8. Die specifischen Wärmen c_p und c_v einiger quasi-isotroper Metalle; von W. Voigt.

(Aus den Nachr. von der Kgl. Ges. d. Wiss. zu Göttingen Nr. 6, 1893.)

Die im Folgenden mitgetheilten Beobachtungen bilden die Fortsetzung der früher veröffentlichten Untersuchungen ¹⁾, welche den Zweck haben, für gewisse leidlich gut definirte Substanzen eine möglichst grosse Zahl physikalischer Constanten zu gewinnen.

Die specifischen Wärmen c_p bei constantem Druck wurden nach der *Mischungsmethode* bestimmt. Das aus dünnem Kupferblech gefertigte Calorimeter war an gespannten Seidenfäden aufgehängt und mit einem Kupfermantel umgeben, um den Wärmeaustausch mit der Umgebung möglichst zu verringern; ein kleiner Turbinenrührer erhielt die Calorimeterflüssigkeit in lebhafter Circulation. Infolge dessen geschah der Ausgleich der Temperatur zwischen dem eingeworfenen Körper und der Flüssigkeit ausserordentlich schnell und fast ohne Nebenverlust, und dieser Umstand dispensirte von der Anwendung der strengen Theorie, die man Hrn. F. Neumann ²⁾ verdankt. Es genügte vollständig das folgende angenäherte Verfahren.

Die Anfangstemperatur der Calorimeterflüssigkeit wurde ein wenig unterhalb der Temperatur des Beobachtungsraumes gebracht, sodass nach Einführung des untersuchten Körpers die Temperatur des Calorimeters ein Maximum etwas oberhalb der Temperatur der Umgebung erreichte und dann allmählich fiel.

Das Maximum würde etwas höher gewesen sein, wenn gar keine Wärmeabgabe an die Umgebung stattgefunden hätte; es war also wegen dieses Umstandes zu corrigiren, durch Zufügung desjenigen Temperaturfalles, welchen das Calorimeter erlitten haben würde, wenn man es die Zeit hindurch, welche

1) W. Voigt, Abh. d. Kgl. Ges. d. Wiss. z. Göttingen 38. 1892; Wied. Ann. 47. p. 671. 1892; 48. p. 674. 1893; 49. p. 396. 1893.

2) Vgl. Pape, Pogg. Ann. 120. p. 337. 1863.

die Erreichung des Maximums erforderte, bei dem arithmetischen Mittel derjenigen Temperaturen, die es wirklich in jener Periode besass, der Ausstrahlung überlassen hätte.

Die Correction bestimmte sich folgendermaassen.

Direct beobachtet wurde der Temperaturfall τ des Calorimeters pro Minute *vor* Einführung des untersuchten Körpers und τ' längere Zeit *nach* Erreichung des Maximums, wo dann das Gefälle wieder constant war; ausserdem die ungefähre Zeit T , die von der Einführung bis zur Erreichung des Maximums verfloss. Die beiden Temperaturfälle (der erste negativ und meist fast verschwindend, der zweite positiv) betrugen stets nur wenige Hundertel Grad, die Zeit T bis zur Erreichung des Maximums meist nahe eine Minute.

Durch besondere Messungen, bei denen die Temperatur von Viertelminute zu Viertelminute abgelesen wurde, liess sich constatiren, dass die mittlere Temperatur des Calorimeters während der Periode des Ausgleichs nahe $= \frac{1}{4}(3\vartheta' + \vartheta)$ betrug, falls ϑ die Anfangs-, ϑ' die Maximaltemperatur bezeichnet. Hiernach betrug also, falls T genau eine Minute war, die anzubringende Correction $\frac{1}{4}(3\tau' + \tau)$, und war im anderen Falle nur im Verhältniss des geänderten T zu verkleinern oder zu vergrössern. Ich habe mich überzeugt, dass dies Verfahren innerhalb der Grenzen der directen Beobachtungsfehler ($0,005^\circ - 0,01^\circ$) mit dem Resultate der Theorie übereinstimmt.

Die Vorwärmung des untersuchten Körpers geschah in dem bekannten Neumann'schen „Hahn“, der indess eine nicht unwichtige Abänderung erlitten hatte, welche die Bequemlichkeit seiner Anwendung vergrössert (vgl. Fig. 1).

