Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens

Herausgeber: Association suisse des électriciens

Band: 16 (1925)

Heft: 11

Artikel: Thermoelemente und deren Anwendung zur Messung vom Temperaturdifferenzen

Autor: Schnetzler, A.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1057301

Thermoelemente und deren Anwendung zur Messung von Temperaturdifferenzen.

Von Ing. *A. Schnetzler,* Oerlikon.

Der Autor beschreibt die in der Praxis üblichen Thermoelemente und die Methoden zu deren Eichung. Er zeigt, dass u. a. die von Thermoelementen erzeugten elektromotorischen Kräfte (E. M. K.) nicht nur eine Funktion der Temperaturdifferenz der Lötstellen, sondern auch eine solche der absoluten Temperatur derselben sind. Der Autor leitet darauf Formeln ab, aus welchen bei bekannten Koeffizienten und Temperatur einer Lötstelle die Temperatur der anderen Lötstelle aus der gemessenen E. M. K. berechnet werden kann und zeigt, wie diese Aufgabe auch graphisch gelöst werden kann.

Endlich erläutert der Autor die Theorie, welche heute zur Erklärung der Erzeugung der E. M. K. als richtig angenommen wird.

L'auteur décrit les thermoéléments couramment employés dans la pratique et les méthodes d'étalonnage de ces appareils. Il fait voir entre autres que les forces électromotrices des thermoéléments ne sont pas seulement fonction des différences de température entre soudures, mais aussi de la température absolue de celles-ci. L'auteur déduit ensuite des formules permettant de calculer la température de l'une des soudures, étant donnés la température de l'autre et certains coefficients, ainsi que la force électromotrice mesurée. Ce problème est susceptible aussi d'une solution graphique.

L'auteur expose enfin la théorie actuellement admise pour expliquer la naissance de forces électromotrices dans les thermoéléments.

Die stets wachsende Anwendung der Thermoelemente zur Messung von Temperaturdifferenzen lässt es angezeigt erscheinen, sich einigermassen über das Wesen der thermoelektrischen Erscheinungen, sowie über die verschiedenen Messinstrumente und Methoden, deren Gültigkeitsbereich und Fehler zu orientieren. Es sei hier nochmals kurz auf den Aufbau der Thermoelemente, der in Fachkreisen als schon längst bekannt vorausgesetzt werden kann, eingetreten, um auch den Nichtfachmann zu orientieren, denn Thermoelemente werden oft auch im Maschinenbau (Messung von Temperaturen in Dampfkesseln, Heizkörpern, Dampfturbinen, Verbrennungsmotoren usw.) angewendet. Sie besitzen gegenüber den Thermometern den Vorteil einer bedeutend geringeren Trägheit, so dass sie wesentlich schneller raschen Temperaturschwankungen folgen können.

Thermoelemente entstehen durch Kombination zweier Metalle, indem sie an den Enden miteinander verbunden werden und so einen geschlossenen Stromkreis bilden. Setzt man nun die beiden Verbindungsstellen verschiedenen Temperaturen aus, so entsteht in ihnen eine E. M. K., deren Grösse vom Temperaturunterschied derselben abhängig ist. Ein Thermoelement besitzt daher immer zwei Lötstellen (wie man die Berührungspunkte der beiden Metalle nennt). Es ist aber absolut nicht notwendig, dass die beiden Metalle miteinander verlötet sind, damit eine thermoelektrische Kraft auftritt. Das Verlöten hat lediglich den Zweck, den Uebergangswiderstand (Kontakt) so zu verkleinern, dass er keinen störenden Einfluss durch Spannungsabfälle, die den Messtrom vermindern könnten, ausübt. Bei den meisten Messungen wird nun in der Regel nur ein Thermoelement verwendet, wobei sogar nur eine Lötstelle direkt sichtbar ist, da die andere sich an den Klemmen des Messinstrumentes befindet (siehe Fig. 1).

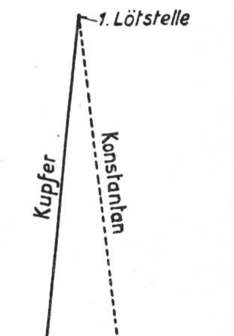

Fig. 1

Bei geschlossenem Stromkreis hat nun diese thermoelektrische Kraft einen Strom zur Folge, der durch Einbau eines genügend empfindlichen Amperemeters gemessen werden kann. Ist das Thermoelement an irgend einer Stelle unterbrochen, so tritt an den Enden die in den Lötstellen erzeugte E. M. K. auf, die sich mittelst Kompensationsmethoden messen lässt. Beide Methoden dienen in der Praxis zur Messung von Temperaturdifferenzen.

Zur Bestimmung der Abhängigkeit der Thermo-E. M. K. vom Temperaturunterschied der Lötstellen hat man eine Eichung durchzuführen, von deren Richtigkeit die nachherige Messgenauigkeit abhängt.

