

Protokoll

Elektrische Messtechnik

Simon Stahl, Nico Enghardt
Tutor: Bruno Rosinus Serrano

Datum: 3.11.2023

Abgabetermin: 9.11.2023

Nachbesprechung: noch nicht festgelegt

Protokoll des Grundpraktikums 2

Fachbereich Physik
Freie Universität Berlin

1 Physikalische Grundlagen

1.1 Motivation/Ziele

In diesem Versuch sollen die Eigenschaften von einigen Grundlegenden Schaltungen der Elektrotechnik untersucht werden. Untersucht werden sollen die Strom-Spannungs-Kennlinien von Graphit, einer Glühbirne, Ohm'schen Widerständen und einer Diode in Durchlassrichtung. Außerdem soll die Ausgangsspannung eines Spannungsteilers sowohl im belasteten als auch unbelasteten Fall untersucht werden.

1.2 Kirchhoff'sche Gesetze

Da elektrische Ladung grundsätzlich erhalten bleibt, muss ein elektrischer Strom, der in einen Punkt hineinfließt auch wieder hinausfließen, solange sich keine statische Ladung aufbaut. Daraus folgt die Knotenregel, die besagt, dass die Summe aller Ströme, die in einen Leiterknoten hinein bzw aus ihm herausfließen gleich 0 sein muss. Dabei haben hineinfließende und herausfließende Ströme entgegengesetzte Vorzeichen. Eine statische Aufladung der Leiter kann durch Kondensatoren modelliert werden, sodass die Knotenregel auch noch in diesem Fall gültig ist. Die Maschenregel beruht darauf, dass ohne Induktive Effekte die Spannung über einer geschlossenen Kurve im Raum 0 sein muss. Daraus folgt, dass die Summe aller Spannungen über eine Leiterschlaufe gleich 0 sein muss, wobei das Vorzeichen der Spannung davon abhängt, ob die Spannung mit oder gegen die Richtung der Masche läuft. Auch mit induktiven Effekten ist die Maschenregel noch gültig, da induzierte Spannungen durch Spulen dargestellt werden. Die beiden Kirchhoff'schen Regeln sind also allgemein gültig.

$$0 = \sum_{\text{Knoten}} I_{\text{rein}} - I_{\text{raus}} \quad (1a)$$

$$0 = \sum_{\text{Masche}} U_{\text{mit}} - U_{\text{gegen}} \quad (1b)$$

1.3 Widerstand und Ohm'sches Gesetz

Für viele Gegenstände gilt das Ohm'sche Gesetz, welches besagt, dass die Spannung U zwischen zwei Orten (z.B. zwei Anschlüssen eines Bauteils) proportional zum Strom I zwischen diesen Punkten ist. Die Proportionalitätskonstante ist der Widerstand R zwischen diesen beiden Punkten.

$$U = R \cdot I \quad (2)$$

Das Ohm'sche Gesetz gilt jedoch nicht für jedes Bauteil. Häufig verhalten sich Bauteile jedoch zumindest so, dass die anliegende Spannung näherungsweise nur vom fließenden Strom abhängt. Es existiert also eine Strom-Spannungs-Kennlinie $I(U)$. Für diesen Fall ist der Widerstand allgemeiner als Kehrwert der Ableitung der Strom-Spannungs-Kennlinie definiert.

$$R = \frac{dU}{dI} = \frac{1}{\frac{dI}{dU}} \quad (3)$$

Im allgemeinen ist der Widerstand Temperaturabhängig. Metallische Leiter haben in der Regel bei höheren Temperaturen höhere Widerstände. Da ein Stromfluss durch einen Widerstand Wärme produziert, kann sich die Temperaturabhängigkeit stark auf die Kennlinie auswirken. Insbesondere ist zu erwarten, dass eine Glühbirne bei höheren Strömen größere Widerstände zeigt, da sich diese im Betrieb stark aufheizt. Halbleiter haben hingegen bei höheren Strömen und Temperaturen einen kleineren Widerstand, da dann mehr Elektronen in einen Leitfähigen Zustand angeregt werden.

1.4 Verschaltungen von Ohm'schen Widerständen

Es soll der Gesamtwiderstand R_{ges} von zwei parallel bzw in Reihe geschalteten Ohm'schen Widerständen $R_1; R_2$ bestimmt werden. Nach dem Ohm'schen Gesetz ist die Spannung über den beiden Widerständen jeweils

$$U_1 = I_1 R_1 \quad U_2 = I_2 R_2$$

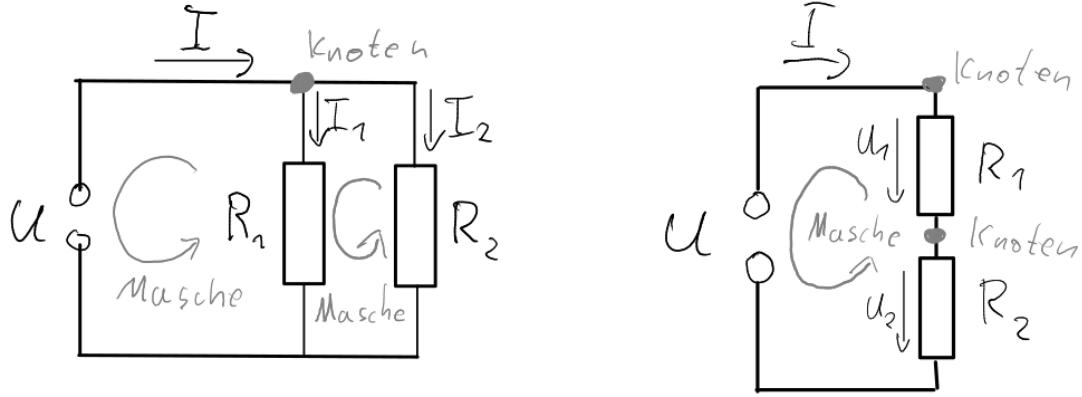


Abbildung 1: Parallelschaltung(links) und Reihenschaltung(rechts)

1.4.1 Parallelschaltung

$$\begin{aligned}
 R_{ges} &= \frac{U}{I} \\
 \text{Maschenregel: } U &= I_1 R_1 = I_2 R_2 \\
 \text{Knotenregel: } I &= I_1 + I_2 \\
 \implies I &= I = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} \\
 \implies R_{ges} &= \frac{U}{I} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}}
 \end{aligned} \tag{4}$$

1.4.2 Reihenschaltung

$$\begin{aligned}
 R_{ges} &= \frac{U}{I} \\
 \text{Maschenregel: } U &= I_1 R_1 + I_2 R_2 \\
 \text{Knotenregel: } I &= I_1 = I_2 \\
 \implies U &= IR_1 + IR_2 \\
 \implies R_{ges} &= R_1 + R_2
 \end{aligned} \tag{5}$$

1.5 Spannungsteiler

Ein Spannungsteiler besteht allgemein aus einer Reihenschaltung aus zwei Ohm'schen Widerständen, an deren Enden die Spannung U_0 anliegt. An der Verbindung der Widerstände wird die Ausgangsspannung U abgegriffen. In den Versuchen wird für die Widerstände ein Potentiometer verwendet, welches eine Reihenschaltung von einem Widerstand R und einem Widerstand $R_0 - R$ darstellt. Das Verhältnis $\frac{R}{R_0}$ ist dabei gleich der Potentiometerstellung $\frac{s}{s_0}$.

