

Prak.: P2 Semester: SS17 Wochentag: Mo Gruppennr.: 22

Name: Becker 2Vorname: Alexander

Name: Voigtlaender Vorname: Tim

Emailadresse(n): uxehi@student.kit.edu, uoefa@student.kit.edu

Versuch: Elektrische Bauelemente (P2-52) Fehlerrech.: Nein

Betreuer: Durchgeführt am: 29.05.201

Wird vom Betreuer ausgefüllt.

1. Abgabe am:

Rückgabe am:	Begründung:
--------------	-------------

2. Abgabe am:

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

Datum: _____ Handzeichen: _____

Bemerkungen:

Inhaltsverzeichnis

1	Aufgabe 1: Bestimmung Temperaturabhängiger Widerstände	1
1.1	Messung	1
1.2	Auswertung	2
1.2.1	NTC	2
1.2.2	PT100	3
2	Aufgabe 2: Kennlinien Elektrischer Bauelemente	4
2.1	Grundlagen	4
2.1.1	Halbleiter	4
2.1.2	Der P-N Übergang	4
2.1.3	Zenerdiode	5
2.1.4	Die Leuchtdiode	5
2.1.5	Varistor	5
2.1.6	Der Fotowiderstand	5
2.1.7	Die Fotodiode	5
2.2	Anwendungen von Zenerdiode und Varistor	6
2.3	Kennlinienvermessung verschiedener Bauelemente	6
2.3.1	Silizium Diode	7
2.3.2	Germaniumdiode	7
2.3.3	Zenerdiode	8
2.3.4	Varistor	8
2.3.5	Leuchtdioden	8
2.4	Photowiderstand	9
2.5	Fotodiode	10
2.6	Bemerkungen	10
3	Aufgabe 3: Verhalten eines Phototransistors unter verschiedenen Beleuchtungsstärken	16
4	Aufgabe 4: Der Piezoelektrische Effekt am Piezoelement	18
4.1	Grundlagen	18
4.1.1	Beobachtung des piezoelektrischen Effektes als Lautsprecher	19
4.1.2	Der Piezoelektrische Effekt	19
4.2	Anwendungen des Piezoeffektes	20
5	Aufgabe 5: Bestimmung der Sprungtemperatur eines Hochtemperatursupraleiters	21

Abbildungsverzeichnis

1.1	Aufbau einer Wheatstoneschen Brückenschaltung	1
1.2	Messwerte und Regressionskurve des Heißeiters (NTC)	2
1.3	Messwerte und Regressionskurve des Kaltleiters (PT100)	3
2.1	Rudimentäre Schaltungen zur Illustration von Zenerdiode und Varistor . . .	6
2.2	Schaltung zur Kennlinienaufnahme	7
2.3	Kennlinie der vermessenen Silizium Diode	8
2.4	Kennlinie der Siliziumdiode bei 10 kHz	9
2.5	Kennlinie der vermessenen Germanium-Diode	10
2.6	Kennlinie der vermessenen Zener-Diode	11
2.7	Kennlinie eines Varistors	12
2.8	Kennlinie der grünen LED	12
2.9	Kennlinie der gelben LED	13
2.10	Kennlinie der roten LED	13
2.11	Kennlinie der orangenen LED	14
2.12	Kennlinie der Photodiode bei zusätzlicher Beleuchtung	14
2.13	Kennlinie der Photodiode bei Raumlicht	15
3.1	Messwerte zu Aufgabe 3	17
4.1	Das Verhalten des Piezoelementes bei der Verformung mit den Fingern . . .	18
4.2	Das Piezoelement als Lautsprecher	19
4.3	Das Piezoelement als Mikrofon	20
5.1	Messwerte zu Aufgabe 5	22

Tabellenverzeichnis

2.1	Tabelle der gemessenen Schwellenspannung bei verschiedenen LED-Farben.	9
2.2	Tabelle der gemessenen Widerstände des Photoresistors.	10

1. Aufgabe 1: Bestimmung Temperaturabhängiger Widerstände

In diesem Versuch untersuchen wir temperaturabhängige Widerstände mithilfe einer Wheatstoneschen Brückenschaltung.

1.1 Messung

Um die Widerstände möglichst präzise zu messen, nutzen wir eine Wheatstonesche Brückenschaltung. Dies hat den Vorteil, dass der gesuchte Widerstand äußerst genau gemessen werden kann. In unserem Fall handelt es sich bei R_1 und R_2 um ein $10\text{ k}\Omega$ Potentiometer. R_3 ist ein $1,2\text{ k}\Omega$ Referenzwiderstand und R_4 bezeichnet den zu messenden Widerstand NTC bzw. PT100. Wenn die Brückenspannung $U=0$ ist, gilt für die Wheatstonesche Brückenschaltung:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$$

Durch einsetzen und Umstellen der Gleichung ergibt sich:

$$R_{\text{gesucht}} = \frac{R_{\text{pot}} \cdot R_{\text{rev}}}{R_{\text{pot,max}} - R_{\text{pot}}}$$
$$R_{\text{rev}} = 1,2\text{ k}\Omega \quad R_{\text{pot,max}} = 10\text{ k}\Omega$$

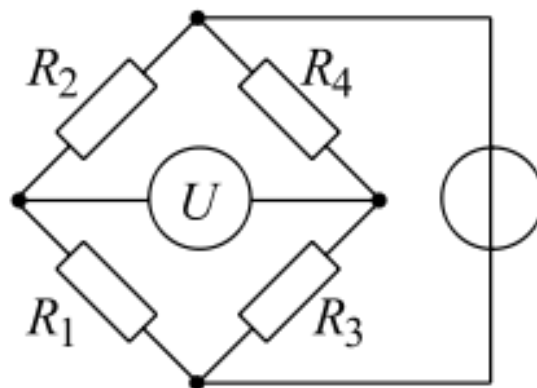


Abbildung 1.1: Aufbau einer Wheatstoneschen Brückenschaltung

Tabelle 1: Messwerte zu Aufgabe 1

Temp. in K	$R_{Pot}(NTC)$ in $k\Omega$	$R_{Pot}(PT100)$ in $k\Omega$
30	7,64	0,75
40	7,28	0,77
50	6,97	0,79
60	6,62	0,805
70	6,24	0,825
80	5,78	0,845
90	5,325	0,865
100	4,91	0,88
110	4,30	0,905
120	2,91	0,92
130	2,50	0,93
140	2,105	-
150	1,90	0,98
160	1,59	1,00
170	1,39	1,02
180	1,22	1,06
190	1,005	1,06
200	0,82	1,10

1.2 Auswertung

1.2.1 NTC

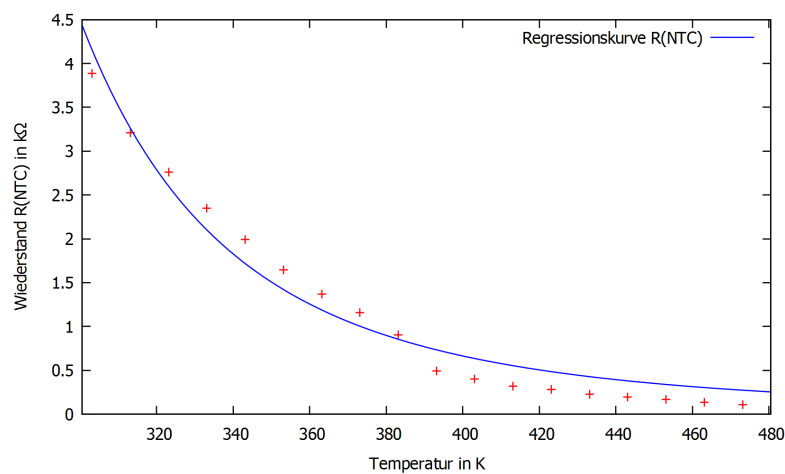


Abbildung 1.2: Messwerte und Regressionskurve des Heißleiters (NTC)

Es handelt sich hier um einen Verlauf der Form:

$$R(NTC) = a \cdot e^{b/T}$$

Aus der Regression erhält man die Werte:

$$a = 2,133 \, \Omega \quad b = 2296,14 \, K$$

Somit erhalten wir schließlich:

$$R(NTC) = 2,133 \, k\Omega \cdot \exp\left(\frac{2296,14 \, K}{T}\right)$$

Es fällt beim betrachten der Messwerte auf, dass es zwischen 110 °C und 120 °C einen Sprung in den gemessenen Werten gab. Dies könnte einen Wechsel der Ablesenden Person entstanden sein oder durch mögliches "sprunghaftes" Verhalten des Potentiometers.

1.2.2 PT100

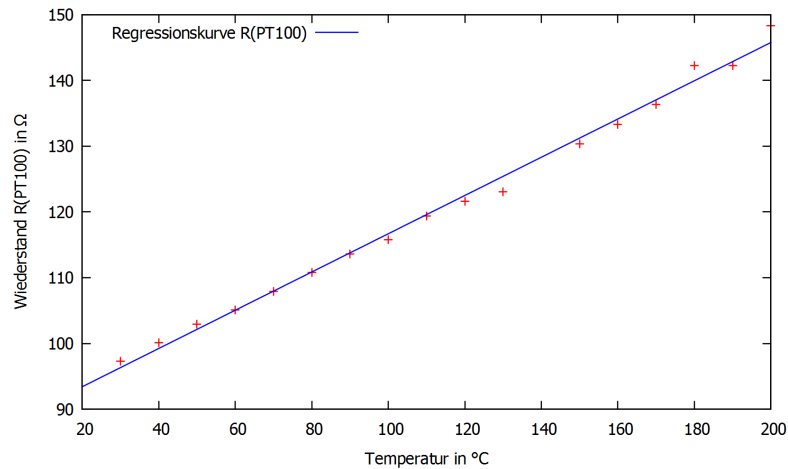


Abbildung 1.3: Messwerte und Regressionskurve des Kaltleiters (PT100)

Es handelt sich hier um einen Verlauf der Form:

$$R(NTC) = P_0 + c \cdot T$$

Aus der Regression erhält man die Werte:

$$P_0 = 87,587 \, \Omega \quad c = 0,291 \, \frac{\Omega}{K}$$

Somit erhalten wir schließlich:

$$R(PT100) = 87,587 \, \Omega + 0,291 \, \frac{\Omega}{K} \cdot T$$

2. Aufgabe 2: Kennlinien Elektrischer Bauelemente

2.1 Grundlagen

2.1.1 Halbleiter

Halbleiter sind aus dem heutigen Leben nicht mehr wegzudenken. Sie befinden sich in allen Gegenständen des täglichen Lebens, vom Toaster als Leistungsschaltern bis zu den offensichtlichen Kandidaten wie Smartphone und Rechner. Halbleiter liegen von den Materialeigenschaften zwischen Leiter und Isolator. Ihre Energiebänder liegen so nahe beieinander, sodass thermische Elektronen vom Valenzband in das Leitungsband übertreten können. Es entsteht ein Elektronen-Loch Paar. Diese Paare löschen sich durch Rekombination wieder aus. Dabei fällt ein Elektron in das von einem anderen Elektron hinterlassene Loch. Durch Dotierung, also Verunreinigung, mit Atomen mit 3 oder 5 Valenzelektronen, lassen sich die Leitungseigenschaften drastisch verändern. Bei der Dotierung unterscheidet man Leitung durch einen Überschuss von Elektronen im Leitungsband (N-Dotierung) und einen Mangel an Elektronen im Valenzband (P-Dotierung). Bei N dotierten Halbleitern werden Atome mit 5 Valenzelektronen verwendet. Bei P-Dotierten Halbleitern werden Atome mit 3 Valenzelektronen verwendet. Die benötigten Konzentrationen von Fremdatomen ist sehr klein (ein Verhältnis von Fremdatom zu Siliziumatom von $10^{-4} - 10^{-7}$).

