

## T6 THERMOELEMENT

### PHYSIKALISCHE GRUNDLAGEN

**Grundbegriffe: Thermospannung, Austrittsarbeit, Thermoelement, Abkühlungsgesetz.**

Bei Berührung zweier Metalle A und B (Abb. 1) treten im Mittel mehr Elektronen von dem Metall A mit der kleineren Austrittsarbeit der Elektronen in das Metall B mit der größeren Austrittsarbeit über als umgekehrt. Die Austrittsarbeit ist die Mindestenergie, die einem Leitungselektron im Metall zugeführt werden muss, damit das Elektron aus dem Metall ins Vakuum austreten kann. Das Metall A, das Elektronen abgibt, wird positiv gegenüber dem Metall B aufgeladen,

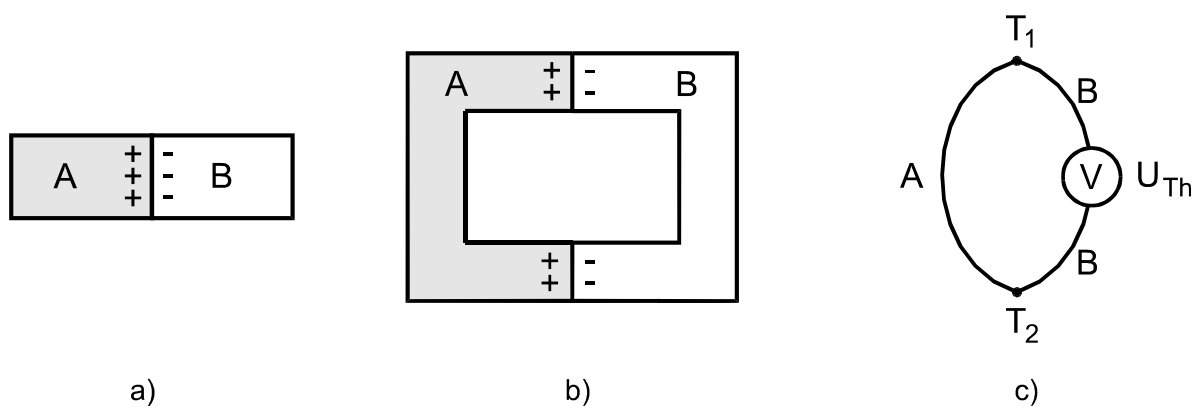


Abb.1 THERMOELEMENT

den, in der Berührungsschicht entsteht eine Kontaktspannung (Abb. 1a). Werden die beiden freien Enden der Metalle ebenfalls zur Berührung gebracht, so entsteht dort die gleiche Kontaktspannung (Abb. 1b). Beide Spannungen sind entgegengesetzt gleich, es fließt kein Strom.

Der Übergang der Elektronen von einem Metall zum anderen ist abhängig von der Temperatur der Berührungsstelle. Erwärmt man eine der Berührungsstellen, so wird die Kontaktspannung des wärmeren Kontaktes größer als die des anderen. Die Potentialdifferenz zwischen den Berührungsstellen heißt Thermospannung  $U_{Th}$  und das Metallpaar (meist Drähte), das bei einem Temperaturunterschied der beiden Berührungsstellen (meist Lötstellen) eine elektrische Spannung liefert, heißt Thermoelement (Abb. 1c). Der Verlauf der Thermospannung  $U_{Th}$  in Abhängigkeit von der Temperaturdifferenz ( $T_1 - T_2$ ) der Lötstellen ist von der gewählten Materialkombination abhängig. Gebräuchliche Kombinationen sind z. B. Kupfer/Konstantan bis zu 500 °C und Wolfram/Wolfram-Molybdän bis zu 3 300 °C. Thermoelemente werden als Temperaturmessgeräte verwendet. Dabei wird die eine Lötstelle an die Messstelle gebracht und die andere auf konstanter Temperatur gehalten. Die praktische Bedeutung der Thermoelemente liegt vor allem in ihrem großen Messbereich, ihrer geringen Wärmekapazität und der elektrischen Anzeige.

Als Empfindlichkeit eines Thermoelementes (auch Thermokraft genannt) definiert man die

Größe

$$S = \frac{dU_{\text{Th}}}{dT}, \quad (1)$$

worin  $dU_{\text{Th}}$  die Änderung der Thermospannung bei Änderung der Temperatur einer Lötstelle um  $dT$  bedeutet. Die Thermokraft liegt bei Metallen in der Größenordnung von einigen  $\mu\text{V/K}$  und bei Halbleitern etwa bei  $10^2 \mu\text{V/K}$ .