Es stand nämlich der *innere* Theil (J), das sogenannte „Hahnküken“ *fest*, der *äussere*, der Mantel (A), wurde *gedreht*; die Oeffnung (die „Kammer“ K), welche den Körper aufnahm, durchsetzte den inneren Theil vollständig von oben bis unten, und hierdurch war erreicht, dass man die Neufüllung des Apparates vornehmen konnte, ohne ihn vom Gestell zu nehmen und umzukehren; die ursprüngliche Neumann'sche Anordnung gestattet dies nicht.

Um die in der Kammer befindlichen Körper nicht mit dem Schmiermittel, welches sich zwischen den beiden Theilen

des Hahnes befand, in Berührung kommen zu lassen, war die Kammer nach unten durch eine leichte, fallthürartige Klappe k geschlossen, die sich von selbst öffnete, wenn durch Drehung des Mantels dessen Oeffnung (O) unter die Klappe gelangte, und sich von selbst schloss, wenn man den Mantel zurückbewegte.

Das in der Kammer befindliche Thermometergefäß t war meist ganz von den eingeführten Metallstücken umgeben, gab also deren Temperatur ziemlich genau an. Um einen etwaigen

Fig. 1.

Fehler zu verringern, wurden die Metallstücke in einem Luftbade vorgewärmt und bald auf *höherer*, bald auf *niedrigerer* Temperatur, als dem jeweiligen Siedepunkte des Wassers, in die Kammer eingeführt. Ein Einfluss dieses Umstandes auf die Beobachtungsergebnisse hat sich nicht constatiren lassen; man kann also ziemlich sicher sein, dass die Temperatur der erhitzten Körper richtig bestimmt ist.

Liess man die Metallstücke aus der Kammer in das Calorimeter fallen, so spritzte meist ein nicht bestimmbares Quantum der Flüssigkeit heraus. Dieser Uebelstand wurde beseitigt durch Aufstellung eines flachen, unten mit Draht-

gaze geschlossenen Körbchens innerhalb des Calorimeters, das oberflächlich in die Flüssigkeit tauchte, um deren Temperatur wirklich anzunehmen, und, sowie die Metallstücke hineingefallen waren, durch eine einfache Vorrichtung zum Untersinken gebracht werden konnte. In der halben Höhe des Calorimeters wurde das Körbchen durch einen Widerhalt aufgefangen, und nun durch den Turbinenrührer der Flüssigkeitsstrom von *unten nach oben* durch die Zwischenräume zwischen den Metallstücken hindurchgetrieben. Etwas tiefer befand sich das Gefäss des Thermometers, welches bei dieser Einrichtung nur von *der* Flüssigkeit bespült wurde, die von den heissen Metallstücken aus den Weg nach oben und dann durch das Turbinenrohr hinab zurückgelegt hatte. Auf diese Weise gab das Thermometer sehr nahe die mittlere Temperatur der Calorimeterflüssigkeit an; dies hätte nicht stattgefunden, wenn der Flüssigkeitsstrom von den Metallstücken direct abwärts zu dem nur wenig tieferen Thermometer gegangen wäre. In der That zeigte das Thermometer bei der letzteren Anordnung einen ganz unregelmässigen Verlauf, zuerst ein Emporschiessen bis weit über die Mischungstemperatur und dann ein ungleichförmiges Fallen, — bei der ersteren Anordnung verhielt es sich ganz der Theorie gemäss.

Einige Versuche, bei denen das Calorimeter in derselben Weise, wie zum Auffangen der erhitzten Körper, unter den Hahn geschoben, der Hahn aber nicht geöffnet wurde, ergaben, dass während des kaum eine Secunde dauernden Aufenthaltes des Calorimeters unterhalb des erhitzten Hahnes keine sicher nachweisbare Erwärmung des ersteren durch Strahlung stattfand.

