

**Versuch P2-50**

# **Eigenschaften elektrischer Bauelemente Versuchsauswertung**

Marco A. Harrendorf und Thomas Keck, Gruppe: Mo-3  
Karlsruhe Institut für Technologie, Bachelor Physik

Versuchstag: 06.06.2011

## Inhaltsverzeichnis

<b>1 Aufgabe 1: R(T) - Abhängigkeit mithilfe der Wheatstonschen Brückenschaltung</b>	<b>3</b>
<b>2 Aufgabe 2: Kennlinien</b>	<b>4</b>
2.1 Aufgabe 2a: Messung der Kennlinien und Aufgabe 2b: Besonderheiten der Bauteile . . . . .	4
2.1.1 Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung . . . . .	4
2.1.2 Kennlinie der Silizium-Diode . . . . .	4
2.1.3 Kennlinie der Germanium-Diode . . . . .	4
2.1.4 Kennlinie der Zener-Diode . . . . .	5
2.1.5 Kennlinie des Varistors . . . . .	5
2.1.6 Kennlinie der Photodiode . . . . .	7
2.1.7 Kennlinie des Photowiderstands . . . . .	7
2.1.8 Kennlinie der roten LED . . . . .	10
2.1.9 Kennlinie der orangenen LED . . . . .	10
2.1.10 Kennlinie der gelben LED . . . . .	10
2.1.11 Kennlinie der grünen LED . . . . .	12
2.1.12 Bemerkung zu den Schwellenspannungen der LEDs . . . . .	13
2.2 Aufgabe 2c: Frequenzabhängigkeit . . . . .	13
<b>3 Aufgabe 3: Kennlinie des Phototransistors</b>	<b>14</b>
<b>4 Aufgabe 4: Der Piezoelektrische Effekt</b>	<b>17</b>
<b>5 Aufgabe 5: Hochtemperatursupraleiter</b>	<b>20</b>
<b>Literatur</b>	<b>22</b>

## 1 Aufgabe 1: R(T) - Abhängigkeit mithilfe der Wheatstonschen Brückenschaltung

Wie in der Vorbereitung beschrieben wurde der Versuch durchgeführt. Als Referenzwiderstand wurde für den NTC ein  $R_{NTC} = 1.2\text{k}\Omega$  Widerstand benutzt, für den PT100 ein  $R_{PT} = 100\Omega$  Widerstand. Als Unsicherheit für die Widerstandsmessung wurde jeweils 1% des Referenzwiderstandes angenommen.

Die Temperaturmessung war infolge des schnellen Aufheizens durch den Ofen und dem schnellen Abkühlen stark fehlerbehaftet. Für beide Messungen wurde der Fehler der Temperaturmessung mit  $\Delta T = 10\text{K}$  abgeschätzt.

In Abbildung 1 ist der Widerstandsverlauf in Abhängigkeit von der Temperatur wiedergegeben. Wie in der Aufgabenstellung verlangt, wurde der NTC Widerstand mit einer Exponentialfunktion, der PT100 mit einer linearen Funktion gefittet.

$$R(T) = a \cdot e^{\frac{b}{T}} \quad \text{NTC} \quad (1)$$

$$R(T) = R_0 + c \cdot T \quad \text{PTC} \quad (2)$$

Die entsprechenden Konstanten können dem Schaubild entnommen werden, bei den angegebenen Fehler handelt es sich um die statistischen Fehler der Regression. Die Temperatur wurde

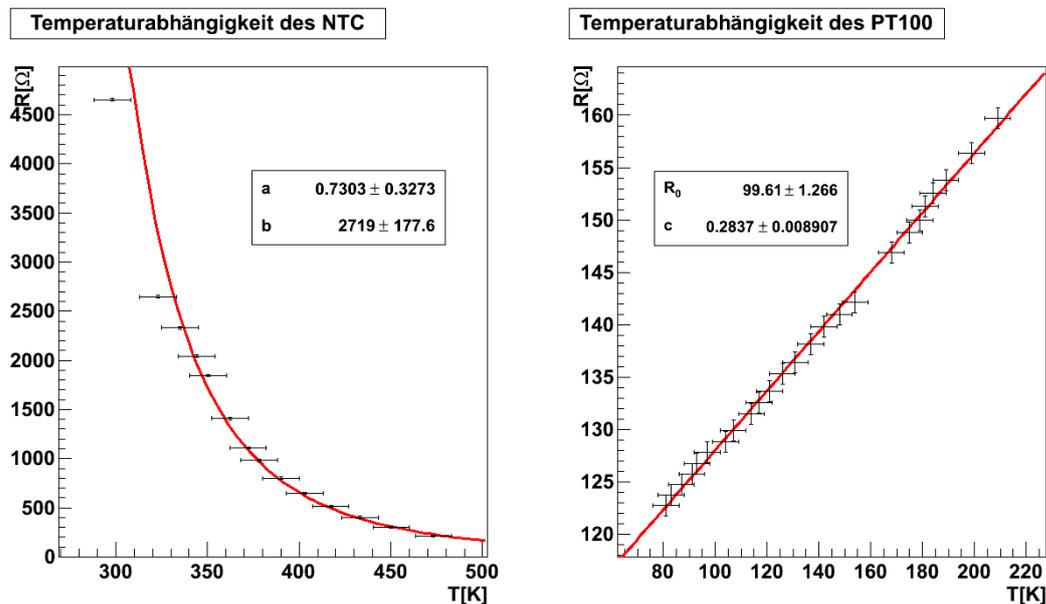


Abbildung 1: R(T) Abhängigkeit des NTC und des PT100

dabei in Kelvin angeben, da die Exponentialanpassung des NTC sonst wenig Sinn ergibt, da diese für  $T = 0^\circ\text{C}$  divergieren würde.

## 2 Aufgabe 2: Kennlinien

### 2.1 Aufgabe 2a: Messung der Kennlinien und Aufgabe 2b: Besonderheiten der Bauteile

#### 2.1.1 Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung

Der Versuch wurde entsprechend der Versuchsvorbereitung aufgebaut und durchgeführt, wobei eine sinusförmige Wechselspannung mit einer Frequenz  $f = 100\text{Hz}$  und ein Widerstand  $R = 220\ \Omega$  verwendet wurde.

#### 2.1.2 Kennlinie der Silizium-Diode

In der Abbildung 2 ist die gemessene Kennlinie der Silizium-Diode dargestellt.

Die gemessene Schwellenspannung lag bei 460 mV.

Die Einsatzmöglichkeiten der Silizium-Diode sind vielfältig, so kann sie z.B. in Gleichrichterschaltungen eingesetzt werden, da sie bei Wechselstrom eine Gleichrichtung bewirkt..

