

## 10. *Ein akustisches Thermometer für hohe und niedrige Temperaturen; von G. Quincke.*

---

Bekanntlich sind die in Wissenschaft und Praxis gebräuchlichen Thermometer mit erheblichen Fehlerquellen belastet, welche besonders von der Verbindung des eigentlichen Thermometers mit dem Beobachtungsraume herrühren, der gewöhnliche Zimmertemperatur hat. Bei den Luftthermometern kommt die Schwierigkeit hinzu, die birnförmigen Luftbehälter aus Porzellan oder anderem feuerbeständigen Material herzustellen, das für längere Zeit bei hohen Temperaturen seine Dimensionen nicht ändert und für Gase undurchlässig ist.

Die Methode der Temperaturmessung mit dem Thermo-element ist in neuerer Zeit von Le Chatelier<sup>1)</sup> wieder empfohlen und durch die Untersuchungen von L. Holborn und W. Wien<sup>2)</sup> in der Physikalisch-technischen Reichsanstalt über die electromotorische Kraft des Thermo-elementes Platin-10 proc. Rhodium-Platinlegirung wesentlich gefördert worden. Die Methode ist auch brauchbar und empfehlenswerth, sobald es sich um Temperaturmessung einer kleinen Flamme oder eines kleineren Raumes handelt, der nur durch eine kurze Strecke veränderlicher Temperatur von dem Raume mit den electrischen Messinstrumenten getrennt ist. Müssen aber die Verbindungsdrähte von dem Thermo-element im Ofen, dessen Temperatur gemessen werden soll, durch lange, oft Meter lange, Strecken von veränderlicher Temperatur nach aussen geführt werden, so stören die in diesen Verbindungsdrähten auftretenden, von G. Magnus<sup>3)</sup> und Sir William Thomson<sup>4)</sup> beschriebenen thermoelectrischen Kräfte und veranlassen Fehler,

---

1) Le Chatelier, Journ. de physique (2) **6.** p. 26. 1887.

2) L. Holborn u. W. Wien, Wied. Ann. **47.** p. 107. 1892; **56.** p. 360. 1895.

3) G. Magnus, Pogg. Ann. **83.** p. 469. 1851.

4) W. Thomson, Math. Phys. Papers **2.** p. 270; Phil. Trans. 1856. **3.** p. 711.

die sich nicht bestimmen lassen und unter ungünstigen Verhältnissen  $50^\circ$  und mehr betragen sollen.

Von diesen Fehlerquellen frei ist folgende Methode, welche die Temperatur einer Luftmasse mit der Schallgeschwindigkeit in dieser Luft oder der Wellenlänge eines Tones von constanter Tonhöhe bestimmt. Die Wellenlänge wird mit einem gewöhnlichen Millimetermaassstab gemessen an einem sehr einfachen Interferenzapparat von ähnlicher Construction, wie ich ihn früher<sup>1)</sup> für die Interferenz directer und reflectirter Wellen beschrieben habe. Derselbe lässt sich aus Glas, Porzellan, Eisen, Thon oder anderem feuerfesten Material leicht herstellen und bequem in den Heizraum einführen. Als Tonquelle benutze ich gewöhnliche Stimmgabeln von Dr. R. König in Paris auf hölzernen Resonanzkästen, welche mit dem Violinbogen angestrichen werden, mit 250 bis 600 ganzen Schwingungen in der Secunde und Wellenlängen von 1360 bis 567 mm in Luft von mittlerer Temperatur (etwa  $c_1$  bis  $c_2$  der temperirten Tonleiter entsprechend).

Der Interferenzapparat besteht aus zwei geraden Röhren, der weiten *Interferenzröhre* und dem engeren Hörrohr. Die Interferenzröhre von 40—150 cm Länge und 1—5 cm Durchmesser ist an einem Ende geschlossen. In diese Interferenzröhre wird das an beiden Enden offene Hörrohr aus Glas oder Metall, oder feuerfestem Material von 1—2 m Länge, 4—6 mm innerem Durchmesser und 0,75—1,5 mm Wandstärke eingeschoben, dessen freies aus der Interferenzröhre hervorstehendes Ende durch einen schwarzen Kautschukschlauch von 120 cm Länge, 5 mm innerem Durchmesser und 2 mm Wandstärke mit dem Ohr des Beobachters durch Einstecken in den äusseren Gehörgang fest verbunden wird.

Das Hörrohr kann auf der Innenwand der horizontalen Interferenzröhre aufliegen oder durch aufgeschobene Dreiecke aus 1—2 mm dickem Metalldraht in der Axe der Interferenzröhre angebracht werden. Die Enden der Drahtdreiecke werden mit Astbestschnur umwickelt, um das kratzende Geräusch beim Verschieben des Hörrohres zu vermeiden.