Bei Aufzählung der kleinen Kunstgriffe, durch welche die Genauigkeit und Bequemlichkeit der Beobachtung gefördert wurde¹⁾, will ich die Lupe nicht übergehen, die zur Ablesung der Thermometer diente; sie ist in dieser Anordnung schon viele Jahre in dem Laboratorium in Königsberg und Göttingen im Gebrauch, aber, wie ich mich überzeugt habe, sonst sehr wenig bekannt. Ihr Zweck ist, die Parallelaxe nahe

1) Ein Theil derselben ist schon bei den von Hrn. Sella im hiesigen physikalischen Institut angestellten Beobachtungen zur Anwendung gekommen (vgl. Gött. Nachr. 1891. p. 311).

vollständig zu vermeiden; die dazu getroffene Einrichtung gibt die Fig. 2. Der Meniskus des Quecksilberfadens wird in die Mitte zwischen die beiden Drähte dd gebracht, das Knöpfchen k jederzeit *demselben* Ende, z. B. dem Gefäß des Thermometers, zugewandt.

Das im Calorimeter befindliche Thermometer war in $1/10$ Grad getheilt und gestattete die Schätzung von $0,005^\circ$; es war durch sorgfältige Vergleichung mit einem in der physikalischen Reichsanstalt geprüften berichtigt. Das Thermometer, welches zur Bestimmung der Temperatur der erhitzten Körper im Hahne diente, war nur in Grade getheilt, und gestattete die Schätzung von $0,05^\circ$; seine Angabe wurde durch mehrmalige Vergleichung mit dem aus dem Barometerstande berechneten Siedepunkt corrigirt.

Die untersuchten Metalle sind dieselben, über deren Herkunft und Reinheit in einer früheren Arbeit¹⁾ berichtet ist; aus den, früher benutzten, unmittelbar benachbarten Partien der Gussstücke wurden kleine, nahezu würfelförmige

Fig. 2.

Stücke von ca. $(7 \text{ mm})^3$ Inhalt ausgeschnitten und die Kanten mit der Feile leicht gerundet.

In den folgenden Beobachtungstabellen bezeichnet m die Masse des untersuchten Körpers, M den Wasserwerth des gefüllten Calorimeters mit Rührer, Körbchen und Thermometer. ϑ ist die Anfangstemperatur des Calorimeters, Θ der erhitzten Körper, ϑ' die bereits corrigirte Mischungstemperatur; aus diesen Zahlen ist nach der Formel

$$m c (\vartheta' - \vartheta) = M C (\Theta - \vartheta')$$

c d. h. c_p berechnet. Wegen der noch immer vorhandenen Unsicherheit über den Werth der specifischen Wärme des Wassers habe ich c durch deren mittleren Werth bei der Temperatur $(\vartheta + \vartheta')/2$ ausgedrückt. Die gefundenen Resultate besitzen eine Sicherheit von wenigen pro Mille.

1) W. Voigt, Gött. Abb. 38. 1892; Wied. Ann. 48. p. 675. 1893.

Aluminium.

$$\begin{array}{l}
 m = 25,05, M = 127,6, \vartheta = 16,710, \Theta = 99,60, \vartheta' = 20,040, c = 0,2132. C \\
 m = 25,05, M = 111,8, \vartheta = 16,405, \Theta = 99,35, \vartheta' = 20,205, c = 0,2143. C \\
 m = 16,40, M = 127,6, \vartheta = 17,990, \Theta = 99,60, \vartheta' = 20,190, c = 0,2156. C \\
 m = 24,24, M = 127,6, \vartheta = 16,235, \Theta = 99,65, \vartheta' = 19,505, c = 0,2148. C
 \end{array}$$

Mittelwerth: $c_p = (0,2145 \pm 0,0003). C_{18,4}$.

Bronze.

$$\begin{array}{l}
 m = 69,67, M = 127,6, \vartheta = 18,250, \Theta = 99,50, \vartheta' = 21,940, c = 0,0871. C \\
 m = 55,25, M = 127,6, \vartheta = 15,750, \Theta = 99,50, \vartheta' = 18,815, c = 0,0877. C \\
 m = 69,67, M = 127,6, \vartheta = 15,265, \Theta = 99,60, \vartheta' = 19,100, c = 0,0873. C
 \end{array}$$

Mittelwerth: $c_p = (0,08737 \pm 0,00012). C_{18,3}$.

