

Ueber thermoëlektrische Temperaturmessung.

Von J. Rosenthal.

Die grossen Vorzüge der thermoelëktrischen Temperaturmessung haben zu vielfachen Anwendungen derselben, besonders auch für physiologische Untersuchungen, geführt. Trotzdem haften der Methode noch Schwierigkeiten an, welche ihrer allgemeineren Verwendung im Wege stehen. So z. B. können Störungen dadurch erwachsen, dass an allen Stellen des in sich geschlossenen Kreises, in welchem verschiedene Metalle zusammentreffen, namentlich an den zur Verbindung benutzten Klemmen, Schlüsseln u. d. g. sekundäre Stromquellen auftreten. Es ist deshalb notwendig, den Stromkreis durchweg nur aus zwei Metallen zusammzusetzen. Da nun der Galvanometerdraht aus Kupfer besteht, so darf man nur eine Kombination dieses Metalles mit einem geeigneten anderen Metalle benutzen, muss aber alle Klemmen u. s. w. nur aus Kupfer herstellen.

Als zweites Metall eignet sich für die meisten Fälle Eisen, welches in der thermoëlektrischen Spannungsreihe hinlänglich entfernt vom Kupfer steht, um auch feinere Messungen zu gestatten. Die elektromotorische Kraft zwischen Eisen und Kupfer ist aber nicht proportional den Temperaturdifferenzen. Nach den Untersuchungen von Avenarius¹⁾ lässt sich vielmehr die Beziehung zwischen elektromotorischer Kraft und Temperaturdifferenz für Kupfer-Eisen selbst für sehr grosse Differenzen genau genug durch die Formel

$$E = b (t_1 - t_2) + c (t_1^2 - t_2^2)$$

darstellen. Sind die Constanten b und c durch Versuche festgestellt, so kann man durch Messung von E sofort die Differenz $t_1 - t_2$ und wenn t_1 bekannt ist, unmittelbar t_2 finden. Hat man nur sehr kleine Differenzen zu messen, so kann man auch das zweite Glied der Formel vernachlässigen, d. h. man kann die

1) Poggendorff's Annalen. 119. 406 ff.

elektromotorischen Kräfte den Temperaturdifferenzen einfach proportionell setzen. Wenn man in diesem Falle zur Strommessung eine Wiedemann'sche Bussole oder eine der vielen ähnlichen Galvanometerarten benutzt, so muss man jedoch, wie ich ¹⁾ früher gezeigt habe, mit dem Umstande rechnen, dass die Empfindlichkeit dieser Messinstrumente von den Schwankungen der horizontalen Componente der Intensität des Erdmagnetismus abhängt.

Handelt es sich um Messungen, welche sich auf ein grösseres Temperaturintervall erstrecken, an allen Stellen dieses Intervalles aber noch eine genügende Empfindlichkeit (sagen wir bis $0^{\circ},1$ oder $0^{\circ},01$ c.) haben sollen, so thut man besser statt der Stromstärke die elektromotorische Kraft selbst zu messen, was ja nach dem Compensationsverfahren mit grosser Schärfe geschehen kann. Auf diese Weise hat mein Sohn ²⁾ in einer für physiologische Zwecke unternommenen Versuchsreihe gearbeitet. Er konnte jedoch die Aufgabe, den Thermokreis ausschliesslich aus Eisen und Kupfer zu bilden, nicht streng durchführen, da er zur Compensation ein Rheochord von Platindraht benutzte.

Um diesen Mangel zu beseitigen, habe ich jetzt ein Rheochord ganz von Kupfer in folgender Weise herstellen lassen. In einem runden Kasten sind 48 kleine Rollen von genau gleichem Widerstand im Kreise angeordnet. Ihre Enden sind mit starken Kupferstiften verlötet, welche über die Deckplatte des Kastens hervorragen und dort glatt geschliffen alle in einer Ebene enden. Auf diesen Endflächen schleift ein um die Axe drehbarer Kupferdraht. Die 48 Rollen sind in 2 Gruppen von je 24 geteilt. Während die benachbarten Enden je zweier Rollen jeder Gruppe durch die oben erwähnten Stifte unmittelbar, d. h. ohne merklichen Widerstand mit einander verlötet sind, hängen die beiden Gruppen untereinander durch einen Kupferdraht zusammen, welcher um den Hartkautschukrand der Deckplatte herumgelegt ist. An diesem Draht schleift das federnde Ende eines Hebels 2, welcher ebenfalls um die Axe, aber vom Hebel 1 isoliert, drehbar

1) Wiedemann's Annalen 2. 480. — Sitz.-Ber. der physik.-med. Societät zu Erlangen 1876.

