

E6 - NTC- und PTC-Widerstand

Julia Mariella Wiest

Gruppe A06

29.01.2025

Mit der Abgabe dieses Protokolls wird bestätigt, dass es kein Plagiat ist. Falls es dennoch eindeutig als Plagiat erkannt werden sollte, ist bekannt, dass das einen Punktabzug von 20 Punkten zur Folge, ohne Möglichkeit der Nachbearbeitung, hat. Diese Bewertung wird ausnahmslos zur Gesamtnote im Anfängerpraktikum beitragen.

1 Physikalische Grundlagen

Der nachstehende Versuch wurde mit dem Ziel durchgeführt, den Temperaturkoeffizienten α eines PTC-Widerstandes und die Bandlücke W_0 eines NTC-Widerstandes zu bestimmen.

Zur Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeit eines Festkörpers soll zunächst das Bändermodell betrachtet werden. Während in einem sogenannten Isolator aufgrund der großen Bandlücke zwischen dem Valenz- und Leitungsband kein Stromfluss möglich ist, da die Elektronen nicht in der Lage sind die Lücke zu überwinden, so liegen in einem Metall das Valenz- und Leitungsband sehr nahe beieinander, sodass eine gute Leitungsfähigkeit vorliegt (Hunklinger 2007, S. 300, 301). Bei einem Halbleiter ist der Ladungstransport über eine vorherrschende Bandlücke möglich, indem die Elektronen aus dem Valenzband durch thermische Energie in das Leitungsband angeregt werden (Hunklinger 2007, S. 378).

Der Stromfluss in einem Festkörper kann über die Stromdichte

$$j = n \cdot v \cdot e = \sigma E,$$

mit der Ladungsträgerdichte n , der mittleren Geschwindigkeit v der Ladungsträger, der Elementarladung e und dem elektrischen Feld E beschrieben werden. Für die elektrische Leitfähigkeit σ gilt

$$\sigma = e \cdot n \cdot \mu = \frac{1}{\rho},$$

wobei die Geschwindigkeit v der Elektronen proportional zum elektrischen Feld E ist, woraus sich die Proportionalitätskonstante μ , welche die Beweglichkeit der Ladungsträger angibt, ergibt. Der spezifische Widerstand ρ hängt über einen geometrischen Faktor mit dem elektrischen Widerstand R zusammen:

$$R = \frac{l}{A} \cdot \rho = \frac{l}{A} \cdot \frac{1}{\sigma} = \frac{l}{A} \cdot \frac{1}{e \cdot n \cdot \mu}$$

(Universität Augsburg WiSe 2024), (Demtröder 2017, S. 44–46).

Für Metalle ist die Ladungsträgerdichte n unabhängig von der Temperatur, sodass μ als einzige temperaturabhängige variable Größe dazu führt, dass sich der Widerstand eines Metalls mit steigender Temperatur erhöht. Bei der Betrachtung eines Metalls innerhalb des Temperaturbereiches von $0^\circ\text{C} < T < 100^\circ\text{C}$ lässt sich der spezifische Widerstand ρ eines Festkörpers aus Metall mit

$$\rho = \rho_0 \cdot (1 + \alpha T),$$

wobei ρ_0 dem Widerstand bei 0°C und α dem positiven Temperaturkoeffizienten entspricht, angeben. Aufgrund der Positivität des Temperaturkoeffizienten α spricht man von einem *Positive Temperature Coefficient*, kurz: PTC-Widerstand (Universität Augsburg [WiSe 2024](#)), (Demtröder 2017, S. 48).

In einem Halbleiter wird die Temperaturabhängigkeit des spezifischen Widerstandes ρ über die Temperaturabhängigkeit der Ladungsträgerdichte n identifiziert. Somit gilt

$$n \propto \exp\left(\frac{-B}{T}\right) \qquad R \propto \exp\left(\frac{B}{T}\right).$$

Dabei entspricht B einer charakteristischen Größe des Materials, welche über die Energielücke W_0 und die Boltzmannkonstante k_B durch

$$B = \frac{W_0}{2k_B}$$

bestimmt werden kann (Universität Augsburg [WiSe 2024](#)).

Die Proportionalität der Ladungsträgerdichte n zur negativen charakteristischen Größe $-B$ über die Temperatur T ergibt, dass der Widerstand eines Halbleiters mit steigenden Temperaturen sinken muss. Aufgrund dieser Negativität der charakteristischen Größe spricht man von einem *Negative Temperature Coefficient*, also einem NTC-Widerstand (Universität Augsburg [WiSe 2024](#)).