Im Fall des unbelasteten Spannungsteilers kann die Ausgangsspannung über die Formel für Reihenschaltung von Widerständen hergeleitet werden.

$$\begin{aligned}
 U &= R \cdot I \\
 U &= R \cdot \frac{U_0}{R_0 - R + R} \\
 \implies \frac{U}{U_0} &= \frac{R}{R_0} = \frac{s}{s_0}
 \end{aligned} \tag{6}$$

Bei einem belasteten Spannungsteiler liegt außerdem ein Lastwiderstand R_L am Ausgang. Es gilt wieder:

$$U_0 = U + I \cdot (R_0 - R)$$

Den Gesamtstrom erhält man wieder über Gleichung 4 und 5. Wobei hier eine Parallelschaltung

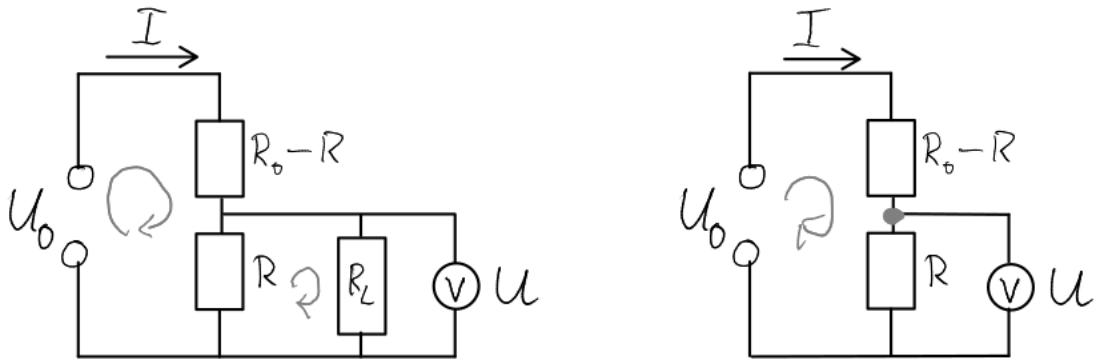


Abbildung 2: effektiver Schaltplan eines belasteten(links) und unbelasteten(rechts) Spannungsteilers

vorliegt, die mit dem Widerstand $R_0 - R$ in Reihe geschaltet ist. Für den Strom gilt daher:

$$I = \frac{U_0}{R_{ges}} = U_0 \cdot \left(R_0 - R + \frac{1}{\frac{1}{R} + \frac{1}{R_L}} \right)^{-1} = U_0 \cdot \frac{\frac{1}{R} + \frac{1}{R_L}}{(R_0 - R) \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R_L} \right) + 1}$$

Einsetzen in die Maschenregel liefert

$$\begin{aligned} U_0 &= U + U_0 \cdot \frac{(R_0 - R) \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R_L} \right)}{(R_0 - R) \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R_L} \right) + 1} \\ \implies \frac{U}{U_0} &= 1 - \frac{(R_0 - R) \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R_L} \right)}{(R_0 - R) \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R_L} \right) + 1} = \frac{1}{(R_0 - R) \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R_L} \right) + 1} \\ \implies \frac{U}{U_0} &= \frac{1}{\frac{R_0}{R} + \frac{R_0}{R_L} - \frac{R}{R_0} \frac{R_0}{R_L}} = \frac{\frac{R}{R_0}}{1 + \frac{R}{R_0} \left(1 - \frac{R}{R_0} \right) \frac{R_0}{R_L}} \end{aligned}$$

Nutzt man nun $\frac{R}{R_0} = \frac{s}{s_0}$ kann die Ausgangsspannung in Abhängigkeit der Potentiometerstellung beschrieben werden.

$$\frac{U}{U_0} = \frac{\frac{s}{s_0}}{1 + \frac{s}{s_0} \left(1 - \frac{s}{s_0} \right) \frac{R_0}{R_L}} \quad (7)$$

1.6 strom- und spannungsrichtige Messung

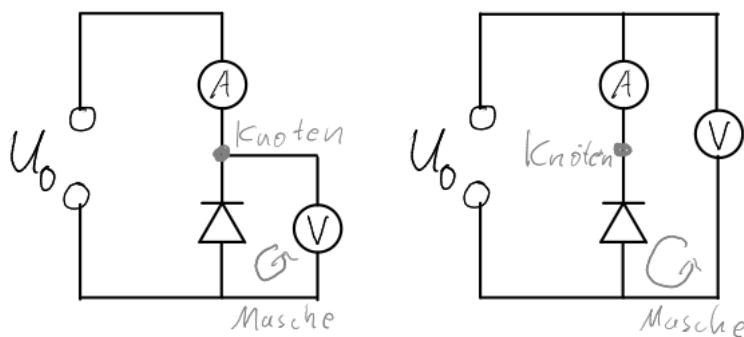


Abbildung 3: spannungsrichtige(links) und stromrichtige(rechts) Ausmessung einer Diode

Bei der Aufnahme von Kennlinien soll gleichzeitig Strom und Spannung an einem Bauteil gemessen werden. Dazu sind zwei mögliche Verschaltungen der Messgeräte möglich. Bei der stromrichtigen Variante folgt aus der Knotenregel, dass der Strom durch das Ampèremeter gleich dem Strom

durch das zu messende Bauteil ist. Die gemessene Spannung ist aber die Summe der Spannungen über Ampèremeter und Bauteil. Bei der spannungsrichtigen Messung wird die Spannung direkt gemessen, der gemessene Strom ist aber die Summe von Strom durch Bauteil und Voltmeter. Bei perfekten Messgeräten macht dies keinen Unterschied, da ein Ampèremeter idealerweise perfekt leitet und ein Voltmeter keine Stromfluss zulässt. Reale Geräte lassen sich aber wie ein Ohm'scher Widerstand modellieren. Der effekte Widerstand ist der Innenwiderstand R_I bei Ampèremetern bzw. R_U bei Voltmetern. Mit den Kirchhoff'schen Gesetzen lassen sich die Messwerte korrigieren. Wird die Spannung U_m und Strom I_m gemessen so gilt bei der stromrichtigen Messung für die reale Spannung U und Strom I

$$\begin{aligned} \text{Knotenregel} &\Rightarrow I = I_m \\ \text{Maschenregel} &\Rightarrow U = U_m - I \cdot R_I \end{aligned} \quad (8)$$

und entsprechend bei der spannungsrichtigen Messung

$$\begin{aligned} \text{Knotenregel} &\Rightarrow I = I_m - \frac{U}{R_U} \\ \text{Maschenregel} &\Rightarrow U = U_m \end{aligned} \quad (9)$$

2 Durchführung

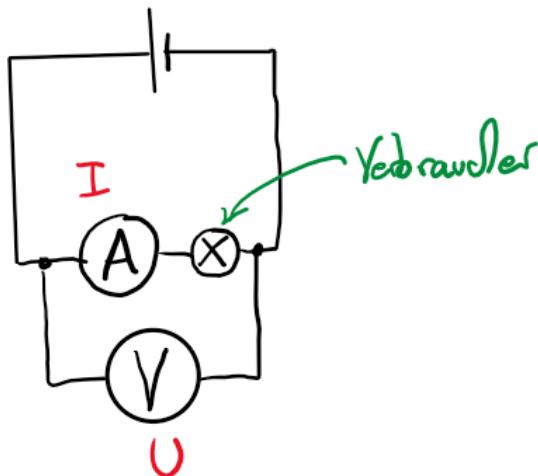


Abbildung 4: spannungsrichtige Schaltung zur Messung der Kennlinie des Verbrauchers

2.1 Geräte, Materialien

- Widerstand ($R = 680 \Omega$, maximal $I = 1 \text{ A}$)
- Glühlampe (maximal $U = 7 \text{ Volt}$)
- Gleichspannungsquelle (maximal 10 Volt)
- Graphitbasierte Bleistiftmine
- Multimeter FLUKE 175 für Spannungsmessungen
 - $\Delta U = 0.15\% \cdot U + 2$ digits des Messbereiches
 - Innenwiderstand $R_U = 10M\Omega$
- Multimeter Voltcraft VC230 für Strommessungen
 - für Messbereich I in mA: $\Delta I = 1.2\% \cdot I + 3$ digits des Messbereiches
 - für Messbereich I in A: $\Delta I = 1.5\% \cdot I + 5$ digits des Messbereiches
 - Innenwiderstand: $R_I = 0.3V/I_{\text{Messbereich}}$ (geschätzt)

