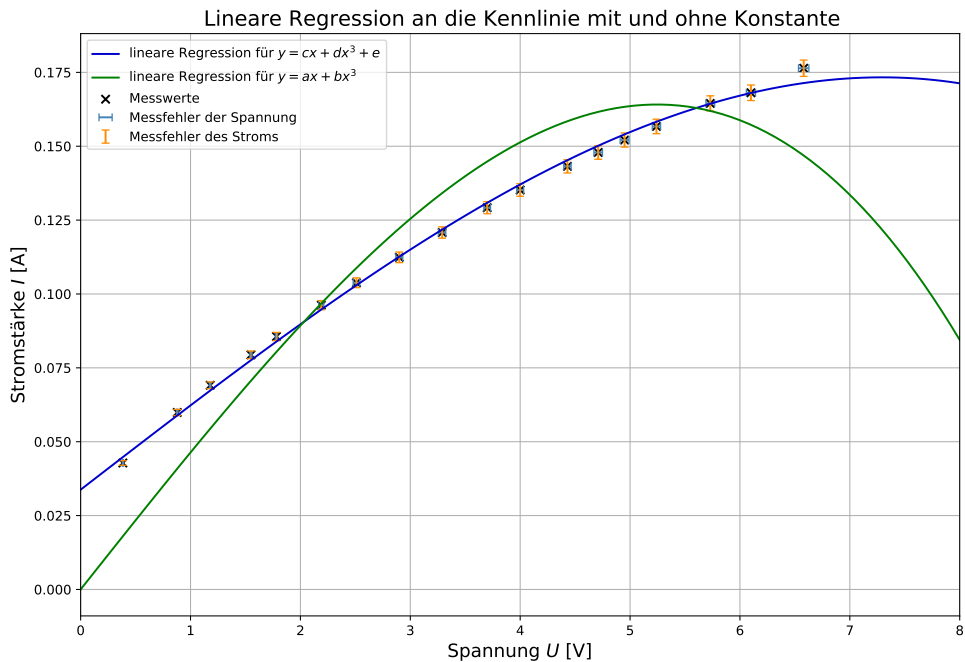


Abbildung 5: Anpassung von  $y = ax + bx^3$  (grün) und  $y = cx + dx^3 + e$  (blau) durch lineare Regression an die Daten.

Fehlergeraden ist in Abb. 6 dargestellt. Für die Parameter ergeben sich aus der Regression Bestwerte von

$$m = (3.11 \pm 0.10) \cdot 10^{-2} \Omega^{-1}$$

$$c = (3.14 \pm 0.11) \cdot 10^{-2} \text{ A.}$$

Mit dem ohmschen Gesetz

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

erwartet man eine Steigung von  $m = 1/R$ . Daraus lässt sich der Widerstand  $R = 1/m$

$$R = (3.21 \pm 0.10) \cdot 10^1 \Omega$$

berechnen, der Fehler ergibt sich dabei aus der Gaußschen Fehlerfortpflanzung mit  $s_R = s_m/m^2$ . Der relative Fehler beträgt

$$\frac{s_R}{R} = 3.18\%. \quad (3)$$

Für größere Spannungen ist zu beobachten, dass die Messdaten abflachen. Auch hier verhält sich die Glühlampe also näherungsweise wie ein ohmscher Widerstand. Analog zum Vorgehen für kleine Spannungen wurde wieder eine gewichtete lineare Regression  $y = mx + c$  an die neun Messwerte bei hohen Spannungen durchgeführt. Die Regressions- und Fehlergeraden sind in Abb. 6 dargestellt. Aus den aus der Regression erhaltenen Parametern

$$m = (1.63 \pm 0.04) \cdot 10^{-2} \Omega^{-1}$$

$$c = (7.0 \pm 0.2) \cdot 10^{-2} \text{ V}$$

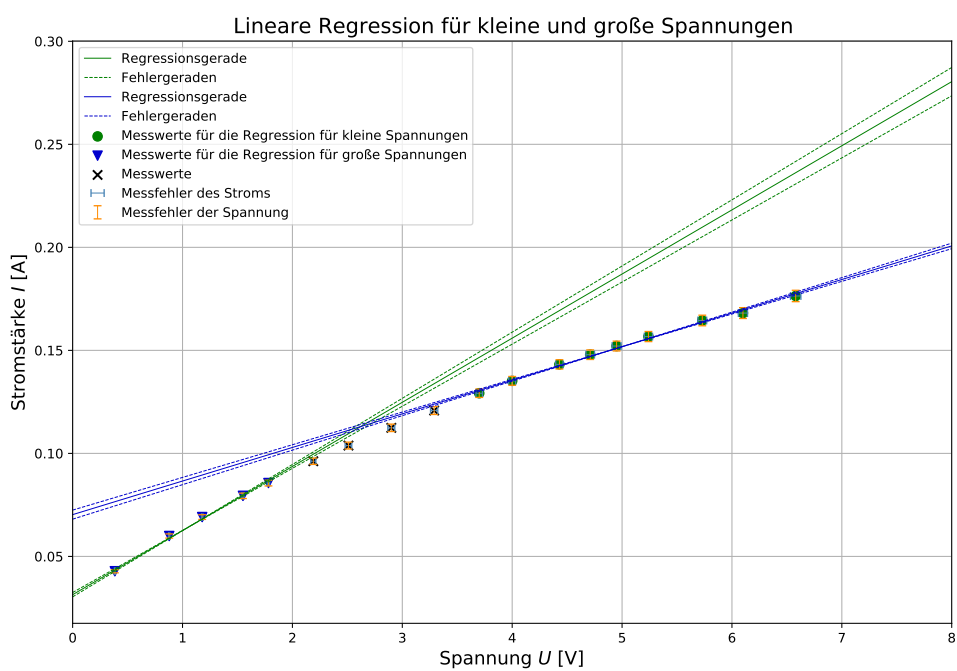


Abbildung 6: Kennlinie einer Glühlampe mit Anpassung von  $y = mx + c$  durch lineare Regression an Messpunkte mit hohen Spannungen (grün) und niedrigen Spannungen (blau). Die für die Regression genutzten Datenpunkte sind auch grün bzw. blau eingezeichnet. Die Fehler auf die Messwerte sowie Fehlergeraden sind auch eingetragen. Aus der Steigung kann der effektive Widerstand bei kleinen Spannungen und bei maximaler Helligkeit bestimmt werden.

lässt sich wie oben der effektive Widerstand bei maximaler Helligkeit

$$R = (6.13 \pm 0.17) \cdot 10^1 \Omega$$

und der zugehörige relative Fehler

$$\frac{s_R}{R} = 2.72\%$$

bestimmen.

