

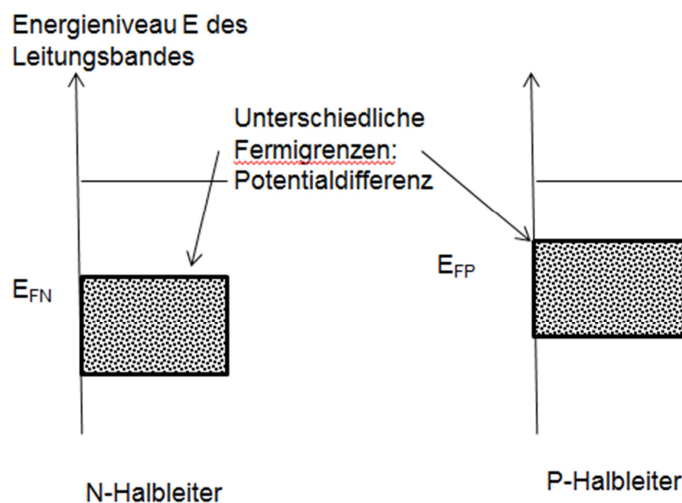
Hansiörg Fichthorn, SITUS Technicals, Talsperrenstr. 46 b, 42369 Wuppertal

## Grundlagen

Ein **Peltier-Element** ist ein thermoelektrischer Energiewandler, welches einen Wärmestrom in Elektrizität (Seebeck-Effekt) oder einen Stromfluß in Wärme (Peltiereffekt) umwandelt.

Thomas Johann Seebeck entdeckte zufällig, dass in einem Stromkreis aus zwei unterschiedlichen Metallstangen eine elektrische Spannung entsteht, wenn zwischen den Enden einer Stange jeweils ein Temperaturunterschied herrscht. Nach dem Verbinden der Enden floss ein elektrischer Strom, dessen Magnetfeld er mit einer Kompassnadel nachwies. Seebeck nutzte diesen Effekt 1821 in einem ersten Thermoelement aus. 1

Entscheidend für diesen Effekt sind die Vorgänge im Leitungsband von Metallen. Dies sind die im Metallgefüge frei beweglichen Elektronen. Je nach Metall befinden sie sich in unterschiedlichen Energieniveaus, deren Höhe durch die Fermi-Grenze bestimmt ist. Kommen diese Metalle in Kontakt, kommt es zu einem Potentialausgleich. Die Elektronen treten in einen energetisch günstigeren Zustand über und erzeugen so ein elektrisches Feld. Durch Wärmezufuhr wird die Potentialdifferenz aufrecht erhalten. Die Potentialdifferenz wird durch die Seebeckkraft ausgedrückt.



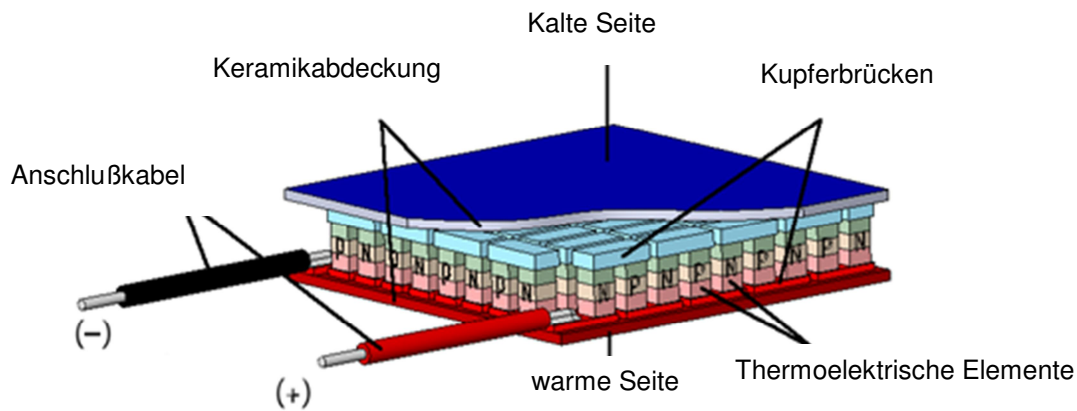
Fließt umgekehrt ein Strom durch zwei hintereinanderliegende unterschiedliche Halbleiterelemente, werden die Elektronen auf ein energetisch höheres Niveau angehoben und nehmen dabei Wärme auf. Auf der anderen Seite der Kontaktstelle gelangen die Elektronen von einem höheren auf ein niedrigeres Energieniveau und geben dabei Wärme ab.

