

# SCHULHEFT

Kariert mit Randlinien



## Grundpraktikum

Physik B.Sc.

WS 2020/21

Versuch: SK Heft 1/2

Anna-Maria Pleyer, Paul Schwanitz, Dominik Müller

- 16 Blatt
- DIN A4

# INHALTSVERZEICHNIS

| Nr. | Datum | Art der Arbeit                        | Zensur |
|-----|-------|---------------------------------------|--------|
|     |       |                                       |        |
|     |       |                                       |        |
|     |       |                                       |        |
|     |       |                                       |        |
|     |       | 1. Einleitung S.01                    |        |
|     |       | 2. Fragen zur Vorbereitung S.02-20    |        |
|     |       | 3. Allgemeines S.21                   |        |
|     |       | 4. Messungen mit Gleichstrom S.39-41  |        |
|     |       | 5. Messungen mit Wechselstrom S.48-49 |        |
|     |       | 6. Faz. L S.43                        |        |
|     |       | 7. Anhang S.44                        | schön. |



Fehlerzeichen:

A = Ausdruck  
Bz = Beziehung  
F = Form  
f = falsch  
G = Grammatik

L = lexikalischer Fehler  
(falsches Wort)  
R = Rechtschreibung  
r = richtig  
St = Stellung

T = Text  
Z = Zeichensetzung  
└ = fehlendes Wort  
§ = ein Wort zuviel  
⌚ = sachlich falsch

# Versuch Sk: Strom-Spannungs-Kennlinien

## 1. Einleitung

In diesem Versuch lernt man die verschiedenen elektrischen Grundgrößen zu messen. Es werden die elementaren Gesetze der Elektrotechnik auf einfache Bauteile angewendet. Es werden beispielsweise die Widerstandswerte verschiedener Bauteile in Abhängigkeit von äußeren Einflüssen, z.B. Umgebungstemperatur, Lichtstärke bestimmt. Dabei werden verschiedene Bestimmungsmethoden, wie etwa die Wheatstone Brücke kennengelernt. Des Weiteren untersucht man Wechselspannungen und wie man diese in eine „Gleichspannung“ umwandeln kann.

In diesem Versuch lernt man außerdem den Umgang mit einem Zwei-Kanal-Oszilloskop, welches ein wichtiges Messinstrument in der Elektrotechnik ist. Außerdem ist es ein unerlässliches Analysegerät im physikalischen Labor. ✓

## 2. Fragen zur Vorbereitung

2.1: Berechnen Sie die Strom-Spannungs-Kennlinie  $U(I)$  einer realen Batterie wie sie in Abb. Sk. 1(a) gezeigt ist! Die Leerlaufspannung  $U_0$  wird dabei als konstant angenommen, während die Klemmenspannung  $U$  eine Funktion des fließenden Stromes  $I$  ist und damit vom Lastwiderstand  $R$  abhängt.

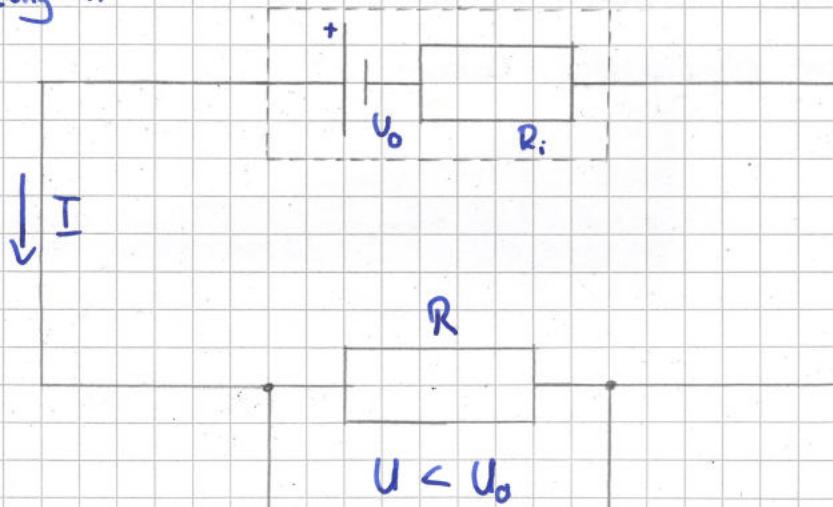
Tragen Sie  $U$  gegen  $I$  auf! Für welche Last fließt der kleinste Strom, und welcher maximale Strom kann der Batterie entnommen werden?

Skizzieren Sie die der Batterie entnommene Leistung als Funktion von  $R$ ! Wann wird diese maximal?

Lieder sind die Verhältnisse in der Realität komplizierter, da der Innenwiderstand  $R_i$  i. Allg. vom Strom abhängt.

Wow.  
Schön gemacht!

Schaltung 1:

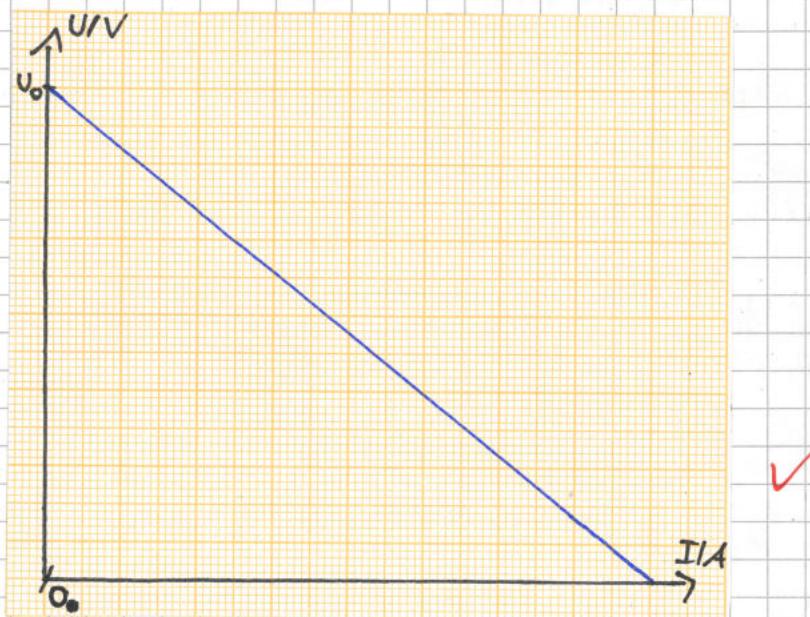


Da sowohl die Leerlaufspannung ( $U_0$ ) als auch der Innenwiderstand ( $R_i$ ) als konstant angesehen werden folgt für die Klemmenspannung der Batterie:

$$U_h = U_0 - I \cdot R_i \quad (1)$$

$$U_h = U_0 - I \cdot R_i; \quad \checkmark \quad (2)$$

Somit folgt die Strom-Spannungs KennLinie einer Batterie einer fallenden Geraden:



Die Stromstärke  $I$  hängt von dem Lastwiderstand über folgenden Zusammenhang zusammen:

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

$$U_h = R_L \cdot I \quad (4)$$

$$U_0 - I \cdot R_i = R_L \cdot I \quad (5)$$

$$I = \frac{U_0}{R_i + R_L} \quad (6)$$

Der kleinste Strom fließt, wenn der Lastwiderstand gegen unendlich geht:

$$\lim_{R_L \rightarrow \infty} \frac{U_0}{R_i + R_L} = 0 \quad \checkmark \quad (7)$$

Der maximale der aus der Batterie entnommen werden kann ist der Kurzschlussstrom, indem man beide Pole miteinander verbindet. Somit folgt das der Lastwiderstand null ist.

$$I_{\max} = \frac{U_0}{R_i} \quad \checkmark \quad (8)$$

Für die entnommene Leistung folgt:

$$P = U_K \cdot I \quad (9)$$

$$P = R_L \cdot I^2 \quad (10)$$

$$P = R_L \cdot \left( \frac{U_0}{R_i + R_L} \right)^2 \checkmark \quad (11)$$

Für die maximal entnommene Leistung folgt:

$$\frac{dP}{dR_L} = \left( \frac{U_0}{R_i + R_L} \right)^2 - 2 \cdot R_L \cdot \frac{U_0^2}{(R_i + R_L)^3} \quad (12)$$

$$\frac{U_0^2}{(R_i + R_L)^2} = 2 \cdot R_L \cdot \frac{U_0^2}{(R_i + R_L)^3} \quad (13)$$

$$R_i + R_L = 2 R_L \quad (14)$$

$$R_L = R_i \checkmark \quad (15)$$

Die maximal entnommene Leistung aus der Batterie ist, wenn der Lastwiderstand gleich dem Innenwiderstand ( $R_i$ ) der Batterie ist.



2.2 Die Größe (oder Kapazität) eines Akkus ist manchmal in mAh und manchmal in Wh angegeben. Was bedeuten diese Angaben anschaulich und (wie) kann man sie ineinander umrechnen? Welche ist Ihnen lieber und warum?

Die Nennkapazität eines Akkus wird in mAh angegeben. Diese gibt an, wie viele Ladungen

in einem Akku "passen". Anschaulich am Beispiel eines Autos ist die Nennkapazität, die maximale Füllmenge des Tanks. Dieser kann auch gegen einen größeren ausgetauscht werden, damit das Auto länger fährt.

Die Angabe in Wh gibt die, im Akku gespeicherte elektrische Leistung an. In unserem Beispiel ist das der Treibstoff, welcher sich im Tank befindet, bzw. wie sparsam das Auto ist. ✓

Die Umrechnung zwischen den beiden Größen, Nennkapazität ( $Q$ ) und Leistungskapazität ( $P$ ) lautet:

$$P = Q \cdot U \quad (16)$$

wobei  $U$  die elektrische Spannung des Akkus ist.

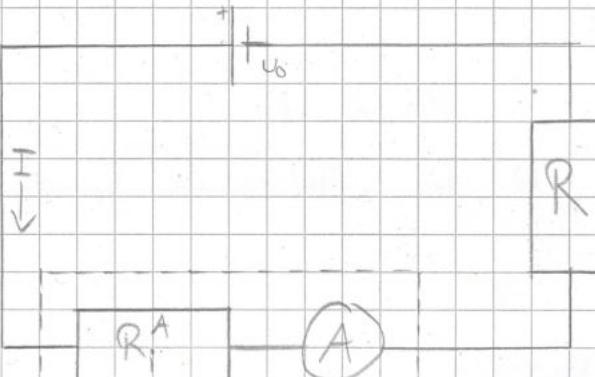
Beide der Angabemöglichkeiten haben ihre Vorteile und Nachteile.

Mir ist aber die Angabe in Wh lieber, da diese die gespeicherte Energie angibt. Somit ist es einfacher die benötigte Kapazität für eine Anwendung zu bestimmen. Schön. ✓

2.3.: Welchen Strom  $I$  wird das Ampermeter in Abb. Sk. 1(c) messen, wenn ohne Messgerät der Strom  $I_0$  durch den Kreis fließt? Wie muss also der Innenwiderstand des Ampermeters für eine möglichst genaue Messung beschaffen sein?

Welcher Strom  $I$  fließt in Abb. Sk. 1(c), wenn ohne Messgerät der Strom  $I_0$  durch den Kreis fließt? Wie muss also der Innenwiderstand des Voltmeters beschaffen sein, damit die Schaltung durch das Messgerät möglichst wenig beeinflusst wird?

Schaltung 2:



Ampermeter

Ohne Messgerät folgt, nach dem ohmschen Gesetz:

$$I_0 = \frac{U_0}{R} \quad (17)$$

Mit einem Messgerät kommt ein zweiter Widerstand hinzu, welcher in Reihe zudem bestehenden geschaltet ist. Der Gesamtwiderstand ergibt sich aus deren Addition:

$$R_{\text{ges}} = R + R_i \quad (18)$$

Somit folgt für die Stromstärke:

$$I = \frac{U_0}{R_{\text{ges}}} \quad (19)$$

$$I = \frac{U_0}{R + R_i} \quad (20)$$

Zwischen  $I$  und  $I_0$  besteht ein proportionaler Zusammenhang.

Die Proportionalitätskonstante  $k$  ist:

$$k = \frac{I}{I_0} \quad (21)$$

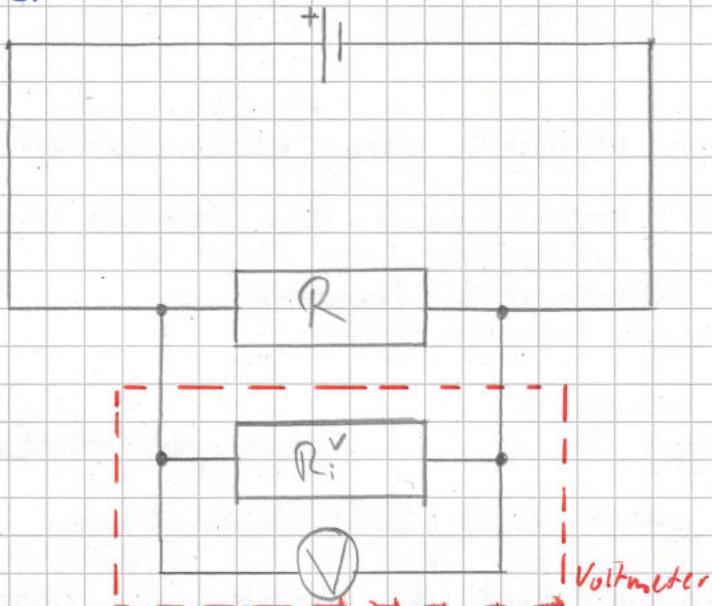
$$k = \frac{R}{R + R_i} \quad (22)$$

Somit folgt:

$$I = I_0 \cdot \frac{R}{R + R_i} \quad \checkmark \quad (23)$$

Um nun möglichst genau messen zu können, muss ein relativ, im Vergleich zur zu messenden Größe, kleiner Innenwiderstand des Ampermeters gewählt werden.  $\checkmark$

Schaltung 3:



Ohne Messgerät folgt, nach dem ohmschen Gesetz

$$U_0 = I_0 \cdot R \quad (24)$$

Mit einem Messgerät kommt ein zweiter Widerstand hinzu, welcher parallel zu dem bestehenden geschaltet ist.

Der Kehrwert des Gesamtwiderstands ergibt sich aus der Addition der Kehrwerte der Einzelwiderstände.

$$\frac{1}{R_{\text{Ges}}} = \frac{1}{R} + \frac{1}{R_i} \quad (25)$$

$$R_{\text{ges}} = \frac{R \cdot R_i}{R + R_i} \quad (26)$$

Somit folgt für die gemessene Spannung:

$$U = I_0 \cdot R_{\text{ges}} \quad (27)$$

$$U = I_0 \cdot \frac{R \cdot R_i}{R + R_i} \quad (28)$$

Zwischen  $U$  und  $U_0$  besteht wieder ein proportionaler Zusammenhang. Die Proportionalitätskonstante  $K$  ist:

$$K = \frac{U}{U_0} \quad (29)$$

$$K = \frac{R_i}{R + R_i} \quad (30)$$

Somit folgt:

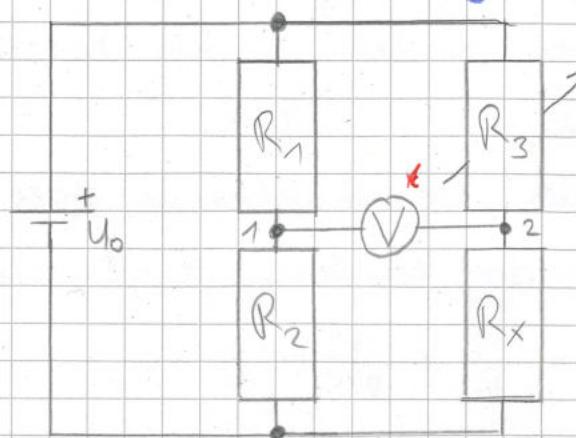
*✓ Es sollte eigentlich auch hier der Strom betrachtet werden*

$$U = U_0 \cdot \frac{R_i}{R + R_i} \quad \checkmark \quad (31)$$

- o.s.P. Um nun möglichst genau messen zu können, muss ein großer Innenwiderstand des Voltmeters gewählt werden. Das Voltmeter muss hochohmig sein. ✓

2.4.: Zeigen Sie, dass im Abgleich der Wheatstonebrücke (s. unten) GL(3) gilt! Warum brauchen Sie den Innenwiderstand des Voltmeters hier nicht zu berücksichtigen?

Die Wheatstonebrücke ist wie folgt aufgebaut.



\* Eigentlich wäre hier typischerweise ein Ampermeter verbaut, siehe Abb. 1d) im Versuchsanleitung

Die Wheatstonebrücke besteht aus vier Widerständen.

Sie besteht aus zwei parallel geschaltene Reihen aus je zwei Widerständen.

Zwischen den Reihen, an den Stellen 1 & 2 ist die Brücke über ein Voltmeter verbunden.