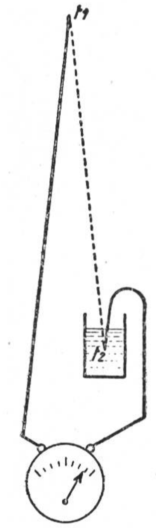

Fig. 2

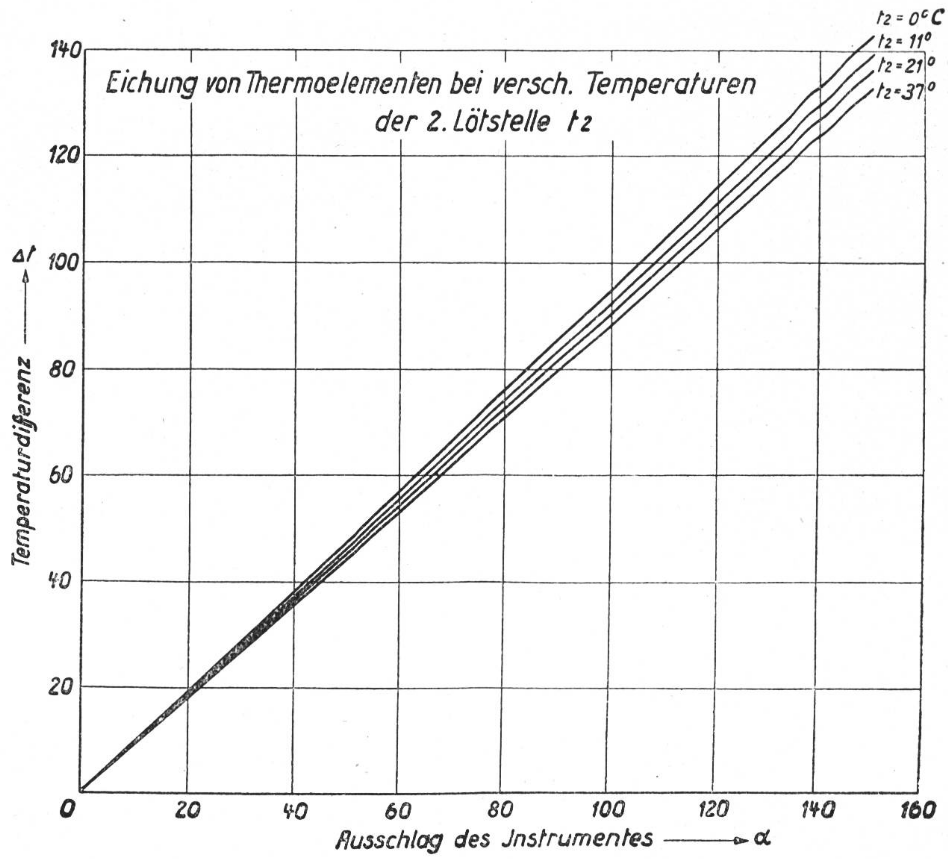

Fig. 3

Es wurde schon mehrmals die Beobachtung gemacht, dass die thermoelektrische Kraft für eine bestimmte konstante Temperaturdifferenz der beiden Lötstellen noch von den absoluten Temperaturen derselben abhängig ist, d. h. die Temperaturdifferenz $0-100^0$ C liefert einen anderen Ausschlag des Instrumentes als die Temperaturdifferenz $40-140^0$ C. Diese Abhängigkeit soll nun in erster Linie untersucht werden. Es wurde zuerst ein ca. 50 cm langes Kupfer-Konstantan-Element (Drahtdurchmesser = 0,5 mm, Widerstand = 0,183 Ω), an dem eine zweite Lötstelle (Fig. 2) angebracht war, untersucht. Als Anzeigeinstrument (Thermoinstrument) kam ein Siemensinstrument zur Anwendung mit einer Skaleneinteilung von $0-150^0$ C. Die Eichresultate sind in Fig. 3 veranschaulicht.

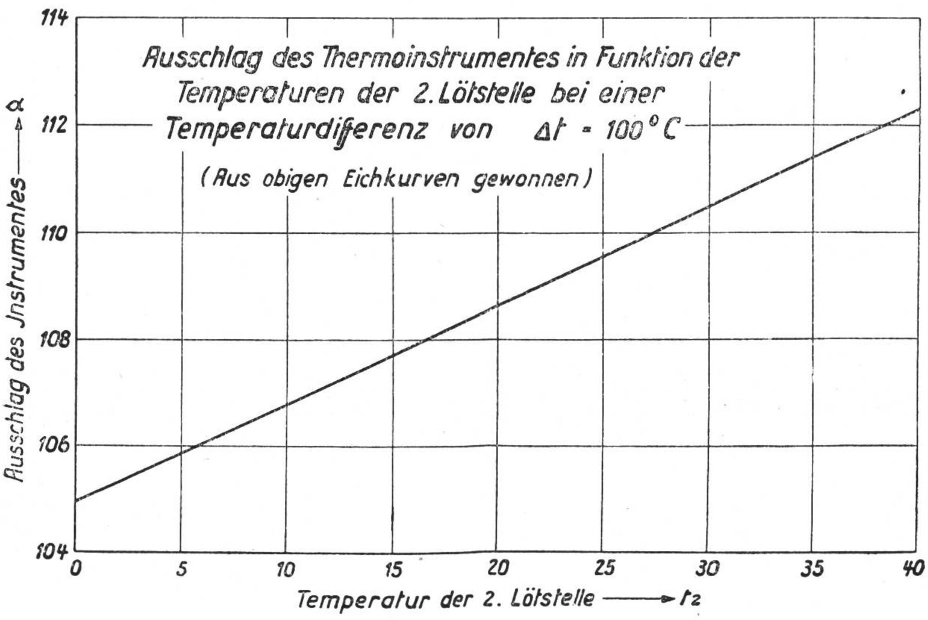

Fig. 3a

Die erhaltenen Kurven zeigen in erster Linie, dass das Instrument bei Anwendung dieser Metallkombination durchweg eine zu hohe Temperatur anzeigt. Zudem erkennt man, dass eine eindeutige Messung nur möglich ist, wenn zugleich die Temperatur der zweiten Lötstelle (resp. diejenige des Raumes) angegeben wird.

Die Ausschläge für eine bestimmte Temperaturdifferenz, z. B. 100^0 C, in Funktion der Raumtemperatur t_2 ergeben eine Gerade (Fig. 3a), d. h. die Thermo-E. M. K. für eine bestimmte Temperaturdifferenz nimmt mit der absoluten Temperatur geradlinig zu.

