8. Über
einen Kontrollapparat für Thermoelemente;
von Friedrich Wolfgang Adler.

1. Bei der Verwendung der Thermoelemente zu Temperaturmessungen muß die Temperatur der einen Lötstelle, die ich als *Fundamentaltemperatur* bezeichnen will, konstant bleiben. Bei früherer Gelegenheit¹⁾ wies ich darauf hin, welche Schwierigkeiten sich bei Konstanterhaltung derselben ergeben, wie insbesondere bei Benutzung von schmelzendem Eis, das in vielen Richtungen günstig ist, man zwar manchmal konstatieren könne, daß die Temperatur der Lötstelle höher als 0° sei, man aber bei keiner Messung die Sicherheit habe, daß sie wirklich bestehe.

Seither ist es mir gelungen, einen Apparat zu konstruieren, der *anzeigt*, ob die gewünschte Temperatur vorhanden sei. Man ist mit seiner Hilfe der Notwendigkeit enthoben, alle möglichen Vorsichtsmaßregeln zu treffen, da man nun sicher ist, ob die Fundamentaltemperatur bestehe oder nicht. Weiß man, daß der letztere Fall eingetreten ist, so bedarf es ja nur einfacher Mittel, um sie wieder herzustellen.

Man kann den Apparat für jede beliebige Fundamentaltemperatur einstellen; doch ist es am besten, für jede solche einen eigenen Apparat zu verfertigen, denn wenn man denselben Apparat nacheinander auf zwei Fundamentalpunkte einstellt, so geht stets die erste Eichung verloren. Die Kosten der Herstellung kommen aber gegenüber der Arbeit bei der Eichung nicht in Betracht.

Für Siedepunkte ist der Apparat nicht geeignet, da er nur für einen bestimmten Barometerstand geeicht werden könnte.

Am einfachsten gestaltet sich die Konstruktion, wenn sich die Temperatur nur in einer Richtung ändern kann, wie es bei Schmelzpunkten unter Zimmertemperatur der Fall ist.

Für einen solchen Fall, nämlich den des schmelzenden Eises, habe ich meinen Apparat geeicht, und soll dieser vor-

¹⁾ F. W. Adler, Diss. p. 33—36. Zürich 1902.

erst beschrieben werden. Zum Schlusse will ich dann noch zeigen, wie ein Apparat konstruiert werden müßte, der Temperaturänderungen nach beiden Richtungen angibt, wie er etwa bei Thermostaten zur Anwendung käme.

2. *Beschreibung des Apparates.* Der Apparat besteht aus einem Thermometergefäß (a , Fig. 1) 1) mit drei angeschmolzenen Röhren (c , R_1 , R_2). Dieses Gefäß hat die Form eines Ellipsoides, dessen einer Hauptschnitt kreisförmig, und dessen anderer (Fig. 2) eine Ellipse mit großer numerischer Exzentrizität ist. Parallel zum kreisförmigen Querschnitt führt das Rohr r durch das Gefäß, welches an der Stelle, wo es das Gefäß durchsetzt, angeschmolzen ist. Es setzt sich in den zwei Röhren R_1 und R_2 fort, so daß das ganze Rohr U-förmig ist. Vom Thermometergefäß geht parallel zu R_1 und R_2 die Kapillarröhre c aus. In das Kapillarrohr wird ein Platindraht (d_1) so eingeschmolzen, daß Quecksilber in ihm unbehindert zirkulieren kann, aber Kontakt von Pt mit Hg erfolgt. Ein zweiter Platindraht (d_2) wird an irgend einer Stelle unterhalb d_1 in c oder a eingeschmolzen. a und c werden in der Weise, wie weiter unten beschrieben, mit Quecksilber so weit gefüllt, daß bei der Temperatur $t + \tau$ Kontakt des Quecksilbers mit dem Drahte d_1 erfolgt. Dabei ist mit t die Fundamentaltemperatur, mit τ diejenige Temperaturdifferenz bezeichnet, bis auf welche genau der Apparat geeicht wird. c muß so lang sein, daß das Hg auch noch bei hohen Zimmertemperaturen Platz hat, eventuell muß, um die Röhre nicht zu lang werden zu lassen, eine kleine Erweiterung am oberen Ende von c vorgenommen werden, was aber wegen der Möglichkeit der Abtrennung von kleinen Hg-Partikeln besser unterbleibt. Bei der Herstellung des Apparates wurde Jenaer Thermometerglas verwendet.