Wenn zwischen 1 und 2 kein Potenzialunterschied vorherrscht folgt:

$$U_0 = I_1 (R_1 + R_2) \quad (32)$$

$$U_b = I_2 (R_3 + R_x) \quad (33)$$

$$\Rightarrow I_1 R_1 = I_2 R_3 \quad (34)$$

$$I_1 R_2 = I_2 R_x \quad (35)$$

Nach Division der Gleichungen folgt

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_x} \quad (36)$$

$$R_x = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_1} \quad \checkmark \quad (37)$$

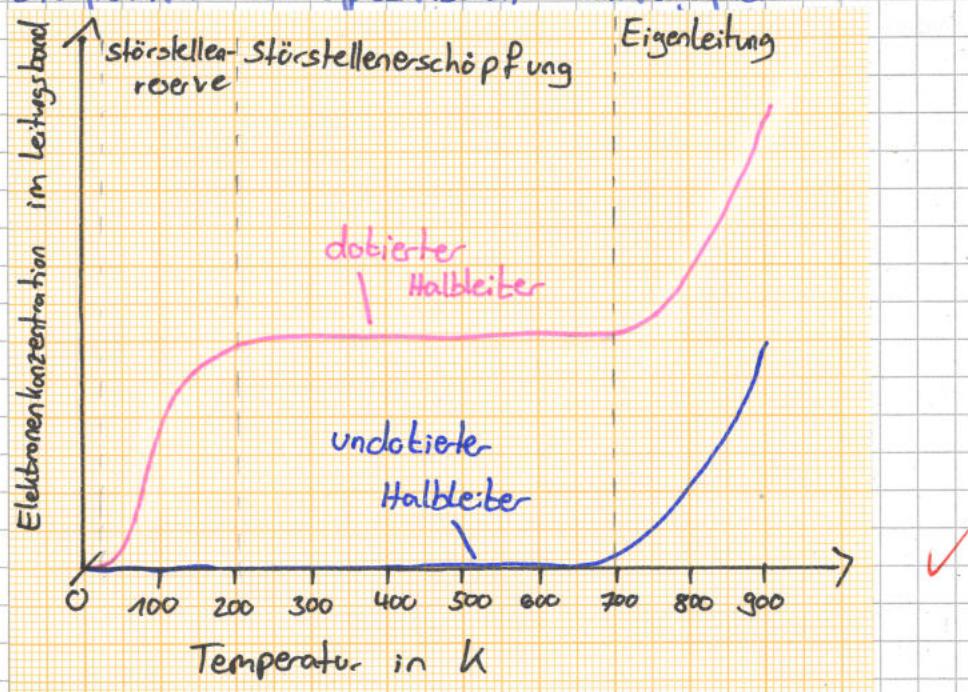
Der Innenwiderstand des Voltmeters muss hier nicht berücksichtigt werden, da die Größe des Widerstandes im Gleichgewichtspunkt ( $U=0V$ ) bestimmt wird.

In Gleichung (31) wurde der Zusammenhang zwischen der gemessenen Spannung  $U$  und der realen Spannung  $U_0$  bestimmt. Wird nun die Spannung  $U$  mit  $U=0V$  gemessen, so muss  $U_0=0V$  folgen, damit die Gleichung erfüllt ist, da der Innenwiderstand ungleich 0 ist.

Somit ist der Innenwiderstand des Voltmeters irrelevant für die Bestimmung von  $R_x$ .  $\checkmark$

2.5: Zeichnen Sie ein Diagramm der spezifischen Leitfähigkeit eines Halbleiters als Funktion der Temperatur und der Kristall Zusammensetzung bzw. -verunreinigung. Erläutern Sie daran qualitativ die Begriffe Eigenleitung und Störleitung!

Diagramm der spezifischen Leitfähigkeit:



Eigenleitung bezieht sich auf reine, nicht dotierte Halbleiter oder auf dotierte Halbleiter bei hohen Temperaturen. Wenn der Halbleiter keine Störstellen aufweist, also nicht dotiert ist, so können Elektronen des Stoffes durch äußere Anregung (z.B. durch Licht oder thermische Energie) in das Leitungsband springen und somit eine Leitung erzeugen, die Eigenleitung (entsprechendes gilt auch für die „positiven Löcher“).

Bei dotierten Halbleitern liegt eine Eigenleitung vor, wenn überwiegend Elektronen des ursprünglichen Halbleiters zur Leistung beitragen, was der Fall ist, wenn die Anregungsenergie ausreicht, nur die Bandlücke zu überwinden. ✓

Eine „Störleitung“ existiert nur bei dotierten Halbleitern. Bei diesen liegen normalerweise die Energieniveaus der Stör-/Fremdatome innerhalb der Bandlücke, weshalb deren Elektronen leichter (d.h. z.B. bei niedriger Temperatur) in das Leitungsband wechseln können und somit nur diese zur elektrischen Leitfähigkeit beitragen (bzw. sie erzeugen).

Bei höherer Temperatur gelangen zunehmend mehr Elektronen des Wirtsmaterials in das Leitungsband. Da die Anzahl der Wirtselektronen die Anzahl der Elektronen des Fremdstoffes überwiegt, spricht man wieder von einer Eigenleitung. ✓

Im Bereich der Störreserve sind noch nicht alle Störstellen-niveaus des dotierten Halbleiters besetzt/ionisiert.

Im Bereich der Störstellenerschöpfung sind alle Störstellen-niveaus des dotierten Halbleiters besetzt/ionisiert. ✓

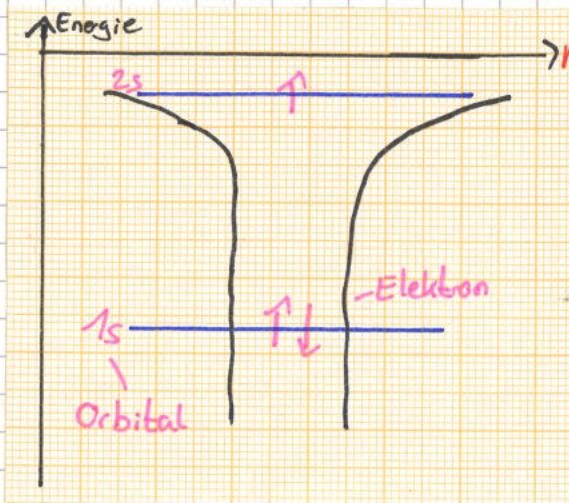
2.6: Beschreiben Sie anhand eines vereinfachten Bändermodells die elektrische Leitung in Metallen und in Halbleitern, insbesondere in dotierten Halbleitern! Beschreiben Sie davon ausgehend die grundsätzliche Wirkungsweise einer Gleichrichterdiode.

Die elektrische Leitfähigkeit und noch andere Eigenschaften (z.B. Deformierbarkeit) von Metallen, lassen sich mit folgenden Modell der metallischen Bindung verstehen. Es wird hier Lithium als Beispiel genommen:

Ein Stück Lithium besteht aus dichtgepackten

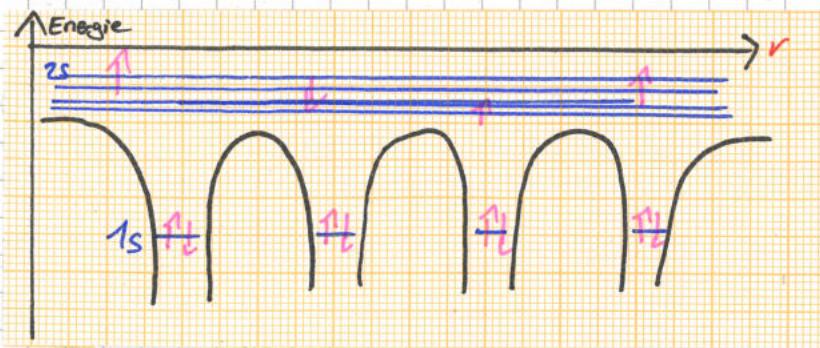
$\text{Li}^+$ -Ionen, welche gitterförmig angeordnet sind. Dieser werden durch frei bewegliche Elektronen zusammengehalten. Dieses "Elektronengas" ist auch für die elektrische Leitfähigkeit verantwortlich.

Um die Herkunft dieser freien Elektronen zu erläutern, wird das Potentialtopfmodell (für Lithium) herangezogen:



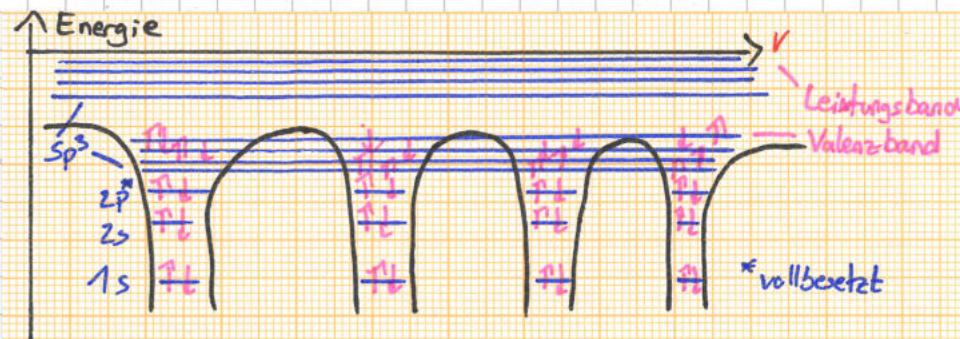
Das Lithium-Atom besitzt 3 Elektronen, somit ist das erste Energieniveau (1s) voll besetzt.

Bei der Bindung überlappen die Potenziale der einzelnen Lithium-Atome, wodurch die 2s-Niveaus außerhalb des Potentialtopfes liegen und sich somit durch den ganzen Kristall ziehen würden. Jedoch verbietet das Pauli-Prinzip einerseits mehr als 2 Elektronen in diesem 2s-Orbital, andererseits sind mehr als 2 Elektronen vorhanden. Folglich spaltet sich das 2s-Niveau auf und wird zu einem 2s-Band, indem alle Elektronen des ursprünglichen 2s-Orbital Platz finden. Da das Band freie Plätze bietet und oberhalb der Potentialbarrieren liegt, sind die Elektronen quasi frei beweglich. ✓



Bei einem Halbleiter (zunächst nicht abiert) passiert ähnliches. Die Erläuterungen werden an dem typischen Halbmetall für Halbleitern, Silizium gemacht. Dieses besitzt 14 Elektronen:

In einem Silizium-Kristall liegen keine ionischen Bindungen, sondern kovalente Bindungen vor. Diese sind, ähnlich wie etwa bei Kohlenstoff,  $sp^3$ -hybridisiert. Somit folgt für das Potenzialtopfmodell:



Die  $sp^3$ -Zustände sind mit jeweils 4 Elektronen besetzt und bietet Platz für 8 e<sup>-</sup>. Erneut überlappen die Niveaus der benachbarten Atome, welche in Folge dessen aufgespalten werden. Es entstehen 2 energetisch getrennte Bänder: das niedrigere Valenzband und das höhergelegene Leitungsband. Diese sind durch die sogenannte Bandlücke getrennt. Da das Valenzband voll besetzt ist, können auch mittels Tunneleffekt keine Elektronen fließen. Werden Elektronen nun, z.B. durch thermische Energie angegriffen, so können diese in das Leitungsband gelangen und sich somit „frei“ durch den Kristall bewegen.

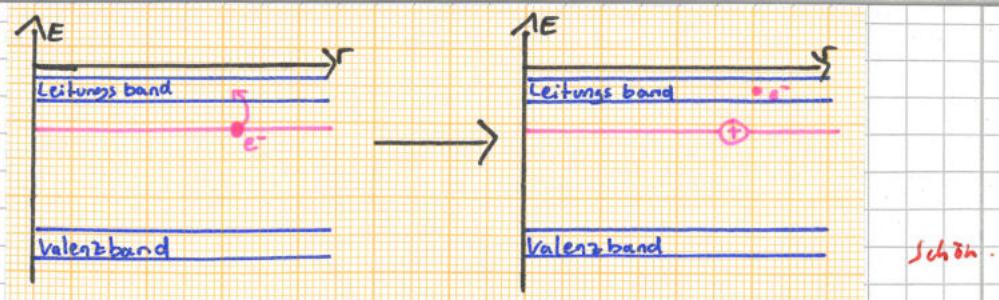
Umgekehrt können nun im Valenzband Elektronen von einem Atom zum nächsten „tunneln“. Somit wandert das „Loch“ durch den Kristall. Dieses „Loch“ wird deswegen oft als ein „fiktives“ Teilchen mit positiver Ladung aufgefasst, um die Beschreibung von Vorgängen zu erleichtern.

Bei höheren Temperaturen wird ein Halbleiter elektrisch leitend, die sogenannte Eigenleitung bei undotierten Halbleiter entsteht. ✓

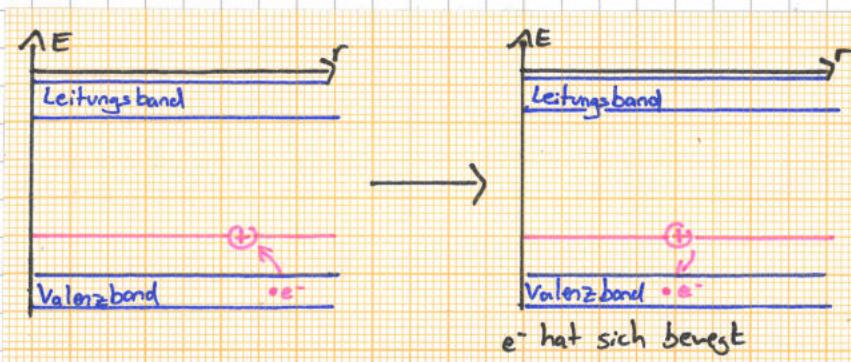
Nun ist es möglich Fremdatome in das Kristallgitter einzubauen. Dieser Vorgang wird als „Dotierung“ bezeichnet.

Dabei unterscheidet man 2 unterschiedliche Typen, die n- und p-Dotierung.

Bei der n-Dotierung werden 5-wärtige Atome, d.h. Atome mit 5 Valenzelektronen (5. Hauptgruppe) eingebracht und werden deshalb auch als Elektronendonatoren bezeichnet. Da das 5. (überschüssige) Elektron nicht an der Bindung beteiligt, ist es leichter dieses in das Leitungsband zu heben. Folglich wird der Halbleiter bereits bei einer niedrigen Temperatur leitend. Es entsteht eine Störleitung. Ab einer bestimmten Temperatur ist die thermische Energie so groß, dass Elektronen aus dem Valenzband in das Leitungsband gelangen können (-> es entsteht wieder eine Eigenleitung). ✓



Bei einer p-Dotierung werden 3-wertige Atome mit 3 Valenzelektronen (3. Hauptgruppe) eingebracht, wodurch ein Teilchen für die Bindung fehlt. Es entsteht folglich ein Defekt elektron und der Fremdstoff wird als Elektronen-Akzeptoren bezeichnet. Nun kann mit (im Vergleich zur Bandlücke benötigte Energie) relativ wenig Energie ein Elektron eines benachbarten Si-Atom in die fehlende Bindungsstelle "springen", wodurch ein Stromfluss bei angelegter Spannung entstehen kann, welche erneut eine Störleistung ist. Ab einer bestimmten Temperatur entsteht die obere beschriebene Eigenleistung.

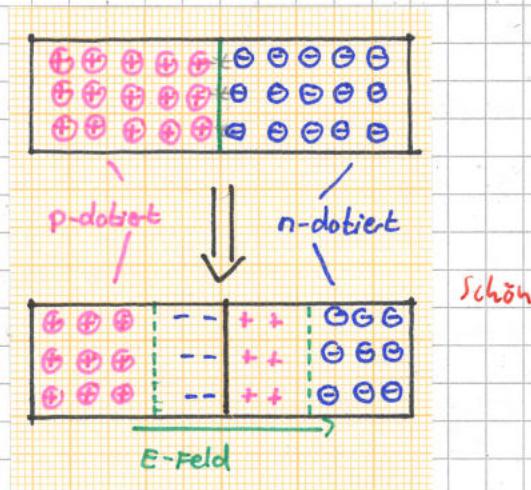


Gleichrichter aus Halbleitern nennt man Dioden; sie lassen Strom nur in eine Richtung durch, d.h. nur bei einer bestimmten Polung der angelegten Spannung.

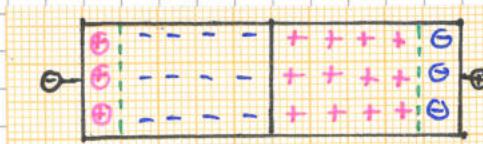
Der Diode liegt ein p-n-Übergang im Halbleiterkristall zu Grunde, d.h. es werden zwei Gebiete aneinandergebracht, wobei das erste p- und das zweite n-dotiert ist. Praktisch bedeutet dies, dass der eine

Teil einen Überschuss an positiven, die andere an negativen Ladungsträgern besitzt. Aufgrund des Konzentrationsgradienten beginnen die Teilchen in das andere Gebiet zu diffundieren, wodurch ein elektrisches Feld und damit eine Spannung, die sog. Diffusionsspannung entsteht. Diese Spannung behindert die Diffusion, sobald sich ein Gleichgewicht eingestellt hat.

