

ALBERT-LUDWIGS-UNIVERSITÄT FREIBURG  
PHYSIKLABOR FÜR ANFÄNGER\*INNEN, TEIL 2  
WINTERSEMESTER 2021/22

VERSUCH 45 AM 11.03.2022

## **Strom-Spannungs-Kennlinien**

Gruppe 211:  
14.03.2022

Assistent:

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Ziel des Versuchs</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Aufbau und Durchführung</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Auswertung und Fehleranalyse</b>	<b>4</b>
3.1	Strom-Spannungs-Kennlinie des technischen Widerstandes . . . . .	4
3.2	Strom-Spannungs-Kennlinie der Glühlampe . . . . .	5
3.3	Strom-Spannungs-Kennlinie der Leuchtdiode . . . . .	8
3.4	Strom-Spannungs-Kennlinie des unbekanntes Bauteils . . . . .	10
<b>4</b>	<b>Diskussion der Ergebnisse</b>	<b>12</b>
4.1	Vergleich mit Literaturwerten . . . . .	12
4.2	Zusammenstellung der Ergebnisse . . . . .	12
4.3	Fehlerdiskussion . . . . .	12
4.4	Verbesserte Messmethoden . . . . .	13
<b>5</b>	<b>Literatur</b>	<b>14</b>
<b>6</b>	<b>Anhang</b>	<b>15</b>
6.1	Grafiken . . . . .	15
6.2	Laborbuch . . . . .	16
6.3	Abbildungsverzeichnis . . . . .	19

## 1 Ziel des Versuchs

In diesem Versuch sollen die Strom-Spannungs-Kennlinien verschiedener passiver elektrischer Bauteile vermessen und mit der Erwartung verglichen werden. Es stehen dabei ein technischer Widerstand, eine Glühlampe, eine Leuchtdiode und ein unbekanntes Bauteil zur Verfügung.

## 2 Aufbau und Durchführung

Zunächst soll eine zur Messung geeignete Schaltung ausgewählt werden. Dabei gibt es die Möglichkeit entweder eine stromrichtige Schaltung zu verwenden, bei der das Voltmeter jedoch den Spannungsabfall des Ampèremeters mitmisst oder eine spannungsrichtige Schaltung zu gebrauchen, bei der der Strom, der durch das Voltmeter fließt, mitgemessen wird. Eine stromrichtige Schaltung eignet sich darum vor allem für Messungen an Bauteilen mit großen Widerständen, während für kleine Widerstände spannungsrichtige Schaltungen von Vorteil sind. Da alle verwendeten Bauteile im Vergleich zum Innenwiderstand des Voltmeters ( $R_{iV} \approx 1 \text{ M}\Omega$ , siehe [1]) kleine Widerstände besitzen, wird für alle Messungen die spannungsrichtige Schaltung verwendet. Beide Schaltungstypen sind in [Abbildung 1](#) abgebildet.

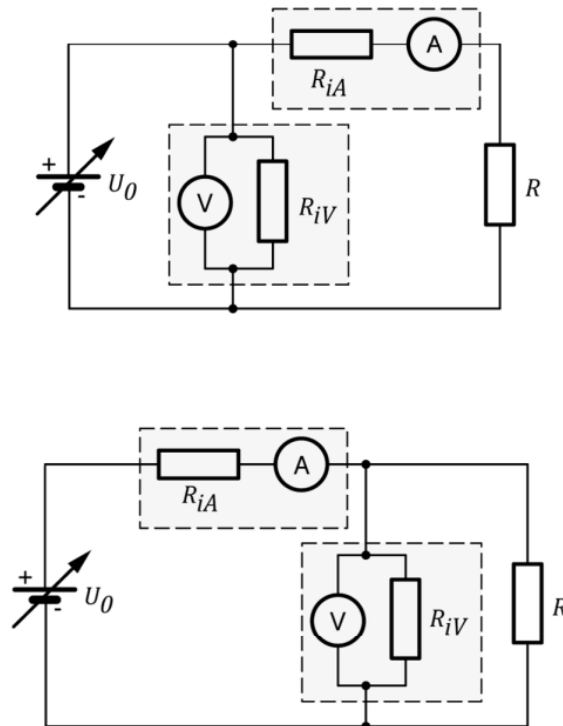


Abb. 1: Abgebildet sind die zwei möglichen Schaltpläne aus [1]. Die obere Schaltung ist dabei eine stromrichtige und die untere eine spannungsrichtige Schaltung. Das Ampèremeter hat dabei einen niederohmigen Innenwiderstand  $R_{iA}$  von etwa  $1 \Omega$  und das Voltmeter einen hochohmigen Innenwiderstand  $R_{iV}$  von etwa  $1 \text{ M}\Omega$ .

Um die vier Bauteile zu vermessen, werden die in [Abbildung 2](#) dargestellten Schaltungen verwendet.

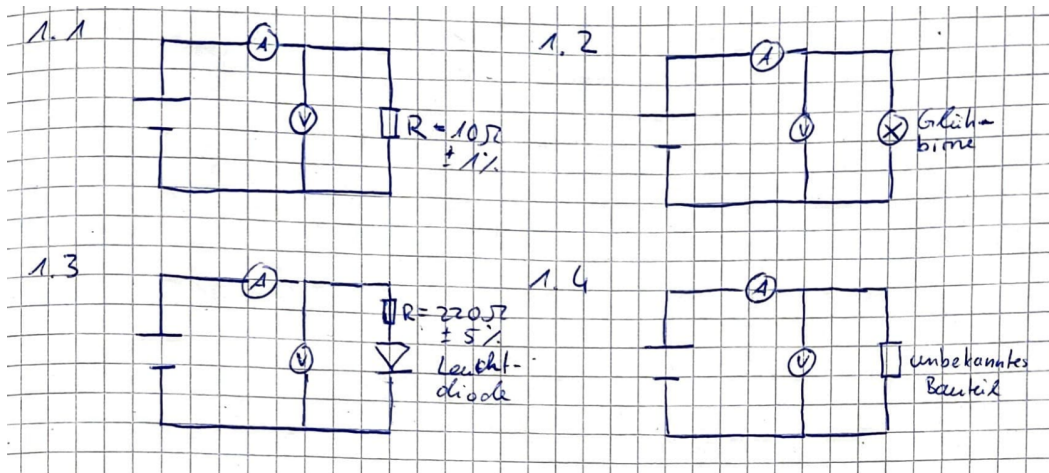


Abb. 2: Skizzen der für die jeweiligen Versuchsteile genutzten Schaltpläne aus [Abbildung 12](#). Schaltung 1.1 wird für die Messung des technischen Widerstands, Schaltung 1.2 für die Messung der Glühlampe, Schaltung 1.3 für die Messung der Leuchtdiode und Schaltung 1.4 für die Messung des unbekanntes Bauteils verwendet.

Für jedes Bauteil werden zwischen 20 und 55 Messungen vorgenommen, die jeweils den gesamten Bereich des Netzteils zwischen  $-10\text{ V}$  und  $10\text{ V}$  möglichst gleichmäßig abdecken. In Bereichen, in denen das Bauteil ein interessantes Verhalten aufzeigt, werden zusätzliche Messwerte genommen. Sowohl Strom als auch Spannung werden mit digitalen Messgeräten gemessen, wobei das Voltmeter auf  $20\text{ V}$  eingestellt ist und das Ampèremeter auf  $2\text{ A}$ . Die Fehler finden sich in [\[5\]](#) und haben die folgende Werte, wobei sich der Prozentsatz auf den jeweiligen gemessenen Wert bezieht:

$$\Delta I = (1,5\% \cdot I \pm 0,001\text{ A}), \quad (1)$$

$$\Delta U = (0,5\% \cdot U \pm 0,01\text{ V}). \quad (2)$$

Für Versuchsreihe drei, das heißt für die Untersuchung der Leuchtdiode, wurde die Einstellung  $200\text{ mA}$  für das Ampèremeter gewählt, was einen Fehler von  $\Delta I = (1,5\% \cdot I \pm 0,0001\text{ A})$  impliziert. Zusätzlich wird hier vor die Diode ein Vorwiderstand von  $(220 \pm 11)\ \Omega$  eingebaut, um Beschädigungen an der Diode zu verhindern.

