

# Temperaturabhängigkeit des elektr. Widerstandes (TEM)

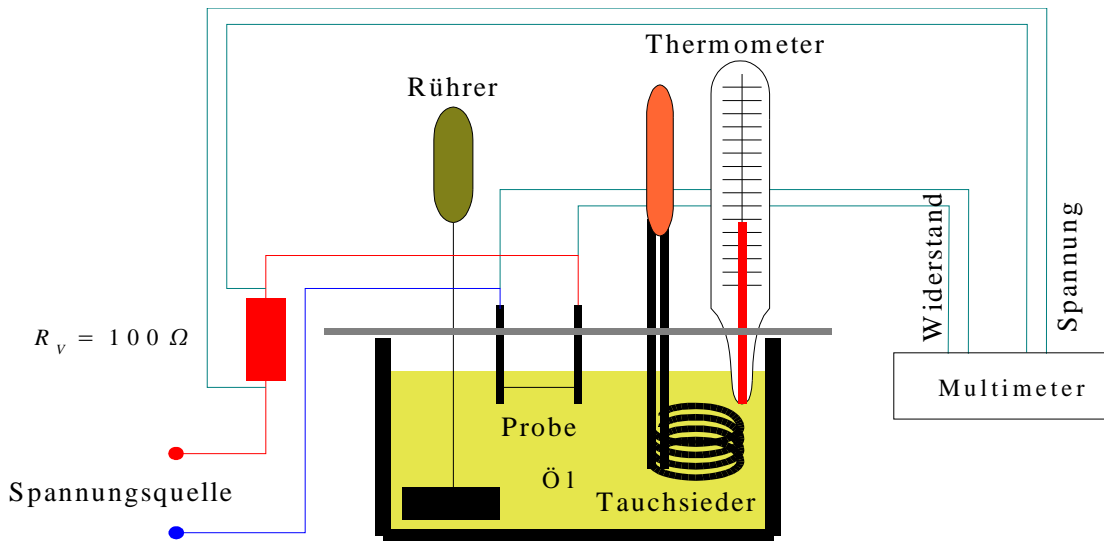
Manuel Staebel – 2236632 / Michael Wack 2234088

## 1. Einleitung

Der Versuch TEM dient zur Messung der Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstandes verschiedener Materialien und zeigt das unterschiedliche Verhalten von Metallen und Halbleitern.

## 2. Versuchsdurchführung

Zur Messung standen drei Proben zur Verfügung: ein Platindraht, ein Konstantandraht und eine Germaniumprobe. In der folgenden Grafik ist der Versuchsaufbau dargestellt:



Die Temperatur ließ sich über ein Kontaktthermometer regeln. Um eine gleichmäßige Erwärmung zu gewährleisten, wurde während der Aufheizphase am Rührer gedreht. Der Widerstand von Konstantan und Platin wurde direkt mit dem Multimeter gemessen. Um die Fehler durch die hohen Kontaktwiderstände bei Germanium zu vermeiden, kam hier die 4-Kontakt-Methode zum Einsatz.

