

E 1 Charakteristik von Widerständen

1. Aufgabenstellung

- 1.1 Die Strom-Spannungs-Charakteristiken dreier Widerstände sind aufzunehmen und graphisch darzustellen.
- 1.2 Aus den Strom-Spannungs-Charakteristiken sind die Widerstandswerte in Abhängigkeit von der Stromstärke zu ermitteln und graphisch darzustellen.
- 1.3 Die Widerstände dreier unterschiedlicher Materialien bzw. Widerstandstypen (z. B. NTC-, PTC-Widerstand u. a.) sind in Abhängigkeit von der Temperatur (Bereich $\approx 10 \dots 90^\circ\text{C}$) zu messen und graphisch darzustellen. Der Widerstandstyp ist zu identifizieren, die Temperaturkoeffizienten β des Widerstands bei Raumtemperatur und bei 80°C sind zu ermitteln.
- 1.4 Für die NTC-Widerstände (Heißleiter) ist die funktionale Abhängigkeit $\ln R = f(1/T)$ graphisch darzustellen, die Aktivierungsenergie E_A ist durch lineare Regression zu bestimmen.

2. Grundlagen zum Versuch

- Charakteristisch für einen ohmschen Widerstand ist, dass das Verhältnis der in einem Stromkreis wirksamen Spannung U zur Stromstärke I proportional ist. Man definiert dieses Verhältnis als den *elektrischen Widerstand* R des Stromkreises: $R = \frac{U}{I}$ (1).
Dies ist jedoch oft nur für bestimmte Materialien in einem „engen“ Temperaturintervall eine sehr gute Näherung. In Wirklichkeit aber hat der Stromfluss eine Temperaturveränderung des leitenden Materials zur Folge. Es tritt daher auf, dass der Widerstand zunehmen (Kaltleiter) oder abnehmen (Heißleiter) kann, der sogar von der Stromrichtung abhängig ist. In der Strom-Spannungs-Kennlinie tritt dann eine spezifische Krümmung auf.
- Zwischen gemessener Spannung und gemessener Stromstärke besteht somit ein nichtlinearer Zusammenhang (außer bei einem ohmschen Widerstand), dessen Verlauf durch die Strom-Spannungs-Kennlinie $I = f(U)$ dargestellt wird. Sowohl der durch (1) definierte Gleichstromwiderstand als auch der für kleine Stromspannungsänderungen maßgebliche Kehrwert des Anstieges $r = dU/dI$ (2) (Differentialer Widerstand) sind vom jeweiligen Punkt auf der Kennlinie abhängig. Da wir hier nur eine diskrete Kennlinie haben, wird der Differentielle Widerstand durch den Differenzenquotienten $r = \Delta U / \Delta I$ im Falle eines nicht-ohmschen Leiters berechnet.
- Der Widerstand eines Metalldrahtes hängt zum einen von Materialeigenschaften und zum anderen von seiner Geometrie ab. Es gilt: $R = \rho \cdot l / A$, dabei ist ρ der spezifische Widerstand, l die Länge und A die Querschnittsfläche des Drahtes. In Metallen bilden die nicht an bestimmte Atome gebundenen Elektronen ein Elektronengas, das bei angelegter äußerer Spannung den Stromfluss bewirkt. Durch Wärmebewegungen der Atome erfährt das Elektronengas einen Widerstand, der somit von der Temperatur abhängt. In guter Näherung gilt, dass die Abhängigkeit des elektrischen Widerstands von der Temperatur für metallische Stoffe durch die Beziehung: $R(T) = R_0(1 + \beta T)$ (3) gegeben ist, wobei R_0 der Widerstand bei einer festen Bezugstemperatur und β der Temperaturkoeffizient in K^{-1} ist.
Man kann β aus zwei Widerstandswerten bei zwei Temperaturen t_1 und t_2 bestimmen, indem man zuerst $\frac{R_{t1}}{R_{t2}} = \frac{R_0(1 + \beta t_1)}{R_0(1 + \beta t_2)}$ bildet. Stellt man diese Gleichung nach β um, ergibt sich $\beta = \frac{R_{t1} - R_{t2}}{t_1 R_{t2} - t_2 R_{t1}}$ (3a).
- Der Heißleiter (oder auch NTC-Widerstand) ist ein Bauelement, das bei hohen Temperaturen einen geringen Widerstandswert besitzt. Er zählt zu der Gruppe der Thermistoren und besteht aus verschiedenen Metalloxiden. Das Widerstands-Temperaturverhalten ist gekennzeichnet durch den negativen Temperaturkoeffizienten

des NTC und verläuft nicht linear. Es gilt hier folgende Temperaturabhängigkeit des Widerstands:

$R(T) = \tilde{R} \cdot \exp(E_A / kT)$ (4), wobei k die Boltzmann-Konstante und T die absolute Temperatur ist. Der Faktor \tilde{R} hat die Dimension eines Widerstandes und hängt sowohl von der Halbleitergeometrie als auch von der Ladungsträgerbeweglichkeit und der Ladungsträgerdichte schwach von T ab. Die Größe E_A ist die Aktivierungsenergie in J .

Zur Bestimmung der Aktivierungsenergie kann man die lineare Abhängigkeit $\ln R(T) = f(1/T)$ herleiten.

Es gilt dann: $\ln(R) = \frac{E_A}{k} \frac{1}{T} + \ln(\tilde{R})$ (5).

Wenn man nun die Regressionsgerade durch die so erhaltenen Wertepaare legt, entspricht ihr Steigungskoeffizient genau E_A / k , woraus sich E_A ergibt.

3. Versuchsaufbau

- Netzgerät
- digitales Thermometer
- Peltier-Element
- Wasserschale zur Kühlung
- Schaltungsbrett mit 3 Widerständen
- mit Peltier-Element verbundene Vorrichtung mit 3 Widerständen
- 2 Multimeter,

Messunsicherheit:

2 mA , 20 mA : $(\pm 0,15\% + 3\text{ dgts})$, 200 mA : $(\pm 0,25\% + 3\text{ dgts})$

Ω : $(\pm 0,1\% + 5\text{ dgts})$

20 V : $(\pm 0,025\% + 3\text{ dgts})$

für beide Versuche wird eine spannungsrichtige Schaltung verwendet (Abb. 3.1).

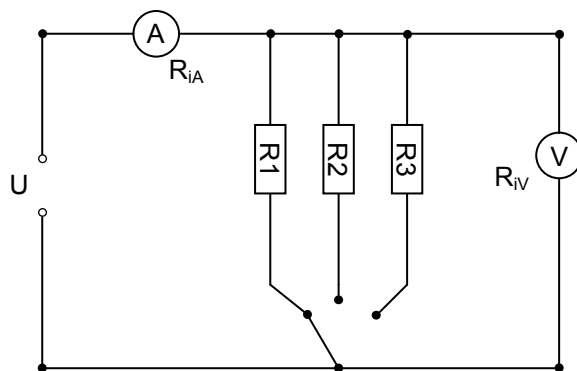


Abb. 3.1 spannungsrichtige Schaltung
Zur gleichzeitigen Bestimmung von Spannung und Stromstärke

4. Messergebnisse

4.1.1 Messung der Kaltwiderstände (vgl. 1.1):

Widerstand 1: $R_{1,k} = (1,079 \pm 0,006) \text{ k}\Omega$

Widerstand 2: $R_{2,k} = (0,993 \pm 0,006) \text{ k}\Omega$

Widerstand 3: $R_{3,k} = (82,76 \pm 0,06) \Omega$

4.1.2 Aufnahme der Strom-Spannungs-Charakteristiken (vgl. 1.1):

Widerstand 1		Widerstand 2		Widerstand 3	
$U \pm 0,007 \text{ V}$	$I \pm 0,032 \text{ mA}$	$U \pm 0,007 \text{ V}$	$I \pm 0,032 \text{ mA}$	$U \pm 0,007 \text{ V}$	$I \pm 0,52 \text{ mA}$
1,328	1,235	1,063	1,070	0,913	10,23
2,714	2,565	1,991	2,003	2,025	19,40
4,030	3,866	3,049	3,066	3,005	23,70
5,315	5,292	4,039	4,063	3,997	24,26
6,485	6,900	4,995	5,023	5,004	23,25
7,640	8,561	5,985	6,019	6,004	22,40
8,610	10,510	6,990	7,029	6,989	21,10
9,478	12,627	7,913	7,956	7,992	20,27
10,284	14,905	8,932	8,980	9,024	19,10
10,989	17,445	9,884	9,934	9,974	17,66
		10,928	10,983	10,967	16,88
		11,901	11,959	11,977	16,44