### 3 Auswertung und Fehleranalyse

#### 3.1 Strom-Spannungs-Kennlinie des technischen Widerstandes

Zunächst wird ein technischer Widerstand gemessen. Aufgrund des Ohm'schen Gesetzes wird ein linearer Zusammenhang zwischen Strom und Spannung erwartet:

$$U = R \cdot I. \quad (3)$$

Die gemessenen Werte sind in [Abbildung 3](#) dargestellt. Dabei ist der Strom  $I$  gegen die Spannung  $U$  aufgetragen.

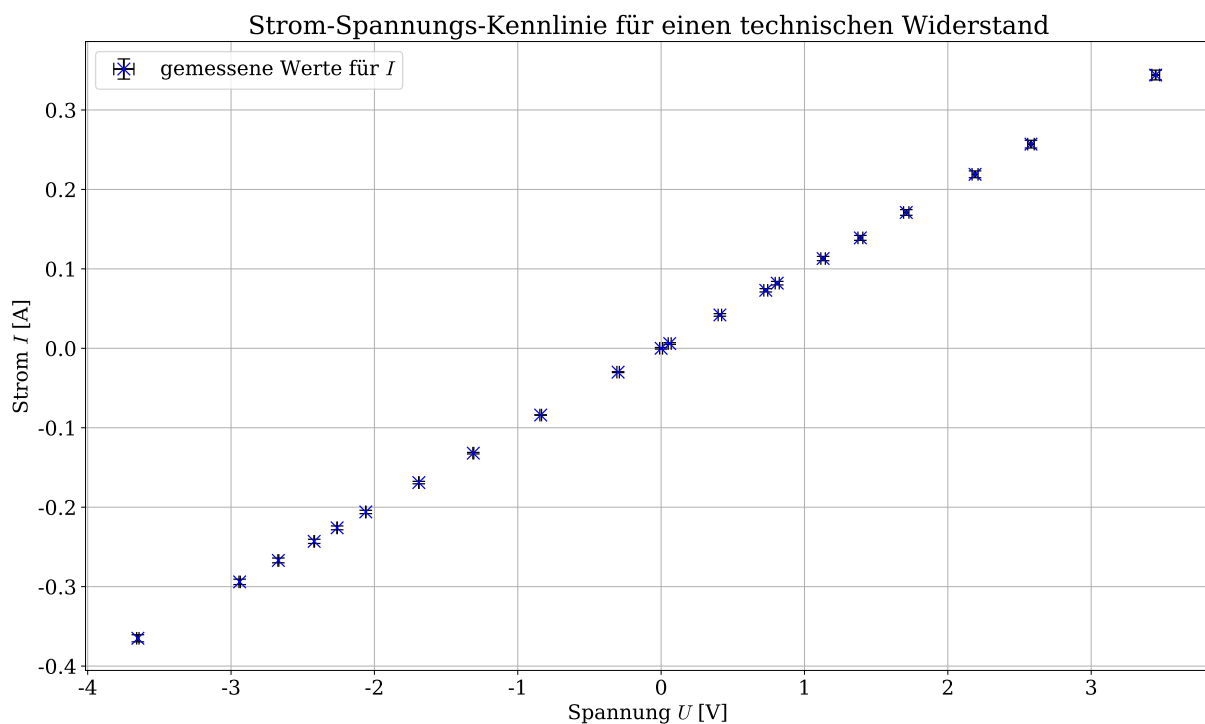


Abb. 3: Aufgetragen sind die Messwerte für den Strom  $I$  in A gegen die Spannung  $U$  in V für den technischen Widerstand. Zusätzlich sind die Unsicherheiten auf  $I$  und  $U$  als Fehlerbalken dargestellt.

Bereits hier lässt sich ein linearer Zusammenhang vermuten. Durch eine lineare Regression soll dieser bestätigt und der Widerstand des Bauteils bestimmt werden. Umstellen von [Gleichung 3](#) ergibt:

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

$$I = m \cdot U + c. \quad (5)$$

Die Steigung  $m$  der linearen Regression sollte also dem Kehrwert des Widerstandes entsprechen, während der  $y$ -Achsenabschnitt  $c$  null sein sollte. Die lineare Regression wird mit Formeln aus [\[4\]](#) durchgeführt und ist in [Abbildung 4](#) eingezeichnet.

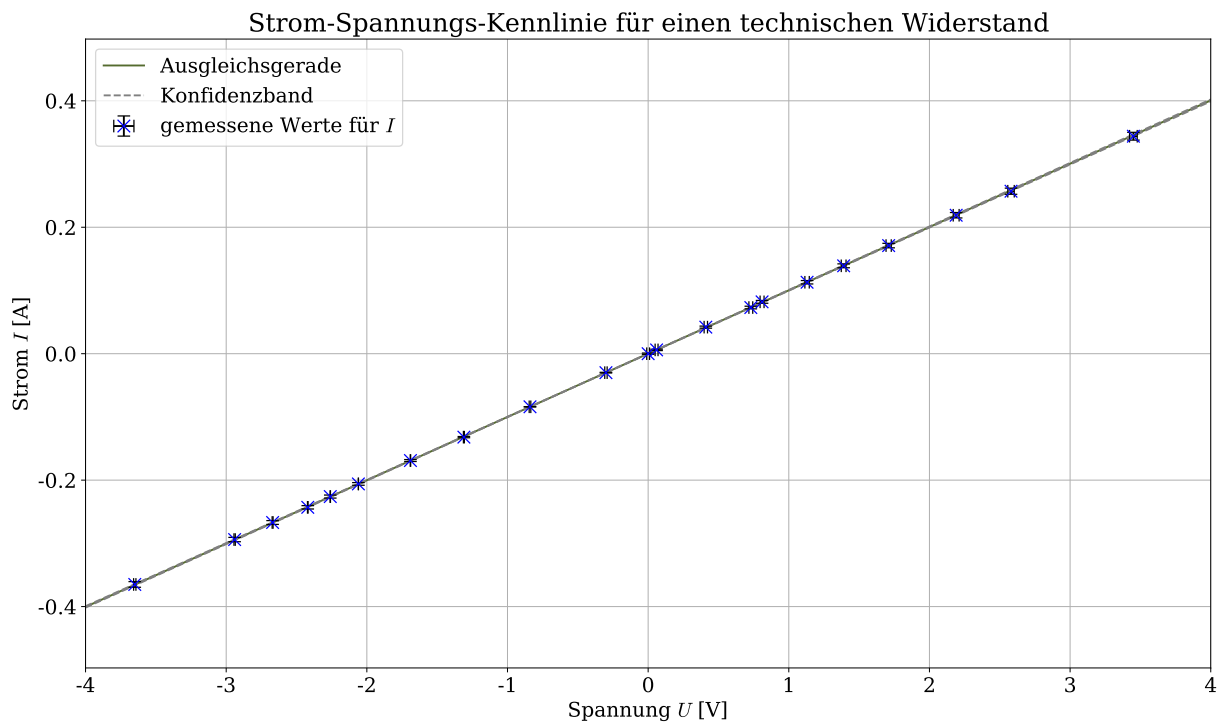


Abb. 4: Aufgetragen sind die Messwerte für den Strom  $I$  in A gegen die Spannung  $U$  in V für den technischen Widerstand. Zusätzlich sind die Unsicherheiten auf  $I$  und  $U$  als Fehlerbalken dargestellt. Außerdem ist eine lineare Regression mit einem  $1\sigma$ -Konfidenzband eingezeichnet. Dieses ist allerdings sehr schmal und daher schlecht erkennbar.