2) Werner Rosenthal, Thermoëlektrische Untersuchungen über die Temperaturverteilung im Fieber. Arch. f. Anat. u. Physiol. Physiol. Abteil. 1893.

ist. Der Widerstand dieses Drahts ist genau gleich dem einer Rolle.

Das Rheochord besteht also aus 49 Widerstandseinheiten. Verbindet man die Enden desselben mit der compensirenden Kette, so fliesst der Strom erst durch die 24 Rollen der einen (linken) Gruppe, dann durch den Kreisdraht und dann durch die 24 Rollen der anderen (rechten) Gruppe. Der Zweigstrom wird durch die Hebel abgeleitet; seine Stärke kann von 0 bis 24 und beliebigen Bruchteilen dieser willkürlichen Einheit wechseln. Steht der Hebel 1 auf einem Stift der linken Gruppe, so ist sein Potential positiv, steht er auf einem Stift der rechten Gruppe, so ist es negativ gegen das Potential des Hebels 2. Auf diese Weise kann man schnell und ohne dass man nötig hätte, den compensirenden Strom zu wenden, jede elektromotorische Kraft, welche in dem abgeleiteten Zweige auftritt, ihrer Stärke und Richtung nach messen, vorausgesetzt dass sie innerhalb gewisser Grenzen bleibt.

Diese Grenzen werden durch die Intensität des Stromes bestimmt, welcher das Rheochord durchfliesst. Da es sich bei Thermoströmen immer nur um sehr kleine elektromotorische Kräfte handelt, so muss man in den Kreis des compensirenden Stroms passende Widerstände einschalten. Bei meinen Versuchen benutze ich zur Compensation 2 Normal-Elemente unter Einschaltung von 40000 Ω in den Hauptkreis¹⁾. Da die Schliessung dieses compensirenden Stroms immer nur auf wenige Sekunden erfolgt, so kann man seine elektromotorische Kraft als vollkommen constant betrachten.

Auf dem Hartkautschukrand, um welchen der Kupferdraht gelegt ist, ist eine Teilung angebracht, auf der ein mit dem Hebel 2 verbundener Zeiger die Bruchteile des Drahts, welche eingeschaltet sind, anzeigt. Die Länge des Drahts ist in 100 Teile eingeteilt²⁾.

1) In diesem Falle konnte ich Messungen innerhalb der Grenzen $t_1 \pm 13^\circ\text{C}$. ausführen u. z. wie später gezeigt werden wird, mit einer Genauigkeit bis auf 0^o,01. Sollen grössere Differenzen gemessen werden, so muss man weniger Widerstand einschalten. Die Normal-Elemente waren ähnlich wie die von Beetz angegebenen, also modifizierte Daniell-Elemente, aus amalgamiertem Zink, Kupfer, Zinksulfat- und Kupfersulfatlösungen, letztere mit reinem Gyps angerührt, zusammengesetzt.

2) Je nachdem Hebel 1 auf der linken oder rechten Seite steht, müssen die Bruchteile des Kreisdrahts vom linken oder vom rechten Ende her

Betrachtet man einen solchen Bruchteil als Widerstandseinheit, so kann man also über 2500 derselben verfügen. Jeder Teil entspricht bei meiner Anordnung einer Potentialdifferenz von etwa $2 \cdot 10^{-9}$ Volt.

Um aus den Angaben des Compensators unmittelbar die zu messende Temperaturdifferenz bestimmen zu können, muss man den Apparat aichen. Zu diesem Zwecke bringt man die beiden Lötstellen auf bekannte Temperaturen und compensirt, sodann auf andere und compensirt wieder. Unter der Voraussetzung, dass die Formel von Avenarius zutreffend ist, würden zwei solche Bestimmungen genügen. Man thut aber besser, mehrere Bestimmungen bei verschiedenen Temperaturen zu machen und aus den gefundenen Werten das Mittel zu ziehen.