2 NTC- und PTC-Widerstand

2.1 Versuchsaufbau und -durchführung

Zur Durchführung des Versuches wird ein PTC- beziehungsweise NTC-Widerstand in einem Topf langsam erwärmt, um währenddessen für steigende Temperaturen die Stromstärke I und die Spannung U aufzuzeichnen.

Hierfür wurde, wie in Abbildung 2.1 zu sehen, ein Topf mit kaltem Wasser befüllt. Gleichermaßen wird ein Becherglas mit kaltem Wasser gefüllt, sodass dieses im Topf stehend exakt denselben Wasserpegel aufweist. In jenen Topf wird, bevor das mit Wasser befüllte Becherglas hinein gestellt wird, ein becherförmiges Sieb versenkt, damit das Becherglas nicht auf dem Topfboden aufsteht und somit nicht der direkten Hitze der darunter stehenden Herdplatte ausgesetzt ist, sondern nur von dem umliegenden Wasser erwärmt werden kann.

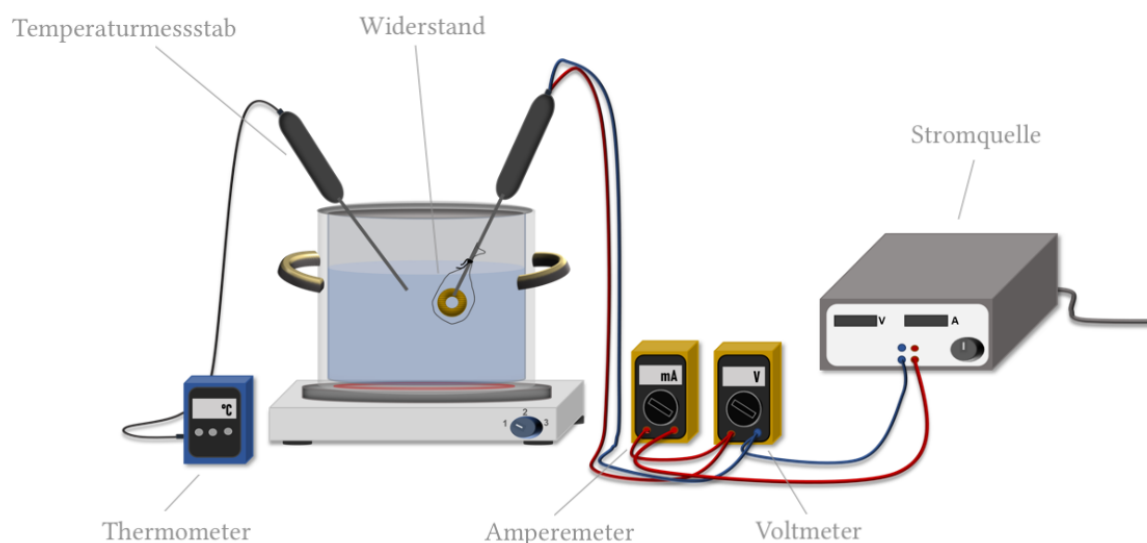


Abb. 2.1: Versuchsaufbau (Universität Augsburg WiSe 2024).

Die zu überprüfenden Widerstände sind jeweils mit zwei Kabeln verbunden, sodass darüber an zwei Multimetern die resultierende Stromstärke I und Spannung U abgelesen werden kann. Dadurch, dass der Widerstand an einen Strom angeschlossen wird, muss dieser vom Wasser im Topf abgeschirmt werden und wird deswegen sorgfältig in eine Tüte verpackt.

Die Verkabelung des Widerstandes an die Stromquelle und die Multimeter geschieht wie folgt: Wie in Abbildung 2.1 gezeigt, werden für den Versuchsaufbau zwei Multimeter benötigt. Eines davon, um die Stromstärke I in mA zu messen, im Folgenden Amperemeter genannt, und eines, um die durch den Leiter fließende Spannung U in V zu ermitteln, im Folgenden Voltmeter

genannt. Letzteres wird über den Ausgang (COM) beziehungsweise das Amperemeter mit dem Ausgang (mA) mit der Stromquelle verbunden. Anschließend wird das Voltmeter über den Ausgang (HzV Ω) mit dem Amperemeter am Ausgang (COM) zusammengeschlossen. Die zwei am Widerstand angeschlossenen Kabel werden nun beide auf die bereits verbundenen Kabel am Voltmeter einmal auf den Ausgang (COM) und (HzV Ω) gesteckt. Zuletzt wird das Amperemeter über den Drehschalter auf Wechsel- oder Gleichstrom (mA mit der Welle und der gestrichelten Linie gleichzeitig) und das Voltmeter auf Gleichspannung (V nur mit der gestrichelten Linie) gestellt. Die Verkabelung lässt sich auch relativ gut aus der Abbildung 2.1 nachvollziehen.