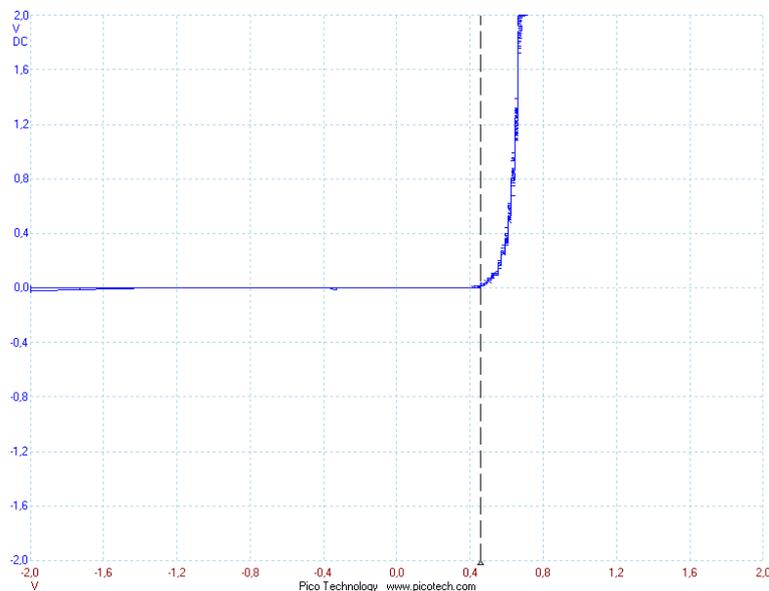


Abbildung 2: Gemessene Kennlinie der Silizium-Diode

#### 2.1.3 Kennlinie der Germanium-Diode

In der Abbildung 3 ist die gemessene Kennlinie der Germanium-Diode dargestellt.

Die gemessene Schwellenspannung lag bei 142 mV.

Auf Grund der gegenüber der Silizium-Diode niedrigeren Schwellenspannung ist die Germanium-Diode für Schaltungen mit niedrigen Spannungen geeigneter.

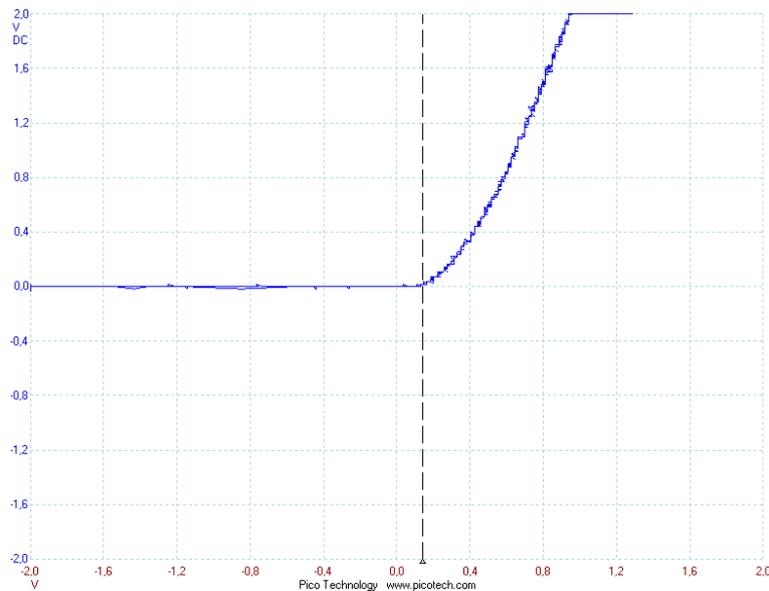


Abbildung 3: Gemessene Kennlinie der Germanium-Diode

#### 2.1.4 Kennlinie der Zener-Diode

In der Abbildung 4 ist die gemessene Kennlinie der Zener-Diode dargestellt.

Die gemessene Schwellenspannung lag bei 142 mV und die gemessene Durchbruchspannung bei -3.4 V.

Zener-Dioden werden in der Regel nur in Sperrichtung geschaltet eingesetzt und sorgen dafür, dass in Schaltungen auftretende hohe Spitzenspannungen gezielt abgeführt werden.

#### 2.1.5 Kennlinie des Varistors

In der Abbildung 5 ist die gemessene Kennlinie des Varistors dargestellt.

Die gemessene Schwellenspannung lag bei  $\pm 4.68$  V.

Der Varistor ist also im Gegensatz zu den Silizium-Dioden und Germanium-Dioden – unabhängig von der Polarität – ab einer gewissen Schwellenspannung stromdurchlässig und fungiert damit als spannungsabhängiger Widerstand.

Varistoren werden häufig in Schutzschaltungen eingesetzt, da im Normalbetrieb ihr Widerstand relativ groß ist. Treten in der Schaltungen jedoch hohe Spannungen auf, so sinkt der Widerstand des Varistors und die Überspannungen können gezielt über diesen abgeleitet werden.