- 10 Gang Wendelpotentiometer mit Skala s von 0 bis 10 ($\Delta s = \pm 0.02$)
 - $R_0 = (48.7 \pm 0.6)\Omega$
- Lastwiderstand $R_0 = 220\Omega$
- Diode 1N4007 zugelassen bis 1A

2.2 Kennlinien

Der Versuch wird für die drei Bauteile: Glühlampe, Widerstand und Graphitstab durchgeführt. Die Schaltung 4 wird mit dem jeweiligen Bauteil als Verbraucher stromrichtig aufgebaut. Von 0 Volt beginnend wird die Spannung an der Gleichspannungsquelle immer weiter erhöht. Spannung und Stromstärke werden am Voltmeter bzw. Ampetermeter gleichzeitig gemessen. Die Messwerte werden etwa im Abstand von 0.5 V aufgenommen. Die Messreihe endet, wenn entweder der angegebene Maximalspannung oder Maximalstrom erreicht wurde oder der Graphitstab zu Rauchen anfängt.

2.3 Spannungsteilerschaltung

Die Spannungsteilerschaltung wird nach Schaltbild 2 einmal unbelastet und einmal belastet aufgebaut. Jeweils wird die Eingangsspannung U_0 auf 5 Volt fest eingestellt und der Spannungsteiler wird auf $s = 0$ gedreht. Für jede ganzzahlige Skalenposition des Spannungsteilers wird die Spannung am Voltmeter gemessen. In der Vorbetrachtung wurde Formel für den Zusammenhang zwischen Spannungsteilerposition und Spannungsteiler im belasteten und unbelasteten Fall hergeleitet. Die Messergebnisse werden theoretischen Berechnungen auf Basis der Messwerte jeweils verglichen.

2.4 Diodenkennlinien

Die Diode wird gemäß dem Schaltplan 3 einmal stromrichtig und einmal spannungsrichtig ausgemessen. Dabei fängt die angelegte Spannung U_0 stets bei 0 an und wird in Schritten von 0,1V erhöht bis entweder mehr als 10 Messwerte vorhanden sind, bei denen der gemessene Strom nicht 0 ist oder ein Strom von 1A erreicht wird. Bei der letzten spannungsrichtigen Messung kam es allerdings dazu, dass der Strom sich mit der Zeit erhöhte, was vermutlich auf die Temperaturerhöhung zurückzuführen ist. Hier wurde die Messung durchgeführt, als der Strom sich nicht mehr änderte.

3 Auswertung

3.1 Kennlinien

Für jedes der drei Bauteile: Glühlampe, Widerstand und Graphitstab wurden Datenpunkte für Strom und Spannung aufgenommen (siehe Messwertetabellen 2, 1, 3). Die Fehler in Strom und Spannung wurden berechnet nach

$$\begin{aligned} \Delta U &= 0.15\% \cdot U + 2 \text{ digits des Messbereiches} \\ I \text{ in mA} : \Delta I &= 1.2\% \cdot I + 3 \text{ digits des Messbereiches} \\ I \text{ in A} : \Delta I &= 1.5\% \cdot I + 5 \text{ digits des Messbereiches} \end{aligned} \quad (10)$$

Dann wurden die Messwerte und Fehlerbalken im Diagramm 5 aufgetragen. Durch Normierung der Messwerte mit dem größten und letzten Messwert der Messreihe lassen sich die Bauteile besser vergleichen. Die Fehler sind dann:

$$\begin{aligned} \Delta \frac{U_i}{U_{max}} &= \sqrt{\left(\frac{\Delta U_i}{U_i}\right)^2 + \left(\frac{\Delta U_{max}}{U_{max}}\right)^2} \cdot \frac{U_i}{U_{max}} \\ \Delta \frac{I_i}{I_{max}} &= \sqrt{\left(\frac{\Delta I_i}{I_i}\right)^2 + \left(\frac{\Delta I_{max}}{I_{max}}\right)^2} \cdot \frac{I_i}{I_{max}} \end{aligned} \quad (11)$$

Strom-Spannungs-Kennlinien
 Glühlampe (blau), Widerstand (orange), Graphitstab (rot)

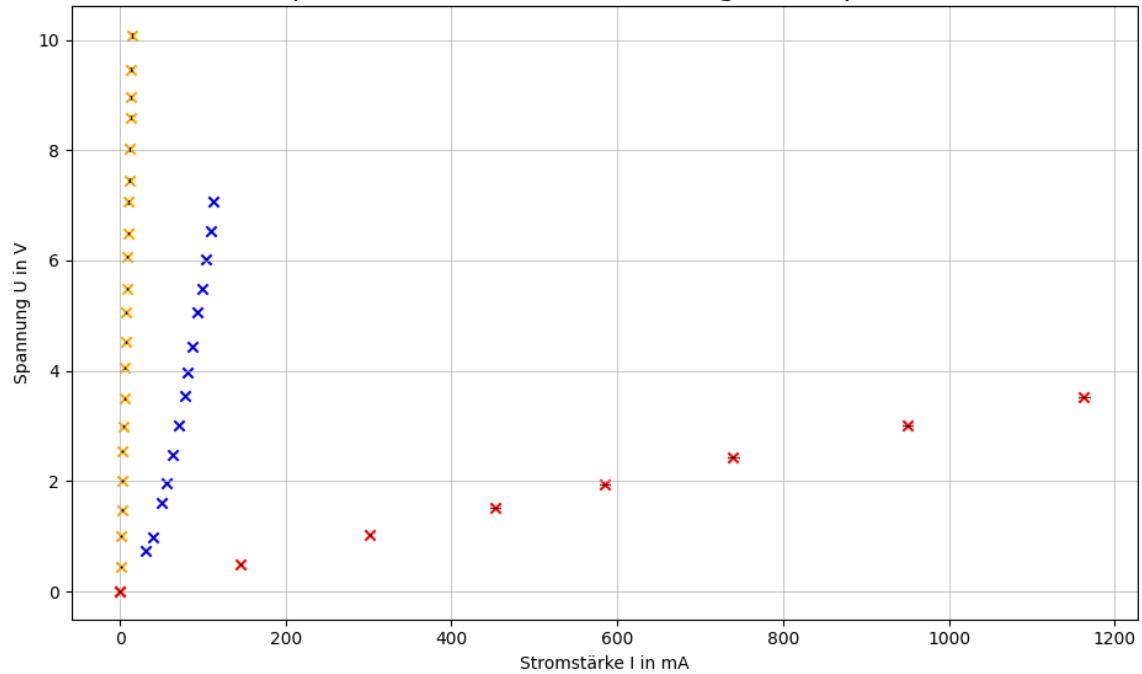


Abbildung 5: Nicht normierte Kennlinien

Normierte Strom-Spannungs-Kennlinien
 Glühlampe (blau), Widerstand (orange), Graphitstab (rot)