Es ergeben sich die folgenden Werte für die Steigung  $m$  und den  $y$ -Achsenabschnitt  $c$ :

$$m = (0,1001 \pm 0,0003) \text{ A V}^{-1},$$

$$c = (0,0001 \pm 0,0003) \text{ A}.$$

Der  $y$ -Achsenabschnitt  $c$  ist also gut mit der Null verträglich. Aus der Steigung  $m$  kann im Folgenden der Widerstand  $R$  berechnet werden:

$$R = \frac{1}{m}, \quad (6)$$

$$\Delta R = \left| \frac{-\Delta m}{m^2} \right|. \quad (7)$$

Es ergibt sich der folgende Wert:

$$R = (9,99 \pm 0,03) \Omega.$$

Dieser wird in der Diskussion mit dem Nominalwert verglichen.

### 3.2 Strom-Spannungs-Kennlinie der Glühlampe

Um die Strom-Spannungs-Kennlinie der Glühlampe zu untersuchen, werden erneut die Spannung  $U$  und der Strom  $I$  gemessen. Dabei wird darauf geachtet, vorallem im betragsmäßig niedrigen

Spannungsbereich viele Messwerte aufzunehmen, da hier die größten Veränderungen im Strom-Spannungsverhältnis erwartet werden. Die ermittelten Werte sind mit ihren Unsicherheiten in [Abbildung 5](#) dargestellt.

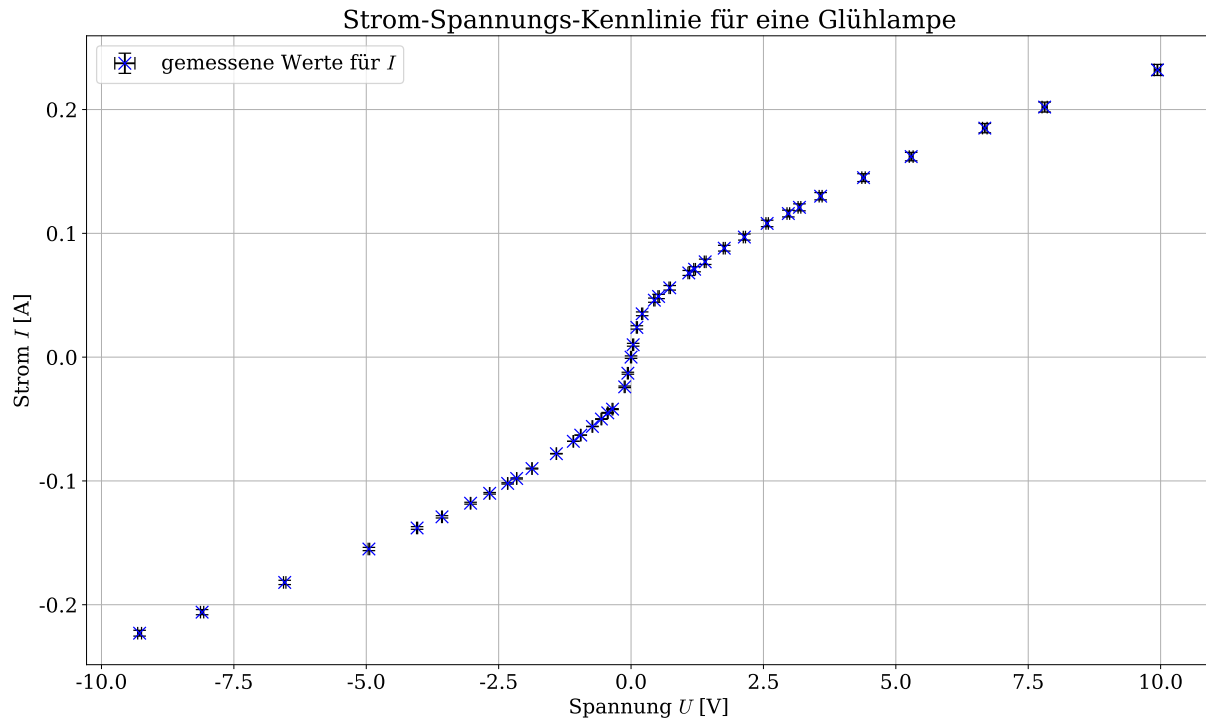


Abb. 5: Aufgetragen sind die Messwerte für den Strom  $I$  in A gegen die Spannung  $U$  in V für die Glühlampe. Zusätzlich sind die Unsicherheiten auf  $I$  und  $U$  als Fehlerbalken dargestellt.

Hier ist bereits zu erkennen, dass, anders als beim technischen Widerstand, kein linearer Zusammenhang zugrunde liegt. Der abgebildete Verlauf lässt sich dadurch erklären, dass der Widerstand für große Temperaturen zunimmt. Aufgrund der erhöhten Temperatur und der resultierenden Bewegung der Atome im Draht erhöht sich die Anzahl der Stöße und damit der Widerstand, was zu einer Abflachung der Kurve führt.

Bei Betrachtung von [Abbildung 5](#) ist zu erkennen, dass eine negative Spannung nur das Vorzeichen des fließenden Stroms ändert. Der Zusammenhang zwischen Strom und Spannung kann also nur durch ein ungerades Polynom beschrieben werden. Betrachtet man zusätzlich zur ersten Ordnung noch eine weitere Ordnung der Taylorentwicklung erhält man folgende Gleichung:

$$U = aI + bI^3. \quad (8)$$

Um diesen Zusammenhang zu bestätigen, wird eine lineare Regression mit Parametern  $a$  und  $b$ , wie in [\[4\]](#) beschrieben, durchgeführt. Sie ist zusammen mit den Werten in [Abbildung 6](#) zu sehen. Es muss hierbei beachtet werden, dass [Gleichung 8](#)  $U$  in Abhängigkeit von  $I$  beschreibt. Für die Darstellung der Ausgleichsfunktion im Diagramm müssen also  $x$ - und  $y$ -Achse vertauscht werden.