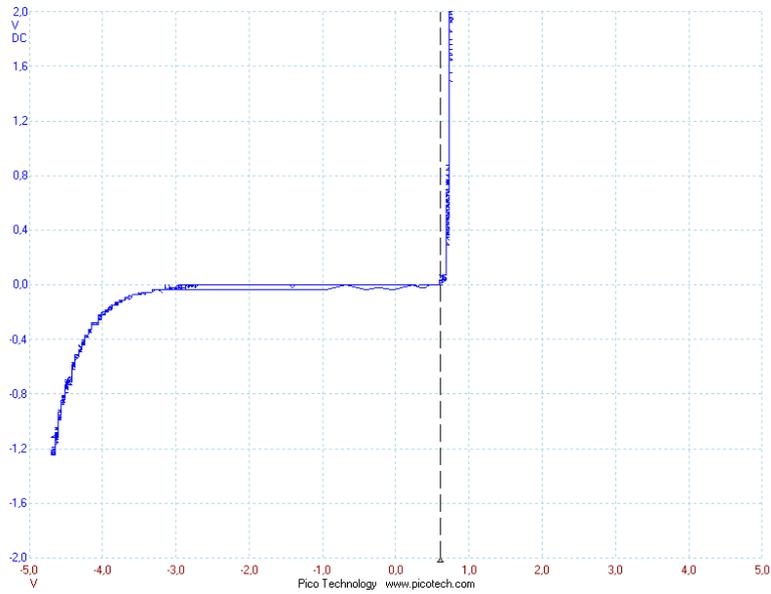


Abbildung 4: Gemessene Kennlinie der Zener-Diode

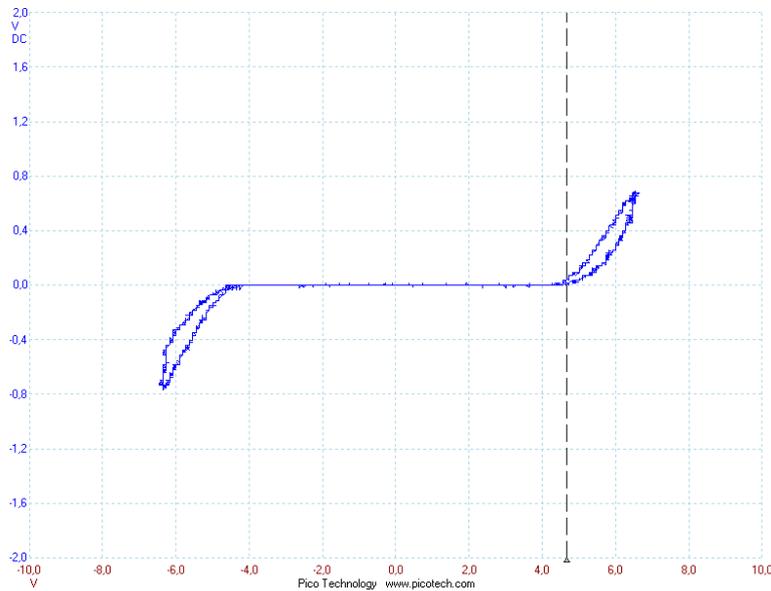


Abbildung 5: Gemessene Kennlinie des Varistors

### 2.1.6 Kennlinie der Photodiode

In der Abbildung 6 ist die gemessene Kennlinie der Photodiode dargestellt.

Mehrere Messungen bei verschiedenen Beleuchtungsintensitäten zeigten, dass die Schwellenspannung weitestgehend unabhängig von der Beleuchtungsintensität ist und dass die Schwellenspannung für diese Diode bei 552 mV liegt.

Photodioden finden in vielen Bauteilen Anwendungen, so werden sie beispielsweise in Empfängern von Lichtwellenleitern, photoelektrischen Rauchmeldern oder auch in Lichtschranken eingesetzt.

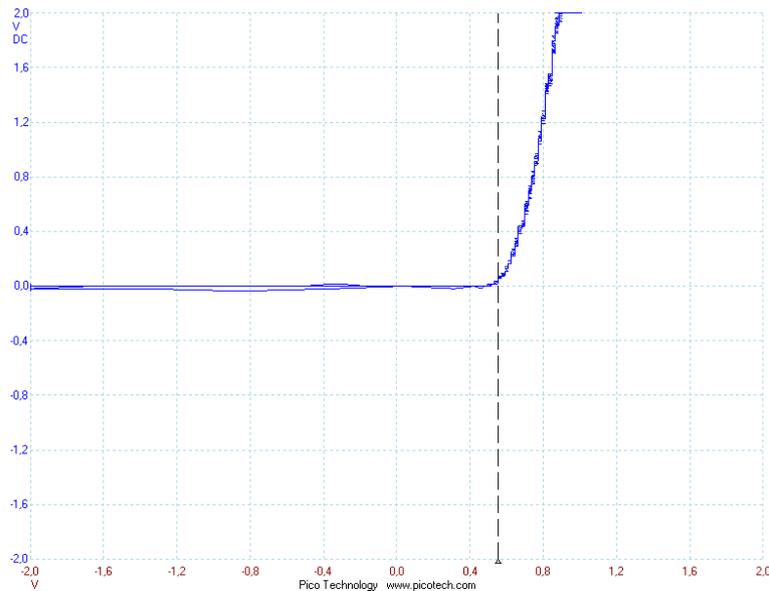


Abbildung 6: Gemessene Kennlinie der Photodiode

### 2.1.7 Kennlinie des Photowiderstands

Messungen am Photowiderstand zeigten, dass der Widerstand abhängig von der Beleuchtungsintensität ist und dass dieser für eine höhere Beleuchtungsintensität abnimmt. Dies wird aus der zunehmenden Steigung der Kennlinien bei einer Zunahme der Belichtungsintensität deutlich.

In der Abbildung 7 ist die gemessene Kennlinie für den abgedunkelten Photowiderstand, in der Abbildung 8 ist die Kennlinie für den Photowiderstand bei normaler Beleuchtung und in der Abbildung 9 ist die Kennlinie für den Photowiderstand bei verstärkter Beleuchtung dargestellt. Photowiderstände werden auf Grund ihrer Eigenschaften als lichtabhängige Widerstände z.B. als Belichtungsmesser in Kameras oder als Dämmerungsschalter eingesetzt.