### 3.3 Leuchtdiode

Analog zu den vorherigen Teilen wurde für die Untersuchung der Kennlinie des Stroms  $I$  und der Spannung  $U$  der Leuchtdiode eine Messreihe der Stromstärke bei steigender Spannung aufgenommen. Es wurden für eine möglichst aussagekräftige Regression 19 Messwerte aufgenommen. Erneut wurde die spannungsrichtige Schaltung gewählt, da erwartet wurde, dass der Gesamtwiderstand aus dem Vorwiderstand  $R_{\text{vor}} = 2.20 \cdot 10^2 \Omega$  und der LED einen verhältnismäßig kleinen Widerstand darstellt.

Die Unsicherheiten auf  $I$  und  $U$  ergeben sich wie oben beschrieben aus Gleichung (1).

In Abb. 7 ist die Auftragung  $I$  gegen  $U$  mit den Unsicherheiten zu sehen.

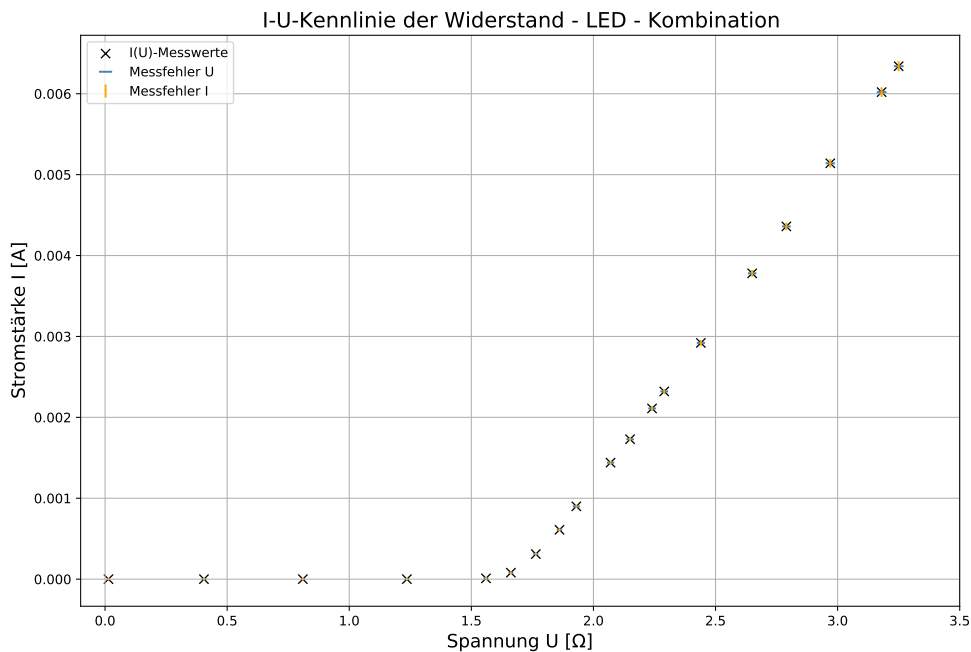


Abbildung 7: Die  $I$ - $U$ -Kennlinie einer Leuchtdiode mit Vorwiderstand.

Ab einer Spannung von  $U_{\text{schwell}} \approx 1.51V$  wird die Diode leitend (dh. der Widerstand  $R_{\text{LED}} < \infty$ ) und fängt an zu leuchten. Es ist wichtig anzumerken, dass am Vorwiderstand eine Spannung abfällt. Von da an ist ein linearer Zusammenhang zu beobachten, der dem eines technischen Widerstandes ähnelt. Ab dem achten Messwert wurde eine lineare Regression  $y = mx + c$  durchgeführt. Die Kennlinie  $I$  gegen  $U$  sowie die Regressions- und Fehlergeraden sind in Abb. 8 zu sehen.

Ein linearer Zusammenhang ist deutlich erkennbar. Aus den Parametern der Regression