2.1.2 Der P-N Übergang

Erzeugt man mittels unterschiedlicher Dotierung des Halbleiters einen Übergang von einem P-dotierten Bereich zu einem N-Dotierten Bereich, so ergeben sich an diesem Übergang neue Elektrische Eigenschaften die neben der Temperatur ebenfalls von einer angelegten Spannung beeinflusst werden können. Dieser P-N-uebergang ist die Grundlage für die Funktion einer Diode.

Man betrachte nun den P-N Uebergang bei Raumtemperatur, ohne das eine Spannung anliegt. Im N-Bereich des Halbleiters besteht ein Ueberschuss an freien Elektronen im Leitungsband, die sich frei im Halbleiter bewegen koennen. Im P-Bereich existiert hingegen ein Mangel an Elektronen im Valenzband. Da N- und P-Bereich aneinandergrenzen gelangen zwangsläufig einige der Freien Elektronen aus dem N-Bereich in den P-dotierten Bereich. Wenn dies geschieht ist es sehr wahrscheinlich, dass das Elektron im P-Bereich mit einem Loch rekombiniert. Aufgrund des oben genannten Prozesses entsteht nun an dem P-N-Übergang eine sogenannte Verarmungszone. In dieser gibt es weder freie Elektronen, noch Löcher. Daher wird der Halbleiter hier zu einem Isolator. Legt man nun eine Spannung in Flussrichtung, also die Kathode an den N-dotierten Halbleiter und die Anode an den P-dotierten Halbleiter an, so flutet man den N-dotierten Teil mit zusaetzlichen Elektronen und den P-dotierten Teil mit zusätzlichen Löchern. Dieß führt dazu, dass die Verarmungszone am P-N-Übergang schmaler wird, bis sie bei genügend großer Spannung

gänzlich verschwindet. An diesem Punkt wird der Halbleiter vollständig zu einem Leiter. Bei Silizium liegt die dafür benötigte Spannung im Bereich von ca 600 mV. Aufgrund der anderen Bindungsenergien im Germaniumatom liegt die Schwellenspannung (U_s) hier nur bei ca 300 mV.

2.1.3 Zenerdiode

Die Zenerdiode ist eine Unterart der klassischen Silizium Halbleiterdiode. Bei der Zenerdiode ist der P- und der N-Bereich so hoch dotiert dass sich die oberen Elektronen im Valenzband des P-Halbleiters auf der gleichen Energie mit den unteren Elektronen im Leitungsband des N-Halbleiters befinden. Bei genügend großen Spannungen können die Elektronen aus dem Valenzband des P-Halbleiters dann in das Leitungsband des N-Halbleiters tunneln. Damit ist der Zenereffekt ein Tunneleffekt. Der Zenereffekt und der Lawineneffekt treten bei Spannungen von 6 bis 8 Volt nebeneinander auf. Solange beide Effekte über den ganzen Übergang verteilt auftreten und sich keine größere Konzentration ansammelt nimmt der pn-Übergang bei dem Zenerdurchbruch keinen Schaden und der Vorgang bleibt reversibel.

2.1.4 Die Leuchtdiode

Die Leuchtdiode oder *Light Emitting Diode* kurz LED ist ebenfalls eine Diode mit einem P-N-Übergang. Die Leuchtdiode besteht hingegen jedoch nicht aus Silizium oder Germanium, sondern meist aus einem III-V Halbleiter. Das Halbleitermaterial wird so gewählt, dass die freiwerdende Energie bei der Rekombination der eines Photons im optischen Energiebereich entspricht. Dementsprechend korreliert die Farbe der Leuchtdiode mit ihrer Betriebsspannung.

2.1.5 Varistor

Ein Varistor basiert wieder auf der Idee von Übergängen. Diesmal jedoch zwischen zwei Kristallen der gleichen Art. Varistoren sind meist aus Zinkoxid aufgebaut und bestehen aus Körnern unterschiedlicher Leitfähigkeit. An den Berührungspunkten zwischen den Körnern bilden sich Sperrschichten aus. Legt man nun an den Varistor eine Spannung an, überwindet diese einige der Sperrschichten. Erhöht man die Spannung weit genug, so brechen alle Sperrschichten zusammen und der Widerstand ist allein durch den Widerstand des Zinkoxids bestimmt.

2.1.6 Der Fotowiderstand

Grob basiert der Fotowiderstand auf der Ionisation von Störstellen durch Licht. Im nicht ionisierten Zustand sind die Störstellen im Kristall nichtleitend. Ionisiert nun ein Photon die Störstelle, so wirkt sie während einer Zeit von einigen Millisekunden wie eine Dotierung und erhöht die Leitfähigkeit. Dieser Effekt macht einen Fotowiderstand sehr sensibel, aber aufgrund der langen Wirkzeit aber im Vergleich zu Dioden, die den inneren Photoeffekt nutzen auch sehr träge. Für Applikationen im Bereich menschlicher Reaktionszeiten ist dies jedoch immernoch als praktisch instantan anzusehen.

2.1.7 Die Fotodiode

Die Fotodiode ist nichts weiter als eine sehr kleine Solarzelle. Wie ihre prominenteren Artgenossen basiert die Fotodiode ebenfalls auf dem inneren Photoeffekt. Beim inneren Photoeffekt wird ein Elektron bei Aufnahme eines Photons in aus dem Valenz in das Leitungsband gehoben. Im Leitungsband gelangt dieses dann über den PN-Übergang und es entsteht eine Spannung zwischen beiden Bereichen. Der innere Photoeffekt ist zudem sehr schnell, sodass der Reaktionszeitraum im Nanosekundenbereich liegt. Photodioden sind zudem eine eigene, Spannungsquelle. Ihre Kennlinien verschieben sich also Vertikal bei Bestrahlung mit Licht.

2.2 Anwendungen von Zenerdiode und Varistor

Die Zenerdiode sowie der Varistor können für die Aufgabe der Spannungsbegrenzung eingesetzt werden. Dafür werden beide parallel zur Last geschaltet. Die Polung beim Varistor ist nicht weiter von Interesse. Lediglich die Zenerdiode sollte in Sperrichtung betrieben werden. Sowohl Varistor als auch Zenerdiode können für verschiedene Durchbruchspannungen hergestellt werden, daher sollten der Varistor und die Diode auf den speziellen Einsatzzweck abgestimmt werden. Tritt nun an der Last eine Überspannung auf, so tritt bei der Zenerdiode innerhalb kürzester Zeit der Zener-Effekt ein. Die Spannung kann sich nun über die Zenerdiode ausgleichen. Je nach Leistung sollte hinter der Zenerdiode ein Widerstand verbaut sein, über den die Leistung abgegeben werden kann. Beim Varistor brechen bei einer Überspannung die Sperrschichten zusammen. Es kommt auch hier zu einem Ausgleichsstrom, welcher die Spannung abbaut. Der Varistor ist im Gegensatz zu der Zenerdiode in der Lage relativ große Leistungen abzugeben, weshalb man Varistoren bevorzugt bei größeren Leistungen verwendet.

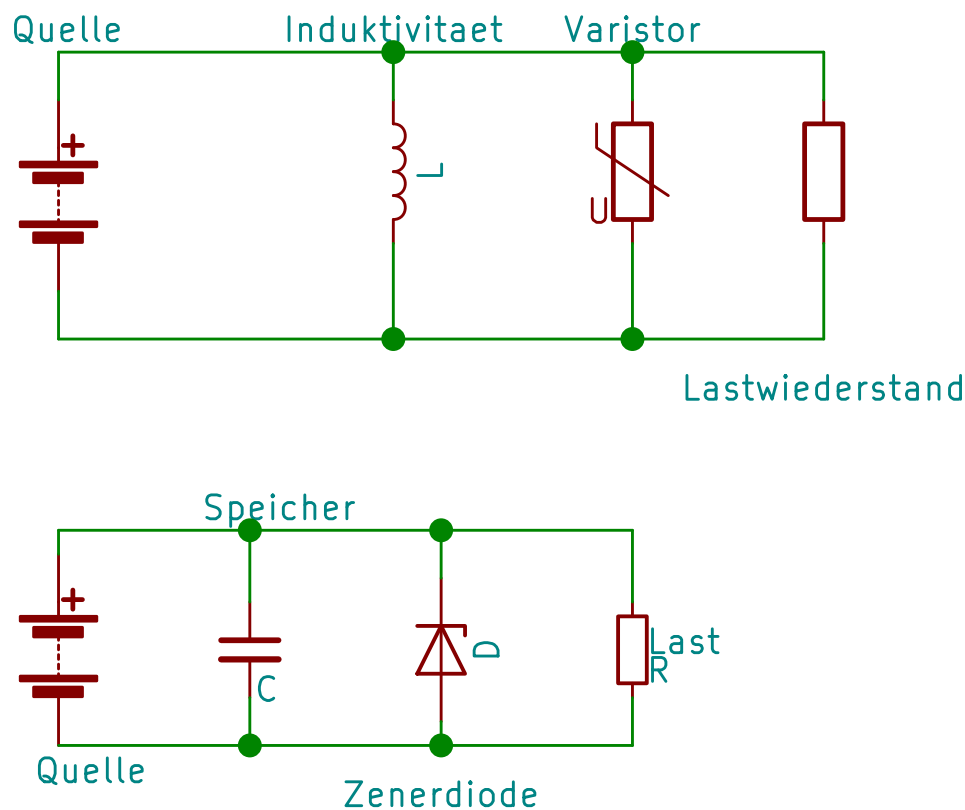


Abbildung 2.1: Rudimentäre Schaltungen zur Illustration von Zenerdiode und Varistor

