

VERSUCHSBERICHT ZU

E4 – KENNLINIEN

Gruppe 10 Mi

Alex Oster (E-Mail: a_oste16@uni-muenster.de)
Jonathan Sigrist (E-Mail: j_sigr01@uni-muenster.de)

durchgeführt am 8.11.2017

betreut von
David PAHL

14. November 2017

Inhaltsverzeichnis

1	Kurzfassung	2
2	Versuch 1: Strom-Spannungs-Charakteristik	2
2.1	Methoden	2
2.2	a) Diode in Durchlassrichtung	3
2.3	b) Zenerdiode	4
2.4	c) Glühlampe	6
2.5	d) NTC-Widerstand	8
2.6	e) Glimmlampe	9
3	Versuch 2: Widerstand in Abhängigkeit der Temperatur	12
3.1	Methoden	12
3.2	Messung	12
3.3	Schlussfolgerung	13

1 Kurzfassung

In diesem Bericht befassen wir uns mit Kennlinien. Eine Kennlinie ist die Kurve, die entsteht, wenn man die Spannung gegen den Strom aufträgt. Aus dem Ohm'schen Gesetz $U = RI$ bzw. $I = \frac{1}{R}U$ ergibt sich, dass diese durch den Widerstand dargestellt wird und bei konstanten Widerständen linear verläuft.

Wir betrachten im Folgenden zwei Versuchen, die uns verschiedenen Arten von Widerständen näher bringen sollen. Diese hängen unter anderem von der Temperatur, den Materialien und der Bauteilgeometrie ab.

In dem ersten Versuch betrachten wir fünf verschiedene Arten von Widerständen. Eine einfache Diode, eine Zenerdiode, einen NTC-Widerstand, eine Glüh- und eine Glühlampe. Wir messen hierbei den Strom in Abhängigkeit von der Spannung und werten die Ergebnisse aus. Dazu gehen wir auf die Funktionsweise von (dotierten) Halbleitern und Gasentladungen ein.

Die Abhängigkeit des Widerstands von der Temperatur wird dann in dem zweiten Versuch für einen Kupferdraht betrachtet. Hierzu erhitzen wir diesen Draht in Öl, lassen ihn danach abkühlen und messen durchgehend seinen Widerstand mit Hilfe einer Wheatstone'schen Brücke. Unsere Ergebnisse für den Kupferdraht verknüpfen wir dann mit der elektrischen Leitfähigkeit von Metallen.

2 Versuch 1: Strom-Spannungs-Charakteristik

In diesem Versuch betrachten wir die Kennlinien von verschiedenen Bauteilen. Dafür messen wir den Strom und tragen diesen gegen unsere Eingangsspannung auf. Den sich daraus ergebenden Verlauf, die Kennlinie, erklären wir dann im Sachverhalt.

2.1 Methoden

Der Versuchsaufbau ist in Abb. 1 skizziert. Dabei fließt der Strom nur über jeweils eine Teilschaltung **a)** bis **e)**. Da die Spannungsquelle keine genaue Angabe der Eingangsspannung liefert, messen wir diese mit einem Multimeter über das relevante Bauteil. Den Strom messen wir mit einem zweiten Multimeter, welches in Reihe geschaltet ist.

Für die Teilversuche **a)** bis **d)** verwenden wir Eingangsspannungen im Bereich von 0 V bis 20 V und für die Glühlampe in **e)** Eingangsspannungen von 0 V bis 150 V.

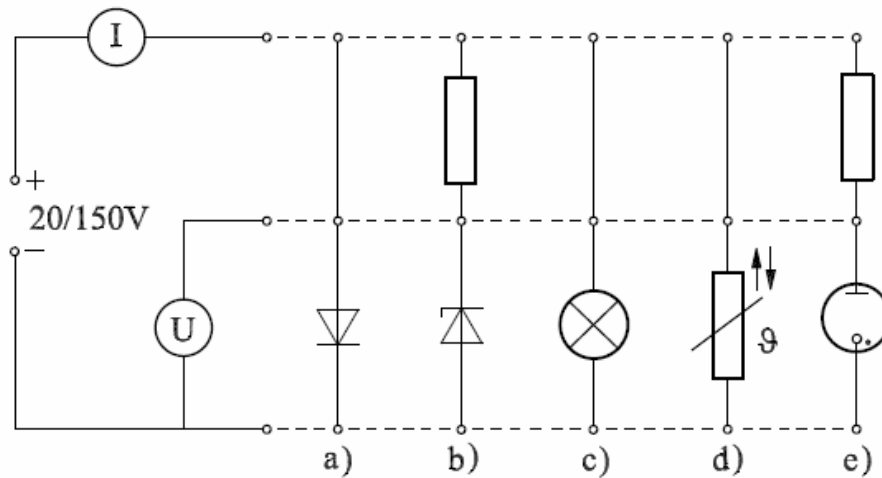


Abbildung 1: Schaltskizze zu Versuch 1

2.2 a) Diode in Durchlassrichtung

Diode

Eine Diode ist ein Bauteil, mit dem Spannungen nur von einer Richtung durchgelassen werden. Diesen Effekt erhält man, wenn man einen Halbleiter mit einem Element aus der dritten Hauptgruppe dotiert (p-Leiter) und einen anderen mit einem Element aus der fünften Hauptgruppe (n-Leiter) und diese aneinander grenzen lässt. Hierbei entsteht eine Raumladungszone im Übergangsbereich, da die Elektronen des n-Leiters zu dem p-Leiter wandern. Da in diesem Übergangsbereich weniger freie Ladungsträger sind, als im restlichen Leiter, nimmt die Leitfähigkeit an dieser Stelle stark ab.

