

549. E. Rimbach: Zur Correction der Thermometerablesungen für den herausragenden Faden.

(Eingegangen am 27. November.)

Ueber die Berechnungsart der bei Temperaturmessungen häufig vorzunehmenden Correction für die durch die Abkühlung veranlasste Depression des aus dem Wärmebade hervorragenden Quecksilberfadens herrscht eine ziemliche Unsicherheit.

An der ursprünglichen Kopp'schen <sup>1)</sup> Formel, die unter Heranziehung der Fadentemperatur die hinzuzufügende Grösse berechnet als

$$\text{corr.} = \alpha n(t - t^1)$$

sind im Laufe der Zeit insofern Abänderungen vorgenommen worden, als Holtzmann <sup>2)</sup> und Thorpe <sup>3)</sup> behufs Verringerung des durch die zu niedrige Bestimmung der Fadentemperatur entstehenden Fehlers an Stelle des wirklichen Werthes von  $\alpha = 0.000154$  die Factoren 0.000135 beziehungsweise 0.000143 in Vorschlag gebracht haben, ersterer gestützt auf einige eigene, letzterer auf s. Z. von Landolt ausgeführte Versuche. Mousson und Wüllner ersetzen aus gleichem Grunde die Fadentemperatur durch die mit grösserer Sicherheit festzustellende Temperatur der umgebenden Luft ( $t^0$ ) und gelangen auf Grund der Gesetze der Wärmeleitung in Stäben zu den Formeln <sup>4)</sup>:

$$\text{corr.} = (t - t^0)(\alpha n - E) \text{ (Mousson),}$$

$$\text{corr.} = (t - t^0) \left( \alpha n - \frac{\alpha}{\lambda \cdot 0.6755 \sqrt{\frac{p}{q}}} \right) \text{ (Wüllner).}$$

In der Mousson'schen Formel, die die Correction nur für ein einzelnes Thermometer liefert, bedeutet  $E$  eine jedem Instrumente eigenthümliche Constante, die sich berechnet aus der Differenz der Ablesungen des in ein Wärmebad abwechselnd vollständig eingetauchten und hervorgezogenen Thermometers, in der Wüllner'schen Formel,

<sup>1)</sup> Kopp, Ann. Chem. Pharm. 94, S. 262 ( $\alpha$  scheinbarer Ausdehnungscoëfficient des Quecksilbers im Glase,  $n$  Zahl der herausragenden Fadengrade,  $t$  Temperatur des Hauptthermometers,  $t^1$  Fadentemperatur am Hülfsinstrument).

<sup>2)</sup> Handwörterbuch der Chemie VII, 368.

<sup>3)</sup> Journ. of the Chem. Soc. 37, 160.

<sup>4)</sup> Mousson, Pogg. Ann. 133, 311; Wüllner, Experiment. Phys. III, S. 379. Die von Wüllner ursprünglich gegebene Formel ist in Obigem einer einfachen Umformung unterzogen, um ihre Analogie mit der Mousson'schen besser hervortreten zu lassen. ( $\lambda$  Länge des einzelnen Thermometergrades in Millimetern,  $p$  Umfang,  $q$  Querschnitt der Quecksilbersäule.)

die zu allgemeinerer Anwendung dienen soll, ist diese Mousson'sche Constante aufgelöst in der directen Messung zugängliche Factoren und den durch specielle Versuche gefundenen numerischen Werth 0.6755 von der Bedeutung  $\sqrt{\frac{h}{k}}$ . (h und k die Coëfficienten der äusseren und inneren Leitungsfähigkeit des Quecksilbers im Glase.) Bei dieser Formel ist die Constanz des letzteren Werthes von vornherein nicht zweifellos, ebenso die Bestimmung des Factors  $\sqrt{\frac{p}{q}}$  bei dem mehr oder weniger flachen Lumen der neueren Thermometercapillaren mit Sicherheit kaum durchführbar. Im Hinblick auf diese Sachlage erschien eine erneute experimentelle Prüfung der Frage wünschenswerth; die durch die Einführung des Jenaer Glases erzielte grössere Einheitlichkeit der Thermometersubstanz liess die Aussicht begründet erscheinen, auf rein empirischem Wege zu zuverlässigen Correctionswerthen von allgemeinerer Gültigkeit zu gelangen. Ich habe diese Arbeit unternommen, beschränke mich aber, indem ich Versuchsreihen und Berechnungen an anderem Orte gebe, an dieser Stells auf eine gedrängte Uebersicht des Verfahrens und der erzielten Resultate.