Newton'sches Abkühlungsgesetz: Ein Körper, dessen Temperatur  $T$  höher ist als die Temperatur  $T_u$  seiner Umgebung, kühlt sich ab. Die Temperaturänderung erfolgt umso schneller, je größer der Temperaturunterschied ist. Beruht die Abkühlung ausschließlich auf Konvektion (also keine Strahlung!), dann lässt sich dieser Vorgang mit guter Näherung durch das Newton'sche Abkühlungsgesetz beschreiben. Die Abkühlungsgeschwindigkeit  $-dT/dt$  ist der Temperaturdifferenz  $(T - T_u)$  proportional

$$-\frac{dT}{dt} = a(T - T_u). \quad (2)$$

Die Abkühlungskonstante  $a$  (SI-Einheit:  $\text{s}^{-1}$ ) hängt von den thermischen und geometrischen Größen des Körpers (z. B. Wärmekapazität, Masse und Oberflächenbeschaffenheit) ab. Integriert man die Gl. (2) zwischen der Anfangstemperatur  $T_0$  des Körpers (für  $t = 0$ ) und der Temperatur  $T$  nach Ablauf der Zeit  $t$ , so folgt

$$T(t) = T_u + (T_0 - T_u) \exp(-at). \quad (3)$$

Dies ist die integrale Form des Newton'schen Abkühlungsgesetzes.

## AUFGABEN

1. Aufnahme der Eichkurve  $U_{\text{Th}} = f(T)$  eines Kupfer-Konstantan-Thermoelementes mit Hilfe der Fixpunkte Siedetemperatur des Wassers und den Erstarrungspunkten dreier Metalle.
2. Bestimmung der Thermokraft bei  $0 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $100 \text{ }^\circ\text{C}$  und  $300 \text{ }^\circ\text{C}$  und Abschätzung der Messunsicherheit für diese Werte.
3. Messung der Abkühlungskurven zweier Messingkörper gleicher Masse, aber unterschiedlicher Oberfläche. Grafische Darstellung  $\frac{T - T_u}{T_0 - T_u} = f(t)$  auf Exponentialpapier.

## VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

Die Thermospannung wird mit einem Digitalvoltmeter gemessen. Eine Lötstelle wird während der gesamten Versuchsdauer in Eiswasser ( $0 \text{ }^\circ\text{C}$ ) auf konstanter Temperatur gehalten.

Für Aufgabe 1 wird die zweite Lötstelle in siedendes Wasser getaucht (1. Eichpunkt). Als weitere Eichpunkte dienen die Erstarrungspunkte von Zink, Blei und Zinn. Diese Metalle befinden sich in Eisengefäßen, die einzeln erhitzt werden können. Zum Eichen stecke man die zweite Löt-

stelle in die Bohrung der Gefäße und erhitze sie bis über den Schmelzpunkt des entsprechenden Metalls, aus Sicherheitsgründen jedoch nur bis zu den folgenden Werten:

Zn mit  $T_S = 419 \text{ °C}$  bis 22 mV

Pb mit  $T_S = 327 \text{ °C}$  bis 18 mV und

Sn mit  $T_S = 232 \text{ °C}$  bis 12 mV.

Nach Erreichen des Maximalwertes entferne man den Bunsenbrenner und messe die Abkühlungskurve  $U_{Th} = f(t)$ , indem man alle 5 s die Thermospannung abliest. Beim Erstarren des Metalls tritt deutlich eine zeitliche Konstanz der Thermospannung auf, dieser Wert wird für die Eichkurve verwendet. Für Aufgabe 2 ermittle man für die angegebenen Temperaturen den Anstieg der Eichkurve mit Hilfe eines Spiegellineals. Für Aufgabe 3 wird auf den Brennerring ein Messingkörper gelegt und die Lötstelle des Thermoelementes in die Bohrung gesteckt. Der Messingkörper wird auf etwa  $320 \text{ °C}$  erhitzt und anschließend mit einem Ventilator abgekühlt. Man lese die Temperatur bis  $150 \text{ °C}$  alle 30 s, bis  $50 \text{ °C}$  alle 60 s ab. Mit dem zweiten Körper wird der Versuch wiederholt.

Ergänzend zum Digitalvoltmeter kann wahlweise ein Schreiber zur Messung des zeitlichen Verlaufs der Thermospannung benutzt werden. Bei diesem Schreiber bewegt sich die Schreibfeder mit konstanter Geschwindigkeit in  $x$ -Richtung (d.h.  $x \sim t$ ), und der Ausschlag in  $y$ -Richtung ist proportional zur Thermospannung.

### FRAGEN

1. Warum hat die Abkühlungskurve eines erstarrenden Metalls einen Bereich der zeitlichen Konstanz der Temperatur?
2. Kennen Sie weitere Gesetze, die durch die Exponentialfunktion beschrieben werden?
3. Welche Vor- und Nachteile hat ein Thermoelement gegenüber einem üblichen Glasthermometer?