universität innsbruck
Universitäts- und Landesbibliothek Tirol

Universitäts- und Landesbibliothek Tirol

Elementare Vorlesungen über Elektrizität und Magnetismus

Thompson, Silvanus Phillips

Tübingen, 1897

Kapitel VII. Thermoelektrizität

urn:nbn:at:at-ubi:2-6344

KAPITEL VII.

THERMOELEKTRIZITÄT.

XXXV. VORLESUNG: *Thermoelektrische Ströme.*

414. Im Jahre 1822 machte Seebeck die Entdeckung, dass in einem geschlossenen Stromleiter dadurch ein Strom erzeugt werden kann, dass man einen Berührungspunkt zweier ungleichen Metalle erwärmt. Werden z. B. ein Stück Wismut und ein Stück Antimon zusammengelötet und ihre freien Enden durch ein Galvanometer mit einer Rolle von kleinem Widerstande verbunden und wird alsdann die zusammengelötete Stelle auf eine Temperatur gebracht, welche höher ist als die des übrigen Stromleiters, so fliesst ein Strom durch jene Stelle in der Richtung vom Wismut zum Antimon, wobei die Stromstärke der Temperaturdifferenz proportional ist. Wird die gelötete Stelle auf eine Temperatur abgekühlt, welche niedriger ist, als die des übrigen Stromleiters, so entsteht ein Strom in der entgegengesetzten Richtung. Die hier auftretende elektromotorische Kraft unterhält einen konstanten Strom, so lange die Temperaturdifferenz bestehen bleibt, indem während der ganzen Zeit Wärme absorbiert wird, um die Energie des Stromes zu unterhalten. Solche Ströme heissen **thermoelektrische Ströme**, und die sie erzeugende elektromotorische Kraft ist unter dem Namen *thermo-elektromotorische Kraft* bekannt.

415. Der Peltier'sche Versuch. Im Jahre 1834 beobachtete Peltier eine Erscheinung, welche das Gegenteil der See-

beck'schen Entdeckung ist. Wird von einer Batterie aus ein elektrischer Strom durch die Lötstelle ungleicher Metalle geschickt, so wird jene, wie er fand, entweder erwärmt oder abgekühlt, je nach der Richtung des Stromes. Ein Strom, welcher z. B. in der Richtung vom Wismut zum Antimon fliesst, absorbiert Wärme beim Durchgang durch die Lötstelle dieser Metalle und kühlt dieselbe ab; wogegen ein Strom, welcher durch die Lötstelle vom Antimon zum Wismut fliesst, Wärme entwickelt, so dass die Temperatur der Lötstelle zunimmt.

Wenn Wismut positiv in Bezug auf Antimon ist, so ist klar, dass jeder Strom, welcher vom Wismut zum Antimon fliesst, von der elektromotorischen Kraft an der Lötstelle verstärkt wird, während jeder Strom, der vom Antimon fliesst, eine entgegengesetzte E.M.K. zu überwinden hat. Im letzteren Falle verrichtet der Strom Arbeit und die Lötstelle wird erwärmt. Im ersteren Falle empfängt der Strom Energie auf Kosten der Lötstelle, welche Wärme abgiebt. In Figur 214 repräsentieren die gefie-

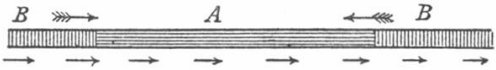

Fig. 214.

derten Pfeile an den Lötstellen die Peltier'schen elektromotorischen Kräfte und die einfachen Pfeile geben die Richtung des Stromes an.

