

► Peltier- und Piezo-Elemente

Irma Mgeladze, Therese Lüthi

1. Hintergrund



Die Materialeigenschaften eines Stoffes werden wesentlich durch seinen atomaren Aufbau bestimmt. Mit der Struktur-Eigenschafts-Beziehung eines Stoffes können seine physikalischen Eigenschaften besser verstanden und nachvollzogen werden.

In den folgenden Experimenten werden zwei Bausteine untersucht: Das Peltier-Element und das Piezo-Element, die beide eine Spannung erzeugen können. Beim Peltier-Element ist die Ursache eine Temperaturänderung, beim Piezo-Element eine Druckänderung. Dabei verändert sich jeweils eine räumliche Anordnung im System. Bei Peltier-Elementen ändert sich die Verteilung unterschiedlich energetischer Elektronen und bei Piezo-Elementen sind es die Atome.

1.1 Peltier-Elemente (PE)

Das Peltier-Element (PE) basiert auf einer umkehrbaren Wechselwirkung zwischen Temperatur und Elektrizität. Legt man zwei Leiter mit unterschiedlichen Temperaturen zusammen, bewegen sich durch Diffusion die „warmen“ energetischen Elektronen zu dem kalten Leiter und Elektronen mit wenig Energie in die entgegengesetzte Richtung. Eine sogenannte **Seebeck-Spannung** entsteht durch das Ungleichgewicht der Elektronen-Strömung. Die Spannung ist proportional zur Temperaturdifferenz: $U \sim T_2 - T_1$

Der Proportionalitätskoeffizient ist sehr klein und liegt für Metalle bei Raumtemperatur in der Größenordnung von etwa $10 \mu\text{V/K}$.

Der **Peltier-Effekt** beschreibt den inversen Seebeck-Effekt. Ein elektrischer Stromfluss bewirkt eine Änderung des Wärmetransportes.

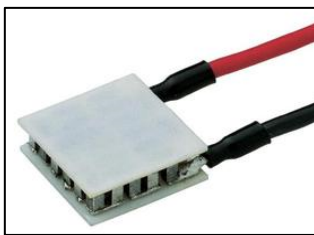


Abb.1: Peltier-Element aus Halbleitern

Während der Seebeck-Effekt das Entstehen einer Spannung beschreibt, tritt der Peltier-Effekt durch das Fließen eines elektrischen Stromes auf, wobei die bewegten Elektronen neben der Ladung e^- auch immer Energie transportieren. Beim Übergang von einem Material zum anderen ändert sich die mit den Elektronen transportierte Energie. Die Differenz wird an der Kontaktstelle als Wärme freigesetzt oder aufgenommen. Dieser Effekt ist jedoch bei Metallen sehr gering. Um den Wirkungsgrad des Peltier-Effekts zu vergrößern, werden zwei Halbleiter verwendet. Die Peltier-Elemente (PE, Abb.1) bestehen aus zwei quadratischen Platten aus Aluminiumoxid-Keramik und dazwischen eingelöteten Halbleiter-Quadern.

PE können für schnelle Kühlung (zum Beispiel bei Kühlboxen) eingesetzt werden.

1.2 Piezo-Elemente (Pz)

Pierre und Jacques Currie entdeckten bei ihren Experimenten mit Turmalin, Quarz und Rochellesalz-Kristallen (Seignette-Salz, Kaliumnatriumtartrat-Tetrahydrat $\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$), dass sie durch Deformation der Proben deren Polarisierung auslösen konnten. Sie nannten den Effekt nach dem griechischen Wort piezein = drücken **Piezo-Effekt**. Dabei ist die gemessene Spannung direkt proportional zu der ausgeübten Kraft $U \sim F$.

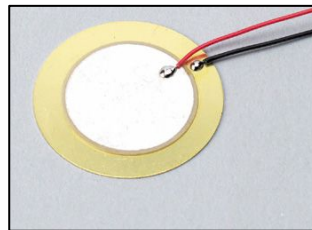


Abb.2: Piezokeramischer Schallwandler

Gabriel Lippmann sagte 1881 mit Hilfe mathematischer Ableitungen von thermodynamischen Grundlagen einen inversen Effekt voraus. Die Gebrüder Curie konnten diesen Umkehr-Piezo-Effekt bald darauf experimentell nachweisen. Dabei beobachtet man eine relative Verformung des Körpers nach Anlegen einer Spannung $U \sim S$.