Mit Hilfe von Fig. 3a kann nun für jede Raumtemperatur die entsprechende Ablesung korrigiert werden, wie folgendes Beispiel erläutern mag:

Das Instrument zeige bei einer Temperatur der zweiten Lötstelle von $t_2 = 0^0$ C einen Ausschlag von 80 an; dann ergibt sich die wirkliche Temperaturerhöhung zu:

$$\Delta t\,^0\,\mathrm{C} = \frac{100}{105{,}1}\,80 = 76{,}1\,^0\,\mathrm{C}.$$

Dieselbe Ablesung von 80^0 ergibt bei $t_2 = 20^0$ C:

$$\Delta t\,^0\,\mathrm{C} = \frac{100}{108{,}7}\,80 = 73{,}6\,^0\,\mathrm{C}$$

und bei $t_2 = 40^0$ C:

$$\Delta t\,^0\,\mathrm{C} = \frac{100}{112{,}3}\,80 = 71{,}2^0\,\mathrm{C}.$$

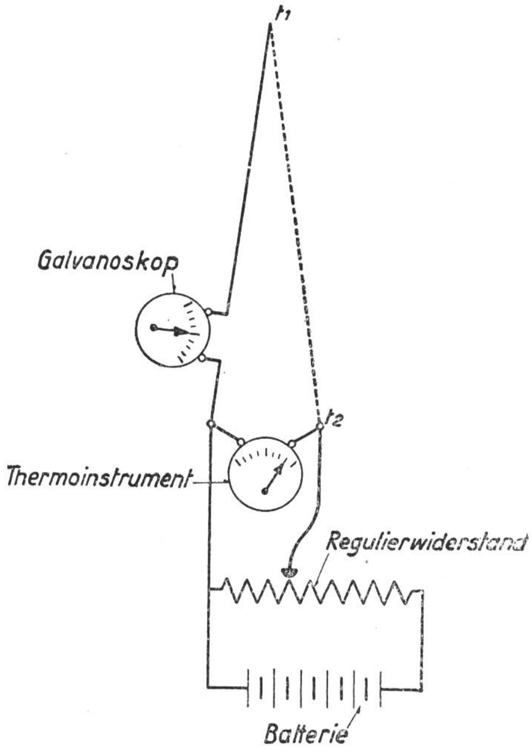

Fig. 4

Ein weiterer Fehler bei Messungen mit Thermoelementen tritt dadurch auf, dass der Widerstand des Elementes gegenüber demjenigen des Instrumentes nicht zu vernachlässigen ist. Dieser Einfluss wurde mittelst eines 8,0 m langen Thermoelementes untersucht, indem es zuerst nach Schaltung (Fig. 2) geeicht und hierauf mittelst der Kompensationsmethode (Fig. 4) geprüft wurde. Bei dieser Methode wird mit-

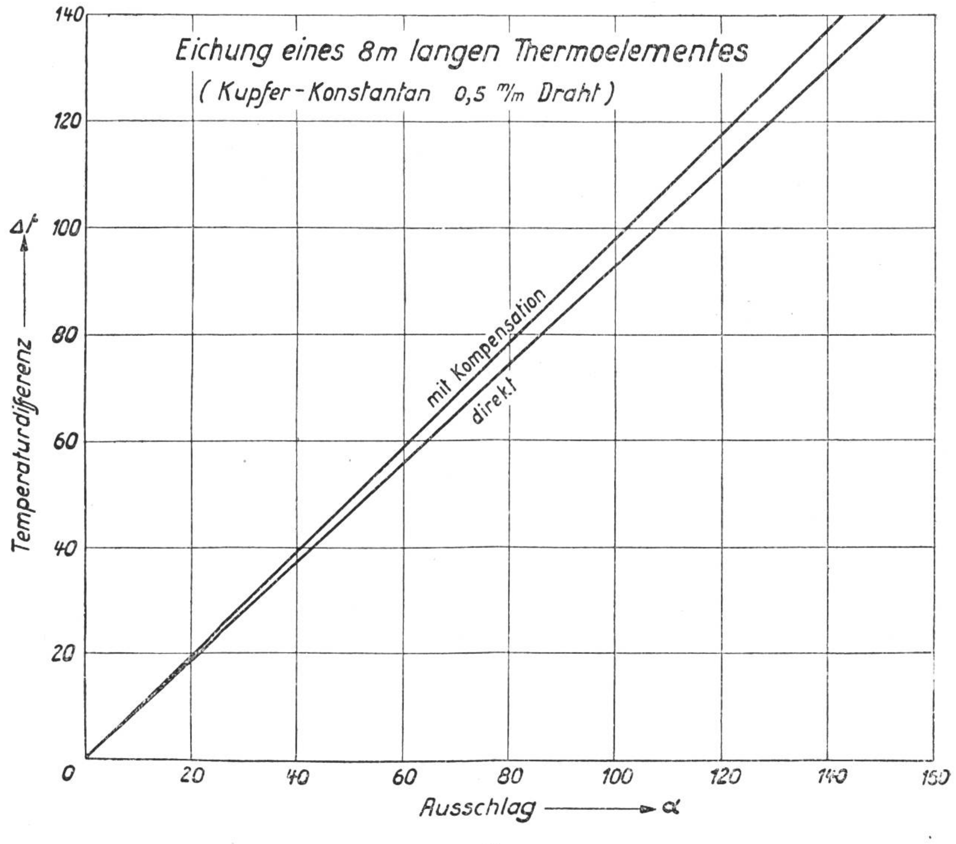

Fig. 5

telst einer Akkumulatorenbatterie und einem kontinuierlich regulierbaren Widerstand eine der Thermo-E. M. K. entgegengesetzt gleiche Spannung erzeugt, so dass im Thermoelement kein Strom mehr fliesst, was mit Hilfe eines empfindlichen Galvanoskops festgestellt werden kann. Hierdurch verschwinden sämtliche Spannungsabfälle im Thermoelement und dessen Zuleitungen bis zu den Klemmen des Thermoinstrumentes. Die beiden Eichkurven sind in Fig. 5 dargestellt. Ihr Unterschied beträgt ca. 4,7 %. Der Widerstand des Thermoelementes berechnet sich zu:

Konstantandraht:

$$\text{Durchmesser} = 0{,}5 \text{ mm}, \quad Q = 0{,}197 \text{ mm}^2, \quad L = 8 \text{ m},$$

$$\text{spez. Widerstand} = \left(\frac{1}{2{,}125}\right)^{\Omega}, \quad r_{\text{Konst.}} = \frac{8{,}0}{2{,}125 \cdot 0{,}197} = 19{,}1\,\Omega.$$