Diese Erscheinung der Erwärmung (oder Abkühlung) durch einen Strom, welcher durch zwei ungleiche, zusammengelötete Metalle fliesst (unter dem Namen des Peltier'schen Versuches bekannt, um dieselbe von der gewöhnlichen Erwärmung eines Stromleiters zu unterscheiden, welcher dem Strome einen Widerstand bietet; letztere Erscheinung bezeichnet man bisweilen als den Joule'schen Versuch), ist gänzlich verschieden von der Wärmeentwicklung in einem Leiter von hohem Widerstande, denn 1) ist der Peltier'sche Versuch *umkehrbar*, indem der Strom je nach seiner Richtung die Lötstelle entweder erwärmt oder abkühlt, wogegen ein Strom, welcher in einem dünnen Drahte

auf Widerstand stösst, denselben stets erwärmt, in welcher Richtung der Strom auch fliesst, und 2) ist die beim Peltier'schen Versuche entwickelte oder absorbierte Wärmemenge einfach der Stromstärke proportional, und nicht dem *Quadrate* derselben, wie dies bei der durch Widerstand entwickelten Wärme der Fall ist.

Das vollständige Gesetz über die in einem Stromleiter entwickelte Wärme muss daher alle Peltier'schen Wirkungen berücksichtigen, die etwa an Metallverbindungen im Stromleiter auftreten. Bezeichnet man mit P die Potentialdifferenz, welche von dem Erwärmen der Lötstelle herrührt, und welche in Bruchteilen eines Volt ausgedrückt ist, so ist das vollständige Wärmegesetz:

$$H = 0{,}24 \,.\, (C^2Rt + P \,.\, Ct),$$

welches der Leser mit dem Joule'schen Gesetze in Art. 422 vergleichen möge. Die mit P bezeichnete Grösse ist auch als der *Koeffizient des Peltier'schen Versuches* bekannt und hat für verschiedene Metallpaare auch verschiedene Werte; sie ist numerisch gleich der Anzahl von Arbeitseinheiten, welche das mechanische Aequivalent der Wärme sind, welche beim Durchgange eines elektrischen Ampère durch die Lötstelle zweier verschiedener Metalle entwickelt wird.

416. Thermoelektrische Gesetze. Die thermoelektrischen Eigenschaften eines Stromleiters können am besten an dem einfachen Stromleiter in Fig. 215 untersucht werden, welcher ein Wismut - Antimon - Paar darstellt, das durch einen Kupferdraht verbunden ist. Das Volta'sche Gesetz über die vom Kontakt herrührende Potentialdifferenz sagt uns, dass, wenn überall dieselbe Temperatur vorhanden ist, die Potentialdifferenz zwischen Wismut und Kupfer in einer Richtung gleich ist der Summe der Differenzen zwischen Wismut und Antimon, und zwischen Antimon und Kupfer in der andern Richtung, und dass folglich zwischen

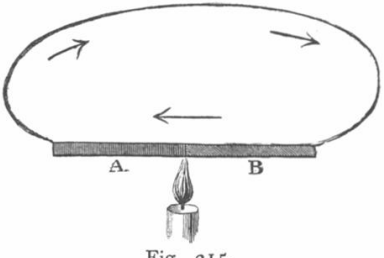

Fig. 215.

den entgegengesetzt gleichen elektromotorischen Kräften Gleichgewicht bestehen würde. Wird jedoch eine Verbindungsstelle erwärmt, so existiert dies Gleichgewicht nicht mehr und das Volta'sche Gesetz verliert seine Giltigkeit. Die neue elektromotorische Kraft, welche an der erwärmten Verbindungsstelle ins Leben tritt, ist nun folgenden Gesetzen unterworfen:

1) *Die thermoelektromotorische Kraft ist für dasselbe Metallpaar dem Temperaturüberschuss der Verbindungsstelle über die Temperatur des übrigen Stromleiters proportional* (selbst für bedeutende Temperaturdifferenzen).

2) *Die totale thermoelektromotorische Kraft eines Stromleiters ist die Summe aller einzelnen thermoelektromotorischen Kräfte an den verschiedenen Verbindungsstellen.*

Aus diesem Gesetze folgt, dass die verschiedenen Metalle sich, wie Seebeck fand, je nach ihrer thermoelektrischen Kraft in eine Reihe derart einordnen lassen, dass jedes vorhergehende Metall zu einem später folgenden (wie Wismut in Bezug auf Antimon) thermoelektrisch positiv ist.