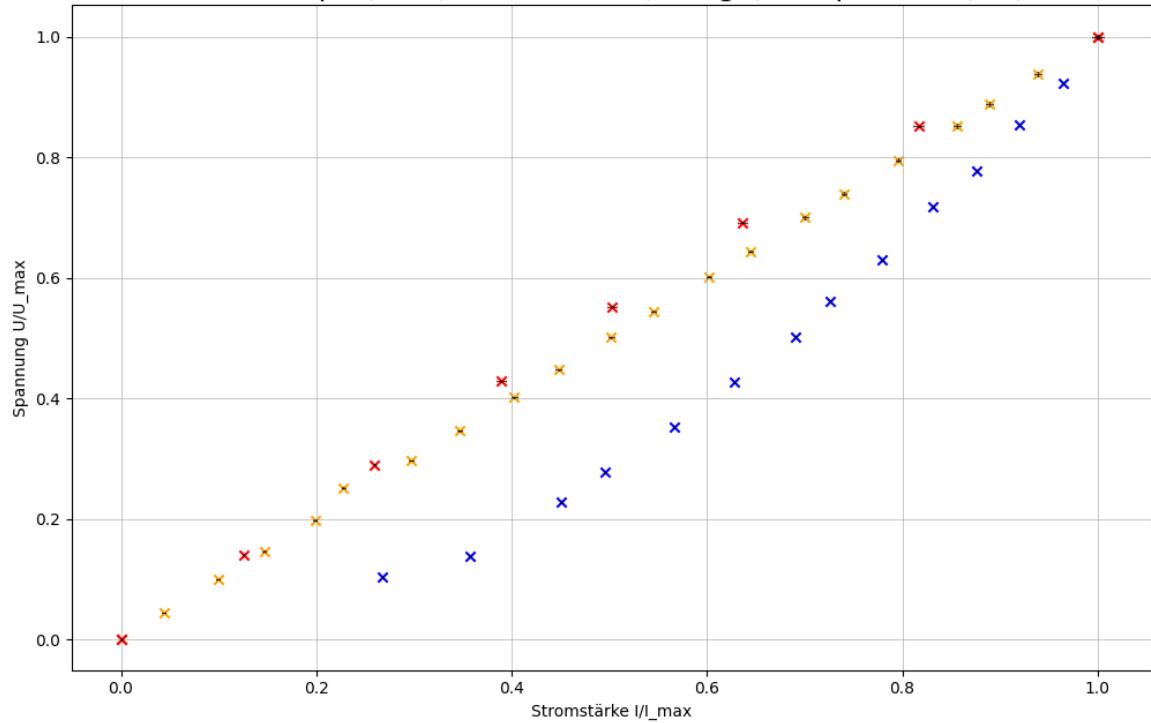


Abbildung 6: Normierte Kennlinien

3.2 Spannungsteiler

Die Messwerte für die unbelastete Spannungsteilerschaltung werden in Tabelle ?? dargestellt, die Messwerte für die belastete Schaltung in Tablelle ??.

Der Messfehler für die relative Spannung beträgt wie oben

$$\Delta \frac{U}{U_{max}} = \sqrt{\left(\frac{\Delta U}{U}\right)^2 + \left(\frac{\Delta U_{max}}{U_{max}}\right)^2} \cdot \frac{U}{U_{max}} \quad (12)$$

Der Messfehler der Skale beträgt $\Delta S = 0.02$.

Laut Vorbetrachtung ist die relative Spannung U/U_0 am unbelasteten Spannungsteiler genauso groß wie die das Verhältnis aus s und s_0

$$\frac{U}{U_0} = \frac{S}{S_0} \quad (13)$$

Als U_0 wird der letzte Messwert in der Messreihe verwendet, der nah an 5 Volt liegt. Die relative Spannung wird im Diagramm über der Skaleneinstellung aufgetragen. Ebenfalls wird die lineare Funktion

$$\left(\frac{U}{U_0}\right)(s) = s/s_0, \text{ mits } s_0 = 10.00 \quad (14)$$

im Diagramm ?? aufgetragen. Augenscheinlich beschreibt die Funktion die Messwerte sehr gut. Tatsächlich beträgt die Standardabweichung der Messwerte von der Funktion

$$\begin{aligned} \sigma &= \sqrt{\frac{1}{10} \sum_{i=o} \left(\left(\frac{U_i}{U_0}\right) - \left(\frac{U}{U_0}\right)(s_i) \right)^2} \\ &= 0.02 \end{aligned} \quad (15)$$

Wird die Schaltung mit einem Widerstand von $R_L = 220$ Ohm belastet, dann wird das Verhalten der relativen Spannung theoretisch beschrieben durch

$$\left(\frac{U}{U_0}\right)(s) = \frac{\frac{s}{s_0}}{1 + \frac{s}{s_0} \left(1 - \frac{s}{s_0}\right) \frac{R_0}{R_L}} \quad (16)$$

Die Fehler der relativen Spannung werden jeweils wie bei der unbelasteten Schaltung berechnet. $R_0 = (48.7 \pm 0.6)\Omega$ wird separat mit einem Multimeter gemessen. Trägt man die Messpunkte und die Funktion in einem Diagramm ?? auf, dann ist die Kurve sehr gut mit den Messwerten verträglich. Tatsächlich kann man die Abweichungen nicht mit bloßem Auge erkennen. Die Standardabweichung zwischen Messwerten und Punkten beträgt:

$$\begin{aligned} \sigma &= \sqrt{\frac{1}{10} \sum_{i=o} \left(\left(\frac{U_i}{U_0}\right) - \left(\frac{U}{U_0}\right)(s_i) \right)^2} \\ &= 0.00016 \end{aligned} \quad (17)$$

3.3 Diodenkennlinie

An den Messwerten ist recht schnell zu erkennen, dass die Diode bei kleinen Spannungen einen sehr großen Widerstand hat, der an einem gewissen Punkt sehr stark abnimmt. Da die Abweichungen zwischen strom- und spannungsrichtiger Messung recht signifikant sind, sollen die Werte korrigiert werden. Dazu werden die bereits theoretisch hergeleiteten Gleichungen 9 und 8 genutzt:

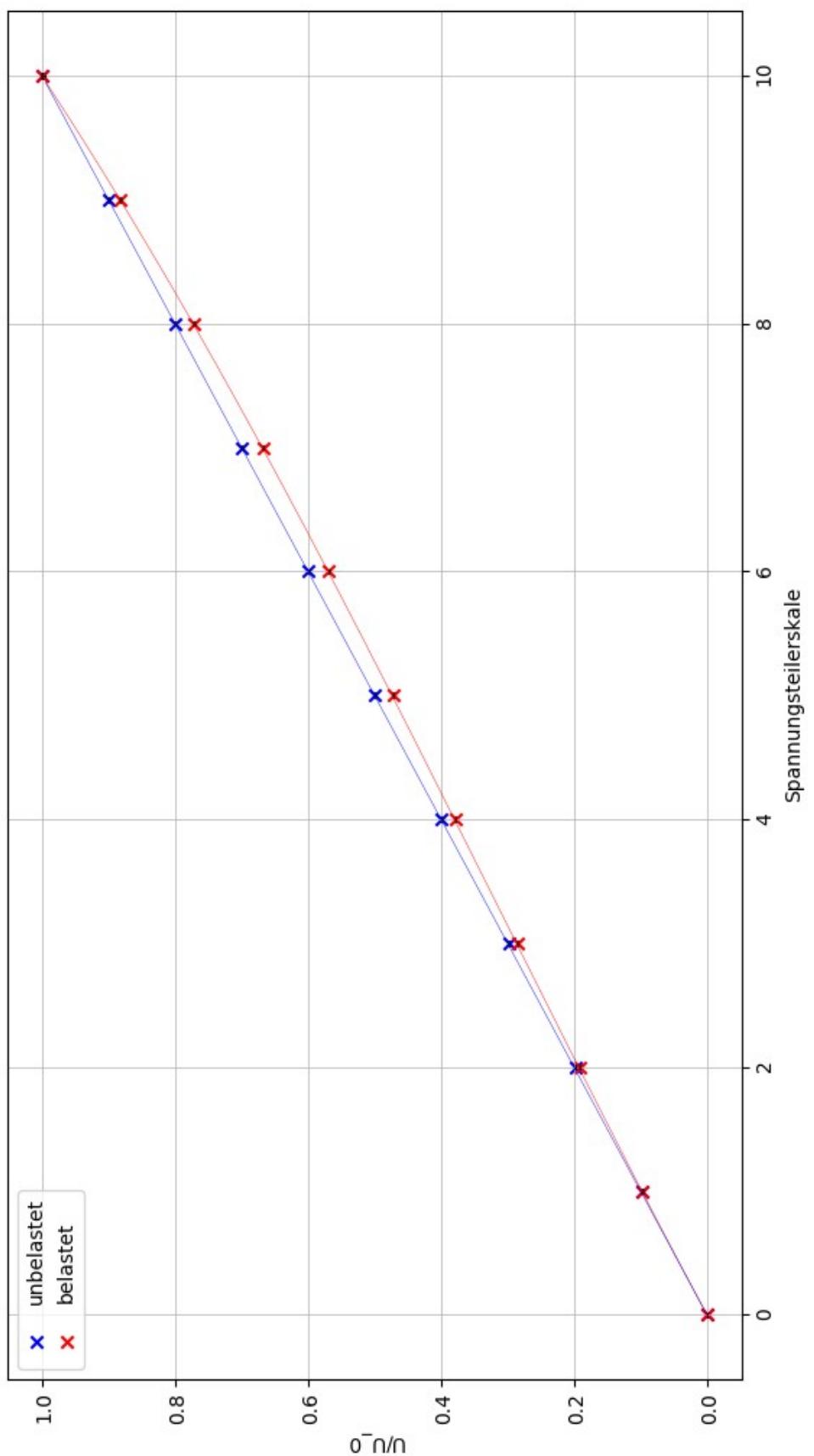


Abbildung 7: gemessene und berechnete Kennlinien des Spannungsteilers

stromrichtige Messung:

$$\text{Knotenregel} \implies I = I_m$$

$$\text{Maschenregel} \implies U = U_m - I \cdot R_I$$

spannungsrichtige Messung:

$$\text{Knotenregel} \implies I = I_m - \frac{U}{R_U}$$

$$\text{Maschenregel} \implies U = U_m$$

Der Innenwiderstand des Voltmeters ist dabei $R_U = 10M\Omega$ und für den Innenwiderstand des Ampèremeters wird $R_I = 0.3V/I_{\text{Messbereich}}$ benutzt, was eine Schätzung auf Basis eines ähnlichen Geräts ist. Dabei ist relevant, dass der Messbereich bei der spannungsrichtigen Messung sowie die Zahl an angezeigten Ziffern zwischendurch geändert wurde. Der Fehler der korrigierten Werte ist nach der Fehlerfortpflanzung bei der stromrichtigen Messung.

$$\Delta U = \sqrt{(\Delta U_m)^2 + (R_I \cdot \Delta I)^2}$$

Aufgrund des großen Innenwiderstands des Voltmeters macht die Korrektur der spannungsrichtigen Messung kaum einen Unterschied. Daher wird in Abbildung 8 die korrigierte spannungsrichtige Messung nicht mit aufgetragen.

4 Fazit

Die Messwerte des Ohm'schen Widerstandes in Diagramm 6 sind entlang einer Ursprungsgerade angeordnet. Das ist das erwartete Verhalten des Ohm'schen Gesetzes. Es kann daher zumindest für die angelegten kleinen Spannungen davon ausgegangen werden, dass das Ohm'sche Gesetz für den Widerstand gültig ist. Die Glühbirne zeigt einen nichtlinearen, aber monotonen Zusammenhang, wobei der Widerstand für größere Ströme deutlich zunimmt. Dies ist vermutlich auf das starke Aufheizen des Glühdrahts zurückzuführen. Graphit zeigt eine kleine aber eindeutige Abweichung von einer Ursprungsgeraden. Dabei nimmt der Widerstand für höhere Ströme monoton ab. Auch dies könnte an der Temperaturänderung liegen. In jedem Fall wäre ein solches Verhalten für metallische Leiter sehr untypisch und deutet auf halbleitende Eigenschaften hin, was bei Graphit ebenfalls erwartungsgemäß ist.

Beide Aufgenommenen Kennlinien (Abbildung 7) des belasteten und unbelasteten Spannungsteilers sind mit den theoretisch berechneten Kennlinien verträglich. Die auf den Kirchhoffsschen Regeln und dem Ohm'schen Gesetz basierte Theorie wurde also bestätigt.

Bei der Diode sind auch nach der Korrektur der stromrichtigen Messung sehr starke Abweichungen zwischen strom- und spannungsrichtiger Kennlinie zu sehen (Abbildung 8). Die naheliegendste Erklärung dafür ist, dass der Innenwiderstand des Ampèremeters deutlich unterschätzt wurde, da für diesen die Formel eines anderen Geräts genutzt wurde. Auch ist die Platzierung der Messgeräte der einzige Unterschied in den Aufbauten. Trotzdem zeigen beide Kennlinien eindeutig einige Eigenschaften. Die Diode leitet bis 0,7V fast gar nicht, ab diesem Punkt nimmt die Leitfähigkeit aber sehr stark zu. Ein bei höheren Strömen abnehmender Widerstand ist typisch für Halbleiter wie Dioden und daher erwartungsgemäß. Auch, dass bis zu einer Mindestspannung kein Strom fließt ist wenig überraschend, da in einem Halbleiter erst Elektronen in einen Leitfähigen Zustand angeregt werden müssen.

Literatur

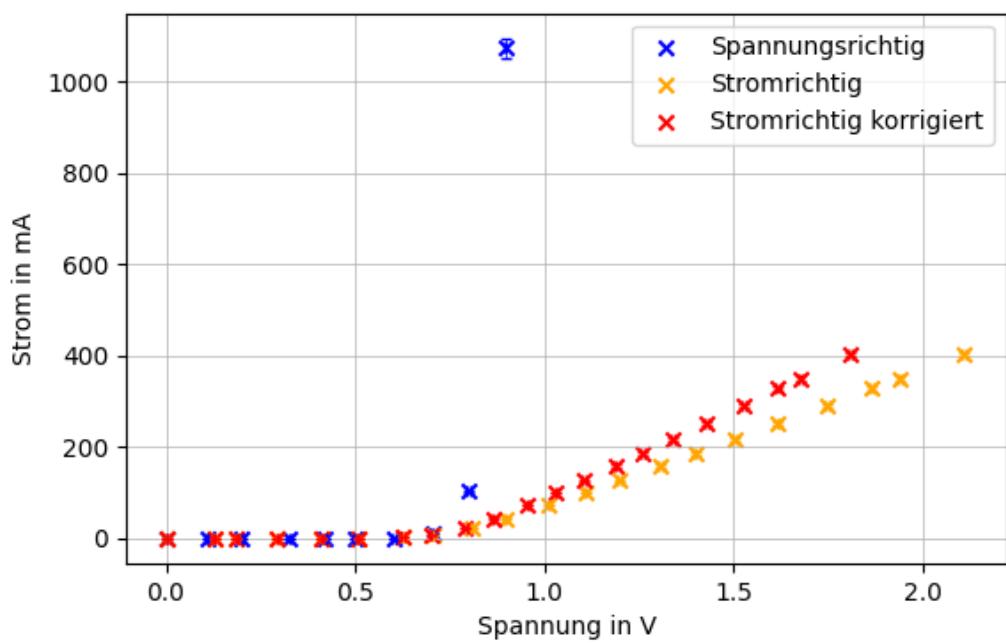
1: Skript zum Grundpraktikum 2 der FU Berlin

