

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Ziele 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>3</b>
3.1	Kennlinie eines technischen Widerstands . . . . .	3
3.2	Kennlinie einer Glühlampe . . . . .	5
3.3	Kennlinie einer Leuchtdiode . . . . .	9
3.4	Kennlinie eines unbekanntes Bauteils . . . . .	11
<b>4</b>	<b>Diskussion der Ergebnisse</b>	<b>13</b>
4.1	Angabe und Diskussion der Endergebnisse . . . . .	13
4.2	Diskussion der verwendeten Messmethoden . . . . .	16
4.3	Verbesserte Messmethoden . . . . .	17
<b>A</b>	<b>Anhang</b>	<b>19</b>
	Abbildungsverzeichnis . . . . .	19
	Tabellenverzeichnis . . . . .	19
	Literaturverzeichnis . . . . .	19
A.1	Rohdaten und daraus berechnete Größen . . . . .	20
A.2	Messprotokoll . . . . .	21

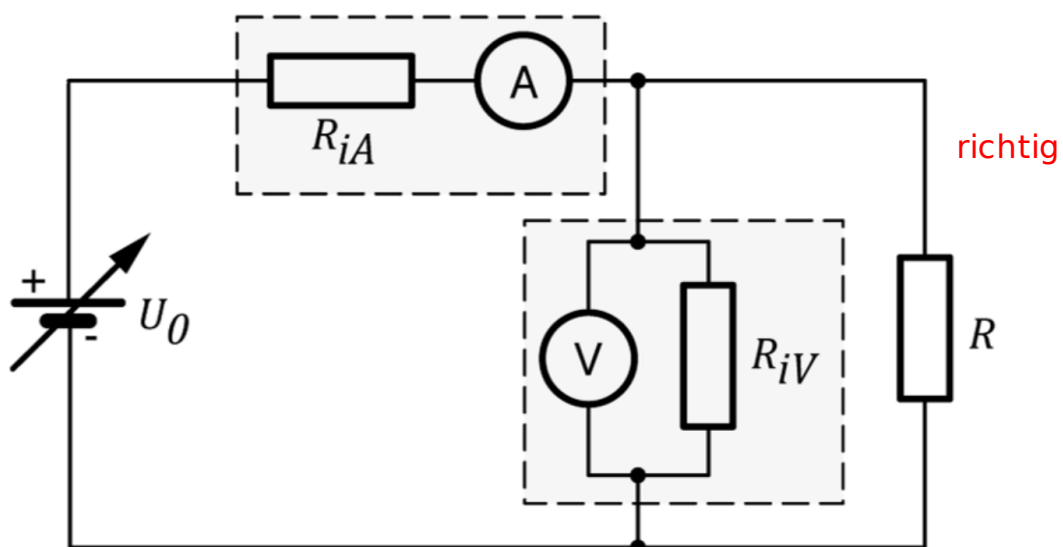
## 1 Ziele des Versuchs

In diesem Versuch werden Strom-Spannungs-Kennlinien für verschiedene Bauteile, einen technischen Widerstand, eine Glühlampe, eine Leuchtdiode mit Vorwiderstand und ein zunächst unbekanntes Bauteil gemessen. Für den technischen Widerstand und die Glühlampe werden anhand der Messergebnisse die Widerstände ermittelt. Zudem wird untersucht, wie sich die Fotodiode ohne Vorwiderstand verhalten würde. Zuletzt werden die Eigenschaften des unbekanntes Bauteils näher ermittelt.

## 2 Aufbau und Durchführung

Für den Versuch wurden ein Netzteil, zwei Multimeter (Modell: *Uni-T UT51* oder baugleich, siehe [5]), mehrere Bananenstecker und ein Steckbrett verwendet. Die zu untersuchenden Bauteile waren Steckelemente. Es standen ein  $80\ \Omega$  -Widerstand, eine Glühlampe, eine Leuchtdiode, ein  $220\ \Omega$  -Vorwiderstand und das zunächst unbekanntes Bauteil zur Verfügung.

Der Versuch gliedert sich in vier Versuchsteile. Für jeden Versuchsteil war der Aufbau nahezu identisch, da stets eine spannungsrichtige Schaltung verwendet wurde. Diese wurde gewählt, da der geschätzte Innenwiderstand der Bauteile in Relation zum Innenwiderstand des Spannungsmessgeräts ( $\approx 1\ \text{M}\Omega$ ) in allen Fällen um einige Größenordnungen kleiner war, was für die besagte spannungsrichtige Schaltung spricht. Hierfür wurde vom Netzteil ausgehend zunächst ein Multimeter zur Strommessung in Reihe geschaltet, darauf folgte eine Parallelschaltung vom Multimeter zur Spannungsmessung und dem jeweils zu vermessenden Bauteil. Der Schaltplan ist in [Abbildung 1](#) dargestellt.



**Abbildung 1:** Grafik des Schaltplans, mit dem die Versuche durchgeführt wurden. Es liegt eine spannungsrichtige Schaltung vor, bei der das Strommessgerät in Reihe zu einer Parallelschaltung von Spannungsmessgerät und Bauteil liegt. Die Grafik wurde der Versuchsanleitung [[Versuchsanleitung](#)] entnommen.

Je nach Versuchsteil wurde nun als Bauteil entweder der technische Widerstand, die Glühlampe, eine Parallelschaltung von Vorwiderstand und Leuchtdiode in Durchlassrichtung oder das unbekannte Bauteil verwendet.

Pro Versuchsteil wurden jeweils 20 Messpunkte aufgenommen. Dabei wurde die Spannung jeweils in 0,5 V-Schritten im Bereich von ungefähr 0,5 V bis 10,0 V erhöht und gepaart mit der gemessenen Stromstärke notiert. Auch die verwendeten Messbereiche der Multimeter wurden vermerkt um Messunsicherheiten angeben zu können.

Der nominelle Wert des technischen Widerstands wurde aus dem aufgedruckten Farbcode ermittelt um einen exakten Vergleichswert mit bekannter Unsicherheit zu erhalten.

Im Laufe des vierten Versuchsteils stellte sich zudem heraus, dass es sich bei dem unbekannten Bauteil um eine Fotodiode handelte. Die Durchführung wurde daraufhin insofern modifiziert, als dass der Versuchsraum vollständig abgedunkelt und die Fotodiode mit konstanter Lichtintensität eines Smartphone-Displays beleuchtet wurde. Um einen qualitativen Vergleich zu ermöglichen, wurden zwei Messreihen mit unterschiedlichen Lichtintensitäten aufgenommen.

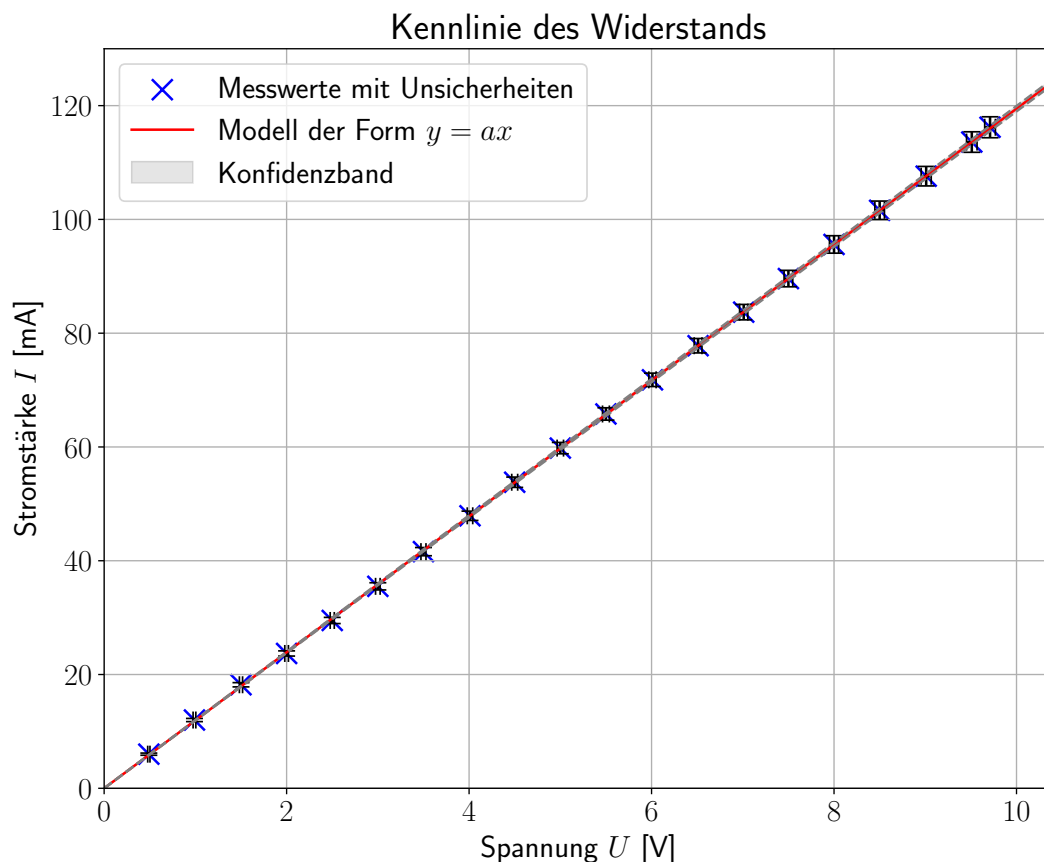
das ist super

## 3 Auswertung und Fehleranalyse

### 3.1 Kennlinie eines technischen Widerstands

In Versuchsteil 1 wird zunächst die Kennlinie eines technischen Widerstands bestimmt. Dies erfolgt durch Messung der Stromstärke  $I_R$  für verschiedene Spannungen  $U_R$ . Sowohl Spannung als auch Stromstärke wurden hierbei mit digitalen Multimetern gemessen. Die Spannung wurde dafür am Netzgerät im Bereich von 0 V bis 10 V in 0,5 V-Schritten erhöht. Für den Versuch wurde ein Widerstand mit einem nominellen Wert von  $R_{\text{nom}} = 82,5 \Omega$  verwendet. Dieser Wert wurde anhand der auf dem Widerstand sichtbaren Kennlinien ermittelt. Die Toleranz war als  $\pm 1 \%$  angegeben, sodass sich der Nominalwert letztendlich als  $R_{\text{nom}} = (82,5 \pm 0,8) \Omega$  angeben lässt. Da sich die Innenwiderstände nach Quelle [1], für das Amperemeter im Bereich von  $R_{iA} \approx 1 \Omega$  und für das Voltmeter im Bereich von  $R_{iV} \approx 1 \text{ M}\Omega$  befinden, wurde aufgrund des erheblich größeren Widerstands des Spannungsmessers im Vergleich zum verwendeten technischen Widerstand eine spannungsrichtige Schaltung für die Messungen gewählt.