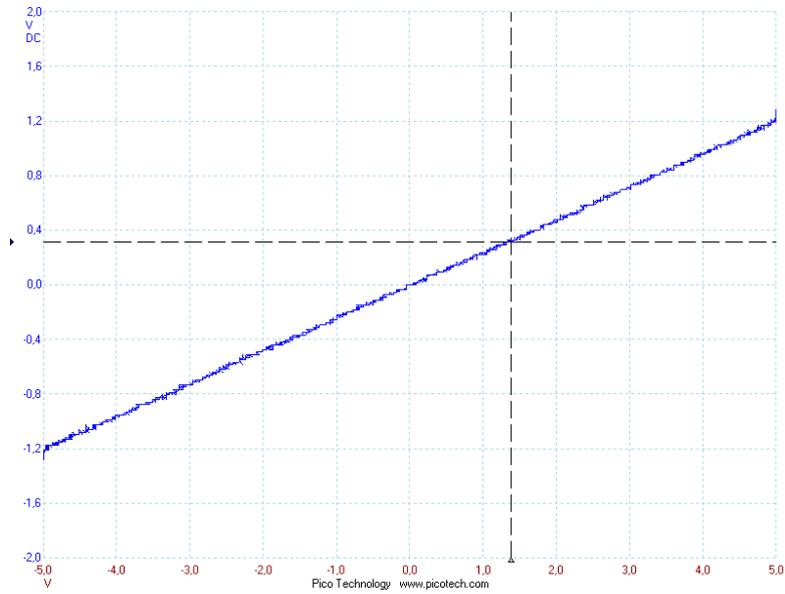


Abbildung 7: Gemessene Kennlinie des abgedunkelten Photowiderstands

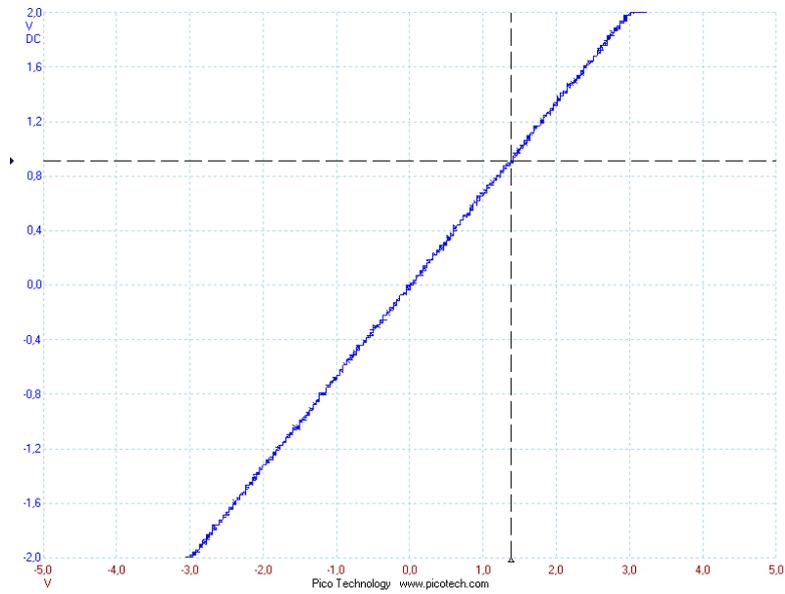


Abbildung 8: Gemessene Kennlinie des Photowiderstands bei normaler Beleuchtung

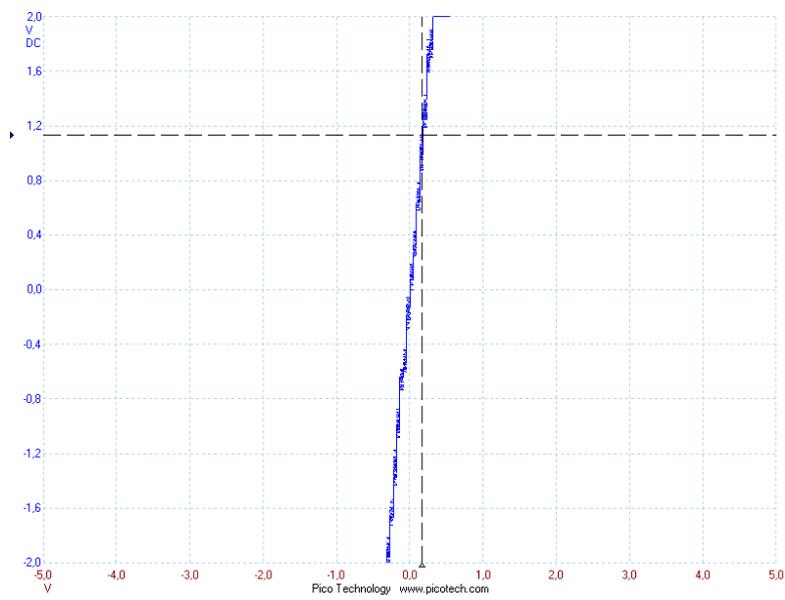


Abbildung 9: Gemessene Kennlinie des Photowiderstands bei verstärkter Beleuchtung

### 2.1.8 Kennlinie der roten LED

Die Kennlinie der roten LED ist in der Abbildung 10 dargestellt.

Die gemessene Schwellenspannung lag bei 1.72 V, hieraus ergibt sich eine Wellenlänge  $\lambda \approx 723 \text{ nm}$ .

Zum Vergleich: Die Wellenlänge von rotem Licht liegt circa zwischen 610 bis 760 nm.

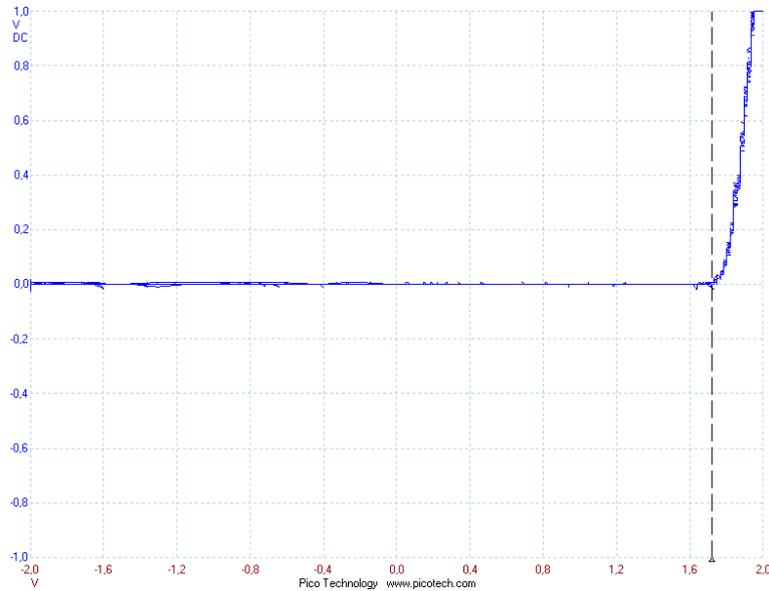


Abbildung 10: Gemessene Kennlinie der roten LED

### 2.1.9 Kennlinie der orangenen LED

Die Kennlinie der orangenen LED ist in der Abbildung 11 dargestellt.

Die gemessene Schwellenspannung lag bei 1.64 V, hieraus ergibt sich eine Wellenlänge  $\lambda \approx 760 \text{ nm}$ .

Zum Vergleich: Die Wellenlänge von orangenem Licht liegt circa zwischen 590 bis 610 nm.

### 2.1.10 Kennlinie der gelben LED

Die Kennlinie der gelben LED ist in der Abbildung 12 dargestellt.

Die gemessene Schwellenspannung lag bei 1.72 V, hieraus ergibt sich eine Wellenlänge  $\lambda \approx 723 \text{ nm}$ .

Zum Vergleich: Die Wellenlänge von gelbem Licht liegt circa zwischen 570 bis 590 nm.

