

## MT03056 Thermoelektrische Energie

### 1. Vorstellung des Gerätes

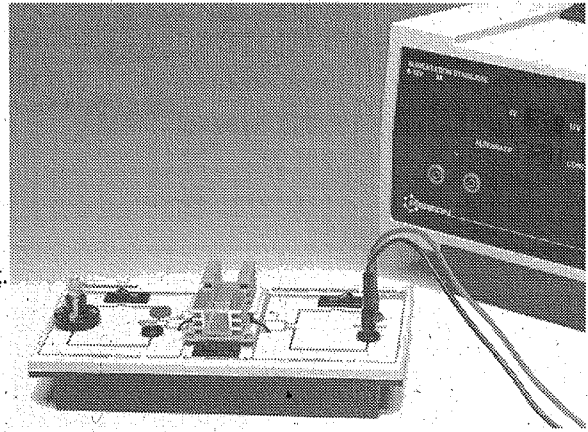
#### 1.1. Pädagogische Ziele

Das Gerät der Thermoelektrischen Energie MT3056 ermöglicht Ihnen folgende Versuche durchzuführen: den thermoelektrischen Effekt oder Seebeck-Effekt: dieses Phänomen wurde 1821 entdeckt. Etabliert man an den Ende eines Metallstabes verschiedene Temperaturen, so lässt sich eine Spannung nachweisen ( $\Delta T \rightarrow$  EMK elektromotorische Kraft).

Die Umkehrung des Seebeck-Effektes ist der Peltier-Effekt.

Wird einem Kreis, der aus zwei Materialien mit verschiedenen Niveaus in der thermoelektrischen Spannungsreihe besteht, ein Strom eingepreßt, dann kühlt sich eine Verbindungsstelle ab, die andere Verbindungsstelle erwärmt sich. ( $EMK \rightarrow \Delta T$ )

Die Umkehrung der beiden Effekte ( $\Delta T \leftrightarrow EMK$ ), dass der thermoelektrische Energiewandler wie ein Wärmespeicher funktioniert.



#### 1.2. Zusammenstellung

Ein thermoelektrischer Energiewandler wird auf eine Aluminiumplatte gelegt, die wiederum in die Mitte des Kastens gelegt wird. Ein Schalthebel ermöglicht, entweder den Seebeck- oder aber den Peltier-Effekt zu wählen.

In jedem Modul ist es möglich, mit dem Versuch zu beginnen - dank eines Schalters - wann immer Sie es für gegeben halten.

Der Energiewandler ist verbunden im Modul Peltier-Effekt mit einem Spannungseingang von 6 V, über den das Modul dann versorgt wird. Im Modul Seebeck-Effekt ist der Energiewandler mit einer Birne und zwei Sicherheitsbuchsen verbunden, die es ermöglichen, die Spannung an den Klemmen des Wandlers zu messen. Zwei Objekte Würfel bestehend aus Aluminium werden mit dem Gerät ausgeliefert.

### 2. Installation

#### 2.1. Montage

##### Der Nachweis des Seebeck-Effekts

Stellen Sie den Hebel auf  $\Delta T \rightarrow EMK$ .

Stellen Sie den kompletten Apparat mit einem Würfel aus Aluminium für einige Minuten in den Kühlschrank; den anderen Würfel legen Sie für einige Sekunden in ein Becherglas, welches siedendes Wasser enthält.

Wenn die ganze Apparatur die Umgebungstemperatur des Kühlschranks angenommen hat, wird der Schalter des Moduls „Seebeck-Effekt“ auf I gestellt, der kalte Würfel auf die Aluminiumplatte platziert und der heiße wird auf den thermoelektrischen Wandler gestellt.

Die Glühbirne sollte nun aufleuchten. Sie können auch die EMK, die durch die Temperaturdifferenz „induziert“ wurde, durch die Sicherheitsbuchsen, die an den Klemmen des Wandlers sitzen, messen.

##### Der Nachweis des Peltier-Effekts

Stellen Sie den Hebel auf  $EMK \rightarrow \Delta T$ .

Verbinden Sie eine stabilisierte Stromzufuhr (6 V-12 V, 5 A) mit dem Modul „Peltier-Effekt“ mit der Eingangsspannung, die auf dem Kasten angebracht ist: Regulieren Sie so, dass sie maximal 6 V und 2 A haben. Der Schalter steht immer auf O.