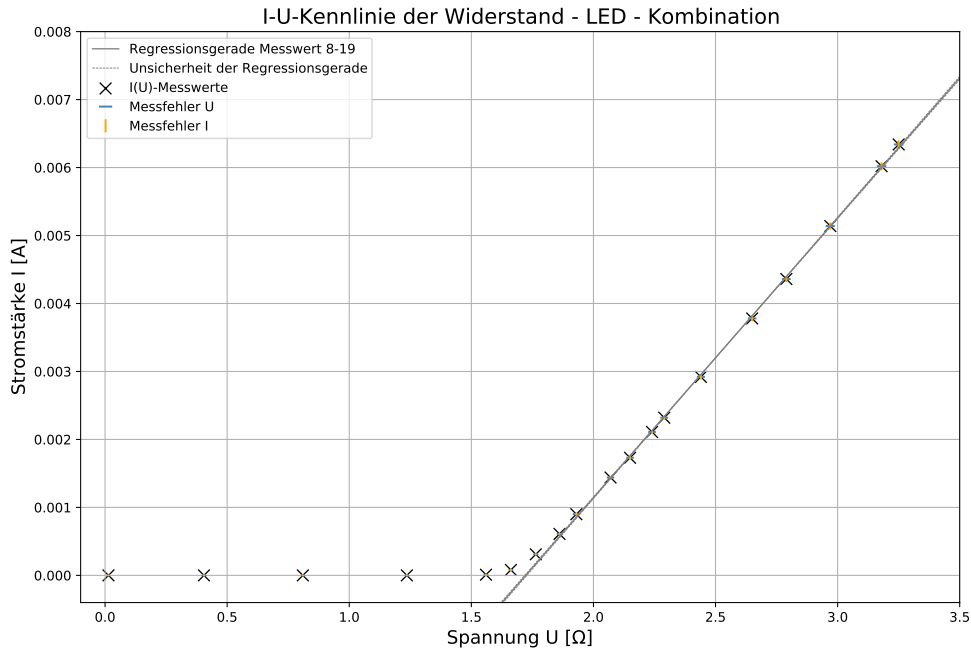


Abbildung 8: Auftragung  $I$  gegen  $U$  einer Leuchtdiode. Die Regressionsgerade einer gewichteten linearen Regression  $y = mx + c$  ist mit ihren Fehlergeraden eingezeichnet.

$$m = (4.12 \pm 0.02) \cdot 10^{-3} \Omega^{-1}$$

$$c = (-7.10 \pm 0.06) \cdot 10^{-3} \text{ A}$$

lässt sich mit Gleichung (2) und

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

$$\Leftrightarrow I(U) = \frac{1}{R}U \quad (4)$$

$$\Rightarrow R_{\text{ges}} = \frac{1}{m}$$

der Gesamtwiderstand  $R_{\text{ges}}$  berechnen. Der Fehler  $s_{R_{\text{ges}}}$  ergibt sich mithilfe der Gauß'schen Fehlerfortpflanzung aus der Standardunsicherheit  $s_m$  der Regressionsgerade:

$$s_{R_{\text{ges}}} = \frac{s_m}{m^2}$$

Es ist also:

$$R_{\text{ges}} = (2.428 \pm 0.013) \cdot 10^2 \Omega$$

Die gemessene Spannung  $U_{\text{mess}}$  des Voltmeters ist dank der spannungsrichtigen Schaltung die wahre Spannung, die an der Widerstand-LED-Kombination abfällt. Für die Spannung  $U_{\text{LED}}$ , die an der LED abfällt und die Spannung  $U_R$ , die am Widerstand abfällt gilt:

$$U_{\text{mess}} = U_{\text{LED}} + U_R$$

$$\Leftrightarrow U_{\text{LED}} = U_{\text{mess}} - U_R \quad (5)$$

$$= U_{\text{mess}} - I_{\text{mess}} \cdot R.$$

Es wird erwartet, dass die I-U-Kennlinie der LED eine steilere Steigung bei enger zusammenliegenden Spannungen besitzt, weil der Strom durch die Schaltung überall gleich groß ist. Der Messfehler  $s_{U,LED}$  der Spannung an der LED ist mit der Gaußschen Fehlerfortpflanzung gegeben durch

$$s_{U,LED} = \sqrt{\left(\frac{\partial U_{LED}}{\partial U_{mess}} s_U\right)^2 + \left(\frac{\partial U_{LED}}{\partial I_{mess}} s_I\right)^2 + \left(\frac{\partial U_{LED}}{\partial R} s_R\right)^2}$$

$$= \sqrt{s_U^2 + (R \cdot s_I)^2 + (I_{mess} \cdot s_R)^2}.$$

Bei Auftragung des Stroms  $I$  gegen die Spannung  $U_{LED}$ , die an der LED abfällt, bestätigt sich unsere Vermutung. Die Auftragung ist in Abb. 9 zu sehen.

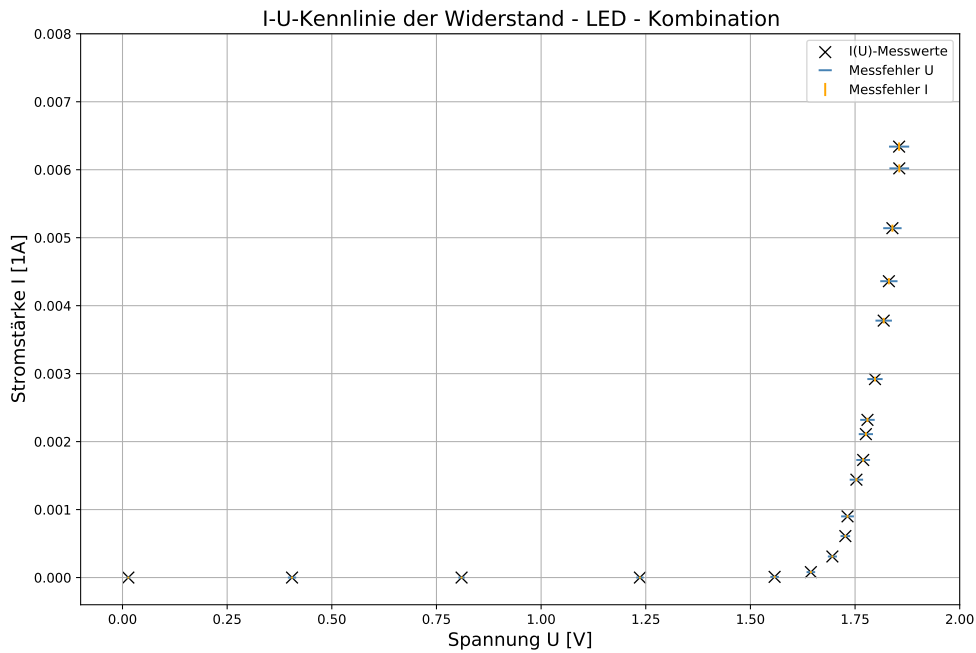


Abbildung 9: Auftragung von  $I$  gegen die Spannung  $U_{LED}$ , die an der LED abfällt.