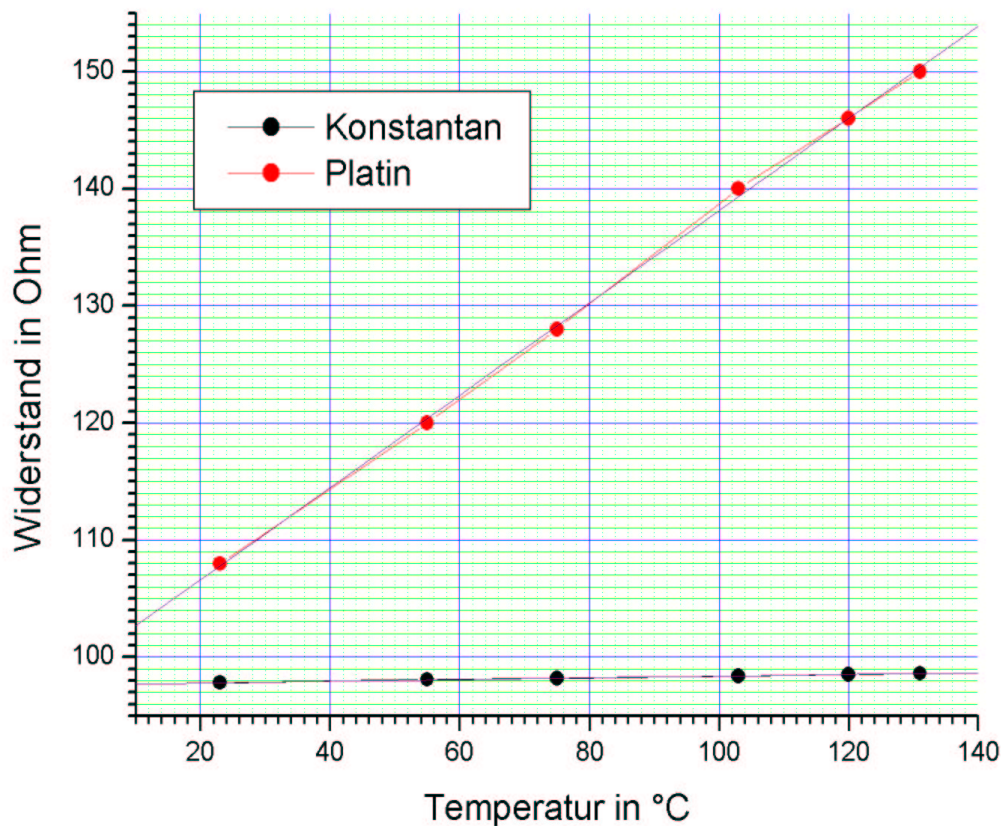
## 3. Auswertung

Die verschiedenen Widerstände wurden bei Temperaturen von 23 bis 131 °C gemessen. Dabei erhielten wir folgende Ergebnisse:

Temperatur [°C] ±0,5 °C	$R_1$ [Ω] (Konstantan) ±0,1 Ω	$R_2$ [Ω] (Platin) ±0,1 Ω	$U_x$ [V] ±10 mV	$U_v$ [V] ±10 mV	$R_x$ [Ω] (Germanium) $R_x = \frac{U_x}{U_v} R_v$
23,0	97,8	108	2,05	0,99	207,1
55,0	98,1	120	0,90	1,33	67,7
75,0	98,2	128	0,48	1,46	32,9
103,0	98,4	140	0,20	1,56	12,8
120,0	98,5	146	0,11	1,59	6,92
131,0	98,6	150	0,09	1,60	5,63

Die weitere Auswertung der Messwerte wurde am Computer mit dem Programm Microcal Origin durchgeführt.

## Temperaturabhängigkeit des Widerstandes



Wie man leicht sieht, handelt es sich bei Probe 1 um den Konstantandraht, da ihr Widerstand über den gesamten Temperaturbereich nahezu konstant bleibt. Für den Achsenabschnitt, die Steigung und die zugehörigen Fehler lieferte uns Origin folgende Werte:

**Bei Konstantan:**

$$R_k(T) = (97,7 \pm 0,03) \Omega + (7,11 \cdot 10^{-3} \pm 3,02 \cdot 10^{-4}) \frac{\Omega}{^\circ\text{C}} \cdot T [^\circ\text{C}]$$

**Bei Platin:**

$$R_p(T) = (98,7 \pm 0,47) \Omega + (0,394 \pm 0,0050) \frac{\Omega}{^\circ\text{C}} \cdot T [^\circ\text{C}]$$

Gleichung (5) liefert:  $p(T) = p_0 + p_0 \cdot \beta \cdot T \Rightarrow R(T) = R_0 + R_0 \cdot \beta \cdot T$

Daraus lassen sich nun  $R_0$  und  $\beta$  für Konstantan und Platin bestimmen:

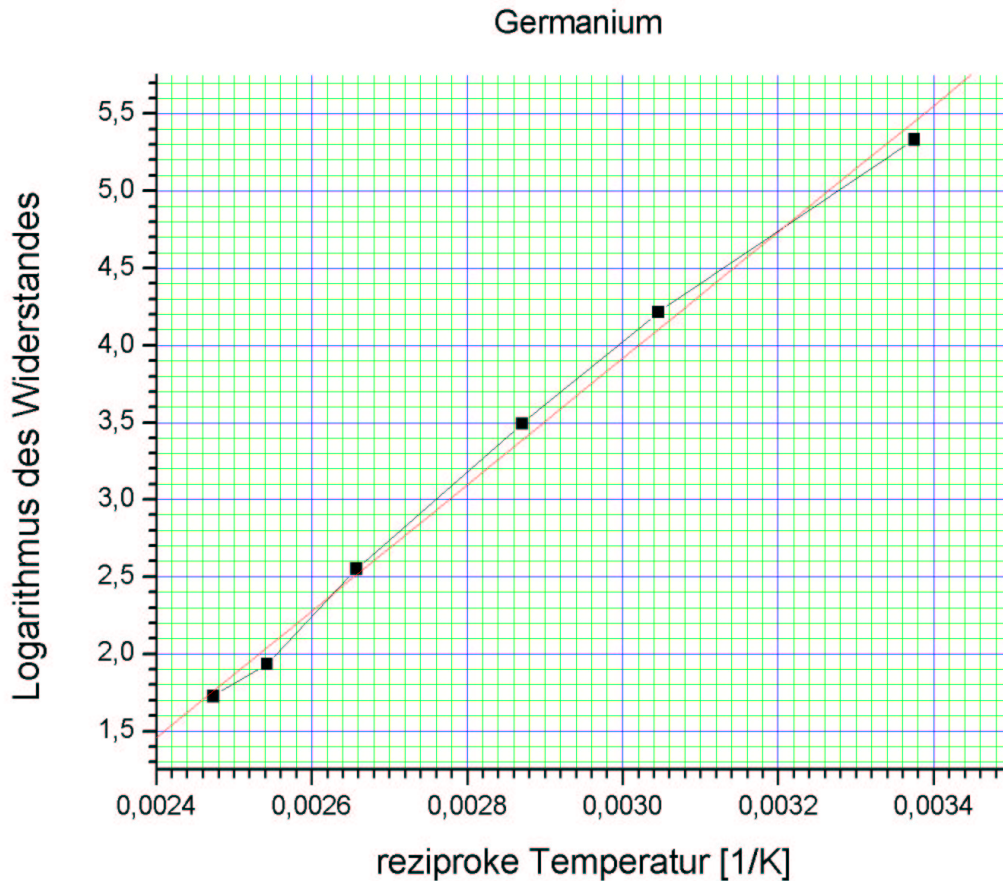
**Bei Konstantan:**

$$R_0 = 97,7 \pm 0,03 \Omega ; \beta_k = (7,11 \cdot 10^{-3} \pm 3,02 \cdot 10^{-4}) / (97,7 \pm 0,03) \frac{1}{^\circ\text{C}} = 7,28 \cdot 10^{-5} \pm 3,11 \cdot 10^{-6} \frac{1}{^\circ\text{C}}$$

**Bei Platin:**

$$R_0 = 98,7 \pm 0,47 \Omega ; \beta_p = (0,394 \pm 0,0050) / (98,7 \pm 0,47) \frac{1}{^\circ\text{C}} = 3,99 \cdot 10^{-3} \pm 6,97 \cdot 10^{-5} \frac{1}{^\circ\text{C}}$$

Als nächstes analysierten wir die Messwerte der Germaniumprobe. Dazu wurde der Logarithmus des Widerstandes über der reziproken absoluten Temperatur aufgetragen.