2.3 Kennlinienvermessung verschiedener Bauelemente

Im folgenden werden Kennlinien verschiedener Elektrischer Bauteile vermessen und Diskutiert. Dabei wird die Schwellspannung und gegebenenfalls die Durchbruchspannungen ausgemessen. Für das Aufzeichnen der Kennlinie wurde folgende Messschaltung benutzt. Da bei der Kennlinie normalerweise der Strom aufgenommen wird, dieser aber vom Picosco-

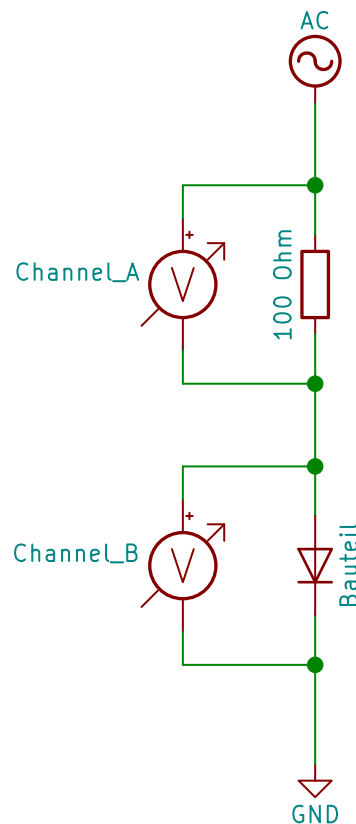


Abbildung 2.2: Schaltung zur Kennlinienaufnahme

pe nicht direkt aufgezeichnet werden kann, wird Der Spannungsabfall über einen bekannten $100\ \Omega$ Widerstand verwendet, um daraus mithilfe des Ohmschen Gesetzes den Fließenden Strom zu berechnen. Um die Kennlinie Sichtbar zu machen wird das Picoscope in den X-Y Modus geschaltet. Hierbei dient Kanal A als Y-Achse und Kanal B als X-Achse.

2.3.1 Silizium Diode

Die Aufgenommene Kennlinie 2.3 entspricht bereits praktisch einer Literaturkennlinie. Der Vermessenen Wert für die Schwellenspannung ist 593 mV. Dieser Wert liegt erwartungsgemäß sehr nahe an dem für Siliziumdioden angegebenen Literaturwert. Die Siliziumdiode hat zwar eine Durchbruchspannung in Sperrichtung, diese liegt jedoch bei ca -100V und ein Durchbruch würde vermutlich zu einer Zerstörung der Diode führen. Aus diesen Gründen wurde auf eine Messung der Durchbruchspannung verzichtet.

In einem weiteren Teil wird nun die Frequenz mit der die Kennlinie 2.3 aufgenommen wurde auf 10 kHz erhöht 2.4. Bei diesen Frequenzen kommt zum tragen, dass es eine gewisse Zeit braucht bis die Verarmungszone am pn-Übergang entweder ihre Leitfähigkeit durch Rekombination verloren hat, oder bis sie vollständig mit Ladungsträgern geflutet wurde. Hier wirkt die Sperrschicht als Kapazität. Somit erlaubt sie sehr hochfrequenten Wechselströmen die Diode in Sperrichtung zu passieren. Dieses Verhalten zeigt sich darin, dass im Sperrbereich der Strom durch die Diode nicht 0 ist. Dieser Effekt

2.3.2 Germaniumdiode

Auch hier entspricht die vermessene Kennlinie 2.5 und Schwellspannung dem Literaturwert. Der vermessene Wert für die Schwellspannung liegt mit 269 mV ein klein wenig unter den

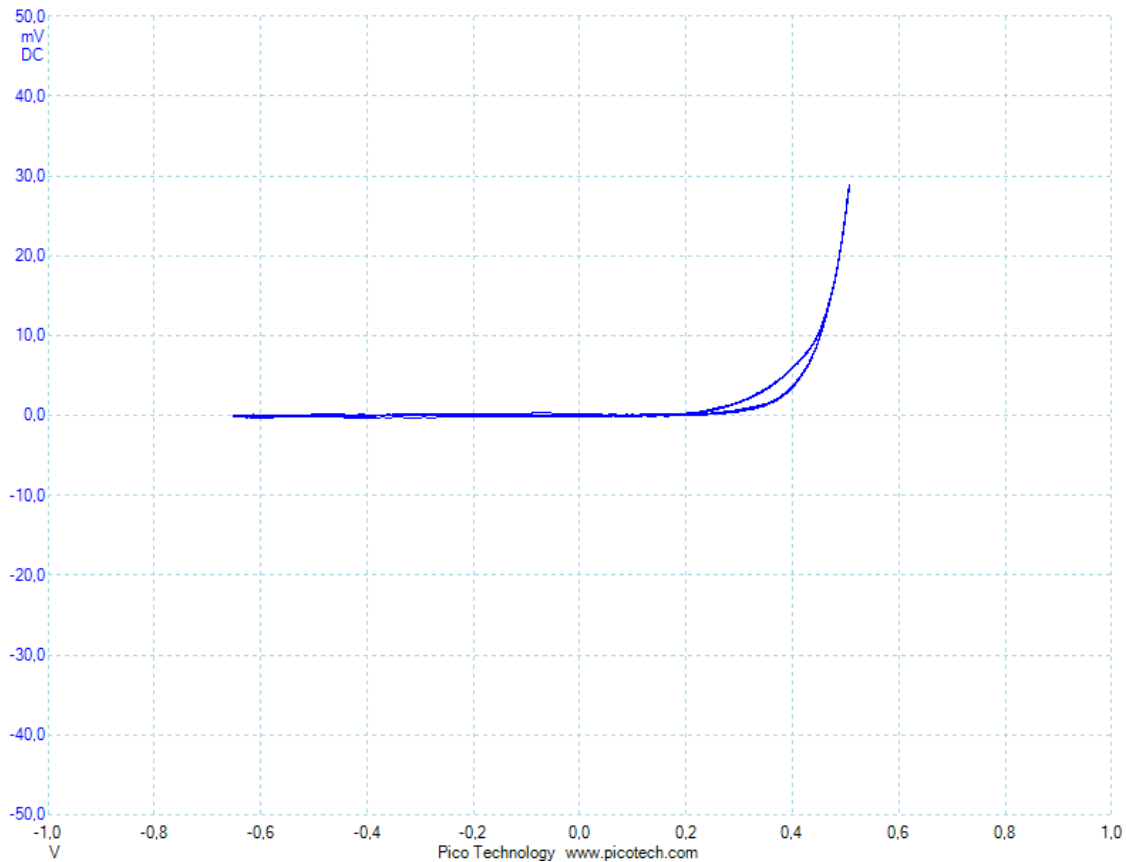


Abbildung 2.3: Kennlinie der vermessenen Silizium Diode

erwarteten 0,3 V. Diese Abweichung ist allerdings vernachlässigbar, da die individuelle Durchbruchspannung bereits von kleinsten Fertigungsvariationen beeinflusst werden kann. Hier wurde, wie bereits bei der Siliziumdiode auf das aufnehmen einer Durchbruchspannung verzichtet.

2.3.3 Zenerdiode

Bei der Zenerdiode kann nun erstmals eine Durchbruchspannung vermessen werden. Hier (2.5) erwarten wir die Schwellenspannung wieder im Bereich von 0,6 V. Mit 678 mV liegt die Schwellenspannung in einem akzeptablen Bereich. Die Durchbruchspannung in 2.5 liegt bei -4,194 V und zeigt einen ähnlichen Verlauf zu dem Verlauf der Kennlinie um die Schwellenspannung herum. Da die Tunnelwahrscheinlichkeit mit zunehmender Gegenspannung exponentiell ansteigt ist dieser Verlauf zu erwarten.

2.3.4 Varistor

Beim Varistor ist es ebenfalls möglich sowohl die Schwellenspannung als auch die Durchbruchspannung zu vermessen. Da der Varistor keine, durch seine Struktur vorgegebene Polarität hat, kann man einen Symmetrischen Verlauf der Kennlinie 2.7 Beobachten. Bei diesem Varistor liegen die Schwellen und Durchbruchspannungen bei $U_s = 5,0$ V und U_b 0 -4,98. Wie zu erwarten war ist die Kennlinie 2.7 beinahe perfekt symmetrisch.

2.3.5 Leuchtdioden

In diesem Versuchsteil werden unterschiedliche Leuchtdioden vermessen. Wir erwarten für verschiedene Farben unterschiedliche Schwellspannungen der Dioden. Entgegen erwartungen Zeigten die LEDs keine klare korrelation zwischen Emittierter Farbe und

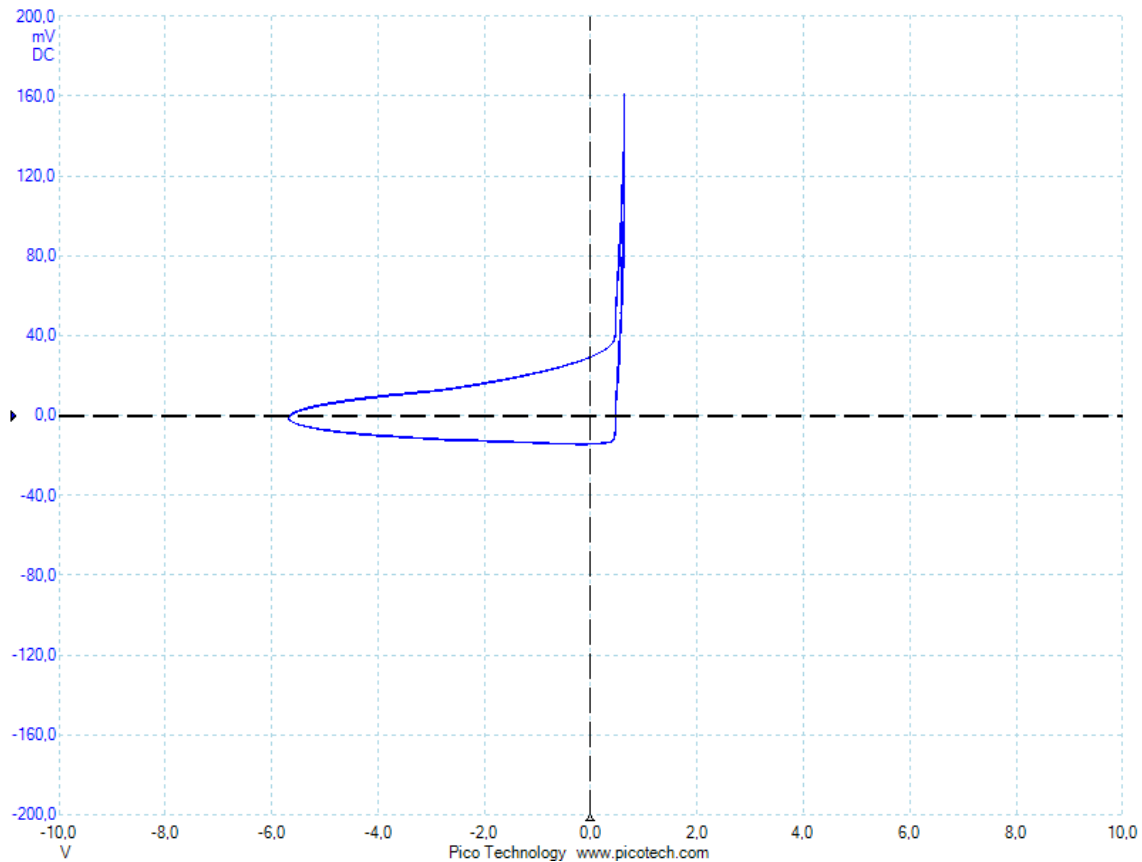


Abbildung 2.4: Kennlinie der Siliziumdiode bei 10 kHz

LED-Farbe	Schwellspannung in V
Grün	1,799
Gelb	1,815
Rot	1,792
Orange	1,749

Tabelle 2.1: Tabelle der gemessenen Schwellenspannung bei verschiedenen LED-Farben.