Kadmium.

$$\begin{array}{l}
 m = 58,68, M = 127,6, \vartheta = 17,095, \Theta = 98,80, \vartheta' = 19,095, c = 0,0546. C \\
 m = 58,68, M = 127,6, \vartheta = 15,970, \Theta = 98,80, \vartheta' = 18,020, c = 0,0552. C \\
 m = 58,68, M = 127,6, \vartheta = 15,335, \Theta = 99,20, \vartheta' = 17,400, c = 0,0549. C
 \end{array}$$

Mittelwerth: $c_p = (0,0549 \pm 0,0001). C_{17,1}$.

Eisen.

$$\begin{array}{l}
 m = 55,04, M = 127,6, \vartheta = 18,440, \Theta = 98,80, \vartheta' = 22,265, c = 0,1159. C \\
 m = 55,04, M = 127,6, \vartheta = 17,165, \Theta = 98,80, \vartheta' = 21,070, c = 0,1165. C \\
 m = 55,04, M = 127,6, \vartheta = 16,570, \Theta = 98,90, \vartheta' = 20,470, c = 0,1153. C
 \end{array}$$

Mittelwerth: $c_p = (0,1159 \pm 0,0002). C_{19,3}$.

Gold.

$$\begin{array}{l}
 m = 22,75, M = 127,6, \vartheta = 15,710, \Theta = 99,15, \vartheta' = 16,150, c = 0,0297. C \\
 m = 36,36, M = 127,6, \vartheta = 17,185, \Theta = 99,15, \vartheta' = 17,880, c = 0,0300. C \\
 m = 36,36, M = 127,6, \vartheta = 18,165, \Theta = 98,80, \vartheta' = 18,865, c = 0,0307. C \\
 m = 36,36, M = 127,6, \vartheta = 17,990, \Theta = 98,80, \vartheta' = 18,690, c = 0,0307. C
 \end{array}$$

Mittelwerth: $c_p = (0,0303 \pm 0,0002). C_{17,6}$.

Kupfer.

$$\begin{array}{l}
 m = 98,40, M = 111,52, \vartheta = 14,380, \Theta = 99,10, \vartheta' = 20,730, c = 0,0918. C \\
 m = 101,92, M = 111,52, \vartheta = 15,585, \Theta = 99,40, \vartheta' = 22,075, c = 0,0918. C \\
 m = 90,25, M = 136,50, \vartheta = 16,040, \Theta = 99,25, \vartheta' = 20,850, c = 0,0928. C \\
 m = 92,52, M = 111,52, \vartheta = 16,050, \Theta = 99,40, \vartheta' = 22,005, c = 0,0928. C
 \end{array}$$

Mittelwerth: $c_p = (0,0928 \pm 0,0002). C_{18,7}$.

Magnesium.

$$\begin{array}{l}
 m = 10,84, M = 127,6, \vartheta = 17,885, \Theta = 99,45, \vartheta' = 19,570, c = 0,248. C \\
 m = 10,84, M = 127,6, \vartheta = 13,920, \Theta = 99,25, \vartheta' = 15,695, c = 0,250. C \\
 m = 10,84, M = 127,6, \vartheta = 15,905, \Theta = 99,25, \vartheta' = 17,585, c = 0,242. C \\
 m = 10,84, M = 127,6, \vartheta = 17,625, \Theta = 99,30, \vartheta' = 19,285, c = 0,246. C
 \end{array}$$

Mittelwerth: $c_p = (0,246 \pm 0,001). C_{17,2}$.

Messing.

$$\begin{array}{l}
 m = 72,93, M = 127,6, \vartheta = 16,200, \Theta = 99,50, \vartheta' = 20,370, c = 0,0922. C \\
 m = 72,93, M = 127,6, \vartheta = 16,555, \Theta = 99,50, \vartheta' = 20,675, c = 0,0915. C \\
 m = 72,93, M = 127,6, \vartheta = 15,865, \Theta = 99,60, \vartheta' = 20,020, c = 0,0914. C
 \end{array}$$

Mittelwerth: $c_p = (0,0917 \pm 0,0002). C_{18,2}$.

Nickel.

