



SS/WS 20.11./.....

Praktikum: (P1/P2) (Mo/Di/Mi/Do) Gruppe-Nr: 01

Name: Kwiatkowski Vorname: Alexander

Name: Schmitt Vorname: Barbara

Versuch: Eigenschaften elektrische Bauelemente (mit/ohne) Fehlerrechnung

Betreuer: Stefan Heindl Durchgeführt am: 30.6.11

Abgabe am: 07. JULI 2011 ✓

Rückgabe am: Begründung:

Ag. 1: sehr gut; | Ag. 5: gut;
Ag. 2: gut;
Ag. 3: gut;
Ag. 4: OK;

2. Abgabe am:

Ergebnis: (+10/11) Fehlerrechnung: ja/nein

Datum: 14.07.11 Handzeichen: S. Heindl

Bemerkungen:

- Vorbereitung sehr gut



Die Eigenschaften eines elektrischen Bauelements hängen von vielen physikalischen Größen ab. Häufig wirkt sich dies besonders auf dessen Widerstand aus. Die vorherrschende Abhängigkeit gibt dem Bauteil seinen charakteristischen Namen: NTC- bzw. PTC-Widerstand weisen eine Temperaturabhängigkeit (Negative/Positive Temperature Coefficient) auf. Der VDR-Widerstand (Varistor, Voltage Dependent Resistance) reagiert auf Spannungsänderungen. Optoelektrische Bauteile wie Photowiderstand (LDR, Light Dependent Resistance), Photodiode und Phototransistor sind lichtempfindlich oder senden wie die Leuchtdiode (LED, Light Emitting Diode) Licht aus. Druckabhängige Bauelemente sind unter dem Namen Piezoelemente bekannt, da ihre Eigenschaften auf dem Piezoelektrischen Effekt beruhen. Supraleiter verlieren ihren elektrischen Widerstand unter bestimmten äußeren Bedingungen sogar gänzlich.

Interessant ist zudem die Klassifizierung in Leiter, Halbleiter und Nichtleiter (Isolatoren) und die Untersuchung der besonderen Eigenschaften. Hier spielen Halbleiterbauelemente auf Grund ihrer Vielfalt die größte Rolle.

Im Versuch sollen außerdem die Messmethoden zur Untersuchung der jeweiligen Eigenschaften kennengelernt werden. In der Auswertung stehen die Erklärung der beobachteten Effekte und die praktischen Anwendungsgebiete im Vordergrund.

Stichworte:

Wheatstonesche Brückenschaltung;

Bändermodell: Metall, Isolator, Halbleiter; Eigenleitung, Dotierung; p-n-Übergang, Diode; Diodenkennlinie, Durchbruchspannung; Zenerdiode, Zener effekt, Lawineneffekt;

Photoeffekt, Piezoelektrischer Effekt, Supraleitung, Vierleiterschaltung.

Achtung: Sie benötigen einen USB-Stick zur Datensicherung.

Aufgaben:

1. Messen Sie mit Hilfe der Wheatstoneschen Brückenschaltung (1) die $R(T)$ -Abhängigkeit verschiedener Bauteile im Bereich von Zimmertemperatur bis 200°C .

Messen Sie mit Hilfe der Versuchsbox (1) nacheinander den Widerstand von NTC und PT100 in Abhängigkeit von der jeweiligen Temperatur. Als Spannungsquelle dient das Netzgerät, welches eine Gleichspannung von $U=2\text{V}$ liefert. Um die Erwärmung des Widerstands durch den Messstrom gering zu halten, soll dieser jeweils nur kurzzeitig eingeschaltet werden (durch Betätigung des Tasters). Als Brückeninstrument dient das Multimeter im mA(DC)-Bereich. Wählen Sie den Referenzwiderstand in der gleichen Größenordnung wie das zu messende Bauteil. Nehmen Sie beim Erwärmen des Ofens die Messreihe am NTC und beim Abkühlen die Messreihe am PT100 auf.

Begründen Sie, warum die Messung mit Hilfe der Wheatstoneschen Brückenschaltung in diesem Falle sinnvoll ist. Stellen Sie die $R(T)$ -Abhängigkeiten jeweils graphisch dar und schließen Sie daraus auf die Eigenschaften des Bauteils.

Wählen Sie zur Auswertung für den NTC-Widerstand eine geeignete Auftragung, um die Koeffizienten a und b aus $R(T) = a \cdot e^{b/T}$ zu bestimmen. Überlegen Sie sich, wie man NTC-Widerstände zur Temperaturmessung, zur Füllstandsanzeige und zur Strombegrenzung verwenden kann.

Für den PT100 gilt $R(T) = R_0 + c \cdot T$. Bestimmen Sie die Konstante c und überprüfen Sie den Widerstand R_0 bei 0°C . Diskutieren Sie auch hier mögliche Einsatzgebiete.

Achtung: Das Gehäuse des Ofens erhitzt sich stark! Vermeiden Sie jeglichen Kontakt mit der Oberfläche.

2. Kennlinien:

Überlegen Sie sich im Vorfeld durch Anfertigung von Schaltskizzen,

- wie eine Spannungsstabilisierung mit einer Zenerdiode zu realisieren wäre,
- wie der Varistor als Schutz gegen induzierte Spannungen an geschalteten Induktivitäten zu verwenden ist.

2a. Nehmen Sie die Kennlinien folgender Bauteile am USB-Oszilloskop auf:

- **Silizium-Diode (SID)**
- **Germanium-Diode (GED)**
- **Zener-Diode (ZED)**
- **Varistor (VDR)**
- **Photodiode**
- **Photowiderstand**
- **LED (vier verschiedene Farben)**

Für die Aufnahme der Kennlinien steht Versuchsbox (2) zur Verfügung, an die das Eingangssignal über den Trenntransformator in Form einer sinusförmigen Wechselspannung ($f=100\text{Hz}$) angelegt wird. Gemäß Schaltung (2) werden über einem Widerstand ($R=100\Omega$) an Kanal A (CH A) und über dem jeweiligen Bauteil an Kanal B (CH B) Spannungen abgenommen. Mit Hilfe der XY-Darstellung der „PicoScope 6-Software“ kann dann die jeweilige Kennlinie aufgenommen werden.

Untersuchen Sie hierbei insbesondere:

- SID, GED und ZED auf ihre jeweilige Schwellenspannung und ggf. auch Zenerspannung
- Verhalten der Photodiode bei verschiedenen Beleuchtungen
- Verhalten des Photowiderstands bei verschiedenen Beleuchtungen
- Verschiedenfarbige LEDs auf ihre jeweilige Schwellenspannung und den Zusammenhang mit der Frequenz des emittierten Lichts

Interpretieren Sie die Kennlinien ausführlich und geben Sie charakteristische Punkte an. Berechnen Sie beim Photowiderstand aus der Steigung der Kennlinien den jeweiligen Widerstandswert. Schließen Sie auf typische Eigenschaften der Bauteile und leiten Sie daraus mögliche Anwendungen ab.

2b. Untersuchen Sie qualitativ die Frequenzabhängigkeit obiger Bauelemente (bei $f\sim 10\text{kHz}$).

3. Beobachten Sie das Verhalten eines Phototransistors unter Einfluss verschiedener Beleuchtungsstärken. Stellen Sie die Kennlinie des Phototransistors bei verschiedenen Beleuchtungsstärken dar und entnehmen Sie dieser jeweils den Sperrstrom. Verwenden Sie hierzu Schaltung (2) aus der vorherigen Aufgabe sowie die regulierbare Experimentierleuchte mit Phototransistor-Aufsatz. Beginnen Sie bei einer Lampenspannung von 1V als niedrigste Stufe der Beleuchtung und beobachten Sie die Veränderung der Kennlinie bei zunehmender Spannung und Beleuchtungsstärke. Stellen Sie in der Auswertung den Zusammenhang zwischen Sperrstrom und Beleuchtungsstärke graphisch dar.

Hinweis: Die Umrechnungstabelle zwischen Lampenspannung und Beleuchtungsstärke finden Sie in der Literaturmappe und auch auf der Praktikumshomepage.

4. Untersuchen Sie den Piezoelektrischen Effekt am Piezoelement.

Beobachten Sie den direkten Piezoelektrischen Effekt am USB-Oszilloskop, indem Sie manuell verschiedene Drücke auf das Piezo-Plättchen ausüben. Machen Sie ein Frequenzsignal sichtbar, indem Sie mit dem Frequenzgenerator verschiedene Signale auf den Lautsprecher geben und diese auf das Piezoelement übertragen. Überprüfen Sie auch die Funktion des Piezoelements als Piezolautsprecher. Schließen Sie hierfür das Piezo-Element direkt an den Frequenzgenerator an. Beschreiben Sie Ihre Beobachtungen und nennen Sie Anwendungen des Piezoelektrischen Effekts.

5. Bestimmen Sie die Sprungtemperatur eines Hochtemperatursupraleiters.

Messen Sie den Spannungsabfall am Hochtemperatursupraleiter mit Hilfe der fertig aufgebauten Vierleiterschaltung ($I_{\text{const}}=2,5\text{mA}$) und des Multimeters. Kühlen Sie die Probe von Raumtemperatur auf 77K ab. Nutzen Sie hierfür den Temperaturgradienten über dem Stickstoff-Bad. Nehmen Sie eine Messreihe aus U_g und zugehöriger Temperatur T in 5K-Schritten auf. Beschreiben Sie das Verhalten des Hochtemperatursupraleiters. Tragen Sie zur Auswertung den Widerstand $R=U_g/I$ über der Temperatur T auf und geben Sie die Sprungtemperatur an. Erklären Sie, warum zur Messung eine Vierleiterschaltung verwendet wird.