Tabelle 4.1.2.1 Gemessene Strom-Spannungs-Wertepaare

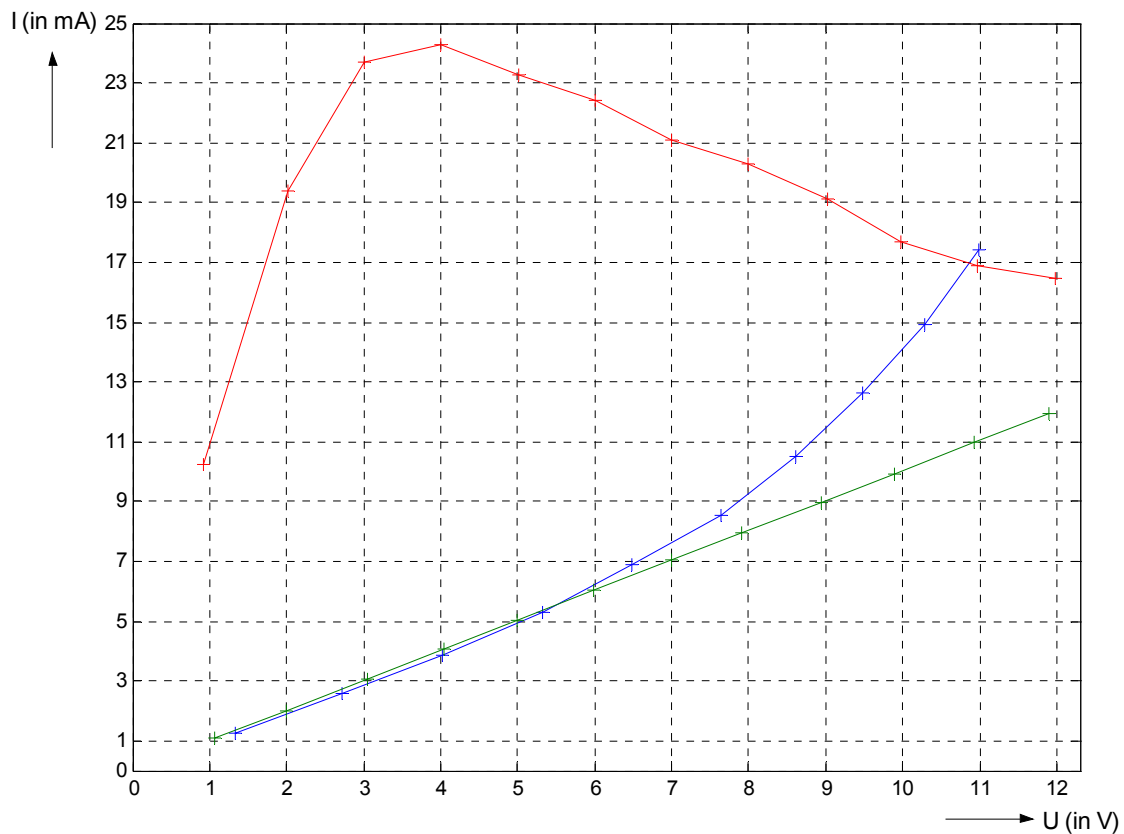


Abb. 4.1.2.1 Strom-Spannungs-Charakteristik aller drei Widerstände
(Widerstand 1 – Blau, Widerstand 2 – Grün, Widerstand 3 – Rot)

4.2 Berechnete Widerstandswerte in Abhängigkeit der Stromstärke (vgl. 1.2):

Widerstand 1		Widerstand 2		Widerstand 3	
Intervall von I (in mA)	Different. Wider- stand (in k Ω)	I (in mA)	R (in k Ω)	Intervall von I (in mA)	Different. Wider- stand (in k Ω)
[1,328 ; 2,714]	1,04210526	1,070	0,99345794	[0,913 ; 2,025]	0,12126499
[2,714 ; 4,030]	1,01152959	2,003	0,99400899	[2,025 ; 3,005]	0,22790698
[4,030 ; 5,315]	0,90112202	3,066	0,99445532	[3,005 ; 3,997]	1,77142857
[5,315 ; 6,485]	0,72761194	4,063	0,99409303	[3,997 ; 5,004]	-0,9970297
[6,485 ; 7,640]	0,69536424	5,023	0,99442564	[5,004 ; 6,004]	-1,17647059
[7,640 ; 8,610]	0,49769112	6,019	0,99435122	[6,004 ; 6,989]	-0,75769231
[8,610 ; 9,478]	0,41001417	7,029	0,99445156	[6,989 ; 7,992]	-1,20843373
[9,478 ; 10,284]	0,35381914	7,956	0,99459527	[7,992 ; 9,024]	-0,88205128
[10,284 ; 10,989]	0,27755906	8,980	0,99465479	[9,024 ; 9,974]	-0,65972222
		9,934	0,99496678	[9,974 ; 10,967]	-1,27307692
		10,983	0,99499226	[10,967 ; 11,977]	-2,29545455
		11,959	0,9951501		

Tabelle 4.2.1 Widerstandswerte in Abhängigkeit der Stromstärke

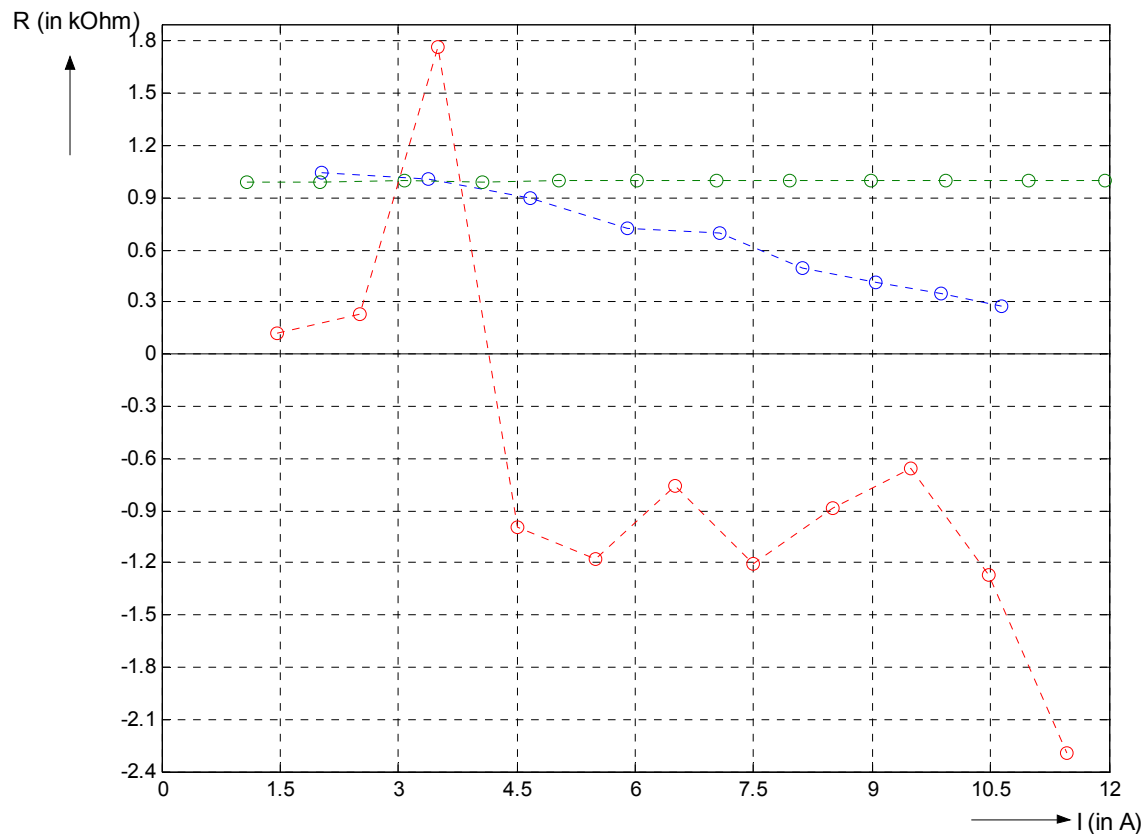


Abb. 4.2.1 Widerstandswerte in Abhängigkeit der Stromstärke
(Widerstand 1 – Blau, Widerstand 2 – Grün, Widerstand 3 – Rot)