$m=56,57$, $M=111,52$, $\vartheta=15,355$, $\Theta=99,35$, $\vartheta'=19,710$, $c=0,1078$. C
 $m=56,57$, $M=136,5$, $\vartheta=16,895$, $\Theta=99,25$, $\vartheta'=20,450$, $c=0,1089$. C
 $m=53,38$, $M=127,6$, $\vartheta=18,255$, $\Theta=99,60$, $\vartheta'=21,785$, $c=0,1085$. C

Mittelwerth: $c_p=(0,1084 \pm 0,0002)$. $C_{18,7}$.

Stahl (L S 84 R).

$m=50,75$, $M=127,6$, $\vartheta=17,730$, $\Theta=98,90$, $\vartheta'=21,240$, $c=0,1137$. C
 $m=46,35$, $M=127,6$, $\vartheta=16,710$, $\Theta=98,80$, $\vartheta'=19,975$, $c=0,1140$. C

Mittelwerth: $c_p=(0,1138 \pm 0,0001)$. $C_{18,9}$.

Stahl (L S 84 E).

$m=48,68$, $M=127,6$, $\vartheta=18,070$, $\Theta=99,50$, $\vartheta'=21,420$, $c=0,1125$. C
 $m=48,68$, $M=127,6$, $\vartheta=16,220$, $\Theta=99,50$, $\vartheta'=19,655$, $c=0,1128$. C

Mittelwerth: $c_p=(0,1126 \pm 0,0001)$. $C_{18,8}$.

Wismuth.

$m=55,50$, $M=127,6$, $\vartheta=13,825$, $\Theta=99,05$, $\vartheta'=14,950$, $c=0,0308$. C
 $m=55,50$, $M=127,6$, $\vartheta=16,490$, $\Theta=99,15$, $\vartheta'=17,550$, $c=0,0299$. C
 $m=55,50$, $M=127,6$, $\vartheta=17,790$, $\Theta=99,10$, $\vartheta'=18,840$, $c=0,0301$. C
 $m=55,50$, $M=127,6$, $\vartheta=16,300$, $\Theta=99,30$, $\vartheta'=17,400$, $c=0,0309$. C

Mittelwerth: $c_p=(0,0304 \pm 0,0002)$. $C_{16,6}$.

Zink.

$m=44,06$, $M=127,1$, $\vartheta=15,250$, $\Theta=99,30$, $\vartheta'=17,835$, $c=0,0915_2$. C
 $m=44,06$, $M=127,6$, $\vartheta=16,120$, $\Theta=99,30$, $\vartheta'=18,665$, $c=0,0914_1$. C
 $m=44,06$, $M=127,6$, $\vartheta=28,005$, $\Theta=99,30$, $\vartheta'=20,505$, $c=0,0918_7$. C

Mittelwerth: $c_p=(0,09160 \pm 0,00009)$. $C_{17,7}$.

Zinn.

$m=51,47$, $M=127,6$, $\vartheta=16,115$, $\Theta=99,30$, $\vartheta'=17,925$, $c=0,0551_7$. C
 $m=51,47$, $M=127,6$, $\vartheta=17,290$, $\Theta=99,30$, $\vartheta'=19,076$, $c=0,0551_7$. C
 $m=51,47$, $M=127,6$, $\vartheta=17,650$, $\Theta=99,30$, $\vartheta'=19,420$, $c=0,0551_1$. C

Mittelwerth: $c_p=(0,05515 \pm 0,00001)$. $C_{17,9}$.

Die im Vorstehenden gewonnenen Werthe von c_p können nun in Verbindung mit anderen schon früher bestimmten Constanten derselben Metalle zu einigen wichtigen Folgerungen dienen.

Bezeichnet man nämlich die Dichte durch ϵ , die specifische Wärme bei constantem Volumen durch c_v , den Coefficienten der lineären thermischen Dilatation mit α , denjenigen des thermischen Druckes (in absolutem Maasse ausgedrückt) mit ρ und versteht unter A das mechanische Wärmeäquivalent, unter T die absolute Temperatur, so gilt

$$(1) \quad c_v = c_p - \frac{3 \rho \alpha T}{A \epsilon}$$

$$(2) \quad \kappa = \frac{c_p}{c_v} = \frac{1}{1 - \frac{3 \varrho \alpha T}{A \varepsilon c_p}} = 1 + \frac{3 \varrho \alpha T}{A \varepsilon c_p};$$

der letzte Werth ist nur ein angenäherter, der aber in unserem Falle unbedenklich zu benutzen ist.

