

Prak.: P2 Semester: SS20 Wochentag: B Gruppennr.: 12

Name: Hohenstein Vorname: Michael

Name: Michel Vorname: Alexis

Emailadresse(n): alexis.michel@gmx.de, michael.hohenstein@gmx.de

Versuch: Eigenschaften el. Bauelemente (P2-50, 51, 52) Fehlerrech.: Nein

Betreuer: Adrian Kriewitz Durchgeführt am: 21.08.202

Wird vom Betreuer ausgefüllt.

1. Abgabe am: \_\_\_\_\_

Rückgabe am: \_\_\_\_\_ Begründung:

2. Abgabe am: \_\_\_\_\_

Ergebnis: + / 0 / - Fehlerrechnung: Ja / Nein

Datum: \_\_\_\_\_ Handzeichen: \_\_\_\_\_

Bemerkungen:



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Temperaturabhängige Widerstände</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Kennlinien elektrischer Bauelemente</b>	<b>5</b>
2.1	Kennlinien einiger Bauelemente . . . . .	5
2.1.1	Silizium-Diode SID . . . . .	6
2.1.2	Germanium-Diode GED . . . . .	7
2.1.3	Zener-Diode ZED . . . . .	8
2.1.4	Varistor VDR . . . . .	8
2.1.5	Photodiode . . . . .	9
2.1.6	Photowiderstand . . . . .	9
2.1.7	LED (vier verschiedene Werte) . . . . .	10
2.2	Verhalten bei hohen Frequenzen . . . . .	11
<b>3</b>	<b>Verhalten eines Phototransistors</b>	<b>13</b>
<b>4</b>	<b>Piezoelektrischer Effekt</b>	<b>15</b>
<b>5</b>	<b>Supraleiter</b>	<b>16</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>18</b>

# Abbildungsverzeichnis

1.1	Schaltung Wheatstonesche Brückenschaltung . . . . .	1
1.2	Messwerte und Fit für den PT100 . . . . .	2
1.3	Messwerte und Fit für den NTC-Widerstand . . . . .	3
2.1	Typische Kennlinie einer Diode (Quelle: [Wik20]) . . . . .	5
2.2	Schaltung zur Aufnahme der Kennlinien . . . . .	6
2.3	Kennlinie der Silizium-Diode . . . . .	7
2.4	Kennlinie der Germanium-Diode . . . . .	7
2.5	Kennlinie der Zener-Diode . . . . .	8
2.6	Kennlinie des Varistors . . . . .	8
2.7	Kennlinie der Photodiode . . . . .	9
2.8	Kennlinien des Photowiderstandes für unterschiedliche Beleuchtungen . . . . .	10
2.9	Kennlinien der LEDs . . . . .	11

3.1	Temperaturabhängiger Widerstand des Hochtemperatursupraleiters . . . . .	14
4.1	Spannung am Piezo-Kristall nach Anregung von Hand . . . . .	15
4.2	Spannung am Piezo-Kristall nach Anregung durch Lautsprecher . . . . .	15
5.1	Temperaturabhängiger Widerstand des Hochtemperatursupraleiters . . . . .	17

## Tabellenverzeichnis

2.1	Widerstand des Photowiderstandes für unterschiedliche Beleuchtungen . . .	10
2.2	Schwellspannungen der LEDs . . . . .	11
3.1	Sperrstrom des Phototransistors für unterschiedliche Beleuchtungsstärken .	13
5.1	Am Supraleiter abfallende Spannung für verschiedene Temperaturen . . . .	16

# 1. Temperaturabhängige Widerstände

Bei diesem Versuch soll der Widerstandsverlauf verschiedener Temperaturabhängiger Widerstände untersucht werden. Die zu untersuchenden Widerstände sind ein NTC und ein Platinwiderstand PT100.

In einem Ofen wurden die Widerstände aufgeheizt und mit einem separaten Thermometer die Temperatur bestimmt. Der NTC-Widerstand wurde beim Aufheizen gemessen, des PT100-Widerstand wurde beim Abkühlen bis 60 °C bestimmt. Es wurde in Schritten von je 10 °C gemessen, anfangs beim NTC-Widerstand in Schritten von 5 °C. Der Widerstand des Bauteils wurde über die Wheatstonesche Brückenschaltung bestimmt, welche in Abbildung 1.1 zu sehen ist.