Legt man an den positiven Pol, also den n-Leiter eine äußere Spannung an, so vergrößert sich der Übergangsbereich. Bei umgekehrter Polung hingegen, verkleinert sich dieser und verschwindet bei ausreichend hoher Spannung komplett, sodass der Strom durch den Leiter fließen kann.

Messung

Unsere Messwerte ergaben, wie in Abb. 2 zu sehen ist, dass die Kennlinie bei einer Diode in Durchflussrichtung exponentiell verläuft. Einen messbaren Strom erhielten wir erst ab ca. 0.5 V und es ließen sich ab ungefähr 0.72 V keine weiteren Werte messen.

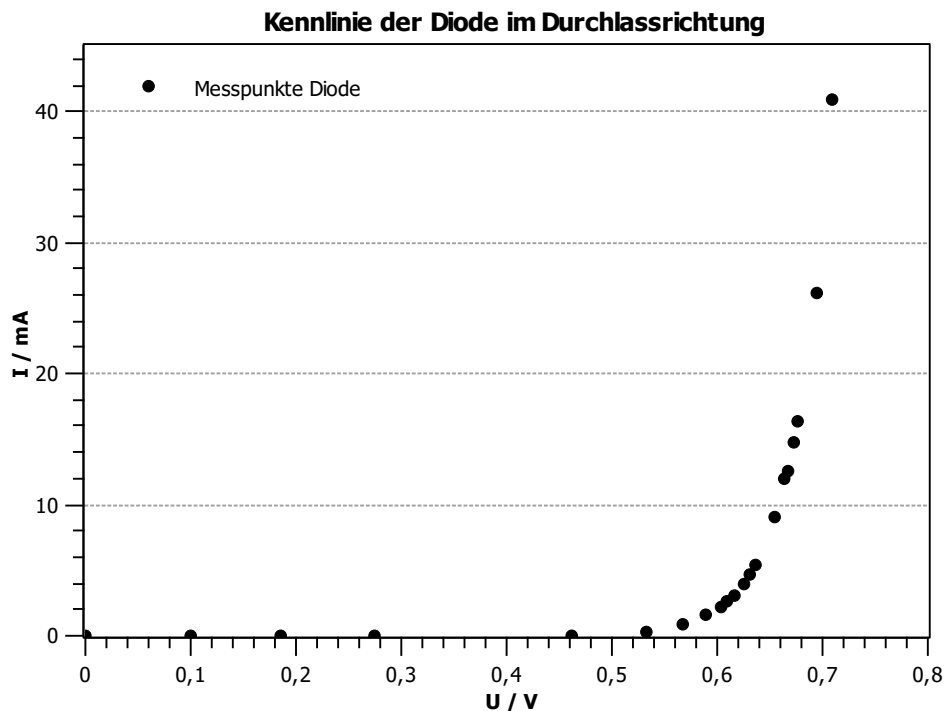


Abbildung 2: Messung zu Versuch 1a)

Schlussfolgerung

Unsere Ergebnisse deuten darauf hin, dass mindestens 0.5 V nötig sind, um den Übergangsbereich der Diode soweit zu verkleinern, dass überhaupt ein Strom fließen kann.

Dass sich ab ca. 0.72 V keine weiteren Werte messen ließen, könnte daran liegen, dass die Diode so modifiziert ist, dass nicht mehr Spannung als diese 0.72 V durchgelassen werden können. Somit fällt der Widerstand nicht gegen null und wir vermeiden einen Kurzschluss.

Die Größe des Übergangsbereichs steht in direktem Zusammenhang mit dem Widerstand. Denn bei einer höheren Spannung ist auch der Übergangsbereich kleiner und freie Ladungsträger können ihn leichter passieren. Der Widerstand wird also geringer.

Dieser Sachverhalt wird durch den exponentiellen Verlauf der von uns gemessenen Kennlinie unterstützt. Somit entspricht unser Ergebnis den Erwartungen.

