Versuchsprotokoll

Martin Opitz, Frank Pilhofer

Mittwoch, 27. Oktober 1993

Physikalisches Anfängerpraktikum Teil II

Thermospannung

Versuch 5 / Platz b

Inhaltsverzeichnis

Problemstellung 2

Grundlagen 2

- Einleitung 2
- Die Kompensationsmeßmethode 3

Beschreibung des Versuchsaufbaus 3

Messung 4

- Meßwerte 5
- Diagramme 5
- Auswertung 6

Fehlerbetrachtung 7

Problemstellung

Bei diesem Versuch soll die Thermospannung gemessen werden, die zwischen Drähten aus Kupfer und Konstantan entsteht. Die entstehende minimale Spannung zwischen den Drahtenden wird mit einem empfindlichen Galvanometer nach der Kompensationsmethode gemessen.

Grundlagen

Einleitung

Thermospannung entsteht, wenn die Kontaktstellen zweier verschiedener Stromleiter auf verschiedene Temperaturen gebracht werden.

In allen Metallen stehen Ladungsträger zur Verfügung, die sich mehr oder weniger frei bewegen können. Auch wenn keine Spannung anliegt, besitzen die Elektronen eine Eigenbewegung, die jedoch von Metall zu Metall unterschiedlich ist; dies liegt jedoch weniger an den Elektronen, die sich zwischen verschiedenen Metallen nur selten unterscheiden als an der Struktur des Atomgitters etc. Viele dieser Faktoren zeichnen sich auch für den spezifischen Widerstand eines Leiters verantwortlich.

Werden zwei Leiter, deren Leitungselektronen eine Eigenbewegung unterschiedlicher Geschwindigkeit ausführen, zusammengeführt, so haben die Elektronen die Möglichkeit, in den jeweils anderen Leiter überzuwechseln. Dabei werden natürlich, bezeichnen wir den Leiter mit höherer Elektronengeschwindigkeit als A und den anderen als B, mehr Elektronen von A nach B wandern als umgekehrt. Dieser Stromfluß resultiert in einer positiven Aufladung von A, während sich B negativ auflädt; es entsteht eine Spannung. Diese Spannung, welche mit Thermospannung bezeichnet wird, bewirkt natürlich auch ein elektrisches Feld. Nach kurzer Zeit hat sich die Spannung stabilisiert und der Strom hört auf zu fließen: Das elektrische Feld sorgt nun für einen Ausgleich des Stromflusses.

Im täglichen Leben ist dieser Effekt jedoch kaum zu bemerken, die Spannung liegt in der Größenordnung $10^{-5}\,\frac{V}{°C}$.

Im gegebenen Versuchsaufbau wird ein Draht A an beiden Seiten von einem Draht B eingeschlossen. Besitzen beide Kontakte gleiche Temperatur, ist außerhalb der Drähte keine Thermospannung zu beobachten, da diese natürlich an beiden Stellen mit gleicher Stärke und entgegengesetztem Vorzeichen angreift. Wird allerdings zwischen beiden Punkten ein Temperaturunterschied hergestellt, verschiebt sich das Verhältnis, da die Eigengeschwindigkeit der Elektronen natürlich mit zunehmender Temperatur steigt.

Die Kompensationsmeßmethode

Bei der Kompensationsmeßmethode wird die entstehende Thermospannung durch eine äußere Spannung ausgeglichen, also kompensiert. Dieser Zustand zeichnet sich dadurch aus, daß in der zu messenden Apparatur kein Strom fließt. Der interne Zustand kann jedoch indirekt extern über die Kompensationsspannung gemessen werden. Bei dem Verfahren handelt es sich um eine elegante Methode, keine durch die Beobachtung einfließende Meßfehler entstehen zu lassen.

Natürlich wäre es ohne Probleme möglich, die Thermospannung direkt mit einem geeigneten Meßinstrument zu messen, was jedoch mit diversen Nachteilen verbunden ist.