N.B.: Da die (differentiellen) Widerstandswerte (vgl. Tab. 4.2.1) für die Widerstände 1 und 3 nur für Intervalle gelten, haben wir für die Darstellung eines Widerstandswert jeweils den Mittelwert des dazugehörigen Intervalls der Stromstärke zugeordnet. Beim 2. Widerstand ist der Widerstandswert exakt der entsprechenden Stromstärke zugeordnet, da es sich in guter Näherung um einen ohmschen Widerstand handelt, und somit die Gleichung (1) gilt.

4.3.1 Aufnahme der Temperatur-Widerstands-Charakteristiken (vgl. 1.3):

Widerstand 1		Widerstand 2		Widerstand 3	
$T \pm 0,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$	$R \pm 0,0033 \text{ k}\Omega$	$T \pm 0,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$	$R \pm 3,3 \text{ }\Omega$	$T \pm 0,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$	$R \pm 0,0033 \text{ k}\Omega$
10,0	1,2018	10,0	69,68	10,0	2,0970
12,0	1,2012	12,0	68,94	12,0	1,9148
14,0	1,2006	14,0	68,28	14,0	1,7396
16,0	1,1999	16,0	67,93	16,0	1,6163
18,0	1,2000	18,0	67,88	18,0	1,5042
20,0	1,1990	20,0	67,56	20,0	1,3580
22,3	1,1990	22,3	67,52	22,3	1,2280
25,0	1,1973	25,0	67,61	25,0	1,1070
30,0	1,1960	30,0	69,10	30,0	0,8848
35,0	1,1945	35,0	71,94	35,0	0,7450
40,0	1,1930	40,0	76,75	40,0	0,6177
45,0	1,1918	45,0	85,06	45,0	0,5126
50,0	1,1902	50,0	97,16	50,0	0,4252
55,0	1,1889	55,0	117,1	55,0	0,3645
60,0	1,1873	60,0	152,9	60,0	0,3049
65,0	1,1861	65,0	247,5	65,3	0,2550
70,8	1,1844	70,0	498,1	70,0	0,2188
75,0	1,1824	75,3	1231	75,0	0,1877
80,5	1,1820	80,5	2945	80,0	0,1615

Tabelle 4.3.1.1 Gemessene Temperatur-Widerstands-Wertepaare

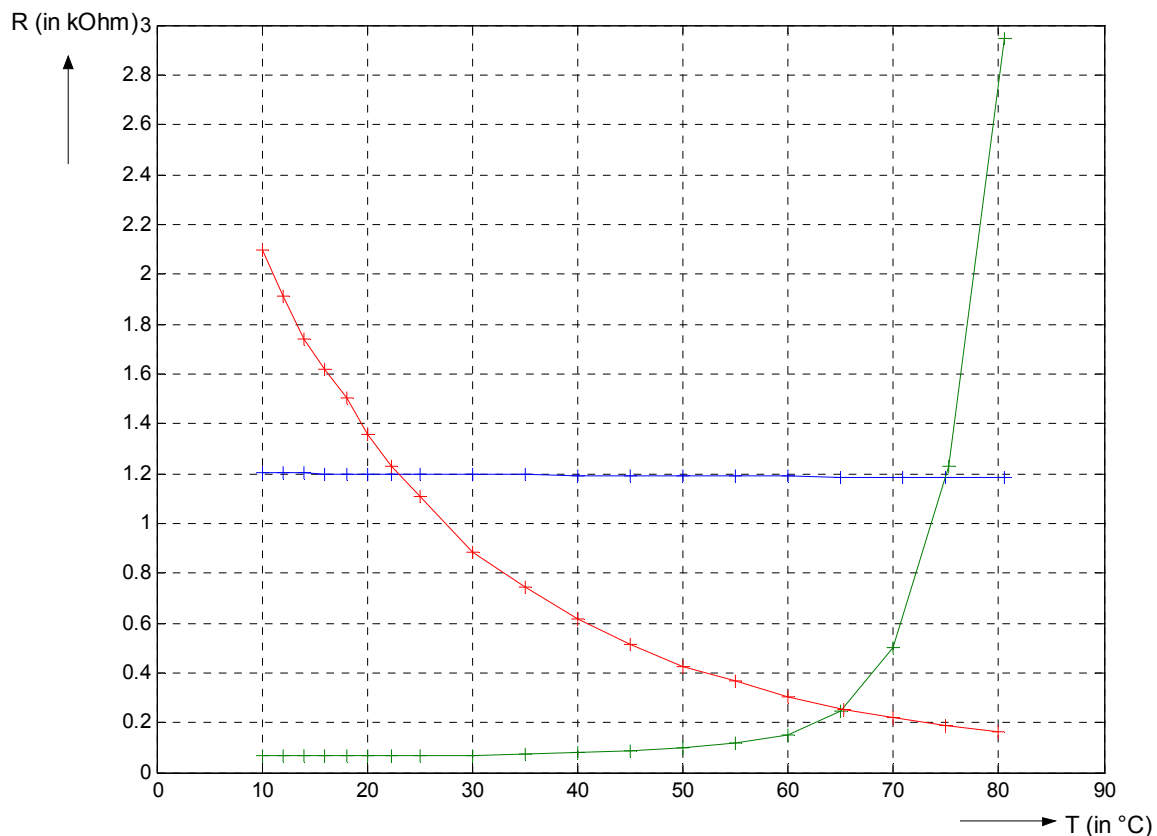


Abb. 4.3.1.1 Temperatur-Widerstands-Charakteristiken aller drei Widerstände (Widerstand 1 – Blau, Widerstand 2 – Grün, Widerstand 3 – Rot)

Man erkennt am Verlauf der Kurven in Abb. 4.3.1.1, dass der dritte Widerstand ein Heißleiter ist, also ein NTC-Widerstand (Negative Temperature Coefficient Resistor). Der zweite hingegen scheint ein PTC-Widerstand (Positive Temperature Coefficient Resistor), ein sog. Kaltleiter zu sein. Der erste Widerstand zeigt, im Verhältnis zu den anderen Widerständen nur eine geringe Temperaturabhängigkeit, es handelt sich somit in guter Näherung um einen ohmschen Widerstand, obgleich der Widerstand mit steigender Temperatur leicht abnimmt.