Wenn keine Teilchen (im Mittel) mehr die Seite wechseln, hat sich ein Potentialwall aufgebaut und eine sog. Raumladungszone / Verarmungszone gebildet. ✓

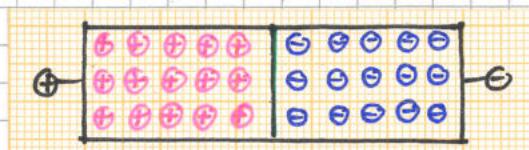


Wird nun eine (äußere) Spannung so angelegt, dass der Pluspol mit dem n-dotierten, der negative Pol mit dem p-dotierten Gebiet verbunden wird, so wird der Potentialwall erhöht, d.h. die Diode sperrt in dieser Richtung für den Stromfluss. Der Grund hierfür ist, dass die negativen ÜberschussLadungen des n-dotierten Kristalls zum positiven Pol und die positiven ÜberschussLadungen des p-dotierten Kristalls zum negativen Pol gezogen werden. Die Verarmungszone und damit der Potenzialwall, welcher für Stromfluss von den Ladungsträgern überwunden werden muss wird größer.



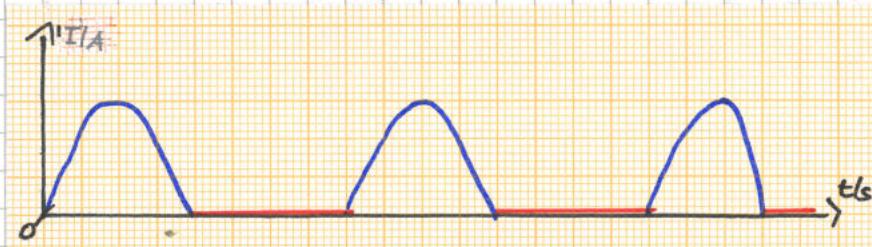
Wenn nun die Spannung umgedreht anliegt, dann fließt ein Strom.

Da der positive Pol am p-dotierten Stück und der negative Pol n-dotierten Stück angeschlossen ist, wird der Potentialwall abgebaut und kann leichter überwunden werden. An der Verbindungsstelle tritt fortwährend Rekombination auf.



Diese Eigenschaften können genutzt werden, um mit einer Diode einen einfachen Gleichrichter zu bauen.

Die Diode wird in einen Wechselstromkreis eingebaut (Sinusförmig), der Strom welcher nun durch die Diode fließt, sieht wie folgt aus:



Die Verschaltung mehrerer Dioden und Kondensatoren, kann die Effizienz des Gleichrichters noch einmal steigern. Mehr dazu aber im Versuch selbst. ✓

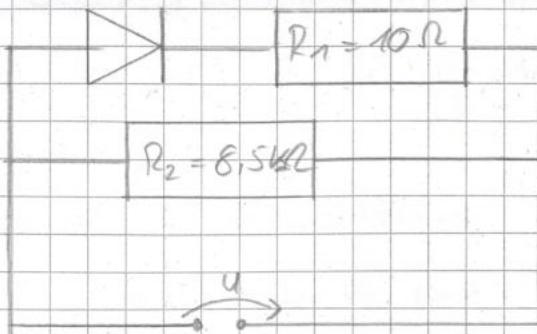
Wirklich sehr schön bearbeitet.

2.7: Aus messtechnischen Gründen ist bei diesem Versuch in Reihe zur Diode ein 10Ω-Widerstand geschaltet und parallel zu diesen Bauteilen ein etwa 8,5 kΩ -Widerstand (natürlich im Versuchraum direkt ansehen). können Sie erklären, wieso das gemacht wurde?

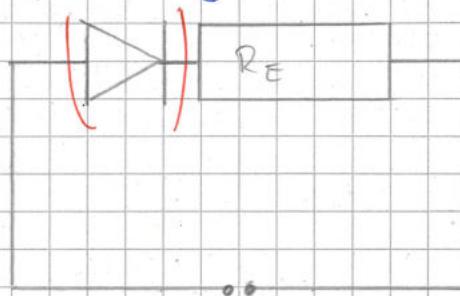
Zeichnen Sie ein Ersatzschaltbild dieser Anordnung und berechnen Sie den Ersatzwiderstand der Schaltung in Abhängigkeit der ohmischen Widerstände und des Widerstands der Diode. Bestimmen Sie damit Strom und Spannung an der Diode als Funktion der an dieser Schaltung anliegenden Gesamtspannung.

Die Diode ist kein linearer Widerstand. Je höher die angelegte Spannung ist, desto mehr Strom fließt durch die Diode. Da Dioden nur eine relativ geringe Stromstärke vertragen ohne Kaputtzugehen, wird ein kleiner Vorwiderstand in Reihe zu dieser geschalten um diese zu schützen. Der parallel geschaltete Widerstand nimmt ein Teil des fließenden Stroms auf und schützt dadurch auch die Diode. Wenn nun die Diode in Sperrichtung ist, sinkt er den Gesamtwiderstand der Schaltung, dass dieser mit unserer Widerstandsdekade messbar ist. ✓

Die interne Schaltung der Diode sieht wie folgt aus:



Das Ersatzschaltbild mit dem Ersatzwiderstand  $R_E$  sieht wie folgt aus:



Die Größe des Ersatzwiderstandes lässt sich wie folgt berechnen:

$$\frac{1}{R_E} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{(R_1 + R_D)} \quad (35)$$

$$\frac{1}{R_E} = \frac{R_2 + R_1 + R_D}{R_2 \cdot (R_1 + R_D)} \quad (35)$$

$$R_E = \frac{R_2 \cdot (R_1 + R_D)}{R_2 + R_1 + R_D} \quad (36)$$

Der Widerstand der Diode wird als  $R_D$  bezeichnet.

Nun soll Strom und Spannung mit Hilfe von  $R_E$  und der angelegten Spannung  $U$  bestimmt werden.

Bestimmung  $R_D$ :

$$R_E = \frac{R_2 \cdot (R_1 + R_D)}{R_2 + R_1 + R_D} \quad (41)$$

$$R_E \cdot (R_2 + R_1 + R_D) = R_2 \cdot (R_1 + R_D) \quad (42)$$

$$R_E R_2 + R_E R_1 + R_E R_D = R_2 R_1 + R_2 R_D \quad (43)$$

$$R_D R_E - R_2 R_D = R_2 R_1 - R_E (R_2 + R_1) \quad (44)$$

$$R_D(R_E - R_2) = R_1 R_2 - R_E(R_1 + R_2) \quad (45)$$

$$R_D = \frac{R_1 R_2 - R_E(R_1 + R_2)}{R_E - R_2} \quad (46)$$

Die Spannung einer Parallelschaltung ist über beiden Zästen gleich. Somit folgt für die Spannung  $U_D$  über der Diode:

$$U = U_D + U_{R_1} \quad (47)$$

$$U = I_D \cdot (R_D + R_1) \quad (48)$$

$$U_D = I_D \cdot R_D \quad (49)$$

$$U = \frac{U_D}{R_D} (R_D + R_1) \quad (50)$$

$$U_D = \frac{U \cdot R_D}{(R_D + R_1)} \quad \checkmark \quad (51)$$

Somit folgt für den Strom durch die Diode:

$$I_D = \frac{U_D}{R_D} \quad \checkmark \quad (52)$$

### 3. Allgemeines

Ort: Universität Bayreuth

Raum: 2.2.02.694

Datum: 21.10.2020 9<sup>30</sup>

Mesperson: Anna-Maria Pleyer

Auswerkperson: Dominik Müller

Protokollperson: Paul Schwanitz

Arbeitsplatz: Am Fenster rechts, einziger Platz im Raum.

Schön.

✓ Gruppennummer

## 4. Messungen mit Gleichspannung

### 4.1 Temperaturabhängigkeit des Kohlewiderstands

Aus den Fragen der Vorbereitung folgt für die Wheatstonebrücke:

$$R_x = R_3 \cdot \frac{R_2}{R_1} \quad (53)$$

$R_x$  bezeichnet den Kohlewiderstand, und  $R_3$  die Widerstandsdeklade. Die Widerstände  $R_1$  (1020,7 Ω) und  $R_2$  (10,28 Ω) ändern sich nicht.

Der Fehler der Widerstands deklade beträgt 1% des eingestellten Wertes. Der Fehler des Widerstandes von  $R_1$  beträgt 1 Ω und von  $R_2$  beträgt dieser 0,06 Ω. Der Fehler des Thermometers und der Fehler bei der Gleichhaltung der Temperatur beträgt:  $\pm(0,3^\circ\text{C} + 0,5\% \text{ des Messwertes})$ . Somit folgt der Fehler des Kohlewiderstands:

$$s_{R_x} = \sqrt{\left(\frac{\partial R_x}{\partial R_3} s_{R_3}\right)^2 + \left(\frac{\partial R_x}{\partial R_2} s_{R_2}\right)^2 + \left(\frac{\partial R_x}{\partial R_1} s_{R_1}\right)^2} \quad (54)$$

$$s_{R_x} = \sqrt{\left(\frac{R_2}{R_1} s_{R_3}\right)^2 + \left(\frac{R_3}{R_1} s_{R_2}\right)^2 + \left(\frac{R_3 \cdot R_2}{R_1^2} s_{R_1}\right)^2} \quad (55)$$

Die Umrechnung  $K \rightarrow {}^\circ\text{C}$ :

$$T_u = T_c + 273,15 \quad (56)$$

Und der Fehler von  $T_u$ :

$$s_{T_u} = \sqrt{\left(\frac{\partial T_u}{\partial T_c} s_{T_c}\right)^2} \quad (57)$$

$$s_{T_u} = |s_{T_c}| \quad (58)$$

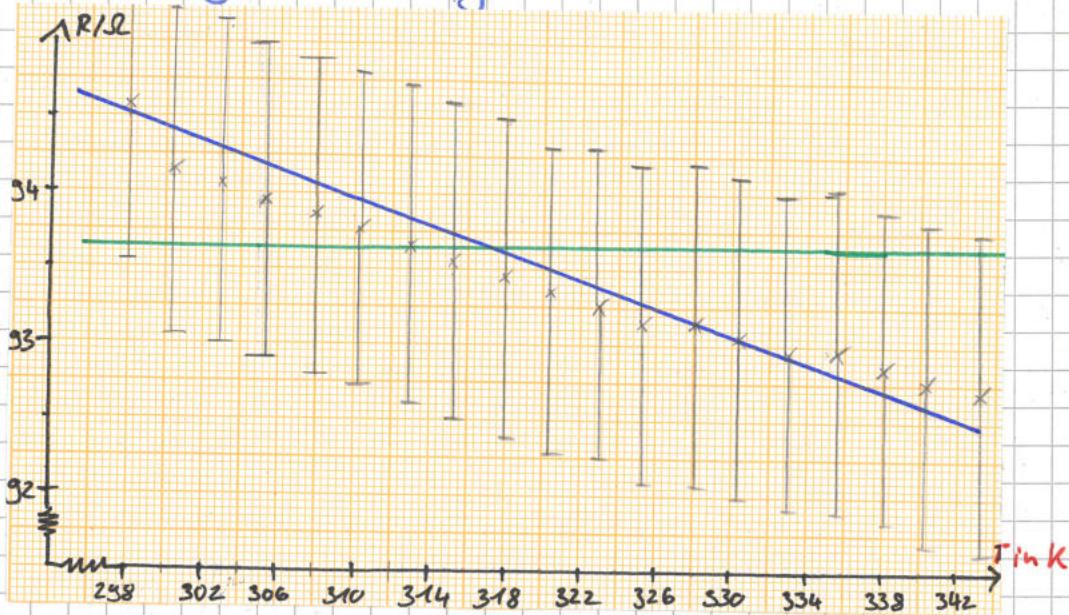
$$s_{T_u} = (0,3 + 0,005 \cdot T_c) K \quad (59)$$

Somit ergibt sich mit den gemessenen Werten

Folgende Tabelle:

| Tc / °C | Tn / K | s <sub>Tn</sub> / K | R <sub>Konst</sub> / Ω | s <sub>RK</sub> / Ω |
|---------|--------|---------------------|------------------------|---------------------|
| 25,0    | 298,15 | 0,425               | 94,5716                | 1,0989              |
| 27,5    | 300,65 | 0,4375              | 94,1687                | 1,0942              |
| 30,0    | 303,15 | 0,45                | 94,0680                | 1,0931              |
| 32,5    | 305,65 | 0,4625              | 93,9673                | 1,0919              |
| 35,0    | 308,15 | 0,475               | 93,8666                | 1,0907              |
| 37,5    | 310,65 | 0,4875              | 93,7658                | 1,0896              |
| 40,0    | 313,15 | 0,5                 | 93,6651                | 1,0884              |
| 42,5    | 315,65 | 0,5125              | 93,5644                | 1,0872              |
| 45,0    | 318,15 | 0,525               | 93,4637                | 1,0861              |
| 47,5    | 320,65 | 0,5375              | 93,3630                | 1,0849              |
| 50,0    | 323,15 | 0,55                | 93,2623                | 1,0837              |
| 52,5    | 325,65 | 0,5625              | 93,1616                | 1,0825              |
| 55,0    | 328,15 | 0,575               | 93,1616                | 1,0825              |
| 57,5    | 330,65 | 0,5875              | 93,0608                | 1,0814              |
| 60,0    | 333,15 | 0,6                 | 92,9601                | 1,0802              |
| 62,5    | 335,65 | 0,6125              | 92,9601                | 1,0802              |
| 65,0    | 338,15 | 0,625               | 92,8594                | 1,0790              |
| 67,5    | 340,65 | 0,6375              | 92,7587                | 1,0779              |
| 70,0    | 343,15 | 0,65                | 92,6580                | 1,0767              |

Somit folgt dieses Diagramm:



Es füllt auf, dass sich die Widerstands Kurve über die Temperaturdifferenz von  $45\text{K}$  nur leicht verändert.

Die gemessenen Werte bilden eine leicht fallende Gerade (blaue Linie). Erwartet wurde eine horizontale Linie, welche mit den Fehlertoleranzen auch gemessen wurde (grüne Linie).

Somit ist der Kohlewiderstand ein temperatur unabhängiger Widerstand (höchstens im Rahmen der Messunsicherheit).

Der Kohlewiderstand ist auch ein ohmscher Widerstand, da dieser unabhängig von der eingestellten Spannung  $U_0$  ist. ✓

## 4.2 Kalibrierung des NTC-Widerstands

Der Kohle widerstand wurde mit einem NTC-Widerstand ausgetauscht. An der Schaltung hat sich sonst nur der Widerstand  $R_2$  ( $9914\Omega$ ) geändert. Dessen Fehler sind  $0,1\Omega$ . Wahr?  
Alle Werte wurden wie im Kapitel vorher bestimmt.

Somit folgt:

| $T_c/^\circ C$ | $T_u/K$ | $s_{T_u}/K$ | $R_{NTC}/\Omega$ | $s_{R_{NTC}}/\Omega$ |
|----------------|---------|-------------|------------------|----------------------|
| 25,14          | 298,29  | 0,4257      | 237,2872         | 2,3962               |
| 27,5           | 300,65  | 0,4375      | 218,2069         | 2,2069               |
| 30,0           | 303,15  | 0,45        | 200,5723         | 2,0255               |
| 32,5           | 305,65  | 0,4625      | 184,0603         | 1,8587               |
| 35,0           | 308,15  | 0,475       | 169,2966         | 1,7096               |
| 37,5           | 310,65  | 0,4875      | 155,6985         | 1,5723               |
| 40,0           | 313,15  | 0,5         | 143,5573         | 1,4497               |
| 42,5           | 315,65  | 0,5125      | 132,2903         | 1,3359               |
| 45,0           | 318,15  | 0,525       | 121,8003         | 1,2300               |
| 47,5           | 320,65  | 0,5375      | 112,8644         | 1,1397               |
| 50,0           | 323,15  | 0,55        | 104,2199         | 1,0525               |
| 52,5           | 325,65  | 0,5625      | 96,8380          | 0,9779               |
| 55,0           | 328,15  | 0,575       | 89,6505          | 0,9053               |
| 57,5           | 330,65  | 0,5875      | 82,9485          | 0,8376               |
| 60,0           | 333,15  | 0,6         | 77,1208          | 0,7788               |
| 62,5           | 335,65  | 0,615       | 72,0700          | 0,7278               |
| 65,0           | 338,15  | 0,625       | 66,5337          | 0,6719               |
| 67,5           | 340,65  | 0,6375      | 62,0657          | 0,6268               |
| 70,0           | 343,15  | 0,65        | 57,7920          | 0,5836 ✓             |

Es soll nun  $\frac{1}{T_u}$  gegen  $\ln(R_{NTC})$  aufgetragen werden:

Die Fehler davon sind

$$S_{\frac{1}{T_u}} = \sqrt{\left(\frac{\partial \frac{1}{T_u}}{\partial T_u} S_{T_u}\right)^2}$$

→ Aufpassen mit vorerst noch einzelen behandelten Größen.