Achtung:

Flüssiger Stickstoff ($T=-196^\circ\text{C}$) kann schwere Kälteverbrennungen verursachen! Daher stets Handschuhe und Schutzbrille tragen.

Zubehör:

Versuchsboxen: zur Widerstandsmessung mit Wheatstonescher Brückenschaltung (1) und zur Kennlinienaufnahme (2);

Tisch-Multimeter (Keithley, Modell 2100, 7-1/2-Digit);

USB-Oszilloskop (PicoScope 2000) mit Computer;

Ofen mit Leistungsregelung, bestückt mit Kupferspule, Konstantandrahtspule, NTC und PT100, eingebautes NiCr-Ni-Thermoelement mit passendem Messinstrument;

Frequenzgenerator (GW-Instek SFG-2104), Trenntransformator;

Bauelemente als Steckeinheiten: Widerstände 1, 33, 51, 100 (2x), 680, 1200 Ω , je 1% Toleranz,

Si-Diode, Ge-Diode, Zener-Diode, Varistor, Photodiode, Photowiderstand, Lumineszenzdioden LED (grün, gelb, orange, rot);

Taschenlampe zur Beleuchtung;

Experimentierleuchte mit Phototransistor-Aufsatz und Netzgerät (EA-PS-2016);

Piezoelement (Resonanzfrequenz 2,9kHz) in Gehäuse, Lautsprecher;

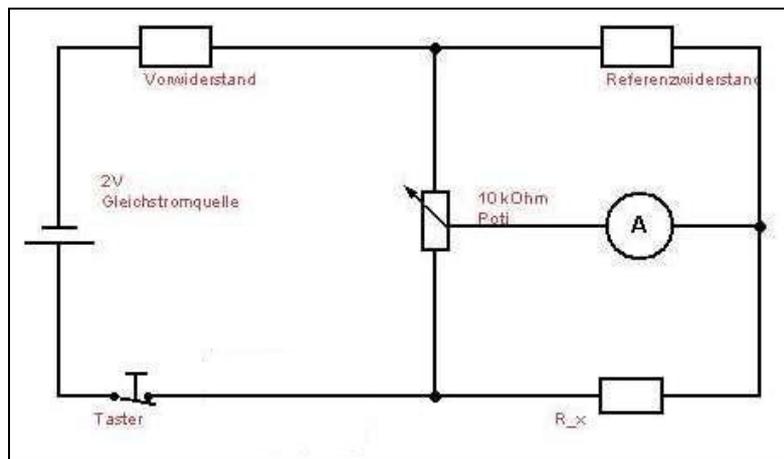
Supraleiter in Gehäuse mit Absenkvorrichtung, Dewargefäß,

Vierleitersmessschaltung mit Konstantstromquelle ($I_{\text{const}}=2,5\text{mA}$) und Steckernetzgerät;

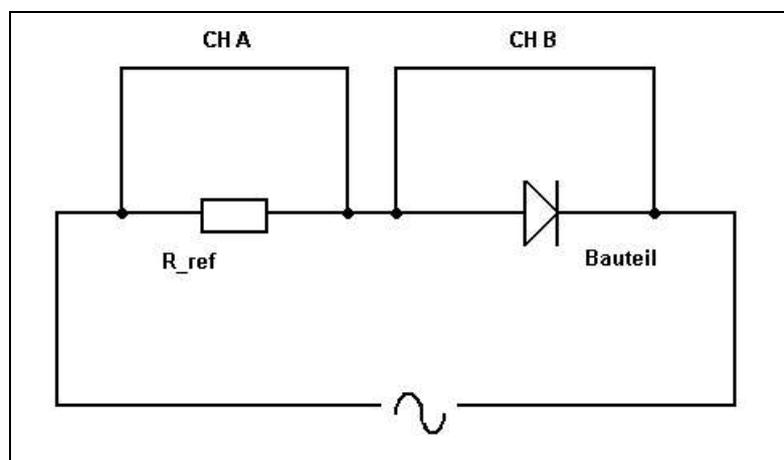
Flüssiger Stickstoff (LN_2).

Schaltskizzen der Versuchsboxen:

Schaltung (1): Wheatstonesche Brückenschaltung



Schaltung (2): Kennlinienaufnahme



Literatur:

Demtröder: *Experimentalphysik 2 – Elektrizität und Optik*

Hering, Bressler, Gutekunst: *Elektronik für Ingenieure und Naturwissenschaftler*

Tietze, Schenk: *Halbleiterschaltungstechnik*

Beuth: *Bauelemente*

Bauchholt: *Grundlagen und Bauelemente der Elektrotechnik*

Version: Juni 2011

Vorbereitung zum Versuch Eigenschaften elektrischer Bauelemente

Alexander Kwiatkowski, Barbara Schmidt, Gruppe Do-01

Versuchsdurchführung am 30.06.2011

Begriffserklärungen

Bändermodell

Elektronen von freien Atomen besitzen diskrete Niveaus.

Betrachtet man jedoch Festkörper, also ein Gitter von Atomen, so Wechselwirken diese Atome miteinander.

Dies führt insbesondere dazu, dass sich die Energien, welche die Elektronen aufweisen können, nicht mehr klar unterscheidbar sind, da sie eng zusammen liegen.

Man spricht dabei von Energiebändern.

Je weiter die Elektronen vom Kern entfernt sind, desto breiter ist das Band, in welchem sie sich befinden.

Das innerste, nicht vollbesetzte Band wird als Leitungsband bezeichnet, das Band mit nächst niedriger Energie heißt Valenzband.

Metalle

Metalle werden dadurch charakterisiert, dass nicht zwischen Leitungs- und Valenzband unterschieden wird und das Leitungsband teilweise besetzt ist. Deshalb ist immer eine gewisse Anzahl an sozusagen freien Elektronen vorhanden, die zum Ladungstransport beitragen können. Dies ist bereits bei niedrigen Temperaturen möglich. Die elektrische Leitfähigkeit von Metallen ist materialspezifisch und nimmt mit steigenden Temperaturen ab.

Halbleiter

Bei Halbleitern sind Valenzband und Leitungsband getrennt. Bei niedrigen Temperaturen ist das Valenzband voll besetzt und das Leitungsband leer – es kann also keine Ladung transportiert werden.

Nimmt die Temperatur jedoch zu, so können die Kristallstrukturen aufbrechen und Elektronen können vom Valenzband ins Leitungsband gelangen, wodurch einerseits eine Elektronenleitung im Leitungsband entsteht und es andererseits zu einer sogenannten „Löcherleitung“ kommt, das heißt Löcher werden von einem Elektron gefüllt, wodurch ein Loch an benachbarter Stelle entsteht. Es kommt zur sogenannten **Eigenleitung**.

Eine weitere Möglichkeit einen Halbleiter leitend zu machen, ist das **Dotieren**.

Dabei werden gezielt Fremdatome in die Kristallstruktur gebracht, sodass entweder ein Elektronenüberschuss oder -mangel entsteht.

Es gibt also zwei Arten der Dotierung:

Bei der n-Dotierung (negativ) werden fünfwertige Elemente (Donatoren) in den Halbleiter eingebracht, sodass jeweils ein Elektron quasi frei ist, da es keinen Bindungspartner hat.

Dadurch bleibt zwar der Halbleiter weiterhin elektrisch neutral, es entstehen aber Energieniveaus, die nahe am Leitungsband liegen, sodass eine geringe angelegte Spannung, also geringes Zuführen von Energie ausreicht, um Elektronen in das Leitungsband zu heben und die elektrische Leitfähigkeit des Halbleiters zu verbessern.

Im Gegensatz dazu werden bei der p-Dotierung (positiv) dreiwertige Atome (Akzeptoren) in die Kristallstruktur gebracht, sodass dort aufgrund der fehlenden Bindungselektronen Löcher entstehen. Um diese Löcher zu füllen gehen benachbarte Elektronen Bindungen mit dem Akzeptor ein, wodurch dieser negativ ionisiert wird. Allerdings entstehen dabei neue Löcher, an den Stellen, an denen zuvor ein Elektron war.

Dadurch kommt es zu einer Bewegung der „Löcher“, die man p-Leitung nennt.

Auch der p-Dotierte Halbleiter ist nach außen elektrisch neutral.

p-n-Übergang und Diode

Eine Diode besteht aus einem p- und einem n-dotierten Halbleiter, welche nebeneinander liegen. Dadurch entsteht ein Grenzbereich zwischen beiden Zonen, der sogenannte p-n-Übergang.

In diesem bewegen sich die überschüssigen Elektronen aus der n-Schicht zu den Löchern in der p-Schicht.

Dadurch werden die dreiwertigen Atome im p-dotierten Halbleiter negativ ionisiert und die fünfwertigen Atome im n-dotierten Halbleiter positiv ionisiert. Es entsteht also ein elektrisches Feld, welches solange ansteigt, bis keine weiteren Elektronen dieses Feld überwinden können.

Dieser Übergangsbereich wird als Raumladungszone bezeichnet, die Zonen weiter außen sind immer noch elektrisch neutral.

Mit steigender Temperatur nimmt die kinetische Energie der Elektronen zu, wodurch mehr Elektronen das E-Feld überwinden können und sich die Raumladungszone somit verbreitert. Die entstehende Spannung, die durch die diffundierenden Elektronen hervorgerufen wird, heißt Diffusionsspannung.

Es gibt nun zwei Möglichkeiten eine äußere Spannung an die Diode anzuschließen.

Schaltet man die Diode in Durchlassrichtung, legt also Plus an die p-Zone, so wirkt die angelegte Spannung der Diffusionsspannung entgegen und es kommt zum Elektronenfluss. Dieser Strom ist zunächst sehr klein, da die Diffusionsspannung erst überwunden werden muss.