Nun kann der verkabelte Widerstand in das im Topf befindliche Becherglas mit Wasser gehängt werden. Ein Temperaturmessstab wird so nah wie möglich an den Widerstand platziert und so über den gesamten Versuchsablauf im Topf belassen. An der Stromquelle wird über einen Drehregler ungefähr eine Spannung von circa 5,0 V eingestellt. Bei diesem Versuch ist es wichtig, die vorherrschende Spannung U und damit auch der fließende Strom I klein gehalten wird, damit sich die Widerstände aufgrund des durchfließenden Stroms anhand der unerwünscht auftretenden Jouleschen Wärme nicht zusätzlich erhitzen. Beide vorgenommenen Messungen mit einem PTC- und NTC-Widerstand wurden bei einer Wassertemperatur von 22 °C begonnen. Nach dem Anschalten der Herdplatte wurde in 4 °C-Schritten die Spannung U und die Stromstärke I aufgenommen. Als PTC-Widerstand wurde für die erste Versuchsreihe eine Kupferspule verwendet.

Für die zweite Versuchsreihe mit dem NTC-Widerstand, welcher, wie später in der Auswertung festgestellt wird, aus Germanium besteht, wird zunächst das heiße Wasser im Topf wieder durch kaltes ersetzt. Hierbei wurde beim Wechselvorgang der Topf, das Becherglas und der Gittereinsatz mit kaltem Wasser gespült, um diese wieder auf Raumtemperatur abzukühlen. Nachdem der Topf und das Becherglas wieder bis zum selben Wasserstand befüllt waren, wurde der in die Tüte verpackte NTC-Widerstand mit dem Voltmeter wie oben beschrieben verkabelt und eine weitere Messreihe wie zuvor angefertigt.

2.2 Auswertung der Messergebnisse

Auf Grundlage der im vorherigen Kapitel beschriebenen Versuchsdurchführung werden die damit erlangten Messergebnisse nun ausgewertet.

Bestimmung des Temperaturkoeffizienten α aus den Messergebnissen des Metalls

Aus der zuerst angefertigten Messreihe des Widerstands aus Metall soll nun aus den aufgenommenen Werten der Stromstärke I und der Spannung V der Temperaturkoeffizient α ermittelt werden. Hierfür wird zunächst die gemessene Spannung in V in die Einheit mV umgerechnet. Damit kann nun über das Ohmsche Gesetz der Widerstand

$$R = \frac{U}{I}$$

der verwendeten Kupferspule berechnet werden. Alle Messergebnisse und deren Auswertung sind dabei Tabelle 2.1 zu entnehmen.

T in °C	I in mA	U in V	U in mV	R in Ω
22,1	34,38	5,00	5000	145,4334
26,0	32,92	4,90	4900	148,8457
30,0	33,00	4,95	4950	150,0000
34,0	32,54	4,94	4940	151,8132
38,0	32,68	5,01	5010	153,3048
42,0	32,42	5,04	5040	155,4596
46,0	31,95	5,04	5040	157,7465
50,0	31,04	4,96	4960	159,7938
54,0	30,35	4,92	4920	162,1087
58,0	30,00	4,93	4930	164,3333
62,0	29,59	4,94	4940	166,9483
66,0	28,92	4,90	4900	169,4329
70,0	28,55	4,91	4910	171,9790
74,0	28,36	4,93	4930	173,8364
78,0	28,03	4,94	4940	176,2397
82,0	27,40	4,90	4900	178,8321
86,0	27,37	4,96	4960	181,2203
90,0	26,85	4,96	4960	184,7300

Tabelle 2.1: Messergebnisse des Metalls und deren Auswertung.