Man stellt das offene Ende des Resonatorkastens der

---

1) G. Quincke, Pogg. Ann. 128. p. 190 und Taf. VI. Fig. 6. 1866.

tönenden Stimmgabel vor der Mündung der Interferenzröhre auf, schiebt das Hörrohr so tief als möglich in die Interferenzröhre ein, legt neben das Hörrohr eine Millimetertheilung, zieht das Hörrohr allmählich aus der Interferenzröhre heraus und liest die Verschiebung oder die Länge  $a$  der Luftsäule zwischen Boden der Interferenzröhre und Ende des Hörrohres an der Millimetertheilung ab. Die Tonstärke ist ein Maximum, Minimum, Maximum etc., wenn die Strecke  $a$  0, 1, 2, 3 etc. Viertelwellenlängen des betreffenden Tones beträgt. Bei einiger Uebung lässt sich  $a$  bis auf 0,5—0,1 mm genau bestimmen.

Nennt man  $n$  die Schwingungszahl der Stimmgabel,  $b$   $b_0$  die Schallgeschwindigkeit in Luft,  $\lambda$   $\lambda_0$  die Wellenlänge des Tones,  $a$   $a_0$  die am Millimetermaassstab gemessene Luftstrecke für dieselben Maxima oder Minima der Tonstärke bei  $\tau^0$  und  $0^0$ ,  $\alpha = 1/273$  den thermischen Ausdehnungscoefficienten der Luft, so ist

$$(1) \quad \begin{cases} n\lambda = b = b_0 \sqrt{1 + \alpha\tau} \\ n\lambda_0 = b_0 \end{cases}$$

und daraus durch Division

$$(2) \quad \begin{cases} \frac{a^2}{a_0^2} = \frac{\lambda^2}{\lambda_0^2} = \frac{b^2}{b_0^2} = 1 + \alpha\tau \\ \tau = \frac{a^2 - a_0^2}{a_0^2} \cdot 273 \end{cases}$$

und angenähert

$$(3) \quad \tau = (a - a_0) \frac{546}{a_0}.$$

$a_0$  ist nahezu 546 mm für eine halbe Wellenlänge des Tones von 300 Schwingungen in 1 Sec. bei Zimmertemperatur. Misst man also für diesen Ton die Verschiebung  $a$  und  $a_0$  des Hörrohres für zwei benachbarte Minima (oder Maxima) der Tonstärke bei  $\tau^0$  und  $\tau_0^0$ , so giebt der in Millimetern gemessene Unterschied  $a - a_0$  direct den Temperaturunterschied  $\tau - \tau_0$  in Centesimalgraden.

Diese Temperaturmessung setzt nur voraus, dass die Luft zwischen dem Boden der Interferenzröhre und dem Ende des Hörrohres constante Temperatur hat. Dieselbe ist unabhängig von der Temperaturvertheilung in der übrigen Luftmasse der Interferenzröhre und des Hörrohres und von dem absoluten

Werth der Schallgeschwindigkeit in der Interferenzröhre oder der Schwingungszahl der benutzten Stimmgabel.

Nach G. Kirchhoff<sup>1)</sup> ist die Schallgeschwindigkeit  $b$  in Röhren vom Durchmesser  $2r$  aus der Schallgeschwindigkeit  $V$  in freier Luft durch die Gleichung zu berechnen

$$b = V \left( 1 - \frac{\gamma}{2r\sqrt{\pi n}} \right),$$

wo  $\gamma$  eine von der inneren Reibung und der Wärmeleitung des Gases abhängige Constante bezeichnet.

Die Gl. (1) oder (2) würde also nur in aller Strenge richtig sein, wenn das Verhältniss der specifischen Wärmen bei constantem Druck und constantem Volumen, wenn Klebrigkeit und Wärmeleitung der Luft, und wenn der thermische Ausdehnungscoefficient der Luft für das Temperaturintervall von  $\tau^0$  bis  $0^0$  constant sind.

Wieweit diese Annahmen richtig sind, ist bis jetzt nicht bekannt und kann nur durch directe Messungen der Schallgeschwindigkeit oder Wellenlänge bei verschiedenen Temperaturen ermittelt werden. Dabei ist zu beachten, dass auch die Temperaturmessung mit dem Luftthermometer die Constanz von  $\alpha$  für das Temperaturintervall von  $\tau^0$  bis  $0^0$  voraussetzt.