5 Anhang

5.1 Auftragungen

5.2 Messprotokolle

5.3 Tabellen



c

Abbildung 8: Auftragung der Verschiedenen Kennlinien einer Diode

U in V	ΔU in V	I in A	ΔI in mA
0	0	0	0
0.730	0.003	30.29	0.39
0.976	0.004	40.33	0.51
1.610	0.004	51	5.08
1.962	0.005	56	5.08
2.487	0.006	64	5.10
3.013	0.007	71	5.11
3.553	0.007	78	5.12
3.968	0.008	82	5.12
4.448	0.009	88	5.13
5.070	0.010	94	5.14
5.491	0.010	99	5.15
6.032	0.011	104	5.16
6.526	0.012	109	5.16
7.062	0.013	113	5.17

Tabelle 1: Messwerte zur Kennlinie der Glühlampe

U in V	I in mA	ΔU in V	ΔI in mA
0	0	0	0
0.498	145.7	0.0027	0.5
1.023	301.8	0.0035	0.7
1.512	453	0.0043	5.7
1.947	585	0.0049	5.9
2.441	740	0.0057	6.1
3.003	950	0.0065	6.4
3.525	1163	0.0073	6.7

Tabelle 2: Messwerte zur Kennlinie des Graphitstabes

U in V	I in mA	Fehler U in V	Fehler I in mA
0	0	0	0
0.446	0.65	0.003	0.03
1.006	1.47	0.004	0.03
1.481	2.17	0.004	0.03
2.002	2.94	0.005	0.03
2.544	3.37	0.006	0.03
2.995	4.4	0.006	0.04
3.492	5.13	0.007	0.04
4.051	5.96	0.008	0.04
4.517	6.63	0.009	0.04
5.058	7.43	0.010	0.04
5.496	8.07	0.010	0.04
6.07	8.91	0.011	0.04
6.495	9.54	0.012	0.04
7.06	10.37	0.031	0.04
7.46	10.96	0.031	0.04
8.59	12.67	0.033	0.05
8.02	11.78	0.032	0.04
8.96	13.16	0.033	0.05
9.46	13.9	0.034	0.05
10.08	14.8	0.035	0.05

Tabelle 3: Messwerte zur Kennlinie des Widerstandes

U in V	I in mA	Fehler U in V	Fehler I in mA
0,002	0,00	0,0020	0,02
0,108	0,00	0,0022	0,02
0,200	0,00	0,0023	0,02
0,327	0,00	0,0025	0,02
0,420	0,00	0,0026	0,02
0,498	0,08	0,0027	0,021
0,603	1,21	0,0029	0,030
0,705	12,12	0,0031	0,12
0,799	103,0	0,0031	2,0
0,896	1075	0,0033	21

Tabelle 4: Spannungsrichtige Messung an der Diode

U in V	I in mA	Fehler U in V	Fehler I in mA
0,002	0,00	0,0020	0,02
0,128	0,00	0,0022	0,02
0,187	0,00	0,0023	0,02
0,295	0,00	0,0024	0,02
0,412	0,01	0,0026	0,020
0,508	0,13	0,0028	0,022
0,627	1,81	0,0029	0,042
0,705	7,21	0,0031	0,11
0,808	23,85	0,0032	0,31
0,896	43,7	0,0033	0,72
1,012	74,1	0,0035	1,1
1,107	100,5	0,0037	1,4
1,198	126,9	0,0038	1,7
1,306	158,8	0,0040	2,1
1,398	186	0,0041	2,4
1,502	217,7	0,0043	2,8
1,618	252,8	0,0044	3,2
1,745	292	0,0046	3,7
1,864	328	0,0048	4,1
1,939	351,1	0,0049	4,4
2,11	403,1	0,0052	5,0

Tabelle 5: Stromrichtige Messung an der Diode

s in 1	U/U_{max} (unbelastet)	U/U_{max} (belastet mit 220Ω)
0.0 ± 0.02	0.000 ± 0.000	0.000 ± 0.000
1.0 ± 0.02	0.100 ± 0.001	0.098 ± 0.001
2.0 ± 0.02	0.200 ± 0.001	0.193 ± 0.001
3.0 ± 0.02	0.300 ± 0.001	0.287 ± 0.001
4.0 ± 0.02	0.400 ± 0.001	0.380 ± 0.001
5.0 ± 0.02	0.500 ± 0.001	0.474 ± 0.001
6.0 ± 0.02	0.600 ± 0.002	0.570 ± 0.002
7.0 ± 0.02	0.700 ± 0.002	0.669 ± 0.002
8.0 ± 0.02	0.800 ± 0.002	0.773 ± 0.002
9.0 ± 0.02	0.901 ± 0.002	0.882 ± 0.002
10.0 ± 0.02	1.000 ± 0.003	1.000 ± 0.003

Tabelle 6: Messwerte der Spannungsteilerschaltung

sprotokoll – Deckblatt

such- el:	Elektrische Messtechnik	Datum:
dierende ¹ :	Nico Engharolt Simon Stahl	
or*in:	Bruno Rosino Serrano brunors@zedat.fu-berlin.de	

Fasser*in unterstreichen

Studierende muss ein persönliches Protokollheft führen, in dem die Messprotokolle bei der Versuchsdurchführung einzutragen sind. Zu Beginn jedes Messprotokolls muss dieses Messprotokollblatt in das Protokollheft eingeklebt sein.

Die linken Spalte der folgenden Tabelle sind die Informationen, die im Messprotokoll für jede Teilaufgabe dokumentieren sind, aufgeführt. Die weiteren Felder der Tabelle dienen als Checkliste zum Abhaken. Das Protokoll ist am Ende des Versuchstages von dem/der Tutor*in abzuzeichnen. Alle Aufgaben, Abbildungen, Tabellen, und Bilder im Messprotokoll bitte konsequent nummerieren.

Aufgaben-Nr.	1	2	3	4	5
versuchsaufgabe (Bestimmung der Brennweite einer Linse)					
versuchsgleichung und -größen (Symbole bezeichnen)					
versuchsaufbau (Skizze mit Erläuterungen in sinnvoller Weise nach realem Aufbau – nicht vom Skript übernehmen,)					
wendete Geräte (mehrere Aufgaben gleichzeitig umfassen)					
wendete Messbereiche/Anschlüsse					
beschreibung der Durchführung der Messung					
unsicherheiten der Messgrößen (Initiative Abschätzung begründen z.B. Ablesegenauigkeit, Reaktionszeit, wiederholte Messungen, Angaben zu den Geräte, Einstellung/Justage, ...)					
messdaten handschriftlich (vorzugsweise Tabellenform, eingehenden Parameter und resultierenden Messwerte, Kommentare, z.B. bei Messbereichsumstellung während der Messung)					
Computer abgelegte Messdaten (Name der Datei, wo auf dem die Daten abgelegt sind, Datum und Zeit der Speicherung, Benennung/-schreibung der gespeicherten Daten)					
bemerkungen bei der Messung / Kommentare (Messwert nur mit bestimmter Genauigkeit reproduzierbar, Komponente wird warm,...)					
weise zur Auswertung					
min für Feedbackgespräch					

680

Elektrische Messtechnik

Messung der Kennlinien

Geräte: ▶ Zabel

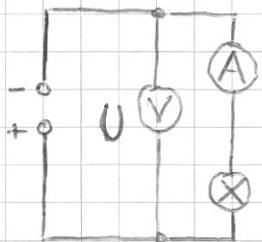
► Gleichspannungsquelle

► Voltmeter $\text{Fehler} \pm 0,15\% + 2\text{d.c.}$

$$U_{\max} = 10V$$

► Ampermeter

Voltcraft VC230 mA $\Delta = 12\% + 3\%$
A $\Delta = 15\% + 5\%$



$$\frac{U}{I} = 0,3V \quad \text{Im Messbereich}$$

$$\begin{array}{c|cc|c} & U & 10 \text{ m}\Omega & \\ \text{Innenwiderstände} & I & 0,3V \cdot \frac{1}{I} & \text{Im Messbereich} \end{array}$$