Schwellenspannung. In diesem Versuch zeigt Rot 2.10 eine ähnlich hohe Schwellenspannung zur Grünen LED 2.8, obwohl ihr spektraler Abstand am größten ist. Hier lässt sich von der Bauweise der LEDs und von den unpassenden Messergebnissen her schließen, dass ein großer Teil der Färbung des Lichtes vom umgebenden, gefärbten Kunststoff stammen könnte. So lässt sich zumindest die ähnliche Schwellenspannung in Kombination mit den unterschiedlichen Farben erklären. Für eine Referenzmessung dieses Effektes wäre es dafür also mal interessant LEDs ohne einen gefärbten Glaskörper zu untersuchen. Bei diesen LEDs lässt sich eine Lichtfärbung ausschließlich mit den Eigenschaften des Halbleiters erklären. Die Kennlinie gleicht wie zu erwarten sehr der einer normalen Diode 2.10 2.92.112.8.

2.4 Photowiderstand

Es wird in folgenden drei Messungen aufgenommen. Eine, bei der der Fotowiderstand normalen Raumlichtbedingungen ausgesetzt ist, eine, bei der der Fotowiderstand abgedeckt wird und eine, bei der er mithilfe einer Lampe bestrahlt wird. Mithilfe des Ohmschen Gesetzes wird dann der ungefähre Widerstand bestimmt. Eine genauere Untersuchung des Fotowiderstandes bei gegebener Versuchstemperatur ist nicht zielführend, da die Lichtbedingungen von denen des Messtages und vielen anderen Faktoren abhängen, die sich schwer

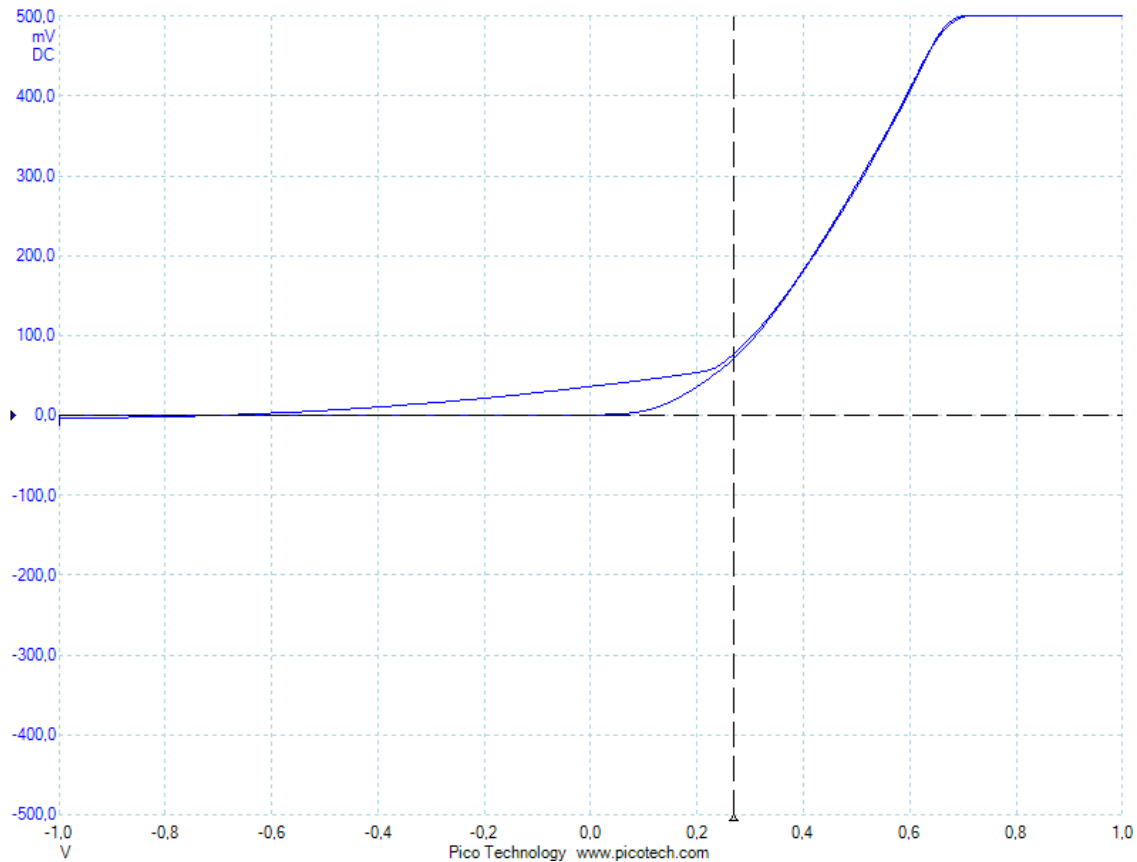


Abbildung 2.5: Kennlinie der vermessenen Germanium-Diode

Lichtbedingungen	Spannung an R_{ref} [V]	Spannung an R_{photo} [mV]	Widerstand in Ω
Raumlicht	4,002	368	1087
Hell	0,368	204	55,4
Dunkel	4,002	103	3885

Tabelle 2.2: Tabelle der gemessenen Widerstände des Photoresistors.

abschätzen und einschränken lassen. Daher wird sich im folgenden auf eine qualitative Auswertung beschränkt. Man sieht, dass der Widerstand wie zu erwarten mit steigender Lichtintensität fällt. Die Formel um den Widerstand zu berechnen lautet:

$$R_{Foto} = \frac{U_{FotoR}}{\frac{U_{RefR}}{R_{RefR}}}$$

Der referenzwiderstand hat einen Widerstand von 100 Ω .

2.5 Fotodiode

Für die Fotodiode erwarten wir wie für alle Dioden eine ab der Schwellspannung exponential ansteigende Kennlinie 2.13. Wir erwarten Weiterhin, dass sich diese Kennlinie bei bestrahlung nach unten verschiebt 2.12, da die Diode dann eine Gegenspannung aufbaut. Da die Diode aus Silizium besteht, erwarten wir, dass der exponentielle Anstieg bei ca. 0,6 V beginnt. Wie zu sehen ist, beobachtet man genau das erwartete Verhalten. Damit ist dieses Experiment eine weitere bestätigung des Inneren Photoeffekts.

2.6 Bemerkungen

Alle hier durchgeführten Messungen sind trotz ihres einfachen Aufbaus sehr nahe an den verschiedenen Literaturwerten und Theorievorhersagen. Das liegt maßgeblich daran, dass

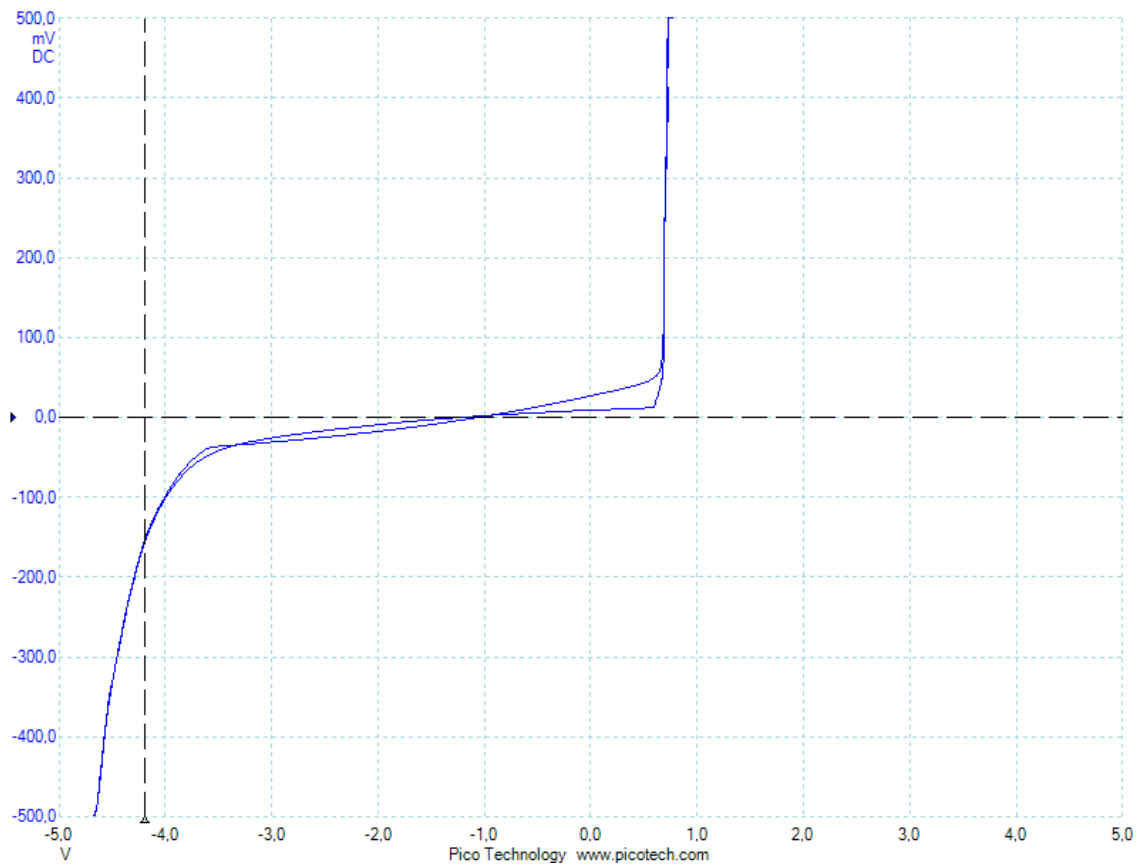


Abbildung 2.6: Kennlinie der vermessenen Zener-Diode

die Testbedingungen sehr wenig Einfluss auf das Verhalten der einzelnen Bauelemente haben. Der entscheidende Schritt hier ist die Fertigung. Die hier verwendeten Bauteile sind allesamt Standardbauteile aus der Elektronik, die in sehr großen Stückzahlen hergestellt werden. Da diese Bauteile nicht alle genau vermessen werden können bevor sie zum Einsatz kommen, muss durch die präzise Kontrolle der Fertigungsparameter und Umgebung garantiert werden, dass die Bauteile sehr ähnliche Eigenschaften aufweisen. Die Fertigung ist daher aus Gründen der Wirtschaftlichkeit strengsten Vorschriften und Kontrollen unterworfen, die dafür sorgen, dass die hier verwendeten Bauteile alle sehr nahe an den erwarteten Werten liegen.