3. *Verwendung des Apparates.* Besteht das Thermoelement aus der Kombination eines Metalles M mit Cu, so wird es so durch die Röhre R_1 r R_2 (Fig. 1) gezogen, daß die eine Löt-

Fig. 1.

Fig. 2.

1) Die Figg. 1, 2, 4—6 sind in $\frac{1}{2}$ der nat. Größe dargestellt.

stelle ungefähr in die Mitte des Thermometergefäßes (a) zu liegen kommt. Hat man es mit der Kombination zweier beliebiger Metalle ($M_1 M_2$) zu tun, so müssen die beiden Übergänge zur Kupferleitung die Fundamentaltemperatur besitzen.¹⁾ In diesem Falle muß die eine Verbindungsstelle durch R_1 , die andere durch R_2 bis zur Mitte von a geschoben werden (Fig. 4). Ein Aneinanderstoßen derselben wird durch eine eingeführte kleine Glasperle (p) verhindert.

An d_1 und d_2 (Fig. 1) sind Cu-Drähte angelötet, die mit den Zuleitungsdrähten zu dem Galvanometer G , an dem der vom Thermoelement hervorgebrachte Strom gemessen wird, so verbunden sind, daß wenn das Hg mit d_1 Kontakt hat, ein Nebenschluß gebildet wird (Fig. 3). Es wird also immer, so-

Fig. 3.

lange der Apparat und mit ihm die Lötstelle eine Temperatur hat, die um τ oder mehr als dieses über der Fundamentaltemperatur ist, der Ausschlag im Galvanometer ein bedeutend kleinerer sein. Um immer die Möglichkeit zu haben, die Temperatur bis auf den momentanen Fehler des Fundamentalpunktes genau zu bestimmen,

ist in dem Nebenschluß ein Unterbrecher U (Fig. 3) eingeschaltet. Bei Messungen, die zu bestimmten Zeiten ausgeführt werden müssen, z. B. bei kalorimetrischen Messungen, die einander rasch folgen müssen und zwischen denen nicht genügend Zeit ist, um Änderungen am Bade vorzunehmen, wird man eventuell bei U unterbrechen. Dies wird möglich sein, wenn die in der kurzen Zeit eventuell entstandene Temperaturerhöhung das Resultat nicht beeinflusst. Wenn es auch bei solchen Versuchen auf die größte Genauigkeit ankommt, wird man bei U geschlossen halten, und das Eintreten des Nebenschlusses wird anzeigen, daß der Versuch mißglückt ist.

Der ganze Apparat wird in eine anpassende Kupferhülse (K , Fig. 4) gesteckt, auf die ein Deckel (D) gesetzt wird, der zum Teil aus Ebonit besteht. In dem Ebonitstück befindet sich eine kreisförmige Öffnung, durch die alle Drähte aus dem

1) l. c. p. 17.

Innern der Hülse herausgeführt werden (Fig. 4). Die Drähte werden im Teil, in dem sie sich noch im Bade befinden, mit einem Kautschukschlauch umgeben und die Übergangsstellen von Hülse zu Deckel und von diesem zum Schlauch mit Paraffin ausgegossen, so daß das Ganze wasserdicht ist.

