Thermospannung

Versuchsprotokoll

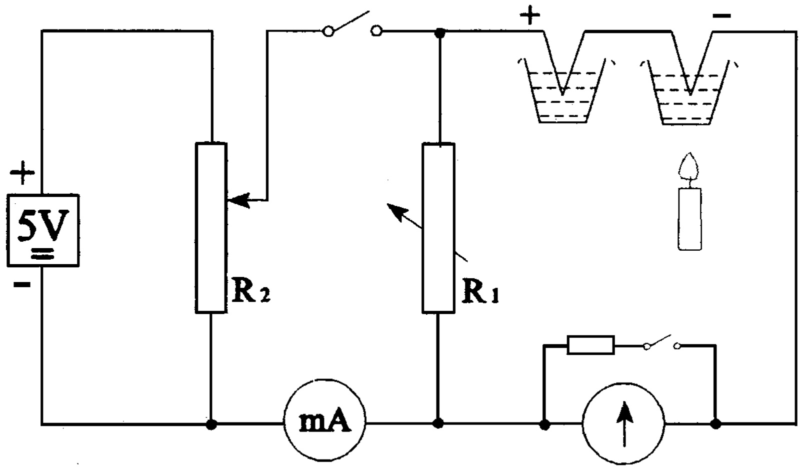
Problemstellung

In diesem Versuch sollte die Thermospannung, die bei zwei unterschiedlich temperierten Lötstellen zwischen Kupfer und Konstantan entsteht, mittels der Kompensationsmethode zu messen.

Grundlagen

Der Seebeck−Effekt bewirkt eine Kontaktspannung beim Kontakt zweier Leiter mit unterschiedlicher Fermi−Grenze (Energie des höchsten besetzten Elektronenzustandes) , also auch unterschiedlichen Austrittsarbeiten der Elektronen. Da die Elektronen eine gleichmäßige Energieverteilung anstreben, wandern einige aus dem Leiter mit der niedrigeren Austrittsarbeit in den mit der höheren. Natürlich geschieht dieser Drift auch umgekehrt, aber weit weniger ausgeprägt, da niccht so viele Elektronen eine höhere Energie als zum Austritt nötig haben. Das Energieniveau der Elektronen im Grenzbereich gleicht sich also an, allerdings wird der Leiter mit der höheren Austrittsarbeit von Elektronen überflutet, er wird also negativ geladen, der andere positiv. Dies geht so lange, bis das elektrische Feld, das sich durch die Spannung zwischen den Leitern aufbaut die weiteren Elektronen am Übergang hindert, also die zum Übertritt notwendige Energie erhöht.
Hier setzt jetzt auch die Thermospannung an, die entsteht, wenn man Leiter A und B zu ABA zusammenlötet. Bei gleicher Temperatur der Lötstellen sind die beiden Konstaktspannungen entgegengerichtet, zwischen Anfang und Ende der Strecke ABA ist keine Spannung feststellbar. Wenn nun aber eine Lötstelle auf konstanter Temperatur gehalten wird und die andere erwärmt, erhöht sich in der zweiten die Kontaktspannung, es ist nun auch insgesamt eine Spannung feststellbar. Dies geschieht deshalb, da in der Nähe der zweiten Lötstelle die Elektronen durch die Wärmeenergie angeregt werden, sie können höhere Felder zwischen den Leitern überwinden, es kommen mehr Elektronen auf die andere Seite, die Spannung steigt also an dieser Lötstelle.
Die Spannung für ein Kelvin Temperaturunterschied wird auch (nicht ganz korrekt) Thermokraft genannt. Sie liegt normalerweise im Bereich von $10^{-5}\frac{V}{K}$. Bei der Messung solch kleiner Spannungen kommt es zu vielen Problemen: Der Widerstand der Leiter stört (es könnte bei hohen Strömen auch Joule'sche Wärme entstehen) und die Meßgeräte sind in solch winzigen Bereichen meist sehr ungenau. Da diese aber den Nullpunkt meist noch sehr korrekt anzeigen und im stromlosen Zustand auch keine Joule'sche Wärme produziert wird, benutzt man zur Messung gern die Kompensationsmethode, bei der man mit Hilfe eines Spannungsteilers an einem genau bekannten Widerstand eine Spannung abfallen läßt, die wiederum mit der Thermospannung verglichen wird, sie sollen also „parallel geschaltet" sein und in die gleiche Richtung zeigen.Hier kann man nun über ein Galvanometer (Amperemeter) den Strom messen, der zwischen dem Ende des Widerstandes, dessen Spannungsabfall ja errechenbar ist, und dem Ende der „Versuchsstrecke", die auf gleichem Potential beginnt, fliesst. Wenn beide Spannungen gleich groß sind werden die beiden Endpunkte auf gleichem Potential liegen und folglich kein Strom fließen.
Das Nichtfließen des Stromes hat auch noch einen Vorteil: Der Peltier−Effekt tritt nicht in Erscheinung. Dieser ist so etwas wie ein umgekehrter Seebeck−Effekt. Wenn ich Elektronen zwinge, durch die Lötstellen zu fließen, müssen sie im einen Leiter mehr Energie um im Leitungsbanz zu sein, als im anderen. Diese Energiedifferenz geben sie als Wärmeenergie ab, bzw. nehmen sie als solche auf. Die eine Lötstelle kühlt sich also ab, die andere heizt sich auf. Dies würde die Messung noch mehr verfälschen, als es ohnehin schon unter anderem die Wärmeleitfähigkeit der Leiter tut, d.h. die Lötstellen werden über längere Zeit ihre Temperatur angleichen. Dies wird im Experiment durch einen Langen Konstantandraht verhindert, der bei Stromführung allerdings einen hohen Widerstand hätte und deshalb noch zusätzlich heizen würde.