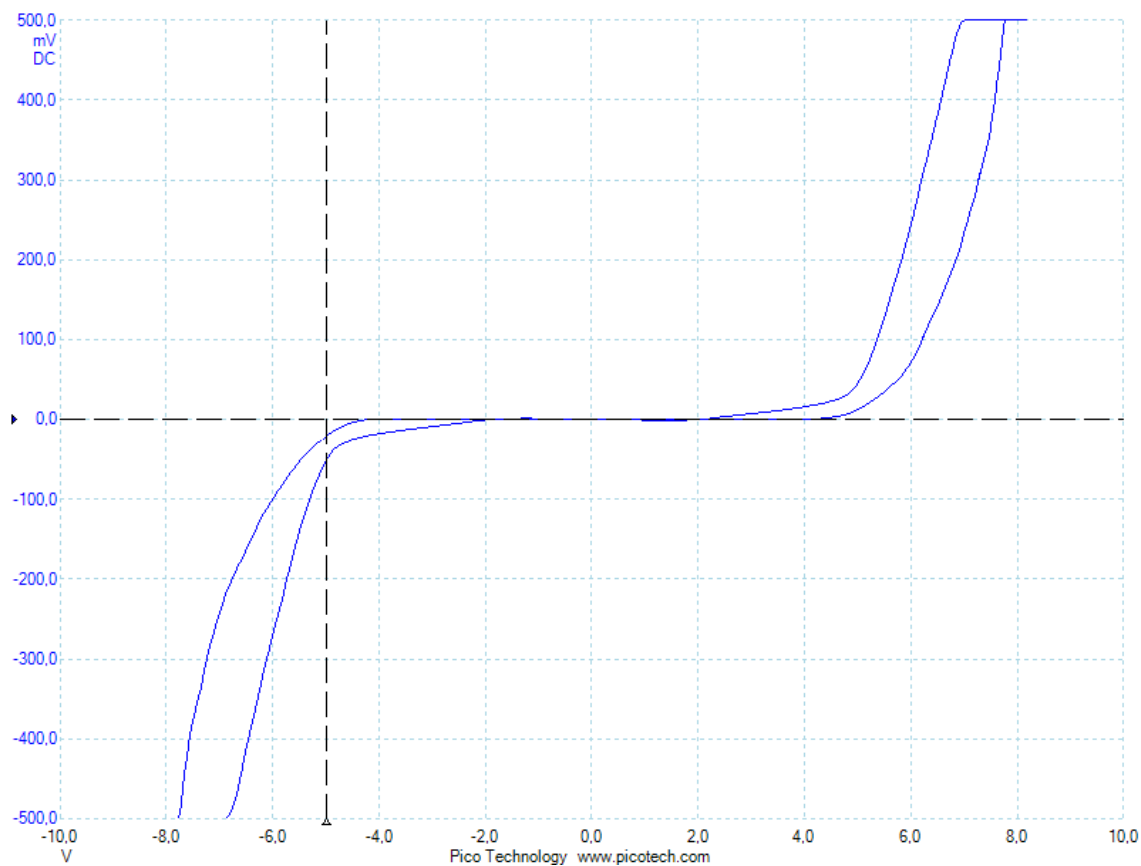


Abbildung 2.7: Kennlinie eines Varistors

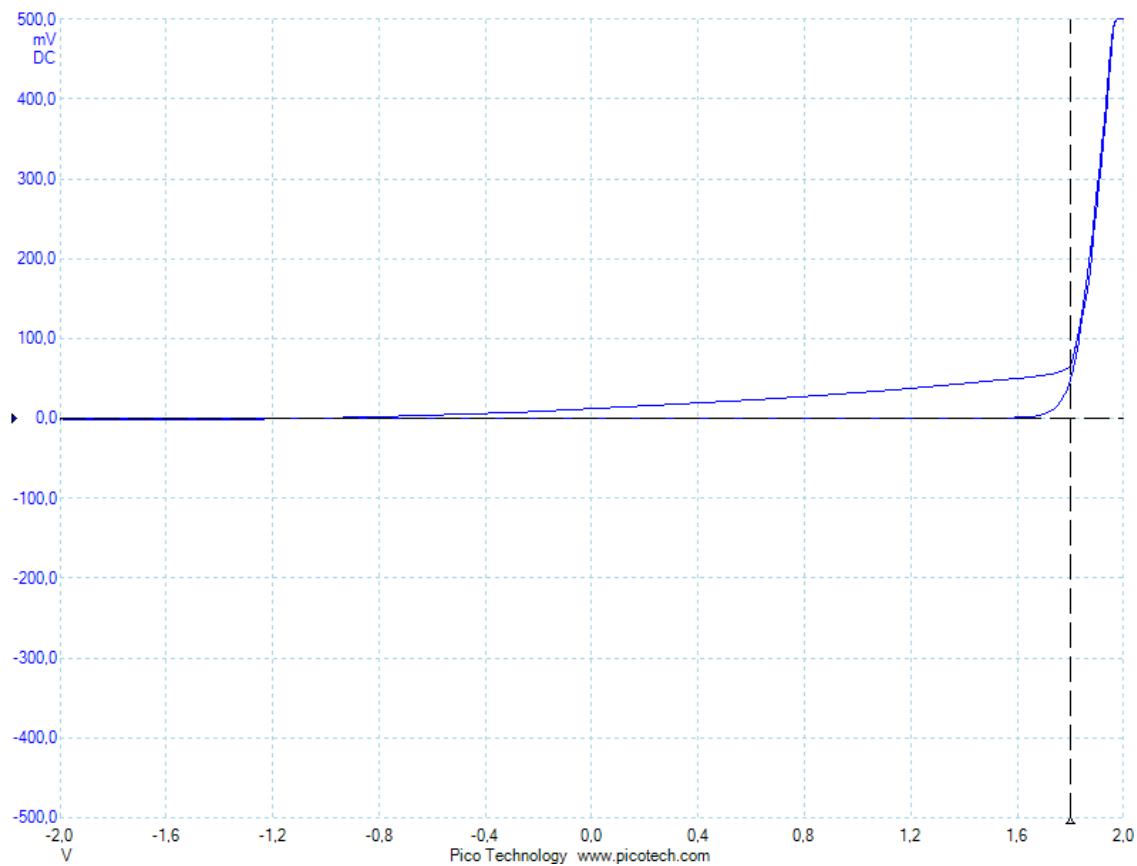


Abbildung 2.8: Kennlinie der grünen LED

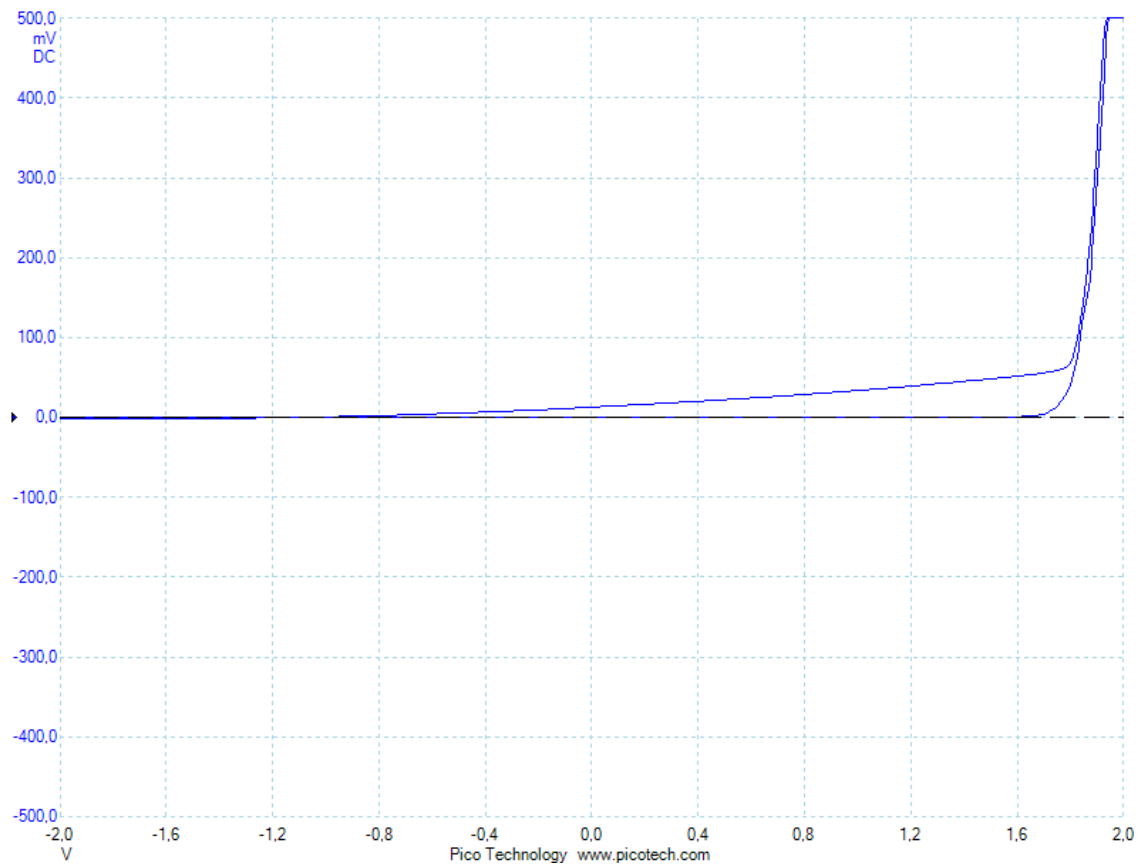


Abbildung 2.9: Kennlinie der gelben LED

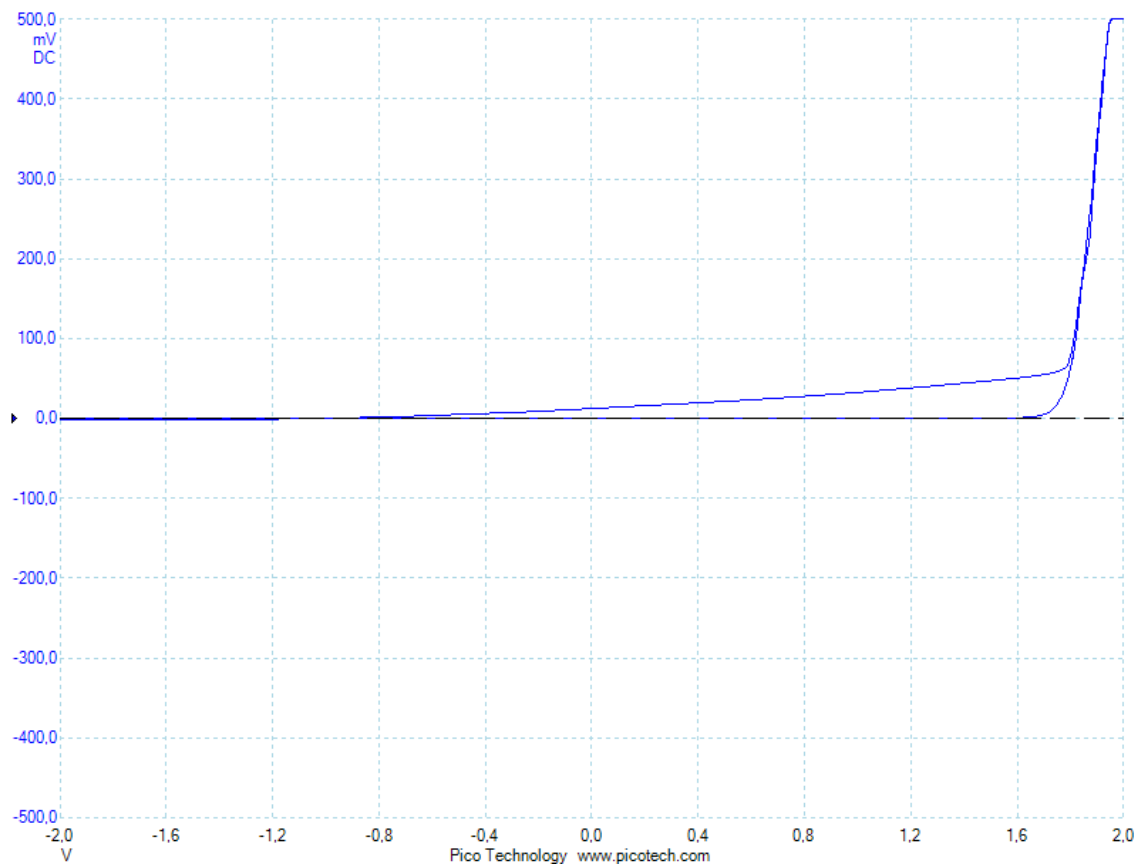


Abbildung 2.10: Kennlinie der roten LED

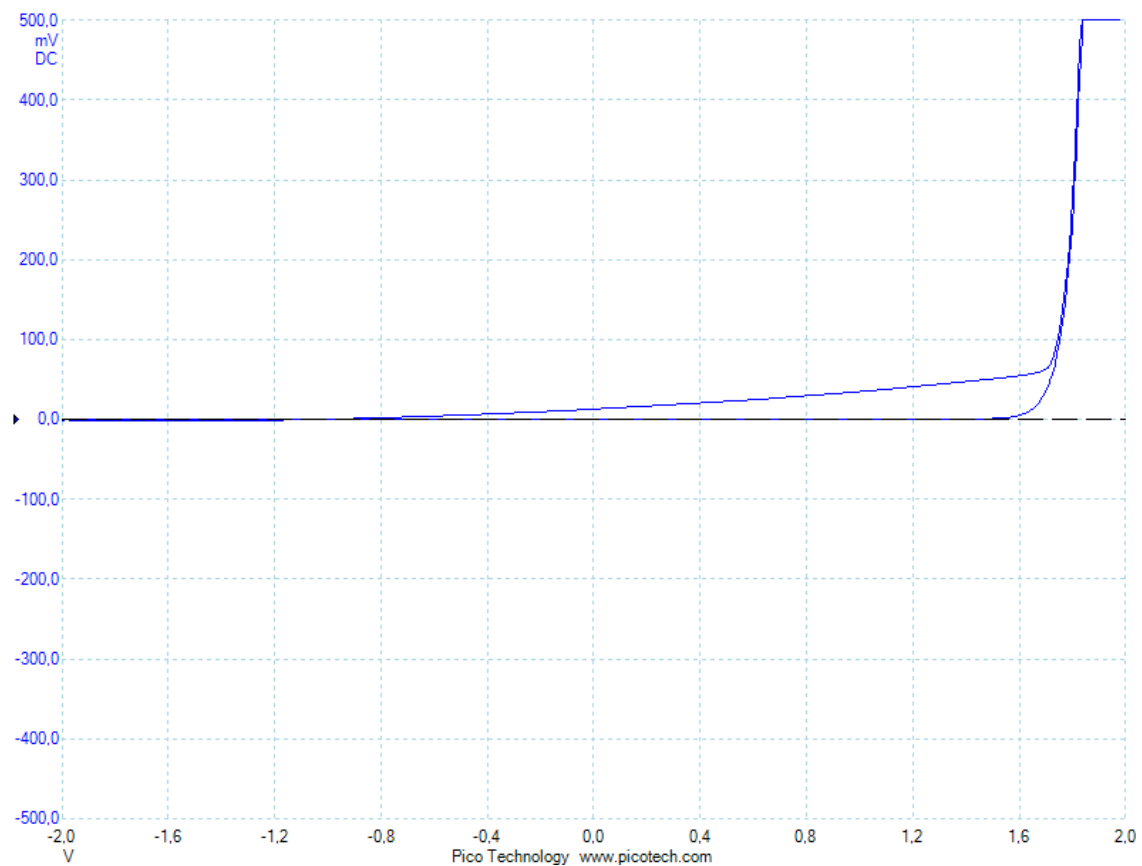


Abbildung 2.11: Kennlinie der orangenen LED

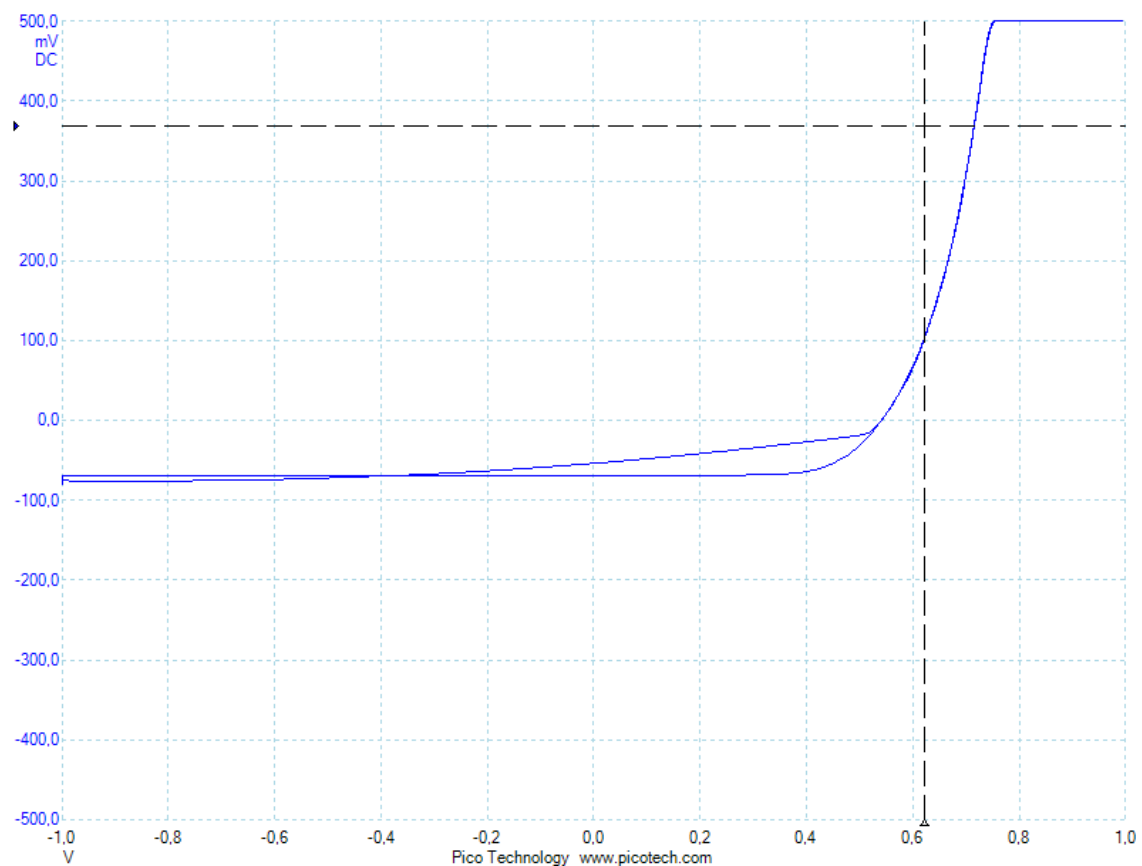


Abbildung 2.12: Kennlinie der Photodiode bei zusätzlicher Beleuchtung

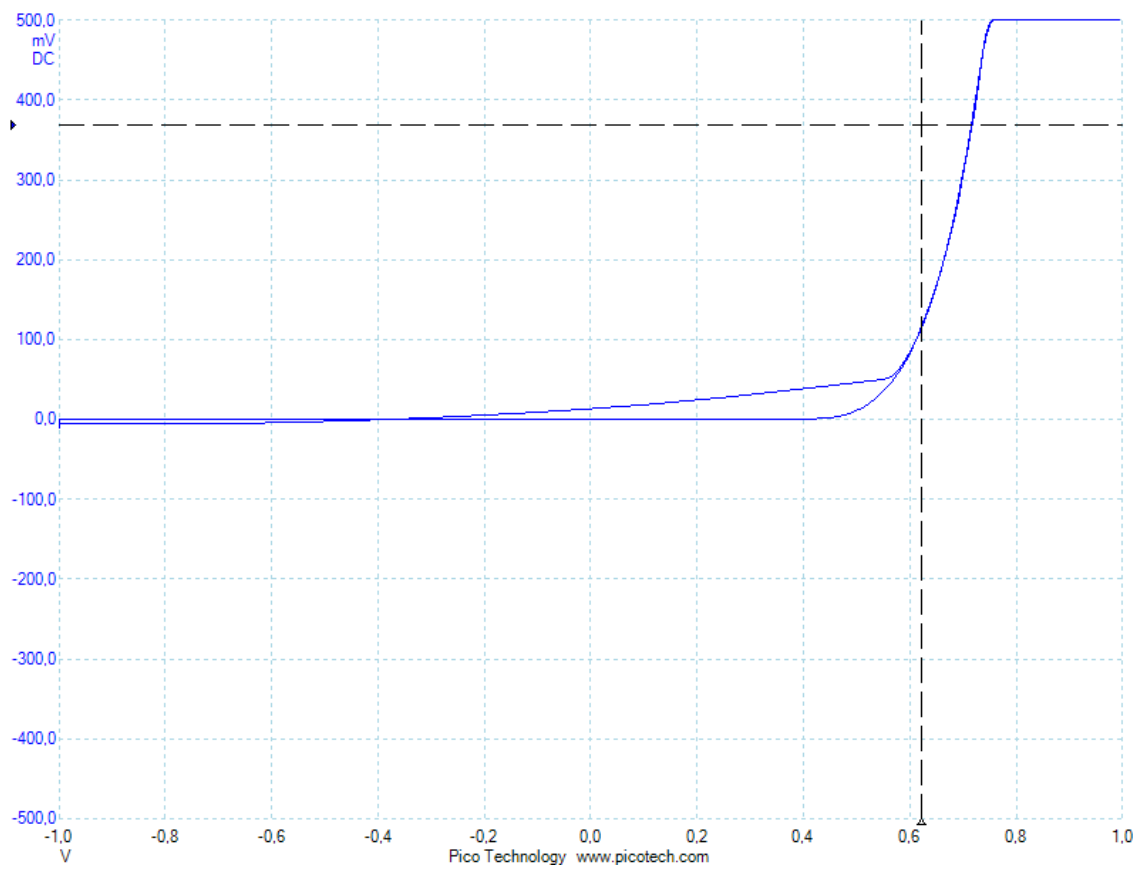


Abbildung 2.13: Kennlinie der Photodiode bei Raumlicht

3. Aufgabe 3: Verhalten eines Phototransistors unter verschiedenen Beleuchtungsstärken

In diesem Versuch untersuchen wir einen Phototransistor.

Tabelle 3: Messdaten zu Aufgabe 3

Lampenspannung in V	Bel.-stärke in lux	Sperrspannung in mV	Sperrstrom in mA
0	0	0	0
1	0	0	0
2	0	6	0,06
3	50	16	0,16
4	100	28	0,28
5	200	50	0,5
6	600	80	0,8