## Technische Umsetzung

Um den Peltiereffekt in einem technischen Produkt auszunutzen, werden mehrere Elemente in Reihe geschaltet. Dabei wechselt sich immer ein N-Halbleiter (Elektronenleiter) mit einem P-Halbleiter (Leitung durch Elektronenlöcher). Mit der Anzahl dieser sogenannten Thermocouples (oder Thermopaare) wird die Versorgungsspannung des Peltierelementes definiert. Die maximale Spannung pro Thermopaar beträgt ca. 0,12 V. Ein Peltierelement mit 127 Thermopaaren hat demnach eine Versorgungsspannung von ca. 15 Volt.

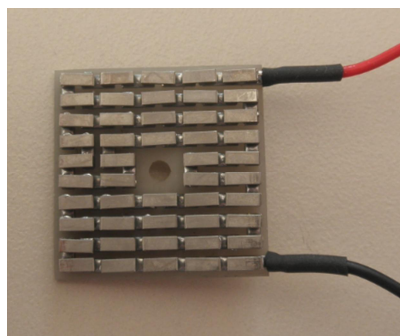
Als derzeit marktgängiges thermoelektrisches Material wird derzeit nahezu ausschließlich Wismuttellurid eingesetzt. Es wird durch entsprechende Dotierungen zu einem N- oder einem P-Halbleiter.

Die einzelnen Thermopaare werden durch ausgeklügelte Löttechniken miteinander verbunden und mit elektrisch isolierender Keramik, die gut die Wärmeleitet, abgedeckt. Die Keramik ist zur Innenseite üblicherweise mit DCB-Brücken aus Kupfer versehen. Als Keramik findet meistens  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (Aluminiumoxid) oder  $\text{AlN}$  (Aluminiumnitrid) Verwendung.



Das Bild oben zeigt ein Peltierelement, bei dem nur eine Seite mit Keramik abgedeckt ist.

Das Bild unten zeigt ein das gleiche Peltierelement von oben betrachtet. Man kann hier die Kupferbrücken, die die einzelnen Thermopaare verbinden gut erkennen.



Das einzige in größerem Maßstab derzeit verfügbare thermoelektrische Material ist Wismuttellurid. Trotz intensiver Forschung hat es bislang kein anderes Material zum kommerziellen Durchbruch geschafft.

Das Problem bei der Materialentwicklung besteht in den widersprüchlichen Eigenschaften, die das Material aufweisen muß.