Nun legen Sie einen Würfel auf den thermoelektrischen Wandler und drücken Sie die beiden Elemente leicht, damit zwischen Wandler und Würfel ein permanenter Kontakt besteht. Die heiße Seite des thermoelektrischen Elements sollte seine Wärmeenergie abgeben können. Stellen Sie den Schalter auf die Position I. Man kann feststellen, dass der Würfel, der auf den Wandler gelegt wurde, erhitzt wird und gleichzeitig, dass die Aluminiumplatte (die einen Kontakt mit der kalten Seite des Wandlers hat) abkühlt (die Temperaturmaxima waren allerdings größer als die entsprechenden Minima).

Falls Sie Ihren Schülern zeigen wollen, dass diese thermoelektrischen Wandler ausreichend abkühlen, um in einigen Kühlschränken verwendet werden können, platzieren Sie Temperaturfühler auf den Kubus des Wandlers und auf die Aluminiumplatte.

Falls Sie eine regulierbare Stromversorgung haben, können Sie auch Messungen bei unterschiedlicher Spannung vornehmen: große  $\Delta T$  negativ, kalt, dann Verschiebung von  $\Delta T$  zu höheren Temperaturen.

### Der Nachweis der Umkehrbarkeit der Phänomene

Nachdem Sie den Peltier-Effekt nachgewiesen haben, stellen Sie den Schalter auf die andere Seite und die Glühbirne leuchtet auf (beobachten Sie dieses Phänomen, indem Sie die Birne von oben betrachten).

## 2.2. Vorsichtsmaßnahmen und Installation

Bringen Sie niemals einen Würfel, der eine höhere Temperatur als  $100^\circ\text{C}$  besitzt, auf den thermoelektrischen Energiewandler. Es besteht die Gefahr, dass Sie das Gerät dadurch zerstören: Der Schmelzpunkt der Schweißnähte zwischen Metall und Halbleiter, aus denen der Wandler besteht, liegt bei  $135^\circ\text{C}$ . Stellen Sie auch niemals den heißen Würfel auf die Aluminiumplatte, wenn Sie den Seebeck-Effekt nachweisen wollen.

Versorgen Sie den Wandler nicht mehr als 3 Minuten mit Strom, während Sie den Peltier-Effekt veranschaulichen; gehen Sie auch nicht über die 6 V-Spannung.

Vergewissern Sie sich vor Gebrauch, dass die Würfel sowie die Aluminiumplatte absolut sauber sind.

## 3. Verwendung des Gerätes

### 3.1. Theorie

#### Seebeck-Effekt

Der thermoelektrische Energiewandler ermöglicht die Beziehung zwischen dem ersten und zweiten Gesetz der Thermodynamik nachzuweisen.

Indem man eine Temperaturdifferenz zwischen den beiden Würfeln herstellt, wird ein Teil der thermischen Energie des heißen Würfels durch den thermoelektrischen Energiewandler in Strom umgewandelt. Die Glühbirne leuchtet auf.

Die Entropie eines Systems wird durch die Formel:  $\Delta S = Q/T$  ( $Q$  steht für die übertragene Wärme und  $T$  für die Temperatur).

Die Variation der Entropie des heißen Kubus ist:  $\Delta S_c = Q_c/T_c < 0$ , da die Wärme von Kubus zum Wandler transportiert wird.

Die Variation der Entropie des kalten Kubus ist:  $\Delta S_f = Q_f/T_f > 0$ , da die Wärme vom Wandler zum Kubus transportiert wird.

Nach dem zweiten Gesetz der Thermodynamik muss die Variation des Gesamtentropiewertes positiv sein:  $\Delta S_T = \Delta S_f + \Delta S_c > 0$

Daraus kann man erschließen, dass der Prozess nur dann stattfinden kann, wenn  $Q_f/T_f > Q_c/T_c$ .

Wenn die Glühbirne aufleuchtet, ist ein Teil der transportierten Wärme des heißen Würfels in Arbeit (oder in Strom) umgewandelt worden und kann nicht in den kalten Kubus transportiert werden. Also, wenn die Birne aufleuchtet:  $|Q_c| > |Q_f|$

Damit  $\Delta S_T > 0$  und  $|Q_c| > |Q_f|$  muss  $T_c > T_f$  sein.

