**VI. Ueber die Bestimmung des Verhältnisses der
specifischen Wärmen der Luft;
von Dr. W. C. Röntgen aus Holland.**

Die Bestimmung des Verhältnisses der specifischen Wärme der Luft bei constantem Druck zu derjenigen bei constantem Volumen ist schon öfter der Gegenstand der Untersuchung gewesen. Wenn die Resultate der Versuche auch nicht in solcher Uebereinstimmung mit einander sind, wie man es bei der großen Bedeutung, die der gesuchte Werth für die Physik hat, wünschen möchte, so haben doch die zuverlässigeren Beobachtungen stets Zahlen geliefert, die nicht weit von $\frac{c_p}{c_v} = k = 1,41$ abweichen. In neuester Zeit ist indessen von Hrn. Kohlrausch, in diesen Annalen Bd. 136, S. 618, eine neue Bestimmung von k mitgetheilt, die einen wesentlich kleineren Werth, nämlich im Mittel 1,302 giebt. Obgleich Hr. Kohlrausch bei seinen Versuchen alle ihm nöthig scheinenden Vorsichtsmafsregeln eingehalten und alle Umstände die anscheinend von Einflufs seyn können, berücksichtigt hat, ist es ihm nicht gelungen, den Grund der Differenz zu ermitteln. In Folge dessen stellte ich mir, dazu angeregt von Hrn. Prof. Kundt, die Aufgabe, Aufschluß über diesen Punkt zu erlangen, und dann womöglich, nach Beseitigung von nachgewiesenen störenden Einflüssen, Versuche zur Bestimmung von k anzustellen.

Die Arbeiten wurden, in so weit sie jetzt zum Abschlufs gekommen sind, im Laboratorium des Eidgenöss. Polytechnicums in Zürich ausgeführt.

Zu meinem Bedauern wurden dieselben in Zürich nicht beendigt, und sehe ich mich genöthigt, die Fortsetzung für einige Monate auszusetzen, da der Bau von neuen benötigten Apparaten diese Zeit beansprucht. Bei der mir anscheinenden Wichtigkeit der Sache wollte ich jedoch mit der Ver-

öffentlichung nicht länger warten, und zwar um so mehr nicht, weil das vorhandene Material ein abgeschlossenes Ganze bilden kann.

Hr. Kohlrausch wendet in der angeführten Arbeit folgende Methode an: Unter dem Recipienten einer Luftpumpe liegt ein Metallbarometer und giebt den herrschenden Druck p_1 an, die Temperatur ist die der Umgebung; durch einen raschen Pumpenschlag wird nun die Luft dilatirt und gleich nachher der Verbindungshahn abgesperrt. Der Druck p_1 geht dadurch zuerst schnell auf den Werth p_2 herunter, steigt dann, nachdem abgeschlossen worden ist, langsamer auf p_3 . Denn während des Dilatirens hat das Gas unter dem Recipienten Arbeit verrichten müssen, es hat eine sich nachher im Pumpenstiefel vorfindende Luftmenge in eine gewisse Geschwindigkeit versetzt, hat sich also dafür entsprechend abkühlen müssen. Diese entstandene Temperaturdifferenz, welche sich am Barometer als Druckdifferenz kenntlich macht, wird durch die Umgebung allmählig ausgeglichen und nach Verlauf einiger Zeit stellt das Barometer sich stationär auf p_3 ein. Geht aber eine Quantität vollkommenes Gas, dessen Zustand durch die drei Größen, Druck p_1 , spezifisches Volumen v_1 , absolute Temperatur T_1 gegeben ist, auf umkehrbarem Wege und ohne Zu- oder Abführung von Wärme über in den Zustand p_2 v_2 T_2 , wird alsdann durch Erwärmung oder Abkühlung die Anfangstemperatur T_1 wieder hergestellt, mit der Bedingung, daß während deß das Volumen constant bleibe, die Zustandsgrößen also nachher p_3 v_2 T_1 heißen würden, so findet folgende Beziehung statt:

$$k = \frac{\log p_1 - \log p_2}{\log p_1 - \log p_3}$$

Hr. Kohlrausch hat mit seiner Methode diesen Proceß zu verwirklichen gesucht und berechnet k nach einer Näherungsformel aus Obigem abgeleitet, indem anstatt

$\log \frac{x}{y}$ zersetzt wird $\frac{x-y}{y}$. (Die Einführung dieser Näherung beeinflusst das Resultat im vorliegenden Falle wenig).