Damit können piezoelektrische Materialien als Sensoren (Mikrofon) oder als Aktoren (Lautsprecher) benutzt werden.

2. Durchführung

Für Untersuchung der Eigenschaften sowohl der PE als auch der Pz eignet sich das Digitale Messwerterfassungssystem (DMS) gut.

2.1 Peltier-Elemente

Material: Computer mit Messwerterfassung; Netzgerät; Spannungssensor; zwei ca. $3 \text{ cm} \times 7 \text{ cm}$ Aluminium- oder Kupferplatten; PE $15 \text{ mm} \times 15 \text{ mm}$ (max. Strom 3 A; Nennspannung max. 1,9 V; Max. Operating Temperatur: 138°C), Solarmotor, n-Pentan (Achtung, gesundheitsschädlich) oder Aceton oder Eis.

Thermospannung

Das Peltier-Element (PE) wird zwischen den zwei Aluminium- oder Kupferplatten eingelegt und das Ganze wird mit Kabelbindern zusammen gezurt oder mit Plastikschrauben befestigt. PE an Spannungsmessgerät anschließen und eines der Metallplättchen mit Eis, bzw. n-Pentan oder Aceton, das verdunstet, kühlen. Das andere Metallplättchen wird mit einem LötKolben erhitzt. Der Anstieg der Spannung wird mit der Messwerterfassung beobachtet (Abb.4). Die Messung kann durch Verwendung von Wärmeleitpaste zwischen dem PE und den Platten verbessert werden.

Einstellungen: Messmodus: Time Based; 10 Stichproben; Dauer 100 s.

Thermogenerator

Zwei PE werden, wie oben beschrieben, in denselben zwei Metallplättchen eingelegt. Das eine PE wird mit dem Netzgerät verbunden, das andere PE wird am Spannungsmessgerät angeschlossen. Das Netzgerät wird anschaltet (ca. 3 A; 0,8 V).



Abb.3: Zwei PE zwischen zwei Kupferplatten. Eines wird am Netzgerät angeschlossen, das andere am Spannungsmessgerät.

An den Metallplättchen des am Netzgerät angeschlossenen PE entwickelt sich eine Temperaturdifferenz, welche durch die Wärmeleitfähigkeit der Metallplättchen auf das andere PE übertragen wird. Damit lässt sich eine Spannung am zweiten PE erzeugen und mit dem Messwertsystem erfassen.

Einstellungen: Messmodus: Time Based; 5 Stichproben; Dauer 150 s.

