

# Auswertung: Eigenschaften elektrischer Bauelemente

Christine Dörflinger (*christinedoerflinger@gmail.com*)

Frederik Mayer (*fmayer163@gmail.com*)

Gruppe Do-9

4. Juli 2012

# Inhaltsverzeichnis

1	Untersuchung der Temperaturabhängigkeit verschiedener Bauteile	3
1.1	NTC . . . . .	3
1.2	PT100 . . . . .	5
2	Kennlinien und Frequenzabhängigkeit unterschiedlicher Bauelemente	7
2.1	Aufnahme von Kennlinien . . . . .	7
2.2	Frequenzabhängigkeit einiger Bauteile . . . . .	10
3	Untersuchung des Piezoelektrischen Effekts am Piezoelement	11
4	Verhalten eines Phototransistors bei verschiedenen Beleuchtungsstärken	12
5	Sprungtemperatur eines Hochtemperatursupraleiters	14

# 1 Untersuchung der Temperaturabhängigkeit verschiedener Bauteile

Mit der Wheatstone'schen Brückenschaltung wurde hier die Temperaturabhängigkeit der Bauteile untersucht.

Dabei lässt sich der Widerstand des untersuchten Bauteils aus dem Ablesewert des Potentiometers für alle gemessenen Temperaturen folgendermaßen bestimmen:

$$R_x = \frac{R_{\text{Poti}}}{10 \text{ k}\Omega - R_{\text{Poti}}} \cdot R_3 \quad (1)$$

## 1.1 NTC

Zunächst wurde der heißleitende NTC-Widerstand untersucht. Die Messung erfolgte mit  $R_3 = 1.2 \text{ k}\Omega$ . Hier wurde zunächst der Wert des NTC-Widerstands bei verschiedenen Temperaturen aufgetragen. Wie man sehen kann nimmt der Widerstand für hohe Temperaturen ab; die Eigenschaft "heißleitend" konnte somit gezeigt werden.

Um den Zusammenhang  $R(T) = a \cdot e^{\frac{b}{T}}$  zu zeigen, wurde die Messung anschließend logarithmisch aufgetragen. Es gilt:

$$\ln[R(T)] = \frac{b}{T} + \ln(a) \quad (2)$$

Es ergibt sich:

- $b = 3034 \text{ K}$
- $\ln(a) = -1.311 \implies a \approx 0.270\Omega$

Somit verhält sich der Widerstand des NTC folgendermaßen mit der Temperatur:

$$R(T) = 0.270\Omega \cdot e^{\frac{3034\text{K}}{T}} \quad (3)$$

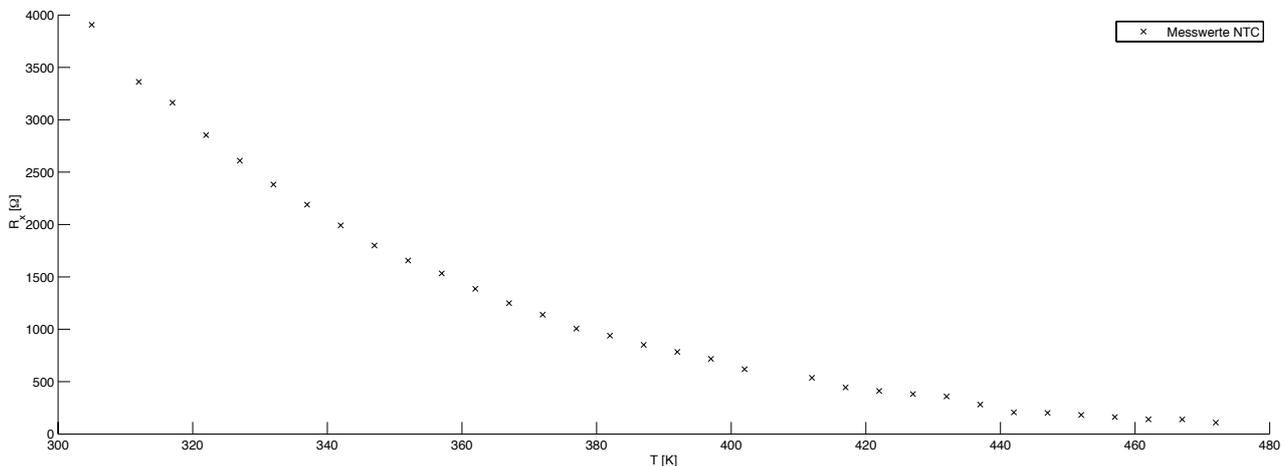


Abbildung 1: Messwerte NTC

Tabelle 1: Messwerte zu Aufg. 1: NTC

T [K]	$R_{\text{Poti}}$ [k $\Omega$ ]	$10 - R_{\text{Poti}}$ [k $\Omega$ ]	$R_x$ [ $\Omega$ ]
33	7,650	2,350	3906,38
40	7,370	2,630	3362,74
45	7,250	2,750	3163,64
50	7,040	2,960	2854,05
55	6,850	3,150	2609,52
60	6,650	3,350	2382,09
65	6,460	3,540	2189,83
70	6,240	3,760	1991,49
75	6,000	4,000	1800,00
80	5,800	4,200	1657,14
85	5,610	4,390	1533,49
90	5,360	4,640	1386,21
95	5,100	4,900	1248,98
100	4,870	5,130	1139,18
105	4,560	5,440	1005,88
110	4,390	5,610	939,04
115	4,150	5,850	851,28
120	3,950	6,050	783,47
125	3,740	6,260	716,93
130	3,400	6,600	618,18
140	3,090	6,910	536,61
145	2,704	7,296	444,74
150	2,550	7,450	410,74
155	2,410	7,590	381,03
160	2,300	7,700	358,44
165	1,900	8,100	281,48
170	1,470	8,530	206,80
175	1,440	8,560	201,87
180	1,320	8,680	182,49
185	1,190	8,810	162,09
190	1,050	8,950	140,78
195	1,040	8,960	139,29
200	0,830	9,170	108,62