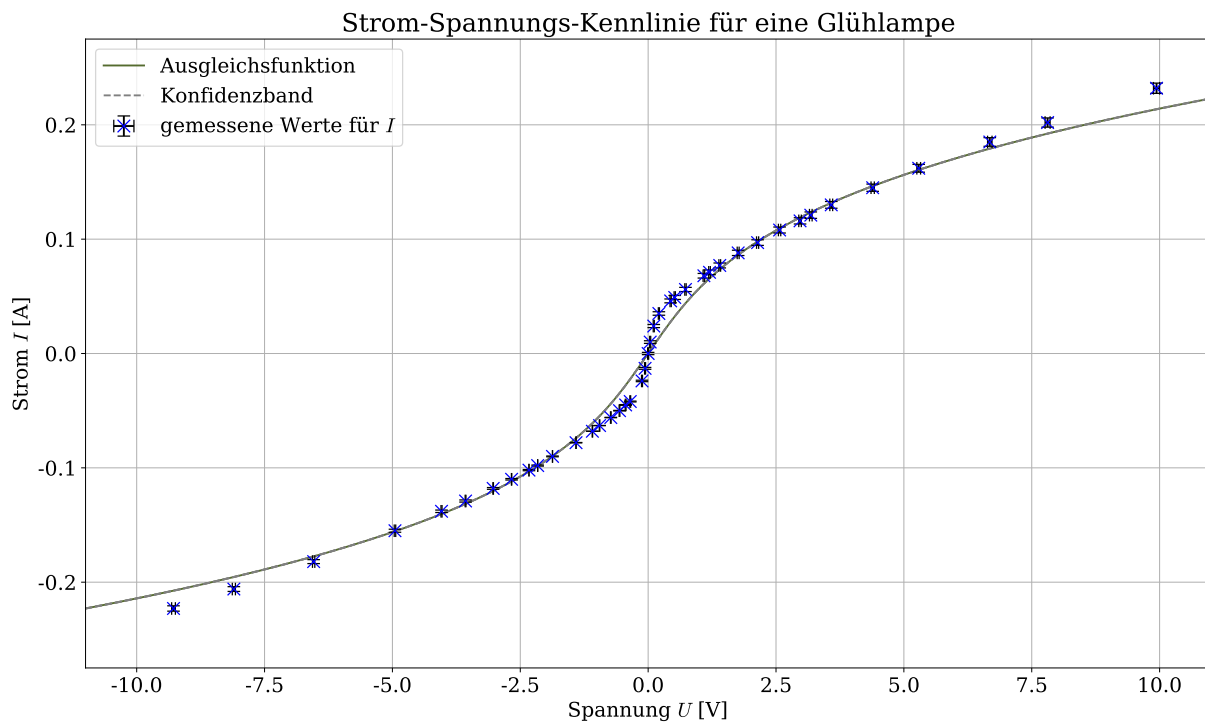


Abb. 6: Aufgetragen sind die Messwerte für den Strom  $I$  in A gegen die Spannung  $U$  in V für die Glühlampe. Zusätzlich sind die Unsicherheiten auf  $I$  und  $U$  als Fehlerbalken dargestellt. Außerdem ist eine lineare Regression mit einem  $1\sigma$ -Konfidenzband eingezeichnet. Dieses ist allerdings sehr schmal und daher schlecht erkennbar.

Es ist gut erkennbar, dass der grobe Verlauf der Ausgleichsfunktion in [Abbildung 6](#) mit den Messwerten der Glühlampe übereinstimmt. Durch die lineare Regression erhält man folgende Werte für  $a$  und  $b$  sowie ihre Unsicherheiten:

$$a = (15,303 \pm 0,016) \text{ V A}^{-1},$$

$$b = (684,1 \pm 1,7) \text{ V A}^{-3}.$$

Nun soll untersucht werden, welchen Widerstand  $R_{\min}$  die Glühlampe für kleine Spannungen aufweist. Eine erste Möglichkeit hierfür wäre es, die Steigung aus der linearen Regression bei Strom  $I = 0$  zu betrachten:

$$\left. \frac{dU}{dI} \right|_{I=0} = (a + 3bI^2) \Big|_{I=0} = a. \quad (9)$$

Gerade bei kleinen und großen Strömen und Spannungen weicht die Ausgleichsfunktion stark von den gemessenen Werten ab. Die Verwendung von  $a$  für den Widerstand  $R_{\min}$  erscheint also wenig sinnvoll.

Stattdessen wird erneut eine lineare Regression durchgeführt. Diesmal werden allerdings nur die fünf kleinsten Werte betrachtet und linear genähert:

$$U = m \cdot I + c. \quad (10)$$

Die lineare Regression wird abermals für  $U$  gegen  $I$  durchgeführt, anders als in [Unterabschnitt 3.1](#). Die aus dieser linearen Regression ermittelte Ausgleichsgerade ist in [Abbildung 7](#) zu finden.



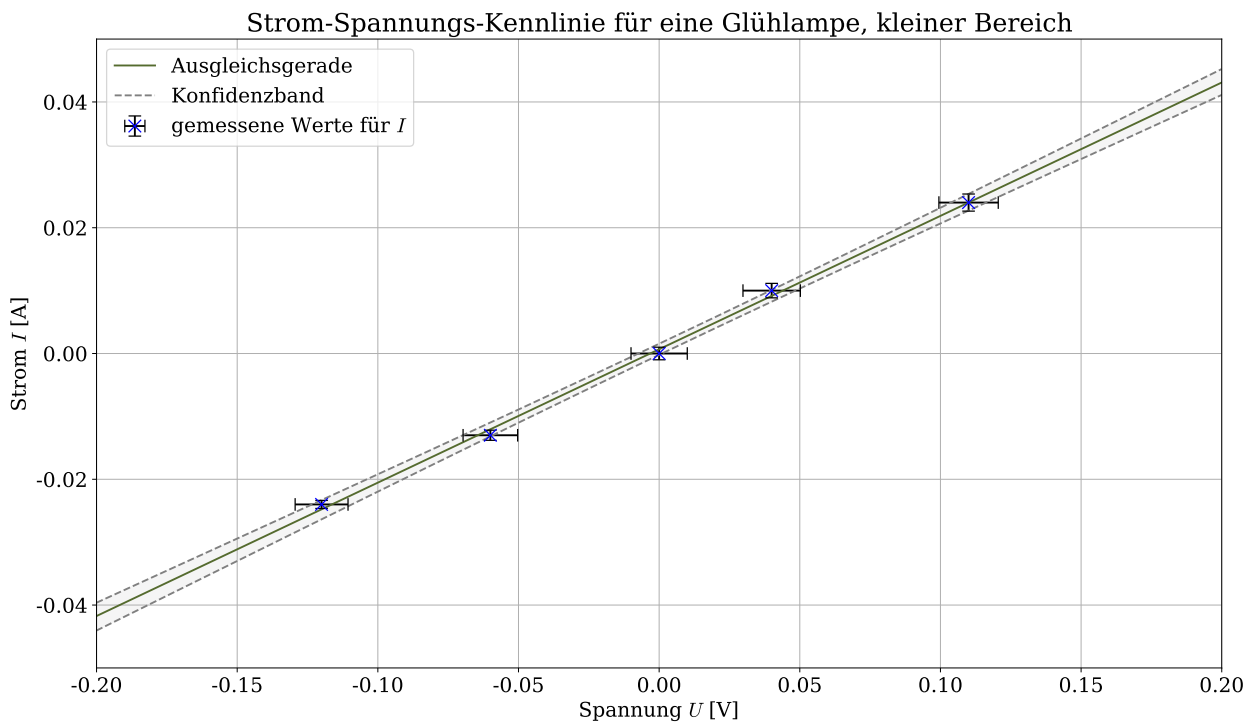


Abb. 7: Aufgetragen sind die Messwerte für den Strom  $I$  in A gegen die Spannung  $U$  in V für die Glühlampe für kleine Spannungen. Die Unsicherheiten auf  $I$  und  $U$  sind als Fehlerbalken dargestellt. Zusätzlich ist eine lineare Regression mit einem  $1\sigma$ -Konfidenzband eingezeichnet.