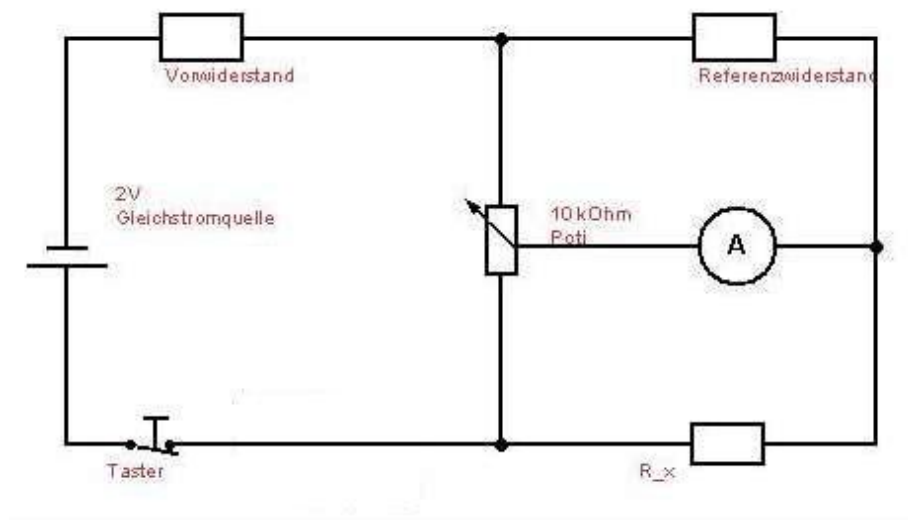


Abbildung 1.1: Schaltung Wheatstonesche Brückenschaltung

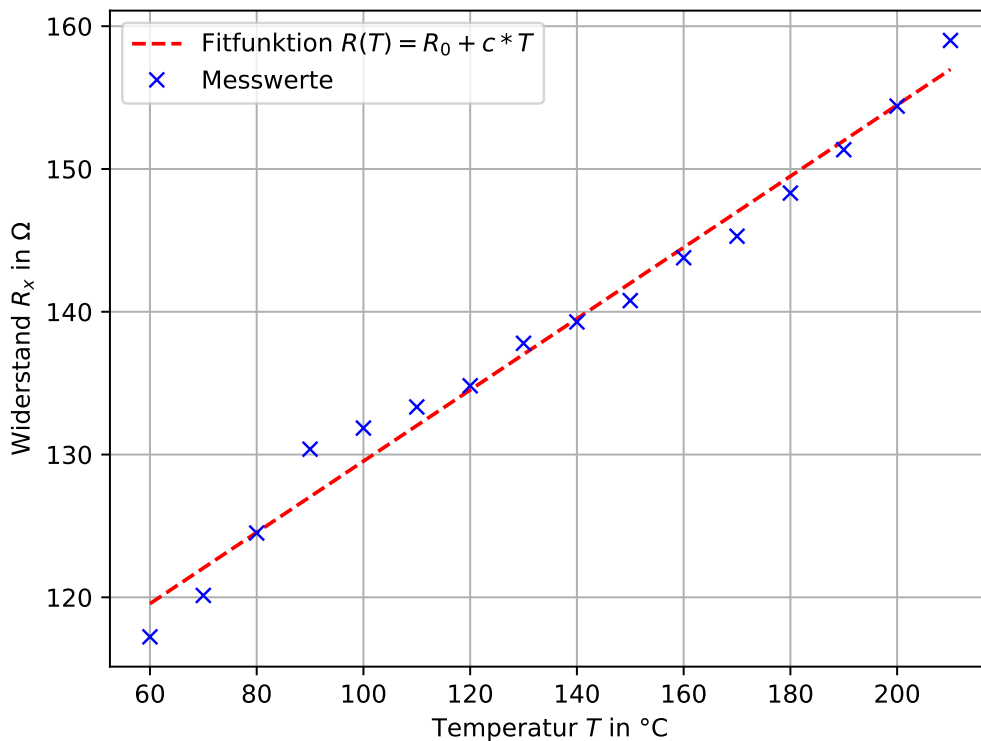
Die Messung mit der Wheatstoneschen Brücke ist sinnvoll, da mit einem Amperemeter nur gemessen werden muss, dass der Strom an der Brücke 0 ist. Dann lässt sich sehr präzise die richtige Position am Potentiometer einstellen. Kontaktwiderstände an Kabeln entfallen dadurch auch als Fehlerquelle.

Bei der Schaltung wurde jeweils immer das 10kΩ-Potentiometer ( $R_{\text{pot}} = 10\text{ k}\Omega$ ) so eingestellt, dass der Strom durch das Amperemeter 0 ist. Dann wurde der eingestellte Wert  $R$  des unteren Potentiometerwiderstandes (von  $R_x$  zum Abgriff des Potentiometers) gemessen. Die Messwerte sind in tabellarischer Form im Messprotokoll. Als Referenzwiderstand wurde ein Widerstand von  $R_{\text{ref}} = 1,2\text{ k}\Omega$  verwendet. Die Verhältnisse der Widerstände sind dann gegeben als

$$\frac{R_{\text{pot}} - R}{R} = \frac{R_{\text{ref}}}{R_x} \implies R_x = R_{\text{ref}} \frac{R}{R_{\text{pot}} - R}. \quad (1.1)$$

Mit dieser Formel lassen sich die gemessenen Widerstände  $R$  am Potentiometer in die gesuchten Thermowiderstände  $R_x$  umrechnen.

Beim Platinwiderstand PT100 ist bekannt, dass dieser einen linearen Zusammenhang zur Temperatur  $T$  hat. Deshalb lässt sich hier eine Regression der Form  $R(T) = R_0 + c \cdot T$  durchführen. Das ist zusammen mit den Messwerten in Abbildung 1.2 zu sehen.



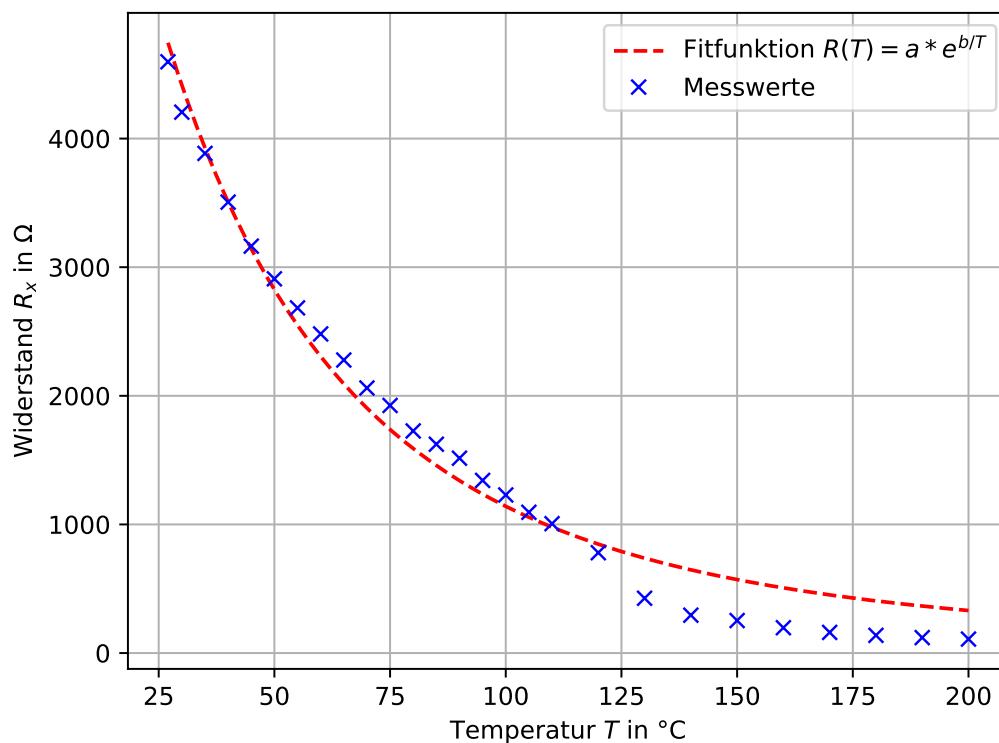
**Abbildung 1.2:** Messwerte und Fit für den PT100

Da der Zusammenhang linear ist, ist es egal, ob in Kelvin oder Grad Celsius gerechnet wird. Der Fit liefert die Parameter  $R_0 = (104,6 \pm 1,3) \Omega$  und  $c = (0,249 \pm 0,009) \Omega/^{\circ}\text{C}$ . Bei der Rechnung in Grad Celsius ergibt sich sofort der Widerstand zur Temperatur  $0^{\circ}\text{C}$  zu  $R(0^{\circ}\text{C}) = R_0 = (104,6 \pm 1,3) \Omega$ . Der Literaturwert des PT100 liegt, wie der Name sagt, bei  $R = 100 \Omega$ . Dieser Wert wurde knapp um rund 3% verfehlt.