7	1100	113	1,13
8	2000	157	1,57
9	3100	205	2,05
10	4800	235	2,35
11	6800	265	2,65
12	9100	328	3,28

Um möglichst gut regulierbares konstantes Licht zu erzeugen nutzen wir die Experimentierleuchte. Mithilfe des in der Vorbereitung gegebenen Graphen ermitteln wir die jeweilige Beleuchtungsstärke der Lampe in Abhängigkeit zur angelegten Spannung. Mithilfe des Picoscops können wir wie in Aufgabe 2 die Sperrspannung ablesen und mit dem Referenzwiderstand $R_{rev} = 100\Omega$ den Sperrstrom berechnen.

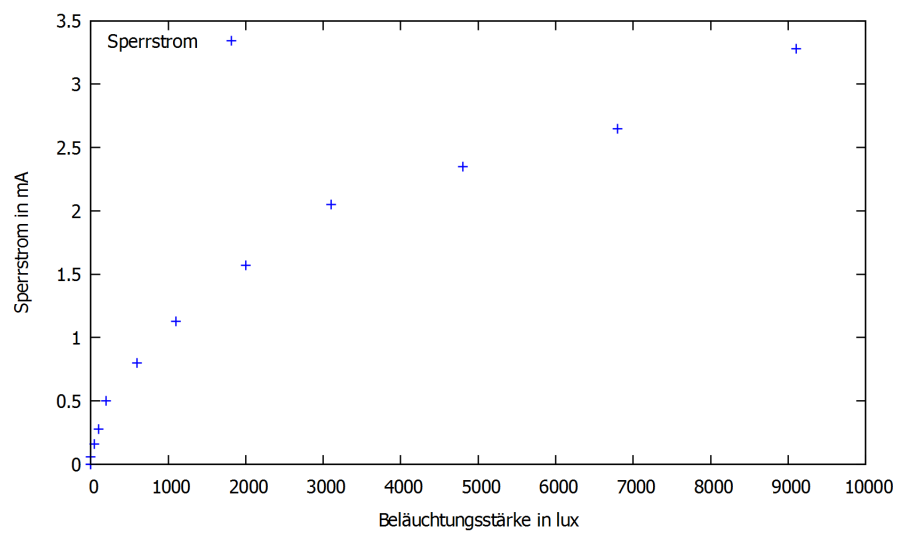


Abbildung 3.1: Messwerte zu Aufgabe 3

4. Aufgabe 4: Der Piezoelektrische Effekt am Piezoelement

4.1 Grundlagen

Ein Piezokristall ist ein Elektrisches Bauelement, welches bei mechanischer Verformung eine Spannung erzeugt. Piezoelektrische Kristalle sind so aufgebaut, dass sich der Ladungsschwerpunkt verschiebt, wenn man Sie verformt. Der umgekehrte Effekt ist ebenfalls beobachtbar. Es ist zu bedenken, dass nur eine