Verwendet wurden 13 Thermometer aus Jenaer Glas, theils Stab-, theils Einschlussthermometer, 10 sogenannte chemische bis zu  $360^{\circ}$  in ganze Grade, 3 sogenannte Normalthermometer, bis zu  $100^{\circ}$  in  $\frac{1}{10}$  Grade getheilt; die Grادلänge betrug 1—1.6, beziehungsweise 4 mm. Vor den Versuchen wurden sämtliche Instrumente nach dem Verfahren von Neumann-Thiesen<sup>1)</sup> durchcalibriert und ihre Fixpunkte und Eispunktsdepressionen für verschiedene Temperaturen bestimmt; eine Vergleichung der Thermometer unter Anbringung der auch bei allen späteren Ablesungen in Anwendung gezogenen Correctionen für den Caliberfehler, Nullpunkt und Gradwerth ergab alsdann bis zu Temperaturen von  $230^{\circ}$  den mittleren Fehler der einzelnen Messung zu  $\pm 0.10^{\circ}$ . Alle Ablesungen wurden vorgenommen mittelst Fernrohres, das durch Einstellen des Fadenkreuzes eine Schätzung von  $\frac{1}{20}$  beziehungsweise  $\frac{1}{50}^{\circ}$  ermöglichte.

Der Versuchsgang war folgender. Die Thermometer führte man in passenden Intervallen (von 20 zu 20 Fadengraden) in die Dämpfe constant siedender Flüssigkeiten ein bis zum vollständigen Verweilen des Quecksilberfadens im Wärmebade; die letzte Ablesung ergab die wirkliche Temperatur, aus der Differenz zwischen dieser und den vorherigen Ablesungen war dann die Correction zu berechnen. Als Siedeflüssigkeiten dienten neben Wasser Xylol ( $140^{\circ}$ ), Anilin ( $180^{\circ}$ ), Thymol ( $230^{\circ}$ ); durch geeignete Vorkehrungen gelang es, die Tempe-

<sup>1)</sup> M. Thiesen, Carl's Rep. f. Exp. Phys. 15, 285.

ratur in den Siedefässen während der ganzen mehrstündigen Dauer einer Versuchsreihe bis auf  $0.10^{\circ}$  constant zu erhalten.

Neben den Angaben des Haupt- und Luftthermometers wurde stets auch die Fadentemperatur am Hülfsinstrument bestimmt.

Aus den zahlreichen Versuchsreihen ergab sich für die höhergehenden Thermometer, dass Stabthermometer, wohl in Folge der durch den massiven Stab leichter vor sich gehenden Wärmeableitung, im allgemeinen grössere Depressionen zeigten als Einschlussthermometer, und dass diese Depressionen innerhalb der beiden Klassen von Instrumenten bis zu einer Temperatur von  $180^{\circ}$  mit den Dimensionen, also der Grادلänge der Thermometer stiegen. Bei höherer Temperatur als  $180^{\circ}$  verschwand der Einfluss der Grادلänge. Es konnten also nur Instrumente von annähernd gleichen Dimensionen mit einander verglichen werden und man wählte hierzu von Einschlussthermometern eine Gruppe von ca. 1 mm, von Stabthermometern eine solche von 1—1.5 mm Grادلänge. Die mit diesen Instrumenten erhaltenen Zahlen wurden in der Weise zur Berechnung der Correctionen benutzt, dass man das Verhältniss zwischen der jeweiligen Depression und der Differenz zwischen abgelesener Temperatur und Temperatur der äusseren Luft für die verschiedenen  $n$  ermittelte und dann Interpolationsformeln aufstellte, die den Gang der für diese Quotienten gefundenen Mittelzahlen für jede Temperaturstufe ausdrückten. Graphisch aufgetragen, mit den entsprechenden  $n$  als Abscissen, lieferten die Quotienten aufwärts gerichtete ziemlich flache parabolische Curven von für jede Temperaturstufe anderer Krümmung; dieselben waren durch dreiconstantige Formeln der gewöhnlichen Form genügend genau ausdrückbar. Mittelst dieser Formeln und Zuhülfenahme der graphischen Interpolation für die Zwischenstufen wurden endlich, der bequemeren Handhabung halber, zwei Tabellen ausgearbeitet, welche die Correction ohne Weiteres entnehmen lassen. Dieselben finden sich angehängt und geben, wie die Rechnung zeigte, die wirkliche Temperatur mit Fehlern wieder, die selbst in höheren Temperaturen nur in einzelnen extremen Fällen  $0.10$ — $0.15^{\circ}$  übersteigen.