2.3 b) Zenerdiode

Die Zenerdiode funktioniert ähnlich wie die in 2.2 beschriebene Diode, nur dass bei ihr auch in Sperrrichtung Strom fließen kann, insofern die angeleg-

Kennlinie der Zenerdiode im Sperrrichtung

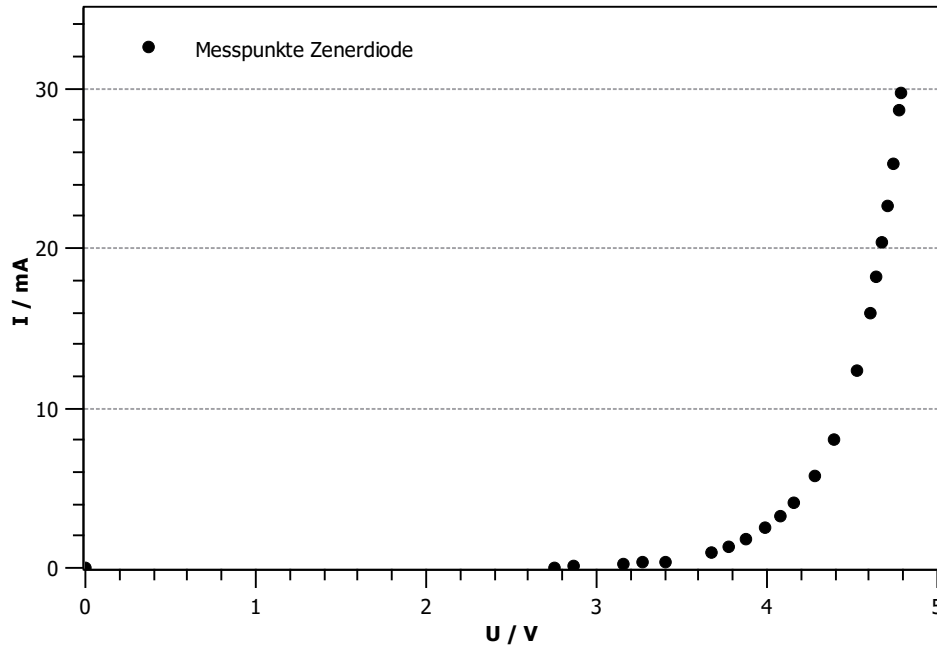


Abbildung 3: Erste Messung zu Versuch 1b)

te Spannung groß genug ist. Dies geschieht durch das Kleiner-werden der Potentialbarrieren bei hochdotierten p-n-Übergängen, wenn starke Ströme fließen. Hierbei kommt es zu dem quantenmechanischen Tunneleffekt, durch welchen Valenzelektronen in das Leitungsband gelangen. Es bildet sich ein Durchbruchstrom.

Messung

- Sperrrichtung:

In Abb. 3 erkennt man, dass wir auch hier einen exponentiellen Verlauf der Kennlinie gemessen haben. Anders als in der vorausgehenden Messung, fließt hier jedoch erst ab ca. 2.6 V ein Strom und wir konnten dieses mal bis ungefähr 5 V einen Strom messen. Damit liegt die Durchbruchspannung deutlich über der Durchlassspannung.

- Durchlassrichtung:

Diese Messung verlief analog zu der in 2.2 durchgeführten Messung, wie in Abb. 4 zu sehen. Auch hier beträgt die Durchlassspannung ca. 0.55 V. Verglichen mit der ersten Messung, ist diese genauer und der zu erkennende exponentielle Anstieg wirkt ein wenig stärker.