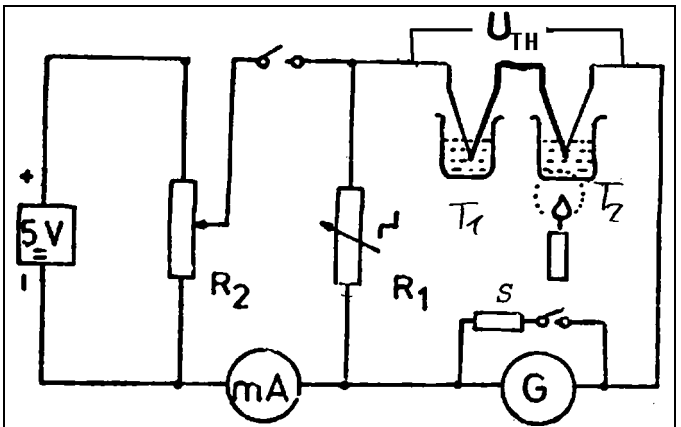
Der störendste Effekt wäre der unvermeidlich im Draht entstehende Stromfluß, da jedes Spannungsmeßgerät nur einen endlichen Innenwiderstand besitzt. Fließt Strom, so fließt der Innenwiderstand der "Thermobatterie" in die Messung ein, was die Spannungsmessung verfälscht. Gleichzeitig würde ein Stromfluß einen Temperaturfluß mit sich bringen, der Meßfehler bei der Temperaturdifferenz würde sich erhöhen.

Auch würde ein Stromfluß unweigerlich auch die Verbindungen zum Meßgerät mit einbeziehen. Zwar sind deren Widerstände gering, bewirken bei den hier auftretenden Spannungen jedoch einen merkbaren Spannungsabfall.

Beschreibung des Versuchsaufbaus

Die hier auftretenden Spannungen verlangen nach einer besonderen Spannungsmessung. Die zur Verfügung stehenden Meßgeräte lassen eine Spannungsmessung im benötigten Bereich zwar eingeschränkt (nur kleiner Zeigerausschlag) zu, doch würde diese Methodik unerwünschte Fehler hervorrufen.

Wir bedienen uns deshalb der Messung nach der Kompensationsmethode, mit der systematische Fehler weitgehend Eliminiert werden können (→"Die Kompensationsmeßmethode"). Der Versuchsaufbau ist in der nebenstehenden Skizze (Grafik 1) dargestellt.



Grafik 1: Messung der Thermospannung nach der Kompensationsmeßmethode

Gespeist wird die Apparatur von einer Gleichspannungsquelle. Von diesem wird über einen Schiebewiderstand (R_2) eine regelbare, heruntergeteilte Spannung abgegriffen. Über einen Stöpselwiderstand (R_1) läuft der Strom über ein Meßgerät zurück in die Stromquelle. Parallel zu R_1 ist der eigentlich interes-

sante Teil geschaltet. Dieser besteht aus den zu untersuchenden Drähten und einem empfindlichen Strommeßgerät, einem Galvanometer. Die Drähte sind so geschaltet, daß die entstehende Spannung der Quellenspannung entgegengerichtet ist. Durch geschickte Wahl der Widerstände ist es möglich, die Potentiale der Drahtenden den Potentialen am Widerstand R_1 anzugleichen. Dies hat einen entscheidenden Effekt auf die Messung: Durch die Drähte fließt nun kein Strom mehr.

Messung

Der stromlose Zustand am Draht läßt sich am Galvanometer ablesen. Dieses besitzt eine Stromskala, die Ströme in beide Richtungen anzeigen kann. Zeigt das Meßinstrument 0, so entspricht die Spannung am Widerstand R_1 exakt der zu messenden Thermospannung U_{TH}. Zu diesem Zeitpunkt fließt durch den, aus Galvanometer und dem aus drei Drahtstücken bestehenden, zu R_1 parallel geschalteten Stromkreis natürlich auch kein Strom mehr; aller im Meßgerät angezeigte Strom ist tatsächlich über den Widerstand R_1 geflossen. Die Spannungen lassen sich somit ganz einfach nach dem Ohm'schen Gesetz berechnen: $U_{TH} = U_H = IR_1$.