Für die Steigung ist der Literaturwert  $0,39 \Omega/^{\circ}\text{C}$ , quadratische Terme werden nicht beachtet (Quelle der Literaturwerte: [Ome20]). Der Fehler der Steigung ist also größer und liegt bei rund 34%. Die Ursache für die Fehler ist vermutlich, dass ein zu großer Referenzwiderstand verwendet wurde. Die Messungen für den Widerstand am Potentiometer unterscheiden sich nur sehr schwach, weil der Referenzwiderstand deutlich größer ist als der Widerstand des PT100. Deshalb sind die Werte ungenauer als bei einem Referenzwiderstand, der einen ähnlichen Widerstand wie der PT100 hat. Die Schwankung lässt sich auch an der großen Abweichung der Messwerte über und unter der Regressionsgeraden am Plot sehen.

Durch den in Näherung linearen Zusammenhang am PT100 eignet sich dieser Widerstand besonders gut als Temperatursensor ohne komplizierte Umrechnung.

Beim NTC-Widerstand werden die gemessenen Werte am Potentiometer ebenfalls nach Gleichung 1.1 umgerechnet. Beim NTC (Negative Temperature Coefficient) ist zu erwarten, dass der Widerstand für hohe Temperaturen kleiner wird. Der theoretische Zusammenhang ist hier exponentiell und lautet  $R(T) = a \cdot e^{b/T}$ . Die Messwerte mit Fit sind in Abbildung 1.3 zu sehen.



**Abbildung 1.3:** Messwerte und Fit für den NTC-Widerstand

Da der Zusammenhang bei diesem Widerstand exponentiell ist, ist es wichtig, dass mit absoluten Temperaturen, also in Kelvin, gerechnet wird. Dieser Fit liefert die Parameter  $a = (3,3 \pm 0,9) \Omega$  und  $b = (2187 \pm 84) \text{ K}$ . Leider ist nicht der genau verwendete Widerstand bekannt, sodass nicht mit Literaturwerten verglichen werden kann. Der Fit beschreibt die Messwerte im Allgemeinen gut, allerdings gibt es bei den Messwerten ab  $130^\circ\text{C}$  einen kleinen Sprung. Diese könnte durch nicht ideales lineares Verhalten des Potentiometers erklärt werden.

Der NTC-Widerstand eignet sich als Thermometer, wenn der Widerstand gemessen und über eine Umrechnungsfunktion (den bestimmten Fit) in eine Temperatur umgerechnet wird. Allerdings ist diese Umrechnungsfunktion nicht trivial, da der Zusammenhang exponentiell ist, d.h. die Umrechnung kann verhältnismäßig große Rechenleistung benötigen.

Zur Strombegrenzung kann man einen NTC-Widerstand zu einem zu schützenden Bauteil parallel schalten. Steigt die Spannung und Stromstärke dann, erwärmt sich der NTC, verringert seinen Widerstand, wodurch der NTC noch mehr Strom aufnimmt und sich noch weiter erwärmt. Die Spannung fällt dadurch ab und der Strom durch das andere Bauteil

ist verringert. Durch diese Rückkopplung ist das Bauteil parallel zum NTC geschützt. Will man einen NTC-Widerstand zur Füllstandsmessung in einem Flüssigkeitsbehälter verwenden, kann man dort einen NTC anbringen, der durch eine hohe Spannung einen hohen Strom aufnimmt und sich erwärmt. Wird der NTC abgekühlt, wenn die Flüssigkeit den NTC erreicht, geht der Strom durch den NTC stark zurück. Dann ist bekannt, dass die Flüssigkeit die Höhe des NTC erreicht hat.



## 2. Kennlinien elektrischer Bauelemente

### 2.1 Kennlinien einiger Bauelemente

Bei diesem Versuch soll die Kennlinie einiger Bauelemente, hauptsächlich von Dioden, bestimmt werden. In Abbildung 2.1 ist eine typische Diodenkennlinie zu sehen.

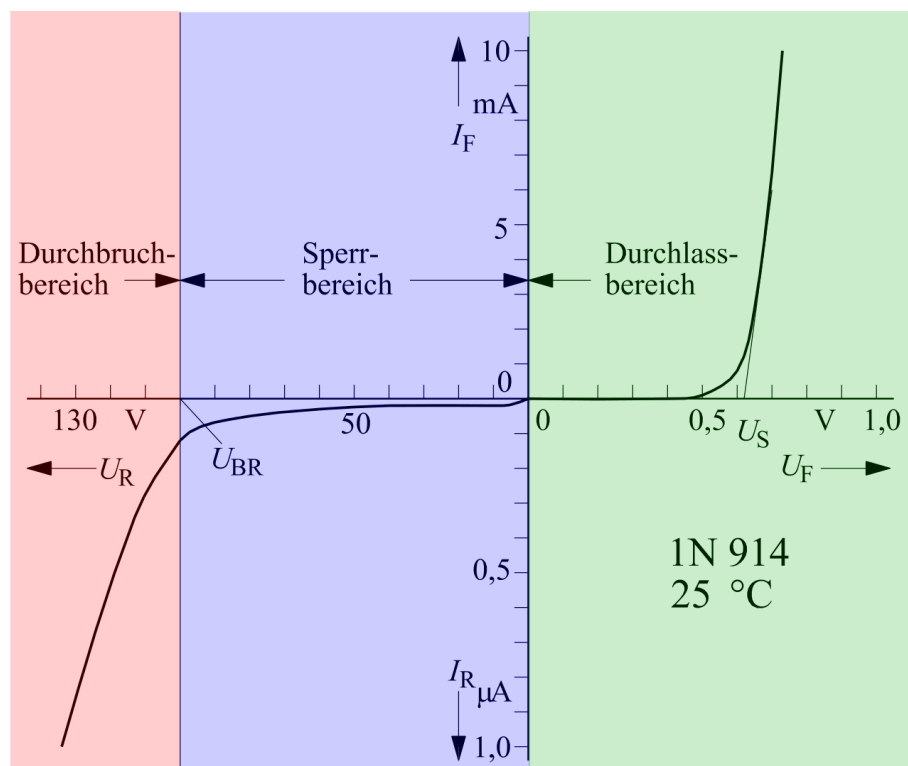


Abbildung 2.1: Typische Kennlinie einer Diode (Quelle: [Wik20])

Primär ist bei Dioden meistens der Durchlassbereich interessant. Ab der Schwellspannung  $U_S$  öffnet eine Diode. Bei diesem Versuch wird auch bei allen Dioden die Schwellspannung bestimmt.