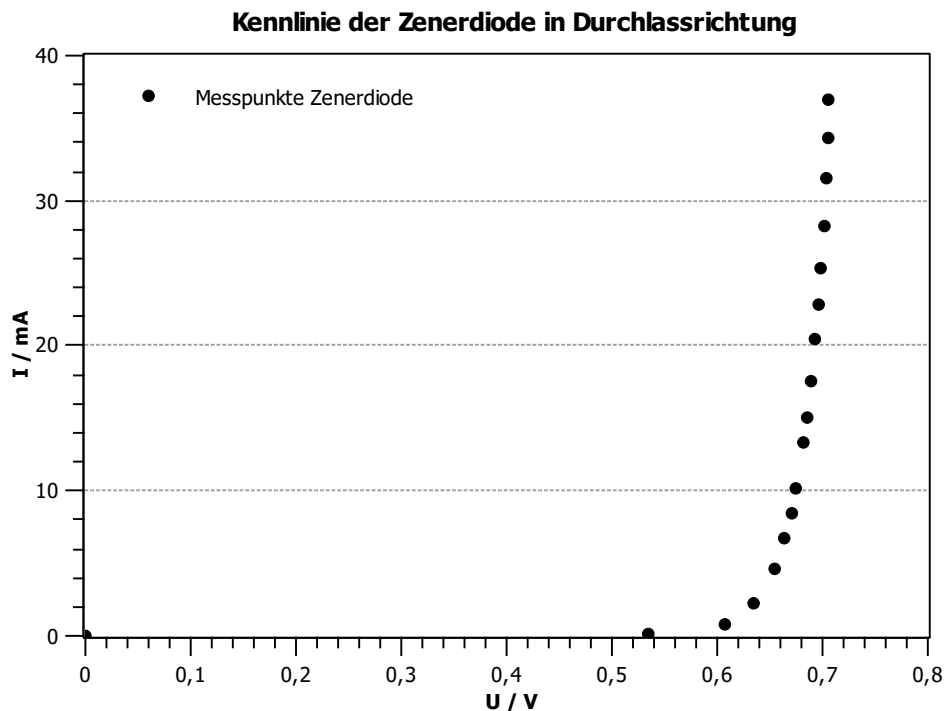


Abbildung 4: Zweite Messung zu Versuch 1b

Schlussfolgerung

Die Ergebnisse dieser Messung bezüglich der Durchlassrichtung stehen in direktem Zusammenhang zu dem Ergebnis aus 2.2. Für die Sperrrichtung hingegen ermitteln wir, dass die benötigte Spannung für einen Stromfluss bei ca. 2.6 V liegt.

Verglichen mit den 0.5 V in Durchflussrichtung ist dies ein beachtlicher und zu erwartender Unterschied. Im Gegenzug zu der Verkleinerung des Übergangsbereichs der Diode fließt in Sperrrichtung, wenn überhaupt, nur der Durchbruchstrom und für diesen benötigt man hohe Spannungen.

Dass auch in Sperrrichtung die Kennlinie exponentiell verläuft, hat einen ähnlichen Grund, wie in Durchflussrichtung. Denn mit höheren Spannungen lösen sich auch mehr Elektronen aus dem Valenzband des p-Leiters und folglich ist der Durchbruchstrom stärker. Der Widerstand wird also auch hier mit höherer Spannung kleiner.

2.4 c) Glühlampe

Bei der Glühlampe fließt der Strom durch einen Glühdraht. Dieser erwärmt sich dabei und beginnt zu glühen. Wir betrachten also nun, wie sich der Widerstand nach Inbetriebnahme der Glühlampe ändert. Dazu messen wir

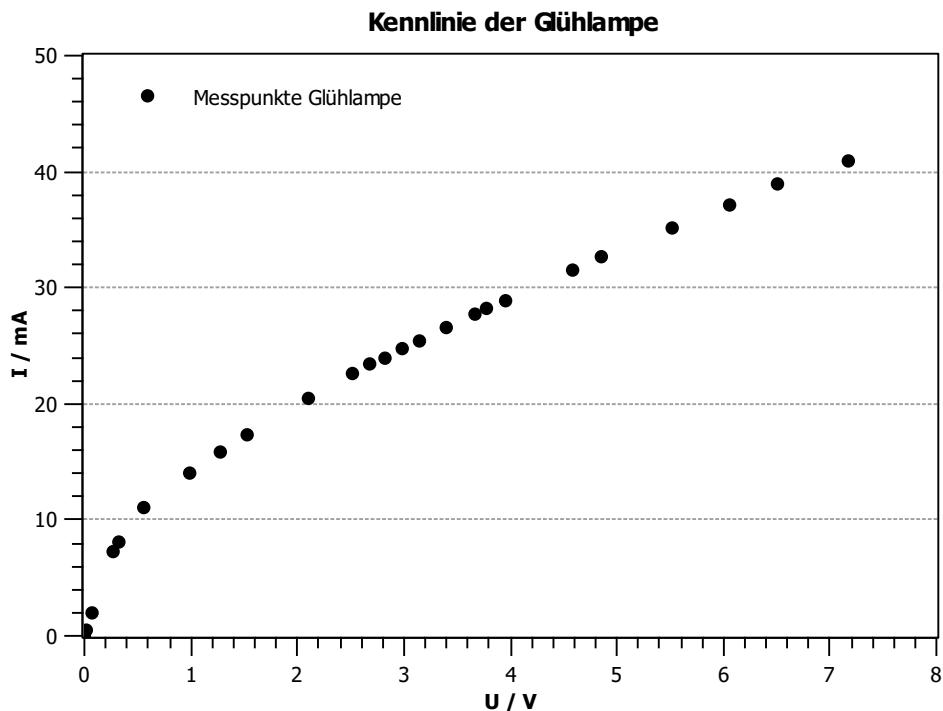


Abbildung 5: Messung zu Versuch 1c)

den Strom wie bisher und tragen ihn gegen die Spannung auf. Um die Änderung des Widerstandes besser zu betrachten tragen wir zudem noch den Widerstand gegen die Spannung auf, wobei sich dieser aus dem Ohm'schen Gesetz ($R = U/I$) und der vorausgegangenen Strommessung ergibt.

Messung

Die Kennlinie der Glühlampe verläuft zunächst krumm, richtet sich im späteren Verlauf jedoch annähernd linear aus. Wir beobachten, dass die Glühlampe ab ca. 2.6 V anfängt schwach zu glühen. In Abb. 5 ist zu sehen, dass die Kennlinie sich in diesem Bereich beginnt sich linear auszurichten.