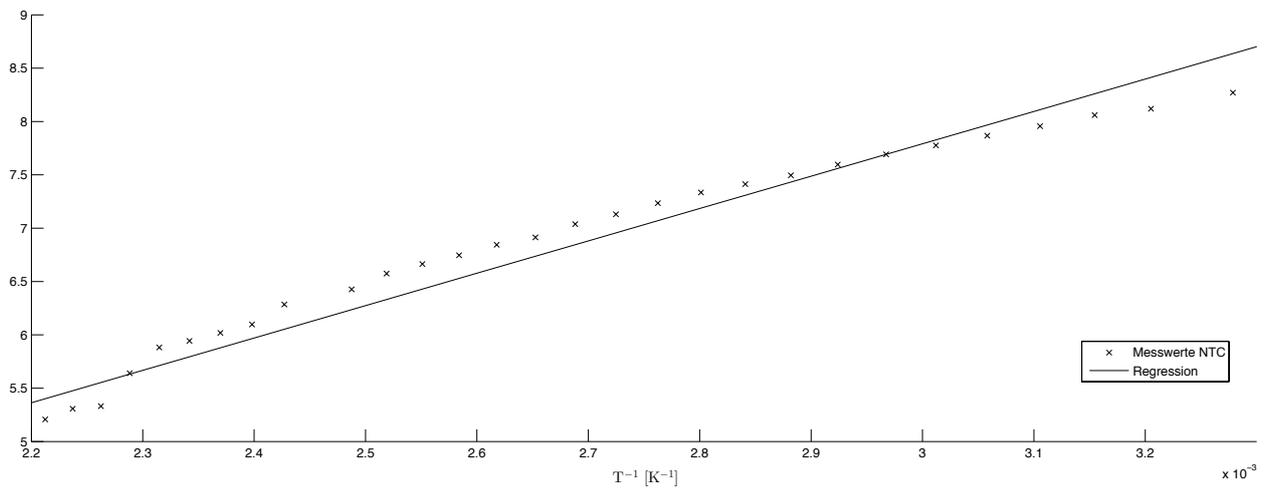


Abbildung 2: Messwerte NTC: logarithmisch aufgetragen mit Regression

## 1.2 PT100

Für die Messung mit des kaltleitenden Widerstands PT100 wurde  $R_3 = 100\Omega$  verwendet. Mittels linearer Regression bestimmen wir die Koeffizienten aus  $R(T) = R_0 + c \cdot T$ . Aus der Regression erhielten wir:

- $R_0 = 27.59\Omega$
- $c = 0.2817 \frac{\Omega}{K}$

$$R(T) = 27.59\Omega + 0.2817 \cdot T \frac{\Omega}{K} \quad (4)$$

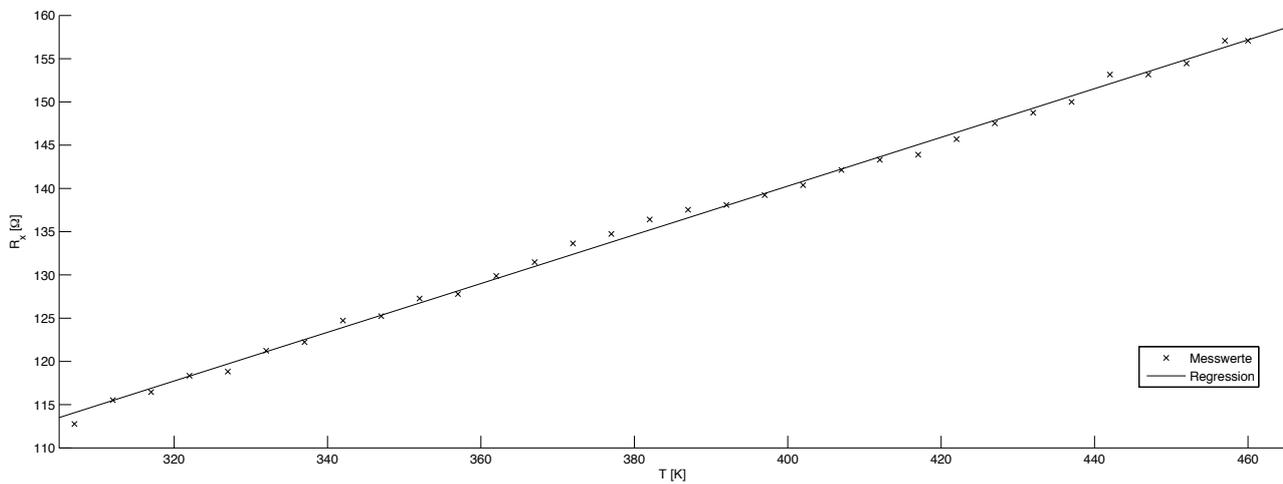


Abbildung 3: Messwerte PT100 mit Regression

Tabelle 2: Messwerte Aufg. 1: PT100

T [K]	$R_{\text{Poti}}$ [k $\Omega$ ]	$10 - R_{\text{Poti}}$ [k $\Omega$ ]	$R_x$ [ $\Omega$ ]
35	5,30	4,70	112,77
40	5,36	4,64	115,52
45	5,38	4,62	116,45
50	5,42	4,58	118,34
55	5,43	4,57	118,82
60	5,48	4,52	121,24
65	5,50	4,50	122,22
70	5,55	4,45	124,72
75	5,56	4,44	125,23
80	5,60	4,40	127,27
85	5,61	4,39	127,79
90	5,65	4,35	129,89
95	5,68	4,32	131,48
100	5,72	4,28	133,64
105	5,74	4,26	134,74
110	5,77	4,23	136,41
115	5,79	4,21	137,53
120	5,80	4,20	138,10
125	5,82	4,18	139,23
130	5,84	4,16	140,38
135	5,87	4,13	142,13
140	5,89	4,11	143,31
145	5,90	4,10	143,90
150	5,93	4,07	145,70
155	5,96	4,04	147,52
160	5,98	4,02	148,76
165	6,00	4,00	150,00
170	6,05	3,95	153,16
175	6,05	3,95	153,16
180	6,07	3,93	154,45
185	6,11	3,89	157,07
188	6,11	3,89	157,07

## 2 Kennlinien und Frequenzabhängigkeit unterschiedlicher Bauelemente

### 2.1 Aufnahme von Kennlinien

Am USB-Oszilloskop wurden im X-Y-Betrieb die Kennlinien verschiedener Bauteile mittels der in der Vorbereitungshilfe angegebenen Schaltung aufgenommen. Die an die Bauteile angelegte Spannung hatte zunächst eine Frequenz von 100Hz.

- **Silizium-Diode**

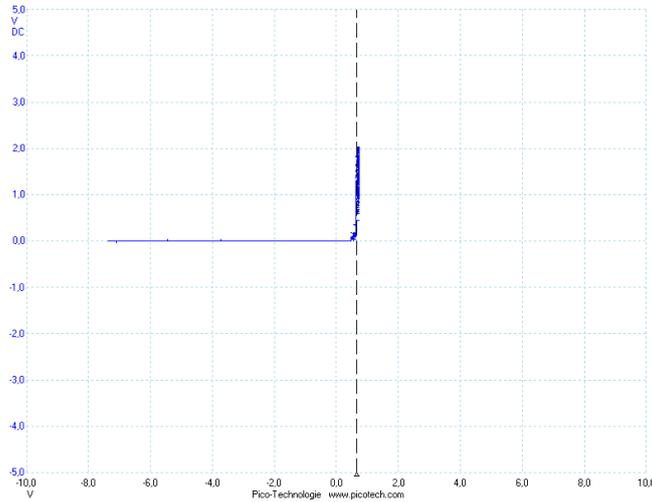


Abbildung 4: Kennlinie einer Silizium-Diode.

Der Knick, ab der die Diode durchlässig wird, ist deutlich zu erkennen. Mithilfe des Oszilloskops bestimmten wir den Spannungswert: Er liegt bei 660mV. Dies liegt nahe am Literaturwert von 0.7V.

- **Germanium-Diode**

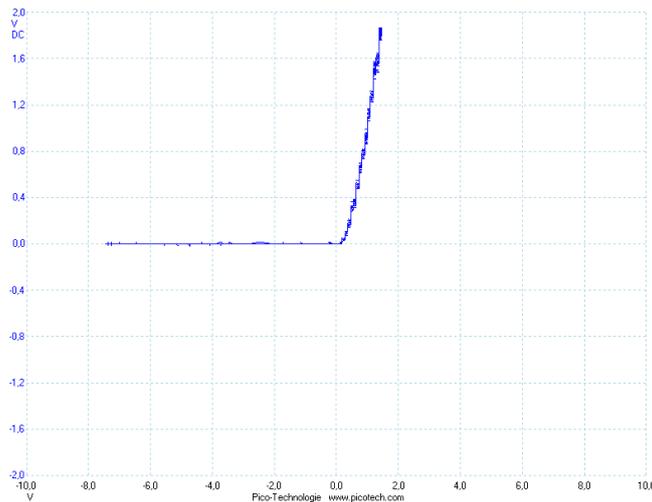


Abbildung 5: Kennlinie einer Germanium-Diode.

Auch hier ist der Knick wieder deutlich zu erkennen. Es wurde eine Schwellspannung von 460mV gemessen, indem ein Lineal an das Oszilloskop angelegt wurde und der Schnittpunkt mit der x-Achse bestimmt wurde. Dieser Wert weicht vom Literaturwert von 0.3V etwas ab.