In den Versuchen meines Sohnes sowie bei den meinigen handelt es sich darum, Temperaturen zu bestimmen, welche zwischen $+ 20$ und $+ 45^{\circ}$ C. liegen konnten. Es wurde daher beschlossen, die eine Lötstelle möglichst constant auf etwa 32° zu halten und die Temperatur der anderen durch Vergleichung mit jener ersteren zu bestimmen. Zu diesem Zwecke wurde die eine Lötstelle neben einem Normalthermometer in einem Thermostaten auf jener Temperatur erhalten. Derselbe wirkte so gut, dass die Temperatur während einer längeren Versuchsreihe selten um $0,1$ schwankte. Zur Aichung wurde die andere Lötstelle in einem gleichen Thermostaten auf eine andere Temperatur innerhalb der angegebenen Grenzen gebracht und auf dieser erhalten, bis eine grössere Anzahl von Bestimmungen gemacht waren.

Die Aufgabe, welche wir zu lösen hatten, erforderte, dass schnell hintereinander die Temperaturen mehrerer Stellen des Tierkörpers gemessen werden mussten. Zu diesem Zweck waren 4 Thermokreise von Kupfer und Eisen so mit einander combinirt, dass die 4 einen Lötstellen getrennt, die 4 anderen vereinigt waren, d. h. in einen einzigen Kupferdraht ausliefen. Diese 4fache Lötstelle befand sich nebst dem Thermometer im Thermostaten, die 4 anderen an den zur Messung benutzten Stellen des Tieres:

gemessen werden. Die Zahlen sind deshalb doppelt u. z. der leichteren Unterscheidung wegen rot und schwarz angeschrieben.

Das Rheochord ist nach meinen Angaben von den Herren Reiniger, Gebbert & Schall hier in vortrefflicher Weise ausgeführt und kann von denselben bezogen werden.

bei der Aichung waren sie nebst einem zweiten Thermometer in dem zweiten Thermostaten. Um die Fehler durch sekundäre elektromotorische Kräfte auszuschliessen, wurde ausserdem jede Messung doppelt gemacht u. z. bei entgegengesetzter Richtung des Stroms, was durch gleichzeitige Umkehr des compensirenden und des Thermostroms mittels eines ganz von Kupfer construirten doppelten Stromwenders geschah.

Obgleich die Fehler durch sekundäre Stromkräfte bei Anwendung des neuen Kupferrheostaten kaum noch hervortraten, so wurde doch bei der neuen Aichung dieses Verfahren beibehalten. Jede einzelne Bestimmung setzt sich also aus 8 Ablesungen zusammen, 4 bei der einen Stromrichtung für jeden der 4 Thermokreise und 4 bei der entgegengesetzten Stromrichtung. Am Anfang und Ende jeder dieser 8 Messungen wurden die Thermometer abgelesen. 10.8 solcher Messungen bildeten eine Reihe, deren Mittelwerte zur Berechnung benutzt wurden.

Der thermoëlektrische Teil dieser Messungen ist von einer allen Anforderungen entsprechenden Genauigkeit. Leider gilt dies nicht von dem thermometrischen Teil. Namentlich hat man unter der Trägheit der Thermometer zu leiden. Wenn sich die Temperatur in dem einen oder dem anderen Thermostaten etwas ändert, so zeigen dies die Thermoëlemente sofort, die Thermometer aber nicht sogleich an. Statt der wahren erhält man daher in solchen Fällen falsche Werte für die den abgelesenen Werten der elektromotorischen Kraft entsprechenden Temperaturdifferenzen. Es bleibt deshalb nichts übrig, als durch Häufung der Versuche die Beobachtungsfehler zu eliminiren.

Aus einer grösseren Zahl von Versuchen solcher Art berechnete ich die Werte der Constanten für die Formel

$$b + (t_1 + t_2) c = \frac{E}{t_1 - t_2}$$

zu $b = 224,707$

$c = - 0,7353.$

Ich habe der Formel die obige Form gegeben, weil der Ausdruck $\frac{E}{t_1 - t_2}$ in anschaulicher Weise die Empfindlichkeit unsrer Einrichtung oder den Grad der Genauigkeit, mit welcher wir, bei gegebenem t_1 den Wert von t_2 zu bestimmen vermögen, anzeigt.