In gleicher Weise, wie für die höhergehenden Instrumente stellte man für die bis  $100^{\circ}$  gehenden sogenannten Normalthermometer mit einer Grادلänge von ca. 4 mm Versuchsreihen an unter Benutzung von Wasser und Chloroform als Siedeflüssigkeiten. Bei diesen Instrumenten war ein Unterschied der Depressionen zwischen Stab- und Einschlussthermometern nicht bemerkbar. Die Resultate dieser Reihen, in angeführter Weise berechnet und verwerthet, finden sich in Tabelle III, deren Abweichung von der wirklichen Temperatur durchschnittlich  $\pm 0.02$  ausmacht.

## Tabelle III.

Correctionen für den herausragenden Faden  
bei sog. Normalthermometern aus Jenaer Glas (Stab- und Einschluss-)  
0—100° in  $\frac{1}{10}^0$  getheilt. Gradlänge circa 4 mm.

$t-t^0=$	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	$=t-t^0$
n = 10	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.10	10=n
20	0.12	0.12	0.13	0.14	0.15	0.16	0.17	0.18	0.19	0.20	0.22	0.23	20
30	0.21	0.22	0.23	0.24	0.25	0.25	0.27	0.29	0.31	0.33	0.35	0.37	30
40	0.28	0.29	0.31	0.33	0.35	0.37	0.39	0.41	0.43	0.45	0.48	0.51	40
50	0.36	0.38	0.40	0.42	0.44	0.46	0.48	0.50	0.53	0.57	0.61	0.65	50
60	0.45	0.48	0.51	0.53	0.55	0.57	0.60	0.63	0.66	0.69	0.73	0.78	60
70						0.66	0.69	0.71	0.75	0.81	0.87	0.92	70
80							0.76	0.81	0.87	0.93	1.00	1.06	80
90								0.92	0.99	1.06	1.13	1.20	90
100									1.10	1.18	1.26	1.34	100

Auf Grund des gewonnenen reichlichen Materials wurden endlich noch die oben aufgeführten Correctionsformeln einer Prüfung unterzogen; die Ergebnisse lassen sich in folgende Sätze zusammenfassen.

1. Die Correction nach Kopp, beziehungsweise Holtzmann und Thorpe liefert bei langen Fäden zu niedrige, bei kurzen zu hohe Werthe; besonders macht sich ersterer Fehler geltend bei dem Thorpe'schen und Holtzmann'schen Factor, wo die Differenzen unter Umständen über einen Grad betragen können.

2. Die Mousson'sche Constante ist für die hochgehenden Thermometer keine constante Grösse, ihr Gang für die verschiedenen n stellt vielmehr eine Curve dar, die rasch zu einem Maximum ansteigt, um dann langsamer, bei manchen Temperaturstufen bis unter die Abscissenaxe, hinabzusinken; sie würde also gegebenen Falls nicht durch eine einfache Zahl, sondern durch eine mehrconstante Gleichung auszu-drücken sein. Die Bestimmung der Constante nach Mousson's Vorschlag, durch einmaliges Eintauchen und Hervorziehen des Instrumentes, kann je nach der gewählten Grundtemperatur Fehler bis zu  $0.7^0$  hervorrufen.

3. Wie die Mousson'sche ganze Constante, so ist auch der Wüllner'sche Werth für  $\sqrt{\frac{h}{k}}$  variabel; auch bei Verwendung dieser Formel müsste also, um genaue Resultate zu erlangen, dieser Veränderlichkeit in entsprechender Weise Rechnung getragen werden.

Berlin. Laboratorium des Hrn. Prof. Landolt.