- Zener-Diode

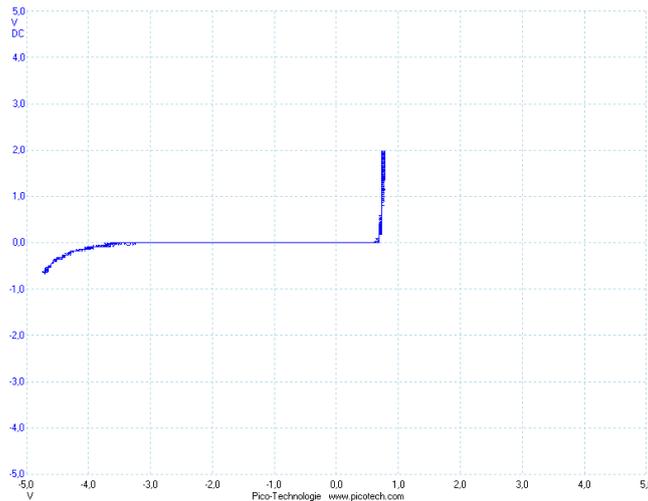


Abbildung 6: Kennlinie einer Zener-Diode.

Hier lag die Schwellspannung bei 697mV und damit sehr nahe bei den erwarteten 0.7V bei Silizium-Dioden. Die Durchbruchspannung, ab der die Zener-Diode in Sperrrichtung durchlässig wird, lag bei -3.59V.

Die Zener-Diode könnte also wie in der Vorbereitung erläutert zur Spannungsstabilisierung verwendet werden.

- Varistor

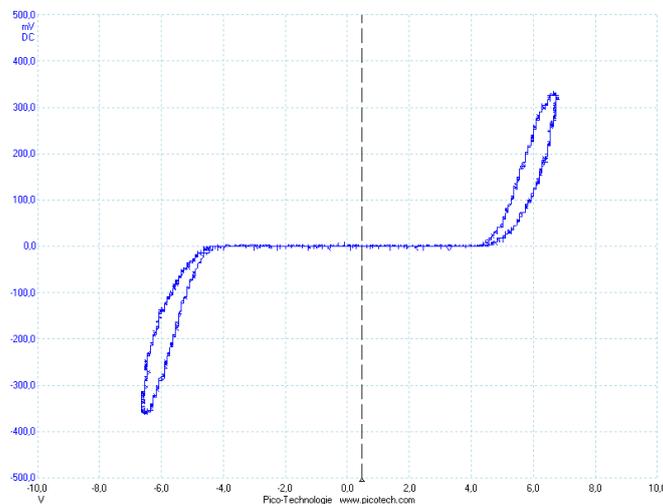


Abbildung 7: Kennlinie eines Varistors.

Der Varistor ist ein Widerstand, dessen Widerstandswert ab einer bestimmten Spannung einbricht. Im Gegensatz zur Zener-Diode ist dieser Effekt aber nicht richtungsabhängig. Wir legten das Lineal an jeweils die 'innere' der beiden Schleifen an und bestimmten dann den Schnittpunkt mit der x-Achse. Links maßen wir dann eine Durchbruchspannung von 4.81V, rechts eine von 4.73V. Wie erwartet sind diese Spannungen ungefähr gleich.

- **Photo-Diode**

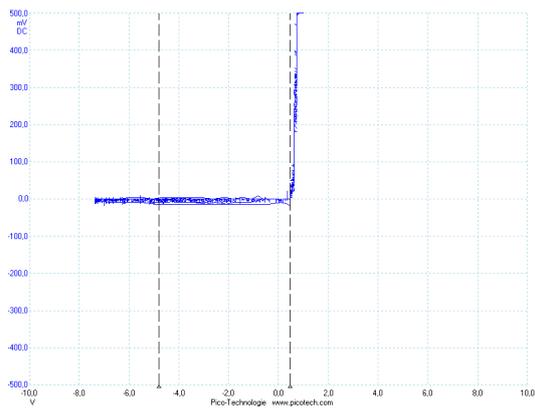


Abbildung 8: Kennlinie einer Photodiode ohne Beleuchtung.

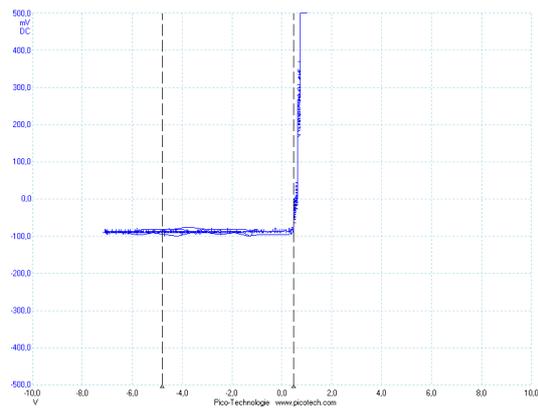


Abbildung 9: Kennlinie einer Photodiode mit Beleuchtung.

Es ist deutlich zu erkennen, dass der Widerstand bei Beleuchtung abnimmt. Der 'flache' Teil der Kurve liegt ohne Beleuchtung ungefähr bei 0V, es fließt also fast kein Strom. Bei Beleuchtung nimmt die Stromstärke zu. Die Photodiode könnte also als Helligkeitssensor benutzt werden.

- **Photo-Widerstand**

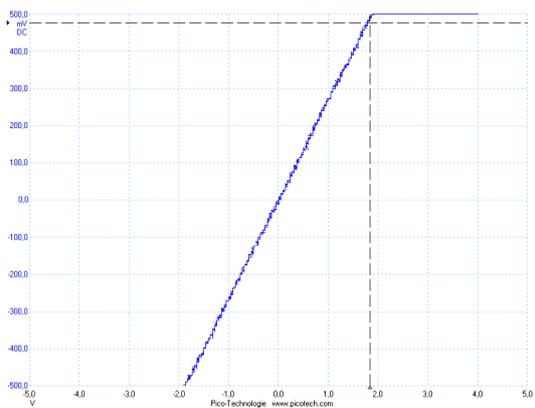


Abbildung 10: Kennlinie eines Photowiderstands ohne Beleuchtung.