Der Gesamtwiderstand  $R_{ges}$  ist die Summe aus Vorwiderstand  $R$  und Eigenwiderstand der LED  $R_{LED}$ , dh. es gilt

$$R_{LED} = R_{ges} - R.$$

Zwar könnte man  $R_{LED}$  nun erneut über die inverse Steigung der Regressiongerade in Abb. 8 berechnen, doch weil der Gesamtwiderstand weiter oben bereits mit Fehler berechnet wurde und wir den Vorwiderstand inklusive Fehler ( $220\Omega$  Metallschichtwiderstand mit  $s_R = 1\%$  Fehler) kennen, lässt sich  $R_{LED}$  auch über die obige Differenz berechnen. Der Fehler  $s_{R,LED}$  ergibt sich aus der Gauß'schen Fehlerfortpflanzung

$$s_{R,LED} = \sqrt{(s_{R,ges})^2 + (s_R)^2}$$

und wir erhalten

$$R_{LED} = (2.30 \pm 0.10) \cdot 10^1 \Omega$$

dh. ab der Schwellspannung  $U_{schwell}$  verhält sich die LED wie ein technischer Widerstand von ca.  $23\Omega$ .

### 3.4 Blackbox

Für die Blackbox wurden die meisten Messwerte aller Versuchsreihen aufgenommen, um eventuelle charakteristische Verläufe der  $U$ - $I$ -Kennlinie zu erfassen. So wurden insgesamt 26 Messwerte aufgenommen. Die Messfehler für  $I$  und  $U$  ergeben sich wieder mit Gleichung (1) aus den internen Fehlern der Multimeter und aus Ablesefehlern. Die Auftragung von  $I$  gegen  $U$  mit ihren Unsicherheiten ist in Abb. 10 dargestellt.

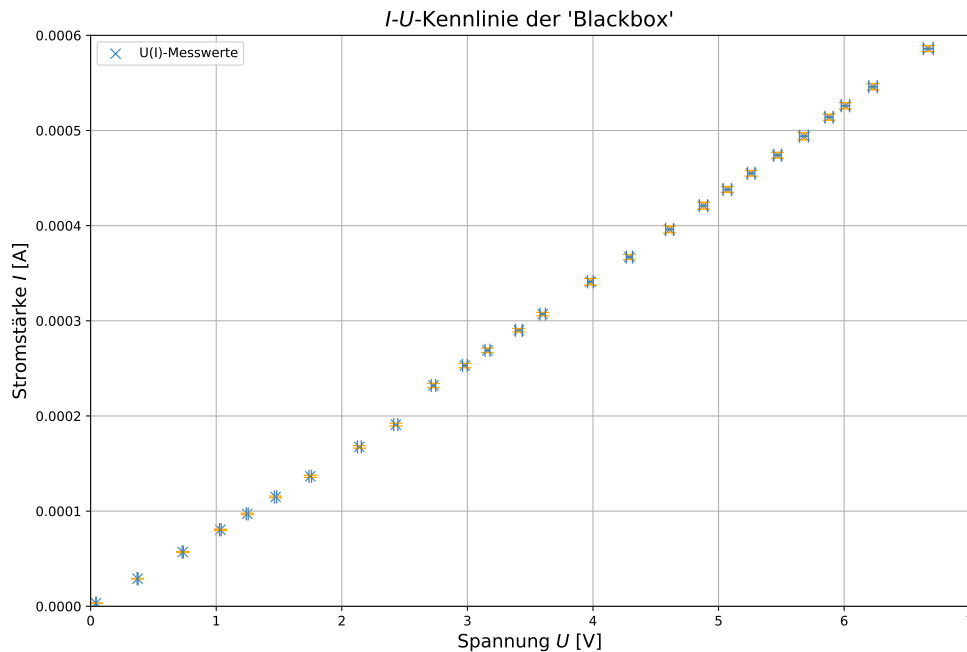


Abbildung 10: Auftragung der Stromstärke  $I$  gegen die Spannung  $U$  der Blackbox mit Messungenauigkeiten.

Hierbei ist eindeutig ein linearer Zusammenhang zwischen  $U$  und  $I$  erkennbar. Daher vermuten wir, dass sich in der Blackbox ein technischer Widerstand befindet. Um diesen zu bestimmen wurde analog zum ersten Versuchsteil mit `curve_fit` eine gewichtete lineare Regression  $y = mx + c$  durchgeführt. Die  $I$ - $U$ -Kennlinie sowie die Regressions- und zugehörigen Fehlergeraden sind in Abb. 11 zu sehen.

Für die Parameter ergeben sich:

$$m = (8.44 \pm 0.08) \cdot 10^{-5} \Omega^{-1}$$
$$c = (-1.1 \pm 0.6) \cdot 10^{-6} \text{ A.}$$

Analog zum ersten Versuchsteil lässt sich wieder mit Gleichung (4) der Widerstand der Blackbox

$$R = (1.1850 \pm 0.0110) \cdot 10^4 \Omega$$

berechnen.

Für den relativen Fehler des Widerstands in der Blackbox erhält man einen Wert von

