

Praktikum I PE

Peltier-Effekt

Florian Jessen, Hanno Rein, Benjamin Mück

Betreuerin: Federica Moschini

27. November 2003

1 Ziel der Versuchsreihe

Der Peltier Effekt und seine Umkehrung (Seebeck Effekt) sind zwar sehr gering und waren lange Zeit nur schwer nachzuweisen, dafür gibt es heute zahlreiche Anwendungen, die ohne diesen physikalischen Effekte nicht realisierbar wären. Die vorliegende Versuchsreihe soll einen groben Überblick über diesen Effekt aufzeigen.

2 Grundlagen

2.1 Seebeck Effekt

Im Jahre 1821 entdeckte Thomas Seebeck zufällig bei seinen Studien, dass in einem Kreis aus zwei Drähten verschiedenen Metalls ein Strom fließt, sofern sich die Kontaktstellen auf verschiedener Temperatur befinden. Entscheidend für das Ausmaß des Effektes ist zum einen der Temperaturunterschied zwischen den beiden Metallen A und B, zum anderen die Materialkombination. Diese Eigenschaft wird durch den sogenannten Seebeck-Koeffizienten erfasst. Dieser ist definiert als

$$S_{AB} = \frac{\Delta U_x}{\Delta T} \quad (1)$$

Die Besonderheit des Seebeck Effektes liegt darin, dass hiermit erstmals sehr konstante Spannungen erzeugt werden konnten. Dadurch konnte Ohm auch sein heute noch gültiges Gesetz aufstellen, mit dem man nun den Strom in diesem Kreis berechnen kann. Dem Seebeck Effekt überlagert tritt immer der Effekt der Joule'schen Wärme auf. Dieser ist umso größer, je größer die Übergangs- und materialspezifischen Widerstände im Stromkreis sind. Dadurch kommt es zu einem Leistungsverlust, der durch $P = U \cdot I = R \cdot I^2$ gegeben ist.

2.2 Peltier Effekt

Der Peltier Effekt wurde 1834 entdeckt. Er ist die Umkehrung des Seebeck Effektes und besagt, dass in einem Stromkreis aus verschiedenen Metallen die Verbindungsstellen verschiedene Temperaturen annehmen, sobald durch den Kreis ein Strom fließt. Durch diesen Effekt definiert man den sogenannten Peltier Koeffizienten p_e .

$$\frac{dW}{dt} = p_e \cdot I \quad (2)$$

Damit wird eine Beziehung zwischen Wärmeleistung und elektrischer Leistung hergestellt. Das Vorzeichen des Koeffizienten ergibt sich durch die Konvention, dass p_e positiv wenn der Strom von A nach B fließt und die Verbindungsstellen erwärmt. Im Vergleich zum Seebeck Effekt muss hier die Temperaturdifferenz umgekehrt gewählt werden, um die gleiche Stromrichtung zu erhalten. Die Joule'sche Wärme tritt leider auch beim Peltier Effekt auf und erschwert dessen Nachweis, da er nur bei Stromfluss auftritt. Da die Joule'sche Wärme proportional zu I^2 ist, der Peltier Effekt jedoch zu I , muss der Strom grundsätzlich möglichst klein gewählt werden.

Die theoretische Deutung dieser Effekte beruht auf der Brown'schen Molekularbewegung. Erwärmt man eine Seite des Metalls, so wandern einige Elektronen ab. Es entsteht eine unsymmetrische Ladungsverteilung, die als Spannung messbar ist.

Der Seebeck Effekt wird ausgenutzt um Temperaturen zu messen, denn wenn die Temperatur einer Verbindungsstelle bekannt ist, lässt sich die der anderen berechnen. Die Vorteile dieser Messmethode sind die kleinen Bauelemente mit entsprechend geringer Wärmekapazität, was zu schnellen Messzeiten und geringen Wärmeverlusten führt. Es lassen sich aber auch Generatoren bauen. Diese werden beispielsweise eingesetzt um Raumsonden auf langen Reisen mit Energie zu versorgen, wenn Solarzellen nicht mehr ausreichen.

Der Peltier Effekt zeichnet sich durch einen hohen Wirkungsgrad und kurze Steuerzeiten aus. Eingesetzt wird er im Labor, um beispielsweise Baugruppen auf exakten Temperaturen zu stabilisieren, aber auch in kleinen Kühlaggregate in Fahrzeugen. Die Leistung solcher Elemente ist jedoch sehr begrenzt, da Joule'sche Wärme erzeugt wird.