Kupferdraht:

$$\text{Durchmesser} = 0{,}5 \text{ mm}, \quad Q = 0{,}197 \text{ mm}^2, \quad L = 8 \text{ m},$$

$$\text{spez. Widerstand} = \left(\frac{1}{57}\right)^{\Omega}, \quad r_{\text{Kupfer}} = \frac{8{,}0}{57{,}0 \cdot 0{,}197} = 0{,}7\,\Omega.$$

Totaler Widerstand des Thermoelementes:

$$r_{\text{Th. El.}} = 19{,}8\,\Omega.$$

Der Widerstand des Thermoinstrumentes beträgt 450 Ω, woraus sich der Spannungsabfall zu:

$$\frac{19{,}8}{450}\,100 = 4{,}4\ \%$$

berechnet, welcher Wert mit dem gemessenen von 4,7 % gut übereinstimmt.

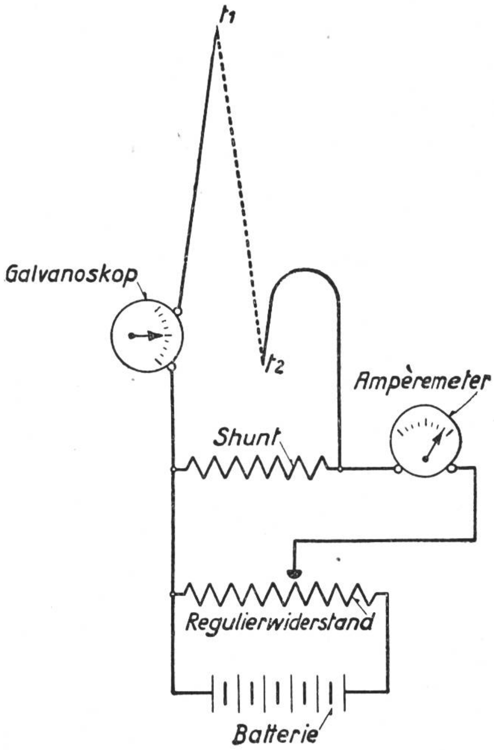

Fig. 6

Die Kompensationsmethode lässt sich besser in einer etwas modifizierteren Form, wie sie in Fig. 6 dargestellt ist, anwenden. An Stelle der Kompensationsspannung, die sehr klein ist und nur mit speziellen besonders empfindlichen Voltmetern gemessen werden kann, ist es vorteilhafter, den durch den Shunt fliessenden Strom zu messen. Durch passende Wahl der Shuntwiderstände kann die Stromstärke beliebig grosse Werte erreichen, so dass z. B. gewöhnliche Milliamperemeter verwendet werden können. Durch Anwendung verschiedener Shunts kann der Messbereich beliebig vergrössert oder verkleinert werden. Die thermoelektrische Kraft ergibt sich dann aus Stromstärke mal Shuntwiderstand. Die Messgenauigkeit der ganzen Anordnung hängt von der Empfindlichkeit des Galvanoskopes ab. Meistens genügt eine Genauigkeit von $^1/_2{}^0$ C, was, wie wir später sehen werden, ungefähr 20 μ Volt (μ Volt = Mikrovolt = 10^{-6} Volt) entspricht. Das Instrument muss daher eine Stromempfindlichkeit von $i = \dfrac{20\ \mu\ \text{Volt}}{\text{Eigenwiderstand des Instrumentes}}$ besitzen. Durch Variieren des Regulierwiderstandes wird der Strom im Shunt und damit dessen Spannungsabfall verändert, wodurch das Galvanoskop zum Einspielen gebracht wird. In bezug auf die Genauigkeit der Ablesungen liefert diese Methode einzig zuverlässige Werte, um so mehr, als man vollständig unabhängig vom Widerstand (Länge) der Elemente ist, so dass hier anstandslos Umschalter usw. verwendet werden können. Auch spielt der Uebergangswiderstand der Lötstelle, welcher bei höheren Temperaturen du ch Bildung von Oxydschichten oft grössere Werte annehmen kann, keine Rolle.

Die meist bekannten Thermoelemente, die zur Messung von Temperaturdifferenzen bis zu ca. 600° C Anwendung finden, bestehen aus den Metallkombinationen:

Kupfer-Konstantan u. Eisen-Konstantan.

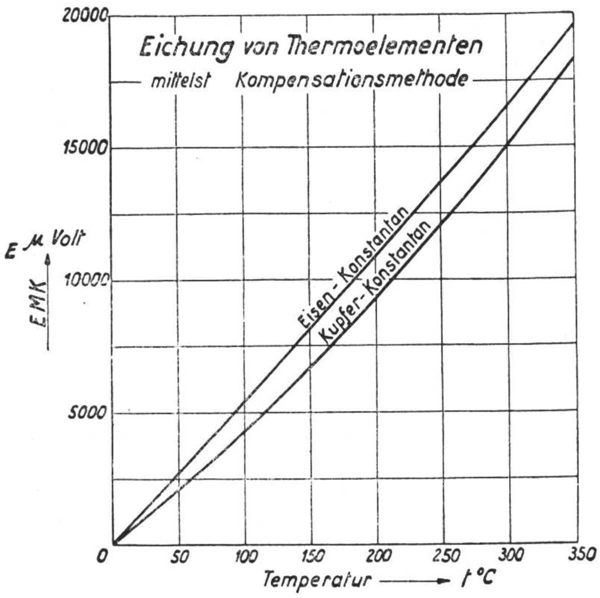

Fig. 7

Beide Elemente wurden einer Eichung in einem Temperaturintervall von 0 bis 330° C unterworfen, wobei die eine Lötstelle konstant auf 0° C gehalten wurde. Die beiden Eichkurven (Thermo-E. M. K. in Funktion der Temperaturdifferenz Δt) sind in Fig. 7 dargestellt. Man erkennt sofort, dass die thermoelektrische Kraft keine lineare Funktion der Temperaturdifferenz ist. Sie genügt vielmehr der von Avenarius erstmals empirisch aufgestellten Formel:

$$E = \alpha \, \Delta t + \beta \, \Delta t^2, \tag{1}$$

worin E = thermoelektrische Kraft, Δt = Temperaturdifferenz, α und β = Konstanten, die nur von der physikalischen Konstitution der beiden Metalle abhängen. Dividiert man nun diese Gleichung durch Δt, so erhält man eine Gerade:

$$\frac{E}{\Delta t} = \alpha + \beta \, \Delta t\,, \tag{2}$$

welche die Ordinate im Abstande α schneidet und die Neigung β zur Abszisse besitzt (siehe Fig. 8). Es lassen sich dadurch auf sehr einfache Weise für jede Metallkombination α und β bestimmen. Für $\beta = 0$ würde man einen proportionalen Anstieg von E und Δt erhalten. Leider ist bis jetzt kein Thermoelement, das praktische Anwendung finden könnte, bekannt, welches diese Eigenschaft besitzt.

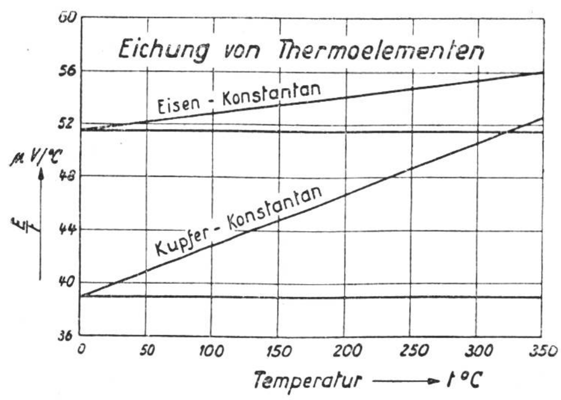

Fig. 8

Wählt man als Ausgangspunkt die Temperatur 0°, so lautet die Formel (1):

$$E = \alpha_0 \, t + \beta \, t^2\,, \tag{3}$$

wobei $\alpha_0 = \alpha$ für 0° C bedeutet.

Durch Differenziation dieser Gleichung nach der Temperatur erhält man:

$$\frac{dE}{dt} = \alpha_0 + 2\beta \, t = \alpha_0 \left(1 + \frac{2\beta}{\alpha_0} \, t\right) = \alpha_{t2}\,. \tag{4}$$

α_{t2} stellt daher den linearen Zuwachs von E bei jeder Temperatur t dar, d. h. die Tangente. Es lässt sich daher der Satz aufstellen: *Die thermoelektrische Kraft pro 1° C ändert sich proportional der absoluten Temperatur.*

α_{t2} ist gleichbedeutend mit α in Formel (1). (Um Missverständnissen vorzubeugen, sei mit t_1 die unbekannte Temperatur der ersten Lötstelle und mit t_2 die bekannte Temperatur, von welcher man ausgeht, der zweiten Lötstelle bezeichnet.)

Man ersieht daher sofort, dass α_{t2} stark von der Temperatur t_2 abhängt, was sehr anschaulich aus Fig. 9 hervorgeht.

Die Formel für die thermoelektrische Kraft lautet daher für jede beliebige Anfangstemperatur t_2:

$$E_{t_2 + \Delta t} = (\alpha_0 + 2\beta\, t_2)\,\Delta t + \beta\,\Delta t^2\,, \tag{5}$$

d. h.: *Die thermoelektrische Kraft bei einer bestimmten Temperaturdifferenz ist abhängig von der absoluten Temperatur der Lötstellen.*

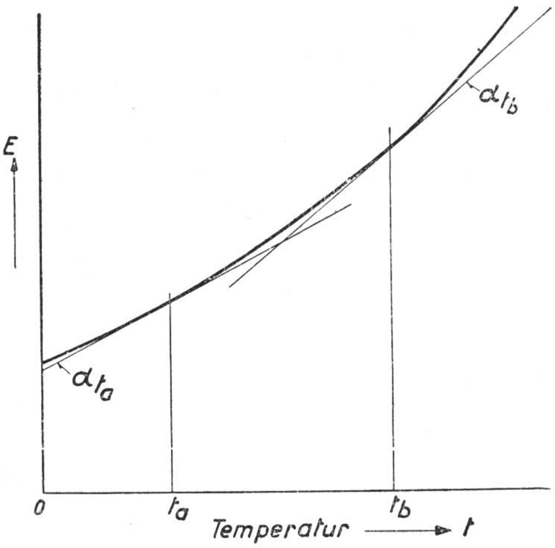

Fig. 9

Die Auswertung der Messungen an den Thermoelementen Kupfer-Konstantan und Eisen-Konstantan im obigen Sinne ist in Fig. 8 durchgeführt.

Bei dem *Kupfer-Konstantan*-Element erhält man für:

$$\alpha_0 = 38{,}9\ \mu\,\mathrm{V}/^0\,\mathrm{C}\,, \qquad \beta = 0{,}039\ \mu\,\mathrm{V}/^0\,\mathrm{C}^2\,,$$

$$\alpha_{t2} = 38{,}9\,(1 + 0{,}002\,t_2)\,.$$

Bei dem *Eisen-Konstantan*-Element beträgt:

$$\alpha_0 = 51{,}5\ \mu\,\mathrm{V}/^0\,\mathrm{C}\,, \qquad \beta = 0{,}013\ \mu\,\mathrm{V}/^0\,\mathrm{C}^2\,,$$

$$\alpha_{t2} = 51{,}5\,(1 + 0{,}000505\,t_2)\,.$$

Diese Werte sind natürlich nur für ein ganz bestimmtes Eisen, Kupfer und Konstantan, gültig, und zwar nur so lange, als sich ihr physikalischer und chemischer Zustand nicht verändert hat. Solche Veränderungen können sehr leicht bei höheren Temperaturen eintreten, wobei sehr oft Oxydationen und molekulare Umlagerungen stattfinden. Ferner spielen etwelche Verunreinigungen bei obigen Konstanten eine grosse Rolle. Aus den Werten von β ersieht man, dass die Thermoelemente Eisen-Konstantan bedeutend geringere Korrekturen ergeben, die in gewissen Grenzen in bezug auf die Temperatur t_2 vernachlässigt werden können.