4. *Die Füllung und Eichung des Apparates.* Die Röhre *c* (Fig. 1) hat vor der Füllung die Gestalt der Fig. 5. Man taucht das umgebogene Ende derselben in ein Gefäß mit Hg, vertreibt die Luft durch Erwärmen aus dem Thermometergefäß, worauf beim Wiederabkühlen Hg in dasselbe gelangt.

Fig. 4.

Fig. 5.

Diese Operation wiederholt man so oft, bis sich eine solche Menge von Hg im Apparate befindet, daß beim Herstellen der Fundamentaltemperatur Kontakt von Hg mit dem Draht d_1 entsteht. Dies konstatiert man durch Ansetzen von Leitungsdrähten an d_1 und d_2 , die durch ein Element und ein Galvanoskop verbunden werden. Nun wird das Rohr *c* (Fig. 5) in der Ebene *A A'* abgefeilt, und darauf das Hg in *a* so weit erwärmt, daß es in die übrig gebliebene trichterförmige Erweiterung von *c* aufsteigt. Aus derselben wird mittels einer feinen Pipette eine möglichst kleine Menge von Hg entnommen. Es wird wieder konstatiert, ob bei der Fundamentaltemperatur Kontakt bestehe. Ist dies der Fall, so wird das entnommene Hg einfach beiseite geschafft und der Vorgang wiederholt. Ist kein Kontakt mehr vorhanden, so wird die entnommene Hg-Menge auf einem Uhrglas gewogen, darauf geteilt und der eine Teil, der wieder gewogen wurde, neuerlich in den Apparat gebracht. Dies geschieht einfach in der Weise, daß man das Hg im Apparat durch Erwärmen wieder in die trichterförmige Öffnung steigen und dann die kleine Hg-Menge in dieselbe fallen läßt. Wird nun bei der Fundamentaltemperatur kein Kontakt konstatiert, so teilt man die draußen gebliebene Hg-Menge abermals, und verfährt mit einem Teil derselben wieder

in der angegebenen Weise. Dies setzt man fort, bis man wieder Kontakt erhält. Das übrig gebliebene Hg wird wieder beiseite geschafft und die ganze Operation, beginnend mit der Entnahme einer möglichst kleinen Menge von Hg mittels einer Pipette aus der trichterförmigen Erweiterung wird wiederholt. Nur ist jetzt schon festgestellt, daß die schließlich zu entnehmende Hg-Menge kleiner ist als das zuletzt abgewogene Quecksilberteilchen.

Auf diese Weise läßt sich die Operation so weit fortsetzen, als es die Empfindlichkeit der Wage erlaubt. Tatsächlich gelang es mir bis auf ein übrig bleibendes Hg-Teilchen von 0,0001 g zu gelangen, d. h. es trat bei der Fundamentaltemperatur kein Kontakt ein, wenn dieses Teilchen draußen blieb, dagegen Kontakt, wenn es zugefügt worden wäre. (Man kann sich natürlich stets durch Wägung des ganzen Apparates davon überzeugen, ob kein Hg beim Manipulieren verloren gegangen ist.) Die Erhöhung τ , die die Fundamentaltemperatur erfahren kann, ohne daß es der Apparat anzeigt, läßt sich aus der zuletzt übrig gebliebenen Hg-Menge leicht berechnen. Kennt man den Querschnitt der Kapillaroöffnung und die Verlängerung, die der Hg-Faden in c bei der Temperaturerhöhung um 1° erfährt, so kann man die Hg-Menge, die 1° entspricht, berechnen. In meinem Fall war diese 0,0092 g. 0,0001 g entsprach somit einem τ von nicht ganz $0,011^\circ$. Ist der Apparat so genau als erforderlich gefüllt, so wird er im Querschnitt $B B'$ vorsichtig zugeschmolzen.

Fig. 6.