(60)

$$S_{\frac{1}{T_u}} = \sqrt{\left(\frac{S_{T_u}}{T_u^2}\right)^2}$$

(61)

$$S_{\ln(R_{NTC})} = \sqrt{\left(\frac{\partial \ln(R_{NTC})}{\partial R_{NTC}} \cdot S_{R_{NTC}}\right)^2}$$

(62)

$$S_{\ln(R_{NTC})} = \sqrt{\left(\frac{S_{R_{NTC}}}{R_{NTC}}\right)^2}$$

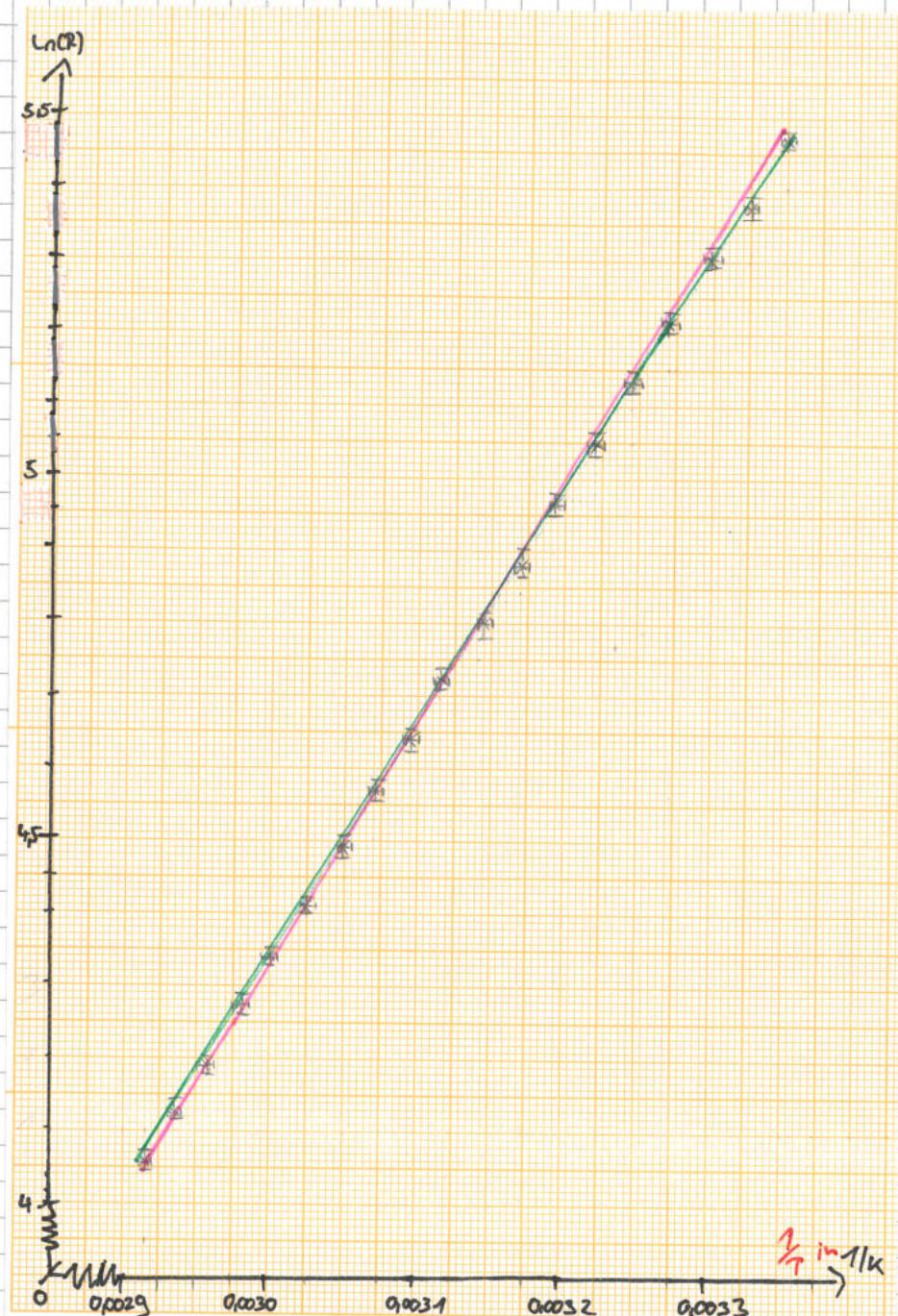
(63)

Somit folgt folgende Wertetabelle:

| $T_u / K$ | $\frac{1}{T_u} / \frac{1}{K}$ | $S_{\frac{1}{T_u}} / \frac{1}{K}$ | $\ln(R_{NTC})$ | $S_{\ln(R_{NTC})}$ |
|-----------|-------------------------------|-----------------------------------|----------------|--------------------|
| 298,29    | 0,0335242                     | $4,78439 \cdot 10^{-6}$           | 5,46927        | 0,01               |
| 300,65    | 0,003326127                   | $4,84011 \cdot 10^{-6}$           | 5,38697        | 0,01               |
| 302,15    | 0,003298697                   | $4,89663 \cdot 10^{-6}$           | 5,30117        | 0,01               |
| 303,65    | 0,003271716                   | $4,95066 \cdot 10^{-6}$           | 5,21526        | 0,01               |
| 308,15    | 0,003245173                   | $5,00229 \cdot 10^{-6}$           | 5,13165        | 0,01               |
| 310,65    | 0,003219057                   | $5,0516 \cdot 10^{-6}$            | 5,04792        | 0,01               |
| 313,15    | 0,003193358                   | $5,09877 \cdot 10^{-6}$           | 4,96673        | 0,01               |
| 315,65    | 0,003168066                   | $5,14378 \cdot 10^{-6}$           | 4,88500        | 0,01               |
| 318,15    | 0,003143171                   | $5,18675 \cdot 10^{-6}$           | 4,80238        | 0,01               |
| 320,65    | 0,003118665                   | $5,22776 \cdot 10^{-6}$           | 4,72619        | 0,01               |
| 323,15    | 0,003094538                   | $5,26689 \cdot 10^{-6}$           | 4,64650        | 0,01               |
| 325,65    | 0,003070782                   | $5,30421 \cdot 10^{-6}$           | 4,57304        | 0,01               |
| 328,15    | 0,003047387                   | $5,33978 \cdot 10^{-6}$           | 4,49592        | 0,01               |
| 330,65    | 0,003024346                   | $5,37367 \cdot 10^{-6}$           | 4,41822        | 0,01               |
| 333,15    | 0,003001651                   | $5,40594 \cdot 10^{-6}$           | 4,34537        | 0,01               |
| 335,65    | 0,002979294                   | $5,43667 \cdot 10^{-6}$           | 4,27764        | 0,01               |
| 338,15    | 0,002957267                   | $5,46589 \cdot 10^{-6}$           | 4,19771        | 0,01               |
| 340,65    | 0,002935564                   | $5,49368 \cdot 10^{-6}$           | 4,12819        | 0,01               |
| 343,15    | 0,002914177                   | $5,52008 \cdot 10^{-6}$           | 4,05685        | 0,01               |

✓

wenn nun  $1/k$  gegen  $\ln(R)$  aufgetragen wird, entsteht eine Gerade:



Nun soll folgendes Gesetz durch die Gerade kalibriert werden:

$$\bar{R} = R^* \cdot e^{\frac{T^*}{k}} \quad | \ln() \quad (64)$$

$$\ln(\bar{R}) = \ln(R^*) + \frac{T^*}{k} \quad (65)$$

$$\ln(\bar{R}) = \ln(R^*) + \frac{T^*}{k} \quad (66)$$

$$\ln(\bar{R}) = \ln(R^*) + \frac{T^*}{k} \quad (67)$$

Der Parameter  $\ln(R^*)$  ist der y-Achsenabstand der Geraden und der Parameter  $T^*$  ist die Steigung der Geraden.

Diese werden jeweils in der minimalen und maximalen möglichen Geraden herausgelesen und somit die Parameter bestimmt.

Die Steigung wird wie folgt bestimmt:

$$T^* = \frac{\ln(R)_2 - \ln(R)_1}{(\gamma/T)_2 - (\gamma/T)_1} = \frac{\Delta y}{\Delta x} \quad (68)$$

mit dem Fehler:

$$S_{T^*} = \sqrt{\left( \frac{\partial T^*}{\partial \ln(R)_2} \cdot S_{\ln(R)_2} \right)^2 + \left( \frac{\partial T^*}{\partial \ln(R)_1} \cdot S_{\ln(R)_1} \right)^2} \quad (69)$$

$$+ \left( \frac{\partial T^*}{\partial (\gamma/T)_2} \cdot S_{(\gamma/T)_2} \right)^2 + \left( \frac{\partial T^*}{\partial (\gamma/T)_1} \cdot S_{(\gamma/T)_1} \right)^2$$

$$S_{T^*} = \sqrt{\left( \frac{S_{\ln(R)_2}}{[(\gamma/T)_2 - (\gamma/T)_1]} \right)^2 + \left( \frac{S_{\ln(R)_1}}{[(\gamma/T)_2 - (\gamma/T)_1]} \right)^2 + \left( \frac{\ln(R)_2 - \ln(R)_1}{[(\gamma/T)_2 - (\gamma/T)_1]^2} \cdot S_{(\gamma/T)_2} \right)^2} \quad (70)$$

$$+ \left( \frac{\ln(R)_2 - \ln(R)_1}{[(\gamma/T)_2 - (\gamma/T)_1]^2} \cdot S_{(\gamma/T)_1} \right)^2$$

Der xy-Achsenabstand wird wie folgt bestimmt.

$$\ln(R) = T^* \cdot \gamma/T + \ln(R^*) \quad (71)$$

$$\ln(R^*) = \ln(R) - T^*/T \quad (72)$$

$$R^* = \exp(\ln(R) - T^*/T) = \exp(\ln(R^*)) \quad (73)$$

mit den Fehlern:

$$S_{\ln(R^*)} = \sqrt{\left( \frac{\partial \ln(R^*)}{\partial \ln(R)} \cdot S_{\ln(R)} \right)^2 + \left( \frac{\partial \ln(R^*)}{\partial T^*} \cdot S_{T^*} \right)^2 + \left( \frac{\partial \ln(R^*)}{\partial T} \cdot S_T \right)^2} \quad (74)$$

$$S_{\ln(R^*)} = \sqrt{\left( S_{\ln(R)} \right)^2 + \left( \frac{-S_{T^*}}{T} \right)^2 + \left( \frac{T^* \cdot S_T}{T^2} \right)^2} \quad (75)$$

$$S_{R^*} = \sqrt{\left( \frac{\partial R^*}{\partial \ln(R^*)} \cdot S_{\ln(R^*)} \right)^2} \quad (76)$$

$$S_{R^*} = \exp(\ln(R^*)) \cdot S_{\ln(R^*)} \quad (77)$$

Es folgt folgende Tabelle:

| Gemessene/Berechnete Größe               | Minimal (grün)              | Maximal (rosa)              |
|--|-----------------------------|-----------------------------|
| $\ln(R)_z$                               | 5,45                        | 5,48                        |
| $S_{\ln(R)}_z$                           | 0,01                        | 0,01                        |
| $\ln(R)_1$                               | 4,08                        | 4,05                        |
| $S_{\ln(R)}_1$                           | 0,01                        | 0,01                        |
| $\frac{1}{T}_z / \text{K}$               | 0,003345                    | 0,003345                    |
| $S_{\frac{1}{T}_z} / \frac{1}{\text{K}}$ | 0,000005                    | 0,000005                    |
| $\frac{1}{T}_1 / \frac{1}{\text{K}}$     | 0,002915                    | 0,002920                    |
| $S_{\frac{1}{T}_1} / \frac{1}{\text{K}}$ | 0,000005                    | 0,000005                    |
| $T^* / \text{K}$                         | 3186,04651                  | 3364,70588                  |
| $S_{T^*} / \text{K}$                     | 61,85979                    | 65,12431                    |
| $\ln(R^*)$                               | -5,20733                    | -5,77494                    |
| $S_{\ln(R^*)}$                           | 0,2071624947                | 0,218070221                 |
| $R^* / \Omega$                           | $5,476275842 \cdot 10^{-3}$ | $3,104383916 \cdot 10^{-3}$ |
| $S_{R^*} / \Omega$                       | $1,134478965 \cdot 10^{-3}$ | $6,769736867 \cdot 10^{-4}$ |

Somit folgt für  $T_{\min}$  &  $T_{\max}$ :

$$T_{\min}^* = (3186 \pm 62) \text{ K} \quad (78)$$

$$T_{\max}^* = (3365 \pm 65) \text{ K} \quad (79)$$

Und  $R_{\min}^*$  &  $R_{\max}^*$ :

$$R_{\min}^* = (5,5 \pm 1,1) \cdot 10^{-3} \Omega \quad (80)$$

$$R_{\max}^* = (3,1 \pm 0,7) \cdot 10^{-3} \Omega \quad (81)$$

Interpretation von  $R^*$  und  $T^*$ :

- $T^*$  ist ein Maß für die Energie, die benötigt ist um Elektronen in das Leitungsband anzuheben.
- $R^*$  stellt die obere Grenze bzw den minimal möglichen Widerstandswert da für  $T \rightarrow \infty$

#### 4.3. Qualitative Analyse des Photowiderstands

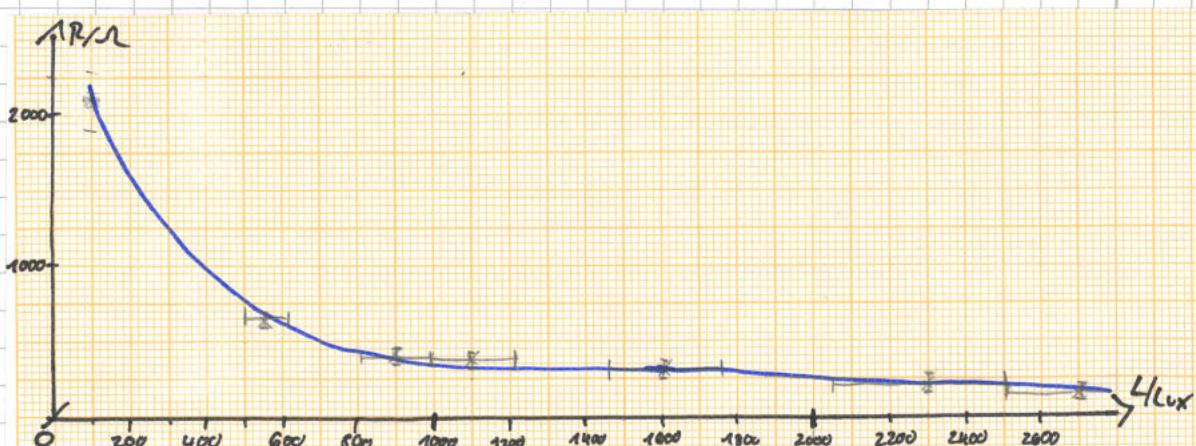
Es wurde versucht eine Kennlinie eines Photowiderstandes aufzuzeichnen. Es wurde der Widerstand bei verschiedenen Umgebungsleuchtsstärken mit Hilfe der Widerstandsdekade bestimmt.

Die Beleuchtungsstärke wurde mit der App "Phy Phox" gemessen. Da diese nicht ganz akkurat war und mitunter auch immer stark schwankte wurde ein Fehler von 10% veranschlagt.

Der Widerstandswert des Photowiderstandes, wurde wie in den vorherigen Kapiteln bestimmt und es ergibt folgende Tabelle:

| Beleuchtungsstärke/Lx | Fehler<br>Beleuchtungsstärke/Lx | Photowiderstand/Ω | Fehler<br>Photowiderstand/Ω |
|-----------------------|---------------------------------|-------------------|-----------------------------|
| 100                   | 10                              | 2110,823926       | 21,318079                   |
| 550                   | 55                              | 563,540899        | 5,691431                    |
| 900                   | 90                              | 422,164785        | 4,263616                    |
| 1100                  | 110                             | 392,711428        | 3,966154                    |
| 1600                  | 160                             | 304,351357        | 3,073770                    |
| 2300                  | 230                             | 245,444643        | 2,478846                    |
| 2700                  | 270                             | 206,173500        | 2,082231                    |

Es ergibt sich folgende Kurve: ✓



Es folgt auf, dass mit steigender Betriebsstarkreise der Widerstand fällt. Aufgrund des charakteristischen Verlaufs des Graphen, kann man ein „ $-e^x$ “ Gesetz vermuten.

Hier würde sich ein Log-Plot & ein Literaturvergleich anbieten.

#### 4.4 Kennlinie einer Diode

Es wurde die Kennlinie einer Diode bestimmt, indem man deren Widerstand in Abhängigkeit der angelegten Spannung aufgezeichnet wurde. Der Widerstand wurde mithilfe einer Wheatstonebrücke wie in den vorherigen Kapiteln bestimmt.