Aufbau



Die Versorgungsspannung U=5V wird über den Spannungsteiler R2 heruntergeteilt (ersetzt eine regelbare Spannungsquelle), so daß ein Strom vom Mittelabgriff über R1 fließen kann, der wiederum über das Amperemeter weiter zum Minuspol der Spannungsquelle fließt (Technische Stromrichtung). An R1 fällt also die Kompensationsspannung ab, mit der die Spannung in den parallel dazu geschalteten Thermoelementen mit Galvanometer verglichen wird. Dieses Galvanometer verfügt über eine Meßbereichserweiterung (Widerstand mit Schalter). Eine der Kontaktstellen wird auf Zimmertemperatur gehalten, die andere wird im Wasserbad von außen erhitzt/abgekühlt.

Messung

Die eine Lötstelle wird stufenweise auf eine Bestimmte Temperatur erhitzt, wenn die Säule im Thermometer zu steigen aufhört (thermisches Gleichgewicht) wird so lange am Schiebewiderstand R2 gestellt, bis das Nullinstrument auf den Nullpunkt zeigt, d.h. kein Strom fließt, die Thermospannung also gleich der Kompensationsspannung am Widerstand R1 ist. Diese läßt sich nun bestimmen als $U_{TH}=U_{komp.}=R_1 * I_{R_1}$ Die Meßwerte werden in die anliegende Tabelle eingetragen, das ganze wurde noch einmal durch Abkühlen des Wasserbades für fallende Temperaturen wiederholt.

In der Tabelle sind schon die Termospannung und deren absoluter Fehler ausgerechnet. Letzterer ergibt sich aus $\Delta U_{TH}=R(\Delta I+\delta I)+I\Delta R$, wobei $\Delta I=0{,}01mA$ der Fehler des Amperemeters (laut Güteklasse), $\delta I=0{,}04mA$ die Ungenauigkeit des Nullpunktes am Galvanometer und $\Delta R=0{,}01 * R$ die 1%−ige Ungenauigkeit des Widerstandswertes ist.Genauer konnten wir mit unserer Apparatur nicht messen, beim Fehler von ΔT gehen wir von $\Delta\Delta T=1°C$ aus.

a) Aufsteigende Meßreihe:

$\frac{T_{Raum}}{°C}$	$\frac{T}{°C}$	$\frac{\Delta T}{°C}$	$\frac{R}{\Omega}$	$\frac{I}{mA}$	$\frac{U_{TH}=RI}{mV}$	$\frac{\Delta U_{TH}}{mV}$
22	33	11	1	0,7	0,7	0,06
22	42	20	1	0,86	0,86	0,06
22	47	25	3	0,38	1,14	0,16
22	52	30	3	0,42	1,26	0,16
22	68	46	3	0,67	2,01	0,17
22	70	48	3	0,69	2,07	0,17
23	75	52	3	0,76	2,28	0,17
23	80	57	3	0,84	2,52	0,18
23	85	62	3	0,92	2,76	0,18
23	89	66	6	0,5	3	0,33
23	94	71	6	0,53	3,18	0,33
23	96	73	6	0,54	3,24	0,33

b) Absteigende Meßreihe:

