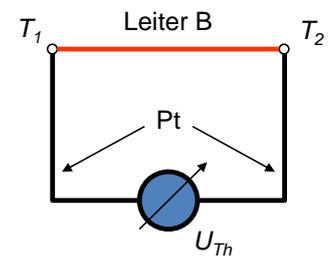


Saalübung	Fr, 05.12.2014, 09:45 – 11:15 Uhr
Themengebiete	Thermoelement Dehnmessstreifen
Übungsleiter	Dipl.-Ing. Michael Schönleber Dipl.-Phys. Julian Szasz

**A1: Thermoelement**

Die von T.J.Seebeck im Jahre 1822 entdeckte Thermospannung wird heute noch im Rahmen von hochpräzisen Temperaturmessungen eingesetzt. Im Folgenden soll deshalb beispielhaft die Konzeption einer Temperaturmessung mit einem Thermoelementpaar für den Einsatz in einem Sinterofen entwickelt werden.

1. a) In einem Experiment (*Bild 1*) soll zunächst der Seebeck-Koeffizient  $\eta_B$  von Leiter B bestimmt werden, der später in einem Thermoelement verbaut werden soll. Das eine Ende des Leiters B wird dazu auf  $T_2=420\text{ °C}$  erwärmt, während das andere Ende bei einer konstanten Temperatur von  $T_1=20\text{ °C}$  gehalten wird. Eine Spannung  $|U_{Th}| = 6\text{ mV}$  wird gemessen. Aus welchem Material besteht Leiter B?

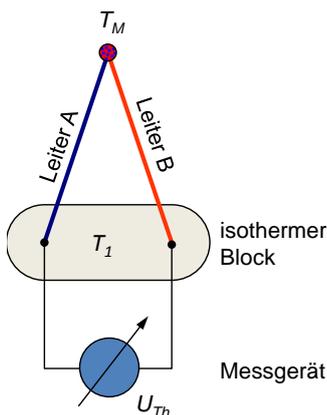


*Bild 1: Messung der Thermospannung eines Leiters.*

*Hinweis: Tabelle 1 zeigt die Seebeck-Koeffizienten für verschiedenen Materialien.*

b) Machen Sie sich klar, welcher Mechanismus für die Entstehung der Thermospannung verantwortlich ist und erklären Sie damit in welche Richtung ein Strom fließen würde, wenn man das Spannungsmessgerät in *Bild 1* kurzschließen würde.

c) Leiter B sei für die folgenden Teilaufgaben aus Nickel. Betrachten Sie das in *Bild 2* skizzierte Thermoelementpaar. Welches Material würden Sie für Leiter A aus *Tabelle 1* auswählen, um eine möglichst empfindliche Temperaturmessung zu gewährleisten?



*Bild 2: Thermoelement, bestehend aus zwei Leitern.*

d) Wie groß ist die Temperatur  $T_M$ , bei einer gemessenen Thermospannung von  $U_{Th} = 25\text{ mV}$ , wenn für Leiter A Eisen verwendet wird ( $T_1=20\text{ °C}$ )?

e) Sie erwarten eine Temperatur in ihrem Sinterofen bis zu  $1200\text{ °C}$ . Welche Materialien würden Sie vorzugsweise für die beiden Leiter wählen, um auch den Aufheizvorgang (ab  $T_1=20\text{ °C}$ ) möglichst korrekt mitverfolgen zu können? Begründen Sie Ihre Wahl.

f) Könnte man mit Hilfe des Seebeck-Effekts möglicherweise sogar thermische in elektrische Energie wandeln?

*Tabelle 1: Thermokraft (Seebeck-Koeffizient  $\eta$ ) verschiedener Materialien*

Material	Konstantan	Ni	Pt	PtRh	Cu	Fe	NiCr
$\eta / (\mu\text{V/K})$	- 35,0	- 15,0	0	6,9	7,8	19,2	25,4

2. a) Es sei erneut ein Thermoelement, bestehend aus zwei Leitern gegeben. Einer der Leiter bestehe aus Nickel. Wie viele Leitungselektronen  $N$  befinden sich im Nickel-Drahtstück bzw. wie groß ist ihre Konzentration  $n$ ?