Im Sperrbereich blockiert eine Diode fast ganz, es fließt also nur ein sehr kleiner Strom, der Sperrstrom. Dieser kleine Strom fließt, da freie Elektronen in der P-Dotierung zur positiven Spannungsquelle gezogen werden, die Löcher mit fehlenden Elektronen in der N-Dotierung werden zur negativen Spannungsquelle gezogen, was einen sehr kleinen Strom, den Sperrstrom, verursacht. Wird die Spannung zu groß (ab der Durchbruchspannung  $U_{BR}$ ) fließt wieder ein großer Strom, da die Diode eine genügend große Spannung nicht aufhalten kann.

Zum Bestimmen der Kennlinie wird die Schaltung in Abbildung 2.2 verwendet.

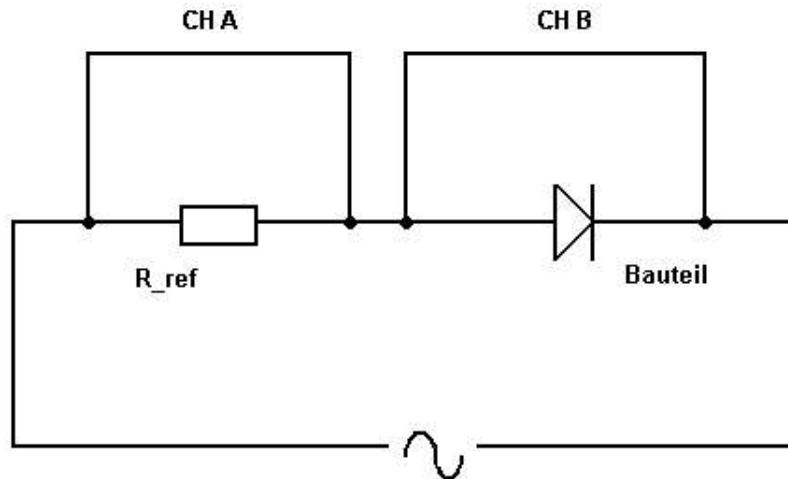


Abbildung 2.2: Schaltung zur Aufnahme der Kennlinien

Als Referenzwiderstand  $R_{\text{ref}}$  wird ein Widerstand  $R_{\text{ref}} = 100 \, \Omega$  verwendet. Die Anregungsspannung ist sinusförmig und hat eine Frequenz von  $f = 100 \, \text{Hz}$ .

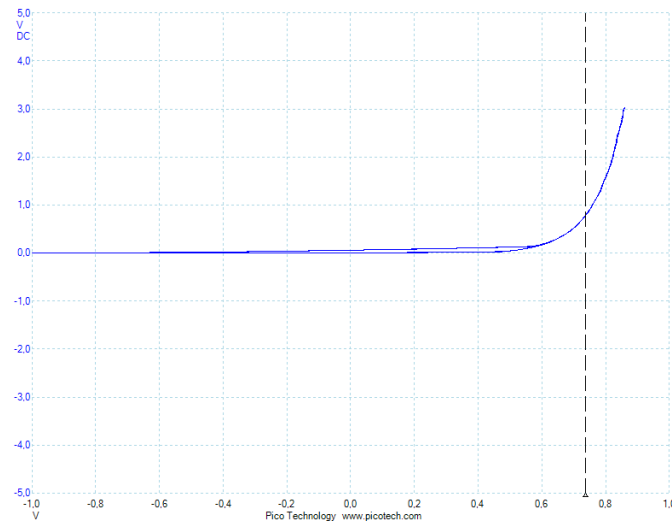
Die Spannungen am Referenzwiderstand und am Bauteil werden mit dem Oszilloskop abgegriffen und an die beiden Kanäle des Oszilloskops weitergegeben. Durch beide Bauteile muss derselbe Strom  $I$  fließen. Mit dem Ohmschen Gesetz lässt sich so der Widerstand des Bauteils  $R_{\text{Bauteil}}$  (in Abhängigkeit von  $U_{\text{Bauteil}}$ ) bestimmen. Es gilt

$$I = \frac{U_{\text{ref}}}{R_{\text{ref}}} = \frac{U_{\text{Bauteil}}}{R_{\text{Bauteil}}} \quad \Rightarrow \quad R_{\text{Bauteil}} = R_{\text{ref}} \frac{U_{\text{Bauteil}}}{U_{\text{ref}}}. \quad (2.1)$$

Im Folgenden wird immer die Spannung am Referenzwiderstand  $U_{\text{ref}}$  (Kanal A) über der Spannung am Bauteil  $U_{\text{Bauteil}}$  (Kanal B) aufgetragen. Da der Referenzwiderstand konstant ist, ist die Spannung am Referenzwiderstand (Kanal A) proportional zur Stromstärke  $I$ . Aus diesem Grund ergibt sich die Kennlinie  $I$  über  $U_{\text{Bauteil}}$  um den konstanten Faktor  $R_{\text{ref}}$  gestreckt.

### 2.1.1 Silizium-Diode SID

Als erstes wird eine Siliziumdiode untersucht. Die Kennlinie dieser Diode ist in Abbildung 2.3 zu sehen.



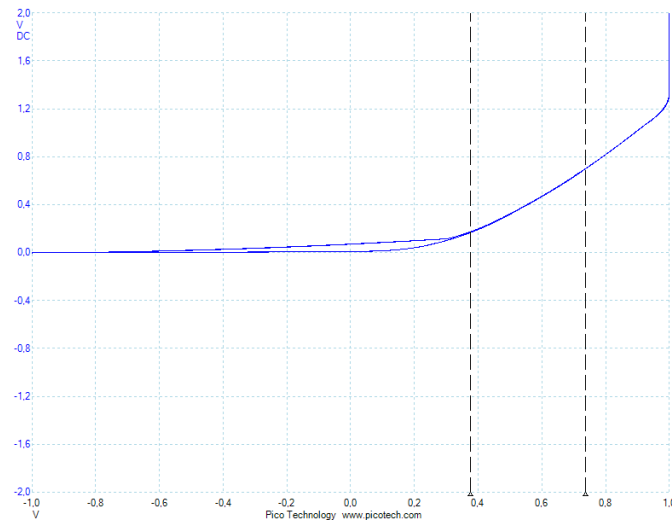
**Abbildung 2.3:** Kennlinie der Silizium-Diode

Die Schwellspannung wird zu 736 mV bestimmt. Die Durchbruchsspannung wird bei der Messung nicht erreicht.

Da nicht die genaue Bezeichnung der verwendeten Diode bekannt ist, kann der genaue Literaturwert für diese Diode nicht im entsprechenden Datenblatt nachgeschlagen werden. Nach [Kom20] liegt der erwartete Wert der Schwellspannung für Siliziumdioden bei rund 0,7 V, was im Einklang mit der Messung ist.