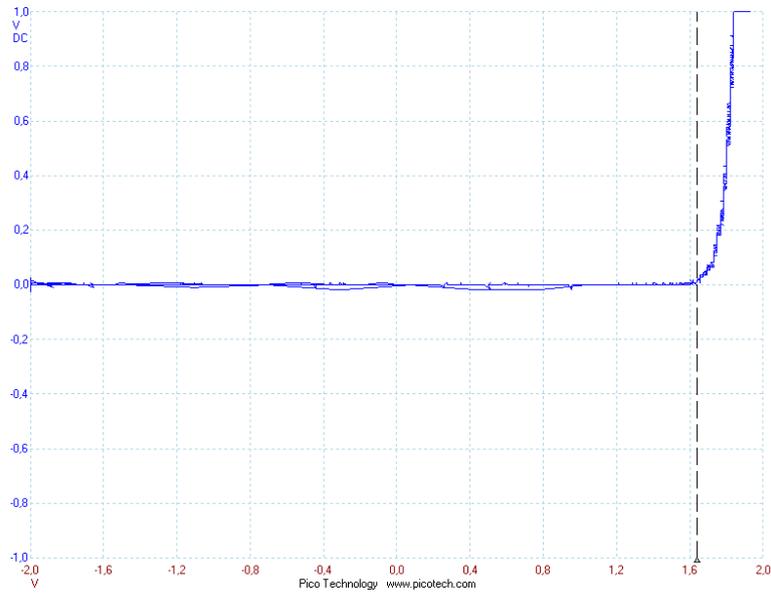


Abbildung 11: Gemessene Kennlinie der orangenen LED

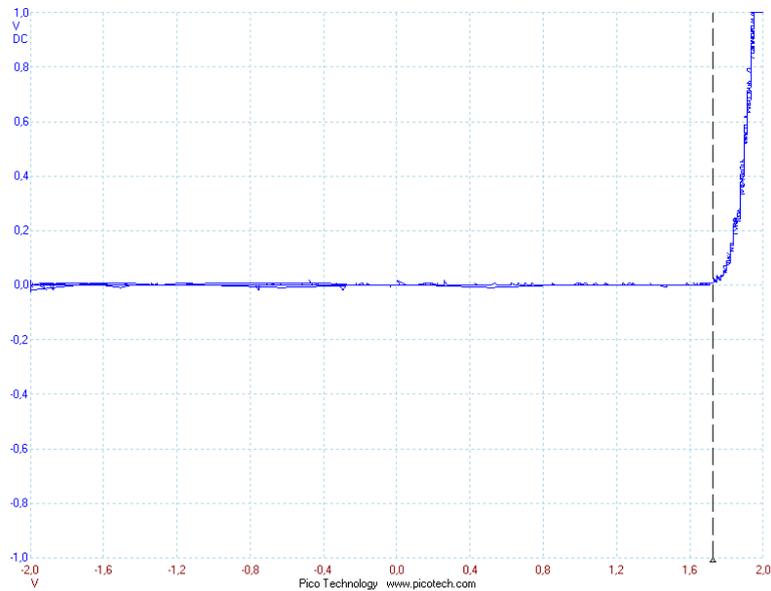


Abbildung 12: Gemessene Kennlinie der gelben LED

### 2.1.11 Kennlinie der grünen LED

Die Kennlinie der grünen LED ist in der Abbildung 13 dargestellt.

Die gemessene Schwellenspannung lag bei 1.74 V, hieraus ergibt sich eine Wellenlänge  $\lambda \approx 715 \text{ nm}$ .

Zum Vergleich: Die Wellenlänge von grünem Licht liegt circa zwischen 500 bis 570 nm.

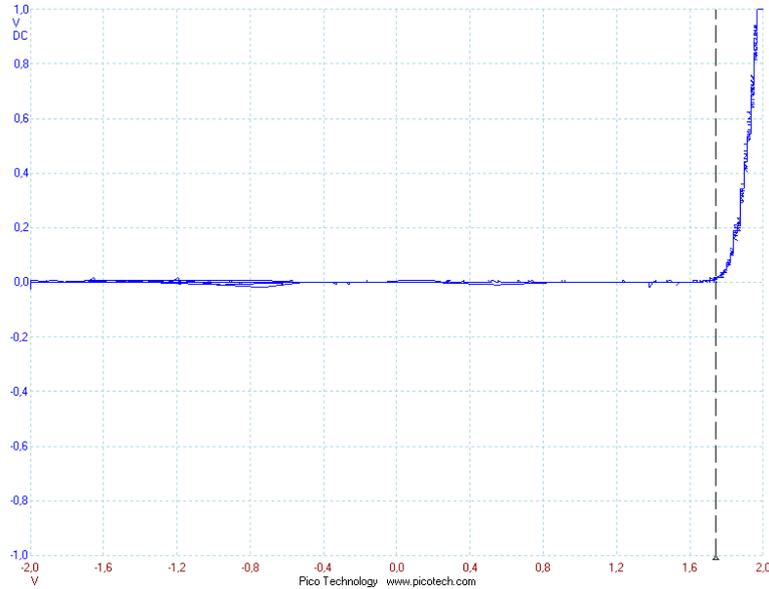


Abbildung 13: Gemessene Kennlinie der grünen LED

### **2.1.12 Bemerkung zu den Schwellenspannungen der LEDs**

Die Wellenlänge  $\lambda$  und damit die Farbe des abgestrahlten Lichts bei einer Leuchtdiode hängt im Wesentlichen vom Abstand des Leitungsbands vom Valenzband im Halbleiter ab. Aus diesem Grund wurde eigentlich erwartet, dass die Farbe der LED mit der Schwellenspannung zusammenhängt und dass sich aus der gemessenen Schwellenspannung die genaue Wellenlänge  $\lambda$  der Diode bestimmen lässt.

Die Messungen zeigten allerdings, dass dies nicht möglich war.

Die Ursache hierfür ist wohl darin begründet, dass nur bei Nennstrom über die Schwellenspannung die Wellenlänge für die Diode bestimmt werden kann.

### **2.2 Aufgabe 2c: Frequenzabhängigkeit**

In Absprache mit dem Betreuer wurde die Frequenzabhängigkeit der verschiedenen Bauteile nicht untersucht.

### 3 Aufgabe 3: Kennlinie des Phototransistors

Wie in der Vorbereitung und der Aufgabenstellung beschrieben, wurde der Versuch durchgeführt.

Eine Beispielmessung kann man in Abbildung 14 sehen. Gut zu erkennen ist links das jeweils vermessene Plateau, welches annähernd konstant ist und durch den Sperrstrom des Phototransistors verursacht wird. Mit steigender Spannung an der Experimentierleuchte, sank das Plateau immer weiter ab, der Sperrstrom wurde also größer.