Für die Steigung  $m$  und den  $y$ -Achsenabschnitt werden folgende Werte ermittelt:

$$m = (4,7 \pm 0,3) \Omega,$$

$$c = (-0,003 \pm 0,004) \text{ V}.$$

Der Widerstand  $R_{\min}$  entspricht nun der Steigung  $m$  der Ausgleichsgeraden:

$$R_{\min} = m = (4,7 \pm 0,3) \Omega.$$

Abschließend wird noch der Widerstand  $R_{\max}$  bei maximal leuchtender Glühlampe bestimmt. Dieser wird mit [Gleichung 3](#), der maximalen Spannung  $U_{\max}$  und dem dabei fließenden Strom  $I_{\max}$  berechnet:

$$R = \frac{U}{I}, \quad (11)$$

$$\Delta R = \sqrt{\left(\frac{\Delta U}{I}\right)^2 + \left(\frac{-U \cdot \Delta I}{I^2}\right)^2}. \quad (12)$$

Damit ergibt sich folgender Wert:

$$R_{\max} = (42,8 \pm 0,9) \Omega.$$

### 3.3 Strom-Spannungs-Kennlinie der Leuchtdiode

Auch für die Leuchtdiode werden zunächst die gemessenen Werte für die Spannung und die Stromstärke gegeneinander aufgetragen. Es ist dabei zu beachten, dass zu der Diode ein Vorwiderstand hinzukommt, sodass es sich beim in [Abbildung 8](#) aufgetragenen Verlauf nicht um

die Strom-Spannungs-Kennlinie einer reinen Leuchtdiode handelt, sondern um die Kennlinie des gesamten Systems mit Vorwiderstand.

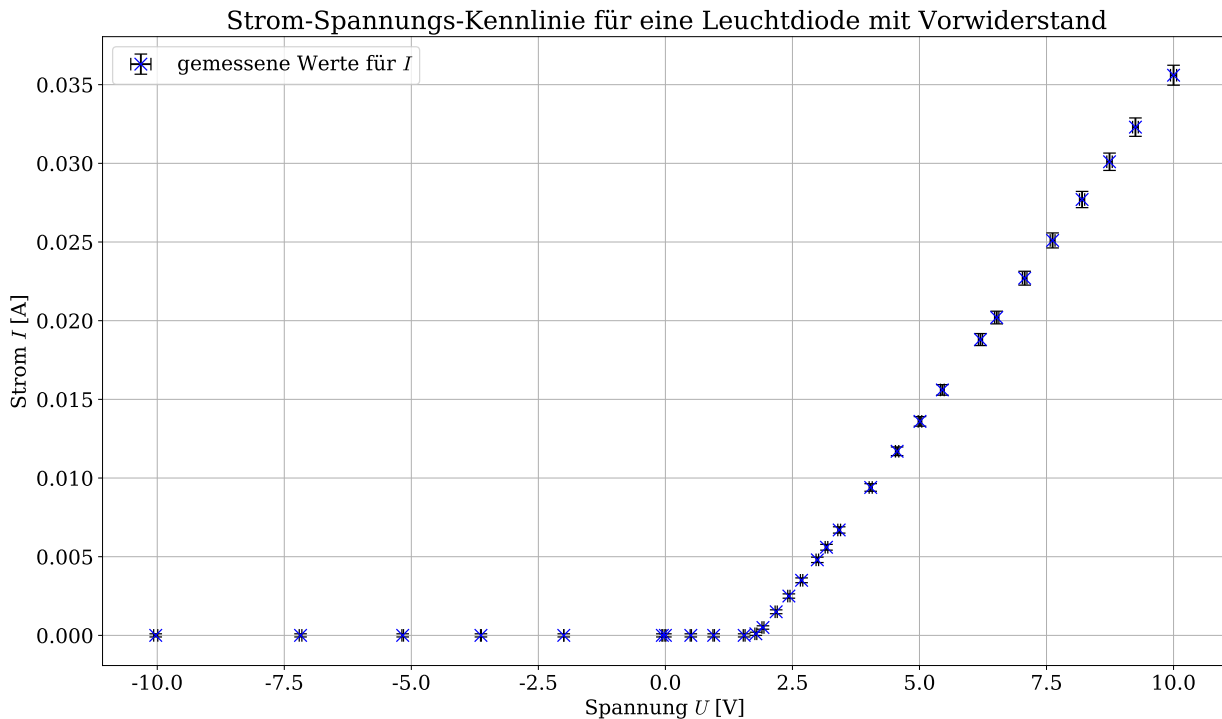


Abb. 8: Aufgetragen sind die Messwerte für den Strom  $I$  in A gegen die Spannung  $U$  in V für die Leuchtdiode mit Vorwiderstand. Zusätzlich sind die Unsicherheiten auf  $I$  und  $U$  als Fehlerbalken dargestellt.

Eine wichtige Eigenschaft der LED lässt sich bereits hier erkennen: Die Leuchtdiode lässt den Strom nur in eine Richtung fließen.

Um nun die LED unabhängig vom Vorwiderstand untersuchen zu können, müssen der Strom  $I_{\text{LED}}$  und die Spannung  $U_{\text{LED}}$  die direkt an der LED anliegen berechnet werden. Dazu können die Kirchhoffschen Gesetze verwendet werden [2]. Aufgrund von der Knotenregel (1. Kirchhoffsches Gesetz) entspricht der Strom  $I_0$  der durch den gesamten Aufbau mit LED und Vorwiderstand fließt auch genau dem Strom, der durch jedes der beiden Bauteile fließt. Die Maschenregel (2. Kirchhoffsches Gesetz) besagt, dass sich die gemessene Spannung  $U_0$  aus den beiden Spannungen  $U_{\text{LED}}$  und  $U_{\text{Vor}}$  zusammensetzt, die an LED beziehungsweise Vorwiderstand abfallen. Es gilt also:

$$I_{\text{LED}} = I_0, \quad (13)$$

$$U_{\text{LED}} = U_0 - U_{\text{Vor}} = U_0 - R_{\text{Vor}} \cdot I_0. \quad (14)$$

Aus Fehlerfortpflanzung [3] ergibt sich:

$$\Delta U_{\text{LED}} = \sqrt{\Delta U_0^2 + (R_{\text{Vor}} \cdot \Delta I_0)^2 + (\Delta R_{\text{Vor}} \cdot I_0)^2}.$$

In der folgenden [Abbildung 9](#) sind die so berechneten Werte für den Strom  $I_{\text{LED}}$  gegen die Spannung  $U_{\text{LED}}$  aufgetragen.