417. Thermoelektrische Kraft. Folgendes ist die **thermoelektrische Reihe** der Metalle, nebst den Potentialdifferenzen (in Mikrovolt), welche sie bei einem Temperaturunterschiede von einem Grad C. zeigen; Blei wird dabei als das normale Nullmetall betrachtet:

+ Wismut	89 bis 97
Nickel	22
Argentan . . .	11,75
Blei	0
Platin	— 0,9
Kupfer	— 1,36
Zink	— 2,3
Eisen	— 17,5
— Antimon . . .	— 22,6 bis — 26,4
Tellur	502
Selen	800

Ist das Metall nicht ganz rein, so macht dies einen bedeu-

tenden Unterschied in der thermoelektrischen Kraft desselben aus, und einige Legierungen und Schwefelmetalle, wie z. B. Bleiglanz, zeigen bedeutende thermoelektrische Kraft.

Die elektromotorischen Kräfte, welche von der Erwärmung einzelner Metallpaare herrühren, sind in der That sehr klein. Wird die Verbindungsstelle eines Kupfer-Eisen-Paares um 1° C. mehr erwärmt, als der übrige Teil des Stromleiters, so beträgt die elektromotorische Kraft derselben nur 15,14 Mikrovolt. Diejenige des kräftigeren Wismut-Antimon-Paares beträgt für 1° C. ungefähr 117 Mikrovolt.

Die thermoelektrische Kraft ändert sich jedoch mit der Temperatur; beispielsweise ist die des Eisens in Wirklichkeit gleich $-17{,}4 + 0{,}049\,t$ (wo t die mittlere Temperatur der beiden Lötstellen bedeutet). Eisen wird also beim Erwärmen weniger negativ. Für Kupfer hat man $-1{,}36 - 0{,}01\,t$, dasselbe wird also stärker negativ. Es existiert offenbar eine bestimmte Temperatur (oder neutraler Punkt), bei der ihre Kräfte gleich sind.

418. Thermoelektrische Inversion. Cumming machte die Entdeckung, dass für Eisen und andere Metalle bei hohen Temperaturen eine Inversion ihrer thermoelektrischen Eigenschaften stattfinden kann. Bei Kupfer und Eisen bildet die Temperatur von 275° einen neutralen Punkt; bei niedrigeren Temperaturen fliesst der Strom durch die erwärmte Verbindungsstelle vom Kupfer zum Eisen; hat der Stromleiter aber eine höhere Temperatur als 275°, so verhält sich das Eisen in Bezug auf Kupfer thermoelektrisch positiv.

Der neutrale Punkt für Zink-Eisen ist ungefähr 200°. Die Inversion lässt sich leicht dadurch zeigen, dass man zwei lange Streifen dieser Metalle in U-Form zusammennietet, die Verbindungsstelle erwärmt und dann die Wirkung an einem mit ihren andern Enden verbundenen Galvanometer beobachtet. Zuerst beobachtet man eine Ablenkung, welche bis zu einer Temperatur von 200° immer stärker wird, bei noch weiterer Erwärmung nimmt jedoch die Ablenkung wieder ab und wird bei ungefähr 400° entgegengesetzt, ein Beweis, dass jetzt der Strom in entgegen-

gesetzter Richtung fliesst. Fig. 216 zeigt graphisch die Kurven, welche sich bei Eisen-Zink und bei Eisen-Kupfer ergeben, wenn die eine Lötstelle auf 0° erhalten und die andere erwärmt wird. Die punktierte Linie bezieht sich auf Eisen-Zink, wenn die eine Lötstelle auf einer Temperatur von 50° gehalten und die andere erwärmt wird.

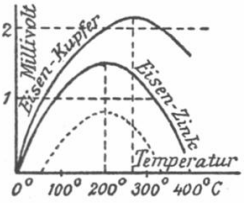

Fig. 216.