Verformungsbewegung eine Spannung produziert. Verformt man den Kristall nicht, so gleichen sich die Spannungen aus, und er wird wieder Neutral. Legt man eine Spannung an ein Piezoelement an, so beginnt es sich zu verformen. Dies wird inverser piezoelektrischer Effekt genannt. Ähnlich zu ferromagnetischen Materialien, besitzen auch Piezoelemente eine Hysterese. Das heisst, dass die Verformung irgendwann ein Maximum erreicht das unabhängig von einer weiteren Spannungszunahme ist. Piezoelemente müssen, damit an ihnen der Piezoelektrische Effekt

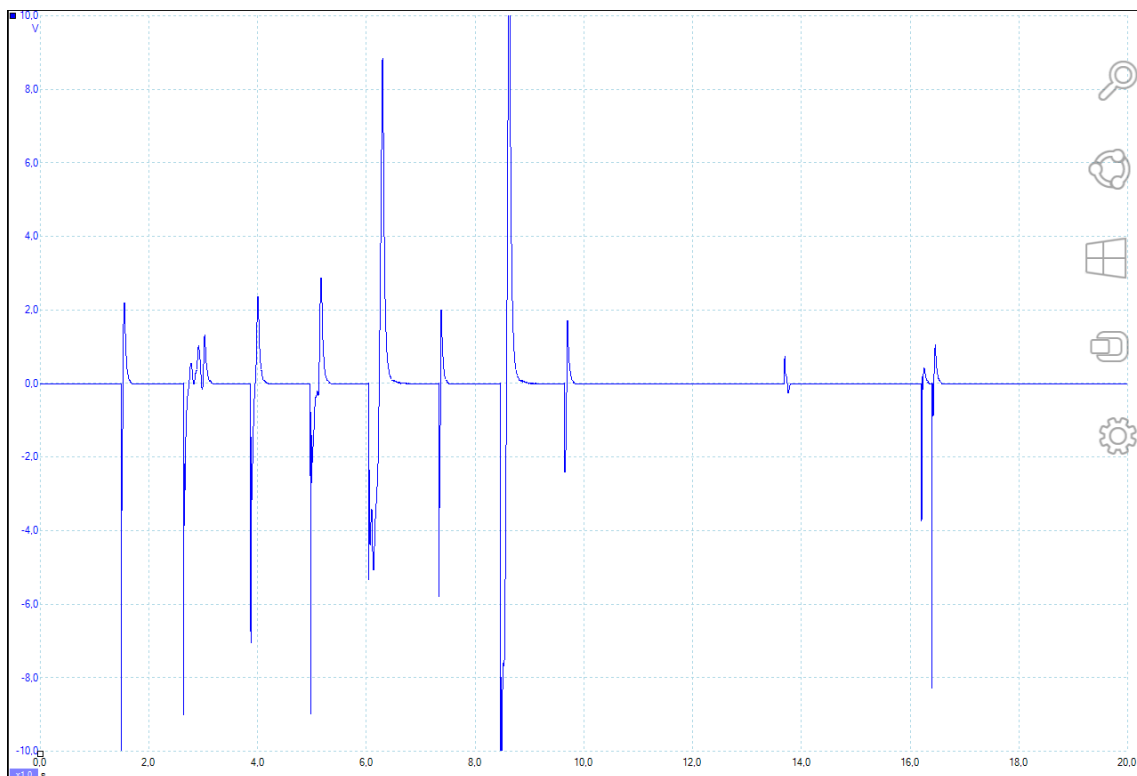


Abbildung 4.1: Das Verhalten des Piezoelementes bei der Verformung mit den Fingern

zum Vorschein tritt überhalb der Curietemperatur in einem elektrischen Feld polarisiert werden. Dies geschieht, damit sich die Weiss'schen Bezirke parallel ausrichten. Somit verstärken sich die Ladungsverschiebungen innerhalb der einzelnen Bezirke und der Effekt

wird im makroskopischen sichtbar.