Die Gleichungen (1) resp. (5) gestatten nun, ohne weiteres für gegebene Temperaturdifferenzen die thermoelektrischen Kräfte zu berechnen. Bei der Temperaturbestimmung eines Körpers mit Thermoelementen ist aber stets die Spannung E bekannt und Δt zu bestimmen. Wir müssen daher die Formel (5) für Δt explizite ausdrücken, was nach bekannten algebraischen Gesetzen zu folgendem Resultat führt:

$$\Delta t^{\,0\mathrm{C}} = \frac{-\alpha_{t2} \pm \sqrt{4\beta E + \alpha_{t2}^2}}{2\beta} = -\frac{\alpha_{t2}}{2\beta} \pm \frac{1}{\sqrt{\beta}}\sqrt{E + \frac{\alpha_{t2}^2}{4\beta}}\,, \tag{6}$$

wobei:
$$\alpha_{t2} = \alpha_0\left(1 + \frac{2\beta}{\alpha_0}\,t_2\right).$$

Diese Formel ist für den praktischen Gebrauch sehr unbequem. Man wird daher besser zur graphischen Methode greifen, indem man an Hand von Eichkurven für ein bestimmtes E das zugehörige Δt abliest. Man erhält dann eine Kurvenschar mit dem Parameter t_2.

Um aus einer einzigen Eichkurve, die bei einer bestimmten Temperatur t_2 aufgenommen ist, die ganze Kurvenschar zu erhalten, wird man am besten wie folgt verfahren:

Man bildet zuerst auf Grund der aufgenommenen Eichkurve die Quotienten $\left(\frac{E}{\Delta t}\right)_{t2} = c_{t2}$ und trägt diese Werte als Funktion von Δt auf, berechnet daraus α und β nach Gleichung (2), wodurch man in den Stand gesetzt wird, sämtliche α_{t2} (z. B. in Intervallen von 10^0 C) zu ermitteln, welche auf der Ordinate abgetragen werden. Die Kurven $\left(\frac{E}{\Delta t}\right)_{t2} = f(\Delta t)$ sind dann zur experimentell gefundenen Geraden durch die Punkte α_{t2} parallel zu ziehen. Durch Multiplikation mit Δt kann E für jedes Δt berechnet werden. Es können daher sofort die Kurven $\left(\frac{E}{\Delta t}\right)_{t2} = c_{t2}$ in Funktion von E aufgetragen werden, wodurch eine neue Kurvenschar erhalten wird, mit deren Hilfe für sämtliche E die Werte $\left(\frac{E}{\Delta t}\right)_{t2} = c_{t2}$ abgelesen werden können. Die gesuchte Temperaturdifferenz ergibt sich somit zu $\Delta t^{\,0\mathrm{C}} = \frac{E}{c_{t2}}$. Die Kurven $c_{t2} = f(E)$ eignen sich für Eichkurven besonders gut, da c_{t2} sich mit E wenig ändert, wodurch der Masstab c sehr gross gewählt werden kann. Man könnte natürlich auch $\Delta t = f(E)$ direkt aufzeichnen, wenn man auf grössere Genauigkeit verzichten will. Dieses ganze Verfahren ist in den Fig. 10 und 11 für das Thermoelement Kupfer-Konstantan und in den Fig. 12 und 13 für Eisen-Konstantan durchgeführt. Die experimentell aufgenommenen Eichkurven, welche als Grundlage dienen, sind in Fig. 7 dargestellt.