$\frac{E}{t_1 - t_2}$ gibt nämlich die Zahl der Compensatortheile an, welche auf

einen Grad Celsius Temperaturdifferenz entfallen. t_1 ist in unseren Versuchen immer = 32° . Für $t_2 = 20^\circ$ ist dann $\frac{E}{t_1 - t_2} = 186.5$, für $t_2 = 45^\circ$ aber nur = 168.1.

Für die Praxis der Temperaturmessung nach unserem Verfahren kommt noch in Betracht, welche Verschiebung des Hebels 2 an dem Messdraht sich deutlich durch ihre Wirkung auf das Galvanometer erkennen lässt. Dies hängt von der Empfindlichkeit des Galvanometers und von den Widerständen im Thermokreise ab. Die Empfindlichkeit der Galvanometer lässt sich bis zu jedem wünschenswerten Grade steigern ¹⁾. Der Widerstand der Thermorollen beträgt zusammen nur $0,2 \Omega$. Dazu kommt dann noch der Widerstand der Thermoelemente und der wechselnde Widerstand des Compensatordrahts. Der Einfluss des letzteren macht sich deutlich bemerkbar. Während bei kleinem $t_1 - t_2$ die Ablenkung des Galvanometers sofort sich ändert, sobald man den Compensator nur um weniger als einen Teilstrich vor oder rückwärts bewegt, wird bei grossen Differenzen die Wirkung erst bei 1 bis 2 Teilstrichen bemerkbar. Nehmen wir letzteres als Grenzwert an, so können wir also Unterschiede von nahezu 0,01 noch mit Sicherheit bestimmen.

Die Empfindlichkeit würde noch sehr viel grösser sein, wenn nicht der Widerstand der von mir benutzten Thermoelemente ein verhältnissmässig grosser wäre. Für die Aufgabe, welche ich zu lösen hatte (Temperaturmessungen an Tieren), war es notwendig, dass die Thermoelemente aus langen und biegsamen Drähten geformt wurden. Ich musste daher dünne Drähte verwenden, und das macht bei dem verhältnissmässig grossen spezifischen Widerstand des Eisens sehr viel aus. Um trotzdem nicht allzuviel an der Empfindlichkeit einzubüssen, verwende ich Bündel von je einem Kupfer- und 3 Eisendrähten von $0,2$ mm Durchmesser. Bei Anwendung der Methode für andere Zwecke, z. B. zur Bestimmung

1) Ich benutze zu diesen Versuchen das von mir beschriebene Galvanometer (Wiedemann's Annalen Bd. 23); mein jetziges Instrument unterscheidet sich aber von dem ursprünglichen insofern, als statt des Hufeisenmagnets ein astatisches Nadelpaar aus 2 S-förmig gekrümmten Stücken Uhrfederstahl, deren Pole in 4 kleinen Rollen spielen, benutzt wird. Behufs Dämpfung sind an den Nadeln grosse Glimmerblätter angeklebt, welche in 2 keilförmigen Luftkammern schwingen.

von Schmelz- oder Siedepunkten u. d. g. wird man kürzere und dickere Drähte anwenden können und es leicht dahin bringen, bis auf 0^o,001 genau zu messen.

Für Messungen, wie die letzterwähnten, welche ja jetzt in der physikalischen Chemie eine grosse Rolle spielen, wird man die eine Lötstelle nicht in einem Thermostaten, sondern in einer passenden Substanz, deren Schmelzpunkt hinreichend genau bekannt ist, halten. Um chemische Einwirkungen auf die Lötstellen zu verhindern, wird man dieselben mit einem geeigneten Firniss überziehen oder noch besser vergolden, was ohne Schaden für die thermoëlektrische Wirkung geschehen kann.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Sitzungsberichte der Physikalisch-Medizinischen Sozietät zu Erlangen](#)

Jahr/Year: 1892-1894

Band/Volume: [26](#)

Autor(en)/Author(s): Rosenthal Josef

Artikel/Article: [Ueber thermoelektrische Temperaturmessung. 40-46](#)