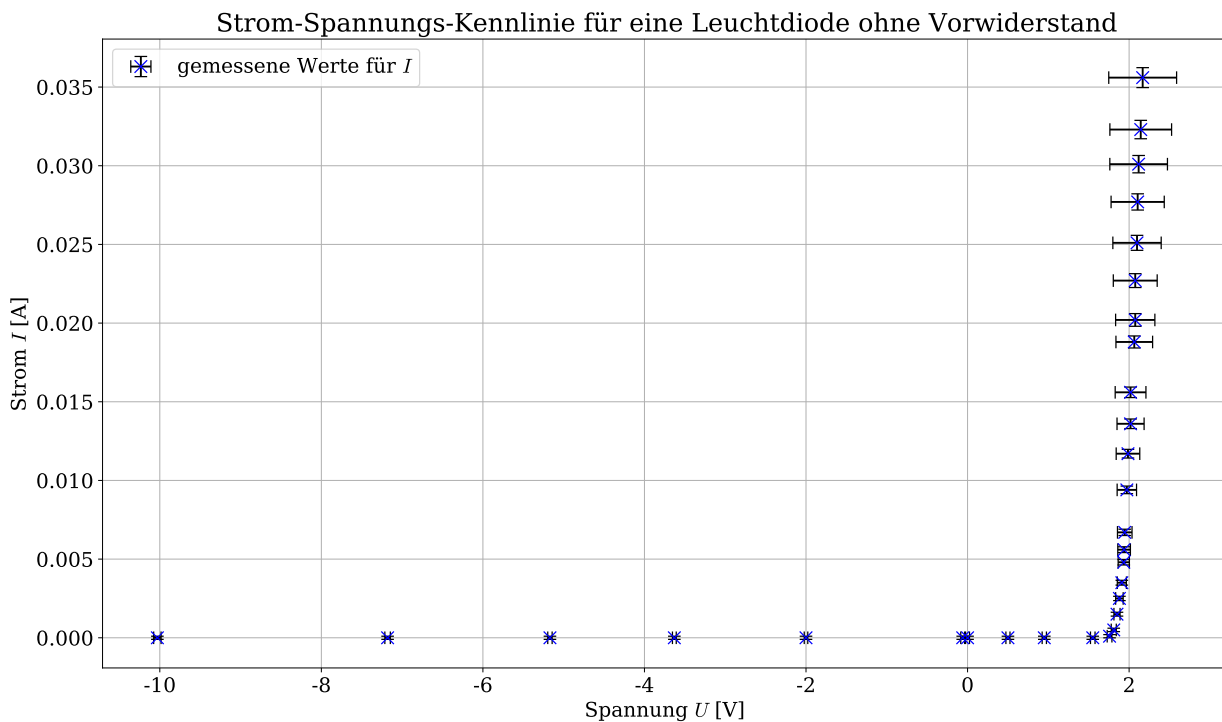


Abb. 9: Aufgetragen sind die Messwerte für den Strom  $I$  in A gegen die Spannung  $U$  in V für die Leuchtdiode, wobei der Vorwiderstand rausgerechnet ist. Zusätzlich sind die Unsicherheiten auf  $I$  und  $U$  als Fehlerbalken dargestellt.

Es ist der typische Verlauf einer Strom-Spannungs-Kennlinie einer Diode zu sehen. Bis zu einer Grenzspannung, die hier bei ungefähr 1,8 V liegt, fließt überhaupt kein Strom. Jenseits der Grenzspannung steigt die Strom-Spannungs-Kennlinie jedoch rasant an.

### 3.4 Strom-Spannungs-Kennlinie des unbekannten Bauteils

Für das unbekannte Bauteil werden erneut unterschiedliche Messwerte für Stromstärke  $I$  und Spannung  $U$  gemessen. Bei hohen Strömen sind dabei direkt nach der Spannungseinstellung Schwankungen zu beobachten, so dass zunächst abgewartet werden muss, bis sich ein konstanter Wert einstellt. Die Messwerte sind in einem gemeinsamen Schaubild aufgetragen. Dieses ist in [Abbildung 10](#) zu sehen.

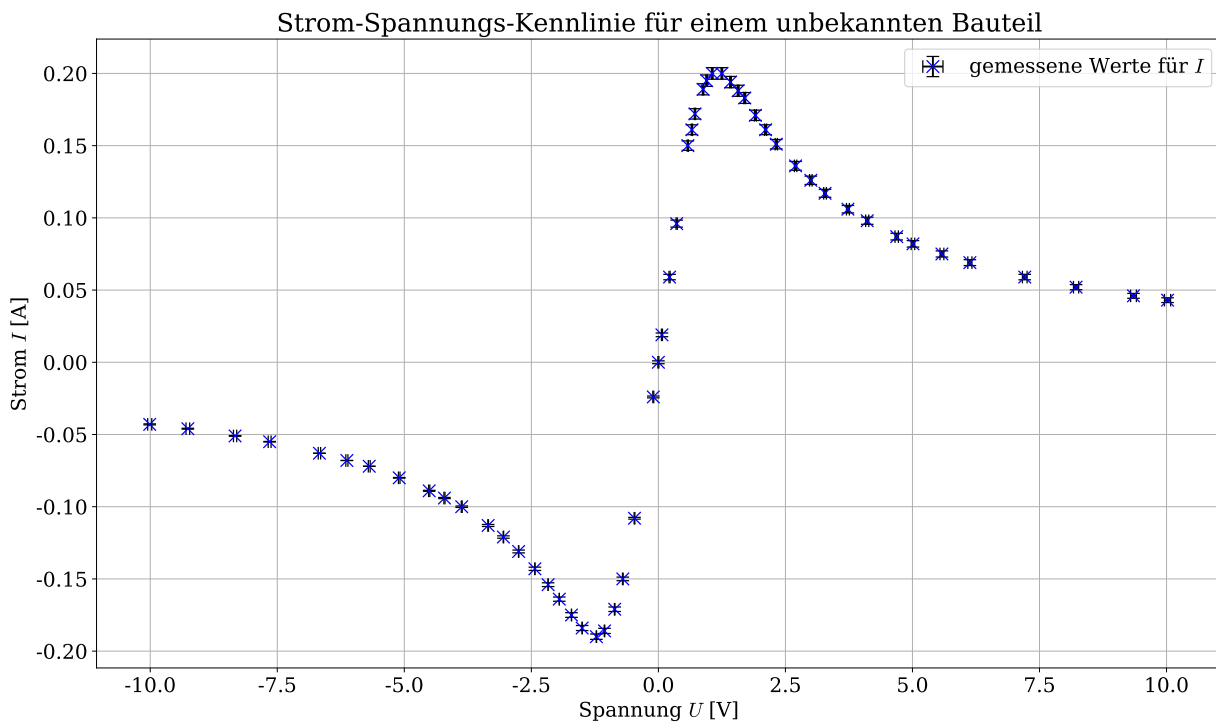


Abb. 10: Aufgetragen sind die Messwerte für den Strom  $I$  in A gegen die Spannung  $U$  in V für das unbekanntem Bauteil. Zusätzlich sind die Unsicherheiten auf  $I$  und  $U$  als Fehlerbalken dargestellt.

Dieses Bauteil weist ein von den anderen Bauteilen sehr unterschiedliches Verhalten auf. Wie bei einem gewöhnlichen Widerstand steigt mit zunehmender Spannung zunächst auch der Strom, bis bei etwa 1,1 V ein Maximum in der Strom-Spannungs-Kennlinie vorliegt. Danach fällt mit zunehmender Spannung der Strom wieder ab, sodass für sehr große Spannungen  $U$  nur noch ein kleiner Strom  $I$  fließen kann.

Ein Vergleich mit bekannten Strom-Spannungs-Kennlinien legt nahe, dass es sich bei dem Bauteil um einen PTC-Kaltleiter handelt [6]. Im Anhang in [Abbildung 11b](#) ist die Kennlinie eines PTC-Kaltleiters aus [6] zu sehen. Der Verlauf entspricht ungefähr den gemessenen Werten.

Bei einem PTC-Kaltleiter erhöht sich der Widerstand mit steigender Temperatur enorm, was auch in [Abbildung 11a](#) im Anhang zu erkennen ist. Dadurch erhöht sich der Widerstand gleichzeitig auch mit steigender Spannung, da durch die hohen Spannungen Wärme frei wird, die das Bauteil erhitzt. Diese Bauteile lassen sich gut zur Temperaturregelung nutzen. [6].

Für eine Temperaturabhängigkeit des Widerstandes spricht auch, dass es während des Messprozesses zu kleinen Schwankungen kam, die sich durch das Einpendeln einer bestimmten Temperatur erklären lassen.