Erhöht man die angelegte Spannung, so nimmt dieser Strom langsam zu, bis es ab der Schwellenspannung zum exponentiellen Anstieg des Stromes kommt.

Legt man allerdings eine Spannung in umgekehrter Polung an die Diode an (also Plus an die n-dotierte Seite), so vergrößert sich die Sperrbereich der Diode, die bereits zuvor entstandene Diffusionsspannung wird verstärkt.

Wird nun die äußere Spannung erhöht, so kommt es sobald die **Durchbruchspannung** erreicht ist, zum sogenannten **Lawinendurchbruch**. Dabei haben die Elektronen eine so hohe Energie, dass sie keine Bindungen mehr eingehen und somit die Spannungsbarriere überwinden und sogar weitere Elektronen aus ihren Bindungen schlagen. Der Strom nimmt schlagartig zu.

Zenerdiode

Bei Zenerdioden handelt es sich um stark dotierte Dioden, bei denen der pn-Übergang sehr schmal ist, wodurch sie in Sperrrichtung betrieben werden können.

Hierbei kommt es zum Zener-Effekt, bei dem Elektronen ab einer gewissen Größe des E-Feldes aus ihren Bindungen gelöst werden. Somit wird der dabei entstehende Strom verstärkt,

sobald die anliegende äußere Spannung den Wert der Zener-Spannung, bei der die Diode niederohmig wird, übertrifft.

Photoeffekt

Unter dem inneren Photoeffekt versteht man das Vermögen von Photonen, die auf die Bindungen von Elektronen nahe am Atomkern treffen, diese Bindungen zerstören und somit die Elektronen zu freien Elektronen zu machen, welche somit zur Leitfähigkeit beitragen.

Piezoelektrischer Effekt

Der Piezoelektrische Effekt beschreibt das Verhalten von druckabhängigen Bauteilen.

Wirkt eine äußere gerichtete Kraft auf ein Piezoelement, so wird das Material verformt und die Ladungsträger verschoben.

Dadurch entstehen Dipole, welche eine nach außen sichtbare Spannung hervorrufen (direkter piezoelektrischer Effekt).

Legt man eine Spannung an ein Piezoelement, bzw. bringt dieses in ein elektrisches Feld, so kommt es zur inneren Polarisation und einer Verformung des Materials (indirekter piezoelektrischer Effekt).

Supraleitung

Supraleiter sind Materialien, die unterhalb einer gewissen Temperatur, der Sprungtemperatur, leitend werden.

Dies kann durch die Entstehung von sogenannten Cooper-Paaren beschrieben werden.

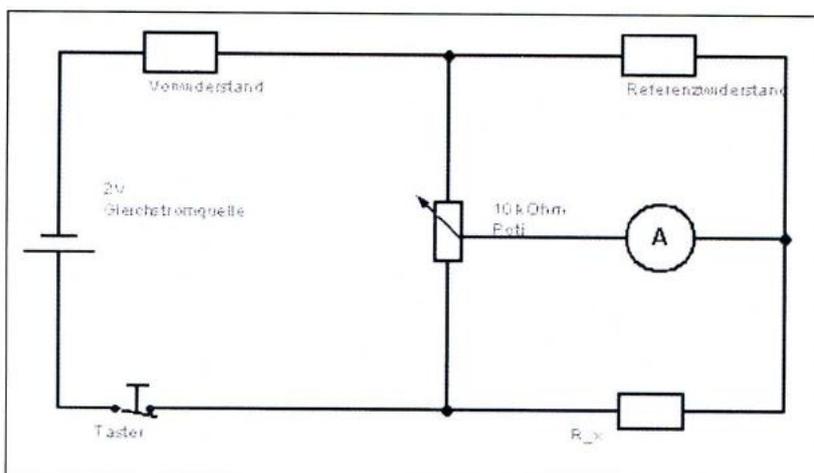
Dabei wechselwirken zwei Elektronen (mit unterschiedlichem Spin) miteinander und sind dadurch durch eine gewisse Energie aneinander gebunden.

Dieses Paar, welches keine Energie an das Gitter abgeben kann, ermöglicht somit eine widerstandsfreie Stromleitung.

Sobald das Material wieder erwärmt wird, zerfallen die Cooper-Paare wieder in zwei getrennte Elektronen.

Wheatstonesche Brückenschaltung

Um Widerstände präzise messen zu können, kann die Wheatstonesche Brückenschaltung verwendet werden:



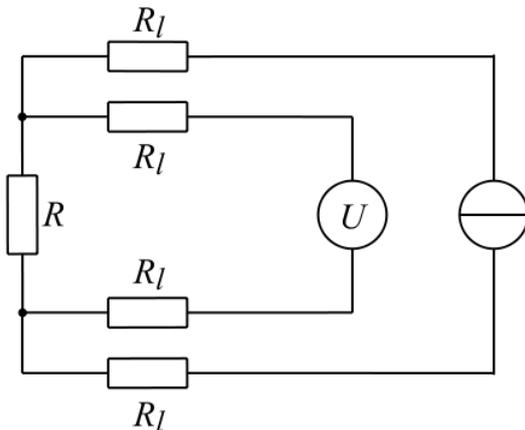
Dabei ist der Referenzwiderstand R_1 bekannt und durch das Potentiometer werden zwei weitere (veränderbare) Widerstände (R_2, R_3) realisiert.

Stellt man das Potentiometer so ein, dass kein Strom durch das Strommessgerät fließt, so lässt sich mit Hilfe der Kirchhoffschen Maschenregel und dem Ohmschen Gesetz der Widerstand

R_x berechnen zu: $R_x = \frac{R_1 \cdot R_3}{R_2}$

Vierleiterschaltung

Die Schaltung wird entsprechend folgender Schaltskizze aufgebaut:



Wikipedia:

<http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Vierleitermessung.svg&filetimestamp=20100723141449>,
22.06.11

Diese Schaltung ermöglicht es, einen sehr kleinen Widerstand präzise zu messen, obwohl auch der Widerstand der Zuleitungen berücksichtigt werden muss.

Bei dieser Messung wird ein bekannter Strom durch die Schaltung geschickt und die am Widerstand abfallende Spannung wird hochpräzise gemessen.

Dadurch lässt sich mit dem Ohmschen Gesetz der Widerstand bestimmen ($R = \frac{U}{I}$).

Aufgabenbeschreibung

1. R(T)-Abhängigkeit

In diesem Versuchsteil soll die Temperaturabhängigkeit von verschiedenen Widerständen untersucht werden.

Dazu messen wir mit Hilfe der Wheatstoneschen Brückenschaltung den Wert des Widerstandes bei Temperaturen zwischen Zimmertemperatur und 200°C. Für den Heißleiterwiderstand (NTC) erwarten wir, dass der Widerstandswert mit steigender

Temperatur abnimmt und folgender Gesetzmäßigkeit folgt: $R(T) = a \cdot e^{\frac{b}{T}}$

Um die Koeffizienten a und b zu bestimmen, bietet es sich an die gemessenen Widerstandswerte logarithmisch gegenüber dem reziproken Wert der Temperatur aufzutragen:

$$\ln(R(T)) = b \cdot \frac{1}{T} + \ln(a)$$

Somit entspricht die Steigung der entstehenden Geraden dem gesuchten Wert für b und mit Hilfe des y -Achsenabschnittes lässt sich a bestimmen.

Beim Kaltleiterwiderstand (PTC) erwarten wir mit abnehmender Temperatur einen abfallenden Widerstandswert.

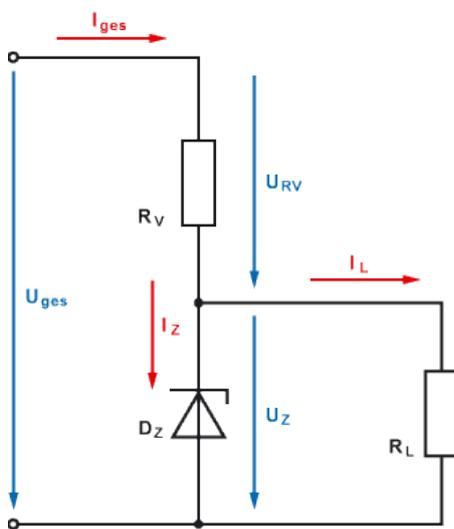
Es ist folgende Gesetzmäßigkeit zu überprüfen:

$$R(T) = R_0 \cdot (1 + \alpha T), \text{ wobei } R_0 \text{ } 100 \text{ } \Omega \text{ bei } 0 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ entspricht.}$$

Den Koeffizienten a können wie leicht bestimmen, wenn wir $R(T)$ über T auftragen und die Geradensteigung durch den y -Achsenabschnitt teilen.

2. Kennlinien

Zur Spannungsstabilisierung mit einer Zenerdiode kann folgende Schaltung verwendet werden:



<http://www.elektronik-kompodium.de/sites/slt/1012151.htm>, 22.06.11

Dabei stellt R_V einen Vorwiderstand dar und R_L ist die Last.

Sobald die Eingangsspannung groß genug ist, fließt ein Strom auch gegen die Sperrrichtung der Diode, wodurch ein Teil der Spannung an dieser abfällt.

Dadurch wird verhindert, dass die gesamte Spannung an der Last abfällt.