$$\frac{\Delta R}{R} = 0.96\%.$$

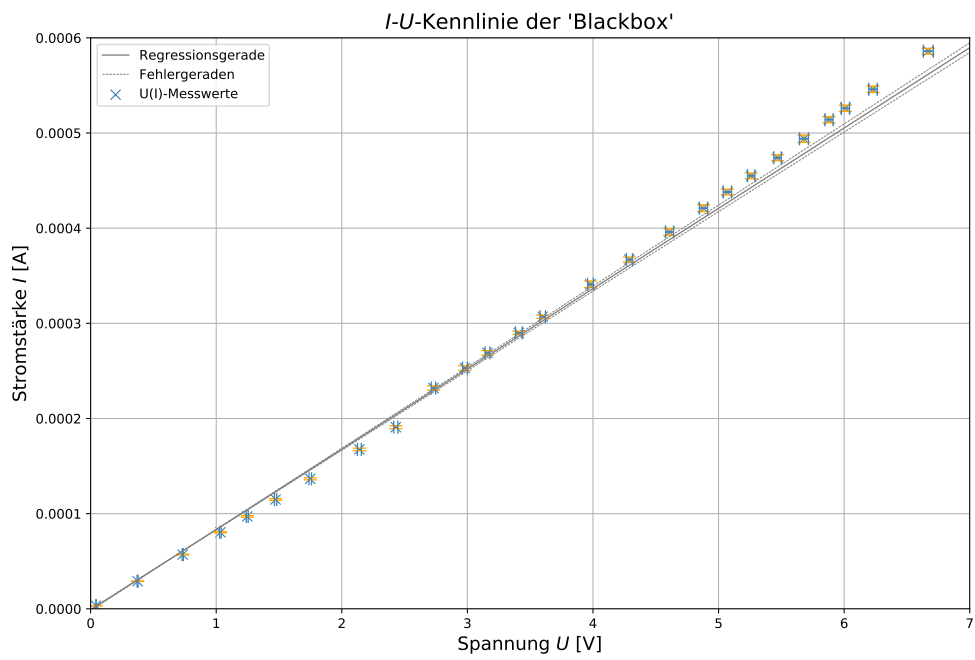


Abbildung 11: Auftragung der Stromstärke  $I$  gegen die Spannung  $U$  der Blackbox. Die Regressionsgerade einer gewichteten linearen Regression  $y = mx + c$  ist mit Fehlergeraden eingezeichnet

## 4 Diskussion

### 4.1 Technischer Widerstand

Der technische Widerstand wurde mithilfe linearer Regression auf

$$R = (9.952 \pm 0.005) \cdot 10^1 \Omega \quad (6)$$

bestimmt. Da alle Messwerte nur sehr geringe Fehler aufweisen und die lineare Erwartung des Modells für den Zusammenhang sehr gut zu den Daten passt, konnte hier der Fehler sehr gering gehalten werden. Daraus resultiert ein relativer Fehler von 0.052%. Der angegebene Widerstand des Bauteils betrug  $100\Omega$ . Das liegt innerhalb von 9.6 Standardabweichungen des von uns gemessenen Werts. Somit ist unser Wert nicht mit dem Literaturwert verträglich, was vor allem an der geringen Unsicherheit unseres Werts liegt. Da unser Ergebnis jedoch sehr genau ist und die Abweichung einem relativen Fehler von unter 0.5% entspricht, ist davon auszugehen, dass der Widerstand von uns treffend bestimmt wurde und er leicht unterhalb der angegebenen  $100\Omega$  liegt.

### 4.2 Glühbirne

In diesem Versuchsteil wurde für eine Glühbirne in einer spannungsrichtigen Schaltung die Stromstärke  $I$  für verschiedene Spannungen  $U$  bestimmt. Bei Anpassung von  $y = ax + bx^3$  an die Auftragung  $I$  gegen  $U$  mit gewichteter linearer Regression fällt auf, dass der sich ergebende fit offensichtlich nicht sehr gut zur Kennlinie der Glühbirne passt. Deshalb wurde eine weitere Anpassung  $y = ax + bx^3 + c$  vorgenommen, bei der eine Verschiebung entlang der y-Achse zugelassen wurde. Die entstandene Kurve passt wesentlich besser zur beobachteten Kennlinie. Allerdings impliziert ein y-Achsenabschnitt, der nicht null ist, dass bei einer Spannung von 0V trotzdem ein Strom fließt. Diese Anpassung ergibt also physikalisch wenig Sinn. Da die Anpassung mit Konstante aber offensichtlich die Kurve wesentlich besser beschreibt, ist es wahrscheinlich, dass ein systematischer Fehler diese Verschiebung entlang der y-Achse verursacht. So wurde z.B. hier eine Stromfehlerschaltung verwendet, bei der der Stromfluss durch das Voltmeter nicht berücksichtigt wurde.

Um den Widerstand bei kleinen Spannungen zu bestimmen, wurde eine gewichtete lineare Regression mit den Messwerten bei kleinen Spannungen durchgeführt. Aus der Steigung der Regressionsgeraden ergibt sich dann der Widerstand

$$R = (3.21 \pm 0.10) \cdot 10^1 \Omega$$

mit einem relativen Fehler von 3.18%.

Analog wurde der Widerstand bei maximaler Helligkeit

$$R = (6.13 \pm 0.17) \cdot 10^1 \Omega$$

mit einem relativen Fehler von 2.72% bestimmt.

Für beide linearen Regressionen fällt auf, dass die erhaltenen Parameter und die daraus berechneten Widerstände relativ geringe Unsicherheiten aufweisen. Obwohl für die jeweiligen Regressionen nur vergleichsweise wenige Messwerte verwendet werden konnte, kann durchaus geschlossen werden, dass die Kennlinie der Glühbirne sich für sehr kleine und sehr große Spannungen relativ gut durch eine Gerade approximieren lässt. Physikalisch bedeutet das, dass sich die Glühbirne lokal wie ein ohmscher Widerstand verhält. Es fällt auch auf, dass die Glühbirne bei den hohen Spannungen im Vergleich zu den niedrigen einen wesentlich größeren (hier doppelt so groß) Widerstand hat. Der effektive Widerstand der Glühbirne wächst also bei zunehmender Spannung, und liegt für mittlere Spannungen irgendwo zwischen den zwei Extremwerten.

### 4.3 LED

Die I-U-Kennlinien der Vorwiderstand-LED-Kombination und der alleinigen LED ähneln sich sehr. Die Kennlinie der LED ist gegenüber der Kombination mit dem Vorwiderstand jedoch deutlich steiler, da bei der Kombination der Widerstand des Vorwiderstand mitberücksichtigt wird. Über diesen fällt ein Teil Spannung ab. Da der Strom durch die LED in beiden Fällen identisch ist liegen die Spannungswerte für den gleichen Stromwert bei der isolierten Betrachtung der LED jedoch näher zusammen womit sich der steilere Verlauf der Geraden ergibt.