#### Peltier-Effekt

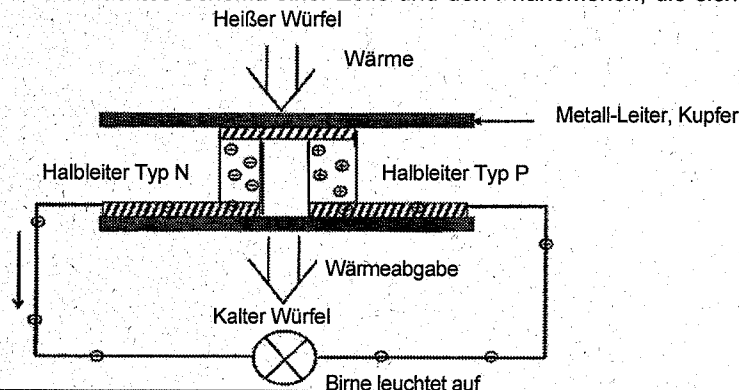
Wenn der thermoelektrische Energiewandler mit Spannung versorgt wird, funktioniert er wie ein Kühlschrank: Der kalte Teil gibt die Wärme an den warmen Teil ab – dank der Nergei, die durch den Strom geliefert wird. Es stellt sich eine Temperaturdifferenz her, mehr oder weniger groß, je nach der angewandten Spannung. Betätigt man noch einmal den Schalter, die  $\Delta T$  ermöglicht ein Aufglühen der Birne.

### 3.3. Funktionsprinzip

Der Wandler benutzt eine Serie von thermoelektrischen Zellen, um die thermische Energie in elektrische Energie - beim Seebeck-Effekt - umzuwandeln. Umgekehrt verhält es sich mit dem Peltier-Effekt.

#### Seebeck-Effekt

Es handelt sich um ein vereinfachtes Schema einer Zelle und den Phänomenen, die sich dort abspielen:



Im Modell der metallischen Bindung sind die Gitterplätze durch positive Ionenrümpfe besetzt. Die Valenzelektronen bewegen sich frei im Metallgitter und sind delokalisiert. Da sie frei beweglich sind, werden sie auch als Elektronengas bezeichnet. Etabliert man an den Enden eines Metallstabes verschiedene Temperaturen, lässt sich eine Spannung messen. Diese Potentialdifferenz entsteht durch die Polarisierung des Metalls.

#### Fehler! Unbekanntes Schalterargument.

Die Valenzelektronen an der warmen Seite ( $T_h$ ) besetzen durch die Wärmezufuhr Quantenzustände höherer Energie als an der kälteren Seite ( $T_c$ ). Jedes System versucht seinen energetisch günstigsten Zustand anzunehmen. Die Elektronen streben somit die Reduzierung ihrer Wärmebewegung an. Elektronen wandern von der Warmseite zur Kaltseite, bis ein Konzentrationsausgleich stattfindet. Der bis dahin erzeugte Strom wirkt seiner Ursache entgegen. Er nimmt Wärme auf der warmen Seite auf und gibt sie an der kalten Seite wieder ab.

Die entstehende Thermospannung ist sehr gering. Schließt man jedoch zwei verschiedene Metalle in einem Stromkreis zusammen und hält ihre Kontaktstellen auf unterschiedlichen Temperaturen, so verstärkt sich der Effekt.

Die durch den heißen Kubus abgegebene Wärme an die Zelle gibt genügend Energie für einige Elektronen, um das nächsthöhere Energieniveau zu erreichen. In diesem Fall sind die Elektronen nicht mehr so an die Materie gebunden und können sich als freie Elektronen frei bewegen. Wenn diese Elektronen ein höheres Energieniveau erreicht haben, wird an deren Stelle eine positive Ladung, ein sogenanntes +Loch, induziert. So bildet sich also ein Elektronenstrom im Halbleiter des Typ N (Elektronen im schwachen Energiezustand springen von positiven Loch zu Loch).

Im Halbleiter P bildet sich ein „Lochstrom“.

Die Elektronen, nachdem sie aus dem Halbleiter herauskommen, gehen in den Stromkreis über und führen dazu, dass die Birne aufleuchtet. Wenn Sie am Ende des Zyklus ankommen, gehen Sie erneut in die Zelle und treffen auf die Löcher des Halbleiters P und rekombinieren sich. Diese Rekombination ist exotherm, also wird der kalte Kubus nach und nach wieder erwärmt.

Solange die Temperaturdifferenz zwischen den beiden Seiten der Zelle aufrechterhalten wird, werden die Elektronen und die Löcher fortfahren zu zirkulieren, die Birnen wird brennen.

#### Peltier-Effekt

Die Umkehrung des Seebeck-Effektes ist der Peltier-Effekt. Wird einem Kreis, der aus zwei Materialien mit verschiedenen Niveaus in der thermoelektrischen Spannungsreihe besteht, ein Strom eingepreßt, dann kühlt sich eine Verbindungsstelle ab, die andere Verbindungsstelle erwärmt sich.