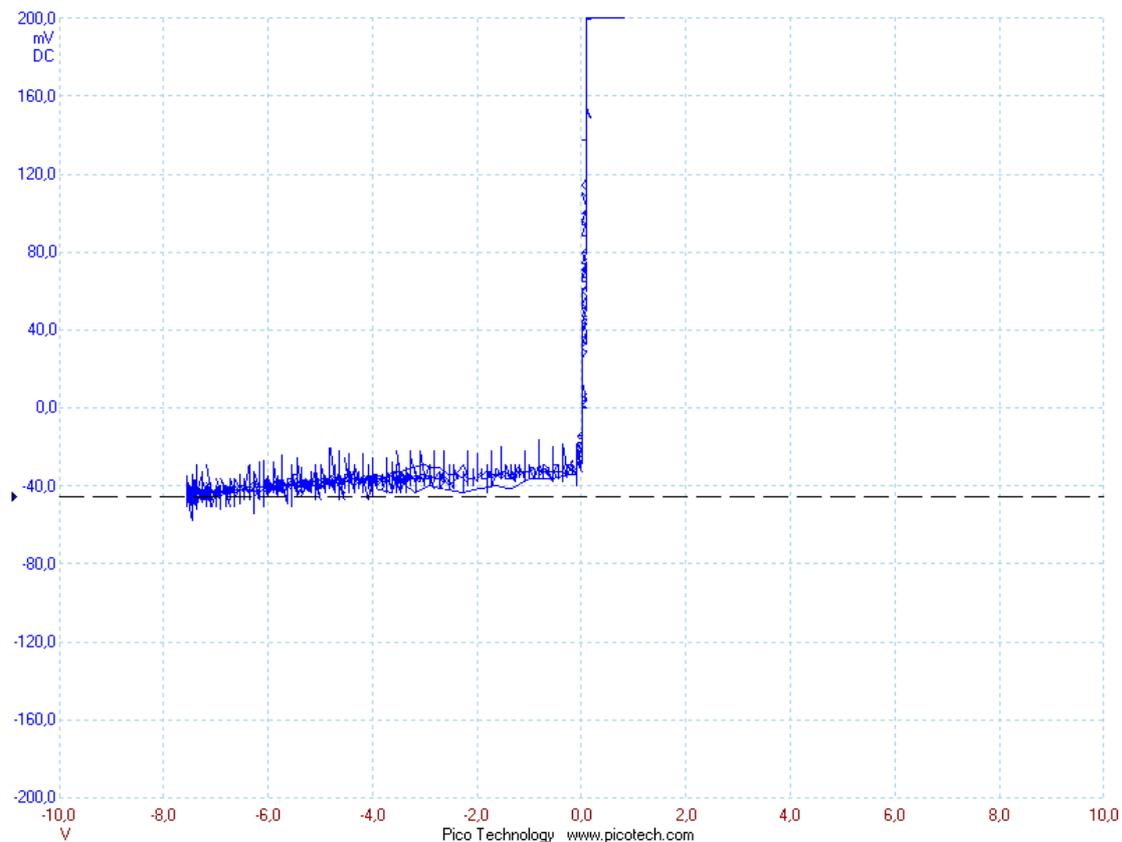


Abbildung 14: Beispielmessung für eine Spannung von  $U = 10\text{V}$

Die an die Experimentierlampe angelegte Spannung wurde mithilfe der Eichungstabelle aus der Praktikumsmappe in eine Beleuchtungsstärke in Lux umgerechnet. Der Sperrstrom wurde aus der gemessenen Plateauhöhe berechnet. Die Plateauhöhe in mV wurde dafür durch den benutzten Referenzwiderstand von  $R = 220\Omega$  geteilt.

Die zu messende Abhängigkeit des Sperrstromes von der Beleuchtungsstärke ist in Abbildung

15 dargestellt. Der Verlauf der Messdaten lässt einen linearen Zusammenhang für nicht zu kleine Beleuchtungsstärken vermuten.

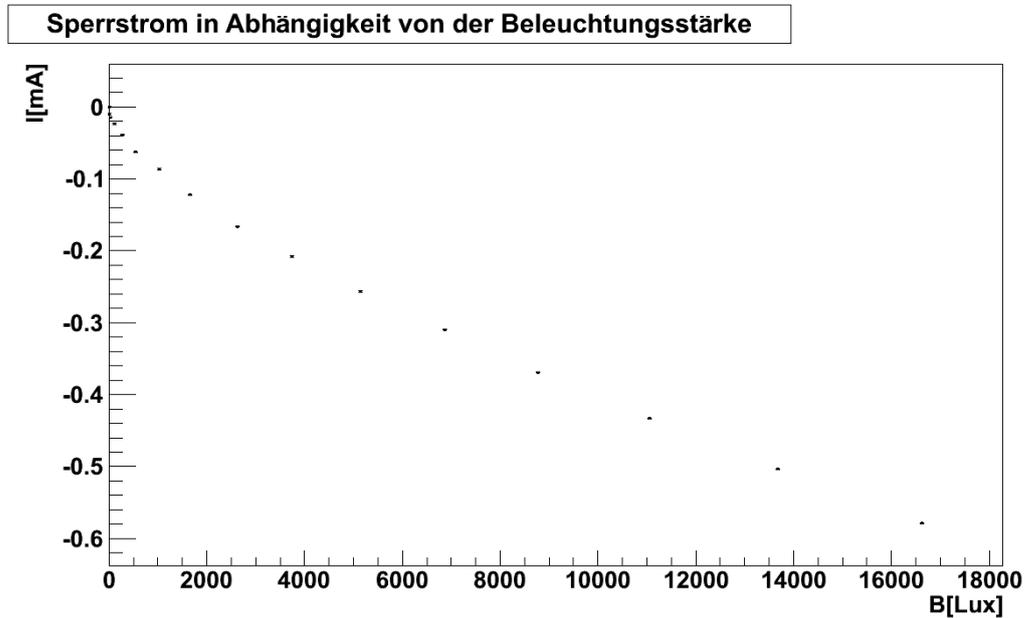


Abbildung 15: Sperrstrom in Abhängigkeit von der Beleuchtungsstärke

Bei der Auswertung fiel auf, dass zwischen dem Sperrstrom und der an die Experimentierlampe angelegten Spannung eine fast perfekte quadratische Abhängigkeit besteht. Diese Abhängigkeit ist in Abbildung 16 wiedergegeben und gefittet.

$$I(U) = a \cdot U^2 \quad (3)$$

Um diese Abhängigkeit genauer zu untersuchen, fehlen jedoch weitere Informationen über die Experimentierlampe selbst, welche im Versuch eine Blackbox darstellte.

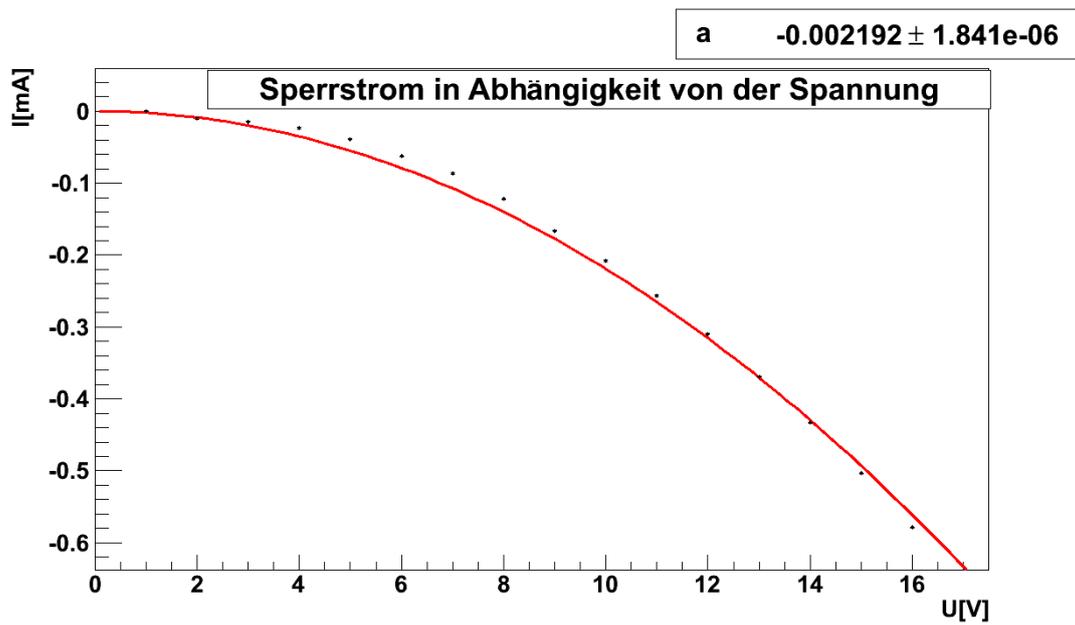


Abbildung 16: Sperrstrom in Abhängigkeit von der an die Lampe angelegten Spannung