Die Linearisierung von Origin liefert für die Gleichung der Ausgleichsgeraden:

$$\ln y = (-8,369 \pm 0,421) + (4095 \pm 148) \cdot x$$

Es gilt für die elektrische Leitfähigkeit:  $\sigma = \sigma_0 \cdot e^{\frac{-E_g}{2 k_B T}}$  ;

Umgerechnet für den Widerstand ergibt sich:  $R(T)^{-1} = R_0^{-1} \cdot e^{\frac{-E_g}{2 k_B T}} \Rightarrow R(T) = R_0 \cdot e^{\frac{E_g}{2 k_B T}}$  ;

Logarithmiert man die Gleichung, so ergibt sich:  $\ln R(T) = \ln R_0 + \frac{E_g}{2 k_B T}$  ;

Durch Vergleich mit der Gleichung der Ausgleichsgeraden erhält man für die Energielücke:

$$\frac{E_g}{2 k_B} = 4095 \pm 148 \Rightarrow E_g = 4095 \pm 148 \cdot 2 \cdot k_B = (4095 \pm 148) \cdot 2 \cdot 8,617 \cdot 10^{-5} [\text{eV}] = 0,706 \pm 0,026 \text{ eV}$$

#### 4. Fragen

- **Wie ist der spezifische Widerstand eines Leiters definiert?**

Der spezifische Widerstand  $\rho$  ist eine auf eine feste Temperatur bezogene von der Geometrie des Leiters unabhängige Materialkonstante. Die SI-Einheit des spezifischen Widerstands  $\rho$  ist  $\Omega\text{m}$ .

Er lässt sich durch den elektrischen Widerstand  $R$ , dem Leiterquerschnitt  $q$  und der Leiterlänge  $l$  wie folgt definieren:

$$\rho = \frac{R \cdot q}{l}$$

- **Was versteht man unter der Beweglichkeit von Ladungsträgern?**

Die Beweglichkeit ist definiert als das Verhältnis der Driftgeschwindigkeit  $v_D$  der jeweiligen Ladungsträger zum angelegten elektrischen Feld  $E$ .

$$\mu = \frac{v_D}{E}$$

Die Driftgeschwindigkeit ist als Resultat einer Mittelung über alle Geschwindigkeiten der Ladungsträger eines Typs und insbesondere über alle Raumrichtungen erheblich geringer als die Geschwindigkeit eines isoliert betrachteten Ladungsträgers.

- **Wie unterscheiden sich die Energiebänder von Halbleiter, Metall und Isolator bei  $T=0\text{ K}$ ?**

Isolator: Beim Isolator ist das Leitungsband völlig leer (ein Isolator ist nicht leitend), zwischen Valenz- und Leitungsband besteht eine relativ große Energielücke die nur z.B. durch sehr hohe Wärmeenergiezufuhr überbrückt werden kann (evtl. tritt Schmelzen des Isolator ein, bevor Elektronen vom Valenzband in das Leitungsband gelangen).

Halbleiter: Das Leitungsband ist wie beim Isolator zunächst unbesetzt. Die Energielücke ist aber geringer als beim Isolator (ca. 1eV, je nach Material) und es können daher schon bei geringfügig höherer Temperatur einige Elektronen infolge ihrer thermischen Energie die Bandlücke überwinden und ins Leitungsband gelangen.

Metall: Bei Metallen ist das Leitungsband im Grundzustand schon teilweise mit Elektronen besetzt (Leiter), die Energielücke entspricht etwa der eines Halbleiters.

- **Warum bestimmt man den Widerstand des Halbleiters mit der 4-Kontakt-Methode? Wie funktioniert diese?**

Bei einer direkten Messung des Widerstands von Germanium in unserer Versuchsanordnung würde das Ergebnis durch den sogenannten Kontaktwiderstand zwischen dem Metall des Messgerätes und dem Halbleiter erheblich verfälscht werden. Bei der Vierkontaktmethode misst man die Spannung, welche an einem Vorwiderstand abfällt und die Spannung, welche am Halbleiter selbst abfällt. Durch die Spannungsmessung am Vorwiderstand kann man den fließenden Strom bestimmen und zusammen mit dem Spannungsabfall am Halbleiter selbst lässt sich dessen Widerstand berechnen. Der Kontaktwiderstand spielt in dieser Anordnung eine geringe Rolle, da der Widerstand des Voltmeters selbst sehr groß gegenüber dem Kontaktwiderstand ist.