4.3.2 Berechnung der Temperaturkoeffizienten (vgl. 1.3):

Widerstand 1		Widerstand 2		Widerstand 3	
Intervall von (in °C) $\pm 0,2$ °C	β (in 1/°C)	Intervall von T (in °C) $\pm 0,2$ °C	β (in 1/°C)	Intervall von T (in °C) $\pm 0,2$ °C	β (in 1/°C)
[10,0; 12,0]	-0,00024900	[10,0; 12,0]	-0,00504225	[10,0; 12,0]	-0,03028590
[12,0; 14,0]	-0,00024900	[12,0; 14,0]	-0,00452675	[12,0; 14,0]	-0,02953473
[14,0; 16,0]	-0,00029034	[14,0; 16,0]	-0,00247420	[14,0; 16,0]	-0,02368694
[16,0; 18,0]	+0,00004180	[16,0; 18,0]	-0,00036587	[16,0; 18,0]	-0,02230313
[18,0; 20,0]	-0,00041356	[18,0; 20,0]	-0,00226116	[18,0; 20,0]	-0,02592199
[20,0; 22,3]	0	[20,0; 22,3]	-0,00025610	[20,0; 22,3]	-0,02271377
[22,3; 25,0]	<u>-0,00051905</u>	[22,3; 25,0]	<u>+0,00049918</u>	[22,3; 25,0]	<u>-0,02012006</u>
[25,0; 30,0]	-0,00021598	[25,0; 30,0]	+0,00495346	[25,0; 30,0]	-0,02003607
[30,0; 35,0]	-0,00024896	[30,0; 35,0]	+0,01091049	[30,0; 35,0]	-0,01622186
[35,0; 40,0]	-0,00024896	[35,0; 40,0]	+0,02513718	[35,0; 40,0]	-0,01556140
[40,0; 45,0]	-0,00019957	[40,0; 45,0]	+0,16183057	[40,0; 45,0]	-0,01441207
[45,0; 50,0]	-0,00026530	[45,0; 50,0]	-0,10151007	[45,0; 50,0]	-0,01345443
[50,0; 55,0]	-0,00021609	[50,0; 55,0]	-0,03895065	[50,0; 55,0]	-0,01176129
[55,0; 60,0]	-0,00026523	[55,0; 60,0]	-0,02588533	[55,0; 60,0]	-0,01168513
[60,0; 65,0]	-0,00019972	[60,0; 65,0]	-0,01926143	[60,0; 65,3]	-0,01082437
[65,0; 70,8]	-0,00024321	[65,0; 70,0]	-0,01664950	[65,3; 70,0]	-0,01016180
[70,8; 75,0]	-0,00039092	[70,0; 75,3]	-0,01506070	[70,0; 75,0]	-0,00950780
[75,0; 80,5]	<u>-0,00006123</u>	[75,3; 80,5]	<u>-0,01397324</u>	[75,0; 80,0]	<u>-0,00902359</u>

Tabelle 4.3.2.1 Nach (3a) berechnete Temperaturkoeffizienten der einzelnen Temperaturintervalle

4.4 Berechnung der Aktivierungsenergie (vgl. 1.4):

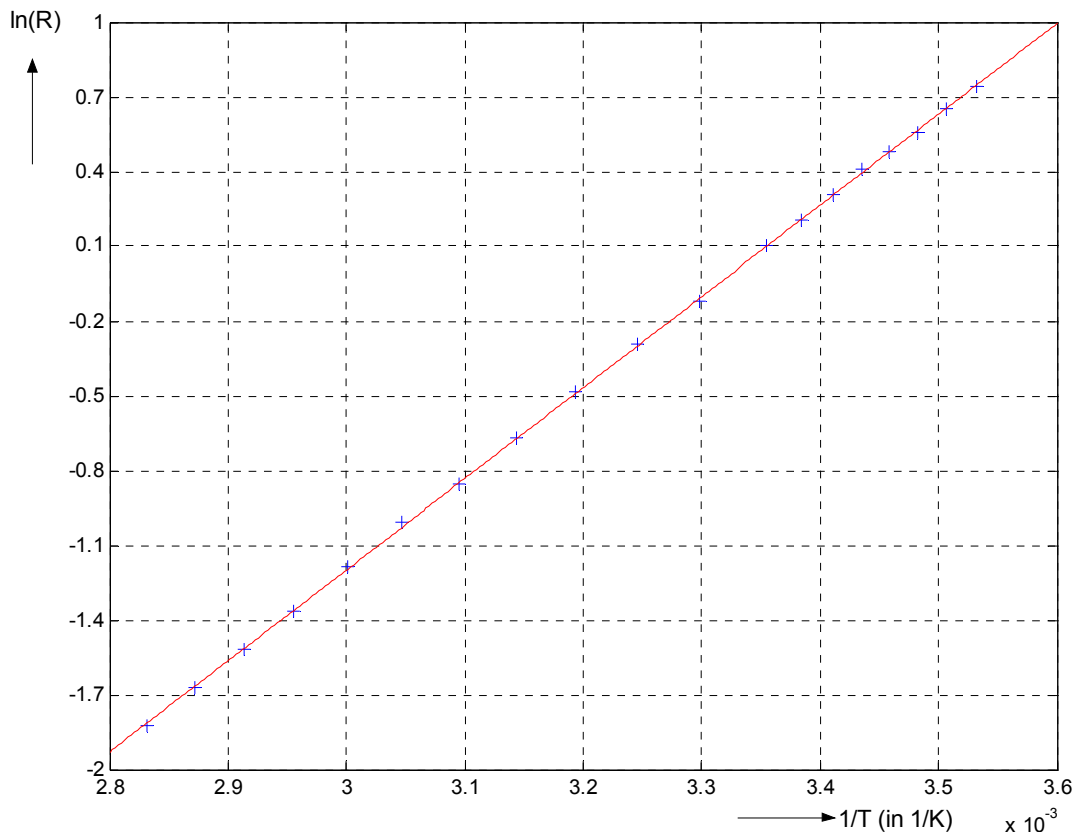


Abb. 4.4.1.1 Darstellung der Wertepaare $(\ln R, T^{-1})$ und der dazugehörigen Regressionsgeraden

Die Abb. 4.4.1.1 zeigt die nach (5) berechneten Wertepaare und deren lineare Regressionsgerade. Ihre Gleichung ist $\ln(R) = 3658,7 \cdot \frac{1}{T} - 12,175$. Da ihr Steigungskoeffizient dem Wert E_A / k entspricht, ergibt sich mit $k = 1,38066 \cdot 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$ und nach Umrechnung in Elektronvolt für die Aktivierungsenergie $E_A = 0,315 \text{ eV}$.

5. Zusammenfassung und Diskussion

- Die Messung der Kaltwiderstände (vgl. 1.1) ergab:

Widerstand 1: $R_{1,k} = (1,079 \pm 0,006) \text{ k}\Omega$,

Widerstand 2: $R_{2,k} = (0,993 \pm 0,006) \text{ k}\Omega$

Widerstand 3: $R_{3,k} = (82,76 \pm 0,06) \Omega$

- Identifizierung der Widerstände (vgl. 1.3):

Anhand der Kurven in Abb. 4.3.1.1 lässt sich identifizieren, um welchen Widerstandstyp es sich wahrscheinlich handelt.

1. Widerstand: Ohmscher Widerstand,

2. Widerstand: PTC- Widerstand

3. Widerstand: NTC- Widerstand

- Bestimmung des Temperaturkoeffizienten β der Widerstände bei Raumtemperatur und 80°C (vgl. 1.3):

Die Abweichung der 2. Temperatur begründet sich durch die Vorgehensweise bei der Berechnung von β . Wir berechneten β mit den benachbarten Messwerten, den in Tab. 4.3.2.1 angegebenen Intervall, dadurch ließ sich kein Wert für exakt 80°C berechnen.

Dies ließe sich vermeiden, indem man Messwerte aufnimmt, die 80°C in der Mitte des Intervalls besitzen.

Widerstand 1:

β bei $23,65^\circ\text{C}$: $-0,00051905 \text{ } (^\circ\text{C})^{-1}$

β bei $77,75^\circ\text{C}$: $-0,00006123 \text{ } (^\circ\text{C})^{-1}$

Widerstand 2:

β bei $23,65^\circ\text{C}$: $0,00049918 \text{ } (^\circ\text{C})^{-1}$

β bei $77,90^\circ\text{C}$: $-0,01397324 \text{ } (^\circ\text{C})^{-1}$

Widerstand 3:

β bei $23,65^\circ\text{C}$: $-0,02012006 \text{ } (^\circ\text{C})^{-1}$

β bei $77,50^\circ\text{C}$: $-0,00902359 \text{ } (^\circ\text{C})^{-1}$

- Zur Bestimmung der Aktivierungsenergie (vgl. 1.4), stellten wir unsere Widerstands-Temperatur Wertepaare nach (5) dar, um eine lineare Abhängigkeit zu bekommen.

Wir bestimmten die lineare Regressionsgerade $\ln(R) = 3658,7 \cdot \frac{1}{T} - 12,175$, und berechneten mit der Boltzmann-Konstante aus dem Steigungskoeffizienten E_A / k die Aktivierungsenergie mit $E_A = 0,315 \text{ eV}$.