## 4 Diskussion der Ergebnisse

### 4.1 Vergleich mit Literaturwerten

Bei der Untersuchung des technischen Widerstands wird folgender Wert für den Widerstand  $R$  ermittelt:

$$R = (9,99 \pm 0,03) \Omega.$$

Vom Hersteller ist für den Widerstand folgender Wert mit einer relativen Unsicherheit von 1% angegeben:

$$R_{\text{Lit}} = (10,0 \pm 0,1) \Omega.$$

Diese beiden Werte sollen nun auf ihre Verträglichkeit untersucht werden. Dazu wird mit Formeln aus [3] ein  $t$ -Wert berechnet, wobei ein  $t$ -Wert von unter zwei auf eine gute, ein  $t$ -Wert von über zwei auf eine schlechte Verträglichkeit hindeutet. Es ergibt sich folgender Wert:

$$t = 0,14.$$

Die Werte sind damit sehr gut verträglich. Der relative Fehler von  $R$  beträgt 0,3% und ist damit ebenfalls sehr klein.

### 4.2 Zusammenstellung der Ergebnisse

Im ersten Versuchsteil konnte bei der Untersuchung des technischen Widerstandes die Linearität des Ohm'schen Gesetzes bestätigt werden. Bei der Bestimmung des Widerstands  $R$  konnte der folgende Wert ermittelt werden, der mit einem  $t$ -Wert von  $t = 0,14$  gut mit dem Nominalwert verträglich ist und einen relativen Fehler von 0,3% besitzt:

$$R = (9,99 \pm 0,03) \Omega.$$

Die Untersuchung der Glühlampe konnte den typischen Verlauf der Strom-Spannungs-Kennlinie einer Glühlampe bestätigen. Es wurden zudem folgende Werte für  $R_{\text{min}}$  und  $R_{\text{max}}$  ermittelt, wobei  $R_{\text{min}}$  den Widerstand bei kleinen und  $R_{\text{max}}$  den Widerstand bei großen Spannungen beschreibt:

$$R_{\text{min}} = (4,7 \pm 0,3) \Omega,$$

$$R_{\text{max}} = (42,8 \pm 0,9) \Omega.$$

Auch bei der Untersuchung der Leuchtdiode konnte das typische Verhalten beobachtet werden, wobei eine Grenzspannung von etwa 1,8 V vorliegt, unter der kein Strom fließt.

Das unbekannte Bauteil im letzten Versuchsteil konnte mit hoher Wahrscheinlichkeit als PTC-Kaltleiter identifiziert werden.

### 4.3 Fehlerdiskussion

Bei der Untersuchung der Glühlampe in Versuchsteil zwei fällt auf, dass der grobe Verlauf der Strom-Spannungs-Kennlinie mit dem Modell aus [Gleichung 8](#) übereinstimmt. Allerdings weichen die Messwerte vor allem bei hohen und kleinen Spannungen relativ stark ab. Eine mögliche Ursache könnte hierfür sein, dass man höhere Ordnungen der Taylorentwicklung beachten muss und dass sich der Verlauf über eine Taylornäherung nur begrenzt gut beschreiben lässt.

Da auch die lineare Regression mit vertauschter  $x$ - und  $y$ -Achse durchgeführt wird, wäre es gegebenenfalls sinnvoll, die Spannung  $U$  gegen den Strom  $I$  aufzutragen. Da es sich dabei dann

jedoch nicht mehr um eine Strom-Spannungs-Kennlinie handelt, ist fraglich wie sinnvoll dieses Vorgehen wäre.

Bei der Identifikation des unbekanntes Bauteils kann es sinnvoll sein, dass Verhalten bei extrem kleinen oder extrem großen Spannungen noch einmal getrennt zu untersuchen, um mögliche Effekte in diesen Bereichen genauer identifizieren zu können. Außerdem wäre es sinnvoll, sich bei der Messung mehr Zeit zu lassen um temperaturabhängige Schwankungen zu vermeiden.

Außerdem ist es nicht zweifelsfrei festzustellen, ob es nicht noch ein anderes elektrisches Bauteil gibt, das eine ähnliche Strom-Spannungs-Kennlinie aufweist.

#### 4.4 Verbesserte Messmethoden

Um die Unsicherheit durch die Messgeräte zu minimieren, könnte für kleine Spannungen und kleine Ströme ein kleinerer Messbereich des Messgerätes gewählt werden. Hierdurch wäre der relative Fehler geringer. Dieser Effekt ist allerdings nur klein.

Um die Kennlinie der Leuchtdiode auf ihre Richtigkeit zu überprüfen, könnten weitere Messreihen mit anderen Vorwiderständen durchgeführt und verglichen werden. Unter Berücksichtigung der Spannungsänderung durch den Vorwiderstand sollten sich dabei die gleichen Kennlinien ergeben.

Bei der Untersuchung von Glühlampe und unbekanntem Bauteil wäre es sinnvoll das weitere Verhalten für größere Spannungen untersuchen zu können. Dadurch kann der Widerstand bei hell leuchtender Glühlampe genauer bestimmt und eine weitere Änderung des Widerstandes ausgeschlossen werden. Außerdem kann das unbekanntes Bauteil so zweifelsfreier bestimmt werden, da man auch das Verhalten für große Spannungen beurteilen kann. Um die größeren Spannungen zu realisieren, wäre ein anderes Netzteil notwendig.

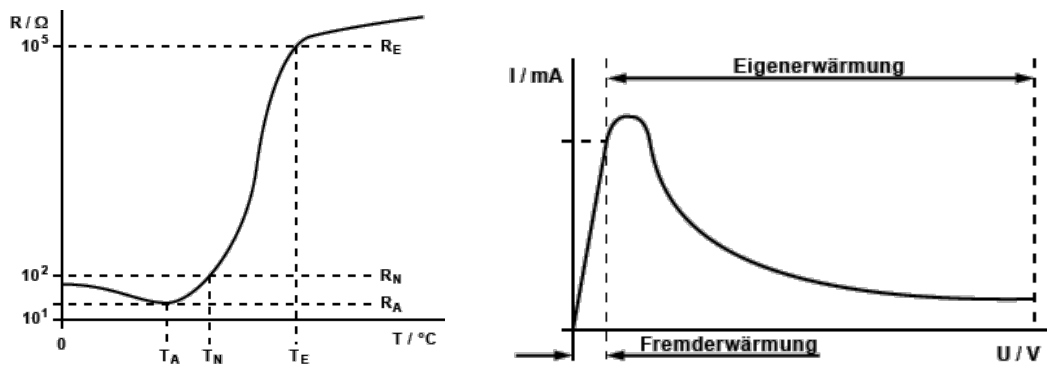
Zur Untersuchung des unbekanntes Bauteils könnte es interessant sein, neben der Strom-Spannungs-Kennlinie, die Abhängigkeit des Widerstands von der Temperatur zu untersuchen. Hierfür wäre eine Messvorrichtung für die Temperatur im Bauteil vonnöten.