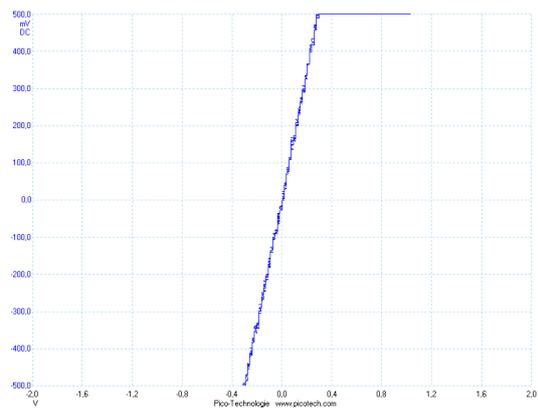


Abbildung 11: Kennlinie eines Photowiderstands mit Beleuchtung.

Der Photowiderstand hat einen Lichtintensitätsabhängigen Widerstandswert. Dies ist bereits direkt aus den Schaubildern ersichtlich, da die Steigung der Strom-Spannungs-Kurve bei Beleuchtung zunimmt. Da die Stromstärke linear proportional zur Spannung ist, kann der Widerstand durch die Aufnahme eines Wertepaares  $U, I$  bestimmt werden.

Im Versuch nahmen wir  $U_y, U_x$  auf (siehe Cursorsen linke Abbildung), aus denen sich der Widerstand folgendermaßen bestimmen lässt:

$$R = \frac{U_x}{I} = R \cdot \frac{U_y}{U_x} \quad (5)$$

Damit ergibt sich ohne Beleuchtung ein Widerstand von ungefähr  $25000\Omega$ , mit Beleuchtung ein Widerstand von  $170\Omega$ . Bei Beleuchtung nimmt der Widerstand also ab. Der Photowiderstand könnte also wie die Photodiode als Helligkeitssensor benutzt werden.

- LEDs

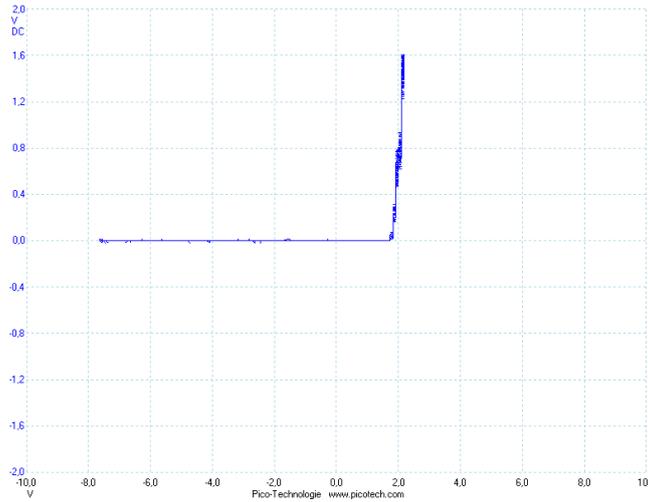


Abbildung 12: Kennlinie einer grün leuchtenden LED.

Die Kennlinie der unterschiedlichen LEDs sah qualitativ gleich aus. Allerdings unterschieden sich die Schwellenspannungen:

Tabelle 3: Schwellenspannungen der LEDs unterschiedlicher Farben

grün	gelb	rot	orange
1.82V	1.82V	1.77V	1.74V

Aus den Werten ist ungefähr erkennbar, dass die Schwellenspannung mit zunehmender Frequenz des emittierten Lichtes auch zunimmt. Dies lässt sich dadurch erklären, dass bei höherfrequentem Licht der Abstand zwischen Leitungs- und Valenzband auch größer sein muss.

## 2.2 Frequenzabhängigkeit einiger Bauteile

Nun sollte die Frequenzabhängigkeit einiger Bauteile bei ungefähr 10 kHz untersucht werden. Wieder nahmen wir die Kennlinien der Bauteile auf:

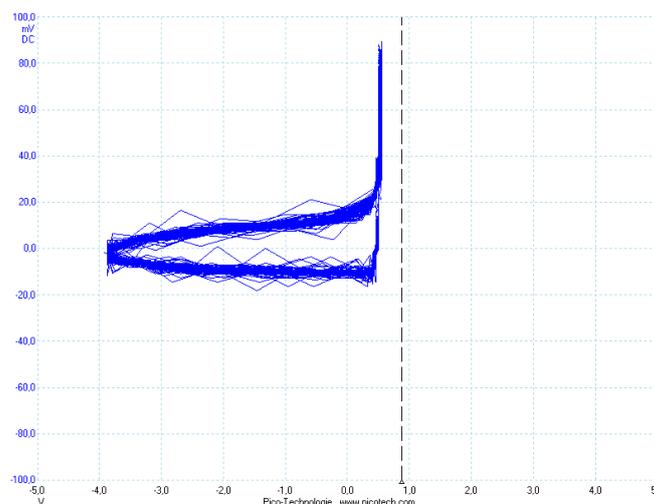


Abbildung 13: Kennlinie einer Silizium-Diode bei 10 kHz

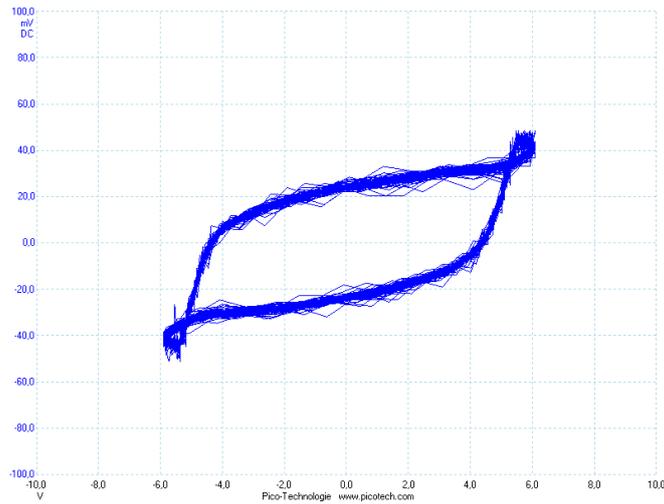


Abbildung 14: Kennlinie eines Varistors bei 10 kHz

Es ist deutlich zu erkennen, dass die Stromstärke bei Diode und Varistor im Sperrbereich nicht 0 wird. Dies liegt daran, dass einige Zeit benötigt wird, um im Halbleiter eine Sperrschicht aufzubauen. Bei hohen Frequenzen fließt also trotzdem ein Strom.

### 3 Untersuchung des Piezoelektrischen Effekts am Piezoelement

Zunächst sollte der Piezoelektrische Effekt beobachtet werden, indem die vom Piezoelement bei manuellem Druck erzeugten Spannungen am USB-Oszilloskop beobachtet wurden.

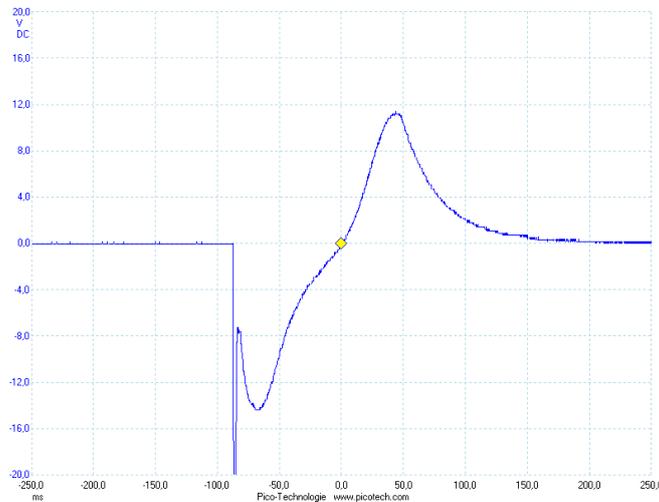


Abbildung 15: Spannung am Piezoelement bei Ausübung von Druck mit dem Finger

Anschließend wurde ein Lautsprecher an einen Spannungsgenerator angeschlossen und auf das Piezoelement gelegt:

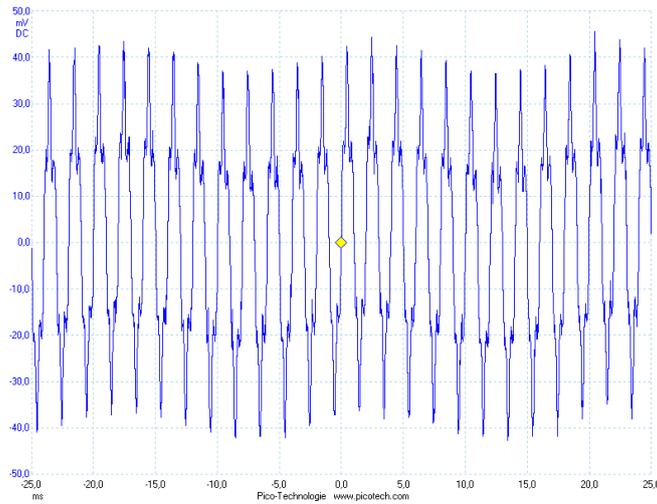


Abbildung 16: Spannung am Piezoelement, Sinusspannung mit 500Hz am Lautsprecher

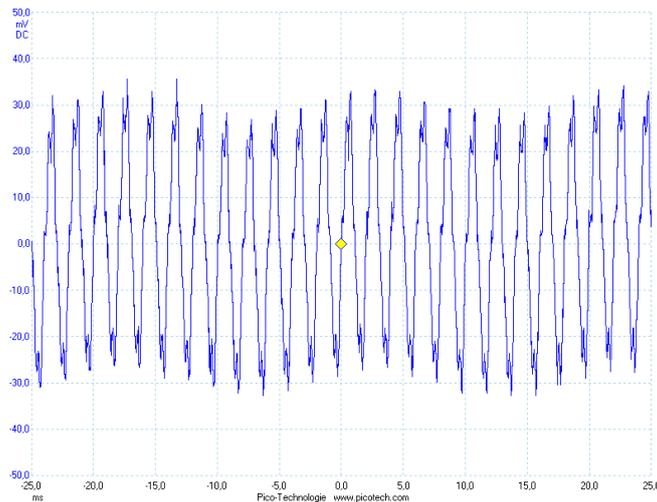


Abbildung 17: Spannung am Piezoelement, Dreieckspannung mit 500Hz am Lautsprecher

Sinus- und Dreieckspannung wurden also vom Lautsprecher leidlich gut an das Piezoelement übertragen. Das Piezoelement ließ sich also als eine Art Mikrofon verwenden. Außerdem legten wir eine Rechteckspannung an. Da der verwendete Lautsprecher Rechteckspannungen wohl nicht gut wiedergeben konnte, ergab sich kein schönes Schaubild, das deshalb an dieser Stelle auch nicht eingefügt wird.