6. Literaturangaben

- <http://www.uni-magdeburg.de/iep/gp12/E1.html>
- Heribert Stroppe: „Physik für Studenten der Natur- und Technikwissenschaften“, Fachbuchverlag Leipzig, S. 225 ff
- Ilberg, Krötzsch, Gesche: „Physikalisches Praktikum“, B.G. Teubner Verlagsgesellschaft Stuttgart, Leipzig, S. 138 ff

Grundlagenpraktikum Physik

Versuch E1 Charakteristik von Widerständen

Inhalt

1. Aufgabenstellung
2. Grundlagen zum Versuch
3. Versuchsaufbau
4. Messergebnisse
5. Messunsicherheiten
6. Zusammenfassung und Diskussion
7. Literatur

1. Aufgabenstellung

- 1.1 Die Strom-Spannungs-Charakteristiken dreier Widerstände sind aufzunehmen und graphisch darzustellen.
- 1.2 Aus den Strom-Spannungs-Charakteristiken sind die Widerstandswerte in Abhängigkeit von der Stromstärke zu ermitteln.
- 1.3 Die Widerstände dreier unterschiedlicher Materialien bzw. Widerstandstypen (z.B. NTC-, PTC-Widerstand u.a.) sind in Abhängigkeit von der Temperatur (Bereich 10...90°C) zu messen und graphisch darzustellen. Der Widerstandstyp ist zu identifizieren, die Temperaturkoeffizienten β des Widerstands bei Raumtemperatur und bei 80°C sind zu ermitteln.
- 1.4 Für die NTC-Widerstände (Heißleiter) ist die funktionale Abhängigkeit $\ln R = f(1/T)$ graphisch darzustellen, die Aktivierungsenergie E_A ist durch lineare Regression zu bestimmen.

2. Grundlagen zum Versuch

Charakteristisch für den ohmschen Widerstand ist die Proportionalität von Spannung und Strom in einem Stromkreis. Dieses Verhältnis wird als elektrischer Widerstand definiert:

$$R = \frac{U}{I} \quad (1)$$

Jedoch ist dieses Gesetz nur für bestimmte Materialien in kleinen Temperaturintervallen zulässig. Real gesehen erfolgt durch den Stromfluss eine Temperaturänderung, sodass sich das leitende Material erhitzt und die charakteristische Strom-Spannungs-Kennlinie verändert. Daher kann der Widerstand, je nach Material, zunehmen (Kaltleiter) oder abnehmen (Heißleiter), erkennbar an der Krümmung der Kennlinie.

Bei diesen Leitern besteht also ein nichtlinearer Zusammenhang (außer bei dem ohmschen Widerstand). Sowohl der durch (1) definierte Gleichstromwiderstand als auch der für kleine Strom-Spannungs-Änderungen maßgebliche Kehrwert des Anstiegs

$$r = \frac{dU}{dI} \quad (2)$$

ist vom jeweiligen Punkt auf der Kennlinie (Arbeitspunkt) abhängig. Im Falle eines nicht-ohmschen Leiters wird der Widerstand nach (2) berechnet.

Der Widerstand eines Metalldrahtes hängt zum einen von Materialeigenschaften und zum anderen von seiner Geometrie ab. Dabei gilt $R = \frac{\rho \cdot l}{A}$.

In Metallen bilden die nicht an bestimmte Atome gebundenen Elektronen ein Elektronengas, das bei angelegter äußerer Spannung den Stromfluss bewirkt. Durch Wärmebewegungen der Atome erfährt das Elektronengas einen Widerstand, der somit von der Temperatur abhängt. In guter Näherung gilt, dass die Abhängigkeit des elektrischen Widerstands von der Temperatur für metallische Stoffe durch die Beziehung

$$R(T) = R_0(1 + \beta T) \quad (3)$$

gegeben ist, wobei R_0 der Widerstand in Ω bei einer festen Bezugstemperatur und β der Temperaturkoeffizient in K^{-1} ist.

Man kann β aus zwei Widerstandswerten bei zwei Temperaturen t_1 und t_2 bestimmen, indem man zuerst

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_0(1 + \beta t_1)}{R_0(1 + \beta t_2)} \quad \text{bildet und dann nach } \beta \text{ umstellt, dann ergibt sich für } \beta$$

$$\beta = \frac{R_1 - R_2}{t_1 R_2 - t_2 R_1} \quad (4)$$

Der Heißleiter (auch NTC-Widerstand genannt) ist ein Bauelement, das bei hohen Temperaturen geringe Widerstände besitzt. Das Widerstands-Temperaturverhalten ist durch den negativen Temperatur Koeffizienten gekennzeichnet. Es gilt folgende Temperaturabhängigkeit des Widerstands:

$$R(T) = \tilde{R} \cdot \exp(E_A / kT) \quad (5)$$

wobei k die Boltzmann-Konstante ist und T die absolute Temperatur. Der Faktor \tilde{R} hat die Dimension eines Widerstandes und hängt sowohl von der Halbleitergeometrie als auch von der Ladungsträgerbeweglichkeit und der Ladungsträgerdichte schwach von T ab. Die Größe E_A ist die Aktivierungsenergie in J.

Zur Bestimmung der Aktivierungsenergie kann man die lineare Abhängigkeit $\ln R(T) = f(1/T)$ herleiten. Dann gilt:

$$\ln R(T) = \frac{E_A}{k \cdot T} + \ln(\tilde{R}) \quad (6)$$

Wenn man nun die Regressionsgerade durch die so erhaltenen Wertepaare legt, entspricht ihr Steigungskoeffizient E_A / k , woraus sich E_A ergibt.

3. Versuchsaufbau

Zur Versuchsdurchführung standen ein Netzgerät, ein digitales Thermometer ein Peltier Element, ein Schaltungsbrett mit 3 Widerständen, eine Wasserschale zur Kühlung, zwei Multimeter und Verbindungskabel.

Zuerst wurde der Vorwiderstand des Schaltungsbretts gemessen, anschließend die Widerstände der einzelnen Elemente.

Danach wurden die Widerstände der drei Elemente jeweils durch Stromstärkerhöhung bzw. durch Temperaturerhöhung (10...90°C) gemessen.

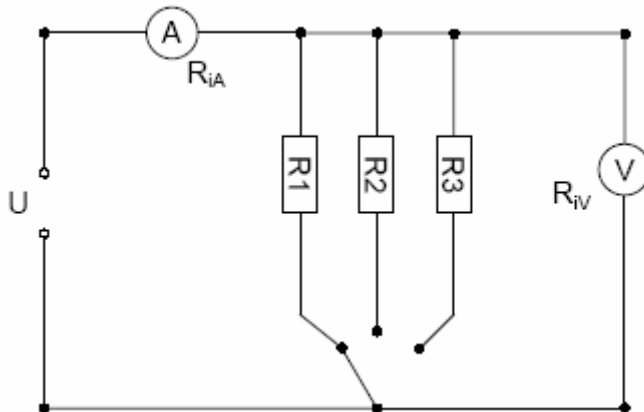


Bild. 3.1 Aufbau der Messschaltung

4. Messergebnisse

4.1.1. Direkte Messung der Kaltwiderstände:

Widerstand 1: $R_1 = 1,0522 \text{ k}\Omega$

Widerstand 2: $R_2 = 1,016 \text{ M}\Omega$

Widerstand 3: $R_3 = 86,74 \text{ }\Omega$

Vorwiderstand: $R_v = 507 \text{ }\Omega$

4.1.2. Aufnahme der Strom-Spannungs-Charakteristiken:

	<u>Widerstand 1</u>		<u>Widerstand R2</u>		<u>Widerstand R3</u>	
<u>U in V</u>	<u>U in V</u>	<u>I in mA</u>	<u>U in V</u>	<u>I in mA</u>	<u>U in V</u>	<u>I in mA</u>
1	0,668	0,647	0,999	0,001	0,146	1,665
2	1,337	1,295	2,002	0,002	0,292	3,332
3	2,002	1,943	2,996	0,003	0,439	4,988
4	2,666	2,602	3,999	0,004	0,586	6,650
5	3,333	3,259	4,998	0,005	0,741	8,303
6	3,976	3,944	5,994	0,007	0,885	9,958
7	4,635	4,619	6,995	0,008	1,057	11,576
8	5,256	5,357	7,996	0,009	1,190	13,240
9	5,925	6,035	8,992	0,010	1,410	14,775
10	6,480	6,882	9,993	0,011	1,630	16,310
11	7,200	7,490	10,994	0,012	1,840	17,830
12	7,660	8,485	11,995	0,013	1,850	19,700