Erzeugt man durch den Peltier Effekt eine Temperaturdifferenz, so muss man dazu den Seebeck Effekt und an der kalten Seite die Joule'sche Wärme überwinden. Es ist daher gemäß des Energieerhaltungssatzes:

$$P_{Peltier} - \frac{1}{2}P_{Joule} - \Delta T \cdot k = P_c \quad (3)$$

$$p_e I - \frac{1}{2}RI^2 - \Delta T \cdot k = P_c \quad (4)$$

$$P_{Peltier} + \frac{1}{2}P_{Joule} - \Delta T \cdot k = P_w \quad (5)$$

$$p_e I + \frac{1}{2}RI^2 - \Delta T \cdot k = P_w \quad (6)$$

oder für die Temperaturdifferenz

$$\Delta T = \frac{1}{k} \left(p_e I - \frac{1}{2}RI^2 \right) \quad (7)$$

Um die maximale Temperaturdifferenz in Abhängigkeit des Stromes zu bestimmen, differenziert man nach I und erhält

$$\frac{d\Delta T}{dI} = \frac{1}{k} (p_e - RI) \quad (8)$$

Somit ist der optimale Strom

$$I_{opt} = \frac{p_e}{R} \quad (9)$$

Die maximale Temperaturdifferenz beträgt dann

$$\Delta T = \frac{p_e^2}{2kR} \quad (10)$$

3 Versuchsdurchführung

Zunächst soll der Widerstand des Peltier Elements über die Messung von Strom und Spannung bestimmt werden. Danach wird eine Messreihe mit dem Strom und der dadurch erzeugten Temperaturdifferenz aufgenommen. Die Temperatur auf der warmen und der kalten Seite des Elements wird dabei über einen temperaturabhängigen Widerstand gemessen.

4 Auswertung

4.1 Widerstand

Es ergeben sich folgende Messwerte

Messwert	Spannung U [V]	Strom I [A]	Widerstand $R = \frac{U}{I}$ [Ω]
1	0.97	0.067	14.48
2	1.11	0.074	15.00
3	1.69	0.115	14.70
4	2.02	0.136	14.85
5	2.25	0.153	14.71
6	2.49	0.171	14.56
7	2.70	0.183	14.75
8	3.06	0.212	14.43
9	3.24	0.227	14.27
10	3.50	0.250	14.00
11	3.83	0.275	13.93

Somit ist

$$R = 14.52[\Omega] \pm 0.34[\Omega] \quad (11)$$

Der Strom wurde bei dieser Messung klein gehalten, um möglichen Beschädigungen an dem Modul vorzubeugen und um mögliche temperaturbedingte Effekte bezüglich des Widerstands auszuschließen.

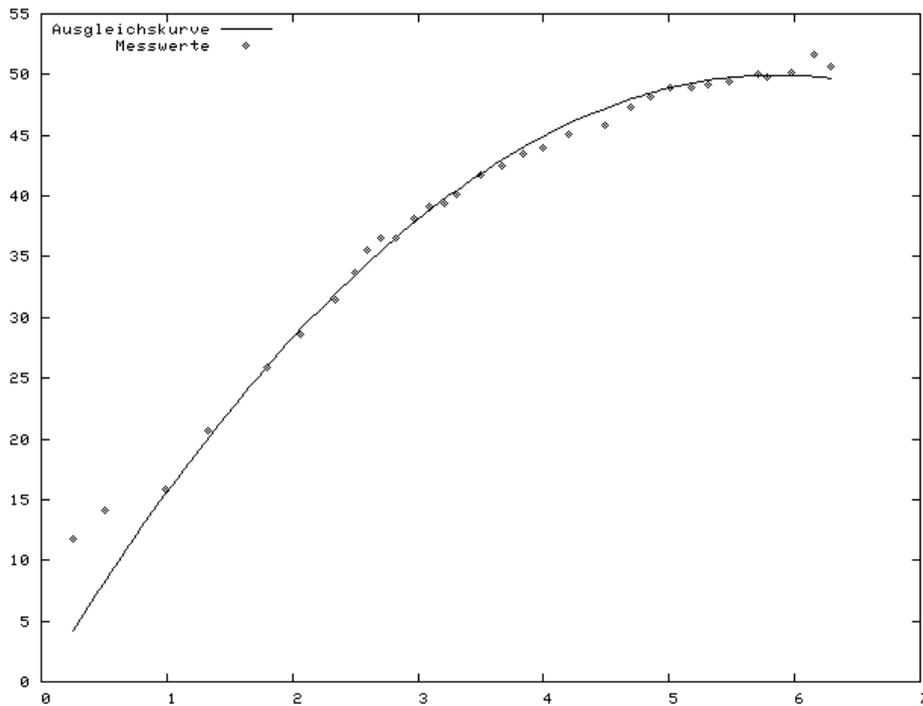
Wie sich später herausstellte liegt vermutlich ein systematischer Fehler bei der Widerstandsmessung vor. Durch den Peltiereffekt ändert sich schon bei minimaler Temperaturdifferenz ΔT der Widerstand. Bei einer erneuten Messung ergab sich für den Widerstand $R = 3\Omega$.