Gemessen werden also jeweils der am Strommesser angezeigte Stromfluß und der am Stöpselwiderstand eingeschaltete Widerstand R_1. Um die Thermospannung wie gewünscht mit der zwischen den Lötstellen herrschenden Temperaturdifferenz in Zusammenhang zu bringen, werden zusätzlich noch die Temperaturen an den zwei Lötstellen notiert.

Es werden zwei Meßreihen durchgeführt. Während die eine Lötstelle ständig auf Zimmertemperatur gehalten wird, wird die andere in einem Wasserbad zunächst bis kurz vor den Siedepunkt erhitzt (1. Meßreihe); anschließend wird die 2. Meßreihe bei Abkühlung dieses Punktes aufgenommen.

Meßwerte

$T_1\,[°C]$	$T_2\,[°C]$	$\Delta T\,[°C]$	$I\,[mA]$	$R_1\,[\Omega]$	$U_{TH}\,[mV]$
21,5	21,5	0	0	1	0
21,5	36	14,5	0,5	1	0,5
21,5	46	24,5	0,93	1	0,93
21,5	58	36,5	1,43	1	1,43
21,5	62,8	41,3	1,64	1	1,64
21,5	73	51,5	2,17	1	2,17
21,5	81,5	60	1,27	2	2,53
21,5	88	66,5	1,43	2	2,85
21,5	96,8	75,3	1,62	2	3,23
21,5	91,5	70	1,48	2	2,96
21,5	80	58,5	1,27	2	2,53
21,5	70	48,5	2,07	1	2,07
21,5	59,5	38	1,52	1	1,52
21,5	49	27,5	1,12	1	1,12
22	40,5	18,5	0,72	1	0,72
22	36,1	14,1	0,57	1	0,57