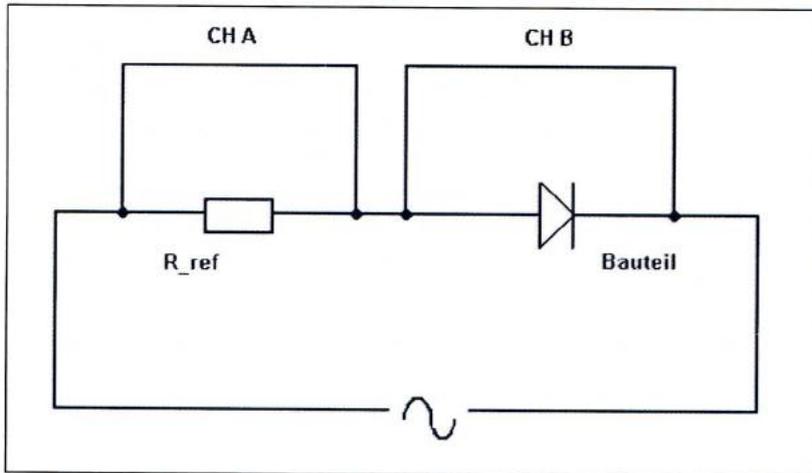
Ein Varistor ist ein spannungsabhängiger Widerstand, dessen Widerstandswert mit zunehmender angelegter Spannung abnimmt.

Schaltet man diesen also parallel zu einer zu schützenden Induktivität, so fließt mit zunehmender Spannung ein großer Teil des Stromes am Varistor ab.

Der Varistor hat keine Vorzugsrichtung.

2.a Aufnahme

In diesem Aufgabenteil sollen die Kennlinien von verschiedenen Bauteilen aufgenommen und untersucht werden. Dazu wird der x-y-Betrieb des Oszilloskops und folgende Schaltung verwendet:



2.b besondere Untersuchung

Nun soll die Schwellenspannung der Silizium- und der Germanium-Diode bestimmt werden. Des Weiteren soll das Verhalten des Photowiderstandes bei verschiedenen Beleuchtungen untersucht sowie die Durchlassspannungen verschiedenfarbiger LEDs bestimmt werden.

2.c Frequenzabhängigkeit

Dieser Versuchsteil sieht vor, dass die bereits betrachteten Bauteile hinsichtlich ihres Verhaltens in Abhängigkeit von der Frequenz der angelegten Spannung untersucht werden.

3. Phototransistor

Bei einem Phototransistor wird die Basis-Kollektor-Sperrschicht lichtzugänglich gemacht, sodass der Phototransistor unter Ausnutzung des Photoeffekts durch den Lichteinfall gesteuert werden kann.

Zur Untersuchung des Verhaltens des Phototransistors in Abhängigkeit der einfallenden Lichtintensität verwenden wir die gleiche Schaltung wie in Aufgabe 2.

Mit Hilfe einer Experimentierleuchte lassen sich verschiedene Lichtintensitäten realisieren, sodass mehrere Kennlinien des Phototransistors aufgenommen werden können.

Mit Hilfe der Tabelle der Vorbereitungsmappe lässt sich jeder eingestellten Spannung an der Halogenlampe eine entsprechende Lichtintensität ([Lux]) zuordnen.

4. Piezoelektrischer Effekt

In diesem Versuchsteil soll der Piezoeffekt untersucht werden.

Dazu sollen die unter Druckausübung entstehenden Spannungen gemessen werden.

Außerdem soll ein Frequenzsignal, welches mittels eines Lautsprechers an das Piezoelement übertragen wird, sichtbar gemacht werden.

Auch der umgekehrte Effekt, also das Entstehen von Schallwellen durch Anlegen eines Frequenzgenerators an der Piezoelement soll untersucht werden.

5. Hochtemperatursupraleiter

Nun soll die Sprungtemperatur eines Hochtemperatursupraleiters untersucht werden.

Dazu wird die oben beschriebene Vieleiterschaltung verwendet.

Nach Herunterkühlen auf 100 K soll in einer Messreihe von 5 K-Temperaturschritten der Widerstand des Supraleiters gemessen werden.



~~Es ist zu erwarten, dass ab einer gewissen Temperatur, der Sprungtemperatur, die Widerstandskurve sprunghaft ansteigt und der Supraleiter nicht mehr leitet, also einen hohen Widerstand hat.~~

-1-

Aufgabe 1

T [°C]

R

[Ω]

NTC

26⁰⁰

7960

 $R_{ref} = 1,2 k\Omega$ 31⁰

7850

36⁰

7700

41⁰

7560

46⁰

7400

51⁰

7190

56⁰

6980

61⁰

6670

66⁰

6450

71⁰

6260

76⁰

6010

81

5650

86

5420

91

5290

96

5010

101

4790

106

4630

111

4390

116

4230

121

3930

126

3740

131

3580

136

3320

141

3130

146

2890

151

2690

156

2430

SFC

(e-mail-Adresse
auf Deckblatt)

T [°C]	R [Ω]
60	5570
55	5520
50	5480
45	5450
40	5420
35	5400
30	5320
26	

Aufgabe 2

alle Messungen mit 100 Hz

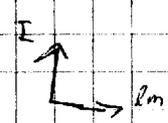
SID : 658,0 mV
 GED : (580,0 mV) (476,0 mV) 508,0 mV
 Zener-Diode: 745,0 mV -4,262 V

Varistor:
 LED gelb: 1,948 V
 LED grün: 1,981 V
 LED rot: 1,85 V
 LED orange: 1,801 V

Handwritten signature

Photowiderstand: H.f.s. widerstand 100 Ω
 Taschenlampe (621,0 mV / 1,53 V)
 Raumlicht (1,625 V, 10,33 V)

A3 Phototransistor



100 Ω Referenzwiderstand

~~Phototransistor~~

Photodiode

16 V / -624

0 V / 0 mV	4 V / -14 mV	8 V / -115 mV	12 V / -318 mV
1 V / 3 mV	5 V / -28 mV	9 V / -156 mV	13 V / -383 mV
2 V / 3 mV	6 V / -50 mV	10 V / -209 mV	14 V / -458 mV
3 V / -4 mV	7 V / -75 mV	11 V / -260 mV	15 V / -537 mV

d) 5. Düsle mit 10 kHz

A4

manuell: gucken

Leitpfecher / Piezo 2 Bilder sinus

AS

Plattentemp: 24,2 °C

≈ 0,360 mV

2,5 mA

~ 1 mV

$P = U \cdot I$

front / rear

↓ Spannung ↓ Cr-Thermoelement

gemessen ohne Einbau Spitze 1 mV
rear [mV] ↳ richtige Temp

front [mV]

-0,044

1,24

24

-0,2

1,23

20

-0,6

1,20

10

-1

1,178 mV

0

-1,4

1,15

-10

-1,8

1,126

-20

-2,2

1,09

-30

-2,5

1,07

-40

-2,8

1,04

-50

-3,2

1,02

-60

-3,6

0,98

-70

-3,9

0,96

-80

-4,2

0,94

-90

-4,6

0,895

-100

-4,9

0,79

-110

-5,1

0,81

-120

-5,4

0,822

-130

-5,7

0,78

-140

-5,9

0,77

-150

-6,0

0,745

-155

-6,1

0,718

-160

-6,2

0,707

-165

-6,35

-170

-6,43

-175

-6,55

-180

-6,8

← 0,707

-185

-190

-195

-200



Auswertung zum Versuch Eigenschaften elektrischer Bauelemente

Durchgeführt von Alexander Kwiatkowski, Barbara Schmidt

am 30.06.2011

Aufgabe 1

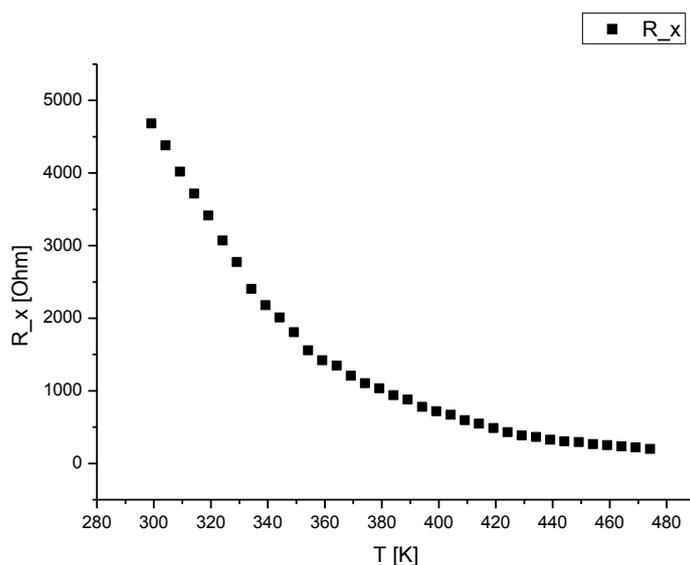
In dieser Aufgabe untersuchten wir die Temperaturabhängigkeit eines Heiß- und eines Kaltleiterwiderstandes.

Wir bauten unsere Schaltung gemäß der Skizze der Versuchsvorbereitung (Wheatstonesche Brückenschaltung) auf.

Im ersten Messvorgang benutzten wir einen Referenzwiderstand von 1,2 k Ω und erhitzen den Heißleiterwiderstand mit Hilfe eines Ofens in 5 °C – Schritten. Wir nahmen somit wie vorgegeben Messwerte im Bereich von Zimmertemperatur bis 200 °C auf.

Jedesmal stellten wir das Potentiometer so ein, dass durch das Strommessgerät kein Strom floss und notierten den angezeigten Wert.