Anschließend schlossen wir den Spannungsgenerator an das Piezoelement an. Bei niedrigen angelegten Frequenzen spürte man Vibrationen am Piezoelement. Legte man höhere Frequenzen an, so ließen sich auch (hohe) Töne hören.

Der Piezoelektrische Effekt könnte also zur Messung von Kräften oder Drücken verwendet werden. Außerdem könnten kleine Lautsprecher oder Mikrofone gebaut werden. Der Effekt wird außerdem genutzt, um Piezozünder zu bauen, in denen auf einen Piezokristall kurzzeitig ein hoher Druck ausgeübt wird, um eine hohe elektrische Spannung zu erzeugen.

#### 4 Verhalten eines Phototransistors bei verschiedenen Beleuchtungsstärken

In diesem Versuch wurden aus Kennlinien eines Phototransistors bei verschiedenen Beleuchtungsstärken die jeweiligen Sperrströme entnommen.

Über die Spannung an einer Lampe konnte der Phototransistor mit verschiedenen Intensitäten beleuchtet werden. Aus der Literaturliste konnten die Helligkeiten für die jeweiligen Lampenspannungen abgelesen

werden.

Die Stromstärke  $I$  konnte bestimmt werden, da wir erneut  $R_{\text{ref}} = 100\Omega$  als Referenzwiderstand verwendet haben ( $I = \frac{U}{R}$ ).

Tabelle 4: Ergebnisse zu Aufg. 3

$U_{\text{Lampe}}$ [V]	Helligkeit [Lux]	$U_I$ [mV]	$I$ [mA]
0,0	0	0,0	0,000
0,5	0	0,0	0,000
1,0	0	0,0	0,000
1,5	0	0,0	0,000
2,0	2	1,0	0,010
2,5	7	1,4	0,014
3,0	22	2,0	0,020
3,5	45	2,5	0,025
4,0	84	3,1	0,031
4,5	148	3,8	0,038
5,0	258	4,5	0,045
5,5	381	6,2	0,062
6,0	560	7,5	0,075
6,5	876	9,3	0,093
7,0	1177	10,5	0,105
7,5	1566	12,5	0,125
8,0	2010	15,1	0,151
8,5	2545	17,1	0,171
9,0	3184	19,5	0,195
9,5	3905	21,8	0,218
10,0	4695	24,4	0,244
10,5	5695	27,3	0,273
11,0	6710	29,8	0,298
11,5	7730	33,2	0,332
12,0	9155	35,5	0,355
12,5	10365	38,9	0,389

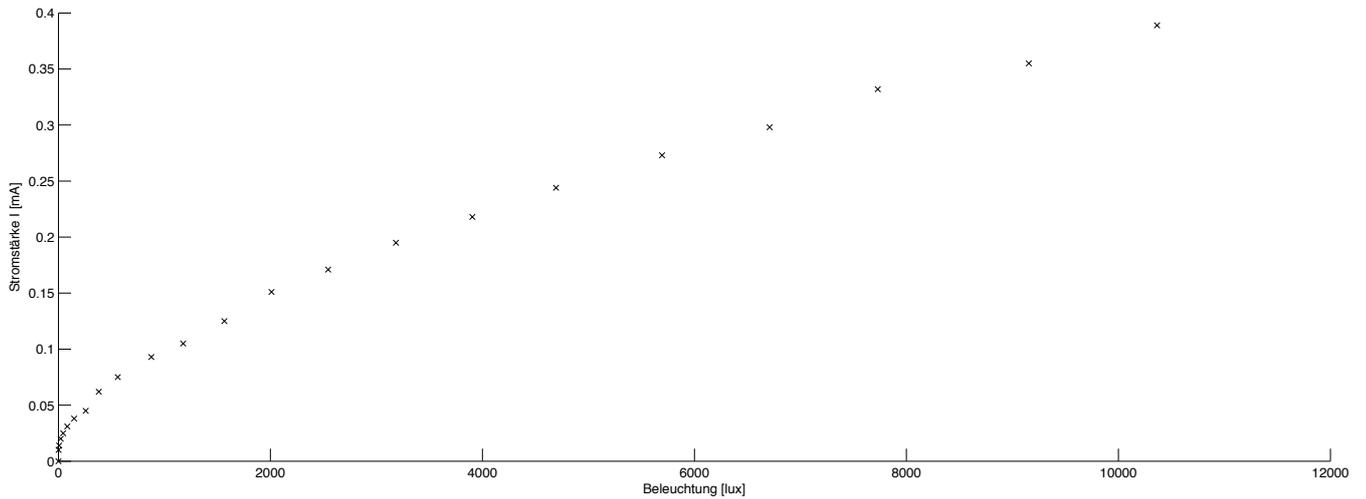


Abbildung 18: Aufg. 3: Sperrstrom in Abhängigkeit von der Beleuchtungsstärke

Man kann erstens erkennen, dass der Sperrstrom mit zunehmender Intensität ansteigt und zweitens, dass diese Zunahme (die Steigung) bei geringeren Intensitäten größer ist als bei den höheren.