419. Thermoelektrisches Diagramm. Die Erscheinungen der Thermoelektrizität lassen sich am besten mit Hilfe der Diagramme untersuchen, welche von Kelvin angegeben und von Professor Tait konstruiert worden sind. In dem Diagramm der Figur 217 stellen die horizontalen Linien Temperaturen vor,

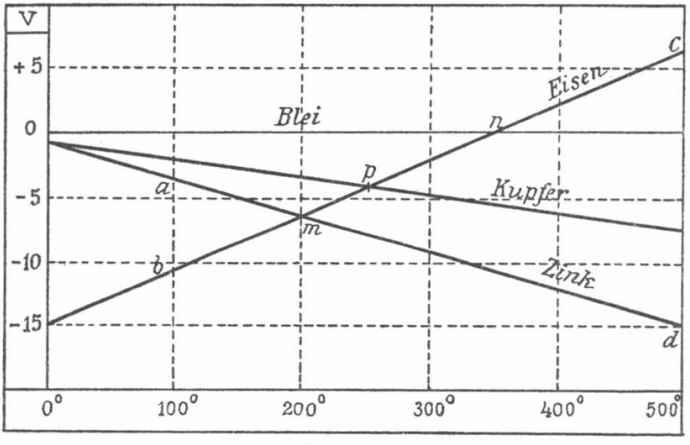

Fig. 217.

und die vertikalen Abstände die Potentialdifferenz in Mikrovolt pro Grad. Bei diesen Differenzen ist Blei zu Grunde gelegt und als Ausgangspunkt genommen, weil warmes Blei bei der Berührung mit kaltem Blei keine wahrnehmbare Potentialdifferenz zeigt, während im übrigen zwischen warmem und kaltem Metall derselben Art eine Potentialdifferenz zu existieren scheint.

Ein Beispiel mag den Nutzen des Diagramm erläutern. Angenommen, wir hätten einen Stromleiter hergestellt, indem wir ein Stück Eisen und ein Stück Kupfer an beiden Enden verbunden hätten; die eine Verbindungsstelle erhalten wir durch schmelzendes Eis auf 0°, die andere durch siedendes Wasser auf 100°. Dann wird die ganze elektromotorische Kraft des Stromleiters durch die Fläche *a*, 0, — 15, *b* dargestellt. Die Neigung der Linien für die verschiedenen Metalle repräsentiert die oben angeführte Eigenschaft einer elektromotorischen Kraft zwischen verschieden stark erwärmten Teilen desselben Metalls, begleitet von einer Absorption oder Entwicklung von Wärme, wenn der Strom von einer wärmeren zu einer kälteren Stelle desselben Metalls fliesst. Diese Eigenschaft, bekannt unter dem Namen des **Thomson-Effekt** (nach ihrem Entdecker W. Thomson) ist für Eisen das Gegenteil von der für Kupfer oder Zink. Fliesst ein elektrischer Strom von einer warmen zu einer kalten Stelle des Kupfers, so entwickelt er Wärme in dem Kupfer; fliesst er aber von einer kalten nach einer warmen Stelle des Kupfers, so absorbiert er Wärme. Beim Eisen ist es umgekehrt. Die thermo-elektromotorische Kraft eines Paares, dessen Lötstellen die Temperaturen T resp. *t* haben, und dessen neutraler Punkt die Temperatur *n* hat, lässt sich durch folgende Formel darstellen:

$$E = p\,(T - t)\left[1 - \frac{T + t}{2n}\right],$$

wo *p* die in der Tabelle (Art. 417) angegebenen Volt pro Grad bedeutet.

420. Thermoelektrische Säulen. Die E.M.K. eines Wismut-Antimon-Paares beträgt nur 0,0115 Volt, falls die Lötstellen auf 0° und 100° gebracht werden. Um die elektromotorische Kraft des thermoelektrischen Paares zu erhöhen, vereinigt man gewöhnlich eine Anzahl von Metallpaaren (vorzugsweise Wismut und Antimon) zu einer Reihe, derart, dass die alternierenden Verbindungsstellen wie in Fig. 218 in BBB erwärmt werden können, wobei die übrigen Verbindungsstellen bei A kalt bleiben. Die verschiedenen elektromotorischen Kräfte wirken

dann alle in derselben Richtung und der Strom nimmt dann in dem Verhältnis zu, wie die Anzahl der geraden Verbindungsstellen. Kräftige thermoelektrische Batterien hat Clamond angefertigt: eine Eisen-Bleiglanz-Batterie von 120 Paaren, welche