Der letzte messbare Wert war hier bei ca. 7.2 V

Schlussfolgerung

Der annähernd lineare Verlauf der Kennlinie deutet darauf hin, dass der Widerstand sich bei höheren Spannungen kaum ändert. In Abb. 6 erkennen wir auch, dass dies der Fall ist, wobei der Widerstand weiterhin langsam steigt.

Das allgemeine Steigen des Widerstands lässt sich auf die steigende Temperatur zurückführen. Bei dem Glühdraht handelt es sich um ein Metall,

R-U Kennlinie der Glühlampe

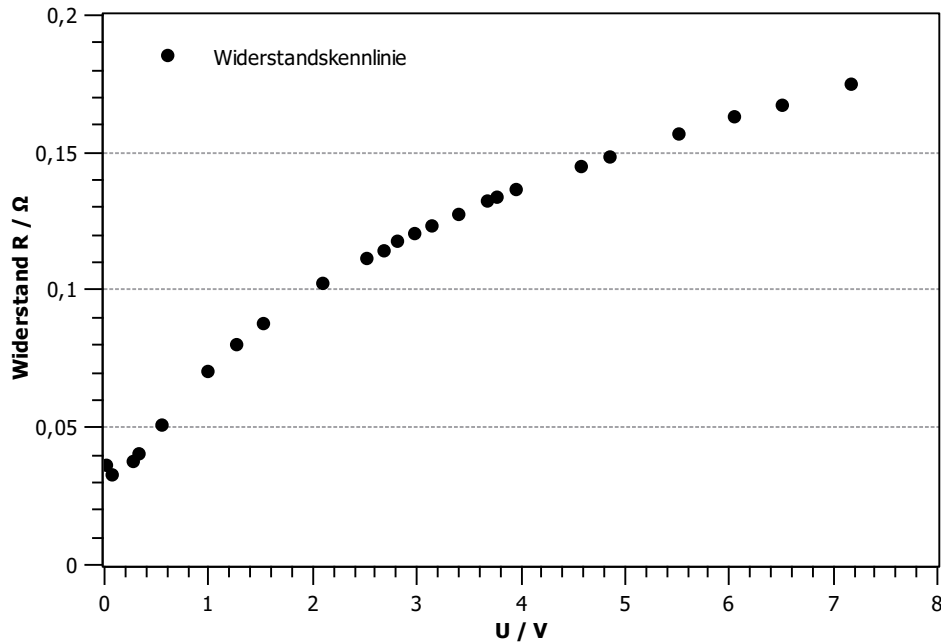


Abbildung 6: Widerstand in Abhängigkeit der Spannung

vermutlich Wolfram. Metalle haben die Eigenschaft, dass ihre elektrische Leitfähigkeit mit steigender Temperatur abnimmt.

Zu Beginn ist der Glühdraht bei Zimmertemperatur und wie in Abb. 6 zu erkennen ist, steigt der Widerstand zunächst stark an, weswegen die Kennlinie erst krumm verläuft. Ab dem Punkt, an dem der Draht glüht, steigt der Widerstand langsamer, da die Temperaturunterschiede schwächer werden.

Dieses Verhalten stimmt mit der Änderung der elektrischen Leitfähigkeit von Metallen bei erhöhten Temperaturen überein.

2.5 d) NTC-Widerstand

NTC-Widerstände bestehen aus Halbleitern und verhalten sich, was den Innenwiderstand betrifft, anders als Metalle. Das „NTC“ steht für „Negative Temperature Coefficient“, dass sie sich also bei erhöhten Temperaturen, im Gegensatz zu Metallen, besser den elektrischen Strom leiten als bei geringeren Temperaturen.

Bei dieser Messung betrachten wir einen solchen NTC-Widerstand. Vor dem aufnehmen eines jeden Messwertes lassen wir den Widerstand zwei bis drei Minuten in Ruhe, damit er sich auf die Temperatur einstellen kann.