*Hinweis: Nehmen Sie an, dass jedes Nickelatom ein Elektron als Leitungselektron abgibt. Die Dichte von Nickel beträgt  $\rho_{Ni} = 8,9 \text{ g/cm}^3$ . Der Draht habe einen kreisförmigen Querschnitt mit dem Durchmesser  $A = 2 \text{ mm}$  und die Länge  $l=100\text{mm}$ . Entnehmen Sie weitere eventuell benötigte Konstanten der PB Formelsammlung.*

b) Berechnen Sie nun den elektrischen Widerstand  $R$  des Nickel-Drahtstücks. Berücksichtigen Sie dabei den Temperaturgradienten im Draht. Nehmen Sie vereinfachend an, dass die Temperatur im Draht linear mit der Länge abfällt. Die thermische Längenausdehnung des Drahtes sei vernachlässigbar. Nehmen sie weiter an, dass  $T_M=90^\circ\text{C}$  und  $T_1=20^\circ\text{C}$  sei.

*Hinweis: Der lineare Temperaturkoeffizient der Beweglichkeit  $\mu(T)$  von Nickel sei bei  $T=20^\circ\text{C}$  mit  $TK_{Ni} = -6,7 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$  gegeben. Weiterhin gelte  $\mu_0 = 10 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ .*

*Mathematische Hilfestellung:* 
$$\int \frac{dx}{a \pm b \cdot x} = \pm \frac{1}{b} \ln(a \pm b \cdot x) + c$$

**A2: Piezoresistiver Effekt**

Dehnmessstreifen (DMS) werden in der Sensorik als Druck und Kraftsensoren verwendet. Ein Platindraht (Pt) wird auf seine Eignung als Dehnmessstreifen (DMS) hin untersucht. Betrachtet wird ein Pt-Draht mit der Länge  $l$  und dem Durchmesser  $d$ . Der Draht wird auf einer konstanten Temperatur von  $T_U = 20\text{ °C}$  gehalten und von einem Strom  $I$  durchflossen (siehe Bild 3).

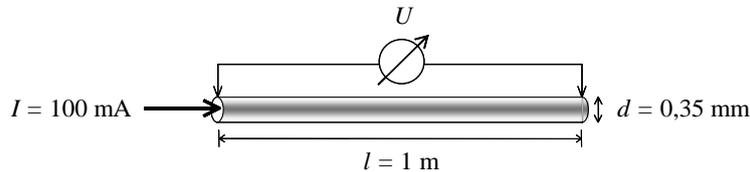


Bild 3: Spannungsmessung über einem Pt-Draht.

- a) Über die Enden des Drahtes wird eine Spannung von  $U = 102,17\text{ mV}$  gemessen. Bestimmen Sie hieraus zunächst den spezifischen Widerstand  $\rho_{Pt}$  von Platin bei  $20\text{ °C}$ ?
- b) Wird der Pt-Draht nun in Längsrichtung gedehnt ändern sich nicht nur seine Länge, sondern aufgrund der Verformung zusätzlich die Querschnittsfläche und der spezifische Widerstand des Materials.

Der Einfluss all dieser Änderungen auf den Wert des Widerstands kann mit Hilfe eines sogenannten „totalen Differentials“ ausgedrückt werden:

$$dR = \frac{\partial R}{\partial l} dl + \frac{\partial R}{\partial A} dA + \frac{\partial R}{\partial \rho} d\rho$$

Berechnen Sie aus dem totalen Differential die relative Widerstandsänderung  $dR/R$  bei Längsdehnung in Abhängigkeit von  $dl/l$ ,  $dA/A$  und  $d\rho/\rho$ .

- c) Da Längsdehnung und Querschnittsänderung in einem materialspezifischen, festen Verhältnis stehen, kann der Ausdruck des totalen Differentials aus b) mit Hilfe der sog. Querkontraktionszahl  $\nu$  (Poisson-Zahl) weiter vereinfacht werden. Führen Sie diese Vereinfachung durch.
- d) Für (viele) Metalle gilt folgende empirische Regel:  $d\rho/\rho \approx 0,4 \cdot dl/l$ . Berechnen Sie damit den K-Faktor von Pt.  
*Hinweis: Querkontraktionszahl  $\nu_{Pt} \approx 0,38$ .*

- e) Welche der aufgeführten Punkte würde die Messgenauigkeit erhöhen und warum?
- i. Die Verwendung eines Pt-Drahts mit doppelter Länge.
  - ii. Statt Pt-Draht einen Halbleiter verwenden.
  - iii. Parallelanordnung und serielle Verschaltung von mehreren Pt-Drähten.