Der Gesamtwiderstand  $R_{\text{ges}}$  der Vorwiderstand-LED-Kombination wurde mithilfe von linearer Regression auf

$$R_{\text{ges}} = (2.428 \pm 0.013) \cdot 10^2 \Omega$$

mit einem relativen Fehler von ca. 0.54% und der Widerstand der LED auf

$$R_{\text{LED}} = (2.30 \pm 0.10) \cdot 10^1 \Omega$$

mit einem relativen Fehler von 5.70% bestimmt. Bei geringen Spannungen sperrt die LED bis zu einer Schwellspannung  $U_{\text{schwell}}$ , ab der sie leitend wird. Für Spannungen  $U > U_{\text{schwell}}$  verhält sich die LED näherungsweise wie ein technischer Widerstand. Es wurden ausreichend Werte ab der Schwellenspannung für eine sinnvolle Regression gemessen. Die durch Regression bestimmten Widerstände sind sehr genau, weil die Standardabweichung der Regressionsgerade gering ausfällt. Dies macht sich in dem kleinen relativen Fehler von  $R_{\text{ges}}$  bemerkbar. Der ungefähr zehnmal so große relative Fehler von  $R_{\text{LED}}$  resultiert aus der Tatsache, dass der Widerstand der LED einen Bruchteil des Gesamtwiderstandes der Kombination ausmacht und  $s_{R,\text{LED}} \approx s_{R,\text{ges}}$  gilt.

Es wurde davon ausgegangen, dass es sich beim  $220 \Omega$  Vorwiderstand um einen Metallschichtwiderstand handelt und ein Fehler von 1% verwendet. Falls es sich doch um einen Kohleschichtwiderstand mit einem standardmäßigen Fehler von 5% handelt, wird der Fehler  $s_{R,\text{LED}}$  lediglich in der dritten Nachkommastelle größer, was in der Größenordnung des Fehlers vernachlässigbar klein ist.

Es war richtig eine spannungsechte Schaltung zu verwenden, weil der Gesamtwiderstand im  $\Omega$ -Bereich und der Innenwiderstand des Multimeters im  $1 \cdot 10^{-6} \Omega$ -Bereich liegt.

### 4.4 Blackbox

Bei der Blackbox ergab die Auftragung von I gegen U einen deutlichen linearen Zusammenhang. Daher ist es sehr wahrscheinlich, dass sich in der Blackbox ein ohmscher Widerstand befindet. Allerdings wäre es auch möglich, dass in der Blackbox ein anderes elektrisches Bauteil befindet, dass sich in dem von uns gemessenen Bereich ein lineares Verhalten zeigt aber sich bei höheren von uns nicht erfassten Spannungen nicht mehr linear verhält. In dem von uns bestimmten Bereich wurde der Widerstand durch lineare Regression auf

$$R = (1.1850 \pm 0.0020) \cdot 10^4 \Omega$$

bestimmt, was einem relativen Fehler von 0.158% entspricht. Damit konnte der Widerstand erneut sehr genau ermittelt werden.

Der bestimmte Widerstand liegt zwar deutlich über dem angegebenen  $1 \Omega$  des Amperemeters, jedoch auch noch deutlich unter dem des Voltmeters mit  $1 \cdot 10^{-6} \Omega$ . Eventuell hätte das Ergebnis daher noch zusätzlich verbessert werden können, wenn wir statt der stromrichtigen eine spannungsrichtige Schaltung verwendet oder zusätzlich eine zweite Messreihe mit einer spannungsrichtigen Schaltung durchgeführt hätten.

Der höhere relative Fehler im Vergleich zu Versuchsteil a ist damit zu erklären, dass wir bei der Blackbox mehr Messwerte im Bereich mit höheren Spannungen aufgenommen haben. In diesem Bereich kommt es aufgrund der Messungenauigkeit der Multimeter, die vom absoluten Wert der Spannung bzw. Stromstärke abhängt zu größeren Fehlern.

## 4.5 Fehlerquellen

Bei allen Messungen bilden die Multimeter mit ihren Messfehlern die größten Ungenauigkeiten. Insbesondere nehmen die Fehler der Multimeter bei steigenden Messwerten zu. Darüberhinaus ist auch die Schaltung selbst eine Fehlerquelle. In den ersten drei Messreihen wurde eine spannungsrichtige Schaltung verwendet. Bei dieser ist der Messwert der Stromstärke nicht genau, da ein Teil des gemessenen Stroms durch das Voltmeter fließt. Bei der stromrichtigen Schaltung, die bei der Blackbox verwendet wurde besteht der systematische Fehler, dass ein Teil der gemessenen Spannung am Amperemeter und nicht an der Blackbox abfällt. Die Spannungsmessung wird in allen Fällen zusätzlich dadurch beeinflusst, dass das Schaltbrett, die Kabel sowie die Brücken keine idealen Leiter darstellen sondern ebenfalls einen Widerstand besitzen. Daher fällt ein Teil der gemessenen Spannung an ihnen ab. Ein weiterer Faktor ist die Temperatur der Bauteile. Durch den Strom der durch die Bauteile fließt erhitzen sich die Bauteile, wodurch sich ihre elektrischen Eigenschaften ändern.

## 4.6 Verbesserungsmöglichkeiten

Insgesamt lässt sich sagen, dass unsere Messungen im Rahmen unserer Möglichkeiten sehr genau waren. Möchte man sie jedoch noch genauer machen wären vor allem deutlich genauere Multimeter notwendig. Mit einem Fehler von bis zu 2% des gemessenen Wertes sind die Multimeterfehler hier deutlich größer als alle anderen Messfehler.