### 2.1.2 Germanium-Diode GED

Nun wird die Germaniumdiode untersucht. Die Kennlinie dieser Diode ist in Abbildung 2.4 zu sehen.



**Abbildung 2.4:** Kennlinie der Germanium-Diode

Die Schwellspannung wird zu 375 mV bestimmt. Die Durchbruchsspannung wird auch bei dieser Messung nicht erreicht.

Da auch hier nicht die genaue Bezeichnung der verwendeten Diode bekannt ist, kann der genaue Literaturwert für diese Diode nicht im entsprechenden Datenblatt nachgeschlagen

werden. Nach [Kom20] liegt der erwartete Wert der Schwellspannung für Germaniumdioden bei rund 0,3 V, was auch hier im Einklang mit der Messung ist.

### 2.1.3 Zener-Diode ZED

Die Zener-Diode ist darauf ausgelegt, auch in die Sperrichtung betrieben zu werden. Bei der Kennlinie in Abbildung 2.5 ist deshalb auch der Durchbruchbereich erkennbar.

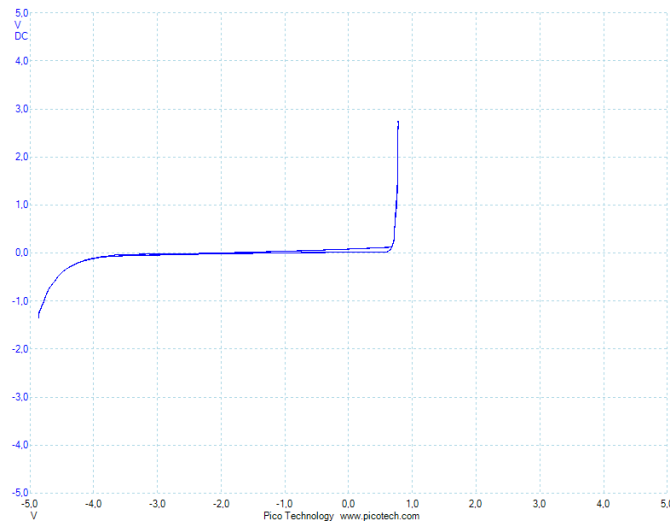


Abbildung 2.5: Kennlinie der Zener-Diode

Die Schwellspannung wird zu 729 mV bestimmt. Die Durchbruchsspannung, hier auch Zenerspannung genannt, wird auch bei dieser Messung erreicht und beträgt  $-4392 \text{ mV}$ , also rund das sechsfache der Schwellspannung.

### 2.1.4 Varistor VDR

Der Varistor ist ein spannungsabhängiger Widerstand. Die Erwartung beim Varistor ist, dass bei diesem die linke und rechte Schwellspannung im Betrag identisch sind, da der Varistor wie ein Widerstand invariant unter Verpolung sein sollte. Die Kennlinie ist in Abbildung 2.6 zu sehen.

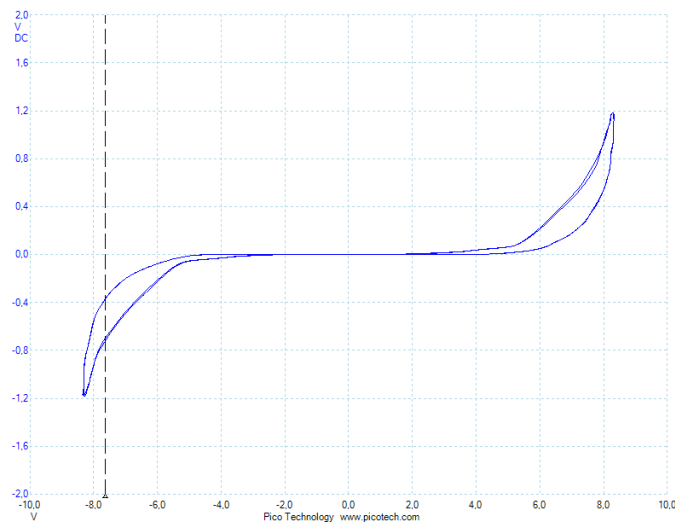


Abbildung 2.6: Kennlinie des Varistors

In der Kennlinie ist die erwartete Symmetrie zu sehen. Die rechte Schwellspannung beträgt 8,1 V und die linke Schwellspannung beträgt  $-7,64\text{ V}$ . Die gemessene linke und rechte Schwellspannung sind somit vom Betrag relativ nah zusammen, die Differenz lässt sich durch Ungenauigkeiten bei der Messung (Lineal am Monitor) erklären.

### 2.1.5 Photodiode

Als erstes optisches Bauteil wird die Photodiode betrachtet. Die Kennlinie der Photodiode ist in Abbildung 2.7 zu sehen.

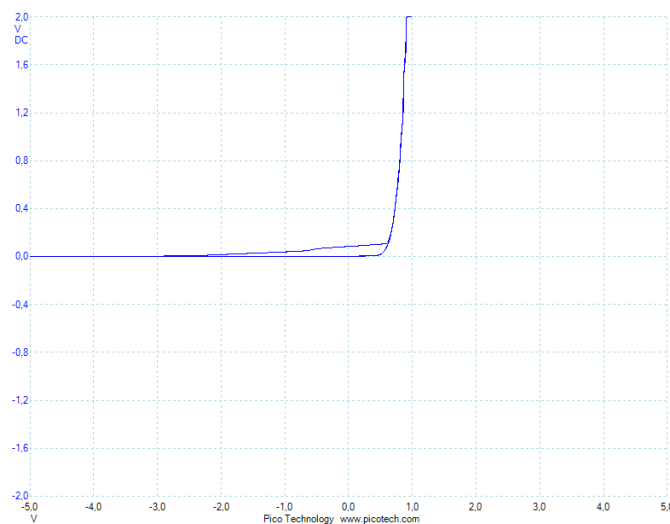
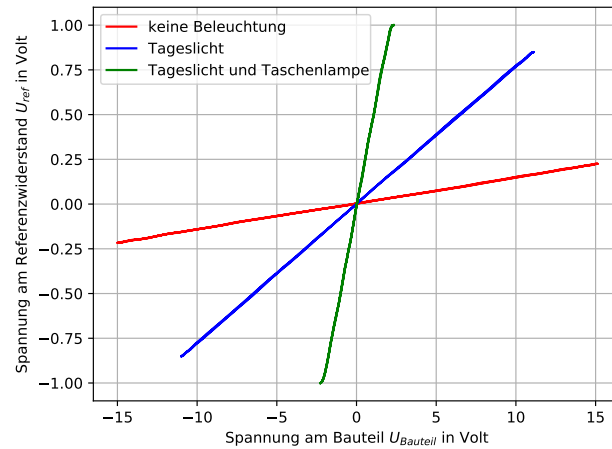


Abbildung 2.7: Kennlinie der Photodiode

Die Schwellspannung der Photodiode beträgt rund 0,6 V. Allerdings ließ sich bei der Photodiode keine Abhängigkeit der Kennlinie zum einfallenden Licht beobachten. Weder das Abdecken der Diode noch das Beleuchten mit der Taschenlampe hat eine Auswirkung auf die Kennlinie. Vermutlich reicht die Intensität des einfallenden Lichtes schlicht nicht aus, um größere Änderung an der Photodiode zu verursachen.