Die für die verschiedenen Spannungen  $U_R$  gemessenen Stromstärken  $I_R$  sind [Abbildung 8](#) zu entnehmen. Gemessen wurden Spannung und Stromstärke an den Multimetern hierbei im 20 V- bzw. 20 mA-Bereich. Die im Handbuch der Multimeter (siehe Quelle [5]) gegebenen Unsicherheiten der Messgrößen für die entsprechenden Messbereiche sind dabei  $\Delta U = (0,5 \% + 1 \text{ digit})$  für die Gleichspannungsmessung in diesem Falle und  $\Delta I = (1,5 \% + 1 \text{ digit})$  für die Stromstärkemessung im oben genannten Bereich. Die Unsicherheiten sind daher relativ von den Messwerten abhängig.



**Abbildung 2:** Dargestellt ist die Kennlinie eines technischen Widerstands mit Nominalwert  $(82,5 \pm 0,8) \Omega$ . Dafür wurden die in einer spannungsrichtigen Schaltung gemessenen Stromstärken  $I_R$  gegen verschiedenen eingestellten Spannungen  $U_R$  aufgetragen. Außerdem ist die durch eine gewichtete lineare Regression erhaltene Ausgleichsgerade nach Gleichung (3) mit dem dazugehörigen Konfidenzband dargestellt. Dieses ist aufgrund der geringen Messunsicherheiten kaum sichtbar. Aus der Steigung kann der experimentell bestimmte Wert  $R$  für den Widerstand nach Gleichung (2) bestimmt werden.

In Abbildung 2 ist die Kennlinie des technischen Widerstands durch Auftragung der Stromstärke gegen die Spannung sichtbar. Aufgrund der verschiedenen, von den Messwerten abhängigen Unsicherheiten wird eine gewichtete lineare Regression durchgeführt, wobei der y-Achsenabschnitt auf 0 gesetzt wird. Es ergibt sich der folgende Zusammenhang für die Ausgleichsgerade

$$I_R = a_R \cdot U_R \quad (1)$$

mit

$$a_R = (11,95 \pm 0,05) \text{ k}\Omega^{-1} . \quad (1a)$$

Die Ausgleichsgerade sowie das dazugehörige Konfidenzband (berechnet nach [4]) sind ebenfalls in Abbildung 2 sichtbar. Aufgrund der sehr geringen Unsicherheiten ist das Konfidenzband kaum sichtbar. Auch ist zu erkennen, dass alle Messwerte sehr gut innerhalb

des  $1\text{-}\sigma$ -Bereichs ihrer Unsicherheiten auf der Ausgleichsgeraden liegen, was sehr deutlich auf einen linearen Zusammenhang hinweist. Ein  $\chi^2$ -Test zur Überprüfung der Güte der Anpassung ergibt

$$\chi_R^2 = 2,6 \quad \text{Sehr schön}$$

Dieser Wert ist sehr gering und weist darauf hin, dass das verwendete Modell innerhalb der gegebenen Messunsicherheiten sehr gut zu den Messwerten passt.

Da in diesem Versuchsteil ein technischer Widerstand verwendet wurde, wird die Gültigkeit des ohmschen Gesetzes angenommen. Dieses liefert in der Theorie den linearen Zusammenhang

$$U_R = R \cdot I_R \implies R = \frac{U_R}{I_R} = \frac{1}{a_R} \quad (2)$$

zwischen Spannung und Stromstärke. Mit Hilfe der Steigung  $a_R$  der Ausgleichsgeraden kann daher der Widerstand  $R$  experimentell mit Hilfe der linearen Regression zu

$$R = (83,7 \pm 0,3) \Omega$$

bestimmt werden. Die Unsicherheit des angegebenen Wertes ergibt sich aus einer Gauß'schen Fehlerfortpflanzung durch

$$\Delta R = \left| -\frac{1}{a_R^2} \Delta a_R \right|. \quad (3)$$

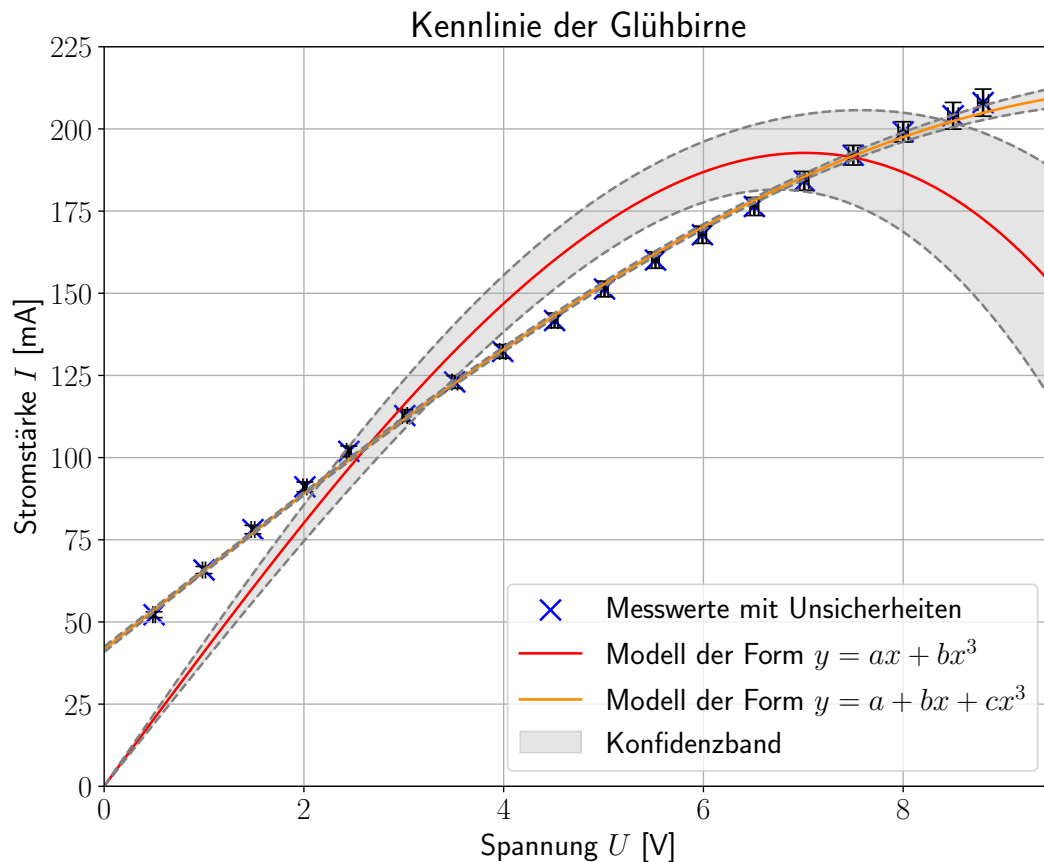
Der relative Fehler beträgt dabei

$$\frac{\Delta R}{R} = 0,4 \% .$$

### 3.2 Kennlinie einer Glühlampe

Im zweiten Versuchsteil wird nun die Kennlinie einer Glühlampe untersucht. Hierzu wurde abermals im spannungsrichtigen Schaltkreis, welcher aufgrund des verhältnismäßig kleinen Widerstands der Glühlampe zum Widerstand des Voltmeters gewählt wurde, die Stromstärke  $I_G$  abhängig von verschiedenen Spannungen  $V_G$  mit digitalen Multimetern gemessen. Die Messbereiche waren hierbei 20 V und 200 mA bzw. für die letzten zwei Messwerte 2 A. Nach Quelle [5] sind die jeweiligen Unsicherheiten hier wiederum gegeben durch  $\Delta U = (0,5 \% + 1 \text{ digit})$  und  $\Delta I = (1,5 \% + 1 \text{ digit})$ .

Die aus den Messwerten in [Abbildung 8](#) erhaltene Kennlinie der Glühlampe, wobei die Stromstärke  $I_G$  gegen die Spannungen  $U_G$  aufgetragen wurde, ist in [Abbildung 3](#) sichtbar. Aufgrund der verschiedenen, von den Messwerten abhängigen Unsicherheiten wird abermals eine gewichtete lineare Regression nach [4] durchgeführt, dieses Mal im Rahmen einer Anpassung von  $y = ax + bx^3$ .