Zunächst wurde die Diode als ein einzelnes Bauteil betrachtet. Der Strom welcher durch diese fließt, wurde wie folgt bestimmt:

$$U_D = R_D \cdot I_D \quad (82)$$

$$I_D = \frac{U_D}{R_D} \quad (83)$$

Mit den Fehlern:

$$S_{I_D} = \sqrt{\left(\frac{\partial I_D}{\partial U_D} S_{U_D}\right)^2 + \left(\frac{\partial I_D}{\partial R_D} S_{R_D}\right)^2} \quad (84)$$

$$S_{I_D} = \sqrt{\left(\frac{S_{U_D}}{R_D}\right)^2 + \left(\frac{U_D}{R_D^2} S_{R_D}\right)^2} \quad (85)$$

Für die Durchflussrichtung folgt diese Tabelle:

| $U_D / V$ | $S_{U_D} / V$ | $R_D / \Omega$ | $S_{R_D} / \Omega$ | $I_D / mA$ | $S_{I_D} / mA$ |
|-----------|---------------|----------------|--------------------|------------|----------------|
| 0,0521    | 0,005         | 7903,3175      | 79,6189            | 0,0065922  | 0,0006361      |
| 0,1005    | 0,005         | 8050,5843      | 81,3062            | 0,0124836  | 0,0006337      |
| 0,1435    | 0,005         | 7952,4064      | 80,3146            | 0,0187993  | 0,0006568      |
| 0,2038    | 0,005         | 8011,3131      | 80,9095            | 0,0254396  | 0,0006749      |
| 0,2528    | 0,005         | 8050,5843      | 81,3062            | 0,0314014  | 0,0006974      |
| 0,3039    | 0,005         | 7864,0463      | 79,4222            | 0,0386442  | 0,0007460      |
| 0,3516    | 0,005         | 7284,7970      | 73,5722            | 0,0482649  | 0,0008418      |

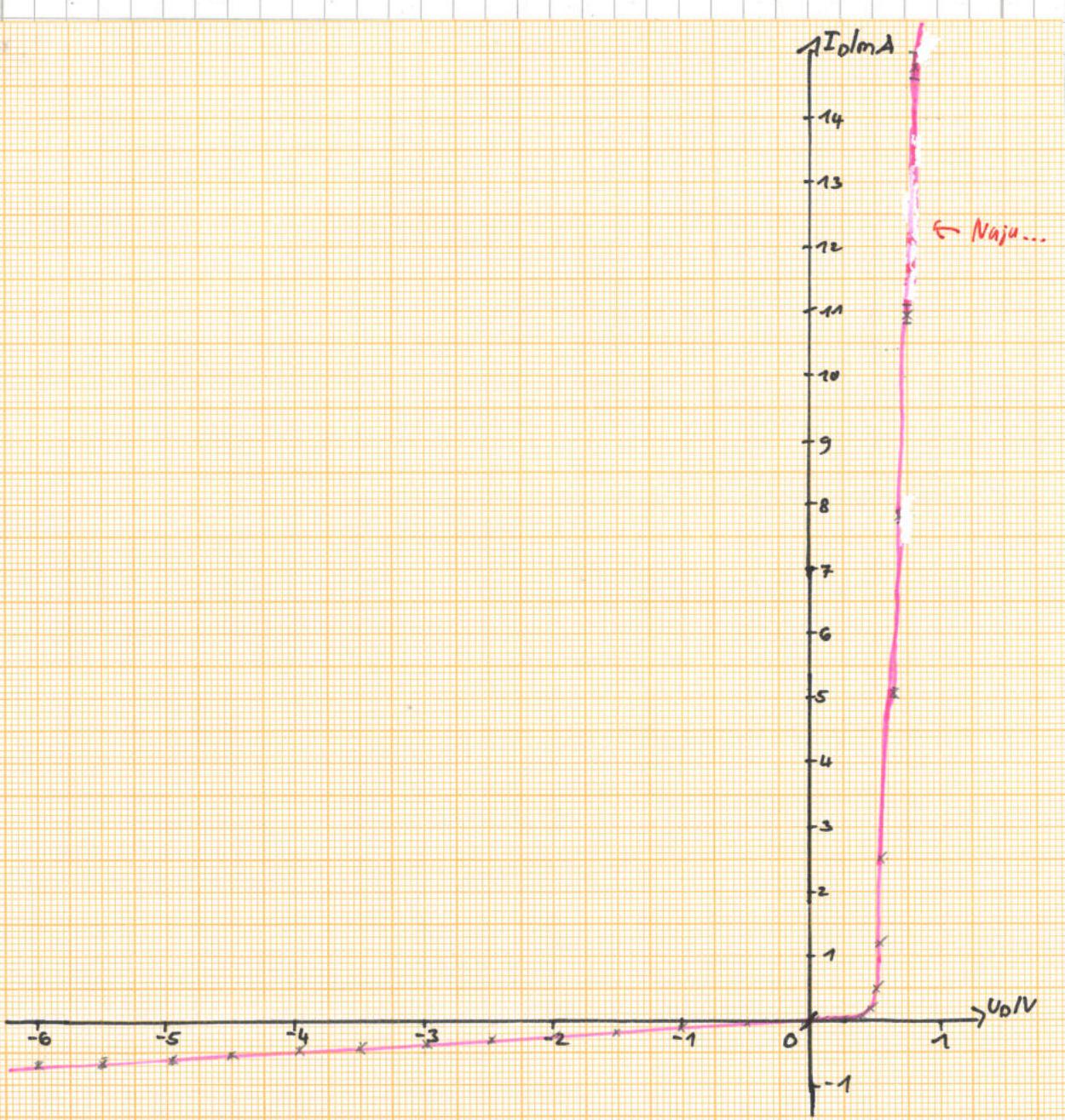
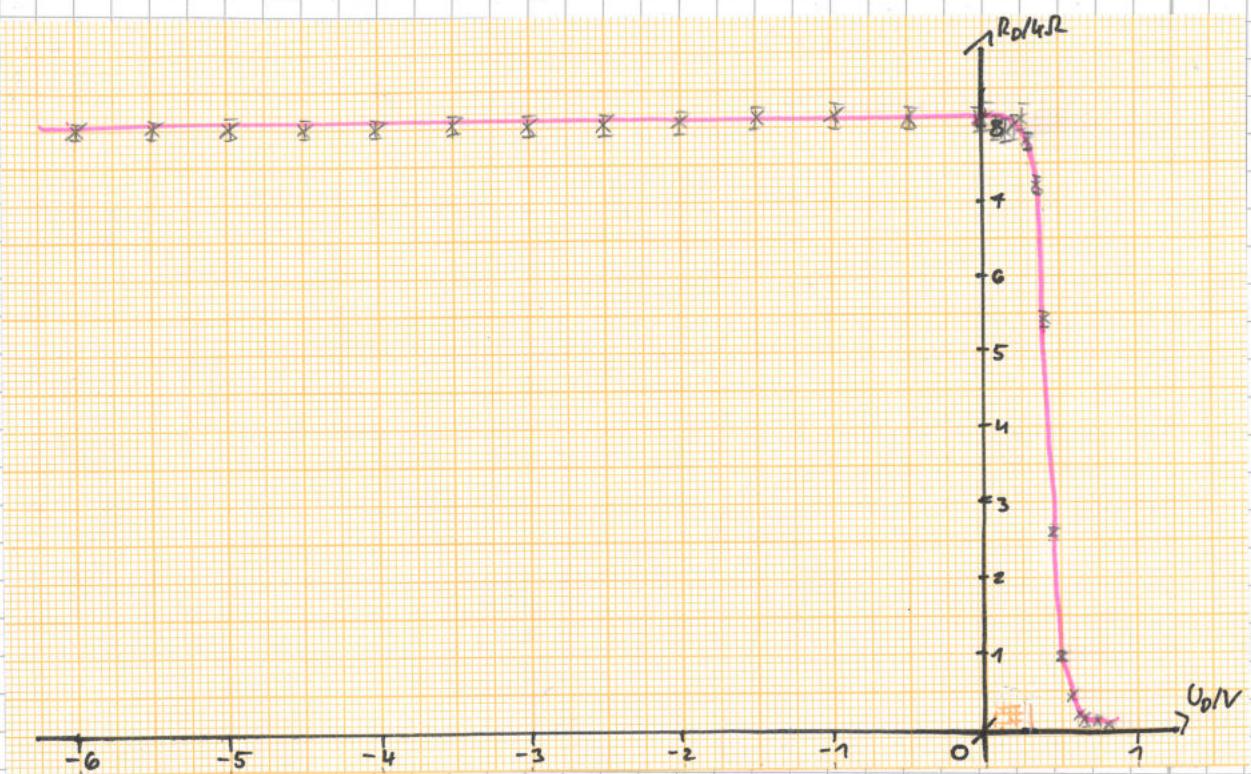
|        |       |           |         |            |           |
|--------|-------|-----------|---------|------------|-----------|
| 0,4021 | 0,005 | 5458,6888 | 55,1295 | 0,0736624  | 0,00118   |
| 0,4511 | 0,005 | 2640,9844 | 26,6724 | 0,1708075  | 0,0025613 |
| 0,5006 | 0,005 | 981,7786  | 9,91539 | 0,5038309  | 0,0072426 |
| 0,5438 | 0,005 | 451,6181  | 4,56108 | 1,2041146  | 0,0164457 |
| 0,5873 | 0,005 | 235,6269  | 2,37369 | 2,4925003  | 0,0329235 |
| 0,6518 | 0,005 | 127,6312  | 1,289   | 5,1069012  | 0,0647678 |
| 0,6894 | 0,005 | 88,3601   | 0,89238 | 7,8021666  | 0,0970106 |
| 0,7322 | 0,005 | 66,7609   | 0,67425 | 10,96749   | 0,1337088 |
| 0,8    | 0,005 | 53,9978   | 0,54535 | 14,8154125 | 0,1759611 |

Und für die Sperrichtung:

| $U_D/V$ | $s_{U_D}/V$ | $R_D/S_2$ | $s_{R_D}/S_2$ | $I_D/mA$   | $s_{I_D}/mA$ |
|---------|-------------|-----------|---------------|------------|--------------|
| -0,0231 | 0,005       | 8129,127  | 82,09939      | -0,0028416 | 0,0006157    |
| -0,4891 | 0,005       | 8148,762  | 82,2977       | -0,0000214 | 0,0008625    |
| -0,9627 | 0,005       | 8158,58   | 82,39685      | -0,1179985 | 0,0013401    |
| -1,52   | 0,005       | 8148,76   | 82,2977       | -0,1865314 | 0,0019813    |
| -2      | 0,005       | 8158,58   | 82,3969       | -0,2451407 | 0,0025505    |
| -2,49   | 0,005       | 8158,58   | 82,3969       | -0,3052002 | 0,0031427    |
| -2,98   | 0,005       | 8158,58   | 82,3969       | -0,3652596 | 0,0037395    |
| -3,5    | 0,005       | 8158,58   | 82,3969       | -0,4289962 | 0,0043757    |
| -3,96   | 0,005       | 8158,58   | 82,3969       | -0,4863780 | 0,0049402    |
| -4,47   | 0,005       | 8158,58   | 82,3969       | -0,5478895 | 0,0055672    |
| -4,96   | 0,005       | 8158,58   | 82,3969       | -0,6079489 | 0,0061704    |
| -5,48   | 0,005       | 8158,58   | 82,3969       | -0,6716855 | 0,0068113    |
| -6      | 0,005       | 8153,671  | 82,3473       | -0,7358649 | 0,0074517    |

✓

So mit ergibt sich folgende  $R(U)$ - und  $I(U)$ -Kennlinie:



Aus den Fragen zur Vorbereitung geht hervor, dass die Diode keine einzelne Diode, sondern aus einer Schaltung mit zwei Widerständen besteht.

Bis jetzt haben wir in diesem Versuch nur den Ersatzwiderstand  $R_E$  gemessen. Nun wollen wir den realen Diodenwiderstand  $R_D$  und somit die reale Stromstärke durch die Diode bestimmen.

Aus den Fragen zur Vorbereitung folgt:

$$R_D = \frac{R_1 R_2 - R_E (R_1 + R_2)}{R_E - R_2} \quad (86)$$

$$R_D = \frac{(85 \Omega^2 - R_E \cdot 8,51 \Omega) \cdot 10^3}{R_E - 8,5 \cdot 10^3 \Omega} \quad (87)$$

$$U_D = \frac{U \cdot R_D}{(R_D + R_1)} \quad (88)$$

$$I_D = \frac{U_D}{R_D} \quad (89)$$

Mit den Fehlern:

$$s_{R_D} = \left| \frac{\partial R_D}{\partial R_E} s_{R_E} \right| \quad (90)$$

$$s_{R_D} = \left| s_{R_E} \cdot \frac{(R_E - 8,5 \cdot 10^3 \Omega) \cdot 8,51 \cdot 10^3 \Omega - [(85 \Omega^2 - R_E \cdot 8,51 \Omega) \cdot 10^3]}{(R_E - 8,5 \cdot 10^3 \Omega)^2} \right| \quad (91)$$

$$s_{U_D} = \sqrt{\left( \frac{\partial U_D}{\partial U} s_U \right)^2 + \left( \frac{\partial U_D}{\partial R_D} s_{R_D} \right)^2} \quad (92)$$

$$s_{U_D} = \sqrt{\left( \frac{s_U \cdot R_D}{(R_D + 10 \Omega)} \right)^2 + \left( \frac{(R_D + 10 \Omega) \cdot U - (R_D \cdot U) \cdot s_{R_D}}{(R_D + 10 \Omega)^2} \right)^2} \quad (93)$$

$$s_{I_D} = \sqrt{\left( \frac{\partial I_D}{\partial U_D} s_{U_D} \right)^2 + \left( \frac{\partial I_D}{\partial R_D} s_{R_D} \right)^2} \quad (94)$$

$$s_{I_D} = \sqrt{\left( \frac{s_{U_D}}{R_D} \right)^2 + \left( \frac{U_D \cdot s_{R_D}}{R_D^2} \right)^2} \quad (95)$$

Es folgt somit diese Werttabelle für die Durchflussrichtung:

| $U_D/V$    | $S_{UD}/V$ | $R_D/\Omega$ | $S_{RD}/\Omega$ | $I_D/mA$    | $S_{ID}/mA$  |
|------------|------------|--------------|-----------------|-------------|--------------|
| 0,05209537 | 0,005      | 112576,17    | 13938,19        | 0,000462757 | 0,0000724870 |
| 0,1004934  | 0,005      | 152254,29    | 26036,33        | 0,000860037 | 0,000117543  |
| 0,1494879  | 0,005      | 123430,92    | 16875,75        | 0,001211106 | 0,000170454  |
| 0,2037854  | 0,005      | 139335,18    | 21686,02        | 0,001462555 | 0,000230426  |
| 0,2527834  | 0,005      | 152254,29    | 26036,33        | 0,001660271 | 0,00028579   |
| 0,303871   | 0,005      | 105098,91    | 12077,71        | 0,002891287 | 0,000335616  |
| 0,351531   | 0,005      | 50945,01     | 2572,963        | 0,006900194 | 0,000361977  |
| 0,4018364  | 0,005      | 15246,20     | 122,5624        | 0,026356495 | 0,000390184  |
| 0,4499226  | 0,005      | 3821,423     | 21,2847         | 0,117736936 | 0,001459733  |
| 0,49609    | 0,005      | 1099,986     | 9,7593          | 0,450996824 | 0,006001205  |
| 0,532399   | 0,005      | 466,9598     | 4,5527          | 1,140138132 | 0,015110604  |
| 0,563066   | 0,005      | 232,3449     | 2,3809          | 2,423406135 | 0,031503889  |
| 0,6014978  | 0,005      | 119,5769     | 1,2904          | 5,030218844 | 0,063231702  |
| 0,64121894 | 0,005      | 79,2882      | 0,8934          | 7,721060751 | 0,05419019   |
| 0,6233865  | 0,005      | 57,2894      | 0,6751          | 10,88134924 | 0,132055647  |
| 0,652787   | 0,005      | 44,3430      | 0,5460          | 14,7212949  | 0,174198192  |

Und für die Sperrichtung folgt:

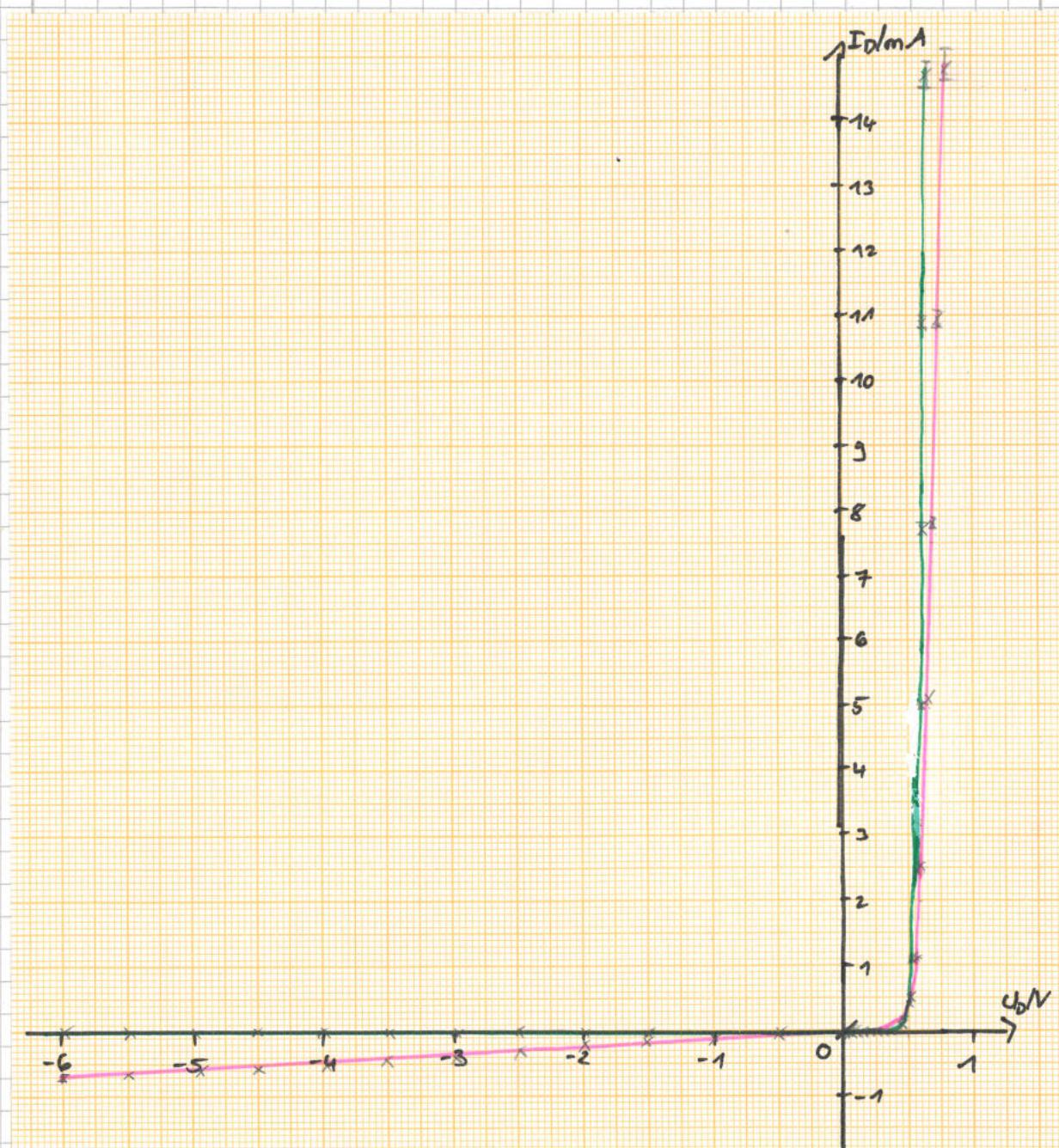
↑ Anzahl der Stellen beachten.  
↓ So nicht sinnvoll.

| $U_D/V$   | $S_{UD}/V$ | $R_D/\Omega$ | $S_{RD}/\Omega$ | $I_D/mA$     | $S_{ID}/mA$  |
|-----------|------------|--------------|-----------------|--------------|--------------|
| -0,023099 | 0,005      | 186300,39    | 39402,71        | -0,00012399  | 0,0000375208 |
| -0,489075 | 0,005      | 197191,05    | 44260,44        | -0,00248021  | 0,000557243  |
| -0,962653 | 0,005      | 203106,14    | 47017,07        | -0,004739653 | 0,001057408  |
| -1,519923 | 0,005      | 197191,05    | 44260,44        | -0,00770787  | 0,001730165  |
| -1,9999   | 0,005      | 203106,14    | 47017,07        | -0,009846583 | 0,002279408  |
| -2,48988  | 0,005      | 203106,14    | 47017,07        | -0,012258996 | 0,002837004  |
| -2,97985  | 0,005      | 203106,14    | 47017,07        | -0,014671409 | 0,003396209  |
| -3,45983  | 0,005      | 203106,14    | 47017,07        | -0,017231521 | 0,003988807  |
| -3,9598   | 0,005      | 203106,14    | 47017,07        | -0,019467109 | 0,004513031  |

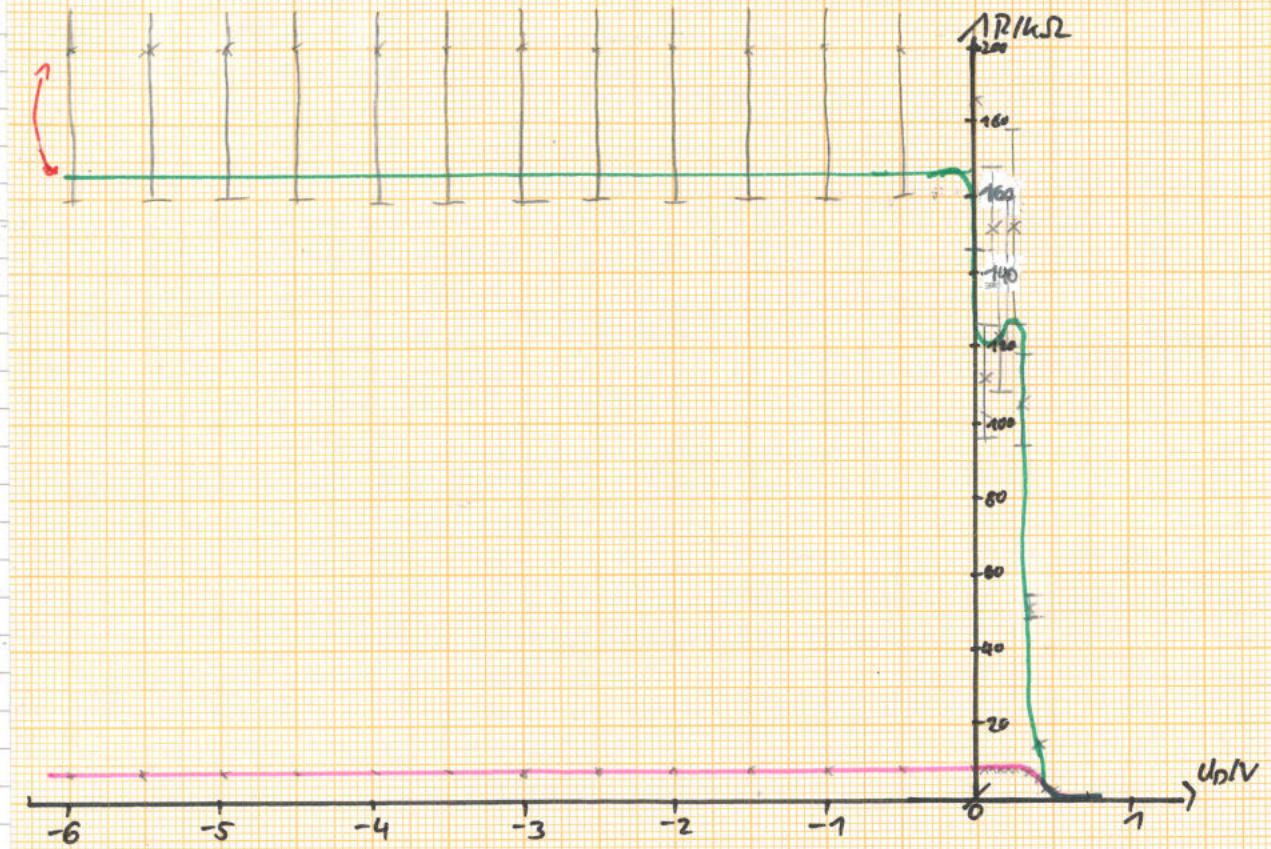
-4,46978 0,005 203106,14 47017,07 -0,0220071 0,0050942  
 -4,958756 0,005 203106,14 47017,07 -0,0244195 0,0056527  
 -5,47973 0,005 203106,14 47017,07 -0,0269796 0,006245  
 -5,9997 0,005 200-106,68 45608,82 -0,0299825 0,006833 ✓

Wenn man beide Graphen in das gleiche Diagramm zeichnet, erhält man folgendes Bild:

(Rosa bezeichnet die Diode mit Vorwiderständen und grün beschreibt nur die Diode)



Graph und Messpunkt passen nicht zusammen.



✓

**H Diskussion**  
allgemeiner Verlauf der Kennlinie

Es fällt auf, dass bei der  $R(U)$ -Kennlinie (grün) in Sperrichtung der Widerstand viel größer ist, als in der nicht bereinigten Darstellung (pink). Dies liegt daran, dass durch den parallel geschalteten  $8,5\text{ k}\Omega$ -Widerstand in diesem Fall der gesamte Strom fließt. Wenn bei der bereinigten Darstellung (grün) keine Widerstände mehr vorhanden sind, wäre der Widerstand einer (idealen) Diode in Sperrichtung unendlich hoch. Diese ist aufgrund von nicht beeinflussbaren Effekten, z.B. Tunneln von Elektronen an der Grenzschicht, bei einer realen Diode niedriger.

Bei der  $I(U)$ -Kennlinie (pink) sieht man auch, dass in Sperrichtung ein kleiner Strom durch den parallelgeschalteten Widerstand fließt. Die bereinigte Kurve (grün) ist steiler als die nicht bereinigte (pink), da durch den  $10\Omega$ -Widerstand nur ein Teil der Spannung über der Diode abfällt. ✓

## 5. Messungen mit Wechselstrom

### 5.1 Diode in Durchlass- und Sperrichtung.

Im ersten Teil des Versuches wurde die Schaltung gemäß des Schaltbildes aufgebaut.

Mit den Einstellungen im Protokollheft, ergibt sich dann das im Protokollheft stehende Bild a-f dem Bildschirm des Oszilloskops.

Zu sehen ist, dass nur jeweils die Berge der Wechselstromspannung völlig ausgebildet sind.

Die Täler hingegen sind abgeschnitten worden.

Die Spannung wurde über den Widerstand gemessen.

Somit bedeuten die Berge, dass die Diode in Durchflussrichtung war, und die abgeschnittenen Täler, dass dort die Diode in Sperrichtung war. Wieso? Was "bedeuten" die Berge?

Besser sieht man dies, wenn nun die Spannung über der Diode und der Wechselstromquelle gemessen wird. Wenn nun beide Kurven auf dem Oszilloskop sichtbar sind, erkennt man, dass sich beide Täler überlagern. Die Berge sind bei der Spannungsquelle vollständig ausgebildet, und bei der Diode sind diese fast nicht existent. Das bedeutet, wenn die Spannungsquelle einen Berg hat, ist die Diode in Durchlassrichtung und die größte Spannung fällt über den Widerstand ab. Anders herum fällt die ganze Spannung über die Diode ab, wenn die Spannungsquelle ein Tal hat, da diese nun in Sperrichtung ist. ✓

## 5.2 Graetz-Schaltung

Es fällt auf, dass im Vergleich zur vorherigen Schaltung sich keine „Lücken“ mehr zwischen den Spannungsbergen befinden. Somit führt die Graetz-Schaltung zu einem besseren Gleichstrom, als eine einfache Diode. Dies kann verbessert werden, indem man parallel, zur Last, Kondensatoren schaltet.

Je höher deren Kapazität ist, desto glatter wird die Spannung und gleicht sich einer „normalen“ (Konstanten) Gleichspannung an. Dies bedeutet daran, dass die Kondensatoren ein Teil der Energie speichern, und diesen wieder freigeben, wenn die Spannung fällt und somit die Einschnitte zwischen den Bergen überbrücken.

Anwendung findet diese Schaltung in der Elektrotechnik.

Mit dieser, kann man aus einem Wechselstrom einen „relativ guten“ Gleichstrom erzeugen. Im Vergleich zur einzelnen Diode, ist diese Schaltung doppelt so effizient, da durch die geschickte Verschaltung der vier Dioden auch der Teil nutzbar gemacht wird der bei der einzelnen Diode weggeschnitten wird.

Beide Spannungen (Eingangs- und Diodenspannung) <sup>lassen sich</sup> bei dieser Schaltung nicht gleichzeitig darstellen. Im Schaltplan, muss es einen gemeinsamen Punkt geben, da die Massen der Eingänge intern in Oszilloskop miteinander verbunden sind. Würde man es trotzdem machen, könnte man einen Kurzschluss <sup>im Oszilloskop</sup> durch das Ozi aber in der Schaltung verursachen.

Nein.  
Während der Halbschwingung wo die Diode sperrt fließt quasi kein Strom und es wird keine Energie benötigt.  
Die Effizienz ist also nicht doppelt so groß.

### 5.3 Dioden-Kennlinie

Gemessen werden soll eine  $I(U)$ -Kennlinie der Diode.

Dabei wird das Oszilloskop im xy-Betrieb verwendet.

Die Spannung über der Diode wird direkt über dieser gemessen und an Kanal 1 (x-Achse) angeschlossen.

Der Strom durch die Diode ist proportional zur

Spannung über ~~der~~ den Widerstand. Deswegen wird diese mit dem Kanal 2 (y-Achse) des Oszilloskop gemessen.

Im linken Teil des Oszilloskop-Bildes ist die Diode in Durchlassrichtung geöffnet (Linker Teil  $\rightarrow$  negative Spannung über Diode, offen da gegen der Durchlassrichtung gemessen wurde). Die Kennlinie fällt ab, da die Spannung der Wechselstromquelle kleiner wird, somit wird der Widerstand der Diode größer und es fällt weniger Spannung über dem Widerstand ab. Wenn die Spannung den Umkehrpunkt erreicht hat (Mittelkurve) ist die Diode in Sperrichtung.

Es fällt nun die ganze Spannung über der Diode ab, da kein Strom fließt.

Im Vergleich zur gemessenen Kennlinie im Kapitel (4.4) (Gleichspannung) fällt auf, dass diese zum einen gespiegelt ist, (Da Kanal 1 invertiert oder Diode andersrum einbauen) und zum anderen etwas aufgefächert ist, ähnlich einer Hysteresekurve. Diese Auffächerung kommt dadurch zustande, dass die Diode kein ideales Bauteil ist. Durch physikalische Effekte, an der np-Grenzschicht, kann es dazu kommen das

die Grenzspannung beim Erhöhen der äußeren Spannung eine andere ist, als diese beim Erniedrigen der äußeren Spannung. ✓

### 5.4. Analyse eines unbekannten Spannungssignals

Die Box wird mit einem BNC-Stecker <sup>Kabel</sup> direkt mit dem Oszilloskop verbunden.

Von der aufgenommenen Form lässt sich auf eine Rechteckspannung schließen.

Es werden nun die Größen der Amplitude ( $U_{max}$ ), der Periodendauer ( $T$ ), und der Pulsdauer ( $D$ ) bestimmt.

Fehler des Oszilloskop: x-Achse  $\leq +3\%$

y-Achse  $\leq +3\%$

Amplitude  $U_{max}$  (gemessen mit Goniometer):

$$\text{Gemessen: } (3,7 \pm 0,1) \text{ div} \quad (96)$$

$$\overline{U_{max}} = 3,7 \text{ div} \cdot 2 \frac{\text{V}}{\text{div}} \quad (97)$$

$$\overline{U_{max}} = 7,4 \text{ V} \quad (98)$$

$$s_{U_{max}} = \sqrt{(s_m \cdot 2 \frac{\text{V}}{\text{div}})^2 + (s_y \cdot m)^2} \quad (99)$$

$$s_{U_{max}} = \sqrt{(0,1 \text{ div} \cdot 2 \frac{\text{V}}{\text{div}})^2 + (0,03 \cdot 3,7 \text{ div} \cdot 2 \frac{\text{V}}{\text{div}})^2} \quad (100)$$

$$s_{U_{max}} = 0,2988043 \text{ V} \quad (101)$$

Periodendauer  $T$  (gemessen mit Goniometer):

$$\text{Gemessen: } (5,0 \pm 0,1) \text{ div} \quad (102)$$

$$\overline{T} = 5,0 \text{ div} \cdot 2 \frac{\mu\text{s}}{\text{div}} \quad (103)$$

$$\overline{T} = 10,0 \mu\text{s} \quad (104)$$

$$s_T = \sqrt{(s_m \cdot 2 \frac{\mu\text{s}}{\text{div}})^2 + (s_x \cdot 0,5 \text{ div})^2} \quad (105)$$

$$s_T = \sqrt{(0,1 \text{ div} \cdot 2 \frac{\mu\text{s}}{\text{div}})^2 + (5,0 \text{ div} \cdot 0,003 \cdot 2 \frac{\mu\text{s}}{\text{div}})^2} \quad (106)$$

$$s_T = 0,3605551 \mu\text{s} \quad (107)$$

Puls dauer D: (gemessen mit Dreieck):

$$\text{Gemessen: } (2,9 \pm 0,1) \text{ div} \quad (108)$$

$$\bar{D} = 2,9 \text{ div} \cdot 2 \frac{\mu\text{s}}{\text{div}} \quad (109)$$

$$\bar{D} = 5,8 \mu\text{s} \quad (110)$$

$$s_D = \sqrt{(s_{\text{m}} \cdot 2 \frac{\mu\text{s}}{\text{div}})^2 + (s_x \cdot m)^2} \quad (111)$$

$$s_D = \sqrt{(0,1 \text{ div} \cdot 2 \frac{\mu\text{s}}{\text{div}})^2 + (2 \frac{\mu\text{s}}{\text{div}} \cdot 0,03 \cdot 2,9 \text{ div})^2} \quad (112)$$

$$s_D = 0,2650962 \mu\text{s} \quad (113)$$

Frequenz f:

$$f = \frac{1}{T} \quad (114)$$

$$\bar{f} = \frac{1}{10,0 \mu\text{s}} \quad (115)$$

$$\bar{f} = 10^5 \text{ Hz} \quad (116)$$

$$s_f = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial T} s_T\right)^2} \quad (117)$$

$$s_f = \sqrt{\left(\frac{s_T}{T^2}\right)^2} \quad (118)$$

$$s_f = \sqrt{\left(\frac{0,3605551 \mu\text{s}}{100 \mu\text{s}^2}\right)^2} \quad (119)$$

$$s_f = 3,605551 \text{ Hz} \quad (120)$$

Somit folgt eine Rechteckspannung mit folgenden Werten:

$$\underline{U_{\text{max}} = (7,4 \pm 0,3) \text{ V}} \quad (121)$$

$$\underline{T = (10,0 \pm 0,4) \mu\text{s}} \quad (122)$$

$$\underline{D = (5,8 \pm 0,3) \mu\text{s}} \quad (123)$$

$$\underline{f = (100,0 \pm 3,6) \text{ kHz}} \quad (124)$$

Schö.. Evtl. hätte man noch kurz auf die Form der Flanken eingehen können.