Graphit hat zwei Energieniveaus, in denen sich die delokalisierten π -Elektronen aufhalten können

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

680 Ω Widerstand

U in V	ΔU in V	I in mA	ΔI in mA
0	0	0	0
0,456		0,65	
1,006		1,47	
1,481		2,17	
2,002		2,94	
2,544		3,73	
2,895		4,40	
3,492		5,13	
4,051		5,96	
4,517		6,63	
5,058		7,43	
5,436		8,07	
6,070		8,81	
6,485		9,54	
6,706		10,37	
7,46		10,96	
8,59		12,67	
8,02		11,78	
8,96		13,16	
9,46		13,90	
10,08		14,80	

Messbereich Zweidsel bei Voltmeters

Glühlampe

Spannungsabhängigkeit

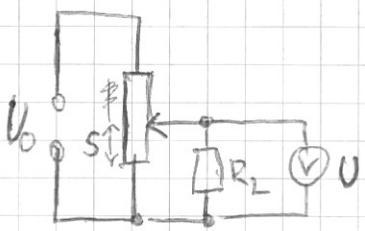
$U \text{ in V}$	$\Delta U \text{ in V}$	$I \text{ in } \cancel{\text{A}}$	$\Delta I \text{ in mA}$
0	0	0	0
0,73		30,29 mA	
0,876		40,33 mA	
1,610		0,051 A	
1,862		0,056 A	
2,487		0,064 A	
3,013		0,071 A	
3,552		0,078 A	
3,968		0,082 A	
4,448		0,088 A	
5,070		0,094 A	
5,431		0,099 A	
6,032		0,104 A	
6,526		0,109 A	
messbereich wechsel			
7,06		0,115 A	

Gitter ist sichtbar
Wechsel (Messbereich) Ampere

$U \text{ in V}$	$\Delta U \text{ in V}$	$I \text{ in } \cancel{\text{A}}$	$\Delta I \text{ in mA}$
0		0	
0,460		145,7 mA	
0,493		301,8 mA	
1,023		0,453 A	
1,512		0,585 A	
1,947		0,740 A	
2,441		0,9150 A	
3,003		1,163 A	
3,525			

Grafikstab

Potentiometer - Spannungsteilerschaltung



Nur für den belasteten Fall wird R_L eingebaut.

Messgeräte: • Potentiometer Se [0-1000]
• 2x Voltmeter Fluke 4V - 0,15% + 2 digits

$$S_0 = 10,00$$

$$\Delta S = 0,02$$

$$U_0 = 4,94 \text{ V}$$

unbelastet

$$U \text{ in V} \quad \Delta U \text{ in V}$$

~~$S \text{ in } \frac{1}{\text{mA}}$~~

~~$I \text{ in mA}$~~

0,002
0,482
0,985
1,473
1,975
2,468
2,962
3,458
3,951
4,446
4,937

0,00
1,00
2,00
3,00
4,00
5,00
6,00
7,00
8,00
9,00
10,00

$$R_0 = (48,7 \pm 0,6) \Omega$$

$$\Delta R = 0,15\% + 2 \text{ digits}$$

Messgleichung

$$\frac{U}{U_0} = \frac{R/R_0}{1 + \frac{R}{R_0} \left(1 - \frac{R}{R_0}\right) \frac{R_0}{R_L}}$$

$$= \frac{s/s_0}{1 + \frac{s}{s_0} \left(1 - \frac{s}{s_0}\right) \frac{R_0}{R_L}}$$

belastet

$$U \text{ in V} \quad \Delta U \text{ in V} \quad S$$

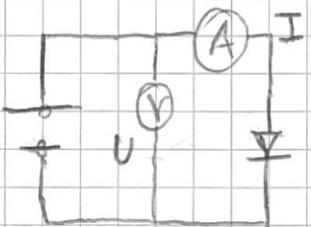
0,001
0,473
0,944
1,402
1,858
2,317
2,788
3,274
3,780
4,318
4,893

0,00
1,00
2,00
3,00
4,00
5,00
6,00
7,00
8,00
9,00
10,00

BB

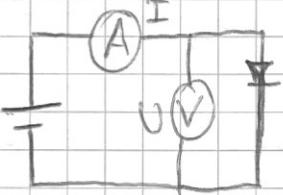
7

Strom - und Spannungsrückige Widerstandsmessung einer Diode



StromSpannungsrückig

erwartetes Ergebnis



Spannungsrückig

Messwerte bei Siaron

Diode max 1 A
max 1 V

Durchführung

Spannung so lange
bis Voltmeter über
messen bis 1 A erreicht

Messprotokoll – Deckblatt

Versuch-Titel:	<u>elektrische Messtechnik</u>	Datum: 3.11.
Studierende ¹ :	<u>Simon Stahl</u>	
	<u>Nicole Enghardt</u>	
Tutor*in:	<u>Bruno Sperrhaar</u> <u>brunos@zedat.fu-berlin.de</u>	

¹ Verfasser*in unterstreichen

Jeder Studierende muss ein persönliches Protokollheft führen, in dem die Messprotokolle bei der Versuchsdurchführung einzutragen sind. Zu Beginn jedes Messprotokolls muss dieses Messprotokoll-Deckblatt in das Protokollheft eingeklebt sein.

In der linken Spalte der folgenden Tabelle sind die Informationen, die im Messprotokoll für jede Teilaufgabe zu dokumentieren sind, aufgeführt. Die weiteren Felder der Tabelle dienen als Checkliste zum Abhaken. Das Messprotokoll ist am Ende des Versuchstages von dem/der Tutor*in abzuzeichnen. Alle Aufgaben, Gleichungen, Tabellen, und Bilder im Messprotokoll bitte konsequent nummerieren.

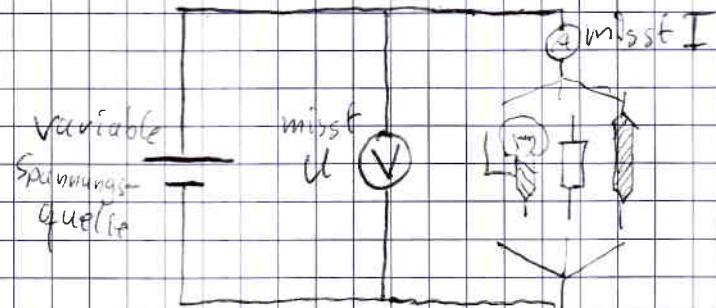
Aufgaben-Nr.	1	2	3	4	5
Messaufgabe (z.B. Bestimmung der Brennweite einer Linse)					
Messgleichung und -größen (Symbole bezeichnen)					
Versuchsaufbau (Skizze mit Erläuterungen in sinnvoller Größe nach realem Aufbau – nicht vom Skript übernehmen,)					
Verwendete Geräte: (kann mehrere Aufgaben gleichzeitig umfassen)					
Verwendete Messbereiche/Anschlüsse					
Beschreibung der Durchführung der Messung					
Messunsicherheiten der Messgrößen (Quantitative Abschätzung begründen z.B. Ablesegenauigkeit, Reaktionszeit, wiederholte Messungen, Angaben zu den Geräte, Einstellung/Justage, ...)					
Messdaten handschriftlich (vorzugsweise Tabellenform, alle eingehenden Parameter und resultierenden Messwerte, ggf. Kommentare, z.B. bei Messbereichsumstellung während der Messung)					
Im Computer abgelegte Messdaten (Name der Datei, Rechner auf dem die Daten abgelegt sind, Datum und Zeit der Speicherung, Benennung/-schreibung der gespeicherten Daten)					
Beobachtungen bei der Messung / Kommentare (z.B. Messwert nur mit bestimmter Genauigkeit reproduzierbar, Komponente wird warm;...)					
Hinweise zur Auswertung					
Termin für Feedbackgespräch					

Messung der Kennlinien einer Glühlampe, Graphitstabs

und Ohmschen Widerstands.