### 2.1.6 Photowiderstand

Im Gegensatz zur Photodiode ist bei dem Photowiderstand klar eine Reaktion auf veränderte Einstrahlung erkennbar. Hier wurden drei Messreihen der Kennlinie aufgenommen, eine bei Tageslicht, eine bei Dunkelheit (Sensor zugehalten) und eine bei verstärkter Beleuchtung durch eine Taschenlampe. Die drei Kennlinien sind in Abbildung 2.8 zu sehen.



**Abbildung 2.8:** Kennlinien des Photowiderstandes für unterschiedliche Beleuchtungen

Da der Photowiderstand nur ein Widerstand ist, ist keine Schwellspannung erkennbar. Die Kennlinien sind jeweils nur Geraden, was aus dem Ohmschen Gesetz folgt.

Über eine Regression wird die Steigung der Kennlinien bestimmt. Nach Gleichung 2.1 gilt für die Steigung  $\alpha$  der Kennlinie  $U_{\text{ref}}$  über  $U_{\text{Bauteil}}$ , dass  $\alpha = R_{\text{ref}}/R_{\text{Bauteil}}$  ist. Daraus folgt

$$R_{\text{Bauteil}} = \frac{R_{\text{ref}}}{\alpha}. \quad (2.2)$$

Die sich so ergebenden Widerstände für die drei betrachteten Fälle sind in Tabelle 2.1 zu sehen.

**Tabelle 2.1:** Widerstand des Photowiderstandes für unterschiedliche Beleuchtungen

Beleuchtung	Photowiderstand $R_{\text{Bauteil}}$ in $\Omega$
Dunkelheit	6852
Tageslicht	1284
Tageslicht und Taschenlampe	333

Es lässt sich gut erkennen, dass der Widerstand des Photowiderstandes sich mit der Beleuchtungsstärke reduziert. Das entspricht der Erwartung am Photowiderstand. Da die genaue Beleuchtungsstärke der drei Messungen nicht bekannt ist, lässt sich keine genaue Aussage treffen.

Bei möglichen Anwendungsszenarien lässt sich z.B. ein Schaltungen denken, die auf starke oder schwache Beleuchtung reagieren müssen. Straßenlaternen können ab einem Grenzwert eingeschaltet werden oder bewegliche Solaranlagen können im optimalen Winkel ausgerichtet werden, um einige Beispiele zu nennen.

### 2.1.7 LED (vier verschiedene Werte)

Auch die bekannten LEDs sind nur, wie der Name sagt, Dioden, die zusätzlich noch Licht aussenden. In diesem Versuch wird die Kennlinie und insbesondere die Schwellspannung von LEDs in den vier Farben rot, orange, gelb und grün untersucht. Ein Plot der kombinierten Kennlinien der LEDs ist in Abbildung 2.9 zu sehen.

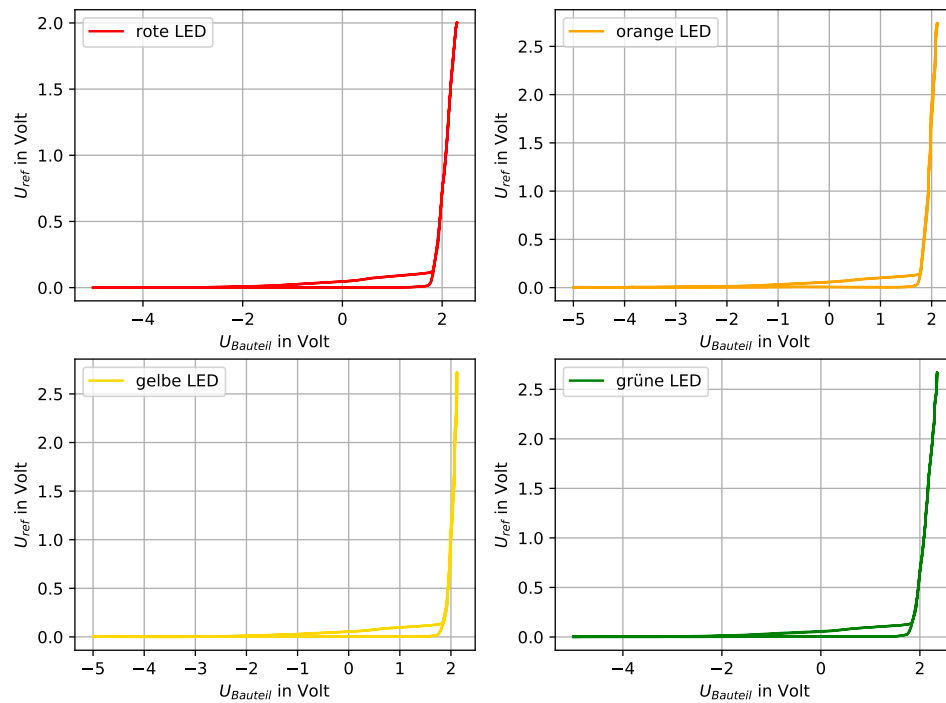


Abbildung 2.9: Kennlinien der LEDs

Die bestimmten Schwellspannungen der LEDs sind Tabelle 2.2 zu sehen. Die Tabelle ist nach steigenden Frequenzen sortiert.

**Tabelle 2.2:** Schwellspannungen der LEDs

Farbe	Schwellspannung $U_S$ in Volt
rot	1,833
orange	1,817
gelb	1,964
grün	1,939

Es wird erwartet, dass die Schwellspannung für Licht mit höherer Frequenz auch höher ist, da die einzelnen Photonen mehr Energie haben. Das wird bei dieser Messung leider nicht gemessen, da vermutlich die Messmethode zu ungenau ist. Dieser Trend ist jedoch teilweise erkennbar.

## 2.2 Verhalten bei hohen Frequenzen

Zuletzt soll noch das Verhalten der elektrischen Bauelemente für eine deutlich höhere Frequenz von 10 kHz untersucht werden. Dabei wird derselbe Versuchsaufbau verwendet, nur am Frequenzgenerator wird die höhere Frequenz eingestellt.