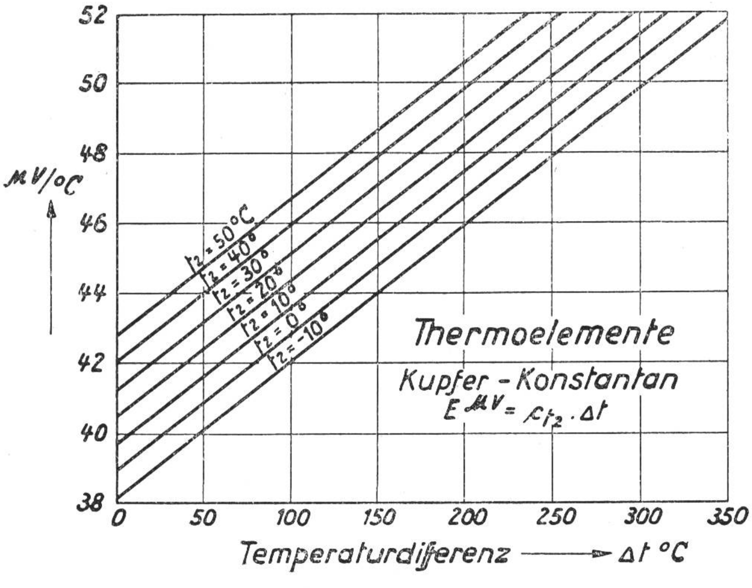

Fig. 10

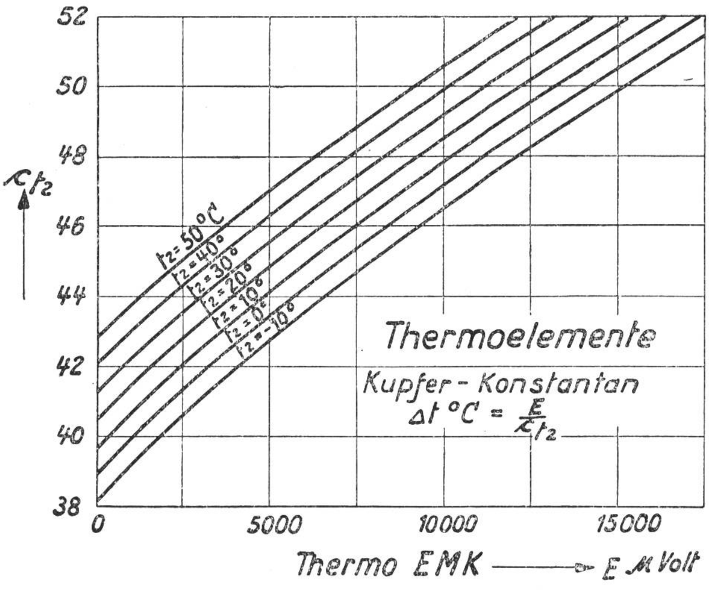

Fig. 11

Wendet man die Kompensationsmethode an, so kann man auch für einen bestimmten Shunt die Temperaturdifferenzen Δt als Funktion des Stromes i auftragen, wodurch jede Umrechnung vermieden wird. Nach obiger Methode lassen sich daher leicht sehr genaue Temperaturmessungen ausführen. Auf den ersten Blick mag sie etwas kompliziert erscheinen, sie bedeutet aber trotzdem gegenüber sämtlichen Eichungen, welche im andern Falle ausgeführt werden müssten, eine grosse Zeitersparnis. Verwendet man zudem stets die gleichen Thermoelemente resp. das gleiche Kupfer und Konstantan (durch Anschaffen eines grösseren Quantum Drahtes), so genügt eine einzige Eichung über Jahre hinaus.

Was die Forschungsarbeiten auf diesem Gebiete anbetrifft, so mag nur kurz qualitativ darauf eingegangen sein:

Wie die empirisch gefundene Formel $E = \alpha\,\Delta t + \beta\,\Delta t^2$ zeigt, ist die thermoelektrische Kraft auf zwei Effekte zurückzuführen. Es ist nun auch einigen Forschern gelungen, diese Effekte einzeln nachzuweisen.

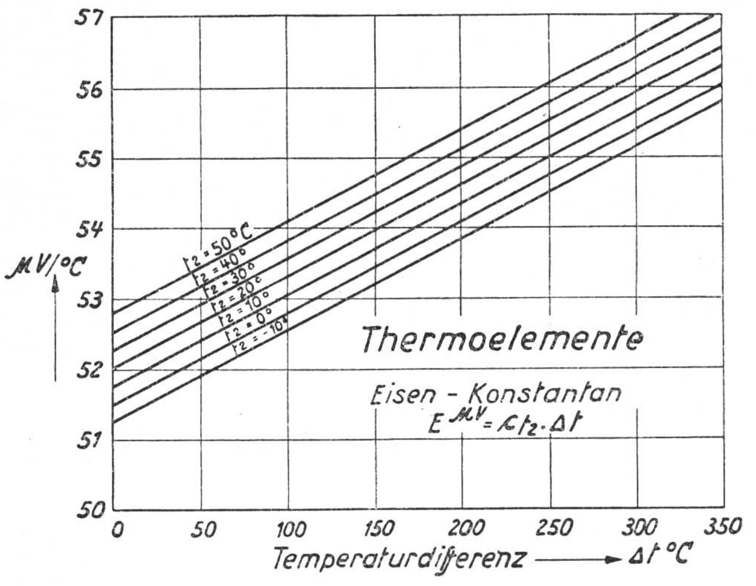

Fig. 12

Bei Messungen mit Thermoelementen und stromverbrauchenden Instrumenten treten nun in Wirklichkeit vier Effekte auf, von denen je zwei invers zueinander sind:

1. Als primäre Wirkung kommt der nach *Seebeck* benannte Effekt in Frage, welcher die thermoelektrischen Spannungen zwischen zwei verschiedenen Metallen hervorruft. Dieser hat lediglich seinen Sitz in den Berührungsstellen der Metalle und ist der Temperaturdifferenz der beiden Lötstellen direkt proportional ($\alpha\,\Delta t$).

2. Umgekehrt: Sendet man durch zwei in Serie geschaltete Metalle einen elektrischen Strom in einer bestimmten Richtung, so erwärmt sich die eine Kontaktstelle während sich die andere um gleich viel abkühlt (abgesehen von der im Draht erzeugten Jouleschen Wärme). Es wird also an der einen Stelle Wärme erzeugt, während der anderen Wärme entzogen wird. Dieses Phänomen ist zum Seebeck-Effekt invers; d. h. fliesst in einem Thermoelement infolge der durch eine Temperaturdifferenz erzeugten E. M. K. ein Strom, so sucht dieser die wärmere Lötstelle abzukühlen, während die kältere erwärmt wird, bis die Temperaturdifferenz ausgeglichen ist. Diese Wärmewirkung ist unter dem Namen *Peltier-Effekt* bekannt. Diese Proportionalität der E. M. K. zur Temperaturdifferenz wird nun durch zwei Nebeneffekte, die zueinander wiederum invers sind, gestört:

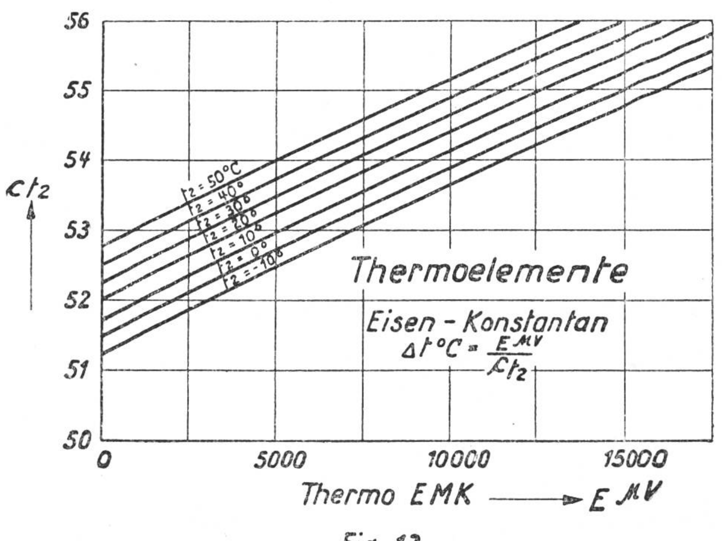

Fig. 13

3. Der *Benedick-Effekt:* Erzeugt man in einem homogenen Leiter ein Temperaturgefälle, so entsteht in ihm eine E. M. K. in entgegengesetztem Sinne. Die Grösse dieser E. M. K. ist wiederum abhängig vom Temperaturgefälle und vom Material des Leiters, sie entspricht dem zweiten Summand ($\beta\,\Delta t^2$) der Avenarius'schen Formel.