Die in den Leitern abfallende Spannung könnte man minimieren, indem man die Leiterbahnen verkürzt und anstatt des Schaltbretts und der Kabel und Brücken bessere Leiter, bei Möglichkeit sogar Supraleiter verwendet. Der systematische Fehler, der durch die spannungs- bzw. stromrichtige Schaltung entsteht könnte verringert werden, indem man ein Amperemeter mit einem geringeren und ein Voltmeter mit einem höheren Innenwiderstand verwendet.

Um das Problem, dass sich die elektrischen Eigenschaften der Bauteile mit der Temperatur verändern weniger ins Gewicht fallen zu lassen könnte man die Schaltung zwischen jeder Messung zunächst wieder abkühlen lassen. Außerdem könnte man versuchen die Zeit zwischen dem Einstellen der Spannungsquelle und der Aufnahme der Messwerte zu verringern, um so weniger Strom fließen zu lassen, der die Temperatur ändert.

# A Anhang

## A.1 Rohdaten

1) Technischer Widerstand: $100 \Omega$ , spannungsrichtige Schaltung				2) Gleichstrom, spannungsrichtige Schaltung			
$U$ in V	Messbereich U	$I$ in mA	Messbereich I	$U$ in V	Messbereich U	$I$ in A	Messbereich
$0,40 \pm 0,005$	2 V	$(8,98 \pm 0,01) \cdot 10^{-3}$	20 mA	$0,384 \pm 0,005$	2 V	$(4,93 \pm 0,1) \cdot 10^{-3}$	200 $\mu$ A
$0,797 \pm 0,005$	2 V	$(7,86 \pm 0,02) \cdot 10^{-3}$	20 $\mu$ A	$0,875 \pm 0,005$	2 V	$(5,93 \pm 0,2) \cdot 10^{-3}$	200 $\mu$ A
$1,210 \pm 0,005$	2 V	$(12,09 \pm 0,03) \cdot 10^{-3}$	20 $\mu$ A	$1,173 \pm 0,002$	2 V	$(6,91 \pm 0,1) \cdot 10^{-3}$	200 $\mu$ A
$1,530 \pm 0,005$	2 V	$(15,27 \pm 0,02) \cdot 10^{-3}$	20 $\mu$ A	$1,570 \pm 0,003$	2 V	$(7,24 \pm 0,2) \cdot 10^{-3}$	200 $\mu$ A
$1,99 \pm 0,02$	20 V	$(19,9 \pm 0,1) \cdot 10^{-3}$	200 $\mu$ A	$1,782 \pm 0,003$	2 V	$(8,56 \pm 0,1) \cdot 10^{-3}$	200 $\mu$ A
$2,57 \pm 0,01$	20 V	$(25,7 \pm 0,1) \cdot 10^{-3}$	200 $\mu$ A	$2,13 \pm 0,004$	20 V	$(9,62 \pm 0,1) \cdot 10^{-3}$	200 $\mu$ A
$2,95 \pm 0,02$	20 V	$(29,5 \pm 0,1) \cdot 10^{-3}$	200 $\mu$ A	$2,57 \pm 0,02$	20 V	$(10,98 \pm 0,1) \cdot 10^{-3}$	200 $\mu$ A
$3,20 \pm 0,02$	20 V	$(32,1 \pm 0,1) \cdot 10^{-3}$	200 $\mu$ A	$2,90 \pm 0,02$	20 V	$(11,74 \pm 0,2) \cdot 10^{-3}$	200 $\mu$ A
$3,59 \pm 0,01$	20 V	$(36,0 \pm 0,1) \cdot 10^{-3}$	200 $\mu$ A	$3,29 \pm 0,02$	20 V	$(12,08 \pm 0,1) \cdot 10^{-3}$	200 $\mu$ A
$3,94 \pm 0,02$	20 V	$(40,1 \pm 0,1) \cdot 10^{-3}$	200 $\mu$ A	$3,70 \pm 0,01$	20 V	$(12,92 \pm 0,1) \cdot 10^{-3}$	200 $\mu$ A
$4,39 \pm 0,02$	20 V	$(44,1 \pm 0,1) \cdot 10^{-3}$	200 $\mu$ A	$4,00 \pm 0,01$	20 V	$(13,52 \pm 0,1) \cdot 10^{-3}$	200 $\mu$ A
$4,92 \pm 0,03$	20 V	$(48,3 \pm 0,1) \cdot 10^{-3}$	200 $\mu$ A	$4,45 \pm 0,01$	20 V	$(14,32 \pm 0,1) \cdot 10^{-3}$	200 $\mu$ A
$5,15 \pm 0,02$	20 V	$(52,1 \pm 0,1) \cdot 10^{-3}$	200 $\mu$ A	$4,71 \pm 0,02$	20 V	$(14,79 \pm 0,1) \cdot 10^{-3}$	200 $\mu$ A
$5,51 \pm 0,02$	20 V	$(56,2 \pm 0,1) \cdot 10^{-3}$	200 $\mu$ A	$4,95 \pm 0,02$	20 V	$(15,21 \pm 0,1) \cdot 10^{-3}$	200 $\mu$ A
$6,04 \pm 0,02$	20 V	$(60,6 \pm 0,1) \cdot 10^{-3}$	200 $\mu$ A	$5,24 \pm 0,01$	20 V	$(15,67 \pm 0,1) \cdot 10^{-3}$	200 $\mu$ A
$6,28 \pm 0,02$	20 V	$(63,1 \pm 0,1) \cdot 10^{-3}$	200 $\mu$ A	$5,73 \pm 0,01$	20 V	$(16,45 \pm 0,1) \cdot 10^{-3}$	200 $\mu$ A
$6,71 \pm 0,02$	20 V	$(67,4 \pm 0,1) \cdot 10^{-3}$	200 $\mu$ A	$6,10 \pm 0,01$	20 V	$(16,81 \pm 0,2) \cdot 10^{-3}$	200 $\mu$ A
				$6,58 \pm 0,02$	20 V	$(17,64 \pm 0,3) \cdot 10^{-3}$	200 $\mu$ A