4.1.1 Beobachtung des piezoelektrischen Effektes als Lautsprecher

Im ersten Teil des folgenden Versuches 4.2 wird der Piezokristall mittels eines Sinussignals in Schwingung versetzt. Die Anregungsfrequenzen liegen dabei im hörbaren Bereich. Als Messgerät dieser Schwingung wird ein Lautsprecher verwendet, den wir mit seinen Ausgängen an das Oszilloskop anschließen. Wie man am Graph erkennen kann ist dieser keine reine

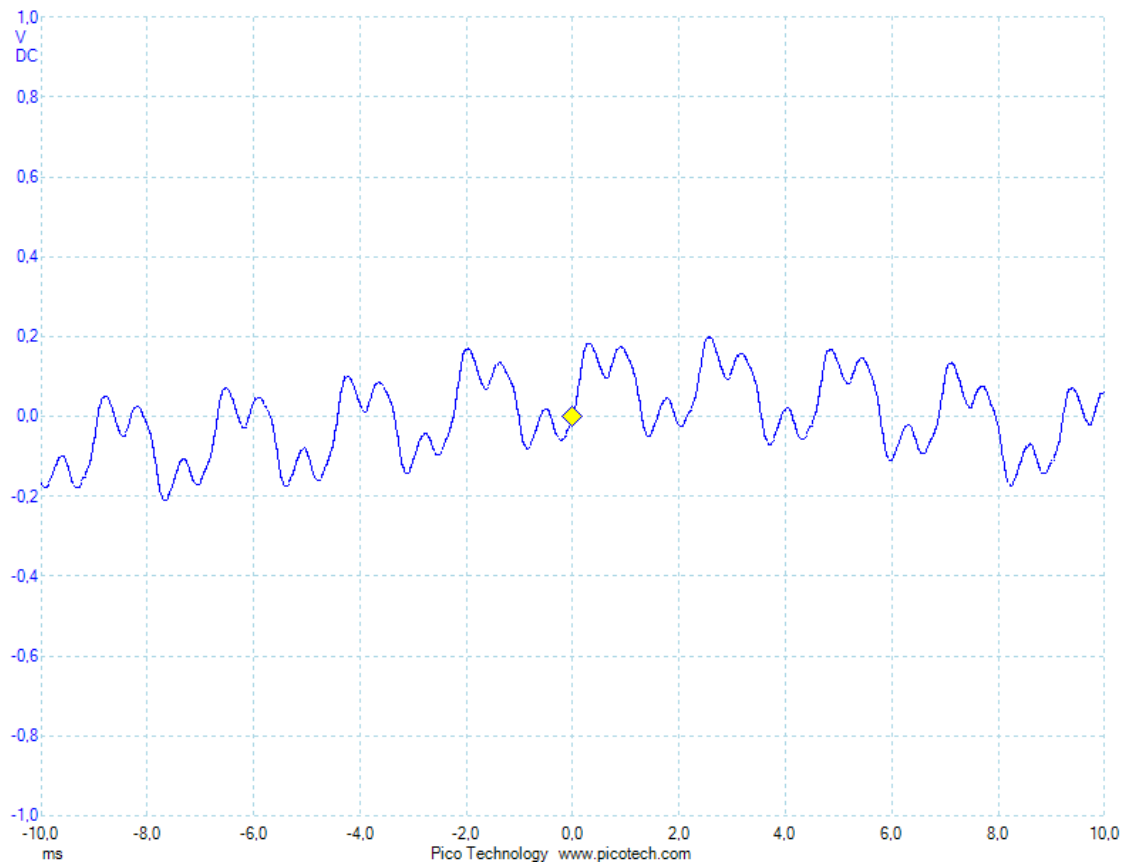


Abbildung 4.2: Das Piezoelement als Lautsprecher

Sinusschwingung mehr. Dies könnte daran liegen, dass die Hysterese des Piezoelementes und die daraus folgende Nichtlinearität überlegen in das Signal einbringt die im Elektrisch zugeführten Signal nicht vorhanden sind. Weiter könnten es Reflektionen des Schalls an der Plexiglashülle des Lautsprechers sein. Man sieht jedoch deutlich die Grundfrequenz, die auch mit dem eingespeißten Elektrischen Signal übereinstimmt.

4.1.2 Der Piezoelektrische Effekt

In diesem Versuchsteil wird mit einem Lautsprecher, mit dem ein von einem Signalgenerator erzeugtes Sinussignal abgespielt wird. Diese Schallwelle verformt nun den Piezokristall, welcher an das Oszilloskop angeschlossen ist. Am Oszilloskop sollte man also eine sinusähnliche Schwingung beobachten können 4.3. Wie man in 4.3 sehen kann ist die Kurve nicht sinusförmig, sondern eher dreieckig. Dies wird vermutlich wieder mithilfe des Zusammenspiels verschiedener, verfälschender Effekte zu erklären sein. An der Verfälschung des Signals sind wahrscheinlich Reflektionen des Schalls am Lautsprechergehäuse und die Nichtlinearität sowohl des Lautsprechers als auch des Piezoelementes verantwortlich. Es ist aber eindeutig die Frequenz des Grundsignals zu erkennen.

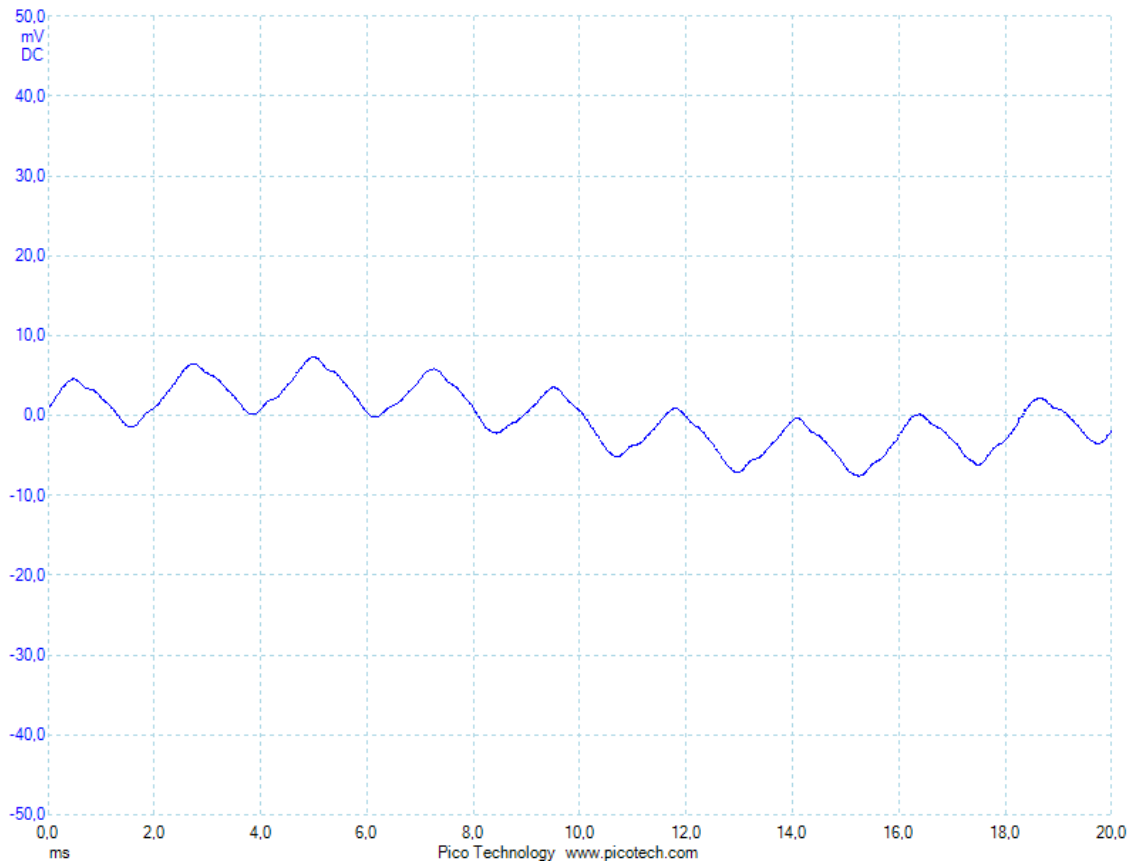


Abbildung 4.3: Das Piezoelement als Mikrofon

4.2 Anwendungen des Piezoeffektes

Der Piezoelektrische Effekt ist besonders bei anwendungen hilfreich, bei dem kleine bewegungen notwendig sind, die schnell und zudem präzise sein müssen. Sie haben zusätzlich den Vorteil, dass sie keine bewegenden teile besitzen, und der Verschleiss bei normalem einsatz praktisch zu vernachlässigen ist. Piezoaktoren werden zum Beispiel als optische bildstabilisierung in Kameras, Schwingquartz zur frequenzstabilisierung in elektronischen Schaltkreisen und als sensor in MEMS kreiselsystemen verwendet. Alle modernen Computersysteme benutzen den Piezoelektrischen effekt zur takterzeugung, ohne die hochgeschwindigkeits busse und Funkverbindungen nicht ohne weiteres möglich wären. Diese und viele weitere Anwendungsbereiche machen das Piezoelement für moderne elektronische Geräte unverzichtbar.

5. Aufgabe 5: Bestimmung der Sprungtemperatur eines Hochtemperatursupraleiters

In diesem Versuch untersuchen wir das Verhalten eines Hochtemperatursupraleiters bei tiefen Temperaturen. Hierzu senken wir die Temperatur des Supraleiters mit flüssigem Stickstoff bis wir einen Sprung im gemessenen Widerstand feststellen. Da wir nur die Spannung messen errechnen wir den Widerstand über die Stromstärke, welche 2,5 mA beträgt.

$$R = \frac{U}{2,5 \text{ mA}}$$

Wir sehen somit, dass die Schwelle bei 170 K oder etwa -100 °C ist, wobei davor bereits etwa die Hälfte des Widerstands verschwunden ist.

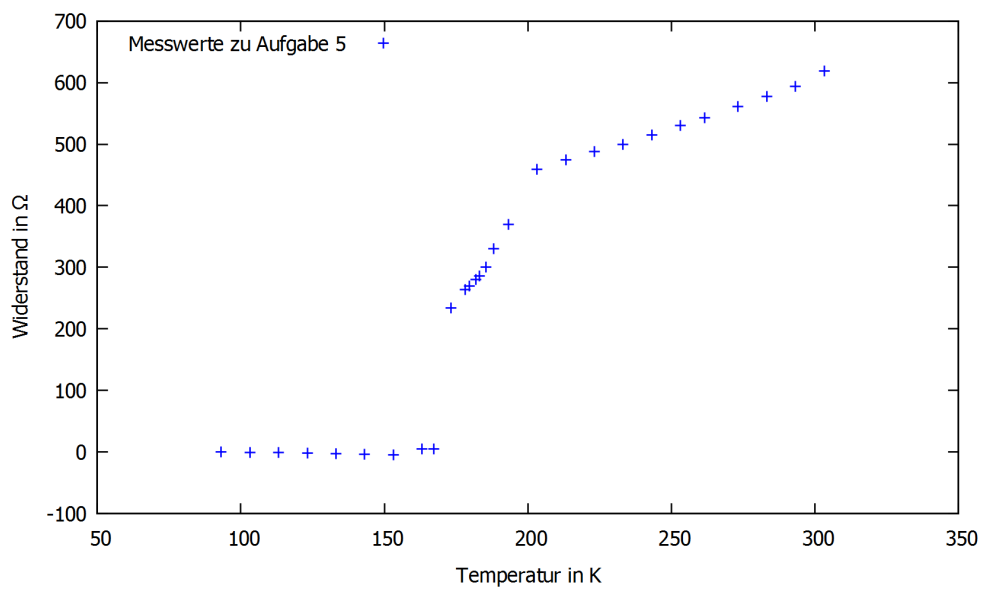


Abbildung 5.1: Messwerte zu Aufgabe 5