**Abbildung 3:** Darstellung der Kennlinie einer Glühlampe durch Auftragung der mit Multimetern gemessenen Stromstärken  $I_G$  gegen verschiedene Spannungen  $U_G$ . Außerdem ist die durch gewichtete lineare Regression erhaltene Anpassung nach Gleichung (4), zusammen mit dem zugehörigen Konfidenzband sichtbar. Es ist zu erkennen, dass die Messwerte nur bedingt mit dem Verlauf übereinstimmen. Zur späteren Diskussion ist des Weiteren die durch gewichtete lineare Regression erhaltene Anpassung der Form  $y = a + bx + cx^3$  (siehe Gleichung (5)) sichtbar.

Für die Anpassung ergibt sich der folgende Zusammenhang

$$I_G = a_G \cdot U_G + b_G \cdot U_G^3 \quad (4)$$

mit

$$a_G = (41,2 \pm 0,2) \text{ k}\Omega^{-1} \quad (4a)$$

$$b_G = (-0,278 \pm 0,005) \text{ k}\Omega^{-1} \text{ V}^{-2} . \quad (4b)$$

Die durch die lineare Regression berechnete Anpassungskurve ist ebenfalls in [Abbildung 3](#) sichtbar. Es ist dabei auffällig, dass die Anpassung deutlich von den Messwerten abweicht, diese also nicht zu genüge beschreibt. Gerade im niedrigen Spannungsbereich weist eine durch Gleichung (4) beschriebene Kennlinie eine zu geringe Steigung auf. Die experimentell bestimmten Daten stiegen dahingegen gerade bei der ersten Messung deutlich stärker an, was dazu führt, dass der durch die Messwerte beschriebene Verlauf ein Offset aufweist

und daher nicht durch den Ursprung verläuft. Physikalisch gesehen wäre ein Verlauf durch den Ursprung jedoch nur sinnvoll, da ohne angelegte Spannung ebenfalls kein Strom fließen kann.

Dennoch beschreibt eine Anpassung im Rahmen einer gewichteten linearen Regression der Form

$$I_{G2} = a_{G2} + b_{G2} \cdot U_{G2} + c_{G2} \cdot U_{G2}^3 \quad (5)$$

mit

$$a_{G2} = (41,7 \pm 0,8) \text{ mA} \text{ Strom bei } U=0 \text{ ist seltsam} \quad (5a)$$

$$b_{G2} = (23,9 \pm 0,4) \text{ k}\Omega^{-1} \quad (5b)$$

$$c_{G2} = (-0,070 \pm 0,007) \text{ k}\Omega^{-1} \text{ V}^{-2} \quad (5c)$$

den Verlauf der Kennlinie, wie ebenfalls in [Abbildung 3](#) zu sehen, erheblich besser. Allerdings weist diese Anpassung einen, wie oben erläuterten, unphysikalischen y-Achsenabschnitt ungleich Null auf. In einem späteren Abschnitt sollen daher die Ursachen für diese Abweichung der Messwerte von den theoretischen Erwartungen genauer diskutiert werden.

Während der Messreihe wurde außerdem Qualitativ das Leuchten der Glühlampe beobachtet. Hierbei war zu erkennen, dass die Glühlampe bei kleinen Spannungen bis ca. 2 V keinerlei glühen aufwies. So ist bei niedrigen Spannungen die Temperatur des Glühfadens zunächst zu gering, um für ein Glühen oder gar Leuchten zu sorgen. Ab 2 V bis zu einem Bereich von ungefähr 5 V war die Spannung und daher der Widerstand der Glühlampe und die Temperaturerhöhung ausreichend groß, um ein Glühen zu beobachten. Da bei einer Glühlampe der Widerstand mit zunehmender Spannung steigt, konnte ab einem Bereich von 6 V ein Leuchten der Glühlampe festgestellt werden.

Um den Widerstand der Glühlampe, der wie soeben erläutert temperaturabhängig ist, genauer zu betrachten, soll im folgenden der Widerstand bei kleinen Spannungen sowie der effektive Widerstand bei maximaler Helligkeit untersucht werden. In diesen jeweiligen Spannungsbereichen ist ein näherungsweise linearer Verlauf zwischen Stromstärke und Spannung zu erwarten. Daher wird in beiden Fällen eine gewichtete lineare Regression der Form  $y = a + bx$  durchgeführt. Im Fall 1 der niedrigen Spannungen wird dabei nur der Bereich von 0 V bis 2 V betrachtet, in dem kein Glühen sichtbar war. Die Untersuchung des Widerstands bei maximaler Helligkeit (Fall 2) erfolgt dahingegen für die Messwerte im Bereich von 6 V bis 8,8 V, da hier die Glühlampe eindeutig leuchtete. Der Widerstand ist dann, wie bereits in Versuchsteil 1 beschrieben, durch die Steigung der Ausgleichsgeraden durch [Gleichung \(2\)](#) gegeben. Die gewichtete lineare Regression ergibt als Ausgleichsgerade für den niedrigen Spannungsbereich den Zusammenhang

$$I_{G1} = a_{G1} + b_{G1} \cdot U_{G1} \quad (6)$$

mit

$$a_{G1} = (39,5 \pm 1,2) \text{ mA} \quad (6a)$$

$$b_{G1} = (25,9 \pm 1,0) \text{ k}\Omega^{-1} . \quad (6b)$$

Für die Ausgleichsgerade im maximalen Helligkeitsbereich ergibt sich dahingegen

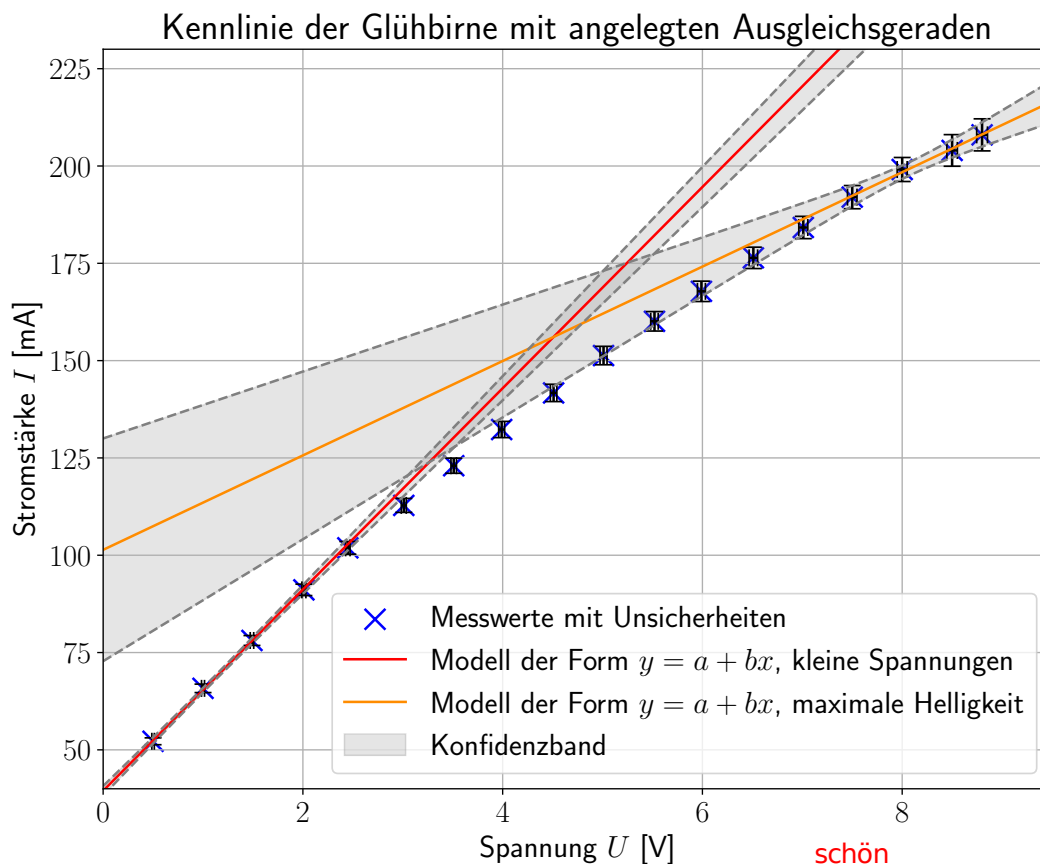
$$I_{G_2} = a_{G_2} + b_{G_2} \cdot U_{G_2} \quad (7)$$

mit

$$a_{G_2} = (101 \pm 30) \text{ mA} \quad (7a)$$

$$b_{G_2} = (12 \pm 4) \text{ k}\Omega^{-1} . \quad (7b)$$

Die jeweiligen Ausgleichsgeraden und ihre zugehörigen Konfidenzbänder sind mitsamt der durch die Messwerte erhaltenen Kennlinie der Glühlampe in [Abbildung 4](#) sichtbar.



**Abbildung 4:** Dargestellt ist nochmals die aus den Messwerten für  $I_G$  und  $U_G$  erhaltene Kennlinie der Glühlampe mitsamt der durch gewichtete lineare Regression erhaltenen Ausgleichsgeraden im niedrigen Spannungsbereich sowie im Bereich maximaler Helligkeit. Ebenfalls dargestellt sind die dazugehörigen Konfidenzbänder. Aus der Steigung der Ausgleichsgeraden können die temperaturabhängigen Widerstände der Glühlampe im niedrigen und hohen Spannungsbereich nach [Gleichung \(2\)](#) bestimmt werden.