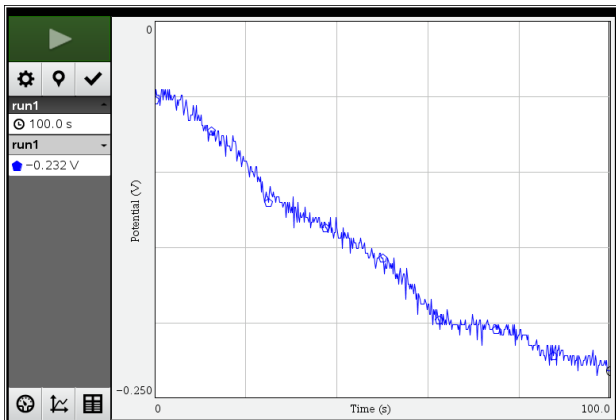


Abb.4: Thermospannung, PE zwischen Kupferplatten

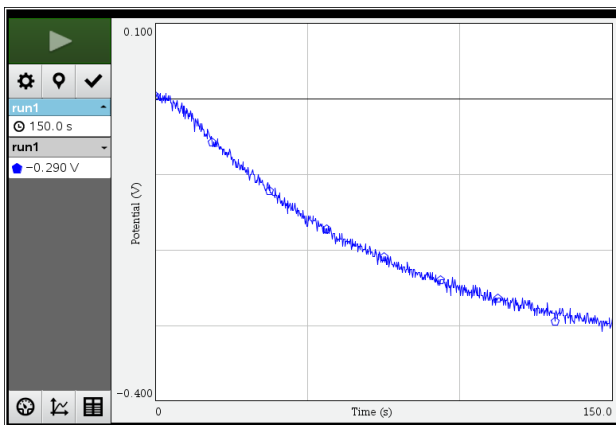


Abb.4: Thermogenerator, PE zwischen Aliminium Platten

Mit einem PE einen Solarmotor betreiben

Ein Motor (Abb.6), der in seinen Anlaufeigenschaften und Betriebsdaten mit hochwertigen Systemen zu vergleichen ist, läuft bereits bei geringster Energie an (Betriebsspannung 0,5 V – 6 V; Anlaufstrom 10 mA).



Abb. 6: Solarmotor mit geringem Innenwiderstand

Ein solcher Motor kann mit einem PE betrieben werden (Abb.7). Erwärmt man eine Seite zum Beispiel mit dem LötKolben und die andere Seite wird mit Eiswasser, Pentan oder Aceton gekühlt, so beginnt sich die Scheibe zu drehen. Interessant wäre es, die eine Seite mit fokussierten Sonnenstrahlen zu heizen.

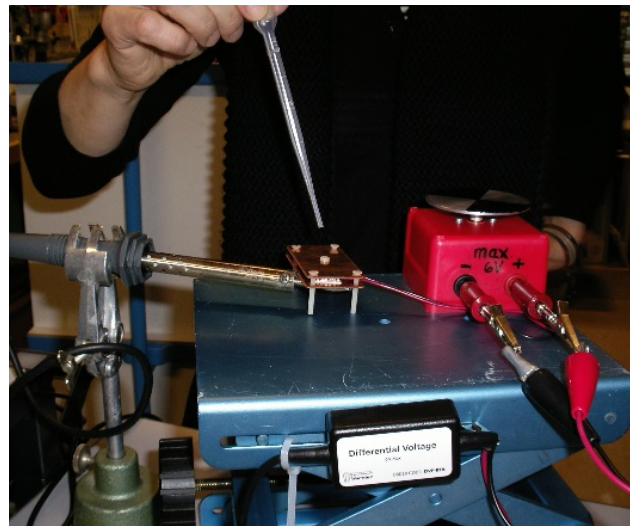


Abb.7: PE bringt einen Solarmotor zum Drehen.

2.2 Piezo-Elemente (Pz)

Material: Computer mit Messwerterfassung; Spannungssensor, div. Piezoelektrische Materialien (Quarz, Seignettesalz-Kristall⁽¹⁾, Piezokeramische Schallwandler, Turmalin), Kaliumaluminiumsulfat-Kristall (Alaun, nicht piezoelektrisch, zur Kontrolle), Steckplatine, Leuchtdiode, Transistor, Batterie 4,5 V, diverse Kabel, Alufolie oder Kupferstreifen, Wäscheklammern oder Holzplättchen

Messung Spannungssignal

Ein piezokeramischer Schallwandler (Pz) wird an das Spannungsmessgerät angeschlossen und die Messwertefassung gestartet. Der Pz wird gedrückt oder leicht gebogen und das Spannungssignal verfolgt (Abb.10).

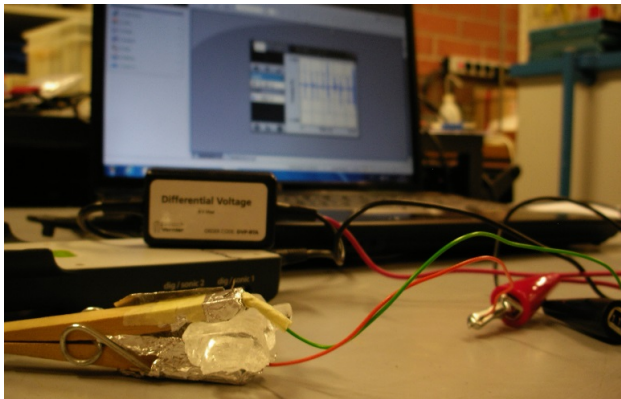


Abb.8: Seignette-Kristalle in leitfähiger Wäscheklammer eingespannt mit Verbindung zum Spannungsmessgerät