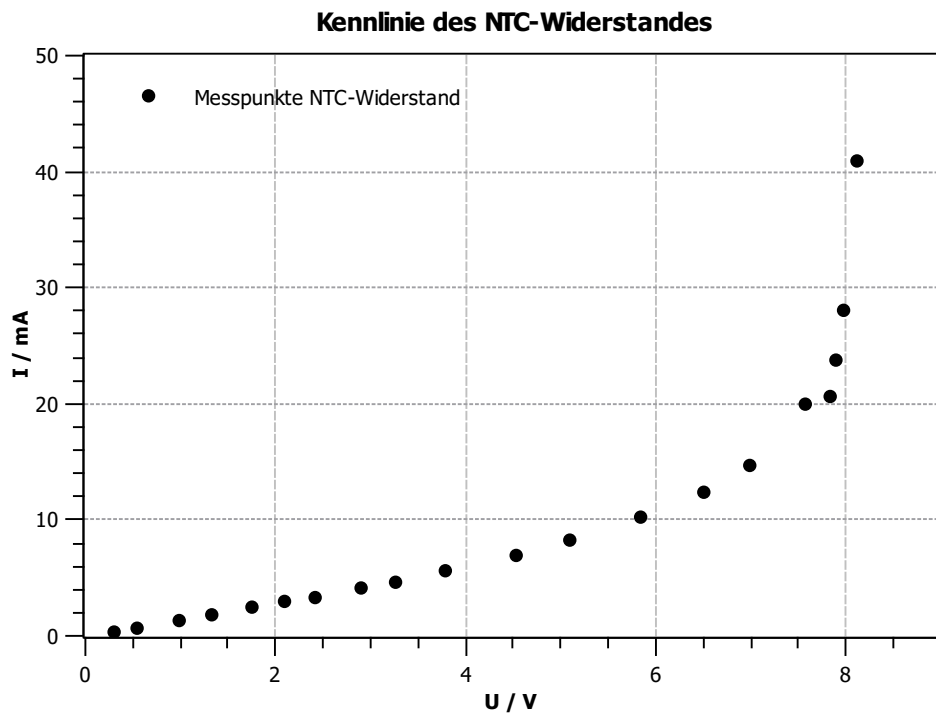


Abbildung 7: Messung zu Versuch 1d)

Messung

In Abb. 7 sehen wir ähnlich zu den Dioden einen exponentiellen Verlauf der Kennlinie, wobei dieser Widerstand von Anfang an den Strom durchlässt und nicht erst ab einer gewissen Spannung. Hier konnten wir nur Werte bis 8 V Eingangsspannung aufnehmen.

Schlussfolgerung

Hier ist klar zu erkennen, dass der Widerstand mit steigender Temperatur (durch steigende Ströme) sinkt, was für NTC-Widerstände charakteristisch ist.

Dass wir auch hier nicht mehr als bis zu 8 V Eingangsspannung messen konnten, wird ebenfalls aufgrund von Kurzschlussvermeidung gewesen sein.

2.6 e) Glimmlampe

Bei der Glimmlampe kann der Strom nicht einfach durchfließen, da kein elektrischer Leiter die beiden Pole direkt miteinander verbindet. Damit ein Strom fließen kann, muss er von der Kathode zur Anode gelangen. Zwischen den beiden befindet sich lediglich ein Gas, welches als Leiter dienen soll.

Dieses kann jedoch nur durch Gasentladungen den elektrischen Strom von der Kathode zur Anode führen.

Gasentladungen

Die an der Kathode anliegende Spannung lässt freie Elektronen die Kathode verlassen. Je höher die anliegende Spannung, desto schneller werden die Elektronen beschleunigt und erreichen bei der Anode eine höhere Endgeschwindigkeit. Sind sie schnell genug um die Gasatome durch Stoßionisation anzuregen, führt dies zu einer Kettenreaktion von sich lösenden Elektronen. Die Spannung, welche man für die Anregung braucht, nennt man Zündspannung.

An der Anode kommen schließlich aus den Gasatomen gelöste Elektronen an und ein Strom fließt, solange die Ionisation des Gases aufrecht erhalten wird. Sinkt die Spannung unter die sogenannte Löschspannung, dann ist dies nicht mehr möglich und die Entladung wird unterbrochen. Die Löschspannung ist geringer als die Zündspannung, da die Energie für das Starten der Ionisation nicht mehr benötigt wird, jedoch weitere beschleunigte Elektronen.

Zudem wird Licht bei der Ionisation des Gases emittiert, was das „Glimmen“ der Lampe ausmacht.

Messung

Wir messen zunächst, wie viel Volt wir benötigen um die Glimmlampe zu zünden. Diesen Wert haben wir bei ungefähr 119 V gefunden. Danach fiel die von uns gemessene Eingangsspannung instantan auf ca. 88.4 V ab und wir haben einen Strom gemessen. Hier fing die Glimmlampe auch an zu leuchten. Bis zum Erreichen der Zündspannung war dieser gleich null, weswegen wir nur den relevanten Bereich in Abb. 8 dargestellt haben.

Wir haben zunächst versucht die Eingangsspannung zu erhöhen, was bis zu ca. 92 V möglich war. In diesem Bereich verlief das Strom-Spannungs-Verhältnis nahezu linear.

Das Herunterregeln der Eingangsspannung ergab unerwartete Effekte, wie z. B. dass das Herunterregeln der Spannung am Netzgerät teilweise zu höheren Spannungen, nicht jedoch geführt hat (siehe Abb. 8). Der Strom hingegen wurde mit dem Herunterregeln kleiner bis wir schließlich eine Stromstärke von 0 mA erreicht haben¹.

Nachdem die Glimmlampe erlosch war, musste die Zündspannung ein weiteres Mal angelegt werden, um sie zu entzünden.