Mit [Gleichung \(2\)](#) und der Gauß'schen Fehlerfortpflanzung nach [Gleichung \(3\)](#) ergeben sich dann für die Widerstände und ihre relativen Unsicherheiten

$$R_{G_1} = (38,7 \pm 1,5) \Omega \quad \frac{\Delta R_{G_1}}{R_{G_1}} = 4 \%$$

im niedrigen Spannungsbereich und



$$R_{G_2} = (69 \pm 6) \Omega$$

$$\frac{\Delta R_{G_2}}{R_{G_2}} = 9\%$$

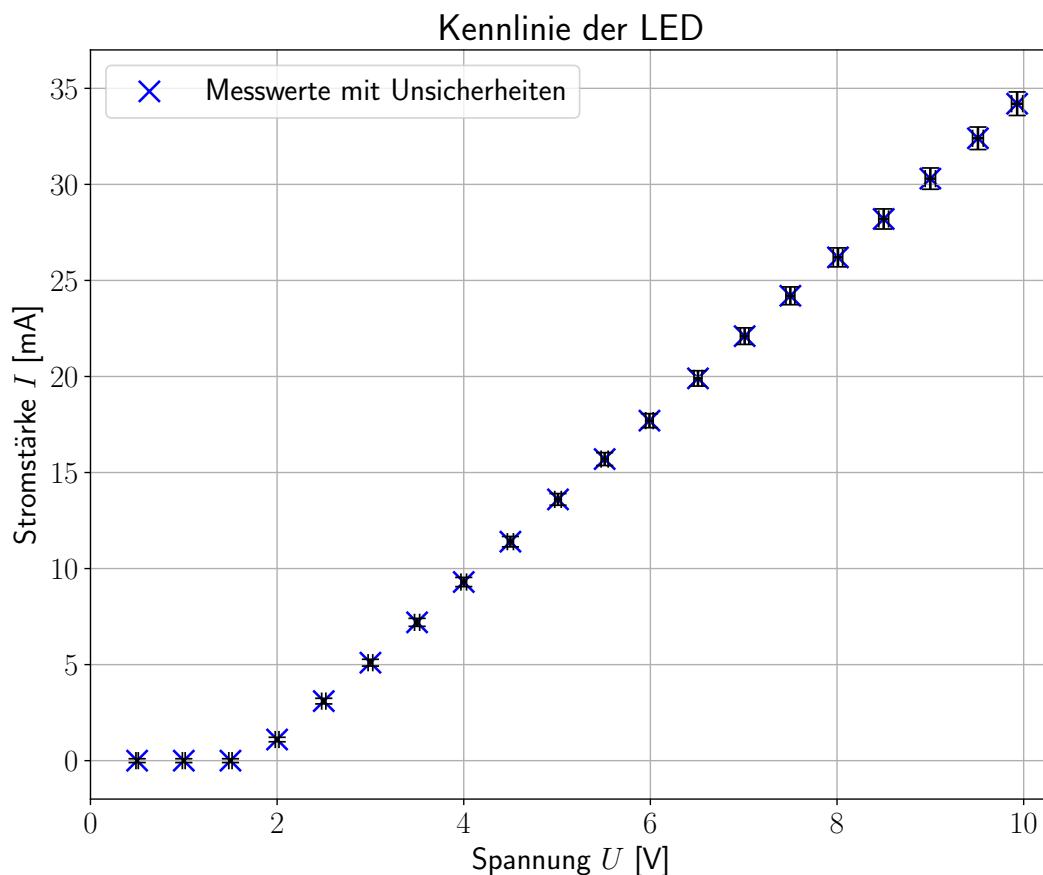
im Bereich maximaler Helligkeit.

Die theoretische Erwartung einer Zunahme des Widerstands der Glühlampe bei Temperaturzunahme, also bei steigender Spannung, wird somit durch diesen Versuch bestätigt.

### 3.3 Kennlinie einer Leuchtdiode

In diesem Versuchsteil wird die Kennlinie einer Leuchtdiode bestimmt. Die Diode war im Versuch in Reihe zu einem Vorwiderstand  $R_{\text{vor}} = (220 \pm 5) \Omega$  geschaltet, dessen Unsicherheit anhand der aufgedruckten Farbskala ermittelt wurde. Die Spannung  $U_3$  wurde über Diode und Widerstand gemessen. Der eingestellte Messbereich an den Multimetern betrug dabei wieder 20 V und 200 mA. Die Unsicherheiten ergeben sich damit nach Quelle [5] wieder zu  $\Delta U = (0,5\% + 1 \text{ digit})$  und  $\Delta I = (1,5\% + 1 \text{ digit})$ .

Die gemessenen Spannungen und Stromstärken sind in [Abbildung 9](#) aufgelistet und in [Abbildung 5](#) dargestellt.



**Abbildung 5:** Dargestellt ist die Kennlinie einer Leuchtdiode mit Vorwiderstand. Die hierfür verwendeten Messwerte für Strom und Spannung sind in [Abbildung 9](#) aufgeführt. Die Unsicherheiten berechnen sich wie zuvor aus den in der Bedienungsanleitung [lit:BedienungsanleitungPeakTech] angegebenen Abweichungen.

Es ist zu erkennen, dass für Spannungen kleiner als 1,50 V kein Strom fließt. Für eine Spannung von 2,00 V ist ein Stromfluss erkennbar. Die LED leuchtete bei dieser Spannung schwach rot. Je höher die Spannung gedreht wurde, desto höher war auch die dazu gemessene Stromstärke. Die beobachtete Leuchtintensität der LED nahm dabei stetig zu. Da der Vorwiderstand als Ohmscher Widerstand angenommen wird und daher annähernd konstant ist, lässt sich folgern, dass der Widerstand der LED von der angelegten Spannung abhängt. Für kleine Spannungen scheint der Widerstand der LED sehr groß zu sein. Hier ist also anschaulich, dass Leuchtdioden eine Mindestspannung, die sogenannte Durchlassspannung, benötigen, um überhaupt einen Stromfluss zu ermöglichen und zu leuchten. Der Widerstand der LED scheint sich für größere Spannungen zu verringern. Im folgenden wird der dadurch resultierende Stromverlauf der LED unabhängig vom Vorwiderstand genauer untersucht.

Für jeden Messpunkt wird auf eine Spannung und eine Stromstärke an der LED rückgeschlossen. Die an der LED abfallende Spannung  $U_{\text{LED}}$  ergibt sich dabei aus der Differenz der gemessenen Spannung  $U_3$  und der Spannung, die bei gegebener Stromstärke  $I_3$  am Vorwiderstand  $R_{\text{vor}}$  abfällt:

$$U_{\text{LED}} = U_3 - R_{\text{vor}} \cdot I_3 \quad . \quad (8)$$

Die Unsicherheiten der LED-Spannung ergeben sich durch Gauß'sche Fehlerfortpflanzung aus den Unsicherheiten der gemessenen Spannung  $\Delta U_3$ , der Unsicherheit des Vorwiderstands  $\Delta R_{\text{vor}}$  und den Unsicherheiten des gemessenen Stroms  $\Delta I_3$ :

$$\Delta U_{\text{LED}} = \sqrt{(\Delta U_3)^2 + (-I_3 \cdot \Delta R_{\text{vor}})^2 + (-R_{\text{vor}} \cdot \Delta I_3)^2} \quad (9)$$

Der zugehörige LED-Strom  $I_{\text{LED}}$  ist aufgrund der ersten Kirchhoff'schen Regel genau der Strom der durch die Reihenschaltung von LED und Vorwiderstand fließt. Wenn man den Strom durch das Spannungsmessgerät aufgrund seines hohen Innenwiderstands vernachlässigt, findet sich hierfür also genau der vom Strommessgerät gemessene Strom  $I_3$ :

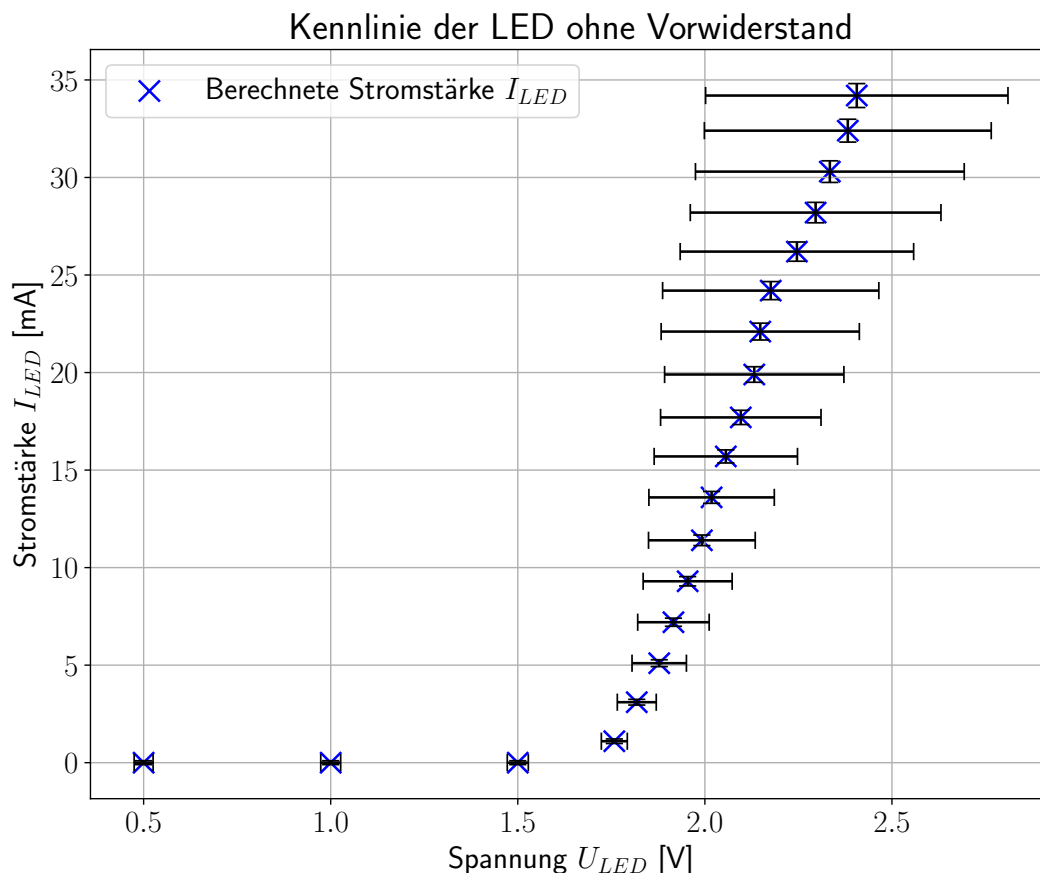
$$I_{\text{LED}} = I_3 \quad . \quad (10)$$

Die Unsicherheiten der LED-Stromstärke

$$\Delta I_{\text{LED}} = \Delta I_3 \quad (11)$$

entsprechen also der Messunsicherheit des Strommessgeräts. Die Werte für Spannung und Stromstärke der LED und deren Unsicherheiten sind in [Tabelle 1](#) aufgelistet. Mit diesen lässt sich die in [Abbildung 6](#) gezeigte Kennlinie der LED, bereinigt um den Vorwiderstand auftragen.