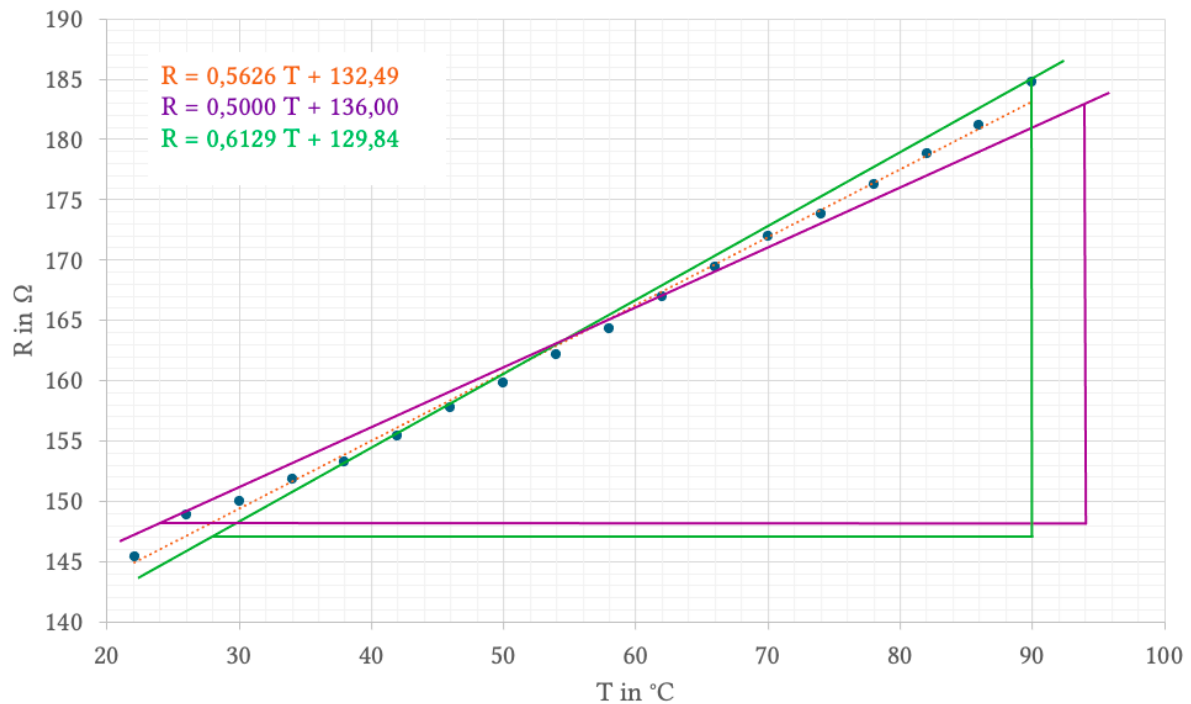


Abb. 2.2: Auftragung des Widerstandes R gegen die Temperatur $^{\circ}\text{C}$ der Messergebnisse des Metalls.

Die graphische Auftragung des Temperaturabhängigen Widerstandes $R(T)$ in Ω gegen die Temperatur T in $^{\circ}\text{C}$ lässt sich gut über eine lineare Ausgleichsgerade approximieren. Die in Abbildung 2.2 mit Hilfe von Excel eingezeichnete zu sehende orangene Ausgleichsgerade mit der Gleichung $R = 0,5626T + 132,49$ weist eine Steigung von

$$m_{\text{Kupfer}} = 0,5626$$

auf.

Der mögliche Fehler dieses Wertes wird mithilfe von Grenzgeraden graphisch ermittelt. Die in Diagramm 2.2 händisch eingezeichnete grüne Fehlergerade weist eine Steigung von

$$m_{\text{max}} = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{185 - 147}{90 - 28} = \frac{19}{31} = 0,6129$$

und die lilane Grenzgerade eine Steigung von

$$m_{\text{min}} = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{183 - 148}{94 - 24} = \frac{35}{70} = 0,5000$$

auf.

Aus diesen beiden Minimal- beziehungsweise Maximalsteigungen ergibt sich ein Gesamtfehler von

$$\Delta m_{\text{Kupfer}} = \frac{0,6129 - 0,5000}{2} = 0,0565.$$

Um den Temperaturkoeffizienten α bestimmen zu können, wird die Formel

$$R = \frac{l}{A} \rho_0 (1 + \alpha T) = R_0 (1 + \alpha T),$$

mit dem spezifischen Widerstand ρ_0 , welcher in einem Messbereich zwischen $0^\circ\text{C} < T < 100^\circ\text{C}$ aufgenommen wurde, und R_0 dem Referenzwiderstand bei 0°C , verwendet. Somit entspricht R_0 in Abbildung 2.2 dem Schnittpunkt der Geraden mit der R -Achse.

Die Schnittpunkte der grünen und lilanen Fehlergeraden ergeben sich folgendermaßen:

Grün: Wähle $T = 28, \quad R = 147, \quad m_{\max} = 0,6129$

$$R_{0,\max} = 147 - 0,6129 \cdot 28 = 129,84$$

Lila: Wähle $T = 24, \quad R = 148, \quad m_{\max} = 0,5000$

$$R_{0,\max} = 148 - 0,5000 \cdot 28 = 136,00$$

Damit ergeben sich folgende Werte für den R -Achsensabschnitt:

$$R_{0,\text{Kupfer}} = 132,49 \, \Omega$$

$$R_{0,\max} = 129,84 \, \Omega$$

$$R_{0,\min} = 136,00 \, \Omega.$$

Für den Fehler ΔR des Widerstand wird

$$\Delta R = \frac{R_{0,\max} - R_{0,\min}}{2} = \frac{136,00 - 129,84}{2} = 3,08$$

angenommen.