Es kann beobachtet werden, dass sich bei fast keinem Bauteil mehr eine Kennlinie beobachten lässt, nur noch eine kurze, flache Linie. Lediglich beim Photowiderstand lässt sich noch

dieselbe Kennlinie erkennen, allerdings ist die Amplitude deutlich abgeschwächt.

Der Grund hierfür ist die Trägheit der Elektronen. Elektronen brauchen eine gewisse Zeit, um zu beschleunigen, was darin resultiert, dass die Bauteile alle eine Schaltverzögerung haben. Wird die Stromrichtung geändert, bevor sich ein Strom messen lässt, löschen sich die Anregungen gegenseitig aus. Beim Widerstand ist die Verzögerung jedoch geringer, weil das Bauteil simpler aufgebaut ist und nicht erst ein Strom durch mehrere dotierte Schichten fließen muss. Allerdings ist auch hier die Amplitude deutlicher geringer, was auch daran liegt, dass die Elektronen nicht ganz beschleunigen.

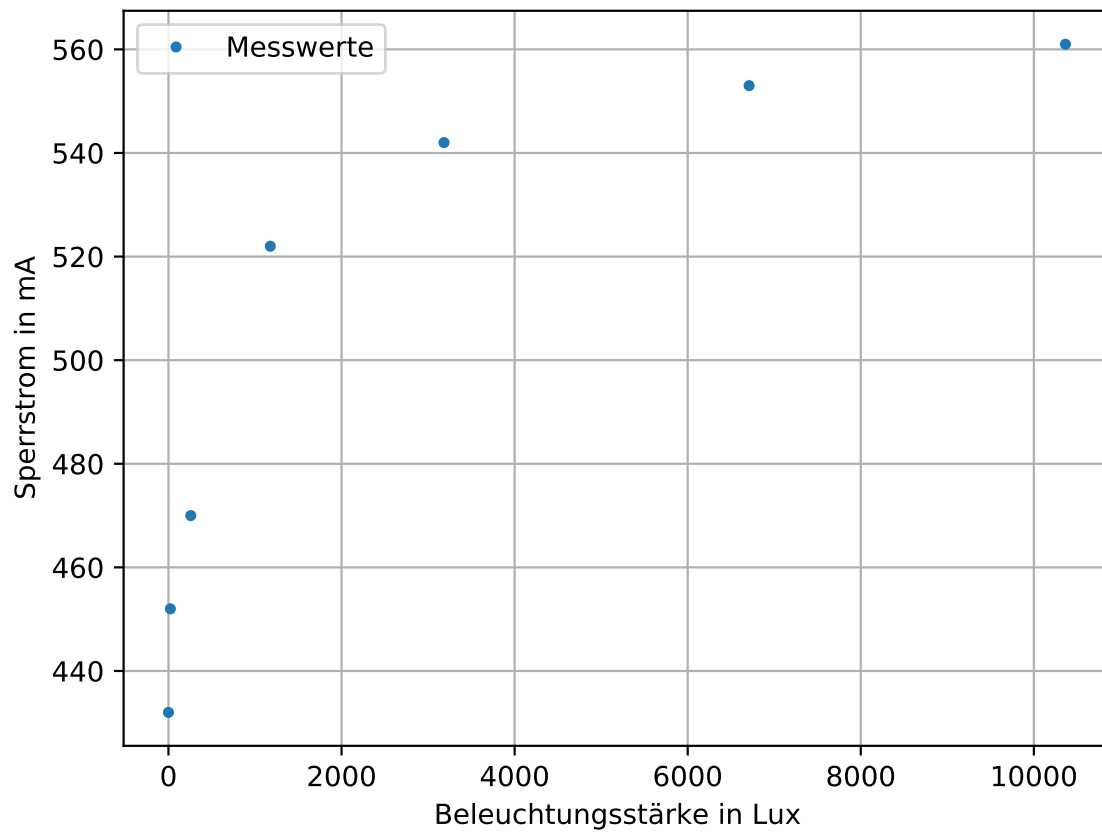


### 3. Verhalten eines Phototransistors

In diesem Versuchsteil wird das Verhalten eines Phototransistors untersucht. Dazu wird dieser unterschiedlichen Beleuchtungsstärken ausgesetzt. Die Schaltung ist identisch zu der im vorherigen Versuchsteil. Dabei wird die an einer Lampe anliegende Spannung von 1 V bis 13 V in 2 V Schritten variiert. Währenddessen wird die an einem  $100\,\Omega$  Referenzwiderstand abfallende Referenzspannung gemessen. Die Messwerte sind Tabelle 3.1 zu entnehmen. Mit der Eichkurve der Lampe kann die Beleuchtungsstärke bestimmt werden. Diese wird gegen den Sperrstrom aufgetragen, was in Abbildung 3.1 zu sehen ist. Dabei fällt auf, dass die Zunahme des Sperrstroms anfangs steil ist und danach abflacht, bis sich ein linearer Zusammenhang entwickelt.

**Tabelle 3.1:** Sperrstrom des Phototransistors für unterschiedliche Beleuchtungsstärken

Beleuchtungsstrom in V	Spannung am Widerstand in mV
0	416
1	432
3	452
5	470
7	522
9	542
11	553
13	561

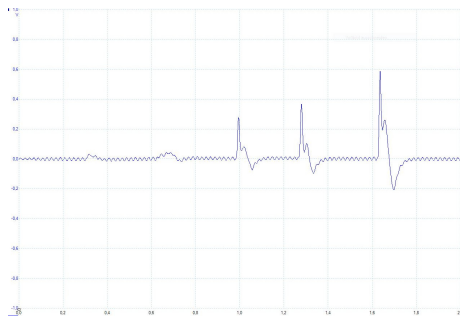


**Abbildung 3.1:** Temperaturabhängiger Widerstand des Hochtemperatursupraleiters

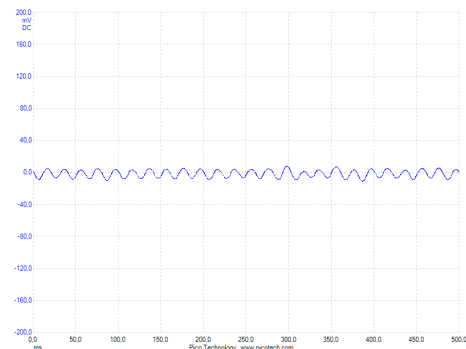
## 4. Piezoelektrischer Effekt

Der Piezoelektrische Effekt tritt bei Piezo-Kristallen auf. Werden auf einen dieser Kristalle mechanische Spannungen angelegt so kann daran eine elektrische Spannung gemessen werden (direkter Piezoeffekt). Dies kommt zustande, da sich in dem Kristallgitter mikroskopische elektrische Dipole durch die mechanischen Spannungen verschieben. Es kommt zu einer Ladungsverschiebung, welche in Form einer messbaren elektrischen Spannung deutlich wird. Der Effekt lässt sich auch umkehren, wobei der Kristall durch anlegen einer Spannung sich verformt (inverser Piezoeffekt).