Es ist abermals zu erkennen, dass die LED für kleine Spannungen sperrt, also einen sehr hohen Widerstand aufweist, der den Stromfluss unterdrückt. Wird die an der LED angelegte Spannung höher als die Durchlassspannung, steigt die Stromstärke rasch an. Auch kleine Spannungsänderungen sorgen hier für eine große Veränderung in der Stromstärke. Daraus lässt sich schließen, dass der Widerstand der LED schnell sehr klein wird. Durch diese Beobachtung lässt sich auch erklären, warum die LED mit Vorwiderstand betrieben wird. Ansonsten würde eine direkt angelegte Netzgerätsspannung zu extremen Stromstärken führen. Die LED könnte auch durch kleine Spannungsänderungen beschädigt werden.



**Abbildung 6:** Darstellung der Kennlinie der Leuchtdiode ohne Vorwiderstand. Die hierfür verwendeten Werte für Strom und Spannung und deren Unsicherheiten wurden mithilfe von Gleichungen (8) bis (11) berechnet und sind in Tabelle 1 aufgeführt.

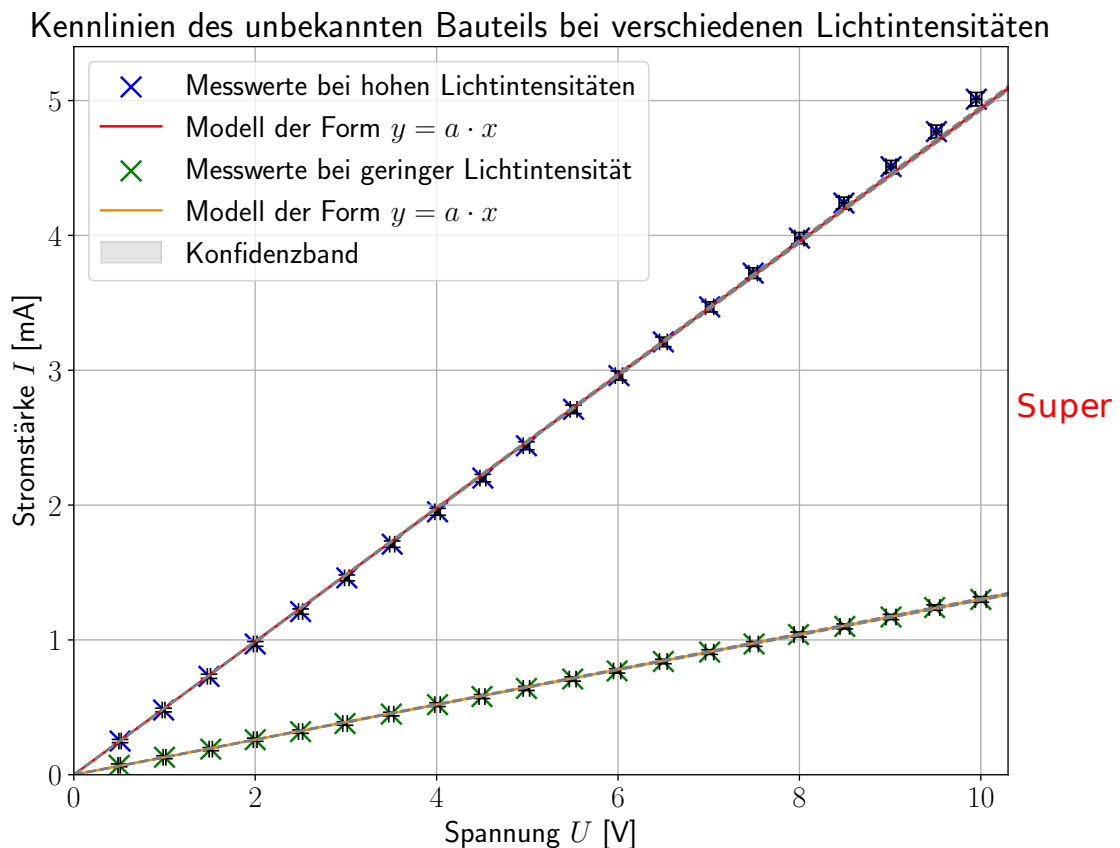
### 3.4 Kennlinie eines unbekannten Bauteils

Zuletzt wurde nun bei gleichbleibendem Versuchsaufbau der Zusammenhang zwischen Strom und Spannung bei einem unbekanntem Bauteil gemessen. Das Bauteil wurde ohne Vorwiderstand direkt in die spannungsrichtige Schaltung eingebaut und der Strom für verschiedene Spannungen gemessen. Dabei wurde die Spannung wie in den anderen Versuchsteilen auch, immer um 0,5 V verändert. Die Messbereiche wurden auf 20 V und 20 mA eingestellt. Damit ergeben sich alle berechneten Unsicherheiten aus der angegebenen Messunsicherheit von  $\Delta U = (0,5\% + 1 \text{ digit})$  und  $\Delta I = (0,8\% + 1 \text{ digit})$ .

Während der ersten Messung war auffällig, dass die gemessenen Werte für den Strom sehr stark schwankten, sodass der genaue Wert nicht immer mit Sicherheit bestimmen konnte. Auf der Suche nach möglichen Fehlerquellen fiel auf, dass die angezeigte Stromstärke bei Abdunklung des Bauteils deutlich abfiel, und bei Beleuchtung wieder stark zunahm. Es ist also anzunehmen, dass es sich um eine lichtempfindliche Diode handelte.

Um eine aussagekräftige Messung zu gewährleisten, wurde der Raum vollständig abgedunkelt und das Bauteil mit dem Licht eines Smartphone-Displays, also mit konstanter Intensität beschienen (wie in [Abbildung 11](#)). Dies wurde zwei Mal für verschiedene Intensitäten wiederholt um einen qualitativen Vergleich zu ermöglichen.

Die so gemessenen Daten sind [Abbildung 9](#) zu entnehmen und in [Abbildung 7](#) dargestellt.



**Abbildung 7:** Darstellung der Kennlinie des unbekannten Bauteils, die Stromstärke  $I$  aufgetragen gegen die Spannung  $U$  bei verschiedenen, konstanten Beleuchtungsintensitäten. Die Ausgleichsgeraden ergeben sich aus der gewichteten, linearen Regression in [Gleichung \(12\)](#). In beiden Fällen passt das Modell so gut zu den Messwerten, dass die Konfidenzbänder kaum sichtbar sind. Die Unsicherheiten wurden aus den angegebenen Unsicherheiten der Messgeräte berechnet.

Man sieht, dass beide Verläufe nahezu linear sind. Dies lässt darauf schließen, dass die Diode einen eingebauten Innenwiderstand hatte. Da dieser aber im Nachhinein nicht näher bestimmt werden kann, lässt sich die um den Widerstand bereinigte Kennlinie der Diode selber nicht rekonstruieren.

Da nicht wie bei der zuvor vermessenen LED ein Bereich zu erkennen ist, in dem die gemessene Stromstärke bei 0 liegt, lässt sich zudem darauf schließen, dass die Diode eine sehr geringe Sperrspannung von unter 0,5 V aufweist.

Für die beiden unterschiedlichen Lichtintensitäten, lässt sich wie zuvor der Gesamtwiderstand des Systems bestimmen.

Hierzu wurde eine gewichtete lineare Regression mit dem Ansatz

$$I = a \cdot U \quad (12)$$

durchgeführt. Für die beiden unterschiedlichen Fälle (1 bei hoher Lichtintensität, 2 bei geringer Lichtintensität) ergibt sich

$$a_1 = (0,4942 \pm 0,0014) \text{ k}\Omega^{-1} \quad (12a)$$

$$a_2 = (0,1295 \pm 0,0007) \text{ k}\Omega^{-1} . \quad (12b)$$

Mit [Gleichung \(2\)](#) und der Unsicherheit nach [Gleichung \(3\)](#) kann der Gesamtwiderstand der Schaltung bestimmt werden zu

$$R_1 = (2,023 \pm 0,006) \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = (7,72 \pm 0,04) \text{ k}\Omega .$$

Da dieser unerwartet groß ist und eine bis zwei Größenordnungen über den Widerständen der anderen Schaltungen liegt, hätte man im Nachhinein eventuell eine stromrichtige Schaltung für die Messung verwenden sollen. Um dies aber sicher zu entscheiden, hätte der Innenwiderstand des Voltmeters bei der gewählten Einstellung exakt bekannt sein müssen. Da der niedrige Kilo-Ohm-Bereich aber wahrscheinlich noch deutlich unter dem Innenwiderstand des Multimeters im 20 V-Messbereich liegt, war eine spannungsrichtige Messung dennoch angebracht.