Mit den obigen Ergebnissen lässt sich der Widerstand $R(T)$ über die Gleichung

$$R(T) = (0,5626 \pm 0,0565) \frac{\Omega}{^\circ\text{C}} \cdot T + (132,49 \pm 3,08) \Omega$$

berechnen.

Insgesamt kann daraus der Temperaturkoeffizient α des im Versuch verwendeten PTC-Widerstands aus Kupfer berechnet werden:

$$\alpha_{\text{Kupfer}} = \frac{m_{\text{Kupfer}}}{R_{0,\text{Kupfer}}} = \frac{0,5626}{132,49} = 4,26 \cdot 10^{-3} \frac{1}{^\circ\text{C}}$$

mit dem Fehler

$$\Delta\alpha = \frac{\Delta m}{\Delta R} = \frac{0,0565}{2,08} = 1,8344 \cdot 10^{-3} \frac{1}{^\circ\text{C}}.$$

Zur Überprüfung der Qualität des experimentell bestimmten Temperaturkoeffizienten

$$\alpha_{\text{Kupfer}} = (4,2464 \pm 1,8344) \cdot 10^{-3} \frac{1}{^\circ\text{C}}$$

erscheint es sinnvoll, diesen mit Literaturwerten zu vergleichen. Für das Metall Kupfer existieren tatsächlich mehrere Literaturwerte, beispielsweise $\alpha_{\text{Lit}(1)} = 3,93 \cdot 10^{-3} \, 1/^\circ\text{C}$, gemessen bei einer Raumtemperatur von 20°C (Tipler und Mosca 2024, S. 756) oder $\alpha_{\text{Lit}(2)} = 4,45 \cdot 10^{-3} \, 1/^\circ\text{C}$, ohne Angabe der Messtemperatur (Weber 2007, S. 369). Woraus sich Abweichung dieser beiden Literaturwerte ergibt, lässt sich nicht genau zurückverfolgen und erfolgt eventuell aufgrund verschiedener Messtemperaturen. Beim Vergleich des experimentell bestimmten Wertes mit

beiden Literaturwerten befindet sich dieser im Fehlerbereich beider, jedoch liegt der zweite Literaturwert deutlich näher am Versuchswert.

Für die Fehlerdiskussion bleibt anzumerken, dass der Fehlerwert des Temperaturkoeffizienten $\Delta\alpha$ sehr hoch ausfällt. Dies liegt daran, dass sich der Fehlerwert aus mehreren zuvor berechneten Fehlerwerten zusammensetzt und sich mit jeder weiteren Rechnung aufgrund der Fortsetzung erhöht.

In Abbildung 2.2 fällt auf, dass nicht jeder aufgenommene Messwert auf der Ausgleichsgeraden liegt. Dies lässt sich auf kleinere Ungenauigkeiten während der Messung zurückführen. Während des Versuches mussten drei Anzeigen (Thermometer, Voltmeter und Amperemeter) im Auge behalten werden, sodass im Verlauf des Ablesevorgangs eventuell die Temperaturanzeige nicht mehr der exakt notierten Temperatur im Protokoll entsprach. Ebenfalls zeigten das Ampere- und Voltmeter keine konstanten Messwerte an. Beispielsweise sprang die angezeigte Stromstärke auf dem Amperemeter circa mit einem $\Delta I = 1,0 \text{ mA}$ hin und her. Beim Voltmeter lässt sich hierfür ungefähr ein Sprungintervall von $\Delta U = 0,04 \text{ V}$ annehmen. Zudem zeigte sich noch als Schwierigkeit, dass die zur Verfügung gestellten Multimeter sich nach einer gewissen Zeit von selbst abschalten, sodass diese während des Messvorgangs immer wieder angeschaltet werden mussten. Insgesamt führt die Kombination der genannten Fehlerquellen zu Ungenauigkeiten, jedoch fallen deren Auswirkungen auf das Gesamtergebnis nach dem Vergleich mit den Literaturwerten nicht besonders ins Gewicht.

Bestimmung der charakteristischen Größe des Materials B und der Energielücke W_0 des Halbleiters

In der zweiten Messreihe wurde die Stromstärke I und die Spannung U eines Halbleiters aus einem unbekanntem Material aufgenommen.