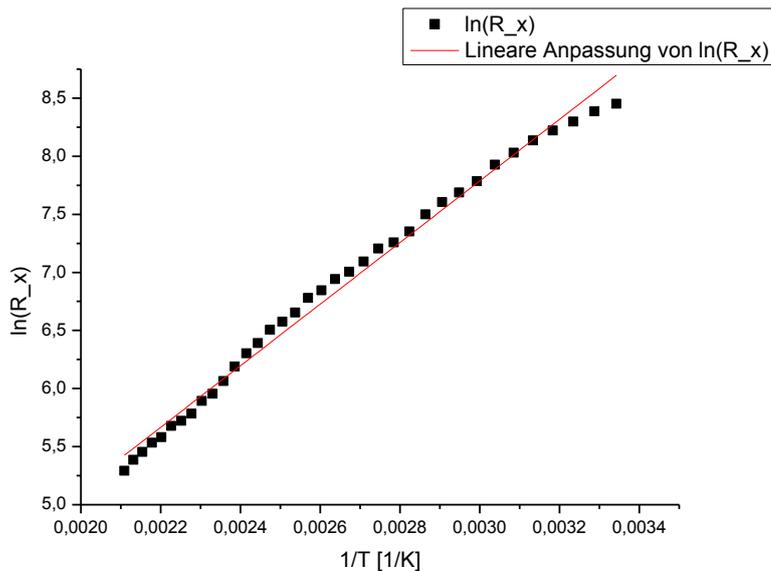
Trägt man den gemessenen Widerstand gegenüber der Temperatur in Kelvin auf, so ergibt sich folgendes Schaubild:



An diesem Schaubild erkennt man leicht, dass die Werte dem erwarteten exponentiellen Abfall folgen.

Um die in der Aufgabenstellung gewünschten Konstanten a und b zu berechnen, trugen wir wie bereits in der Vorbereitung erklärt $\ln(R(T))$ gegenüber $1/T$ auf.

Somit erhielten wir mit einer Regressionsgerade folgendes Schaubild:



Die Regressionsgerade lautet: $\ln(R_x(T)) = 2651,4 \cdot \frac{1}{T} - 0,17$

Vergleicht man diese Geradengleichung mit der aus der Vorbereitung $[\ln(R(T)) = b \cdot \frac{1}{T} + \ln(a)]$, so erhalten wir $b = 2651,4 \text{ K}$ und $\ln(a) = -0,17$ und somit $a = 0,84 \Omega$.

Also gilt: $R(T) = 0,84 \Omega \cdot e^{\frac{2651,4 \text{ K}}{T}}$

Den NTC könnte man also beispielsweise als Thermometer verwenden, wenn man eine konstante Spannung anlegt und aus dem durch ihn fließenden Strom auf die Temperatur schließt.

Möchte man den NTC zur Füllstandanzeige verwenden, so könnte man den Widerstand konstant beheizen und in das Gefäß mit (kälterer) Flüssigkeit halten.

Sobald die Flüssigkeit die Höhe des Widerstandes erreicht und diesen somit abkühlt, registriert man eine veränderte Stromstärke des Stromes durch den Widerstand. Man weiß also, dass die Flüssigkeit die entsprechende Füllhöhe erreicht hat.

Eine weitere Anwendung wäre der Schutz von Bauteilen.

Schaltet man den NTC parallel zum schützenden Bauteil, so fließt bei höherer angelegter Spannung, also bei Erwärmung des Widerstandes, mehr Strom durch den Widerstand ab. Somit kann verhindert werden, dass ein zu großer Strom durch das Bauteil geleitet wird (=Strombegrenzung).

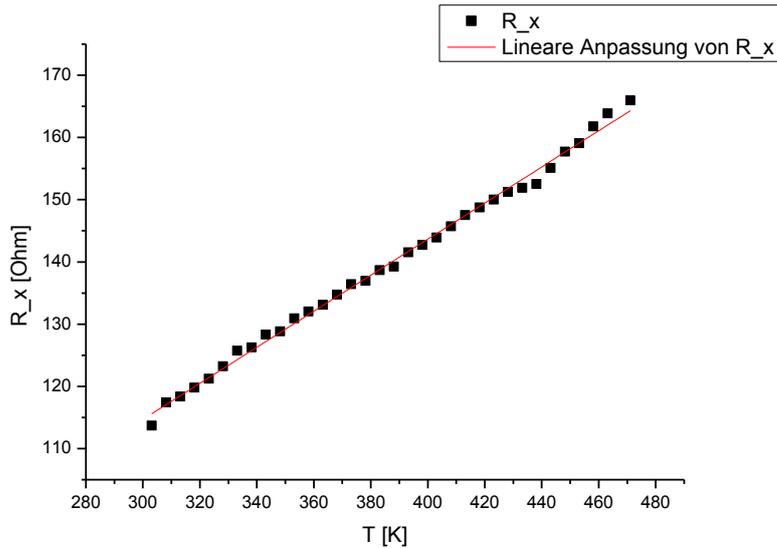
Als nächstes untersuchten wir den Kaltleiterwiderstand.

Dazu schalteten wir den Ofen aus und benutzten als Referenzwiderstand 100Ω .

Trägt man den gemessenen Widerstandswert gegenüber der Temperatur auf, kann wieder eine Regressionsgerade eingezeichnet werden, um den Koeffizienten α der Formel

$R(T) = R_0 \cdot (1 + \alpha T)$ zu bestimmen.

Wir erhielten folgendes Schaubild:



Die Geradengleichung der Regressionsgeraden lautet: $R_x(T) = 0,29 \frac{\Omega}{K} \cdot T + 27,7\Omega$

Somit erhalten wir $R_0 = 27,7 \Omega$ und $a = \frac{0,29}{27,7} \frac{1}{K} = 0,01 \frac{1}{K}$.

Aufgabe 2

In dieser Aufgabe sollten die Kennlinien verschiedener Bauteile aufgenommen werden und in einigen Fällen die charakteristischen Schwellenspannungen bestimmt werden.

Um die Schwellenspannungen zu bestimmen zoomten wir im Kennlinienbild am Computer in den entsprechenden Bereich des Spannungsanstieges. Dann legten wir ein Lineal als Tangente an die Kurve und bestimmten mit Hilfe des Computerprogrammes den Schnittpunkt mit der x-Achse. Dieser Spannungswert entspricht der Schwellenspannung.

Wir erhielten folgende Kennlinien und Werte:

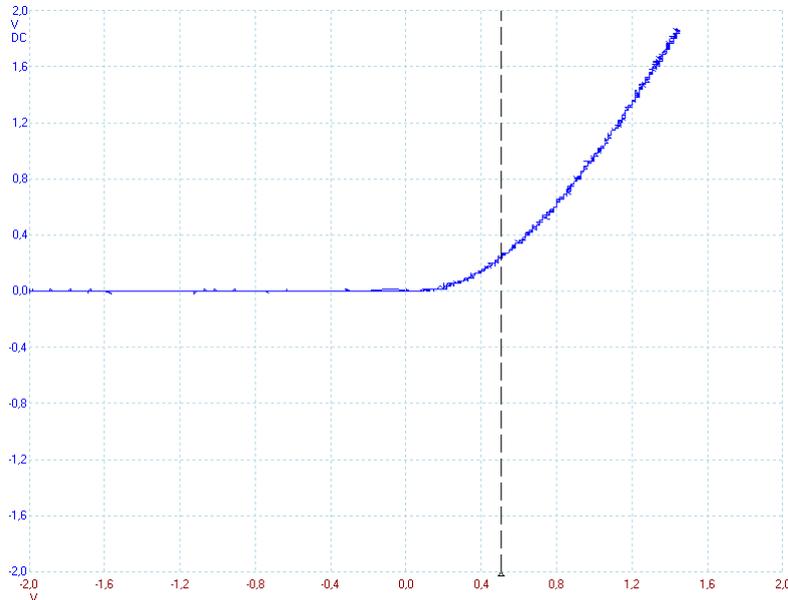
(Zunächst legten wir immer eine Spannung von 100 Hz an)

Silizium-Diode (SID):



Die Schwellenspannung betrug 658,0 mV. Dieser Wert liegt nahe des erwarteten Wertes von 0,7 V (Abweichung: 6 %).

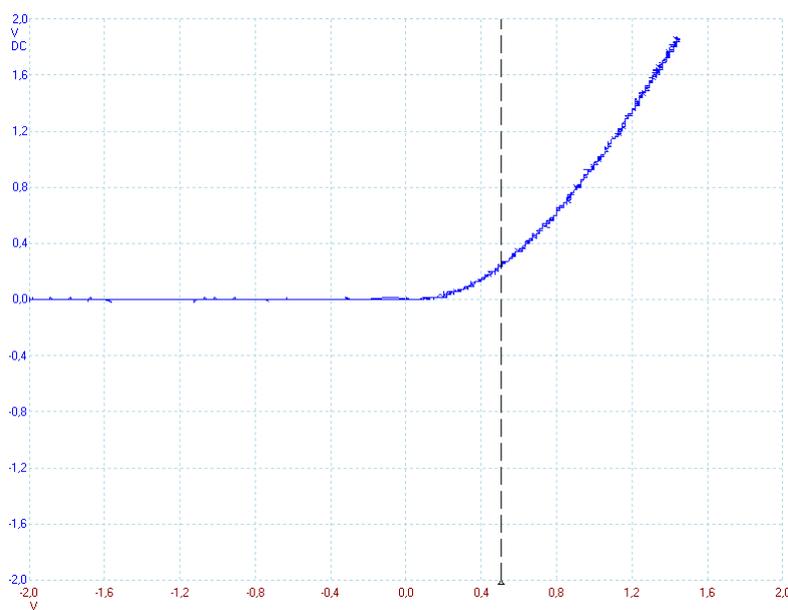
Germanium-Diode (GED):



Die gemessene Schwellenspannung betrug 508,0 mV. Dieser Wert ist zwar deutlich geringer als der der SID, allerdings weicht er um 70 % vom erwarteten Wert (0,3 V) ab.

Diese große Abweichung könnte daran liegen, dass die Bestimmung der Schwellenspannung am Bildschirm mit Hilfe eines Lineals sehr ungenau ist.