4.2 Seebeck-Koeffizient

Aus den Messwerten errechnet sich die Ausgleichskurve $g(x)$ mit

$$g(x) = -1.454 \cdot x^2 + 17.047 \cdot x[\text{K}] \quad (12)$$

Daraus ergibt sich folgendes Schaubild



Die maximale Temperaturdifferenz ergibt sich bei

$$I_{opt} = 5.863A \pm 4.7 \quad (13)$$

Daraus errechnet sich der Seebeck-Koeffizient S_{AB} mit der Temperatur der kalten Seite $T_k = 280K$ zu

$$\bar{S}_{AB} = \frac{R \cdot I_{opt}}{T_k} = 0.304 \frac{V}{K} \quad (14)$$

Nach der Gausschen Fehlerfortpflanzung ergibt sich

$$\sigma_{S_{AB}} = \frac{I_{opt}}{T_k} \cdot \sigma_R = 7.12 \cdot 10^{-3} \frac{V}{K} \quad (15)$$

4.3 Wärmeleitkoeffizient

Der Wärmeleitkoeffizient k ergibt sich aus folgender Beziehung

$$k = \frac{S_{AB}^2}{2R\Delta T_{max}} T_k^2 \quad (16)$$

Aus unseren Werten ergibt sich für k

$$\bar{k} = 4.99 \frac{W}{K} \quad (17)$$

und hat einen Fehler von

$$\sigma_k = \sqrt{\left(\frac{S_{AB}}{R\Delta T_{max}} \cdot T_k^2 \cdot \sigma_{S_{AB}}\right)^2 + \left(\frac{S_{AB}^2}{2R^2\Delta T_{max}} \cdot T_k^2 \cdot \sigma_R\right)^2} \quad (18)$$

$$= \sqrt{(2.3 \cdot 10^{-1})^2 + (4.1 \cdot 10^{-4})^2} \quad (19)$$

$$= 0.23 \frac{W}{K} \quad (20)$$

4.4 Gütefaktor

Der Gütefaktor z ist als das Verhältnis $\frac{S_{AB}^2}{R \cdot k}$ definiert. Nach unseren Messwerten ist

$$\bar{z} = 1.28 \cdot 10^{-3} \quad (21)$$

Der Fehler von z ist

$$\sigma_z = \sqrt{\left(\frac{2S_{AB}}{R \cdot k} \cdot \sigma_{S_{AB}}\right)^2 + \left(\frac{S_{AB}^2}{R^2 \cdot k} \cdot \sigma_R\right)^2 + \left(\frac{S_{AB}^2}{R \cdot k^2} \cdot \sigma_k\right)^2} \quad (22)$$

$$= \sqrt{3.58 \cdot 10^{-9} + 8.92 \cdot 10^{-10} + 5.88 \cdot 10^{-5}} \quad (23)$$

$$= 5.88 \cdot 10^{-5} \quad (24)$$

4.5 Seebeck-Koeffizient Methode 2

Nach der Trennung des Peltier-Elements von der Stromquelle kann immer noch eine Spannung an dem Element gemessen werden. Die Temperaturen der beiden Seiten nähern sich langsam an. Aus der folgenden Beziehung lässt sich der Seebeck-Koeffizient auch berechnen:

$$S_{2AB} = \frac{\Delta U}{\Delta T} \quad (25)$$

Aus unseren Messwerten ergibt sich

ΔT [K]	ΔU [V]	S_{2AB}
25.0	0.67	0.027
22.2	0.56	0.025
19.4	0.48	0.025
16.5	0.40	0.024
13.2	0.33	0.025
12.4	0.30	0.024
10.1	0.25	0.025
8.3	0.21	0.025
7.0	0.18	0.026

$$\bar{S}_{2AB} = 0.025 \frac{\text{V}}{\text{K}} \quad (26)$$

$$\sigma_{S_{2AB}} = 8 \cdot 10^{-4} \frac{\text{V}}{\text{K}} \quad (27)$$

Der große Fehler zu dem oben bestimmten Wert kommt vermutlich durch die fehlerhafte Widerstandsmessung zustande.