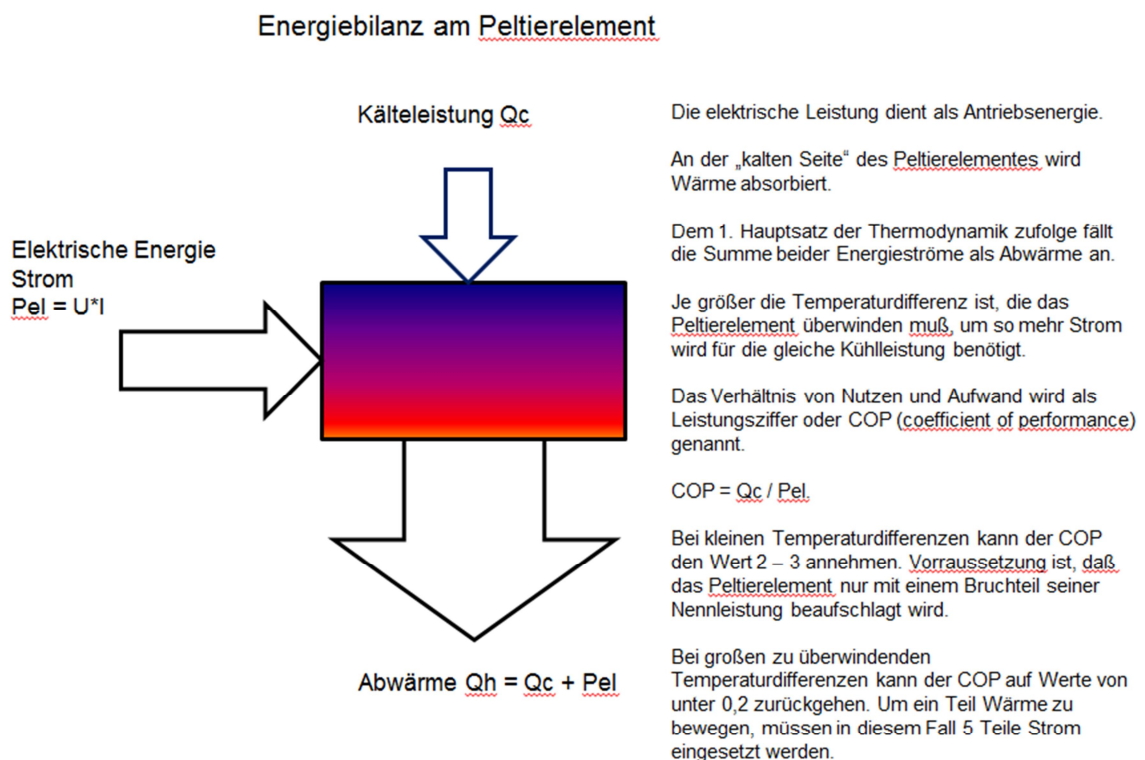
Neben dem geschilderten Peltiereffekt spielen die Wärmeleitung und die Ohm'schen Verluste eine entscheidende Rolle bei der Energiebilanz.

Wird das Peltierelement mit Spannung beaufschlagt, entsteht ein Stromfluß, bei dem ein Teil proportional zum Widerstand in Wärme umgewandelt wird. Dies ist reine Verlustwärme, die in die Umgebung abgeführt werden muß. Neben der erwünschten hohen Seebeckkraft soll das Material eine gute elektrische Leitfähigkeit haben.

Andererseits baut sich über die Stärke des Peltierelementes (2 – 6 mm) eine Temperaturdifferenz von bis zu 70°C auf. Die Wärme fließt dem treibenden Gefälle folgend proportional zum Wärmeleitwert des Bauteiles wieder von der warmen Seite zur kalten zurück. Somit ist ein Material mit einem schlechten Wärmeleitwert gefragt. Alle bekannten Metalle oder Halbleiter, die gut den Strom leiten, leiten auch gut die Wärme.

Dies stellt die Herausforderung an die Materialforschung und Entwicklung dar.

## Energiebilanz am Peltierelement



## Seebeckkraft, Joule'sche Wärme und Wärmeleitung

bestimmt.

Die Seebeckkraft  $Q_s$  ist näherungsweise proportional zur absoluten Temperatur und zur Stromstärke.  $Q_s = \alpha \cdot I \cdot T$  (1)

mit  $\alpha$  = Seebeckkoeffizient des eingesetzten Materials,  $I$  = Stromstärke und  $T$  = Temperatur, bei der das Peltierelement betrieben wird in Kelvin.

Die Joule'sche Wärme entsteht durch die Verluste des Stromflusses, wobei die eine Hälfte an der warmen und die andere an der kalten Seite entsteht.  $Q_j = \frac{1}{2} \cdot I^2 \cdot R$  (2)

mit  $I$  = Stromstärke und  $R$  elektrischer Widerstand der Materials.