Diagramme

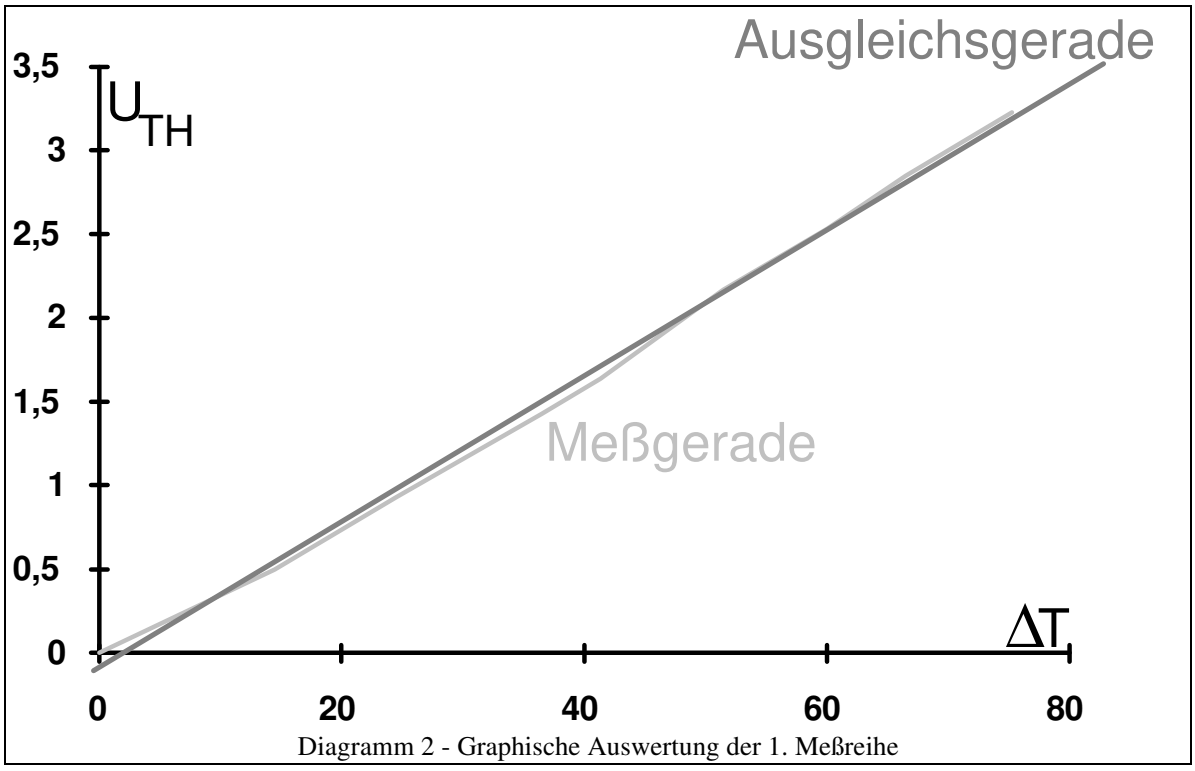


Diagramm 2 - Graphische Auswertung der 1. Meßreihe

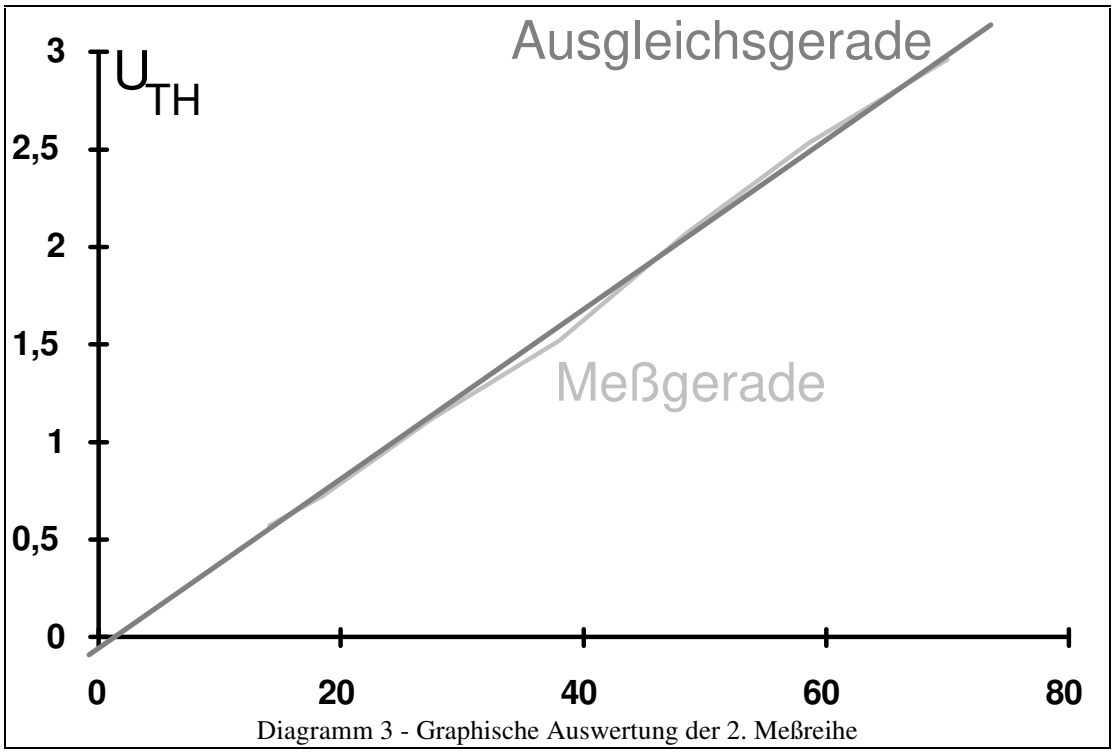


Diagramm 3 - Graphische Auswertung der 2. Meßreihe

Auswertung

Werden die Meßwerte in ein Diagramm (Diagramme 2,3) eingetragen, erkennt man leicht die Beziehung zwischen Temperaturdifferenz und Thermospannung: Die Größen verhalten sich proportional zueinander (im Diagramm sind die Werte beider Meßreihen eingetragen).

Um die Gerade genauer bestimmen zu können und auszugleichen, wird mit den Meßwerten eine lineare Regression durchgeführt. Es wird nach der Spannung in Abhängigkeit von der Temperaturdifferenz gefragt, die zu findende Geradengleichung hat also die Form $U_{TH} = \alpha \Delta T + \beta$.