$\frac{T_{Raum}}{°C}$	$\frac{T}{°C}$	$\frac{\Delta T}{°C}$	$\frac{R}{\Omega}$	$\frac{I}{mA}$	$\frac{U_{TH}=RI}{mV}$	$\frac{\Delta U_{TH}}{mV}$
23	84	61	6	0,44	2,64	0,33
23	79	56	3	0,8	2,4	0,17
23	75	52	3	0,74	2,22	0,17
23	65	42	3	0,58	1,74	0,17
24	52	29	3	0,42	1,26	0,16
24	49	25	3	0,37	1,11	0,16
24	39	15	3	0,22	0,66	0,16
24	34	10	1	0,42	0,42	0,05

Auswertung

Trägt man beide Meßreihen in Diagramme ein, erkennt man, daß bei beiden die Meßwerte auf einer Geraden liegen, wobei beide Geraden weitgehend identisch sind, d.h. es kommt nicht darauf an, ob erhitzt oder abgekühlt wird. Allerdings fällt der erste Meßwert beim Erhitzen aus der Reihe, entweder war das System noch nicht im stabilen Zustand, oder wir machten bei unserer ersten Messungen einen „Systematischen Fehler“, da in der zweiten Reihe Bestätigt wird, daß der erwartete Wert nur ca. Halb so groß ist, also dann sogar auf der Geraden liegen würde. Diese Geraden wurden über Lineare Regression bestimmt, was hier sogar zulässig ist, da erstens die Werte ziemlich auffallend in einer Linie zu liegen kommen, und in der bekannten Beziehung $U_{TH}=\alpha*(\Delta T)+\beta*(\Delta T)^2$ der Faktor β sehr klein ist, also erst für große Temperaturunterschiede das nichtlineare Verhalten auffällt. In diesen Regionen bewegen wir uns jedoch nicht. Die Regressionsgeraden decken in beiden Fällen wunderbar die Fehlerbalken ab, (mit obiger Ausnahme der ersten Wertes, den ich ab sofort vernachlässigen werde). Die höhere Standardabweichung des Mittelwertes und vor allem auch der relativ hohe y−Achsen−Abschnitt in a) liegen unter anderem daran, daß beim Erhitzen wohl doch nicht so genau das thermische Gleichgewicht getroffen wurde wie beim langsameren Abkühlen, außerdem trägt auch die Fehlmeßung einen nicht unwesentlichen Teil dazu bei. Im Idealfall wäre die Ausgleichsgerade eine Ursprungsgerade gewesen. In b) treten dann aber beim y−Achsen−Abschnitt viel stärker systematische Fehler wie Leitungswiderstände und Erhitzung durch zeitweise fließende Ströme in Erscheinung.

Leider sind die Standardabweichungen des Mittelwertes hier jedoch nicht geeignet, die Güte unserer Messung zu beurteilen, sie geben eine viel zu optimistische Einschätzung des Fehlers an. Deshalb habe ich in die Schaubilder noch weitere Geraden eingezeichnet, die auch alle Fehlerbalken berühren, es ist also auch möglich, daß sie die Beziehung korrekt beschreiben. Für die Meßreihe beim erhitzen sind Steigungen von ca. 0,36 bis 0,51 möglich, die lineare Regression ergab 0,43 mit der Standardabweichung des Mittelwertes m=0,02, wir finden jedoch einen maximalen absoluten Fehler von +/− 0,8., bei der fallenden Meßreihe ergibt die Regression eine Steigung von 0,426 (also 0,43 im Rahmen der Fehler) mit m=0,016, aus dem Schaubild lesen wir ab (für y=ax+b) 0,52 > a > 0,37, also sogar einen absoluten Fehler von 0,09. Wir können also sagen, wir haben die Thermokraft auf $\frac{U_{TH}}{\Delta T}=(0{,}43\pm 0{,}8)\frac{mV}{K}$ genau bestimmt, also eine Genauigkeit von nur 18% erreicht.

Literaturverzeichnis:

- Paul A. Tipler: Physik, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg Berlin Oxford
- Gerthsen, Vogel:Physik, Springer Verlag BerlinHeidelberg NewYork
- Schüler Duden Physik, Dudenverlag Mannheim Leipzig Wien Zürich
- W. Walcher: Praktikum der Physik, Teubner Stuttgart