¹siehe dazu Reihenfolge der Messwerte im Laborbuch, Seite 2

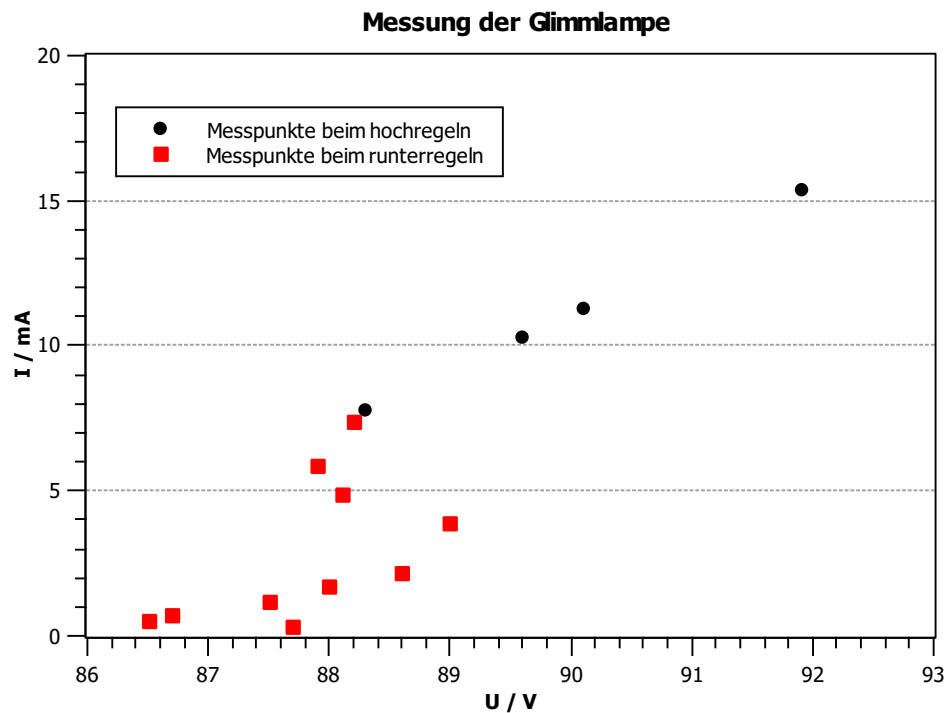


Abbildung 8: Messung zu Versuch 1e)

Schlussfolgerung

Wir entnehmen unserer Messung, dass die Zündspannung der Glimmlampe bei ca. 119 V liegt. Die Löschspannung liegt bei ungefähr 86.5 V, was unser geringster Wert für die Eingangsspannung war, bei dem wir einen Strom messen konnten. Für die Zündspannung wurde uns ein Wert von ungefähr 120 V vorgegeben, welcher mit unserer Messung weitgehend übereinstimmt, lediglich eine Differenz von 1 V.

Was genau die unerwarteten Effekte beim Einstellen der Eingangsspannung hervorrief ist unklar, wobei wir vermuten können, dass sich nach dem Finden der Zündspannung ein Widerstand bildete, welcher in Abhängigkeit von der Eingangsspannung einen Teil der Spannung blockierte, was auch den plötzlichen Abfall von 119 V auf 88.4 V erklären könnte. Sodass beim Herunterregeln der Eingangsspannung der Widerstand kleiner wurde und die gemessene Spannung folglich größer.

3 Versuch 2: Widerstand in Abhängigkeit der Temperatur

In diesem Versuch beschäftigen wir uns mit der Leitfähigkeit eines Kupferdrahtes in Abhängigkeit der Temperatur.

3.1 Methoden

Wir schließen unseren Kupferdraht an eine Wheatstone'sche Brückenschaltung (siehe Abb. 9). Hierbei bezeichnet $R_x(T)$ unseren Kupferdraht, R_v einen einfachen $5\,\Omega$ Widerstand und R_e den großen $11.3\,\Omega$ Widerstand lässt sich beliebig einstellen. Nimmt man die ganze Länge, so hat man einen Widerstand von $11.3\,\Omega$, bei der Hälfte einen von $5.65\,\Omega$. Hierbei handelt es sich nämlich um einen Widerstand über ein Metall. Diese Widerstände sind proportional zur Länge L und antiproportional zur Querschnittsfläche A .

Das Prinzip der Wheatstone'schen Brücke ermöglicht uns mit Hilfe der Kirchhoff'schen Regeln einen unbekannten Widerstand zu berechnen. Wird an dem Strommessgerät, wie es in Abb. 9 verbaut ist, kein Strom gemessen, dann gilt:

$$R_x(T) + R_v = R_e$$

Wir stellen unseren Widerstand R_e also für jede Messung so ein, dass $I = 0$ erfüllt ist. Der Schalter dient für genaueres Einstellen von $I = 0$. Es wird erst über den $20\,\text{k}\Omega$ kalibriert und dann über den geschlossenen Schalter.

Bevor wir die Messung beginnen, kühlen wir unseren Draht auf ca. 0°C , erhitzen ihn auf nahezu 100°C und lassen ihn wieder bis zu 15°C abkühlen.