Es stellt sich noch kurz die Frage nach den Einheiten der Werte, diese lassen sich jedoch aus der Formel ablesen. U_{TH} hat Einheit und Dimension Millivolt, daher muß auch β, der y-Achsenabschnitt, diese Einheit tragen. Auch $\alpha \Delta T$ muß demnach eine Größe in Millivolt als Ergebnis haben, so daß die Steigung der Ausgleichsgeraden $[\alpha] = \frac{mV}{°C}$ als Einheit hat.

Die gemessenen Werte für Temperaturdifferenz und Thermospannung werden in ein geeignetes Programm gefüttert, welches folgende Werte ausgibt:

```
Steigung der Ausgleichsgeraden ..... 4.381318D-02
y-Achsenabschnitt der Ausgleichsgeraden .......-.1039177

Streuung der y-Werte um die Ausgleichsgerade .. 5.984916D-02
Standardabweichung der Steigung ..... 8.486302D-04
Standardabweichung des y-Achsenabschnittes .... 4.019740D-02
```

Tabelle 2 - Ergebnisse der linearen Regression (1. Meßreihe)

Tabelle 2 enthält das Ergebnis der linearen Regression für die erste Meßreihe. Damit ist die Steigung $\alpha = 4.38 \cdot 10^{-5} \frac{V}{°C}$ gleichzeitig die gesuchte Größe, die Thermokraft.

```
Steigung der Ausgleichsgeraden ................ 4.343759D-02
y-Achsenabschnitt der Ausgleichsgeraden .......-5.995457D-02

Streuung der y-Werte um die Ausgleichsgerade .. 4.274288D-02
Standardabweichung der Steigung ............... 8.375516D-04
Standardabweichung des y-Achsenabschnittes .... 3.666663D-02
```

Tabelle 3 - Ergebnisse der linearen Regression (2. Meßreihe)

Zum Vergleich wurde auch mit der zweiten Meßreihe eine Lineare Regression durchgeführt. In diesem Fall ergibt sich für die Geradensteigung $\alpha = 4.34 \cdot 10^{-5} \frac{V}{°C}$. Die kleine Abweichung vom anderen Meßwert (<1%) bestätigt die Werte der ersten Meßreihe. Trotzdem bedeutet dies noch nicht, daß beide Meßwerte ähnlich wenig vom tatsächlichen Wert abweichen. Systematische Fehler, die in der ersten Meßreihe auftauchen, wiederholen sich natürlich auch in der zweiten.

Fehlerbetrachtung

Eine ziemlich gute Abschätzung des Fehlers ergibt sich durch die lineare Regression selber. Die Standardabweichung der Steigung ist hier der Fehler in der Thermokraft. Sinnvollerweise wird man den Fehler gleich zum Meßwert zuschreiben: $\alpha = 4.34 \cdot 10^{-5} \frac{V}{°C} \pm 2\%$ (2. Meßreihe).

Auch wenn beide Meßreihen gleiche Ergebnisse hervorbringen ist dies noch kein Garant dafür, daß die Gesamtabweichung ebenfalls bei 2% liegt. Ein ins Auge stechender Punkt ist auch noch die Abweichung des Achsenabschnitts von 0,1mV (0,06mV) in den Meßreihen, darüberhinaus mit einer Ungenauigkeit von 39% (61%). Der Nullpunkt wurde also in der 2. Meßreihe viel besser getroffen.

Das macht auch Sinn. Der Abkühlungsprozeß verlief langsam und gleichmäßig, während das Wasserbad in der 1. Meßreihe ziemlich schlagartig erhitzt wurde. Zwar wurde versucht, die Gleichverteilung der Temperatur abzuwarten, doch ist dies sicher nicht so gut gelungen wie bei der Abkühlung.

Die Abweichung beider Achsenabschnitte nach unten bei hoher Genauigkeit der Steigung deutet natürlich auch auf systematische Fehler (Meßgeräte, Kabelverbindungen etc.) hin.