## 4 Aufgabe 4: Der Piezoelektrische Effekt

Der Piezoelektrische Effekt wurde unter Verwendung eines Piezo-Elements auf verschiedene Arten untersucht:

1. Es wurde unter Zuhilfenahme der menschlichen Hand ein Druck auf das Piezo-Element ausgeübt, sodass die in Folge des mechanischen Drucks auftretende elektrische Spannung am Oszilloskop beobachtet werden konnte. Die Abbildung 17 stellt dies dar.
2. Es wurden verschiedene Laute erzeugt und die in der Luft auftretenden Druckänderungen mittels des Piezo-Elements am Oszilloskop beobachtet.  
Die in der Abbildung 18 dargestellte Schwingungsfolge ergab sich, als der Praktikums-  
teilnehmer Thomas Keck einen Ton anstimmte.  
Die in der Abbildung 19 dargestellte Schwingungsfolge ergab sich, als der Praktikums-  
teilnehmer Marco A. Harrendorf einen Ton piffte.  
Die in der Abbildung 20 dargestellte Schwingung ergab sich, als unter Zuhilfenahme ei-  
nes Lautsprechers und eines Frequenzgenerators der Kammerton A (Frequenz 440 Hz)  
erzeugt wurde.  
In allen drei Abbildungen wird deutlich, dass das Piezo-Element die Luftschwingungen  
sehr genau aufnehmen und gut in ein elektrisches Signal umwandeln kann.
3. Über den Frequenzgenerator wurde der Kammerton A mit Hilfe des Piezo-Elements wie-  
dergegeben. Die Tonqualität und Tonreinheit entsprach dabei ziemlich genau dem zuvor  
eingesetzten handelsüblichen Lautsprecher.

Neben den bereits in der Versuchsvorbereitung genannten Anwendungen werden Piezo-Elemente bei Druckmessungen oder auch in Druckern eingesetzt. In den Druckern kommt es durch das Anlegen von elektrischen Spannungen an das Piezo-Element bzw. an einen Piezostapel zu einer Ausdehnung, die dazu dienen kann, gezielt Tinte über kleine Düsen auf Papier zu spritzen.

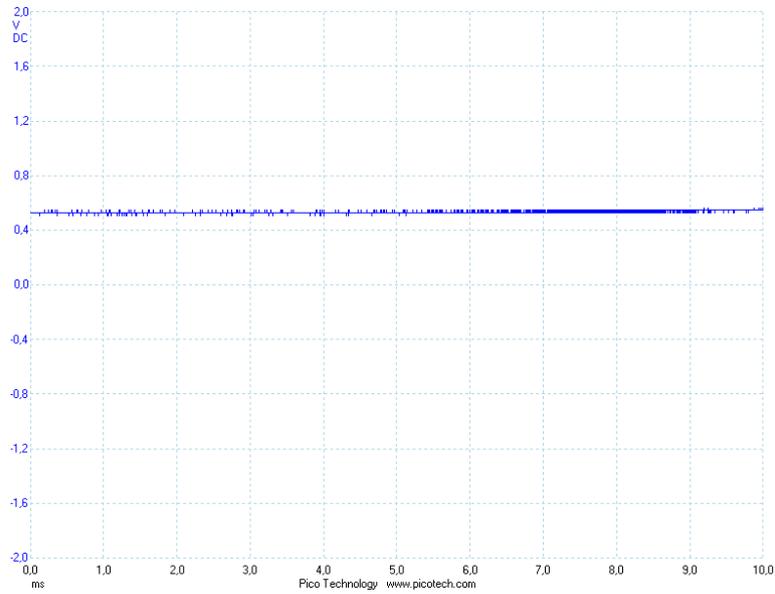


Abbildung 17: Darstellung des Spannungsverlaufs am Piezo-Element bei Einwirkung von mechanischem Druck

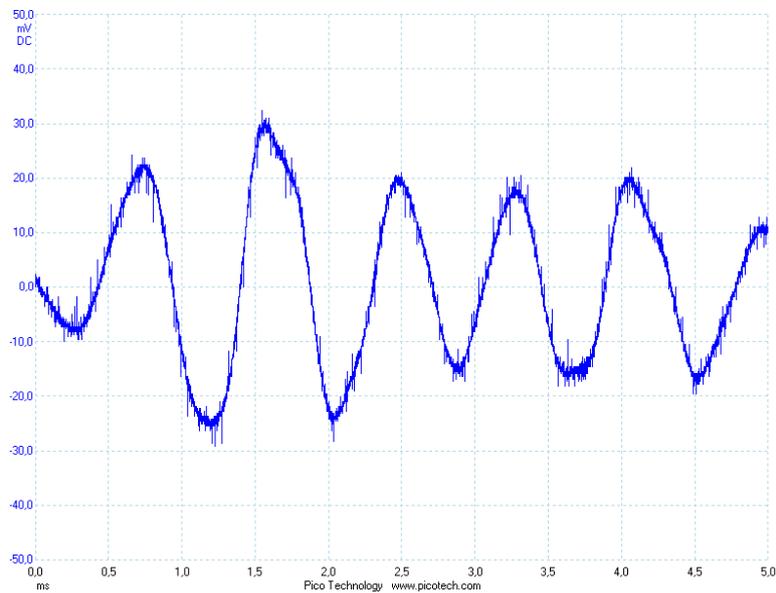


Abbildung 18: Darstellung des Spannungsverlaufs am Piezo-Element beim Singen eines Tons

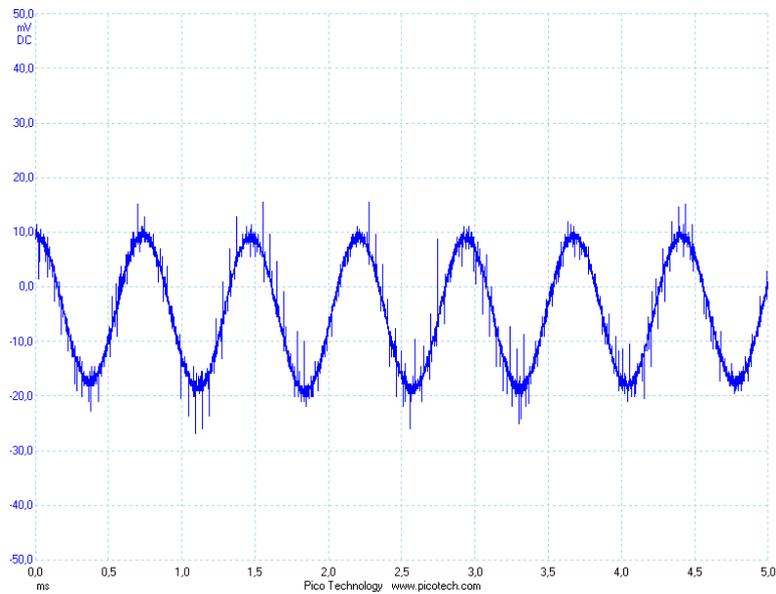


Abbildung 19: Darstellung des Spannungsverlaufs am Piezo-Element beim Pfeifen eines Tons