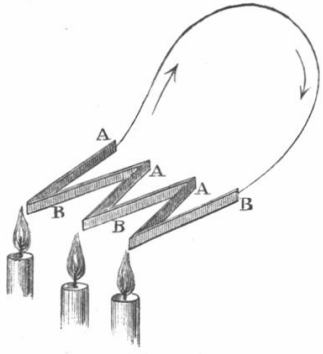

Fig. 218.

einen starken Strom liefern; es ist jedoch äusserst schwierig, sie für längere Zeit in Wirksamkeit zu erhalten, da sie nach fortgesetztem Gebrauche versagen, wahrscheinlich infolge einer permanenten molekularen Veränderung an den Verbindungsstellen. Die **thermoelektrische Säule** des Melloni, welche aus vielen kleinen Paaren von Wismut und Antimon aufgebaut ist, erwies sich als ein vorzügliches elektrisches Thermometer, wenn dieselbe mit einem empfindlichen astatischen Galvanometer mit Rolle von kleinem Widerstand in Verbindung gebracht wurde. Um äusserst geringe Temperaturdifferenzen nachzuweisen, ist die thermoelektrische Säule von grossem Nutzen, da die Ströme der Temperaturdifferenz zwischen den wärmeren Verbindungsstellen auf der einen Seite der Säule und den kalten Verbindungsstellen auf der andern Seite proportional sind. Fig. 219 zeigt die diesem Zweck entsprechende Aufstellung der Thermosäule und des Galvanometers.

Eine noch empfindlichere Vorrichtung, um geringe von strahlender Wärme herrührende Temperaturdifferenzen nachzuweisen, ist die, wo man zwischen den Polen eines kräftigen Magnets einen

geschlossenen Stromleiter aufhängt, der eine Wismut-Antimon-Lötstelle enthält. Sturgeon machte im Jahre 1835 den Vorschlag, ein Thermogalvanometer nach diesem Muster zu konstruieren.

Bei dem Radio-Mikrometer des Vernon Boys (1889) wird eine Drahtschlinge mittelst eines dünnen Quartzfadens zwischen

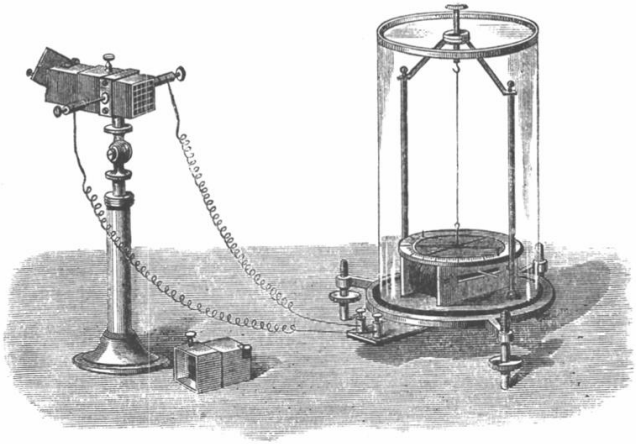

Fig. 219.

den Polen eines Magnets aufgehängt (ähnlich wie die Spule in Fig. 219). Am untern Ende wird der Stromkreis durch ein Stück Antimon und ein Stück Wismut geschlossen, welche an eine dünne Scheibe von Kupferfolie gelötet sind. Eine noch so geringe Temperaturerhöhung der Kupferscheibe (etwa um 1 Milliontel Grad) erzeugt in der Drahtschlinge einen Strom und gibt eine Ablenkung von einem Skalengrad. Mittelst eines solchen Apparates lässt sich die strahlende Wärme einer Kerze noch in einer Entfernung von mehreren Kilometern nachweisen.