Ich habe das im vorstehenden beschriebene akustische Thermometer brauchbar gefunden bei Temperaturen von  $100^0$  bis  $750^0$ . Höhere Temperaturen standen mir bisher nicht zur Verfügung, doch zweifle ich nicht, dass dasselbe mit Röhren aus feuerfestem Thon auch für die höchsten Ofentemperaturen der Technik wird benutzt werden können.

In der folgenden Tabelle gebe ich einige Beispiele von Messungen, die im Sommer 1896 angestellt wurden; für Nr. 1, 2, 3 und 5 von Hrn. A. Macphail im hiesigen physikalischen Institut; für Nr. 4 von mir selbst in der Chemischen Fabrik Rhenania in Stolberg bei Aachen.

Um Luftströmungen durch Dichtigkeitsunterschiede zu vermeiden, wurde bei diesen Versuchen das geschlossene Ende der Interferenzröhre etwas höher gelegt, als das offene Ende.

1) G. Kirchhoff, Ges. Abhandl. p. 554 und Pogg. Ann. 134. p. 191. 1868.

Die ersten drei Columnen der Tabelle geben inneren Durchmesser, Länge und Wanddicke der Interferenzröhre. Das Hörrohr bestand bei den Versuchen mit gläserner Interferenzröhre ebenfalls aus Glas; bei den anderen Apparaten aus Messing.

Bei Nr. 1 war die Interferenzröhre auf einer Strecke von 75 cm von einem 4 cm weiten Glasmantel (Liebig'schem Kühler) umgeben, durch welchen Dämpfe von kochendem Wasser hindurch strömten. Die Temperatur  $\tau$  wurde aus dem Barometerstande berechnet.

Bei Nr. 2 lag die Interferenzröhre aus schwer schmelzbarem Glase in einem 1 m langen Verbrennungsofen. Die Temperatur wurde gleichzeitig an sechs verschiedenen, 10 cm auseinander liegenden Stellen in der Axe der Interferenzröhre mit einem Thermolemente Platin | 10 proc. Rhodium-Platinlegirung bestimmt. Das Thermolement war mit den Siedepunkten von Diphenylamin und Schwefel geaicht, wie es von McCrae<sup>1)</sup> beschrieben worden ist, unter Berücksichtigung der von Holborn und Wien gefundenen Temperaturcoefficienten.

Bei Nr. 3 bestand die Interferenzröhre aus glasirtem Berliner Porzellan.

Bei Nr. 4 konnte ich einen Sulfatofen der Chemischen Fabrik Rhenania in Stolberg bei Aachen benutzen. Ich bestimmte die Temperatur der Chamottemuffel, welche von der Fabrikleitung zu 600° angegeben wurde.

#### Temperaturmessungen mit Interferenzröhre.

2 r	l	D	n	a	$\tau$	$\alpha - \alpha_0$	$\tau - \tau_0$	
							beob.	ber.

$$a = \frac{\lambda}{2}$$

#### 1. Glasrohr im Dampfbad.

cm	cm	cm		mm		mm		
2,10	92	0,1	300	648,1	99,7°			
2,10	92	0,1	300	568,2	19,1	79,9	80,6°	81,1°
1,45	90	0,1	300	648,3	99,7			
1,45	90	0,1	300	568,8	19,4	79,5	80,3	81,6
1,45	90	0,1	600	321,0	99,7			
1,45	90	0,1	600	283,0	19,4°	38,0	80,3	78,2

1) Mc Crae, Wied. Ann. 55. p. 95. 1895.

2r	l	D	n	a	τ	a - a <sub>0</sub>	τ - τ <sub>0</sub>	
							beob.	ber.

$$a = \frac{\lambda}{4}$$

## 2. Schwer schmelzbares Glasrohr im Gasofen.

cm	cm	cm		mm		mm		
1,5	120	0,15	326	440,8	521,3			
1,5	120	0,15	326	259,2	19	181,6	502,3	517,1
1,5	120	0,15	512	285,0	521,3			
1,5	120	0,15	512	168,0	19	117,0	502,3	512,8

## 3. Porzellanrohr im Gasofen.

1,0	40	0,2	512	295,0	?			
1,0	40	0,2	512	170,3	23,0	124,7		546,1

## 4. Eisenrohr im Sulfatofen.

3,9	150	0,4	261	566,0	(600)	244	(580)	570,5
3,9	150	0,4	261	322,0	20			

## 5. Eisenrohr im Holzkohlenofen.

1,8	112	0,4	512	324,2	?			
1,8	112	0,4	512	167,1	18,8	157,1		754,7

Heidelberg, den 21. Juli 1897.