Skizze 1: Aufbau Kennlinie

Es soll an ~~einem Glühbirne~~, dem untersuchten Gegenstand eine Spannung U und der Strom I gemessen werden.



Bei jedem Gegenstand wird die Spannung zunächst auf 0 gestellt. Die Spannung wird dann angehoben ~~schritt~~ in Schritten von 0,5 V angehoben. Und der Strom gemessen. Die Messung wird abgebrochen, wenn die Spannung 10V erreicht, oder es zu Rauchentwicklung kommt. Zur Auswertung werden Strom- und Spannungswerte auf ihre Maximalwerte (U_{max} , I_{max}) normiert, und $\frac{U}{U_{max}}$ über $\frac{I}{I_{max}}$ aufgetragen.

Geräte

- Labornetzgerät (Spannung 0-30V)

= 2 Multimeter

- Multimeter Fluke 775 zur Spannungsmessung

- nutzt ~~Gleichstrom~~ Gleichspannungsmessung im Bereich V

Fehler $\pm (0,15\% + 2 \text{ digits})$ Innenwiderstand 10 MΩ

- Multimeter Voltmesser VC230 für Stromstärke

mit 4 Messbereich Fehler $\pm (1,2\% + 3 \text{ digits})$

A, Messbereich Fehler $\pm (1,5\% + 5 \text{ digits})$

Innenwiderstand ~~gegeben~~ ~~zur ungefähr gegeben~~

~~ca~~ $0,3 \text{ V } \frac{1}{I_{max}}$ (geschätzter Spannungsabfall)

- Netzgerät

Messung von belasteten und unbelasteten Spannungsteilern

Es soll die Ausgangsspannung U eines belasteten und unbelasteten Spannungsteilers in Abhängigkeit von der Potentiometerstellung s gemessen werden. Dabei ist die relative Stellung des Potentiometers $\frac{s}{s_0}$ gleich dem Widerstandsverhältnis $\frac{R}{R_0}$. So ist dabei die maximale Potentiometerstellung.

Theoretisch gilt im unbelasteten Fall

$$\frac{U}{U_0} = \frac{R}{R_0} = \frac{s}{s_0}$$

und im belasteten

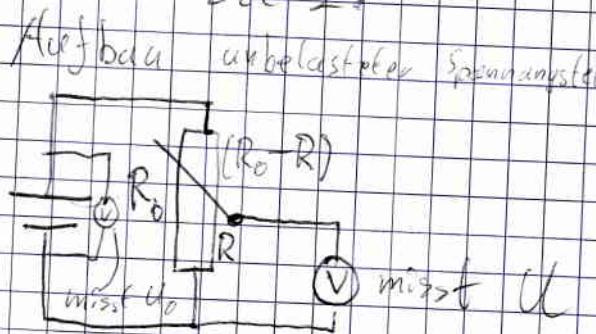
$$\frac{U}{U_0} = \frac{\frac{R}{R_0}}{1 + \frac{R}{R_0} \left(1 - \frac{R}{R_0} \right) \frac{R_L}{R}}$$

Zur Auswertung wird U_0 über $\frac{R}{R_0}$ aufgetragen

Materialien:

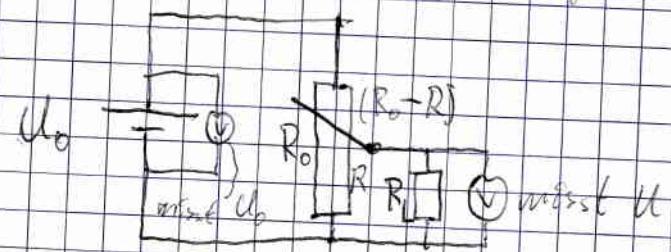
- Wende 10+999 Wipotentiometer
Gesamtwiderstand $R_0 = \cancel{187,02} \Omega$ gem. $(48,7 \pm 0,6) / 2$
gemessen mit Fluke 175
~~feststellbar~~ $\rightarrow s$ hat Fehler $\Delta s = 0,02$
- 2 Multimeter Fluke 175 für Gleichspannung
Fehler $\pm (0,75\% + 2 \text{ digits})$
Gesamtwiderstand $10 M\Omega$
- Lastwiderstand 22852Ω
- Netzgerät

Skizze 2:



Skizze 3:

Aufbau belasteter Spannungsteiler



3. Messung der Kennlinie einer Diode

Es soll die Kennlinie einer Diode in Durchlassrichtung

Dabei wird einmal Strom und einmal Spannung gleichzeitig gemessen.

Gegeben: wird die Spannung in 0, 1V Schritten erhöht, wobei darauf geachtet wird, dass der Strom nicht größer als 1A wird.

Materialien:

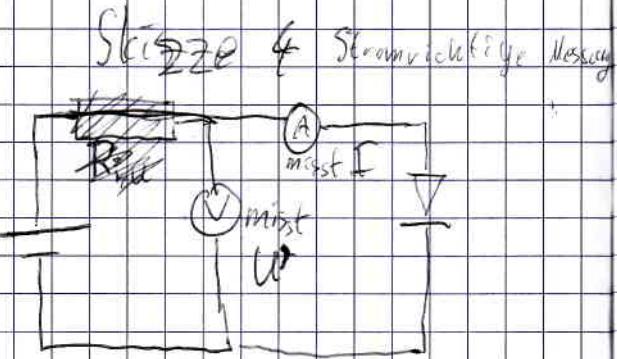
Multimeter "Fluke 725" für Gleichspannung
Fehler $\pm (0,15\% + 2 \text{ digits})$

Widerstand $10\text{ M}\Omega$

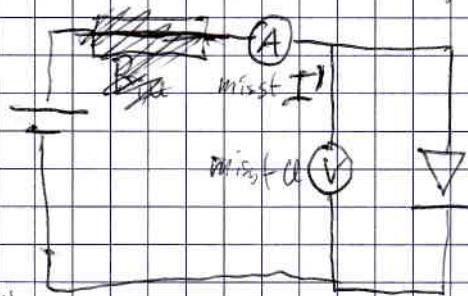
Multimeter VC 230 für Strom
Fehler $(9,2\% + 2 \text{ digits})$ in mA und $(7,5\% + 2 \text{ digits})$ in A
Spannungsabfall geschätzt auf $0,3\text{ V}$ $\frac{I_{\text{max}}}{I_{\text{min}}}$

Diode 1N4007

Stromrichtige Messung



Skizze 5: Spannungsrückwärtige Messung



Spannung U	Strom I	Fehler Spannung	Fehler Strom
0,002 V	0,000 mA		
0,128 V	0,00 mA		
0,187 V	0,00 mA		
0,295 V	0,00 mA		
0,492 V	0,00,01 mA		
0,508 V	0,0,13 mA		
0,627 V	0,1,81 mA		
0,705 V	0,7,27 mA		
0,808 V	23,85 mA		
0,896 V	43,7 mA		
1,012 V	74,7 mA		
1,107 V	100,5 mA		
1,189 V	126,9 mA		
1,306 V	158,8 mA		

Fortsæzung

Spannung U	Strom I
7,398 V	186,0 mA
7,502 V	217,7 mA
7,618 V	252,8 mA
7,745 V	292,0 mA
7,864 V	328,0 mA
7,939 V	357,1 mA
2,1010 V	403,1 mA

Spannungsrichtige Messung:

Spannung U	Strom I
0,002 V	00,00 mA
0,108 V	00,00 mA
0,200 V	00,00 mA
0,327 V	00,00 mA
0,420 V	00,00 mA
0,498 V	00,0008 mA
0,603 V	0,727 mA
0,705 V	12,72 mA
0,799 V	103,0 mA
0,846 V	1,075 A

BJS