## 6. Fazit

In diesem Versuch hat man Bauteile kennengelernt, welche ihren Eigenschaften den Umgebungsgrößen anpassen. Außerdem wurde die Spannung von Dioden in einem Wechselstromkreis gemessen.

Am Ende wurde mit Hilfe des Oszilloskops eine unbekannte Wechselspannung analysiert.

Es wurde außerdem auch der Umgang mit dem Oszilloskop geübt, damit man es auch bei anderen Experimenten sinnvoll einsetzen kann.

Im Bereich der Gleichspannungsmessung, sowie im der Wechselspannungsmessung hat das gemessene im großen und ganzen dem theoretisch erwarteten entsprochen.

Die einzige Abweichung ist bei der bereinigten  $R(U)$ -Kennlinie der Diode, dort hätte man einen monotonen Verlauf für die Durchlassrichtung erwartet.

Bei dieser hat entweder ein Messfehler oder zu fälligen Fehler dazu geführt, dass der Graph nicht monoton ist. ✓

7. Anhang:

# Messprotokoll II Versuch SK

## 1. Allgemeines

Ort: Universität Bayreuth Raum: 2. 2. 02. 694

Datum: 21.10.2020 09:30

Messperson: Anna-Maria Pleyer

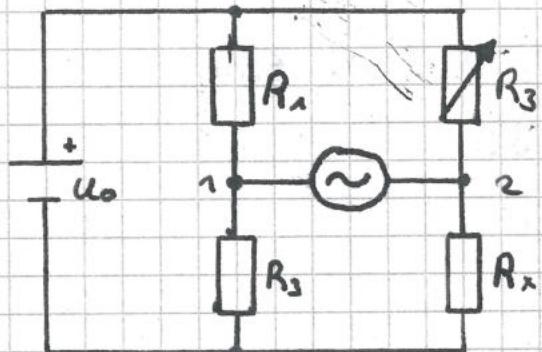
Auswerteperson: Dominik Müller

Protokollperson: Paul Schwanitz

Arbeitsplatz: Am Fenster rechts (mit Blick auf Fenster) ✓

## 2. Messungen mit Gleichspannung

Wheatstone brücke:



~: Oszilloskop

R<sub>3</sub>: Widerstandsdekade

R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>: Vom Versuch abh. Widerstände

U<sub>0</sub>: Gleichspannungsquelle

Zur Bestimmung von R<sub>x</sub> wird R<sub>3</sub> so eingestellt, dass zwischen den Punkten 1 und 2 kein Strom fließt bzw. keine Spannung anliegt.

### 2.1. Kohleschichtwiderstand

$$R_1 = 1 \text{ k}\Omega \quad (\text{Nachgemessen: } R_1 = (1,0207 \pm 0,001) \text{ k}\Omega)$$

$$R_2 = 10 \text{ }\Omega \quad (\text{Nachgemessen: } R_2 = (10,2 \pm 0,06) \text{ }\Omega)$$

Für R<sub>x</sub> wird der Kohleschichtwiderstand verwendet.

R<sub>x</sub> ist unabhängig von U<sub>0</sub>. Dies wurde durch einstellen von R<sub>3</sub>, sodass zwischen 1 und 2 das Oszilloskop keinen Spannungsunterschied anzeigt. Anschließend wurde U<sub>0</sub> variiert. Am Oszilloskop war keine Änderung zu erkennen. Daraus folgt R<sub>x</sub> ist unabh. von U<sub>0</sub>. U<sub>0</sub> ist die Maximal mögliche Spannung der Spannungsquelle und wird nicht weiter protokolliert.

R<sub>x</sub> befindet sich in einem temperierten Wasserbad. Nach erreichen der gewünschten Wasserbadtemperatur wird noch 3 min gewartet, um zu gewährleisten, dass der Widerstand ebenfalls die gewünschte Temperatur erreicht.

| Nr. | $T$ in $^{\circ}\text{C}$ | $R_3$ in $\Omega$  |
|-----|---------------------------|--------------------|
| 1   | 25,00                     | $9,39 \cdot 10^3$  |
| 2   | 27,50                     | $9,35 \cdot 10^3$  |
| 3   | 30,00                     | $9,34 \cdot 10^3$  |
| 4   | 32,50                     | $9,33 \cdot 10^3$  |
| 5   | 35,00                     | $9,32 \cdot 10^3$  |
| 6   | 37,50                     | $9,31 \cdot 10^3$  |
| 7   | 40,00                     | $9,230 \cdot 10^3$ |
| 8   | 42,50                     | $9,29 \cdot 10^3$  |
| 9   | 45,00                     | $9,28 \cdot 10^3$  |
| 10  | 47,50                     | $9,27 \cdot 10^3$  |
| 11  | 50,00                     | $9,26 \cdot 10^3$  |
| 12  | 52,50                     | $9,25 \cdot 10^3$  |
| 13  | 55,00                     | $9,25 \cdot 10^3$  |
| 14  | 57,50                     | $9,24 \cdot 10^3$  |
| 15  | 60,00                     | $9,23 \cdot 10^3$  |
| 16  | 62,50                     | $9,23 \cdot 10^3$  |
| 17  | 65,00                     | $9,22 \cdot 10^3$  |
| 18  | 67,50                     | $9,21 \cdot 10^3$  |
| 19  | 70,00                     | $9,20 \cdot 10^3$  |
| 20  | /                         | /                  |

✓

$R_3$ : Fehler  $\approx 1\%$  des Messwerts

$T$ : Fehler  $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$  und  $\pm 0,5\%$

## 2.2 NTC- Widerstand

$$R_1 = 100 \text{ } 1k\Omega$$

(Nachgemessen:  $R_1 = (1,0207 \pm 0,001) k\Omega$ )

$$R_2 = 100 \Omega$$

(Nachgemessen:  $\hat{R}_2 = (99,14 \pm 0,1) \Omega$ )

Verfahrensweise wie in 2.1.

Für  $R_x$  wird der NTC - Widerstand verwendet.

| Nr. | $T$ in $^{\circ}\text{C}$ | $R_3$ in $\Omega$  |  |
|-----|---------------------------|--------------------|--|
| 1   | 25,104                    | $2,443 \cdot 10^3$ | $1: \Rightarrow \pm 0,005 \cdot 10^3 \Omega$ |
| 2   | 27,50                     | $2,25 \cdot 10^3$  |  |
| 3   | 30,00                     | $2,65 \cdot 10^3$  | $1: \Rightarrow \pm 0,005 \cdot 10^3 \Omega$ |
| 4   | 32,50                     | $1,895 \cdot 10^3$ | $1: \Rightarrow \pm 5 \Omega$                |
| 5   | 35,00                     | $1,743 \cdot 10^3$ | $1: \Rightarrow \pm 5 \Omega$                |
| 6   | 37,50                     | $1,603 \cdot 10^3$ | $1: \Rightarrow \pm 5 \Omega$                |
| 7   | 40,00                     | $1,478 \cdot 10^3$ | $1: \Rightarrow \pm 5 \Omega$                |
| 8   | 42,50                     | $1,362 \cdot 10^3$ | $1: \Rightarrow \pm 5 \Omega$                |
| 9   | 45,00                     | $1,254 \cdot 10^3$ | $1: \Rightarrow \pm 5 \Omega$                |
| 10  | 47,50                     | $1,162 \cdot 10^3$ | $1: \Rightarrow \pm 5 \Omega$                |
| 11  | 50,00                     | $1,073 \cdot 10^3$ | $1: \Rightarrow \pm 5 \Omega$                |
| 12  | 52,50                     | $0,997 \cdot 10^3$ | $1: \Rightarrow \pm 5 \Omega$                |
| 13  | 55,00                     | $0,923 \cdot 10^3$ | $1: \Rightarrow \pm 5 \Omega$                |
| 14  | 57,50                     | $0,854 \cdot 10^3$ | $1: \Rightarrow \pm 5 \Omega$                |
| 15  | 60,00                     | $0,794 \cdot 10^3$ | $1: \Rightarrow \pm 5 \Omega$                |
| 16  | 62,50                     | $0,742 \cdot 10^3$ | $1: \Rightarrow \pm 5 \Omega$                |
| 17  | 65,00                     | $0,685 \cdot 10^3$ | $1: \Rightarrow \pm 5 \Omega$                |
| 18  | 67,50                     | $0,639 \cdot 10^3$ | $1: \Rightarrow \pm 5 \Omega$                |
| 19  | 70,00                     | $0,595 \cdot 10^3$ | $1: \Rightarrow \pm 5 \Omega$                |
| 20  | /                         | /                  | ✓  |

BR<sub>3</sub>: Fehler 1% des Messwerts

T: Fehler  $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$  und  $\pm 0,5\%$

\*: kleinste Schritt der Widerstandsdeklade zu groß  $\Rightarrow$  Schätzung

## 2.3 Photowiderstand

Für  $R_x$  wird CDR verwendet.

$$R_1 = 100 \Omega$$

(Nachgemessen:  $R_1 = (100,98 \pm 0,1) \Omega$ )

$$R_2 = 100 \Omega$$

(Nachgemessen:  $R_2 = (99,4 \pm 0,1) \Omega$ )

Messung der Lichtstärke erfolgt mit phyphox.  $\rightarrow$  Das ist etwas zu knapp. Vorgehen genauer Bohrer eilen

Temperatur konstant bei Raumtemperatur, sonst wie in 2.1

| Nr. | Licht in Lux      | $R_3$ in $\Omega$  |
|-----|-------------------|--------------------|
| 1   | 100               | $2,150 \cdot 10^3$ |
| 2   | 550               | $0,578 \cdot 10^3$ |
| 3   | <del>80</del> 900 | $0,43 \cdot 10^3$  |
| 4   | 1100              | $0,40 \cdot 10^3$  |
| 5   | 1600              | $0,31 \cdot 10^3$  |
| 6   | 3600              |                    |
| 7   | 2300              | $0,25 \cdot 10^3$  |
| 8   | 2700              | $0,21 \cdot 10^3$  |

Was Raumlicht an oder aus?  
wurde 100Hz-Oszillation der Neonröhren beobachtet?

Sehr ungenau  
schwer bestimmbar

Licht in Lux mindestens  $\pm 10\%$

$R_3$  mindestens  $\pm 10\%$

## 2.4. Diode

$$R_1 = 100 \Omega$$

(Nachgemessen: } siehe 2.3

$$R_2 = 100 \Omega$$

(Nachgemessen: }

Durchlassrichtung:

Für  $R_x$  wird eine Diode (mit Zusatzwiderständen) verwendet.

$R_3$  wird in Abh. von der an der Diode anliegenden

Spannung gemessen. Wie wurde diese Spannung gemessen?

Durchlassrichtung:

| Nr | $U_o$ in V | $R_3$ in $\Omega$  |
|----|------------|--------------------|
| 1  | 0,15       | $8,05 \cdot 10^3$  |
| 2  | 0,30       | $8,18 \cdot 10^3$  |
| 3  | 0,45       | $8,16 \cdot 10^3$  |
| 4  | 0,60       | $8,01 \cdot 10^3$  |
| 5  | 0,75       | $7,96 \cdot 10^3$  |
| 6  | 0,90       | $2,7 \cdot 10^3$   |
| 7  | 1,03       | $0,8 \cdot 10^3$   |
| 8  | 1,19       | $0,23 \cdot 10^3$  |
| 9  | 1,31       | $0,12 \cdot 10^3$  |
| 10 | 1,43       | $0,08 \cdot 10^3$  |
| 11 | 1,61       | $0,055 \cdot 10^3$ |

| Nr | $U_o$ in V            | $R_3$ in $\Omega$  |
|----|-----------------------|--------------------|
| 1  | $52,1 \cdot 10^{-3}$  | $8,05 \cdot 10^3$  |
| 2  | $100,5 \cdot 10^{-3}$ | $8,12 \cdot 10^3$  |
| 3  | $149,5 \cdot 10^{-3}$ | $8,11 \cdot 10^3$  |
| 4  | $203,8 \cdot 10^{-3}$ | $8,16 \cdot 10^3$  |
| 5  | $252,8 \cdot 10^{-3}$ | $8,12 \cdot 10^3$  |
| 6  | $303,9 \cdot 10^{-3}$ | $8,01 \cdot 10^3$  |
| 7  | $351,6 \cdot 10^{-3}$ | $7,42 \cdot 10^3$  |
| 8  | $402,1 \cdot 10^{-3}$ | $5,56 \cdot 10^3$  |
| 9  | $451,1 \cdot 10^{-3}$ | $2,69 \cdot 10^3$  |
| 10 | $500,6 \cdot 10^{-3}$ | $1,0 \cdot 10^3$   |
| 11 | $543,8 \cdot 10^{-3}$ | $0,46 \cdot 10^3$  |
| 12 | $587,3 \cdot 10^{-3}$ | $0,24 \cdot 10^3$  |
| 13 | $651,8 \cdot 10^{-3}$ | $0,13 \cdot 10^3$  |
| 14 | $689,4 \cdot 10^{-3}$ | $0,09 \cdot 10^3$  |
| 15 | $732,2 \cdot 10^{-3}$ | $0,068 \cdot 10^3$ |
| 16 | $800,0 \cdot 10^{-3}$ | $0,055 \cdot 10^3$ |
| 17 | /                     | /                  |

✓

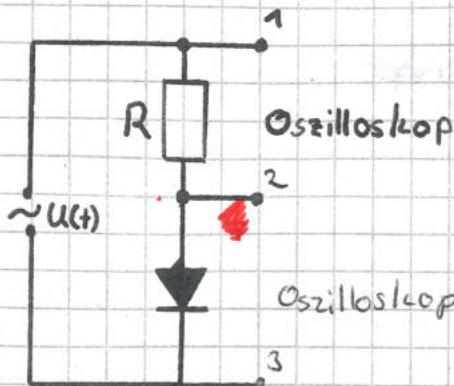
Fehler von  $U_o$ :  $\pm 0,005V$

Fehler von  $R_3$ :  $\pm 1\%$

### 3. Messungen mit Wechselspannung

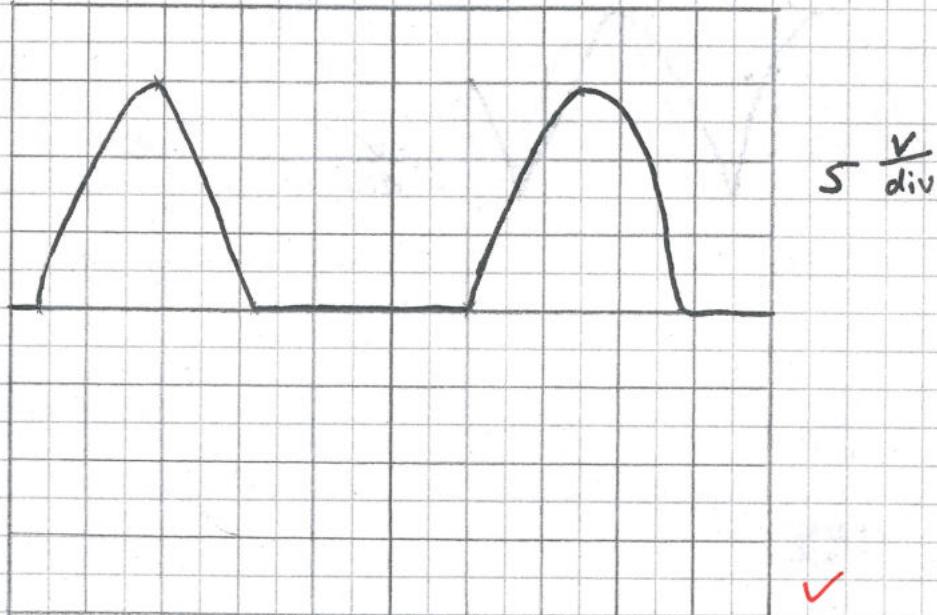
#### 3.1 Einweggleichrichter

Schaltplan:

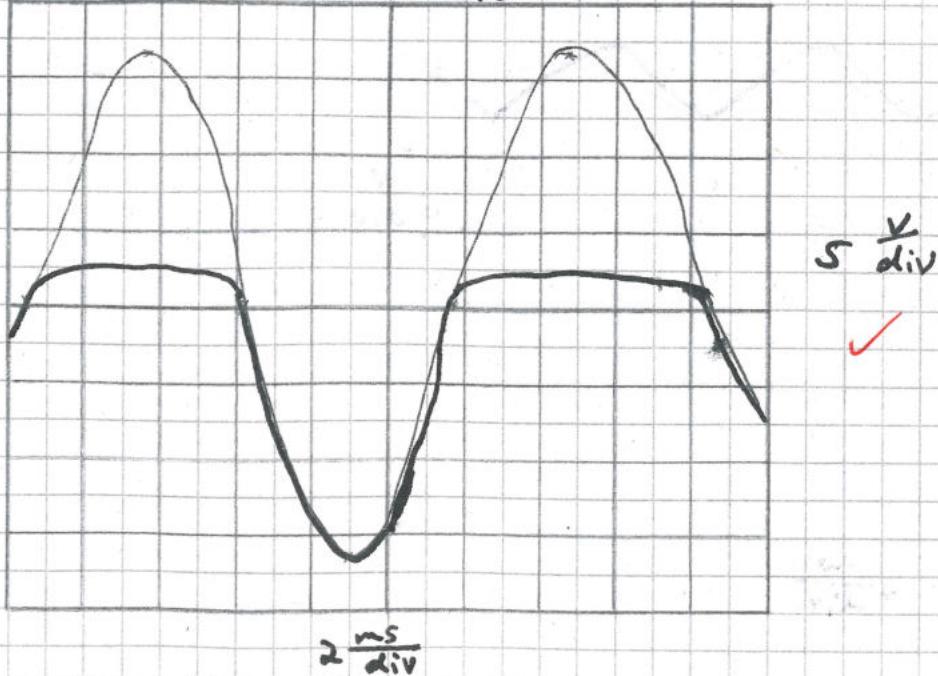


$$R = 100 \Omega - (\text{Nachgemessen: } R = (100,98 \pm 0,1) \Omega)$$

Kanal 1 zwischen 1 und 2: (2 Masse)

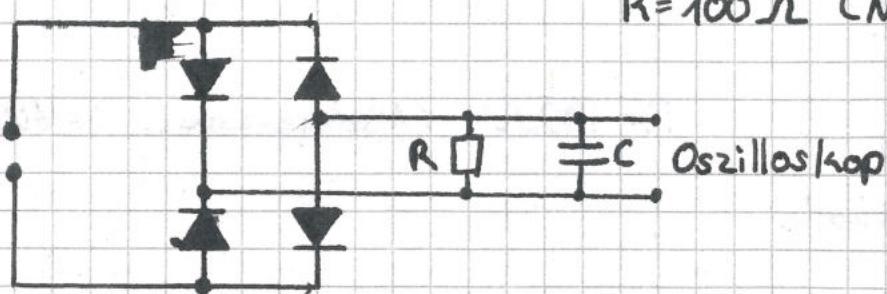


Kanal 1: 1,3 ; Kanal 2: 2,3 (3 Masse)



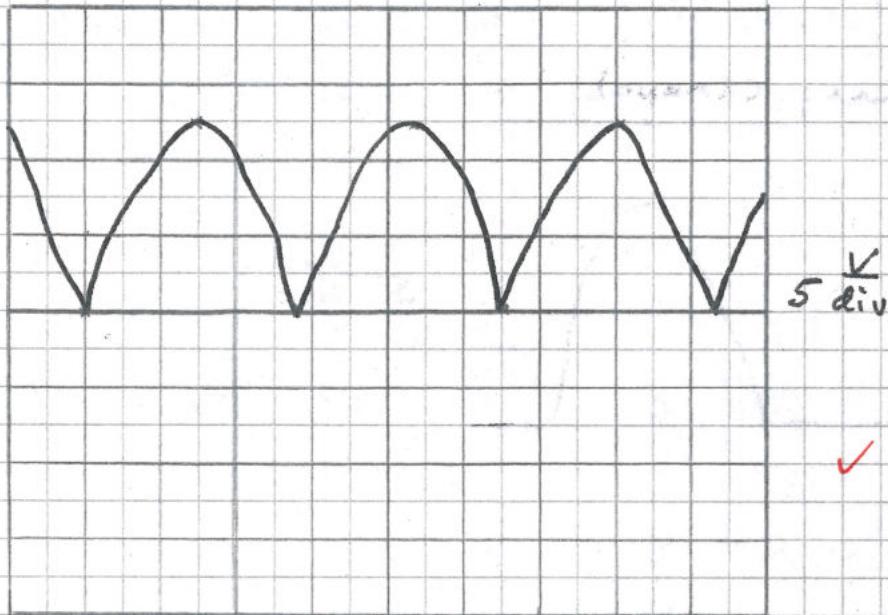
### 3.2 Brückengleichrichter

Schaltplan:

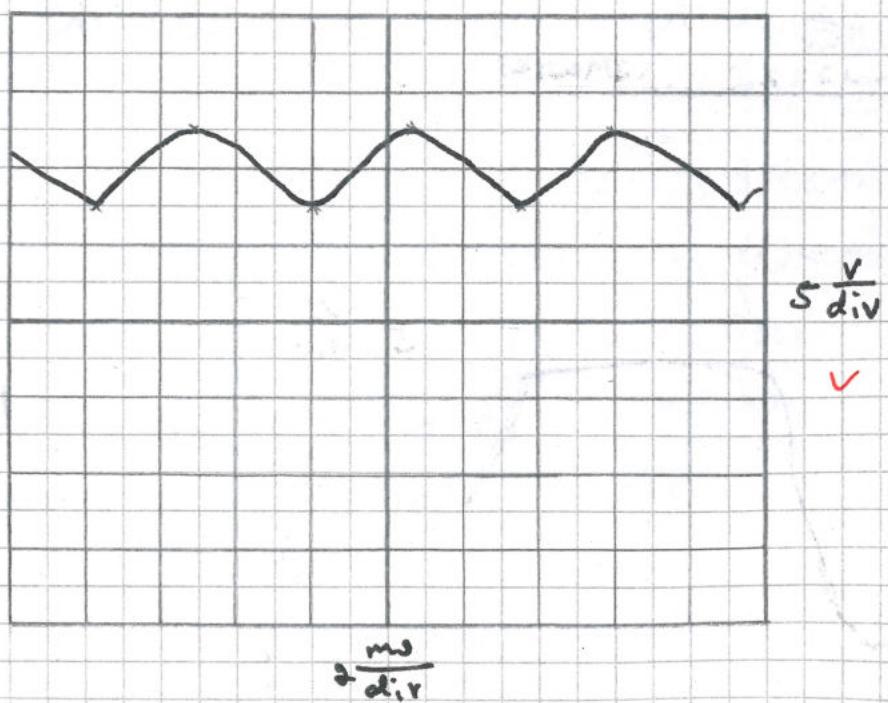


$R = 100 \Omega$  (Nachgemessen:  $R = \text{_____}$ )

$C = 0 F$



$C = 100 \mu F$



$2 \frac{ms}{div}$

$$C = 2200 \mu F$$

qualitativ!

$$U \approx 9,5 V$$

$$1 \frac{V}{div}$$



$$2 \frac{ms}{div}$$

$$C = 2300 \mu F$$

qualitativ!

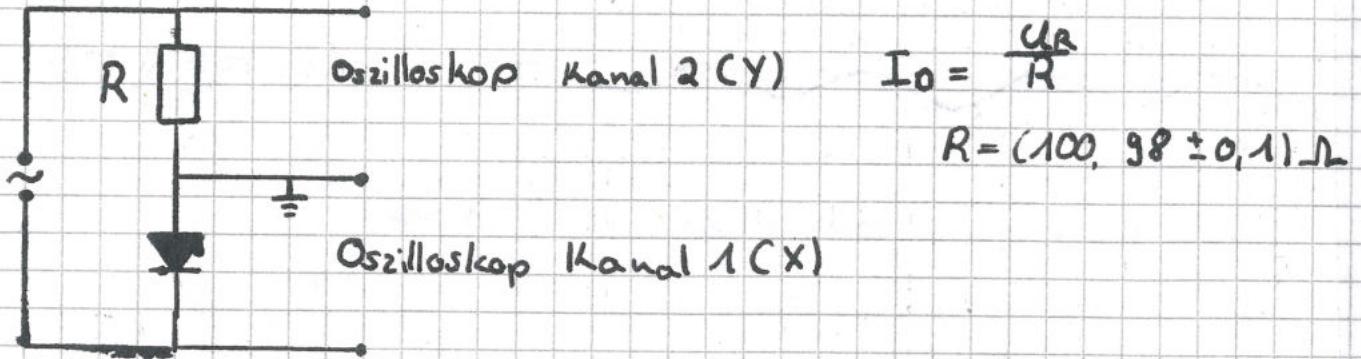
$$U \approx 9,5 V$$

$$1 \frac{V}{div}$$

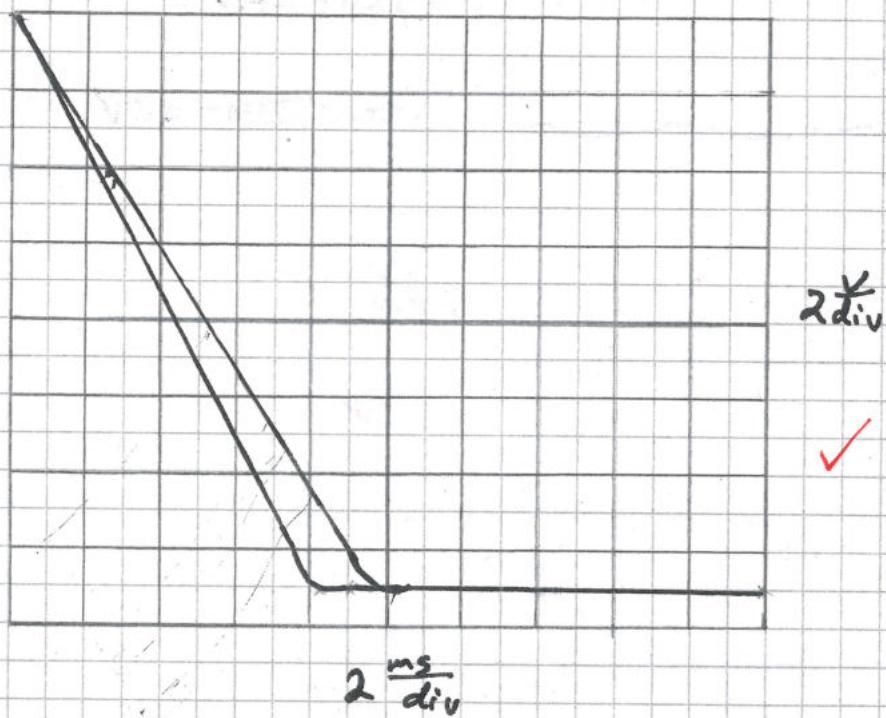


$$2 \frac{ms}{div}$$

### 3.3 AC-Dioden Kennlinie

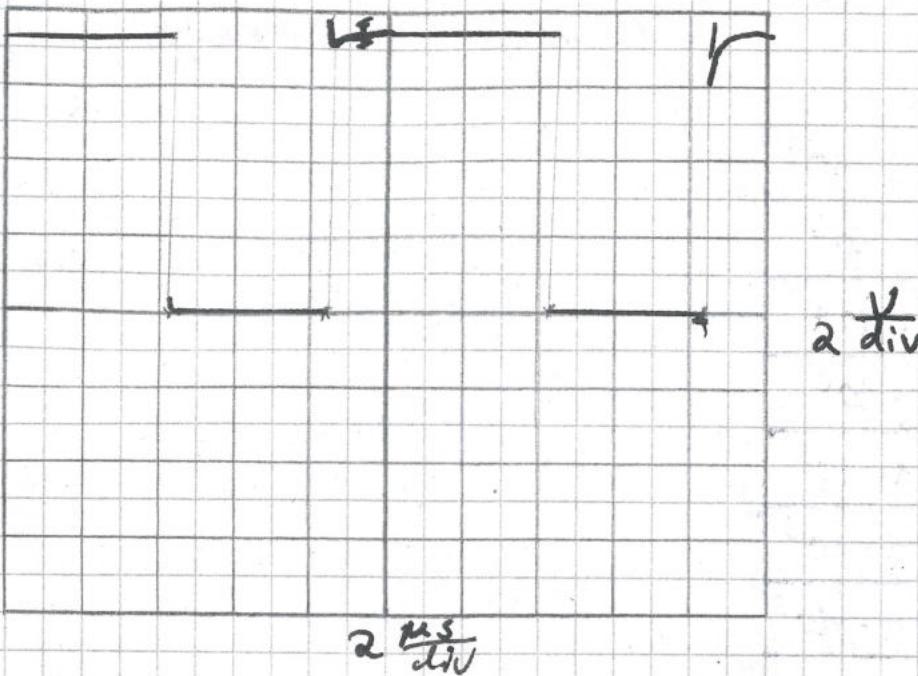


Das Oszilloskop wird im X-Y-Betrieb nach obenstehenden Schaltplan angeschlossen. Durch messung der ~~R<sub>an</sub>~~ am Widerstand R abfallenden Spannung kann auf  $I_D$  geschlossen werden. ( $I_D = \frac{U_R}{R} \Rightarrow I_D$  proportional zu  $U_R$ )



### 3.4 Unbekannter Spannungsverlauf

B Beschreibung des Vorgehens



# Nachtrag zu 2.4

Diode in Sperrichtung

Warum nicht beim Rest von 2.4?

| Nr. | $U_D$ in V            | $R_3$ in $\Omega$  |
|-----|-----------------------|--------------------|
| 1   | $23,1 \cdot 10^{-3}$  | $8,28 \cdot 10^3$  |
| 2   | $489,1 \cdot 10^{-3}$ | $8,3 \cdot 10^3$   |
| 3   | $962,7 \cdot 10^{-3}$ | $8,31 \cdot 10^3$  |
| 4   | 1,52                  | $8,3 \cdot 10^3$   |
| 5   | 2,00                  | $8,31 \cdot 10^3$  |
| 6   | 2,49                  | $8,31 \cdot 10^3$  |
| 7   | 2,98                  | $8,31 \cdot 10^3$  |
| 8   | 3,50                  | $8,31 \cdot 10^3$  |
| 9   | 3,96                  | $8,31 \cdot 10^3$  |
| 10  | 4,47                  | $8,31 \cdot 10^3$  |
| 11  | 4,96                  | $8,31 \cdot 10^3$  |
| 12  | 5,48                  | $8,31 \cdot 10^3$  |
| 13  | 6,00                  | $8,305 \cdot 10^3$ |

$R_3: \pm 1\%$



$U_D: \pm 0,005V$

## 4. Verwendete Geräte

### Widerstandsdecke

Inventarnummer: 2026

Toleranz:  $\pm 1\%$

### Thermometer

Inventarnummer: 98228

Toleranz:  $\pm 0,3^\circ\text{C}$  und  $\pm 0,5\%$

### DMM:

Seriennummer: NY56180148

Toleranz: bei den Messwerten angegeben

### Spannungsquelle (DC)

Seriennummer: DE81972753

### Wechselspannungsquelle

Inventarnummer: 1651

### Oszilloskop

Inventarnummer: 59061

### Fehler

y-Achse  $\leq \pm 3\%$

x-Achse  $\leq \pm 3\%$  ✓

Evtl. auch Hersteller & Modellbez. mit aufschreiben  
→ Praktisch um z.B. online nach Anleitungen oder Datenblättern zu suchen

## 5. Unterschriften

Bayreuth, den 21. 10. 2020

Anna-Maria Pfeifer  
MES: Anna-Maria Pfeifer

Dominik Müller  
Ausw. Dominik Müller

Paul Schwanitz  
Prot. Paul Schwanitz



## Bewertung

Fragen zur Vorbereitung

-0,5 P.

Protokoll

-2 P.

Form

-0,5 P.

Summe

-3 P.  $\Rightarrow$

17/20 P.

24.11.2020

Mit Ohm