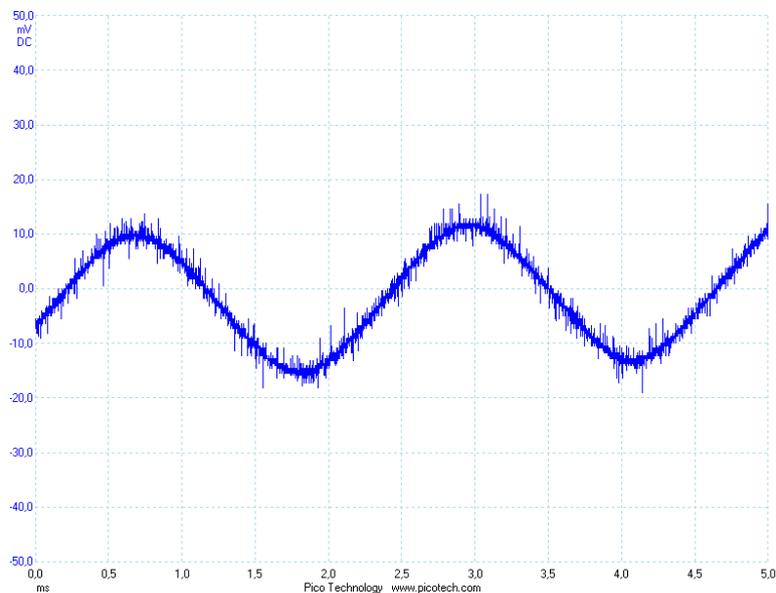


Abbildung 20: Darstellung des Spannungsverlaufs am Piezo-Element bei Wiedergabe des Kam-  
mertons A mit dem Lautsprecher

## 5 Aufgabe 5: Hochtemperatursupraleiter

Mithilfe einer Vierleitermessung wurde die Sprungtemperatur eines Supraleiters bestimmt. Die Messung ergab eine Sprungtemperatur von:

$$T_{\text{Sprung}} = -176^{\circ}\text{C} \quad (4)$$

Die einzelnen Messungen sind in Abbildung 21 angegeben. Über die Vierleitermessung wurde die über dem Supraleiter abfallende Spannung während des Versuches gemessen. Der Strom  $I = 0.2\text{A}$  wurde dabei während des gesamten Versuches konstant gehalten. Aus dem ohmschen Gesetz ergab sich so jeweils der momentane Widerstand des Supraleiters. Die Temperatur wurde über die im Praktikum zur Verfügung gestellten Eich-tabelle für die am Temperatursensor abfallenden Spannung bestimmt. Diese Temperaturmessung war die größte Fehlerquelle im Versuch. Die Sprungtemperatur wurde deshalb nicht bei dem schwer zu kontrollierenden Abkühlvorgang, sondern beim langsameren Erwärmungsvorgang bestimmt. Sobald die Sprungtemperatur erreicht war, wurde der Hochtemperatursupraleiter wieder ein Stück aus dem Temperaturgradienten des flüssigen Stickstoffes herausgezogen. Infolge erwärmte er sich sehr langsam und die Temperatur, beim Sprung zurück in den nichtsupraleitenden Zustand, konnte sehr genau vermessen werden.

In Abbildung 21 sieht man sehr schön, wieviele Messungen direkt am Sprung so durchgeführt werden konnten. Der eigentliche Sprung erstreckt sich im Experiment über einen Bereich von 2-3 K in dem der Widerstand stark abfällt. Der Supraleiter verliert bereits vorher rund 30% seines Widerstandes im Vergleich zur Raumtemperatur, dieser Abfall erfolgt jedoch wesentlich langsamer als der rasche Abfall des Widerstandes bei der Sprungtemperatur. Der Fehler der Messung kann nur abgeschätzt werden, dieser sollte jedoch nicht mehr als einige Kelvin (etwa  $\Delta T = 3\text{K}$ ) betragen, da der Sprung vom Supraleitenden in den hochohmigen Zustand experimentell gut zu beobachten war. Der Wert von  $T_{\text{Sprung}} = -176^{\circ}\text{C}$  ist der Mittelwert aus den Messungen, welche auf der steil abfallenden Flanke in Abbildung 21 liegen.

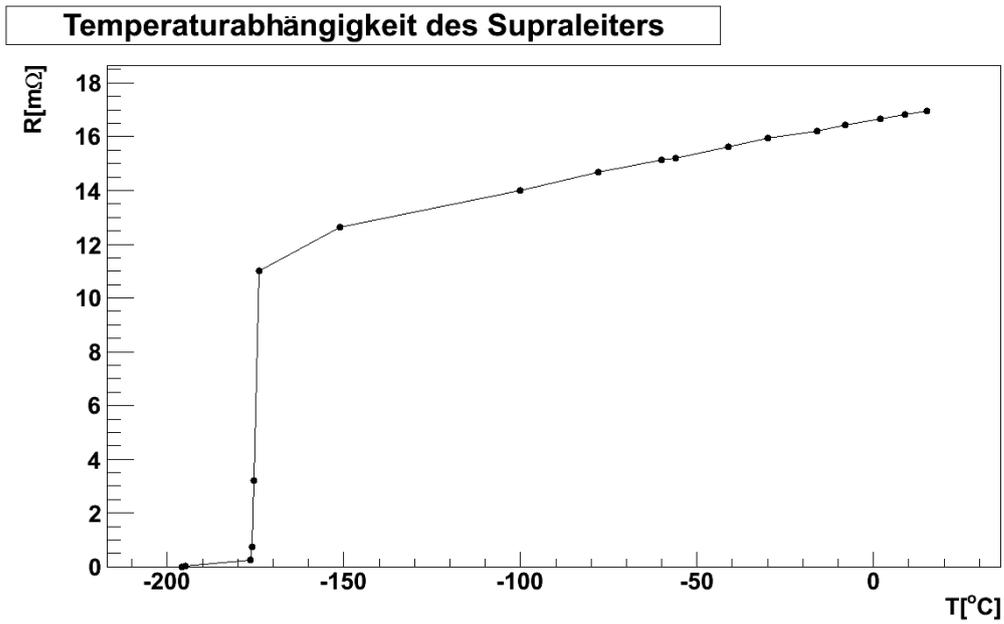


Abbildung 21: Widerstand des Supraleiters in Abhängigkeit von der Temperatur

## **Literatur**

[Aufgabenstellung] Aufgabenstellung zu dem Versuch P2-50

[Vorbereitungshilfe] Vorbereitungshilfe zu dem Versuch P2-50