Voltmeter: PIERRON UT51 MULTIMETER	} baugleich	DC Voltage: 2 V $\pm 1,5\% + 1$
Amperemeter: UNI-T UT51 MULTIMETER		20 V $\pm 0,5\% + 1$
		DC Current: 200 $\mu$ A $\pm 0,8\% + 1$
		2 mA $\pm 0,8\% + 1$
		20 mA $\pm 0,8\% + 1$
		200 mA $\pm 1,5\% + 1$



8.) Diode, spannungsrichtige Schaltung				9.) Diodenbrücke, stromrichtige Schaltung			
U in V	Messbereich U	I in A	Messbereich I	U in V	Messbereich U	I in A	Messbereich I
0,044 ± 0,003	2V	(0,00 ± 0,01) · 10 <sup>-3</sup>	20mA	0,048 ± 0,001	2V	(3,3 ± 0,1) · 10 <sup>-6</sup>	200μA
0,405 ± 0,009	2V	(0,00 ± 0,01) · 10 <sup>-3</sup>	20mA	0,374 ± 0,003	2V	(29,0 ± 0,1) · 10 <sup>-6</sup>	200μA
0,810 ± 0,005	2V	(0,00 ± 0,01) · 10 <sup>-3</sup>	20mA	0,733 ± 0,002	2V	(57,0 ± 0,1) · 10 <sup>-6</sup>	200μA
1,236 ± 0,004	2V	(0,00 ± 0,01) · 10 <sup>-3</sup>	20mA	1,033 ± 0,002	2V	(80,4 ± 0,1) · 10 <sup>-6</sup>	200μA
1,560 ± 0,004	2V	(0,01 ± 0,01) · 10 <sup>-3</sup>	20mA	1,247 ± 0,002	2V	(97,1 ± 0,1) · 10 <sup>-6</sup>	200μA
1,662 ± 0,003	2V	(0,02 ± 0,01) · 10 <sup>-3</sup>	20mA	1,473 ± 0,003	2V	(114,9 ± 0,1) · 10 <sup>-6</sup>	200μA
1,764 ± 0,003	2V	(0,31 ± 0,01) · 10 <sup>-3</sup>	20mA	1,749 ± 0,002	2V	(136,6 ± 0,1) · 10 <sup>-6</sup>	200μA
1,861 ± 0,003	2V	(0,31 ± 0,01) · 10 <sup>-3</sup>	20mA	2,14 ± 0,01	20V	(167,5 ± 0,1) · 10 <sup>-6</sup>	200μA
1,93 ± 0,01	20V	(0,30 ± 0,01) · 10 <sup>-3</sup>	20mA	2,42 ± 0,01	20V	(190,9 ± 0,1) · 10 <sup>-6</sup>	200μA
2,07 ± 0,01	20V	(1,44 ± 0,01) · 10 <sup>-3</sup>	20mA	2,73 ± 0,01	20V	(0,232 ± 0,002) · 10 <sup>-3</sup>	2mA
2,15 ± 0,01	20V	(1,75 ± 0,01) · 10 <sup>-3</sup>	20mA	2,98 ± 0,01	20V	(0,253 ± 0,002) · 10 <sup>-3</sup>	2mA
2,24 ± 0,01	20V	(2,11 ± 0,01) · 10 <sup>-3</sup>	20mA	3,16 ± 0,01	20V	(0,269 ± 0,002) · 10 <sup>-3</sup>	2mA
2,29 ± 0,01	20V	(2,32 ± 0,01) · 10 <sup>-3</sup>	20mA	3,41 ± 0,01	20V	(0,290 ± 0,001) · 10 <sup>-3</sup>	2mA
2,44 ± 0,01	20V	(2,92 ± 0,01) · 10 <sup>-3</sup>	20mA	3,60 ± 0,01	20V	(0,307 ± 0,001) · 10 <sup>-3</sup>	2mA
2,65 ± 0,01	20V	(3,78 ± 0,01) · 10 <sup>-3</sup>	20mA	3,98 ± 0,01	20V	(0,341 ± 0,003) · 10 <sup>-3</sup>	2mA
2,79 ± 0,01	20V	(4,36 ± 0,01) · 10 <sup>-3</sup>	20mA	4,29 ± 0,01	20V	(0,367 ± 0,002) · 10 <sup>-3</sup>	2mA
2,97 ± 0,01	20V	(5,14 ± 0,01) · 10 <sup>-3</sup>	20mA	4,61 ± 0,02	20V	(0,396 ± 0,003) · 10 <sup>-3</sup>	2mA
3,18 ± 0,01	20V	(6,02 ± 0,01) · 10 <sup>-3</sup>	20mA	4,88 ± 0,02	20V	(0,421 ± 0,003) · 10 <sup>-3</sup>	2mA
3,25 ± 0,01	20V	(6,34 ± 0,01) · 10 <sup>-3</sup>	20mA	5,07 ± 0,02	20V	(0,438 ± 0,002) · 10 <sup>-3</sup>	2mA
				5,26 ± 0,01	20V	(0,455 ± 0,002) · 10 <sup>-3</sup>	2mA
				5,47 ± 0,01	20V	(0,474 ± 0,002) · 10 <sup>-3</sup>	2mA
				5,67 ± 0,02	20V	(0,494 ± 0,003) · 10 <sup>-3</sup>	2mA
				5,88 ± 0,01	20V	(0,514 ± 0,002) · 10 <sup>-3</sup>	2mA
				6,01 ± 0,01	20V	(0,526 ± 0,002) · 10 <sup>-3</sup>	2mA
				6,23 ± 0,01	20V	(0,546 ± 0,002) · 10 <sup>-3</sup>	2mA
				6,47 ± 0,02	20V	(0,586 ± 0,001) · 10 <sup>-3</sup>	2mA

03-03  
NJC