Dasselbe Experiment kann auch mit den verschiedenen Kristallen durchgeführt werden, wobei die Kristalle leitend mit der Spannungssonde verbunden werden müssen. Das kann wie in Abb.8 mit Wäscheklammern geschehen, welche mit Alufolie oder Kupferstreifen eingepackt sind. Der Druck soll bei den Kristallen in verschiedenen Orientierungen erfolgen, da der Piezo-Effekt richtungsabhängig ist (Abb.9). Zur Kontrolle kann auch ein unpolares Alaun untersucht werden.

Einstellungen: Messmodus: Time Based; 5 Stichproben; Dauer 10 s

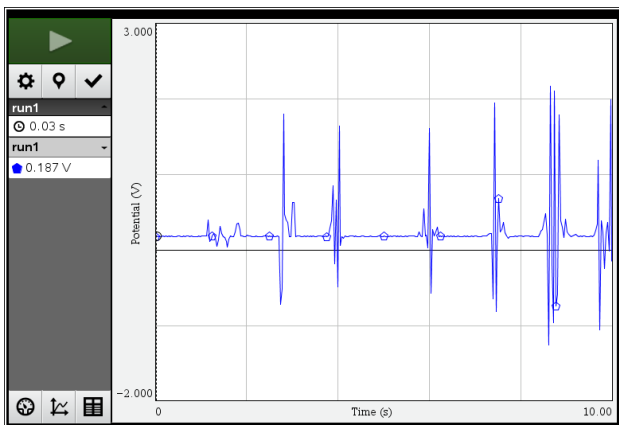


Abb.9: Spannungssignal bei Seignette-Kristalle

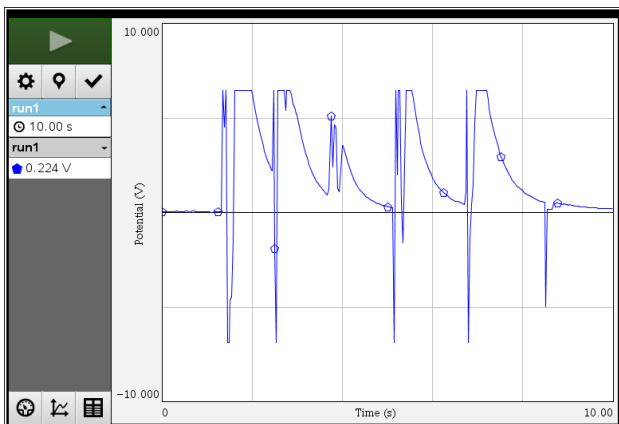


Abb.10: Spannungssignal bei Piezokeramischer Schallwandler

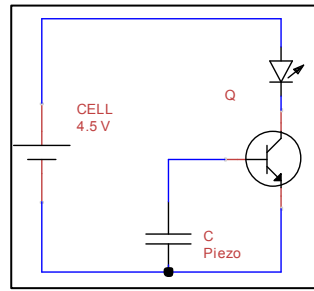


Abb.11: Schaltung LED mit Pz

Piezo-Element als Signalsteuerung mit Transistor als Schalter

Ein Transistor kann als Schalter dienen. Ist keine Spannung auf der Basis des Transistors, so fließt kein Strom und der Stromkreis ist nicht geschlossen. Durch Druck auf ein Pz-Element wird eine Spannung auf die Basis gegeben, Strom fließt, die LED leuchtet. Dazu kann ein einfaches Schalt-schema nach Abb. 9 auf einer Steckplatine aufgebaut werden. Als Pz kann alternativ der Schallwandler oder ein piezoelektrischer Kristall eingebaut werden. Durch Druck wird die LED zum Leuchten gebracht.