Zeichnet man von Hand in den Ausdruck des Kennlinienbildes eine Tangente, so sieht man, dass der Schnittpunkt mit der x-Achse deutlich weiter links und damit näher am erwarteten Wert liegt:

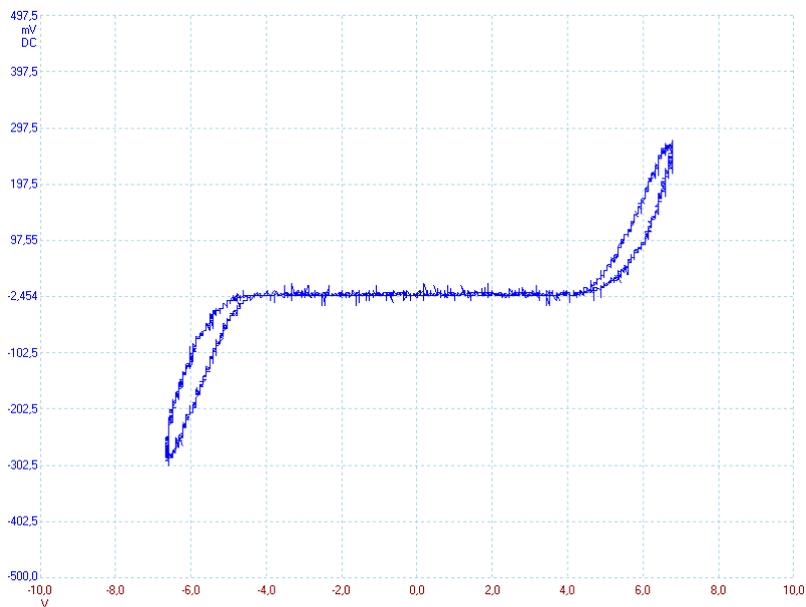


Zener-Diode (ZED):



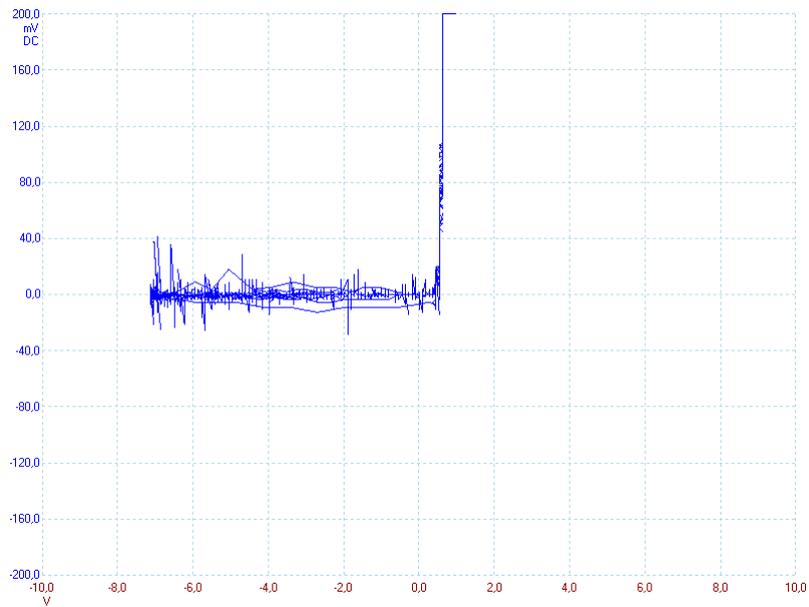
Die Schwellenspannung betrug in Durchlassrichtung 745,0 mV, die Durchbruchspannung konnten wir ebenfalls an diesem Schaubild ablesen, sie betrug -4,264 V. Eine Zener-Diode wird meist in Sperrichtung betrieben.

Varistor (VAR):

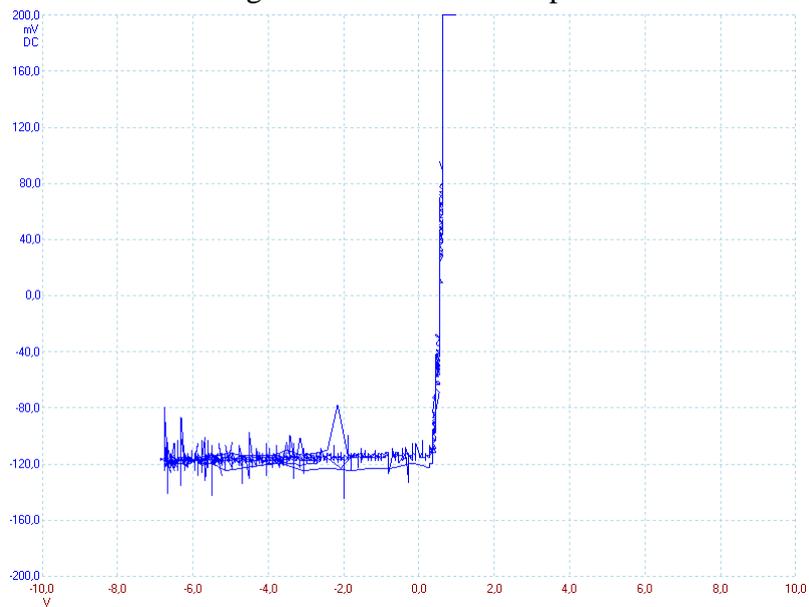


Man erkennt, dass der Varistor eine symmetrische Kennlinie aufweist. Es ist also egal, in welcher Richtung man den Varistor in eine Schaltung einbaut. Allerdings ist der Widerstandswert abhängig von der angelegten Spannung im Gegensatz zum Ohmschen Widerstand, dessen Kennlinienbild eine Gerade sein müsste. Die doppelten Linien kommen durch die begrenzte Geschwindigkeit der Elektronen zustande.

Photodiode:
bei Raumlicht:

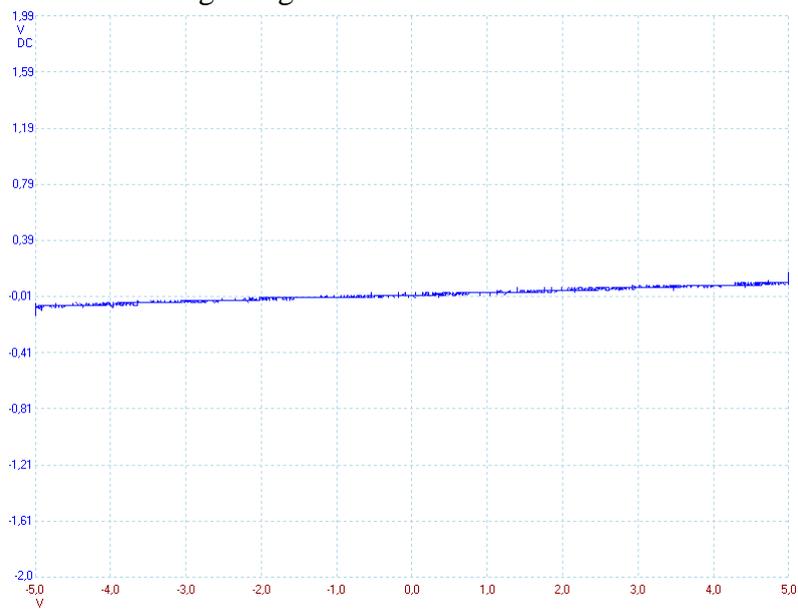


und bei Bestrahlung mit einer Taschenlampe:

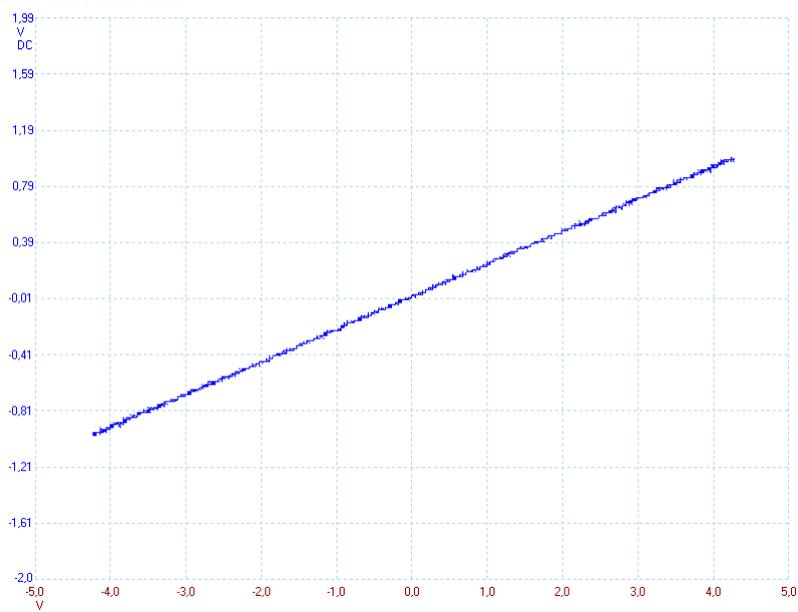


Man erkennt, dass der Widerstand mit zunehmender Beleuchtung abnimmt.
Da Photodioden oft als Belichtungsmesser und so zum Beispiel als Sensoren in
Digitalkameras zum Einsatz kommen, ist dieses Verhalten von Vorteil.