## 4 Diskussion der Ergebnisse

### 4.1 Angabe und Diskussion der Endergebnisse

Ziel des ersten Versuchsteils war es, die Kennlinie eines technischen Widerstands zu untersuchen und anhand ihrer Steigung den Wert des Widerstands experimentell zu bestimmen. Mit Hilfe einer gewichteten linearen Regression konnte dabei der Widerstand zu

$$R = (83,7 \pm 0,3) \Omega \quad \frac{\Delta R}{R} = 0,4 \%$$

bestimmt werden. Die sehr geringe relative Unsicherheit ist dabei auf den in [Abbildung 2](#) sehr linearen Verlauf der Messwerte zurückzuführen, wodurch das ohmsche Gesetz bestätigt wird und eine sehr gute Anpassung der Ausgleichsgerade, über die der Wert des Widerstands berechnet wurde, möglich ist. Anhand der Kennlinien des Widerstands konnte ein Nominalwert von

$$R_{\text{nom}} = (82,5 \pm 0,8) \Omega$$

ermittelt werden. Ein t-Test zum Vergleich des Nominalwerts mit dem experimentellen Ergebnis des Widerstands liefert

$$t = \frac{|R - R_{\text{nom}}|}{\sqrt{(\Delta R)^2 + (\Delta R_{\text{nom}})^2}} = 1,4 .$$

schön

Damit ist  $t \leq 2$  und der experimentell bestimmte Wert des Widerstands ist gut mit dem nominellen Wert verträglich.

Im zweiten Versuchsteil wurde die Kennlinie einer Glühlampe untersucht, welche mitsamt einer Anpassung durch gewichtete lineare Regression in [Abbildung 3](#) sichtbar ist. Zuvor wurde bereits angemerkt, dass das Modell  $y = ax + bx^3$  nicht gut mit den gemessenen Werten übereinstimmt. Dies zeigt auch ein  $\chi^2$ -Test, der in diesem Fall bei einem Wert von  $\chi^2 = 2564$  liegt, und damit auf eine erhebliche Unverträglichkeit mit dem Modell hinweist. Wie man an der Darstellung sieht, ist die Steigung der Messwerte am Anfang zu hoch um durch eine nur leicht ansteigende Anpassung der Form  $y = ax + bx^3$  beschrieben zu werden. Dies deutet darauf hin, dass das Modell von einer größeren Veränderung des Widerstands bei niedrigen Spannungen ausgeht. Vielleicht ist das Modell also bei einer Glühbirne mit dünnerem Glühfaden besser geeignet. In diesem Fall hätten auch Temperaturänderungen eine größere Auswirkung auf den Widerstand, was ebenfalls für dieses Modell sprechen würde.

Im niedrigen Spannungsbereich verändert sich zunächst die Temperatur des Glühfadens nur gering. Daher kann in diesem Bereich die Glühbirne näherungsweise als Ohm'scher Widerstand betrachtet werden. Im hohen Spannungsbereich, also bei maximaler Helligkeit wird bereits ein Großteil der Energie in Joule'sche Wärme umgewandelt. Damit kann auch in diesem Bereich die Kennlinie der Glühbirne als nahezu linear angesehen werden, wobei aufgrund der Temperaturabhängigkeit in diesem Fall ein höherer Widerstand zu erwarten ist. Durch erneutes Anwenden einer gewichteten linearen Regression in beiden Bereichen ergibt sich

$$R_{G_1} = (38,7 \pm 1,5) \Omega \qquad \frac{\Delta R_{G_1}}{R_{G_1}} = 4 \%$$

im niedrigen Spannungsbereich und

$$R_{G_2} = (69 \pm 6) \Omega \qquad \frac{\Delta R_{G_2}}{R_{G_2}} = 9 \%$$

im Bereich der maximalen Helligkeit. Die theoretisch erwartete Widerstandszunahme wird daher durch die experimentell ermittelten Werte bestätigt. Hier fallen die relativen Unsicherheiten größer aus, als bei dem im Versuchsteil 1 ermittelten technischen Widerstand, trotz analoger Vorgehensweise der Berechnungen. Dies ist unter anderem darauf zurückzuführen, dass es sich bei der Annahme eines linearen Verlaufs im niedrigen und hohen Spannungsbereich nur um eine Näherung handelt.

Die Untersuchung der Kennlinie einer Leuchtdiode erfolgte in Versuchsteil 3. Die entsprechenden experimentellen Ergebnisse sind im Rahmen der Kennlinie [Abbildung 5](#) zu entnehmen. Hier ist deutlich das Vorschalten des eines Vorwiderstands von  $220 \Omega$  sichtbar, welcher zu einem linearen Verlauf der Kennlinie führt. Dies bestätigt die theoretische Erwartung, dass der Leuchtdiodenwiderstand ab dem Erreichen einer bestimmten Schwellenspannung sehr schnell so klein wird, dass er auf den Verlauf der Kennlinie also ab dem Überschreiten der Schwellenspannung einen vernachlässigbaren Einfluss hat. Auch ist im Verlauf der Kennlinie gut sichtbar, dass diese Schwellenspannung bei  $2 \text{ V}$  erreicht ist und

ab dort ein Strom fließt. Ebenfalls in Übereinstimmung mit den theoretischen Erwartungen zeigen die Messergebnisse, dass vor dem Überwinden dieser Schwellenspannung keinerlei Strom fließen kann, was auf einen zuvor sehr großen Widerstand der Leuchtdiode schließen lässt.

Berechnet man aus den Messwerten den Spannungs- und Stromstärkeverlauf  $U_{\text{LED}}$  bzw.  $I_{\text{LED}}$  ohne Vorwiderstand, so ergibt sich die in [Abbildung 6](#) sichtbare Kennlinie, welche nochmals die zuvor beschriebenen Beobachtungen bestätigt. Zunächst ist die Steigung der Kennlinie bis zur Schwellenspannung Null, was einem sehr großen Widerstand der LED entspricht. Ab dieser Schwellenspannung steigt die Stromstärke dann sehr schnell an, der Widerstand der LED ist also äußerst gering. Die mit zunehmender Spannung deutlich größer werdenden relativen Unsicherheiten  $\Delta U_{\text{LED}}$  sind dabei auf den immer stärkeren Anstieg der Stromstärke  $I_3$  zurückzuführen, wodurch der in [Gleichung \(9\)](#) vorkommende Beitrag  $|I_3 \cdot \Delta R_{\text{vor}}|$  basierend auf der konstanten Toleranz des Vorwiderstands und der gemessenen, immer größer werdenden, Stromstärke den Beitrag zur Unsicherheit der Spannung  $U_{\text{LED}}$  dominiert.

In Versuchsteil 4 wurde nun ein unbekanntes Bauteil gewählt und abermals anhand der Bestimmung der Kennlinie, welche in [Abbildung 7](#) sichtbar ist, qualitativ untersucht. Erste Messungen wiesen dabei große Schwankungen in Abhängigkeit der Beleuchtung auf, sodass für weitere Messungen eine konstante Beleuchtung des Bauteils realisiert wurde. Die sichtbaren Kennlinien entsprechen daher einmal einer maximalen Beleuchtung mit einem Smartphone-Display und einmal einer Beleuchtung mit der entsprechend abgeschätzten halben Intensität. Die von der Beleuchtung abhängige, unterschiedliche Steigung der Kennlinie ist dabei in [Abbildung 7](#) sehr deutlich zu erkennen. Der Widerstand des Bauteils bei maximaler Beleuchtung ergibt sich dabei zu

$$R_1 = (2,023 \pm 0,006) \text{ k}\Omega \qquad \frac{\Delta R_1}{R_1} = 0,3 \%$$

und bei verringerter Beleuchtungsintensität zu

$$R_2 = (7,72 \pm 0,04) \text{ k}\Omega \qquad \frac{\Delta R_2}{R_2} = 0,5 \%$$

Dies lässt darauf schließen, dass der Widerstand des Bauteils mit abnehmender Lichtintensität zunimmt. In jedem Falle ist er eindeutig lichtabhängig. Diese Untersuchung führte zu dem Schluss, dass es sich beim vorliegenden unbekanntem Bauteil vermutlich um eine Photodiode handelt. Da der Verlauf der Kennlinien dennoch linear ist und nicht mit dem einer Diode ohne Vorwiderstand (wie in [Abbildung 6](#)) übereinstimmt ist außerdem davon auszugehen, dass die Photodiode zusätzlich einen Innenwiderstand hat, der entsprechend der Funktion des Vorwiderstands in Versuchsteil 3 zu einem linearen Zusammenhang zwischen Stromstärke und Spannung führt.

Wie die Ergebnisse der Messungen durch die Messmethoden beeinflusst wurden, sowie welche Möglichkeiten es gibt die Berechnung und Messung zu verbessern, wird nun im folgenden diskutiert.

## 4.2 Diskussion der verwendeten Messmethoden

Zunächst ist es wichtig anzumerken, dass die Wahl der Schaltung das Messergebnis deutlich beeinflussen kann. Die gewählte spannungsrichtige Schaltung hat den Nachteil, dass ein Strom über das parallelgeschaltete Spannungsmessgerät fließt. Dieser beeinflusst somit die Strommessung. Die Widerstände der zu untersuchenden Bauteile wurden abgeschätzt, um die bestmögliche Schaltung zu bestimmen. Ist der Widerstand des zu vermessenden Bauteils viel kleiner als der Innenwiderstand des Spannungsmessgeräts welcher in der Größenordnung von  $1\text{ M}\Omega$  liegt, so bietet sich eine spannungsrichtige Messung an. Für konstante Widerstände wie den technischen Widerstand ist eine solche Entscheidung leicht zu treffen. Für andere Bauteile, wie zum Beispiel die Leuchtdiode oder das unbekannte Bauteil, ist dies nicht so eindeutig. Je nach angelegter Spannung verändert sich deren Widerstand. Wird dieser zu groß, so fließt ein hoher Fehlstrom über das Spannungsmessgerät. In diesen Fällen wäre eine stromrichtige Schaltung sinnvoller. Dadurch, dass dann nur eine vergleichsweise geringe Fehlspannung am Widerstand des Strommessgeräts abfallen würde, wären weder Strom- noch Spannungsmessung stark beeinflusst. Da sich der Widerstand dieser Bauteile aber über einen großen Bereich hinweg ändert und eine Veränderung der Schaltung mitten in der Messreihe nicht sinnvoll erscheint, ist ein Beibehalten der spannungsrichtigen Schaltung hier ein guter Kompromiss.