## 5 Sprungtemperatur eines Hochtemperatursupraleiters

In dieser Aufgabe sollte die Sprungtemperatur eines Hochtemperatursupraleiters bestimmt werden. Dazu wurde an einen Supraleiter, der mit flüssigem Stickstoff langsam abgekühlt wurde, eine konstante Stromstärke  $I_{const} = 2.5mA$  angelegt und die Spannung am Supraleiter gemessen. Zur Messung wurde eine bereits fertig aufgebaute Vierleiterschaltung verwendet. Außerdem wurde die Temperatur direkt neben dem Supraleiter mit einem Thermometer bestimmt.

Nun wurde der Widerstand in Abhängigkeit von der Temperatur berechnet:

Tabelle 5: Widerstand des Supraleiters in Abhängigkeit von der Temperatur

T in °C	U in mV	R in Ohm	T in °C	U in mV	R in Ohm
31,7	1,8	0,72	-130	0,47	0,188
20,2	2,25	0,9	-135	0,46	0,184
10,2	1,88	0,752	-140	0,45	0,18
0,5	1,73	0,692	-145	0,44	0,176
-10	1,46	0,584	-150	0,38	0,152
-20	1,31	0,524	-155	0,38	0,152
-30	1,15	0,46	-160	0,38	0,152
-40	1	0,4	-165	0,39	0,156
-50	0,95	0,38	-170	0,4	0,16
-60	0,75	0,3	-175	0,4	0,16
-70	0,68	0,272	-180	0,41	0,164
-90	0,62	0,248	-185	0,45	0,18
-100	0,55	0,22	-190	0,57	0,228
-105	0,52	0,208	-190	0,15	0,06
-110	0,51	0,204	-195	0,11	0,044
-115	0,48	0,192	-198,6	0,12	0,048

Daraus ergibt sich folgendes Schaubild:

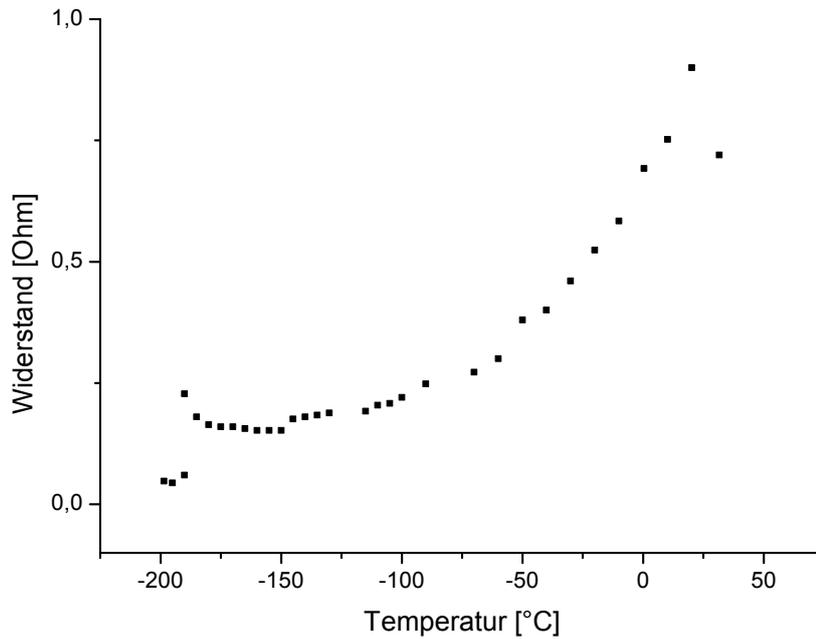


Abbildung 19: Widerstand des Supraleiters in Abhängigkeit von der Temperatur

Der Widerstand des Supraleiters nimmt also mit sinkender Temperatur zunächst wie bei allen Metallen zunächst ab. Der Messwert bei der gemessenen Temperatur stellt mit Sicherheit einen Messfehler dar. Ebenso sollte der Widerstand mit sinkender Temperatur nicht zunehmen, wie er es im Bereich zwischen -175 und 200 Grad Celsius kurz tut. Möglicherweise entsprach die vom Thermometer gemessene Temperatur nicht genau der Temperatur des Supraleiters.

Die Sprungtemperatur lag bei unseren Messungen bei ungefähr -190 Grad: Für diese Temperatur nahmen wir zwei Messwerte auf, da die Spannung genau an diesem Punkt abfiel.

Diese Temperatur muss jedoch noch leicht korrigiert werden, da das Thermometer für niedrige Temperaturen leicht verfälschte Werte anzeigt. Eine entsprechende Tabelle ist auf dem Aufgabenblatt abgedruckt. Der Tabelle zufolge müssen wir die Temperatur um ungefähr  $1,4^{\circ}\text{C}$  nach oben korrigieren, womit die von uns gemessene Sprungtemperatur ungefähr bei  $-189^{\circ}\text{C}$  läge. Da in der Aufgabenstellung nicht angegeben ist, um was für einen Supraleiter es sich hierbei handelte, kann dieser Wert leider nicht mit Literaturwerten verglichen werden.