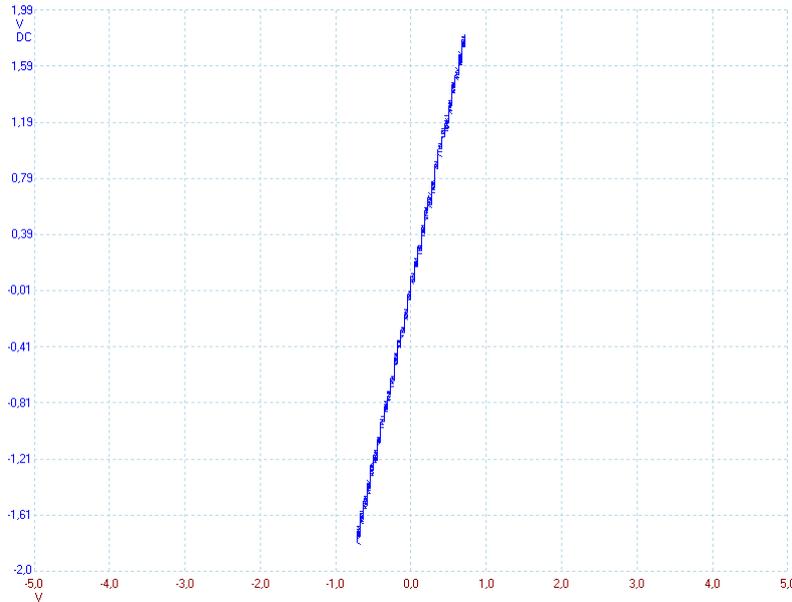
Photowiderstand:
durch einen Finger abgedunkelt:



bei Raumlicht:



mit einer Taschenlampe beleuchtet:



Man erkennt den linearen Verlauf der Kurve und dass die Geraden mit zunehmender Beleuchtung steiler werden.

Mit der Lineal-Funktion der Anwendungs-Software haben wir jeweils einen Punkt der Gerade bestimmt.

Somit kann über die am bekannten Vorwiderstand ($100\ \Omega$) abfallende Spannung auf den durch die Schaltung fließenden Strom geschlossen werden.

Mit Hilfe dessen wiederum können wir, aufgrund des linearen Zusammenhangs auf den jeweiligen Widerstandswert des Photowiderstandes schließen.

Wir erhalten folgende Werte:

	Punkt	Stromstärke	Widerstandswert
durch Finger abgedunkelt	(2,071 V / 41,0 mV)	0,41 mA	5051,2 Ω
bei Raumlicht	(1,629 V / 0,39 V)	3,9 mA	417,7 Ω
bei Beleuchtung mit Taschenlampe	(631,0 mV / 1,59 V)	15,9 mA	39,7 Ω

Der Widerstand des Photowiderstandes nimmt also mit zunehmender Beleuchtung ab.

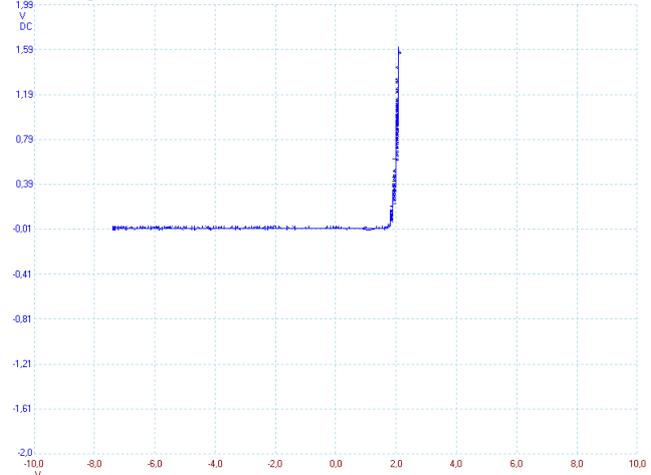
Zur Untersuchung der LEDs:

LED (grün):



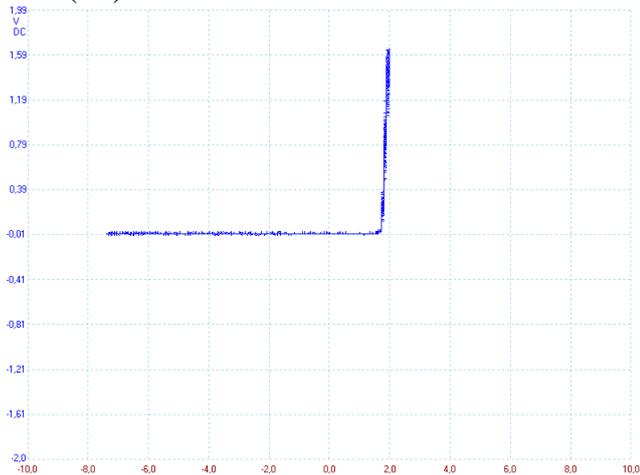
Die Durchlassspannung betrug 1,981 V.

LED (gelb):



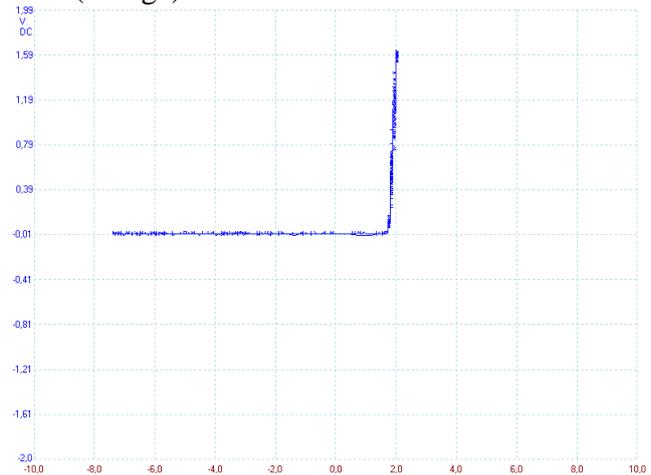
Die Durchlassspannung betrug 1,948 V.

LED (rot):



Die Durchlassspannung betrug 1,85 V.

LED (orange):



Die Durchlassspannung betrug 1,801 V.

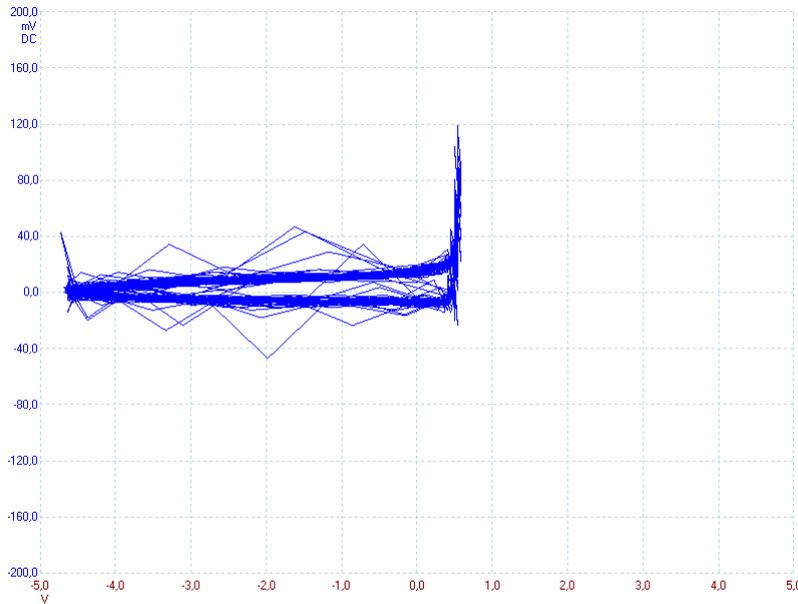
Man erkennt, dass die Schwellenspannung von der Farbe der LED abhängig ist.

Die benötigte Energie ist von der Frequenz des ausgestrahlten Lichtes. Wir erwarteten, dass die benötigte Energie mit zunehmender Frequenz ansteigt.

Dies war bei den LEDs (rot, gelb, grün) zumindest schwach erkennbar, allerdings fällt die orange LED aus diesem Schema, da die Frequenz von orangem Licht größer ist als von rotem, jedoch die gemessene Durchlassspannung geringer.

Diese Abweichung könnte an der ungenauen Messmethode liegen.

Zum Schluss sollten wir noch die Frequenzabhängigkeit der SID bestimmen.
 Dazu legten wir eine Spannung von 10 kHz an und nahmen wiederum ein Kennlinienbild auf:



Die doppelte Linie lässt darauf schließen, dass sich die Elektronen mit endlicher, also begrenzter Geschwindigkeit bewegen.

Aufgabe 3

In dieser Aufgabe untersuchten wir das Verhalten eines Phototransistors in Abhängigkeit der Stärke des auf ihn treffenden Lichts.

Mit der gleichen Schaltung wie in Aufgabe 2 und einer zusätzlichen Lampe, deren Lichtstärke durch die angelegte Spannung regelbar ist, bestimmten wir die über dem Widerstand abfallende Spannung in Abhängigkeit der an der Lampe angelegten Spannung.

Letztere erhöhten wir jeweils um 1 V.

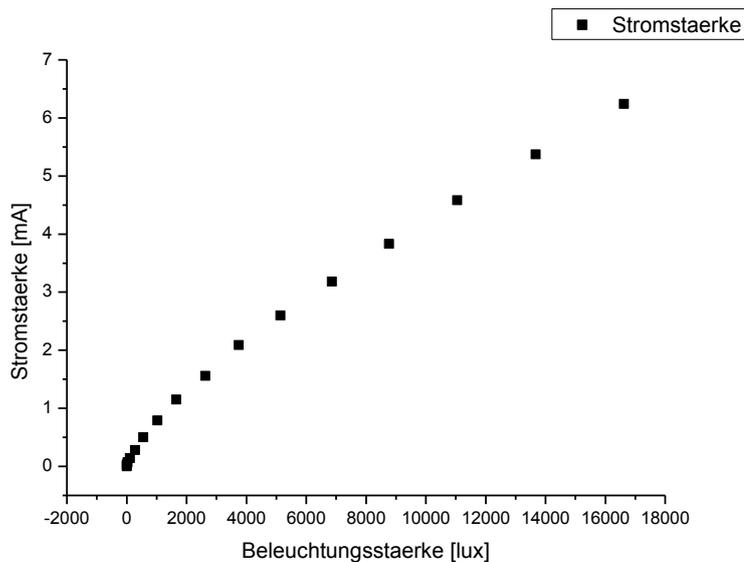
Mit Hilfe der Tabelle aus der Literaturmappe lässt sich der Wert der Lichtstärke aus dem Wert der angelegten Spannung ermitteln.