Da sich der Zusammenhang

$$R = \frac{U}{I}$$

bei einem NTC-Widerstand exponentiell abzeichnet, wird zur weiteren Auswertung der logarithmierte Widerstand $\ln(R)$ als Funktion gegen den Quotienten der Temperatur $\frac{1}{T}$ aufgetragen. Zunächst werden wieder die Messwerte der Spannung U in V in die Einheit mV umgerechnet. Gleichmaßen wird die aufgenommene Temperatur in °C in die Einheit K überführt. Die Messergebnisse und deren Auswertung sind in Tabelle 2.2 zu finden.

Die Auftragung des logarithmierten Widerstandes $\ln(R)$ in Ω gegen die Temperatur T in K lässt sich wiederum gut über eine Ausgleichsgerade beschreiben. Die in Abbildung 2.3 zu sehende orangene Ausgleichsgerade mit der Gleichung $\ln(R) = 3701,6 \frac{1}{T} - 3,0674$ weist eine Steigung von $B = 3701,60$ auf. Jene Steigung entspricht aufgrund des Zusammenhangs

$$\rho \propto \exp\left(\frac{B}{T}\right) \Rightarrow \ln(\rho) \propto \frac{B}{T}$$

der charakteristischen Größe des Materials

$$B_{\text{Halbleiter}} = 3701,60 \text{ K.}$$

T in °C	T in K	I in mA	U in V	U in mV	R in Ω	$\ln(R)$ in Ω	$\frac{1}{T}$ in K
22,0	295,15	0,39	5,01	5010	12846,1538	9,4608	0,0034
26,0	299,15	0,46	4,98	4980	10826,0870	9,2897	0,0033
30,0	303,15	0,54	4,97	4970	9203,7037	9,1274	0,0033
34,0	307,15	0,63	4,99	4990	7920,6349	8,9772	0,0033
38,0	311,15	0,72	4,90	4900	6805,5556	8,8255	0,0032
42,0	315,15	0,83	4,95	4950	5963,8554	8,6935	0,0032
46,0	319,15	0,96	4,95	4950	5156,2500	8,5480	0,0031
50,0	323,15	1,10	4,94	4940	4490,9091	8,4098	0,0031
54,0	327,15	1,28	4,93	4930	3851,5625	8,2562	0,0031
58,0	331,15	1,43	4,92	4920	3440,5594	8,1434	0,0030
62,0	335,15	1,68	4,92	4920	2928,5714	7,9823	0,0030
65,9	339,05	1,91	4,91	4910	2570,6806	7,8519	0,0029
70,0	343,15	2,16	4,91	4910	2273,1481	7,7289	0,0029
74,0	347,15	2,48	4,92	4920	1983,8710	7,5928	0,0029
78,0	351,15	2,83	4,92	4920	1738,5159	7,4608	0,0028
82,0	355,15	3,19	4,91	4910	1539,1850	7,3390	0,0028
86,0	359,15	3,59	4,90	4900	1364,9025	7,2188	0,0028
89,6	362,75	3,93	4,92	4920	1251,9084	7,1324	0,0028

Tabelle 2.2: Messergebnisse des Halbleiters und deren Auswertung.

Die Fehlerbetrachtung erfolgt analog zur ersten Messreihe über Fehlergeraden. Dabei ergibt sich für die grüne Fehlergerade eine Steigung von

$$B_{\min} = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{9,50 - 7,20}{0,00338 - 0,00274} = \frac{2,30}{0,00064} = 3593,75$$

und für die lilane Fehlergerade eine Steigung von

$$B_{\max} = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{9,30 - 7,00}{0,00336 - 0,00276} = \frac{2,30}{0,00060} = 3833,33.$$

Somit resultiert aus diesen beiden Steigungen ein Gesamtfehler von

$$\Delta B_{\text{Halbleiter}} = \frac{3833,33 - 3593,75}{2} = 119,79.$$

Insgesamt besitzt der getestete NPC-Widerstand als eine charakteristische Größe des Materials B von