Invers dazu ist:

4. Der *Thomson-Effekt:* Erzeugt man längs einem elektrischen Leiter ein Temperaturgefälle und schickt in einer bestimmten Richtung einen elektrischen Strom durch denselben, so ist die erzeugte Wärme grösser resp. kleiner als die aus dem

ohmschen Gesetz resultierende Joulesche Wärme, je nachdem die Stromrichtung im Sinne oder entgegengesetzt dem Temperaturgefälle verläuft.

Beide Effekte konnten einzeln einwandfrei nachgewiesen werden. Alle vier Effekte üben nun in mehr oder weniger ausgeprägtem Masse ihren Einfluss auf die thermoelektrische Messung aus. Es lassen sich aber durch Anwendung der Kompensationsmethode sofort der Thomson- und Peltier-Effekt ausschalten, da diese vom Fliessen eines Stromes abhängig sind.

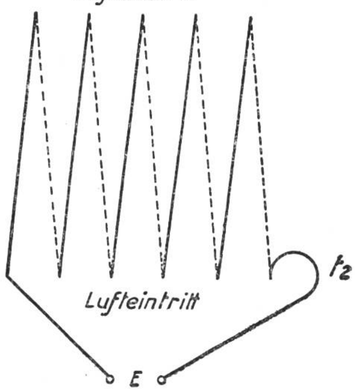

Fig. 14

Um geringe Temperaturdifferenzen mit grosser Genauigkeit messen zu können, schaltet man oft mehrere Thermoelemente in Serie, wobei sich die E.M.K. der einzelnen Elemente addieren. Eine spezielle Anwendung dieser Thermobatterien (Fig. 14) ist die Messung der Temperaturerhöhung der Kühlluft von Generatoren, Motoren usw., woraus sich bei Kenntnis der Luftmenge die von der Luft abgeführten Verluste bestimmen lassen. Dieselbe Anordnung kann auch bei Gebläsen angewandt werden. Hierbei verteilt man die einzelnen Lötstellen möglichst gleichmässig über den Lufteintritt resp. -austritt. Die an den Klemmen der Batterie auftretende E. M. K., dividiert durch die Anzahl Thermoelemente, ergibt die der mittleren Temperaturerhöhung $t_1 - t_2 = \Delta t$ entsprechende E.M.K. Es lassen sich die oben beschriebenen Methoden für ein Element direkt auf ganze Batterien anwenden, wobei die absolute Temperatur t_2 der eintretenden Luft bekannt sein muss, zu deren Messung in der Regel ein einziges Thermometer genügt. Natürlich empfiehlt sich die Anwendung der Kompensationsmethode ganz besonders.

Eine weitere Methode, welche mit relativ einfachen Mitteln die absoluten Temperaturen der Lötstellen von Thermoelementen zu bestimmen gestattet, ist folgende:

Die eine Lötstelle befindet sich an der Stelle, deren Temperatur t_1 gemessen werden soll, während die zweite Lötstelle in ein Gefäss mit Oel eintaucht, welches zudem noch ein genaues Thermometer enthält (Fig. 15). Im Thermoelementkreis ist noch ein empfindliches Galvanoskop, als Nullinstrument, geschaltet. Das Oel wird nun durch irgendwelche Heizvorrichtung so lange erwärmt, bis die beiden Lötstellen dieselbe Temperatur besitzen. Dieser Zustand ist erreicht, sobald im Thermoelement kein Strom mehr fliesst, d. h. der Ausschlag des Galvanoskopes gleich Null ist. Der im selben Moment am Thermometer abgelesene Wert t_2 entspricht genau der gesuchten Temperatur t_1. Diese Methode hat, obschon sie etwas schwerfällig ist, den grossen Vorzug, dass sie vollständig unabhängig von den Eigenschaften des Thermoelementes, d. h. dessen Zusammensetzung und Länge, ist. Die Messgenauigkeit hängt lediglich von der Empfindlichkeit des Galvanoskopes und der Genauigkeit und eventuell Trägheit des Thermometers ab. *Sie liefert sofort ohne jegliche Eichung richtige Messwerte.* Infolge ihrer Umständlichkeit und grossen Trägheit lässt sie sich nur zur Messung von stationären oder wenigstens sehr langsam veränderlichen Temperaturen anwenden, wie sie z. B. in elektrischen Maschinen im stationären Zustand bei langen Dauerläufen auftreten. Sie ist daher in den neuesten französischen Normen für Abnahmeproben an elektrischen Maschinen aufgenommen worden.

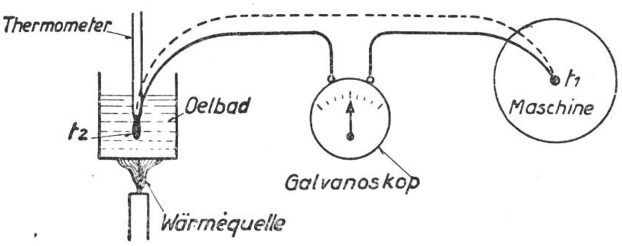

Fig. 15

Zum Schlusse möchte ich noch erwähnen, dass sämtliche Messungen und Eichungen in der Maschinenfabrik Oerlikon mit Hilfe einer dazu speziell hergestellten Eicheinrichtung durchgeführt wurden.