Tabelle 4.1.2.1. Gemessener Strom + Spannung

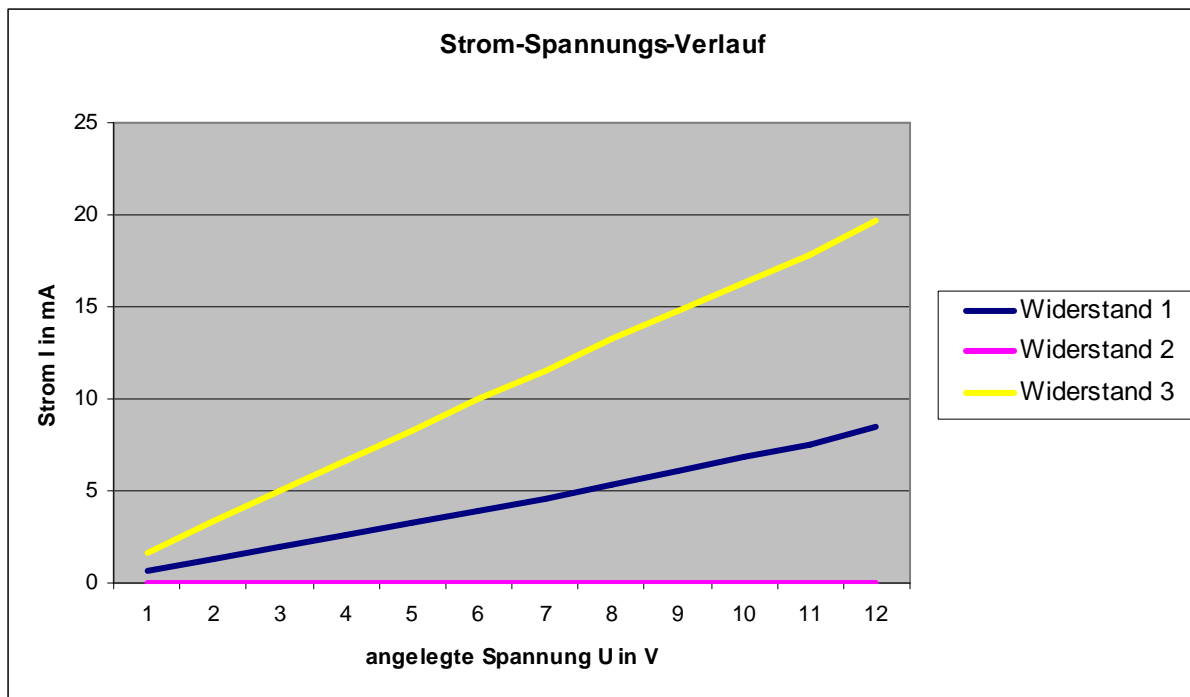


Bild 4.1.2.1 Verlauf der Strom-Spannungs-Charakteristik aller 3 Widerstände

4.2. Widerstandswerte in Abhängigkeit von der Stromstärke:

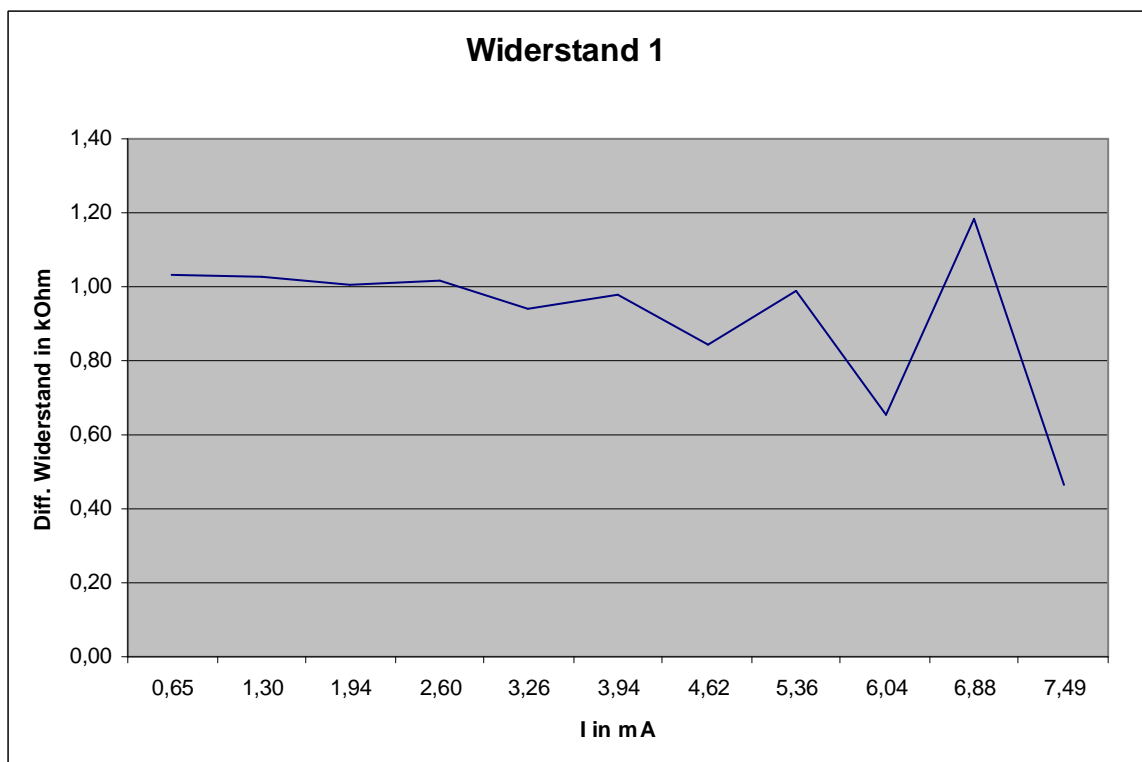


Bild 4.2.4 Diff. Widerstand 1 in Abhängigkeit von I

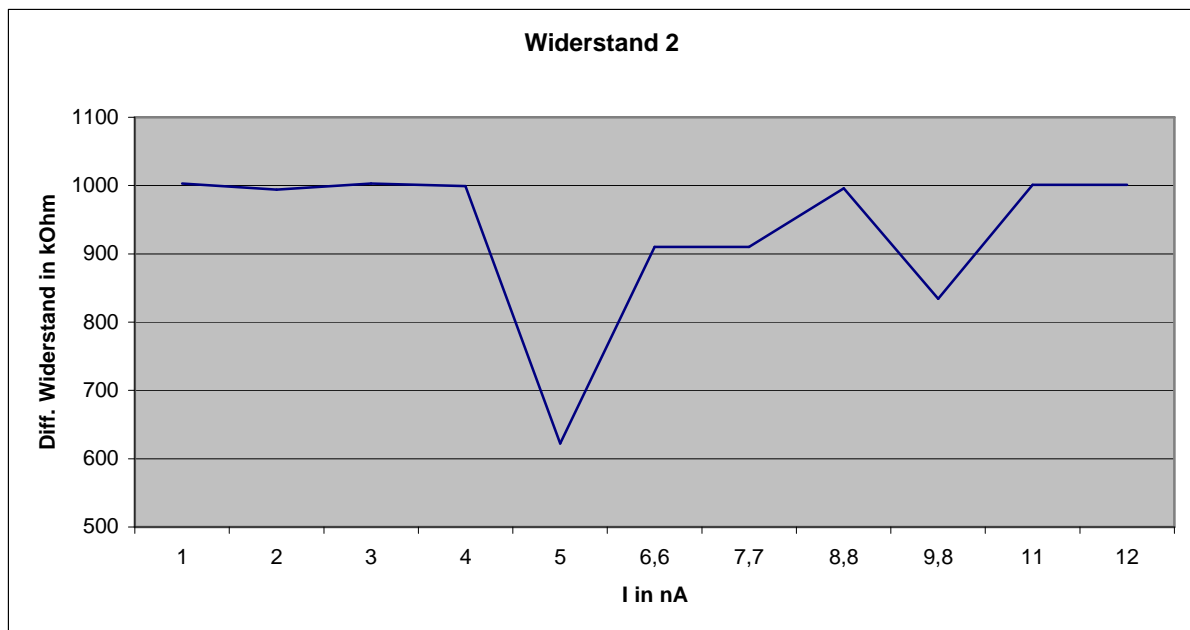


Bild 4.2.5 Diff. Widerstand 2 in Abhängigkeit von I

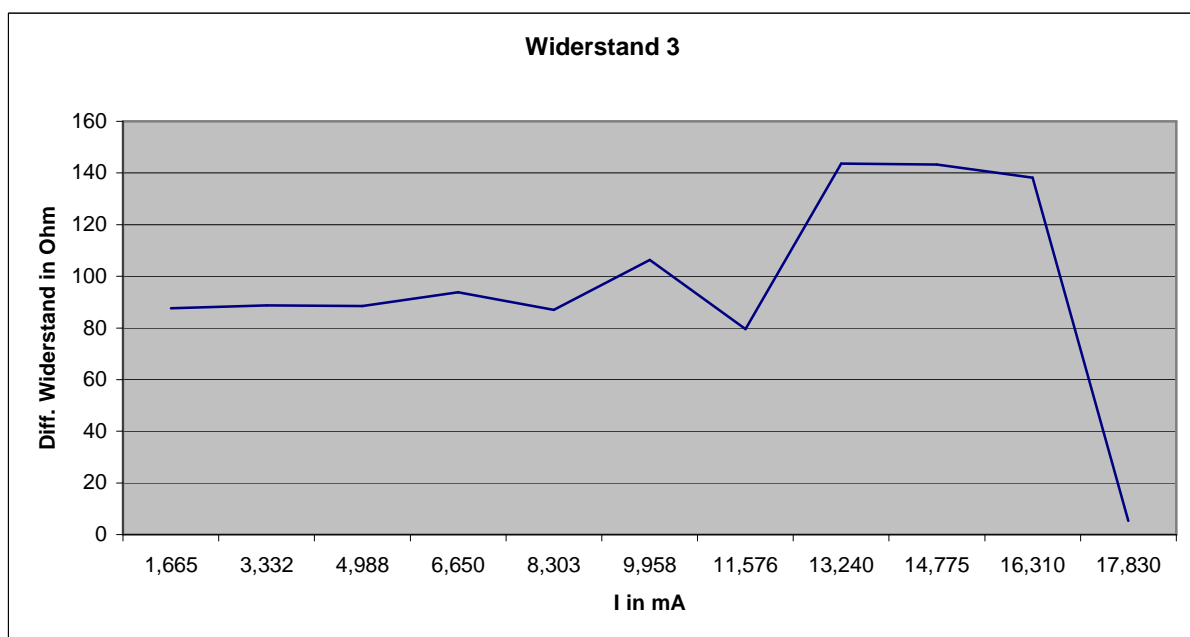


Bild 4.2.6 Diff. Widerstand 3 in Abhängigkeit von I

4.3.1. Temperatur und Widerstandserfassung:

Temp in °C	R ₁ in kΩ	R ₂ in kΩ	R ₃ in kΩ
10	1,2024	0,0687	1,7746
12,5	1,2020	0,0677	1,3238
15	1,2016	0,0678	1,1577
17,5	1,1976	0,0685	1,0255
20	1,2011	0,0689	0,9346
25	1,1958	0,0712	0,7963
30	1,1945	0,0750	0,6702
35	1,1933	0,0812	0,5629

40	1,1921	0,0895	0,4846
45	1,1907	0,1043	0,4090
50	1,1895	0,1260	0,3521
55	1,1883	0,1260	0,3031