Zur Bestimmung der Kennlinie der LED wurde ein Vorwiderstand verwendet, welcher so geschaltet wurde, dass die Spannungsmessung über LED und Vorwiderstand erfolgte. Um die Kennlinie der LED ohne Vorwiderstand zu ermitteln, musste diese um den Spannungsabfall am Widerstand bereinigt werden. Durch diese Rechenschritte wurde die Unsicherheit für die an der LED abfallende Spannung deutlich größer. Dieses Vorgehen sollte für kommende Experimente verbessert werden, hierfür werden im folgenden Abschnitt Vorschläge gemacht.

Des weiteren ist es durchaus relevant, den tatsächlichen Widerstand mit Unsicherheit der verwendeten technischen Widerstände anhand der Farbskala zu ermitteln. Diese liefert mehr Informationen über den Widerstand. Auch kann es bei Verwendung der aufgeklebten Beschriftung zu Fehlern kommen. Der in Versuchsteil 1 verwendete Widerstand war mit  $80\ \Omega$  beschriftet. Die Messungen ergaben einen höheren Widerstandswert und auch ein Lesen des Farbcodes ergab, dass der Widerstand tatsächlich ungenau etikettiert war und einen tatsächlichen Wert von  $82,5\ \Omega$  hatte.

Für die Ermittlungen der Kennlinien ist es zudem wichtig, nicht nur die offensichtlichen Parameter wie Strom, Spannung und die Art der Schaltung zu berücksichtigen. Am Beispiel der Fotodiode wird anschaulich, dass auch zunächst nicht offensichtliche Einflüsse wie die Lichtintensität den gemessenen Wert beeinflussen. Ebenso, aber nicht so offensichtlich spürbar, verhält es sich beispielsweise, wenn sich die Temperatur eines technischen Widerstands ändert. Dieser bleibt bei Temperaturänderung nicht konstant, sondern ändert sich. Der Effekt wird aber in diesem Experiment, also bei der verwendeten Leistung und Dauer als vernachlässigbar angenommen.

**Guter Punkt! Die Praktikumsleitung will sowiso weg von den Stckbrettern und mehr löten lassen. Dann müssen die Studierenden vom Frabcode ablesen und sind näher am Bauteil.**



Der erwähnte Einfluss der Lichtintensität auf den Widerstand der Fotodiode sorgte für Schwankungen in der Kennlinie. Indem der Praktikumsraum abgedunkelt und die Fotodiode mit einem Smartphone-Display, bei konstanter Helligkeit beleuchtet wurde, konnten diese Schwankungen verringert werden. Dennoch war der Raum nicht perfekt dunkel. Mögliche Einflüsse auf die Messung könnten Bildschirme der Laptops gewesen sein, die in der Nähe angeschaltet waren. Auch die Tür zum Praktikumsraum wurde nicht ganz geschlossen und manchmal bewegt. Die Intensität des Störlichts wird aber im Vergleich zum Licht des Smartphones als gering eingeschätzt.

Auch gibt es kleinere Einflussfaktoren, die zu insgesamt geringen Messunsicherheiten geführt haben könnten, aber dennoch erwähnenswert sind. Die verwendeten Bananenstecker haben einen Leitungswiderstand, der, wie in Versuch 44 gesehen, von deren Länge, Durchmesser und Material abhängt. Diese könnten zu einer Verfälschung der berechneten Widerstände führen. Auch die Kontaktstellen könnten leicht korrodiert sein und einen Widerstand aufweisen. Eine Extremform hiervon wäre ein sogenannter Wackelkontakt, der die Messungen verfälschen könnte. Aufgrund des verwendeten Steckbretts, das einen sicheren Sitz der Bauteile und einen guten Kontakt zwischen allen Elementen ermöglicht, wird dieser Beitrag aber als sehr gering angenommen.

### 4.3 Verbesserte Messmethoden

Um die Unsicherheit der LED-Spannung zu verringern würde es sich anbieten, das Spannungsmessgerät nur parallel zur LED zu schalten. So würde die Spannung direkt an der LED gemessen werden und der Vorwiderstand müsste nicht im Nachhinein herausgerechnet werden. Es gilt allerdings abzuwägen ob dies sinnvoll ist, da sich der Widerstand der LED je nach angelegter Spannung über einen großen Bereich hinweg ändert. Ist der Widerstand der LED ähnlich groß wie der der Spannungsquelle, was bei Spannungen nahe der Durchlassspannung der Fall ist, kommt es zu einem hohen Fehlstrom über das Spannungsmessgerät, welcher die Messung verfälscht. Eine Möglichkeit um die Unsicherheit der LED-Spannung zu verringern ohne die Schaltung zu verändern wäre es, den Widerstand und dessen Unsicherheit für den Vorwiderstand vorab durch eine Kennlinie, analog zu Versuchsteil 1, zu ermitteln. Der dadurch ermittelte Wert wäre aussagekräftiger als der angegebene und besäße auch eine geringere Unsicherheit. Die Unsicherheit der LED-Spannung würde sich damit durch die Gauß'sche Fehlerfortpflanzung verringern.

Um die Messungen mit der Fotodiode noch zu verbessern, wäre es möglich, einen kleinen Kasten um die Diode und deren Beleuchtung anzubringen. Dadurch würde störendes Licht nicht mehr so leicht zur Diode gelangen. Außerdem könnte so das Licht im Raum eingeschalten bleiben. Das macht das Arbeiten angenehmer und verringert auch die Unfallgefahr, die beim abgedunkelten Raum durchaus gegeben ist.

Um die Glühbirne genauer zu untersuchen, wäre eine Messreihe für Spannungen kleiner als 0,5 V sinnvoll. Der unphysikalischen y-Achsenabschnitt kann so mit zusätzlichen Messwerten möglicherweise korrigiert werden. **ja richtig.**

Bei der Bestimmung der Widerstände im nieder- und hochohmigen Bereich, hätten zudem deutlich mehr Messwerte für die lineare Regression verwendet werden sollen, da eine

lineare Regression über einen Messbereich von nur vier Messwerten immer sehr anfällig für statistische Schwankungen der Messwerte ist und selber eine vergleichsweise große Unsicherheit aufweist.

Wichtig ist es zudem auch die Multimeter (wie im Versuch berücksichtigt) immer auf den kleinsten möglichen Messbereich einzustellen, da sie in diesem immer Messwerte mit der höchsten Genauigkeit liefern. Somit könnten auch kleine Abweichungen besser bestimmt werden.

Generell könnten bei allen Messungen mehr Werte aufgenommen und somit längere Messreihen erhalten werden. Dies würde den Einfluss statistischer Schwankungen und eventueller Messfehler durch den Experimentator minimieren. Auch würde durch diese größere Menge an Messwerten die Unsicherheit der linearen Regression verringert werden können, was zur genaueren Bestimmung der Widerstände führen würde.

**Das Protokoll ist super!**

**Das einzige wäre, dass ihr bei der Glühlampe um 0 mehr Punkte aufnehmen hättet können, aber darauf seid ihr ja auch selbst schon eingegangen.**

**Auch die Messreihen die ihr zu der Fotodiode gemacht habt sind echt gut. (Da gebe ich euch einen Bonus für die Durchführung. Das Protokoll ist aber auch so schon eine 1.0)**

## A Anhang

### Abbildungsverzeichnis

1	Schaltplan . . . . .	2
2	Kennlinie des technischen Widerstands . . . . .	4
3	Kennlinie einer Glühlampe . . . . .	6
4	Kennlinien der Glühlampe bei kleinen und großen Spannungen . . . . .	8
5	Kennlinie der LED mit Vorwiderstand . . . . .	9
6	Kennlinie der LED ohne Vorwiderstand . . . . .	11
7	Kennlinie des unbekanntes Bauteils . . . . .	12
8	Messprotokoll Seite 1 . . . . .	21
9	Messprotokoll Seite 2 . . . . .	22
10	Messprotokoll Seite 3 . . . . .	23
11	Messung der Kennlinie des unbekanntes Bauteil . . . . .	24

### Tabellenverzeichnis

1	Berechnete Werte der LED ohne Vorwiderstand . . . . .	20
---	---	----

### Literaturverzeichnis

- [1] *Physiklabor für Anfänger\*innen Teil 2, Anleitung Versuch 45, Strom-Spannungs-Kennlinien* (Physikalisches Institut, Fakultät für Mathematik und Physik, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, 2022, 3. März 2022).
- [2] *Physiklabor für Anfänger\*innen Teil 2, Aufbau Versuch 45* (Physikalisches Institut, Fakultät für Mathematik und Physik, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, 2022, 5. März 2022), <https://omnibus.uni-freiburg.de/~phypra/ap/45/>.
- [3] *Physiklabor für Anfänger\*innen Teil 2, Datenanalyse A* (Physikalisches Institut, Fakultät für Mathematik und Physik, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, 2022, 3. März 2022).
- [4] *Physiklabor für Anfänger\*innen Teil 2, Datenanalyse B* (Physikalisches Institut, Fakultät für Mathematik und Physik, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, 2022, 3. März 2022).
- [5] *Uni-T UT51 Bedienungsanleitung* (UNI-TREND TECHNOLOGY (DONG GUAN) LIMITED, 2022, Dong Guan City, 3. März 2022), <https://omnibus.uni-freiburg.de/~phypra/ap/44/Uni-T%20UT51%20operating%20Manual.pdf>.