5. *Form des Apparates bei Änderung der Temperatur nach beiden Richtungen.* Der angegebene Apparat entspricht allen Anforderungen, falls man sicher ist, daß das Eis oder die andere Substanz, deren Schmelzpunkt als Fundamentaltemperatur benutzt wird, rein ist. Ist man dessen nicht sicher, oder will man einen Thermostaten verwenden, so müßte die folgende Form des Apparates zur Anwendung kommen, die Temperaturänderungen nach beiden Richtungen anzeigt.

In dem Querschnitt (Fig. 6) sieht man zwei aneinandergeschmolzene Thermometergefäße a_1 und a_2 , von denen die Kapillarröhren c_1 und c_2 ausgehen. In jede derselben sind

wieder zwei Platindrähte (d_1, d_2, d_3, d_4) eingeschmolzen. Durch die beiden Thermometergefäße führt wieder eine Röhre r , die sich außerhalb derselben U-förmig fortsetzt. Das Gefäß $a_1 c_1$ wird in derselben Weise gefüllt wie der oben angegebene Apparat, also daß erst bei der Temperatur $t + \tau$ Kontakt besteht. Das Gefäß $a_2 c_2$ soll so gefüllt werden, daß bei t Kontakt besteht, bei tieferen Temperaturen aber nicht. Tatsächlich wird aber noch bei einer Temperatur $t - \tau_1$ Kontakt bestehen, und es wird sich wieder darum handeln, τ_1 möglichst klein zu machen. Die Füllung und Eichung wird daher im Prinzip dieselbe sein wie die früher angegebene.

Der Apparat kann in zweierlei Schaltungen gebraucht werden, von denen die eine den Vorzug größerer Einfachheit hat, dagegen unter Umständen eine Fehlerquelle einführt, die der anderen nicht anhaftet. Die erstere Schaltung ist in Fig. 7 skizziert. d_1 und d_3 sind je an einem, d_2 und d_4 an einem gemeinsamen Leitungsdraht befestigt. Die Leitungsdrähte führen, wie aus der Figur ersichtlich, nach den Punkten I, II, III des Thermoelement-Stromkreises. Zwischen I und II und zwischen d_1 und III sind die Unterbrecher U_1 und U_2 eingeschaltet. Wenn Messungen vom wirklichen Fundamentalkpunkt aus gemacht werden sollen, ist in U_1 die Verbindung unterbrochen, in U_2 geschlossen. Man sieht, daß wenn die Temperatur unter $t - \tau_1$ fällt, der Strom des Thermoelementes unterbrochen ist, wenn sie über $t + \tau$ steigt, der Nebenschluß in Funktion tritt.

Fig. 7.

Diese Schaltungsweise bringt die Fehlerquelle mit sich, daß Thermokräfte an den Übergängen Cu- d_4 -Hg- d_3 -Cu auftreten können. Die in Fig. 8 skizzierte Schaltung ist von diesem Übelstand frei. Die von d_1 nach III, und von d_2 über II, U_1 nach I gehenden Leitungen haben dieselbe Funktion wie die entsprechende Leitung in Fig. 3. Der Nebenschluß kann aber auch durch Schließung des Schlüssels U_2 , der zwischen II und III eingeschaltet ist, bewirkt werden. Ob

Fig. 8.

diese Schließung eintritt, wird vom Stand der Quecksilbersäule in c_2 auf folgende Weise abhängig gemacht. Von dem Element E ist durch $d_3 d_4$ und den Elektromagneten S ein Strom gelegt. Solange in c_2 Kontakt zwischen Hg und d_3 besteht, zieht S den Hebelarm H hinab. Hört der Kontakt auf, so schließt sich U_2 . Man muß durch passende Wahl des Elektromagneten und eventuellen Vorschaltwiderstand dafür sorgen, daß die Stromstärke möglichst gering sei, um wesentliche Erwärmungen des Hg zwischen d_3 und d_4 zu vermeiden.

Zürich, Phys. Inst. d. Universität, im Oktober 1904.

(Eingegangen 30. Oktober 1904.)