Weiter hat noch ein Interesse der Coefficient der Temperaturänderung, welche bei adiabatischer Spannung oder Deformation auftritt.

Bezeichnet man nämlich die erregten Gesamtspannungen mit $\Xi_x \dots \Xi_y$, die hervorgebrachten Deformationsgrößen mit $x_x \dots x_y$, so gilt für diese Temperaturänderung

$$(3) \quad \vartheta = \frac{\alpha T}{A \varepsilon c_p} (\Xi_x + H_y + Z_z) = \mu (\Xi_x + H_y + Z_z)$$

$$(4) \quad \vartheta = \frac{-\varrho T}{A \varepsilon c_v} (x_x + y_y + z_z) = -\nu (x_x + y_y + z_z).$$

Ferner finden sich die adiabatischen Elasticitätsconstanten γ und Elasticitätsmoduln σ aus den früher bestimmten isothermischen c resp. s nach den Formeln:

$$(5) \quad \gamma = c + \frac{\varrho^2 T}{A \varepsilon c_v}, \quad \gamma_1 = c_1 + \frac{\varrho^2 T}{A \varepsilon c_v}, \quad \gamma_2 = c_2,$$

$$(6) \quad \sigma = s - \frac{\alpha^2 T}{A \varepsilon c_p}, \quad \sigma_1 = s_1 - \frac{\alpha^2 T}{A \varepsilon c_p}, \quad \sigma_2 = s_2;$$

der Unterschied zwischen c_p und c_v ist in ihnen zu ignoriren.

Hieraus folgen endlich die Werthe der Geschwindigkeit für die Fortpflanzung longitudinaler und transversaler Wellen

$$(7) \quad \omega_\lambda = \sqrt{\frac{\gamma}{\varepsilon}}, \quad \omega_\tau = \sqrt{\frac{\gamma_2}{\varepsilon}}.$$

Die Formeln (1) bis (6) enthalten sämmtlich das mechanische Wärmeäquivalent A mit c_p oder c_v , also nach Einsetzen der oben gefundenen Werthe mit C multiplicirt; infolgedessen werden die durch sie gegebenen Folgerungen zum grössten Theil von der Unsicherheit der specifischen Wärme C des Wassers nicht berührt. Denn die von Hrn. Rowland¹⁾ angestellten Beobachtungen zur Bestimmung von A liefern direct

1) Rowland, Proc. Amer. Acad. (2) 7. p. 75. 1880.

das Product AC für verschiedene Temperaturen; die mittlere Wassertemperatur, auf welche sich die vorstehenden Messungen beziehen, ist etwa 18° , man kann für ihre weitere Verwendung nach jenen Beobachtungen rund

$$AC = 418 \cdot 10^5$$

setzen.

Die Dichten ε sind für die zu machenden Anwendungen an Stücken der benutzten Metalle zum Theil von Hrn. Drude, zum Theil von mir besonders bestimmt; ihre Sicherheit beträgt einen kleinen Bruchtheil eines pro Mille.

Die Werthe von α und ρ sind der vorigen Arbeit¹⁾ entnommen, nur ist ρ von dem dort angegebenen q durch Beziehung auf absolute Einheiten unterschieden.

	ε	$\alpha \cdot 10^{+6}$	$\rho \cdot 10^{-6}$	c_p / C_{18}	c_v / C_{18}	α	$\mu \cdot 10^{+12}$	ν
Al	2,676	23,06	32,9	0,2145	0,2084	1,0295	291	413
Br ²⁾	8,731	17,75	46,8	0,0874	0,0853	1,0237	169	445
Cd	8,665	24,7	?	0,0549	?	?	377	?
Fe	7,188	11,61	27,0	0,1159	0,1150	1,0081	101	235
Au	19,28	14,14	31,1	0,0303	0,0298	1,0162	176	384
Cu	8,860	17,09	24,8	0,0923	0,0918	1,0114	152	221
Mg	1,741	26,05	21,5	0,246	0,239	1,0285	442	364
Me ³⁾	8,438	18,65	33,3	0,0917	0,0901	1,0177	175	313
Ni	8,795	13,15	66,0	0,1084	0,1063	1,0198	100	502
Ag	10,493	19,25	40,1	(0,0559)	0,0543	1,0288	238	496
StR ²⁾	7,822	11,47	49,0	0,1138	0,1122	1,0138	93,5	401
Bi	10,05	13,67	10,0	0,0304	0,0301	1,0098	325	239
Zn	7,212	25,1	74,5	0,0916	0,0860	1,063	276	817
Sn	7,328	22,2	?	0,05515	?	?	398	?