In diesem Versuchsteil wird ein Piezokristall mit einem Oszilloskop untersucht. Dazu wird von Hand eine Kraft auf den Kristall ausgeübt. Weiterhin wird ein Lautsprecher in der Nähe des Kristalls aufgestellt. Die mit dem Oszilloskop gemessene Spannungskurve zeigt deutlich, dass der durch den Lautsprecher entsandte Schall vom Kristall aufgenommen wird. Die Oszilloskop-Aufnahmen sind in Abbildung 4.1 und 4.2 zu sehen. Nach Anschließen des Piezokristalls an einen Frequenzgenerator und Anlegen einer Frequenz von 2,33 KHz ist ein deutlich hörbarer Ton aus dem Kristall zu vernehmen.



**Abbildung 4.1:** Spannung am Piezo-Kristall nach Anregung von Hand



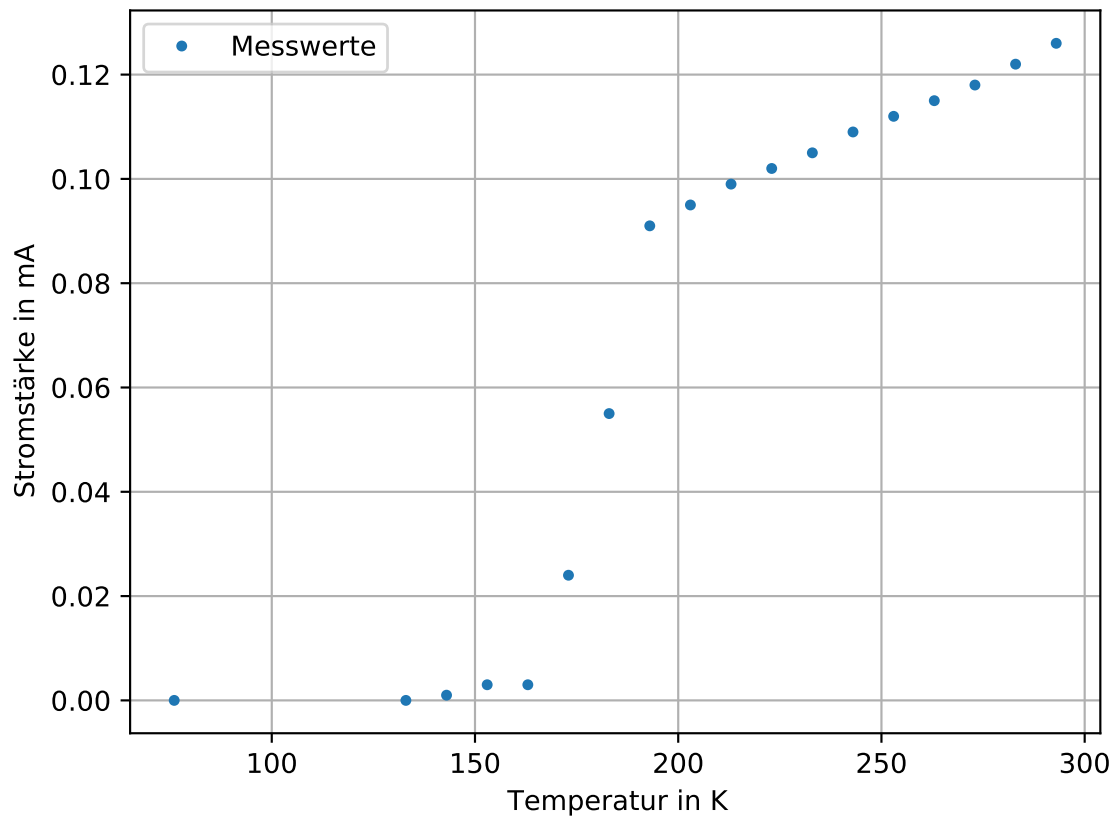
**Abbildung 4.2:** Spannung am Piezo-Kristall nach Anregung durch Lautsprecher

## 5. Supraleiter

In diesem Versuchsabschnitt wird die Temperaturabhängigkeit eines Hochtemperatursupraleiters untersucht. Dabei ist zu erwarten, dass bei geringen Temperaturen der Widerstand des Supraleiters vernachlässigbar klein wird. Der Supraleiter wird mit flüssigem Stickstoff heruntergekühlt. Während dem Herunterkühlen wird über eine Vierleiterschaltung der daran abfallende Widerstand gemessen, welche mit einer Konstantstromquelle ( $I = 63 \text{ mA}$ ) betrieben wird. Die Vierleiterschaltung wird verwendet, da der Widerstand des Supraleiters verschwindend klein wird und die Schaltung es ermöglicht, sehr kleine Widerstände präzise zu bestimmen. Die Messwerte zu diesem Versuch sind Tabelle 5.1 zu entnehmen. In Abbildung 5.1 wurden die Ströme über der Temperatur aufgetragen. Dabei ist zu erkennen, dass der Supraleiter ab einer Temperatur von weniger als ca.  $180 \text{ K}$  supraleitend wird.

**Tabelle 5.1:** Am Supraleiter abfallende Spannung für verschiedene Temperaturen

Temperatur in K	Stromstärke in mA
293	0,126
283	0,122
273	0,118
263	0,115
253	0,112
243	0,109
233	0,105
223	0,102
213	0,099
203	0,095
193	0,091
183	0,055
173	0,024
163	0,003
153	0,003
143	0,001
133	0,000
76	0,000



**Abbildung 5.1:** Temperaturabhängiger Widerstand des Hochtemperatursupraleiters

# Literaturverzeichnis

- [Kom20] Kompendium, Elektronik: *Diode / Halbleiterdiode*. <https://www.elektronik-kompendium.de/sites/bau/0201113.htm>, 2020. [Online; accessed 04-September-2020].
- [Ome20] Omega: *PT100 Formeln*. <https://www.omega.de/prodinfo/pt100-formel.html>, 2020. [Online; accessed 22-August-2020].
- [Wik20] Wikipedia: *Diode* — *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. <https://de.wikipedia.org/wiki/Diode>, 2020. [Online; accessed 22-August-2020].