$$B_{\text{Halbleiter}} = (3701,60 \pm 119,79).$$

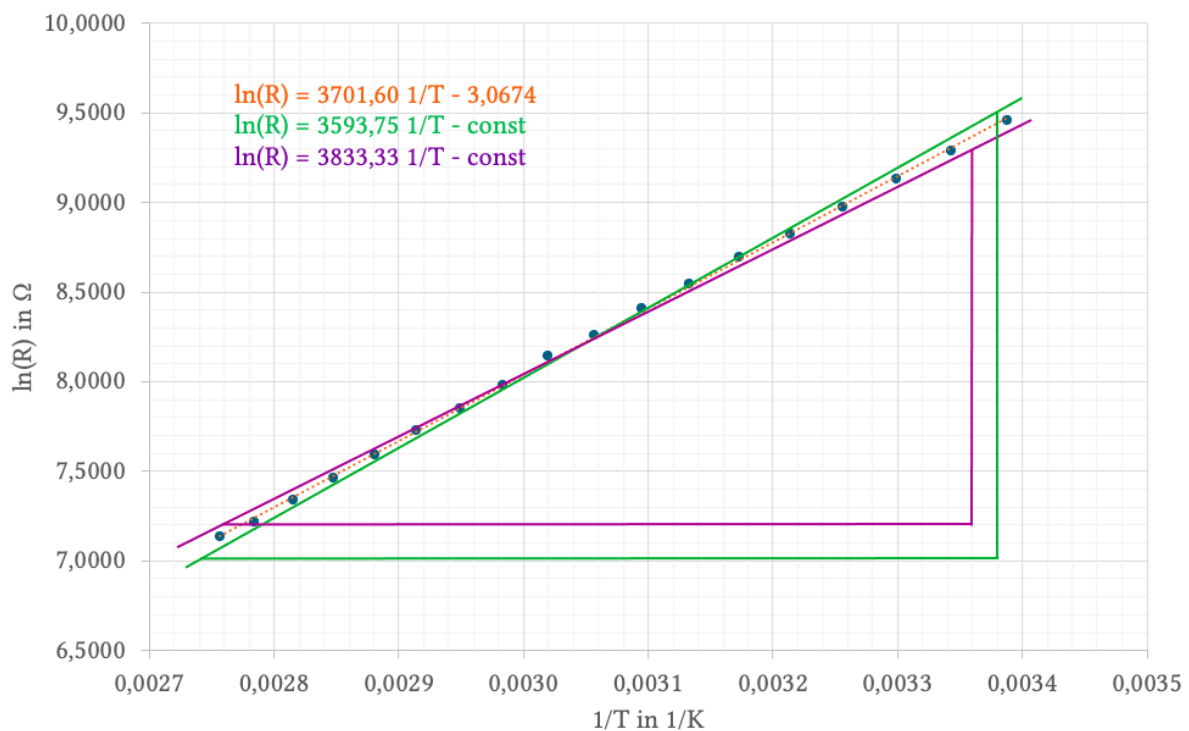


Abb. 2.3: Auftragung des logarithmierten Widerstandes $\ln(R)$ gegen den Quotienten der Temperatur $\frac{1}{T}$ der Messergebnisse des Halbleiters.

Aus der charakteristischen Größe B lässt sich über die Formel

$$B = \frac{W_0}{2k_B} \Leftrightarrow W_0 = B \cdot 2k_B$$

die Energie- beziehungsweise Bandlücke des Halbleiters bestimmen, wobei für die Boltzmann-Konstante k_B gilt:

$$k_B = 1,3806 \cdot 10^{-23} \frac{\text{J}}{\text{K}}, \quad k_B = 8,6173 \cdot 10^{-5} \frac{\text{eV}}{\text{K}}.$$

(Demtröder 2017, S. 505).

Eingesetzt in die oben stehende Formel ergibt sich damit für den unbekannten Halbleiter die Bandlücke

$$\begin{aligned} W_0 &= B \cdot 2k_B \\ &= 3701,6 \text{ K} \cdot 2 \cdot 1,3806 \cdot 10^{-23} \frac{\text{J}}{\text{K}} = 1,0216 \cdot 10^{-19} \\ &= 3701,6 \text{ K} \cdot 2 \cdot 8,6173 \cdot 10^{-5} \frac{\text{eV}}{\text{K}} = 1,0216 \cdot 10^{-19} = 0,6379 \text{ eV}. \end{aligned}$$

Der Fehler der Bandlücke ΔW_0 wird nun über den oben berechneten Fehler $\Delta B_{\text{Halbleiter}}$ folgendermaßen ermittelt:

$$\begin{aligned} \Delta W_0 &= \Delta B \cdot 2k_B \\ &= 119,79 \cdot 2k_B = 3,3062 \cdot 10^{-21} \text{ J} = 0,033 \cdot 10^{-19} \text{ J} \\ &= 0,0103 \text{ eV} \end{aligned}$$

Insgesamt ist damit die Bandlücke W_0 des unbekannten Halbleiters mit

$$W_0 = (1,02164 \pm 0,033) \cdot 10^{-19} \text{ J} \quad \text{bzw.} \quad W_0 = (0,6379 \pm 0,0103) \text{ eV}$$

gegeben.

Der Vergleich dieses Wertes mit Literaturwerten lässt darauf schließen, dass es sich bei dem unbekannten Halbleiter um Germanium mit dem Literaturwert

$$B_{\text{Germanium}} = 0,66 \text{ eV},$$

aufgenommen bei einer Temperatur von 300 K, handelt (Hunklinger 2007, S. 379).