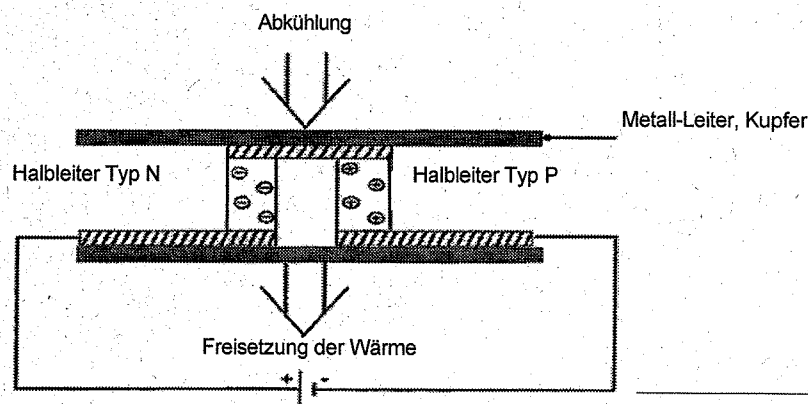
Wärmeenergie wird also von der einen zur anderen Verbindungsstelle transportiert.

#### Fehler! Unbekanntes Schalterargument.

Die Menge der transportierten Wärme ist von der Anzahl der Elektronen, welche die Kontaktstelle durchfließen, abhängig. Jedes Elektron kann eine bestimmte Wärmemenge absorbieren und emittieren. Die Wärmeleistung ist somit proportional zum fließenden Strom.

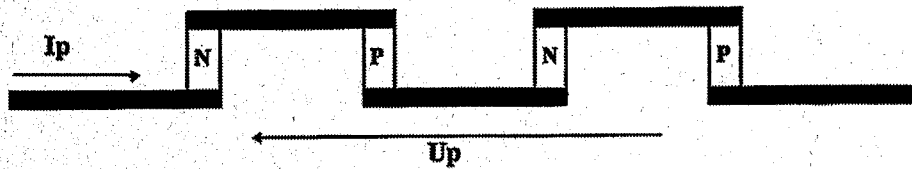
Ein technisches Peltier-Element besteht aus elektrisch seriell geschalteten p und n-Leitern. Der Wärmetransport findet durch überschüssige Elektronen (n-dotiert) und positiv geladene Löcher (p-dotiert) statt. Im Gegensatz zu Elektronen werden Löcher auch als Defektelektronen bezeichnet, da jedes durch Energiezufuhr aus seinem Gitterplatz befreite Elektron eine solche Elektronenfehlstelle hinterlässt.

N-dotierte Halbleiter sind durch den Einbau von Atomen gekennzeichnet, die auf ihrer äußersten Schale je ein Elektron mehr besitzen als die sie umgebenden Atome. Die benachbarten Atome können die Elektronen aufgrund ihres Sättigungszustandes nicht binden. Es bleiben Elektronen und positive Fremdatome im Gitter. Die Fremdatome sind Elektronenspender und werden daher auch als Donatoren bezeichnet. Die Elektronen liegen energetisch näher am Leitungsband, in das sie bei Energiezufuhr diffundieren. Die dazu benötigte Energie ist die Differenz zwischen dem Leitungsband und dem Fermi-Niveau. Der Wärmetransfer des kalten Kubus zum warmen verhält sich proportional zum Stromtransport, der vom Stromkreis kommt, sowie der Anzahl der thermoelektrischen Zellen des Wändlers.



### 3.4. Technische Eigenschaften

Das thermoelektrische Teil enthält wiederum mehrere Thermoelemente, die nach dem unten stehenden Schema zusammengesetzt wurden.



Diese Elemente sind elektrisch gesehen in Reihe, aber thermisch gesehen parallel angebracht. Die verwandten Halbleiter sind Legierungen, die aus Wismuth, Tellur, Selen und Antimon zusammengesetzt sind. Diese Mischung wird dann mit stark mit Elektronen bestückt. Dies bezieht sich dann auf den N-Typ Halbleiter. Der Typ P weist sogenannte Elektronenlöcher auf.

Der Stromdurchgang in der angegebenen Weise führt zu:

- einem Freisetzen von Wärme, wenn der Strom  $I_p$  vom p-Halbleiter zum n-Halbleiter fließt. In den p-Halbleitern wird Wärme in Stromrichtung und in den n-Halbleitern in entgegengesetzter Stromrichtung zur transportiert.
- einer Wärmeabsorption in der anderen Richtung