Durch die Temperaturdifferenz gibt es innerhalb des Peltierelementes einen Rückfluß der Wärme  $Q_{\lambda}$  von der warmen zur kalten Seite.  $Q_{\lambda} = \lambda \cdot \Delta T \cdot 2N \cdot A/h$  (3)

mit  $\lambda$  = Wärmeleitwert des Materials,  $\Delta T$  = Temperaturdifferenz über dem Peltierelement,  $N$  = Anzahl der Thermopaare,  $A$  = Querschnittsfläche der Thermopaare,  $h$  = Höhe derselben.

### **Grundlegende Schlußfolgerungen für den erfolgreichen Einsatz der Peltiertechnik**

Aus den oben aufgeführten Zusammenhängen lassen sich Schlußfolgerungen ableiten, die für den Betrieb eines Peltierelementes erfolgsentscheidend sein können:

Die **wichtigste** ist, daß die Annahme viel hilft viel unter Umständen völlig falsch sein kann. Will man eine hohe Kühlleistung erzielen, zeigt die Formel (1), daß ein möglichst hoher Strom gewählt werden sollte. Andererseits zeigt die Formel (2) daß die Verlustleistung proportional zum Quadrat der Stromstärke zunimmt.

Nach Formel (3) erfolgt der unerwünschte Rückfluß der Wärme umso besser, je größer die Temperaturdifferenz am Peltierelement ist.

Wenn ein Peltierelement mit einer hohen Stromstärke beaufschlagt wird, führt das nur dann zu einer höheren Kühlleistung, wenn die Wärme von der warmen Seite des Peltierelementes effektiv, das heißt mit einer geringen Temperaturdifferenz, abgeführt werden kann. Ist das nicht der Fall, heizt sich warme Seite überproportional auf und das Peltierelement muß eine höhere Temperaturdifferenz überwinden, was zu einer Verringerung der Effizienz führt.

In vielen Fällen ist es nützlich wenn nicht erfolgsentscheidend, das Peltierelement nach dem Prinzip der maximalen Effizienz zu betreiben. Dies bedeutet, die Spannung zu reduzieren um den Stromfluß zu begrenzen.

Zusammenfassend läßt sich sagen: **weniger kann mehr sein.**

Mit guter Näherung kann man die Stromstärke, die zum Betrieb mit maximaler Effizienz führt, wie folgt berechnen:

Die maximale Temperaturdifferenz, die ein Peltierelement aufbauen kann beträgt ca. 70 °C. Unterstellt, die Aufgabe besteht darin, eine Temperaturdifferenz über dem Peltierelement von 21 °C zu erzeugen, sind das 30% von der maximalen. Entsprechend sollte das Peltierelement auch nur mit 30% des Maximalstromes beaufschlagt werden.

**Wird das Verhältnis zwischen Stromstärke und maximaler Stromstärke ist so gewählt wie das zwischen Temperaturdifferenz und maximaler Temperaturdifferenz, wird der Betriebspunkt nahe der größtmöglichen Effizienz erreicht..**

### **Vor- und Nachteile**

Die größten Vorteile eines Peltier-Elements sind die geringe Größe, die Vermeidung jeglicher bewegter Bauteile, Gase und Flüssigkeiten; eine Kältemaschine benötigt dagegen immer ein Kältemittel und in den meisten Fällen einen Kompressor.

Durch Umkehr der Stromrichtung ist mit Peltier-Elementen sowohl Kühlen als auch Heizen möglich. Damit kann eine Thermostatierung von Bauteilen erreicht werden, wenn die Umgebungstemperatur oberhalb oder auch unterhalb der Solltemperatur liegt.

Ein Nachteil der Peltier-Elemente ist der niedrige Wirkungsgrad, der zu hoher elektrischer Leistungsaufnahme bei vergleichsweise geringer Kühlleistung bzw. Temperaturdifferenz führt. Ferner sind Elemente über einer Größe von 60 mm × 60 mm kaum erhältlich. Trotzdem sind Peltier-Elemente für viele Anwendungen brauchbar, da ohne Weiteres Temperaturen unter 0 °C erreicht werden können.