Währenddessen messen wir die Länge L des Widerstands R_e , den wir für jede Messung anpassen. Da die Länge proportional zu dem Widerstand ist, tragen die Temperatur gegen die Position des Widerstandreglers auf.

3.2 Messung

Abb. 10 stellt die Position des Widerstandreglers in Abhängigkeit von der Temperatur. Die Position des Reglers ist hierbei mit der Länge des Widerstands R_e gleichzusetzen. Die Gesamtlänge läge bei $100\,\text{cm}$, da wir hier jedoch nur Längen von $50\,\text{cm}$ bis $60\,\text{cm}$ betrachtet haben, liegen die Werte für den Widerstand $R_x(T)$ ² zwischen $0.65\,\Omega$ und $1.78\,\Omega$.

In dem Diagramm erkennt man, dass der Widerstand des Kupferdrahtes sich mit steigender Temperatur nahezu linear erhöht und bei sinkender Temperatur ähnlich fällt.

²aus der obigen Formel für $0.5 \cdot R_e$ bis $0.6 \cdot R_e$

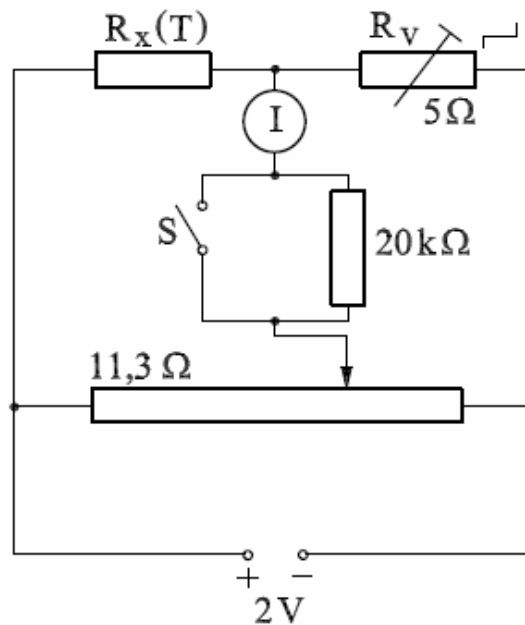


Abbildung 9: Schaltskizze zu Versuch 1

3.3 Schlussfolgerung

Wie auch schon bei der Glühlampe erkennen wir, dass die Eigenschaft eines Metalleiters, mit steigender Temperatur schlechter den elektrischen Strom zu leiten, von dem Kupferdraht erfüllt wird.

Entgegen der Erwartungen, ist der Widerstand beim Abkühlen, bei gleichen Temperaturen, stets geringer als beim Erhitzen.

Literatur

Abbildungen 1 und 9 wurden der Versuchsanleitung entnommen

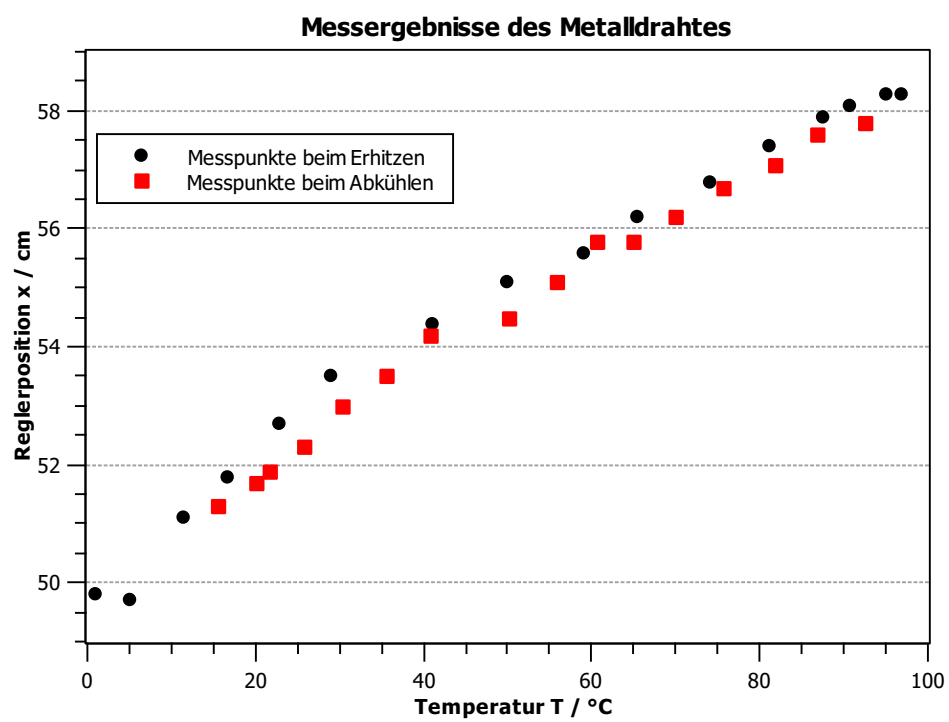


Abbildung 10: Position des Widerstandreglers in Abhängigkeit von der Temperatur