Zu dieser Zusammenstellung ist zu bemerken, dass Cadmium und Zinn eine einigermaassen zuverlässige Bestimmung von ρ nicht gestatteten und daher bei Berechnung derjenigen Constanten, welche dessen Kenntniss voraussetzten, ausfallen mussten. Für das von mir benutzte Silber konnte ich c_p nicht bestimmen, weil der von der Herstellung der früher beobachteten Stäbe übrige Rest des Gusses bereits zurückgegeben war, die Stäbe aber für andere Untersuchungen erhalten bleiben sollten. Der oben eingesetzte Werth ist von Bunsen³⁾ gegeben.

Für die zweite Tabelle sind die Werthe der Elasticitätsmoduln s , s_2 und der Elasticitätsconstanten c , c_2 an denselben

1) W. Voigt, Wied. Ann. 49. p. 396. 1893.

2) Br bedeutet Bronze, Me Messing, St Stahl.

3) R. Bunsen, Pogg. Ann. 141. p. 25. 1870.

Metallen früher bestimmt¹⁾; $c_1 = c - 2c_2$ und $s_1 = s - \frac{1}{2}s_2$ sind aus ihnen sofort zu bilden.

Die Unterschiede der adiabatischen und der isothermischen Module und Constanten sind nur sehr klein, meist unterhalb der Grenze der noch angebbaren Genauigkeit derselben liegend. Darum konnten die Geschwindigkeiten ω_λ und ω_τ auch unbedenklich mit den isothermischen statt mit den adiabatischen Constanten berechnet werden.

$$s \cdot 10^{+12} s_2 \cdot 10^{+12} (s - \sigma) \cdot 10^{+15} c \cdot 10^{-12} c_2 \cdot 10^{-12} (\gamma - c) \cdot 10^{-9} \omega_\lambda \cdot 10^{-5} \omega_\tau \cdot 10^{-5}$$

Al	1,55	3,95	6,72	0,811	0,252	13,5	5,50	3,07
Br	0,963	2,51	3,00	1,41	0,40	20,8	4,02	2,14
Cd	1,44	4,16	9,30	2,33	0,24	?	5,19	1,66
Fe	0,795	1,955	1,18	1,46	0,51	6,4	4,51	2,66
Au	1,345	3,58	2,48	1,11	0,280	11,9	2,40	1,20
Cu	0,940	2,132	2,59	1,11	0,468	5,5	3,53	2,30
Mg	2,39	5,96	11,5	0,498	0,167	7,8	5,35	3,10
Me	1,11	2,76	3,26	1,08	0,36	10,5	3,58	2,07
Ni	0,501	1,30	1,32	2,69	0,76	32,9	5,53	2,94
Ag	1,31	3,44	4,58	1,08	0,29	20,0	3,21	1,66
St R	0,499	1,26	1,07	2,47	0,79	19,7	5,62	3,18
Bi	3,20	8,25	4,43	0,41	0,12	2,4	2,02	1,09
Zn	0,989	2,63	6,92	1,49	0,38	60,8	4,55	2,30
Sn	1,89	5,91	8,85	?	?	?	?	?

Es mag schliesslich nochmals darauf hingewiesen werden, dass alle diese Zahlen sich auf dieselben gegossenen und mechanischer Bearbeitung so wenig, als möglich, ausgesetzten Metalle beziehen, die Anwendung auf gezogene Drähte oder gewalzte Bleche, also nicht mit Strenge, gestatten. Damit hängt zusammen, dass sie von den vereinzelt schon früher bestimmten Werthen mehr oder weniger abweichen.

Göttingen, Anfang März 1893.

1) W. Voigt, Wied. Ann. 48. p. 707. 1893.