60	1,1870	0,2525	0,2610
65	1,1858	0,4639	0,2250
70	1,1845	0,9737	0,1955
75	1,1833	2,2177	0,1701
80	1,1820	5,2866	0,1490
85	1,1807	12,8970	0,1298
90	1,1793	31,0377	0,1133

Tabelle 4.3.1.1 Messung von Temperatur und Widerstand

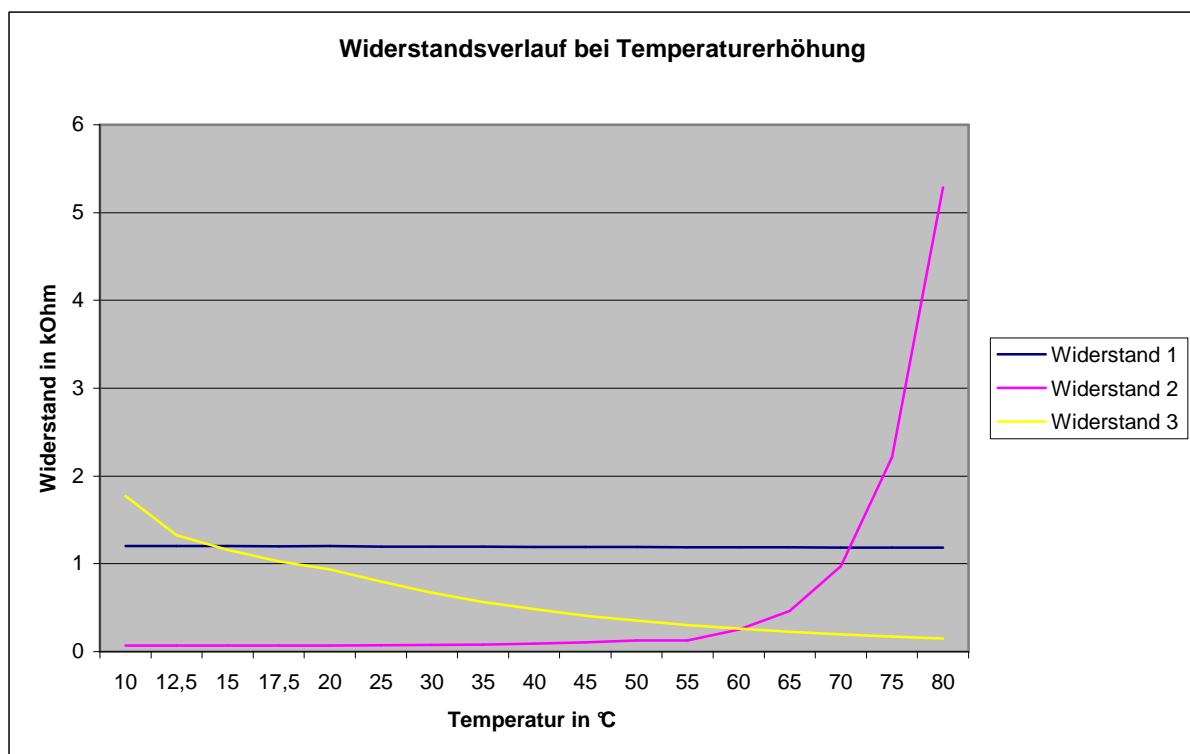


Bild 4.3.1.1 Widerstandsverlauf bei Temperaturerhöhung

An den Kurven erkennt man deutlich, welche Charakteristik die einzelnen Widerstände haben. So steigt beim Widerstand 2 der Widerstand ab 70°C rapide an, während er bei niedriger Temperatur sehr niedrig ist. Dies ist ein typischer Verlauf für einen **Kaltleiter**(PTC-Widerstand). Beim Widerstand 1 handelt es sich um einen **ohmschen Widerstand**, dessen innerer Widerstand bei Erhöhung der Temperatur nahezu konstant bleibt, wohingegen der Widerstand 3 ein **Heißleiter**(NTC-Widerstand) ist, da sein innerer Widerstand mit steigender Temperatur abnimmt.