Da der Referenzwiderstand wieder 100 Ω betrug, lässt sich mit dem Ohmschen Gesetz auf die Stärke des durch die Schaltung fließenden Stromes schließen.

U_{Lampe} in V	Beleuchtungsstärke in lux	Betrag ($U_{\text{Widerstand}}$) in mV	Stromstärke in mA
0	2	0	0
1	3	3	0,03
2	7	3	0,03
3	30	7	0,07
4	105	14	0,14
5	277	28	0,28
6	551	50	0,5
7	1024	79	0,79
8	1658	115	1,15
9	2630	156	1,56

10	3750	209	2,09
11	5140	260	2,6
12	6860	318	3,18
13	8770	383	3,83
14	11050	458	4,58
15	13670	537	5,37
16	16620	624	6,24

Trägt man die Stromstärke gegenüber der Beleuchtungsstärke auf, so ergibt sich folgendes Schaubild:

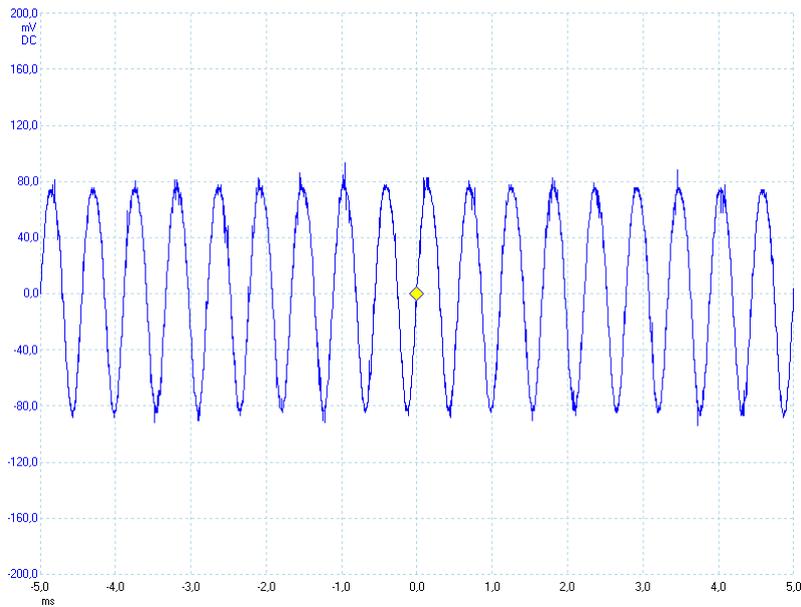


Aufgabe 4

Zuerst haben wir beobachtet, wie sich die Spannung am Piezoelement verändert hat, wenn wir manuell Druck auf dieses ausgeübt haben.

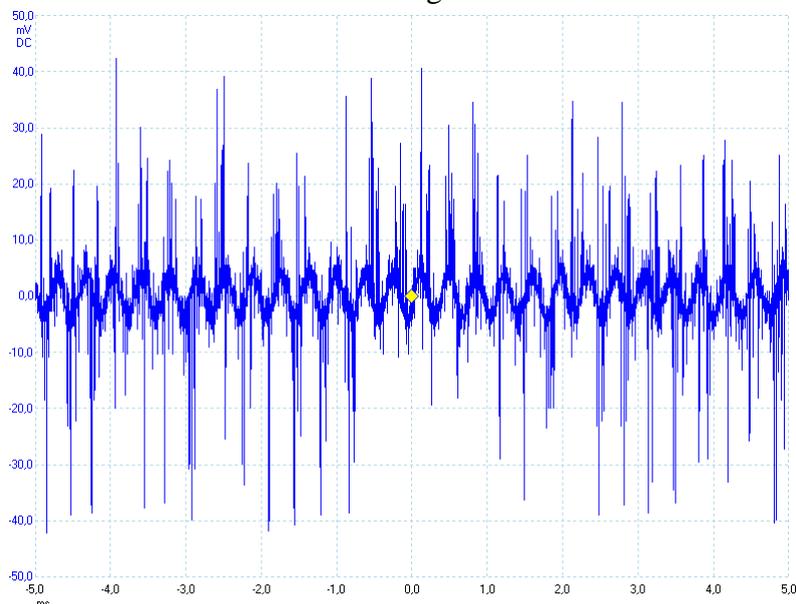
Wir konnten sehen, dass beim kurzen und festen Drücken des Piezoelements ein Spannungsspeak entsteht.

Anschließend haben wir mittels eines Lautsprechers unterschiedliche Signale auf das Piezoelement geschickt und die entstehenden Spannungen mit Hilfe des Oszilloskops aufgenommen:



Man erkennt, dass die Sinusschwingung, die am Lautsprecher anlag, gut übertragen wurde.

Anschließend haben wir den Spannungsgenerator an das Piezoelement geschlossen. Sofort wurde das Signal in Schallwellen umgewandelt und ein je nach angelegter Spannungsstärke hoher oder niedriger Ton wurde hörbar. Diese Schallwellen nahmen wir mit dem Lautsprecher (der also als Mikrofon fungiert) auf erhielten ebenfalls ein sinusförmiges Bild:



Die Qualität des Bildes ist wohl so schlecht, da die Geometrie des Lautsprechers so aufgebaut ist, dass die umgekehrte Richtung (Umwandlung von Spannung in Schallwellen) optimiert wurde.

Des Weiteren beobachteten wir, dass bei bestimmter angelegter Spannung die sich einstellende Amplitude am größten war und der Wert der Amplitude bei noch höherer Spannung wieder abnahm.

Dies kann daran liegen, dass sich das Piezoelement in einem Plastikkästchen befand und sich bei oben genannter Spannung Resonanzschwingungen einstellten.

Leider haben wir den Wert dieser Spannung nicht notiert.

Das Piezoelement kann also beispielsweise als Druck- oder Kraftsensor genutzt werden. Sie eignen sich auch als Lautsprecher oder Tonabnehmer.

Aufgabe 5

In dieser Aufgabe sollte die Sprungtemperatur eines Hochtemperatursupraleiters bestimmt werden.

Dazu kühlten wir den Supraleiter mit Hilfe von flüssigem Stickstoff ab und maßen die am Supraleiter anliegende Spannung.

Zur Temperaturmessung stand uns ein NiCr-NiAl-Thermoelement zur Verfügung.

Mit Hilfe einer am Versuchsplatz ausliegenden Tabelle konnten wir die Spannung, die am Thermoelement anlag in einen Temperaturwert umrechnen.

Zusätzlich mussten wir beachten, dass als Referenztemperatur nicht 0 °C sondern Raumtemperatur (24,2 °C) verwendet wurde.

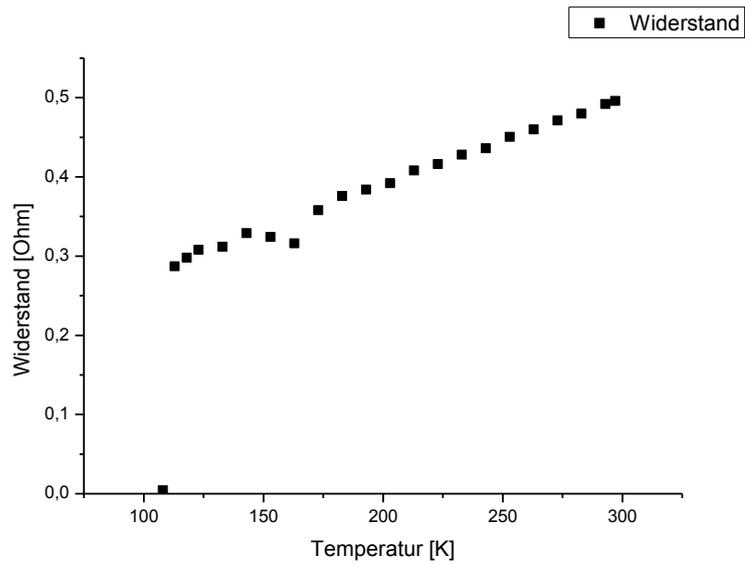
Wir nahmen zuerst Messwerte in 10 K- Schritten auf, später in 5 K-Schritten.

Die angelegte Stromstärke betrug 2,5 mA. Mit dieser können wir aus der abfallenden Spannung den Widerstandswert berechnen.

Wir erhielten folgende Werte:

Temperatur in K	gemessener Spannungswert in mV	Widerstand in Ω
297	1,24	0,496
293	1,23	0,492
283	1,2	0,48
273	1,178	0,4712
263	1,15	0,46
253	1,126	0,4504
243	1,09	0,436
233	1,07	0,428
223	1,04	0,416
213	1,02	0,408
203	0,98	0,392
193	0,96	0,384
183	0,94	0,376
173	0,895	0,358
163	0,79	0,316
153	0,81	0,324
143	0,822	0,3288
133	0,78	0,312
123	0,77	0,308
118	0,745	0,298
113	0,718	0,2872
108	0,0108	0,00432

Trägt man diese Werte graphisch auf, so ergibt sich folgendes Schaubild:



Unsere Sprungtemperatur betrug also 108 K, das entspricht $-165\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Zusätzlich nahmen wir noch einen Wert beim Wiedererwärmen des Supraleiters auf.

Dabei bestimmten wir eine Sprungtemperatur von $-145\text{ }^{\circ}\text{C}$.