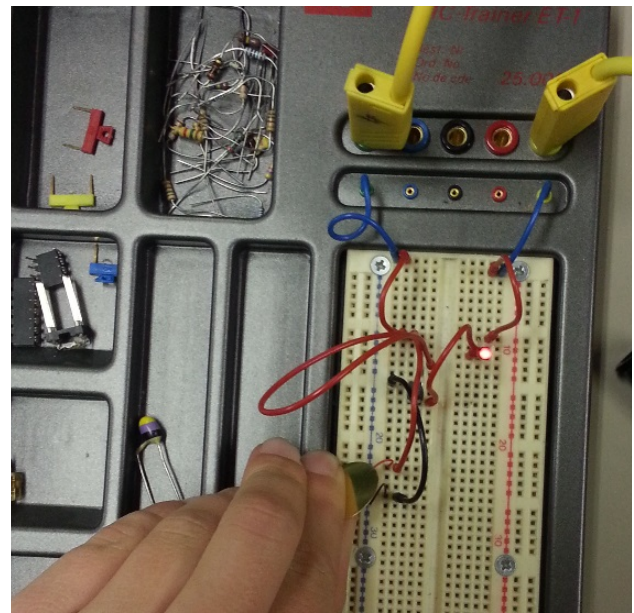


Abb.12: Schaltkreis mit Schallwandler als Impulsgeber

2.3 Anwendungen für Peltier- und Piezo-Elemente

Die Elemente finden Anwendung im Alltag, in der Forschung und in der Freizeit. Mit diesen Beispielen kann gut ein Bezug zur Welt der Jugendlichen hergestellt werden.

Wohl alle kennen Gasanzünder oder Feuerzeuge, die mit einem Piezo-Element gezündet werden. Durch Druck auf den Piezo-Kristall entstehen grosse Spannungen, ein Funke entsteht und das Gas wird entzündet.

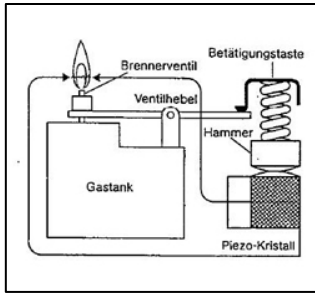


Abb.13: Zündung eines Feuerzeuges mit Piezo-Kristall

Bei Tintenstrahldruckern wird die Tinte durch feine Düsen auf das Papier gespritzt. Die Düsen werden über Piezoelemente gesteuert. Wird Spannung auf das Piezoelement gegeben, verformt es sich und drückt die Tinte aus dem Düsenkopf.

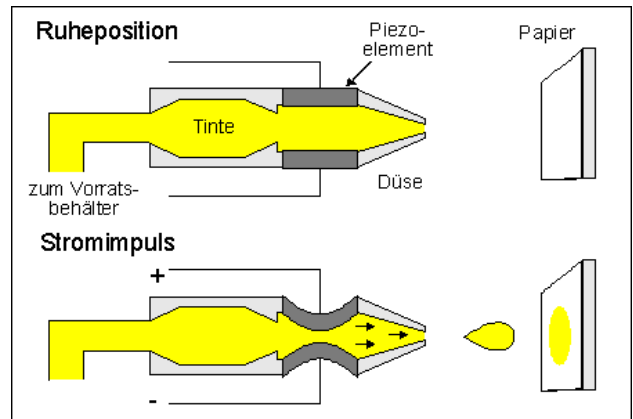


Abb.14: Düse des Tintenstrahldruckers wird mit einem Pz gesteuert

Anmerkungen:

(1) Seignette-Salz-Kristalle lassen sich sehr einfach und innert zwei Tagen selber züchten. Dazu wird eine gesättigte Lösung von Kaliumnatriumtartrat-Tetrahydrat (130 g in 200 ml Wasser unter Heizen lösen, abfiltrieren) in einem Gefäß offen stehen gelassen. Entstehen zu viele kleine Kristalle, so können diese bis auf wenige entfernt werden, damit möglichst große Kristalle entstehen.

Autoren

Irma Mgeladze, Therese Lüthi; Bern (Schweiz)
Gymnasium Köniz-Lebermat