## A.1 Rohdaten und daraus berechnete Größen

$U_{\text{LED}}[\text{V}]$	$\Delta U_{\text{LED}}[\text{V}]$	$I_{\text{LED}}[\text{mA}]$	$\Delta I_{\text{LED}}[\text{mA}]$
0,50	0,03	0,00	0,10
1,00	0,03	0,00	0,10
1,50	0,03	0,00	0,10
1,76	0,03	1,10	0,12
1,82	0,05	3,10	0,15
1,88	0,07	5,10	0,18
1,92	0,10	7,2	0,2
1,95	0,12	9,3	0,2
1,99	0,14	11,4	0,3
2,02	0,17	13,6	0,3
2,06	0,19	15,7	0,3
2,1	0,2	17,7	0,4
2,1	0,2	19,9	0,4
2,1	0,3	22,1	0,4
2,2	0,3	24,2	0,5
2,2	0,3	26,2	0,5
2,3	0,3	28,2	0,5
2,3	0,4	30,3	0,6
2,4	0,4	32,4	0,6
2,4	0,4	34,2	0,6

**Tabelle 1:** Berechnete Werte für Strom und Spannung der LED ohne Vorwiderstand. Die Werte wurden anhand von [Gleichungen \(8\)](#) und [\(10\)](#) berechnet, die Unsicherheiten ergeben sich durch Gauß'sche Fehlerfortpflanzung mithilfe von [Gleichungen \(9\)](#) und [\(11\)](#).

A.2 Messprotokoll

Versuch 45 - Strom-Spannungs-Kennlinien 03.03.2022

① Kennlinie eines technischen Widerstands nach Faradayierung  $\approx 82,5 \Omega$   
 Bestimmung der Schaltung: Technischer Widerstand mit  $\approx 80 \Omega$   
 $\Rightarrow$  Spannungserdigung Toleranz  $\pm 1\%$

Spannung/V	0,49	0,99	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,01	4,50	5,00
Stromstärke/ mA	6,0	12,0	18,2	23,7	29,5	35,5	41,6	47,9	53,8	59,8

Messbereich: 20V/200mA (jewe. UT51)

...	5,50	6,01	6,57	7,01	7,50	8,00	8,50	9,01	9,51	9,71
	65,8	71,8	77,8	83,7	89,6	95,6	101,6	107,6	113,6	116,2

② Kennlinie einer Glühlampe  
 Bestimmung d. Schaltung: im kalten Zustand hat Glühlampe  $\approx 5 \Omega$   
 $\Rightarrow$  Spannungserdigung

Spannung/V	0,50	1,00	1,49	2,01	2,49	3,01	3,51	3,99	4,57	5,01
Stromstärke/ mA	52,2	65,8	78,1	91,1	101,9	112,8	123,0	132,3	141,7	151,3

Birne fängt an zu glimmen

...	5,52	5,49	6,51	7,01	7,50	8,00	8,50	8,80
	160,1	167,8	176,4	184,2	192,0	199,1	<del>206,2</del>	<del>213,3</del>

Birne fängt an zu leuchten

$0,204 \rightarrow$  ~~mA~~  $\leftarrow 0,208$   
 $0,204 \rightarrow$  ~~mA~~  $\leftarrow 0,208$

Messbereich: 20V/200mA ; hier: 20V/2A

Abbildung 8: Messprotokoll Seite 1

③ Kennlinie einer Leuchtdiode mit Vorwiderstand  
 Bestimmung der Schaltung: Vorwiderstand  $\approx 220\Omega$ ; Widerstand LED klein  
 Toleranz  $\pm 5\%$   
 $\Rightarrow$  spannungsrichtig

Spannung/V	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	5,01
Stromstärke/ mA	0,0	0,0	0,0	1,1	3,1	5,1	7,2	9,3	11,4	13,6
	5,51	5,99	6,51	7,01	7,50	8,01	8,50	9,00	9,51	9,93
...										
	15,7	17,7	19,9	22,1	24,2	26,2	28,2	30,3	32,4	34,2

Messbereich: 20V / 200mA

LED leuchtet rot  
schwach

LED leuchtet  
satt rot

hier war LED am hellsten

④ Kennlinie eines unbekannten Bauteils

Bestimmung der Schaltung: Bauteil hat  $\approx 2k\Omega$  (mit Multimeter gemessen)  
 $\Rightarrow$  Grenzfall, dennoch spannungsrichtig

Spannung/V	0,50	1,01	1,50	2,00	2,49	3,00	3,51	/	/	/
Stromstärke/ mA	0,30	0,73	1,05	1,15	1,28	1,61	1,7	/	/	/

Hier haben wir gemerkt, dass die Stromstärke stark in Abhängigkeit von der Lichtintensität schwankt  $\Rightarrow$  Hinweis auf Fotodiode. Neue Messung mit konstanter Lichtstärke (Beleuchtung durch abgedunkelten Raum und Handy leuchten).

Spannung/V	0,50	0,99	1,49	2,00	2,50	3,01	3,51	4,01	4,51	4,99
Stromstärke/ mA	0,25	0,48	0,73	0,97	1,21	1,46	1,71	1,95	2,20	2,44
...										
	5,51	6,01	6,50	7,01	7,49	8,00	8,49	9,01	9,51	9,95
	2,71	2,96	3,21	3,47	3,72	3,98	4,24	4,51	4,77	5,01

Messbereich: 20V / 20mA

Abbildung 9: Messprotokoll Seite 2

nochmal die Kennlinie der Fotodiode, diesmal mit  
geringerer Handy-Leuchtdichte

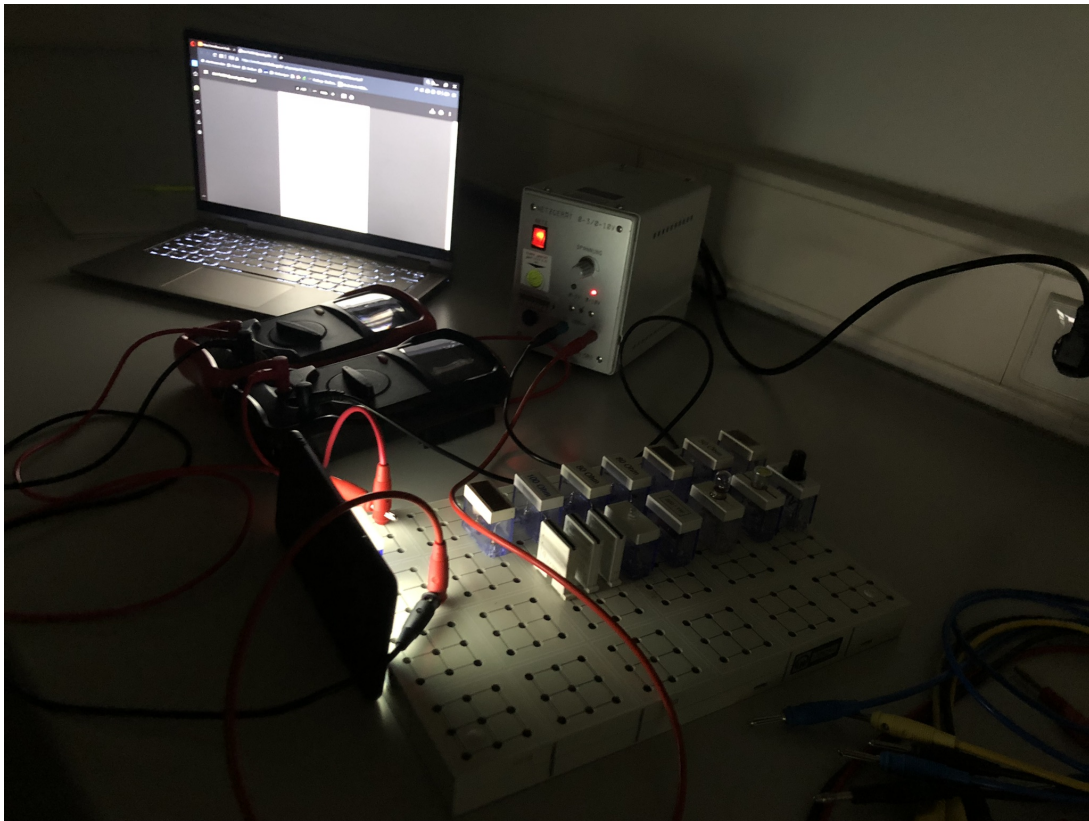
Spannung/V	0,50	1,00	1,51	2,00	2,50	<del>2,99</del> 3,50	4,01	4,50	4,99
Stromstärke/ $\mu$ A	0,07	0,13	0,19	0,26	0,32	0,38	0,45	0,52	0,58

...	5,50	5,99	6,50	7,01	7,50	7,99	8,50	9,01	9,49	10,00
	0,71	0,77	0,84	0,91	0,97	<del>1,04</del> 1,10	1,17	1,24	1,30	

Messbereich 20V / 20 $\mu$ A

03.03  
[Signature]

Abbildung 10: Messprotokoll Seite 3



**Abbildung 11:** Messung der Kennlinie des unbekannten Bauteils bei konstanter Lichtintensität durch Abdunklung des Raumes und Beleuchtung mit einem Smartphone-Display.