4.3.2. Berechnung der Temperaturkoeffizienten:

Temp.-Intervall	β (in $1/^\circ\text{C}$)	β (in $1/^\circ\text{C}$)	β (in $1/^\circ\text{C}$)
10 - 12,5	-0,00013289	-0,00550206	-0,05039969
12,5 - 15	-0,00013289	-0,08185534	-0,04450669
15 - 17,5	-0,00130548	-0,06132691	-0,03036680
17,5 - 20	0,00119342	-0,05277636	-0,03825345
20 - 25	-0,00086722	-0,03750795	-0,03691169
25 - 30	-0,00021625	-0,01106295	-0,03333333
30 - 35	-0,00019972	3,6997E-14	-0,03333333
35 - 40	-0,00019972	-0,21194773	-0,02479289
40 - 45	-0,00023269	-0,01327713	-0,02222222
45 - 50	-0,00019975	-2,4425E-16	-0,02222222
50 - 55	-0,00019975	0,09326583	-0,01831758
55 - 60	-0,00021620	-0,00827893	-0,01817021
60 - 65	-0,00019977	1,16942801	-0,01539230
65 - 70	-0,00021618	-0,00763814	-0,01547259
70 - 75	-0,00019978	-0,11097252	-0,01333333
75 - 80	-0,00021616	-3,368E-14	-0,01333333
80 - 85	-0,00021616	-0,0730473	-0,01164185
85 - 90	-0,00023246	-0,01111111	-0,01111111

Tabelle 4.3.2.1 Berechnung der Temperaturkoeffizienten

4.4. Berechnung der Aktivierungsenergie für den NTC-Widerstand:

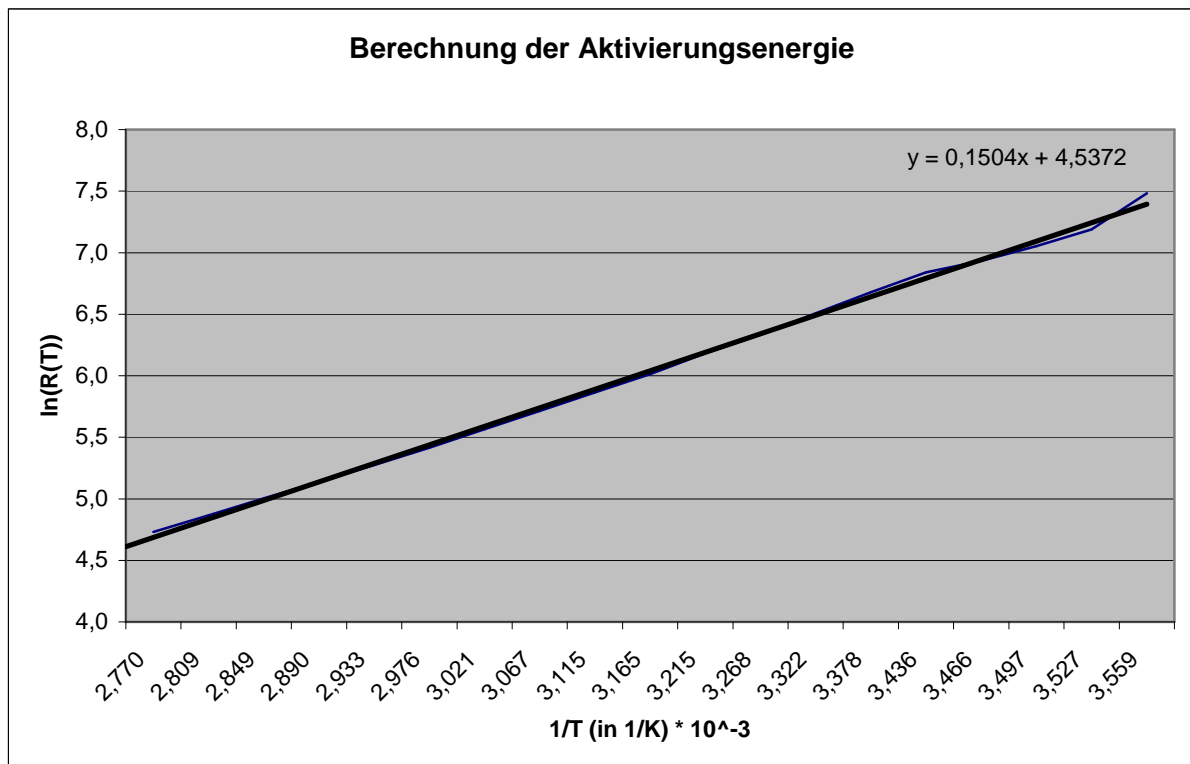


Bild 4.4.1 Berechnung der Aktivierungsenergie für den NTC-Widerstand

Aus dem Bild 4.4.1. lässt sich die Gleichung der Regressionsgraden bestimmen. Somit ergibt sich: $\ln(R) = 1504,1 \cdot \frac{1}{T} + 4,5372$. Hierbei entspricht der Steigungskoeffizient dem Wert von E_A/k wodurch sich für $k = 1,38066 \cdot 10^{-23}$ J/K und Umrechnung in Elektronenvolt die Aktivierungsenergie $E_A = 0.1296142\text{eV}$ ergibt.

5. Zusammenfassung und Diskussion

- Bei der Messung der Kaltwiderstände ergaben sich:

Widerstand 1: $R_1 = 1,0522 \text{ k}\Omega$

Widerstand 2: $R_2 = 1,016 \text{ M}\Omega$

Widerstand 3: $R_3 = 86,74 \Omega$

Vorwiderstand: $R_V = 507 \Omega$

- Widerstandswerte in Abhängigkeit von der Stromstärke:

Hier hat man deutliche Unterschiede bei den verschiedenen Widerständen gesehen. Allen gemeinsam waren erhebliche Schwankungen beim Differentiellen Widerstand. Doch während Widerstand 1 und 3 am Ende ihre größte Abweichung hatten, war dies beim Widerstand 2 in der Mitte der Messreihe der Fall. Zu erklären ist dies bei allen durch eine Schwankung beim Stromfluss. Während die Spannung nahezu konstant linear ansteigt, gibt es beim Stromfluss einen Sprung.

- Identifizierung der Widerstände:

Widerstand 1: Ohmscher Widerstand

Widerstand 2: Kaltleiter(PTC-Widerstand)

Widerstand 3: Heißleiter(NTC-Widerstand)

- Bestimmung des Temperaturkoeffizienten

Die Temperaturkoeffizienten beziehen sich nur auf das Intervall, wo der angestrebte Wert jeweils die Untergrenze bildet. Um eine den Temperaturkoeffizienten genau für 20°C bestimmen zu können, so müsste man ein Intervall wählen, welches 20°C in seiner Mitte hätte.

Widerstand 1:

β bei $20\text{-}25^\circ\text{C}$: $-0,00086722(^\circ\text{C})^{-1}$

β bei $80\text{-}85^\circ\text{C}$: $-0,00021616(^\circ\text{C})^{-1}$

Widerstand 2:

β bei $20\text{-}25^\circ\text{C}$: $-0,03750795(^\circ\text{C})^{-1}$

β bei $80\text{-}85^\circ\text{C}$: $-0,0730473(^\circ\text{C})^{-1}$

Widerstand 3:

β bei $20\text{-}25^\circ\text{C}$: $-0,03691169(^\circ\text{C})^{-1}$

β bei $80\text{-}85^\circ\text{C}$: $-0,01164185(^\circ\text{C})^{-1}$

- Bestimmung der Aktivierungsenergie:

Zur Bestimmung der Aktivierungsenergie stellten wir unsere Wertepaare nach (6) dar und haben dann aus dem Diagramm die Regressionsgrade $\ln(R) = 1504,1 \cdot \frac{1}{T} + 4,5372$ bestimmt.

Hieraus lässt sich mit Hilfe der Boltzmannkonstante die Aktivierungsenergie von $E_A = 0.1296142\text{eV}$ errechnen.

6. Literatur

- Heribert Stroppe: „Physik für Studenten der Natur- und Technikwissenschaften“, Fachbuchverlag Leipzig, S. 225 ff
- http://www.uni-magdeburg.de/iep/gp12/E_01.pdf