Der Literaturwert ist tatsächlich etwas größer als der experimentell bestimmte Messwert, was auf mögliche Messfehler während des Versuches zurückgeführt werden kann. Im Vergleich zu der durchgeführten Messreihe mit der Kupferspule sprang das Amperemeter deutlich weniger zwischen den Werten, sodass hierbei nur noch circa von einem Fehler von $\Delta I = 0,2 \text{ mA}$ ausgegangen werden kann. Wie ebenfalls bereits erwähnt schalten sich die Multimeter nach einer gewissen Zeit von selbst ab. Dies geschah leider bei dem abzulesenden Temperaturwert von $T = 66^\circ\text{C}$ mit dem Amperemeter, sodass der zuvor gesehene Wert der Stromstärke I für die Temperatur $T = 65,9^\circ\text{C}$ notiert wurde. Ebenso wurde bei der zweiten Versuchsreihe mit dem Halbleiter die gewünschte Endtemperatur von $T = 90^\circ\text{C}$ nicht erreicht. Nachdem nach fünfminütigem Warten die Temperatur von $T = 89,6^\circ\text{C}$ nicht überschritten wurde, wurde der zuletzt auf dem Volt- beziehungsweise Amperemeter angezeigte Wert im Protokoll festgehalten. Insgesamt lassen sich die Ergebnisse als gut genug einordnen, um mit Sicherheit die Art des Halbleiters als Germanium bestimmen zu können.

Literatur

Demtröder, Wolfgang (2017). *Experimentalphysik 2*. 7. Aufl. Kaiserslautern: Springer Spektrum.

Hunklinger, Siegfried (2007). *Festkörperphysik*. München: Oldenbourg Verlag.

Tipler, Paul und Gene Mosca (2024). *Tipler Physik*. 9. Aufl. Berlin: Springer Spektrum.

Universität Augsburg (WiSe 2024). *Versuchsanleitung E6 - NTC- Und PTC-Widerstand*.

Weber, Reinhart (2007). *Klassische Physik*. 1. Aufl. Bd. Teil I. Wiesbaden: B.G. Teubner.

3 Anhang

Topf + Becherglas mit Wasser befüllt → gleiche Höhe
Widerstand in Tüte in das Becherglas im Topf hängen

① Metall (Kupfer)

Startspannung $U = 5,00$, $\Delta U = 0,04$ V
 $\Delta I = 1,0$ mA

T in °C	I in mA	U in V
22,1	34,38	5,00
26,0	32,92	4,90
30,0	33,00	4,95
34,0	32,54	4,94
38,0	32,68	5,01
42,0	32,42	5,04
46,0	31,95	5,04
50,0	31,04	4,96
54,0	30,35	4,92
58,0	30,00	4,93
62,0	29,59	4,94
66,0	28,92	4,90
70,0	28,55	4,91
74,0	28,36	4,93
78,0	28,03	4,94
82,0	27,40	4,90
86,0	27,37	4,96
90,0	26,85	4,96 / n. def

Messfehler:

- Amperemeter springt stark hin und her
- Temperaturmessstab sehr nah am Leiter platziert aber trotzdem leichter Abstand dazwischen.
- Ampere- und Voltmeter geht ständig aus

Heißes Wasser wegleeren

Topf mit kaltem Wasser abkühlen + neu mit Wasser befüllen

- " - Becherglas

Versuch
Gruppe A06
29.01.25

② Halbleiter

$$\Delta U = 0,04 \text{ V}$$

$$\Delta I = 0,2 \text{ mA}$$

Startspannung $U = 5,02 \text{ V}$

T in °C	I in mA	U in V
22,0	0,39	5,01
26,0	0,46	4,98
30,0	0,54	4,97
34,0	0,63	4,99
38,0	0,72	4,90
42,0	0,83	4,95
46,0	0,96	4,95
50,0	1,10	4,94
54,0	1,28	4,93
58,0	1,43	4,92
62,0	1,68	4,92
65,9	1,91	4,91
70,0	2,16	4,91
74,0	2,48	4,92
78,0	2,83	4,92
82,0	3,19	4,91
86,0	3,59	4,90
89,6	3,93	4,92

M. amp

Messfehler:

- Thermometerstab auf Tüte gestellt, damit darin befindlicher Halbleiter nicht nach oben schwimmt
- Amperemeter springt deutlich weniger zwischen den Werten hin und her
- Bei $T = 66,1^\circ\text{C}$ Ausfall des Amperemeters
 ↳ Ausgetauscht → Wert bei 65,9 vor Absturz genommen