## Literatur

- [1] Dr. Christof Bartels, Dr. Lukas Bruder, Dr. Thomas Pfohl: *Versuch 45 - Strom-Spannungs-Kennlinien, Versuchsbeschreibung des Physiklabors für Anfänger\*innen*, (Freiburg im Breisgau, 2022)
- [2] Dieter Meschede: *Gerthsen Physik*, 25.Auflage, (Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum, 2015), Abschnitt 7.3 „Gleichströme“ bis einschließlich 7.3.4 a) „Messgeräte“
- [3] Dr. Christof Bartels, Dr. Lukas Bruder, Dr. Thomas Pfohl: *Datenanalyse Teil A - Skript zur Vorlesung am 06.09.2021*, (Freiburg im Breisgau, 2021/22)
- [4] Dr. Christof Bartels, Dr. Lukas Bruder, Dr. Thomas Pfohl: *Datenanalyse Teil B - Skript zur Vorlesung am 28.02.2022*, (Freiburg im Breisgau, 2021/22)
- [5] Uni-Trend Technology (dong guan) limited: *Model UT51-55: Operating Manual*, S.5f
- [6] Patrick Schnabel: *Elektronik Kompendium - PTC Kaltleiter* <https://www.elektronik-kompendium.de/sites/bau/0111051.htm> (aufgerufen am: 14.03.2022)

## 6 Anhang

### 6.1 Grafiken



(a) Widerstand eines PTC-Kaltleiters gegen die Temperatur (b) Strom-Spannungs-Kennlinie eines PTC-Kaltleiters

Abb. 11: Aufgetragen sind die Temperaturabhängigkeit des Widerstands und die Strom-Spannungs-Kennlinie eines PTC Kaltleiters aus [6].



## 6.2 Laborbuch

Versuch 45 - Strom-Spannung-Kennlinien 110322

1) Versuchsaufbau

1.1

1.2

1.3

1.4

2) Messungen

2.1 Spannungsbereich: 20V → Unsicherheit  $\Delta U = 0,5\%$  + 1 Digit  
 Strommessbereich: 2A → Unsicherheit  $\Delta I = 1,5\%$  + 1 Digit

Spannung U in V	Stromstärke I in A	Spannung U in V	Stromstärke I in A
0,06	0,006	-0,30	-0,030
0,41	0,047	-0,84	-0,054
0,73	0,073	-1,31	-0,132
0,87	0,082	-1,69	-0,169
1,13	0,113	-2,06	-0,206
1,39	0,139	-2,26	-0,226
1,71	0,171	-2,42	-0,243
2,19	0,219	-2,67	-0,267
2,58	0,257	-2,94	-0,294
3,45	0,344	-3,65	-0,365
0,00	0,000		

2.2 Spannungsbereich: 20V → Unsicherheit  $\Delta U = 0,5\%$  + 1 Digit  
 Strommessbereich: 2A → Unsicherheit  $\Delta I = 1,5\%$  + 1 Digit

Spannung U in V	Stromstärke I in A	Spannung U in V	Stromstärke I in A
0,00	0,000	0,52	0,049
0,04	0,010	0,73	0,056
0,11	0,024	1,09	0,068
0,21	0,035	1,30	0,071
0,44	0,046	1,40	0,077

Abb. 12: Laborbuch, Seite 1

Spannung $U$ in V	Stromstärke $I$ in A	Spannung $U$ in V	Stromstärke $I$ in A
1,76	0,088	- 0,73	- 0,056
2,14	0,097	- 0,95	- 0,063
2,57	0,108	- <del>1,09</del>	- 0,068
2,97	0,116	- <del>1,41</del>	- 0,078
3,18	0,121	- 1,87	- 0,090
3,58	0,130	- 2,16	- 0,098
4,39	0,145	- 2,33	- 0,102
5,79	0,162	- 2,67	- 0,110
6,68	0,185	- 3,03	- 0,118
7,81	0,202	- 3,57	- 0,129
9,94	0,232	- 4,04	- 0,138
		- 4,95	- 0,155
- 0,06	- 0,013	- 6,54	- 0,182
- 0,12	- 0,024	- 8,10	- 0,206
- 0,35	- 0,042	- 9,28	- 0,223
- 0,44	- 0,045		
- 0,4556	- 0,050		

Die Glühlampe fängt bei etwa 1V an zu leuchten.

2.3 Spannungsmessbereich 20V  $\rightarrow$  Unsicherheit  $\Delta U = 0,5\%$  + 1 Digit

Strommessbereich: 200mA  $\rightarrow$  Unsicherheit  $\Delta I = 1,5\%$  + 1 Digit

Spannung $U$ in V	Stromstärke $I$ in mA	Spannung $U$ in V	Stromstärke $I$ in mA
- 10,03	00,0	8,70	27,7
- 7,18	00,0	8,74	30,1
- 5,17	00,0	9,25	32,3
- 3,63	00,0	10,00	35,6
- 2,00	00,0		
- 0,06	00,0		
- 0,00	00,0		
0,50	00,0		
0,95	00,0		
1,55	00,0		
1,78	00,1		
1,92	00,5		
2,18	01,5		
2,43	02,5		
2,68	03,5		
2,95	04,8		
3,17	05,6		
3,42	06,7		
4,04	9,4		
4,56	11,7		
5,01	13,6		
5,45	15,6		
6,20	18,8		
6,52	20,2		
7,07	22,7		
7,62	25,1		

Abb. 13: Laborbuch, Seite 2

2.4 Spannungsbereich: 20V → Unsicherheit  $\Delta U = 0,5\%$  + 1 Digit

Strommessbereich: 2A → Unsicherheit  $\Delta I = 1,5\%$  + 1 Digit

Spannung U in V	Stromstärke I in A	Spannung U in V	Stromstärke I in A
0,00	0,000	-0,10	-0,024
0,07	0,019	-0,47	-0,108
0,22	0,059	-0,70	-0,150
0,36	0,096	-0,86	-0,171
0,58	0,150	-1,06	-0,186
0,66	0,161	-1,22	-0,150
0,72	0,172	-1,50	-0,184
0,88	0,189 ← Wert pendelt	-1,71	-0,175
0,95	0,195 ✓	-1,95	-0,164
1,06	0,200	-2,12	-0,154
1,25	0,200	-2,43	-0,143
1,70	0,183	-2,75	-0,131
1,57	0,188	-3,05	-0,121
1,42	0,194	-3,35	-0,113
1,91	0,171	-3,82	-0,100
2,11	0,161	-4,21	-0,094
2,32	0,151	-4,51	-0,089
2,70	0,136	-5,10	-0,080
3,00	0,126	-5,69	-0,072
3,28	0,117	-6,13	-0,068
3,73	0,106	-6,67	-0,063
4,11	0,098	-7,65	-0,055
4,69	0,087	-8,33	-0,051
5,01	0,082	-9,26	-0,046
5,58	0,075	-10,01	-0,043
6,13	0,069		
7,21	0,059		
8,22	0,052		
9,35	0,046		
10,02	0,043		

Beobachtung: Im Bereich mit maximaler Stromstärke ist der Strom zunächst hoch und sinkt dann ab. Es sind die Werte eingetragen nach einer kurzen Wartezeit.

J. P.

Abb. 14: Laborbuch, Seite 3

## Abbildungsverzeichnis

1	Schaltpläne . . . . .	2
2	Versuchsaufbau . . . . .	3
3	Kennlinie des technischen Widerstands . . . . .	4
4	Kennlinie des technischen Widerstands mit linearer Regression . . . . .	5
5	Kennlinie der Glühlampe . . . . .	6
6	Kennlinie der Glühlampe mit linearer Regression . . . . .	7
7	Kennlinie der Glühlampe für kleine Spannungen . . . . .	8
8	Kennlinie der Leuchtdiode mit Vorwiderstand . . . . .	9
9	Kennlinie der Leuchtdiode ohne Vorwiderstand . . . . .	10
10	Kennlinie des unbekanntes Bauteils . . . . .	11
11	Strom-Spannungs-Kennlinie und Temperaturabhängigkeit des Widerstands eines PTC Kaltleiters . . . . .	15
12	Laborbuch, Seite 1 . . . . .	16
13	Laborbuch, Seite 2 . . . . .	17
14	Laborbuch, Seite 3 . . . . .	18