Ich hatte nun gegen die angewendete Methode folgendes Bedenken: erstens, ob wohl der wirkliche Vorgang des Versuches mit den Annahmen, die der Berechnung zu Grunde liegen, in Uebereinstimmung sey, namentlich ob die schliesslich im Recipienten befindliche Luftmenge sich auf einem umkehrbaren Wege ausgedehnt habe, und zweitens ob während der ersten Hälfte des Processes nicht Wärme ab- oder zugeführt worden sey. Den zweiten Einwand hatte Hr. Kohlrausch, wenn auch nicht vollständig, doch anscheinend erledigt, indem er durch eine Correction diese jedenfalls vorhandene Fehlerquelle zu beseitigen sucht; ich glaubte daher anfangs mein Augenmerk hauptsächlich auf den ersten Punkt richten zu müssen. Ich liess also einen Apparat anfertigen der den folgenden hauptsächlichen Bedingungen genügen sollte: Erstens sollte die darin abgeschlossene Luft schnell comprimirt werden können, ohne dafs die durch Reibung irgendwelcher bewegter Theile entstandene Wärme ihren Einfluss auf die Luft ausüben könnte; zweitens sollte das Gas bei der Compression durch Querschnittsänderungen keine beträchtlichen Geschwindigkeiten annehmen, und drittens sollten die Wände schlechte Wärmeleiter seyn und die Ablesung eines im Inneren befindlichen Metallbarometers gestatten.

In wiefern ich diese Zwecke erreichte, mag aus der schematischen Zeichnung des Apparates ersehen werden Fig. 1, Taf. VII. Ein Cylinder *A* (Höhe 0^m,210, Durchmesser 0^m,100) von festem Glase ist auf geeignete Weise auf einem hohlen gusseisernen Sockel befestigt; unten ist er durch eine Spiegelglasplatte verschlossen, in deren Mitte ein Hahn eingekittet ist; um seinen oberen Rand ist in einer Höhe von 0^m,110 ein Ring von Glockengufs gekittet, über den ein zweiter ähnlicher mit leichter Friction verschiebbar ist; der luftdichte Verschluss wird durch eine, so viel wie möglich, am unteren Rand angebrachte Verpackung hergestellt.

Der letztere Ring umfaßt eine Glaskapsel *B* (Höhe 0^m,085) die, wenn sie ganz heruntergedrückt ist, genau auf *A* paßt. Dieses Herunterdrücken, wodurch eine Compression der Luftmasse in *A* und *B* erfolgt, geschieht durch einen eisernen Hebel *CD*, der in *C* seinen Fixpunkt hat und bei *D* in einem Schlitz geführt wird, wo er durch zwei Schrauben *ab* regulirt wird. Diese Schrauben sind durch einen Draht mit einem Hipp'schen Chronoskop ¹⁾ verbunden, welches in den Stromkreis eines Bunsen'schen Elementes eingeschaltet ist; bei *C* tritt der Strom in den Hebel sobald dieser in Berührung mit *a* oder *b* ist, während des Ueberganges von *a* nach *b* ist jedoch der Strom unterbrochen, und die Zeiger des Chronoskopes geben die Dauer dieser Unterbrechung, also die zur Compression nöthige Zeit an.

Um einen Vergleich mit den Versuchen von Hrn. Kohlrausch zu erlangen, stellte ich ebenfalls mehrere Versuchsreihen, mit Aus- und Einströmen von atmosphärischer Luft an. Dazu war oben auf dem Apparat ein *T*Hahn angebracht, dessen Oeffnungsdauer durch einen einfachen Mechanismus am Chronoskop abgelesen werden konnte.

Das Metallbarometer lag umgekehrt auf der Spiegelglasplatte und die Stellung seines Zeigers wurde mittelst eines Spiegels *E* und eines Fernrohrs abgelesen. Es dienten bei den Versuchen einige der besten Metallbarometer, welche mir Hr. Goldschmidt, Mechaniker in Zürich, verschaffen konnte; sie erforderten Alle eine vorherige Controlirung von 5 bis 5^{mm} mit dem Quecksilberbarometer, ja es stellte sich bald die Nothwendigkeit heraus, vor und nach jeder Versuchsreihe diese Controlirung vorzunehmen. Um dieses zu ermöglichen ohne dadurch eine Verunreinigung der sich einmal im Apparat befindenden trocknen Luft zu riskiren, wendete ich folgende Einrichtung an, Fig. 2, Taf. VII. Mit dem einen Canal des *T*Hahns ist durch eine Röhre ein gläsernes Manometer *A* verbunden, das vor dem Füllen mit der trocknen Luft leer ist; das Quecksilber befindet sich

1) Die Beschreibung dieses Instrumentes findet sich Mousson Leitfaden der Physik Bd. III, S. 464.

in einer Glaskugel B die einerseits mit dem Manometer, anderseits mit dem Apparat, durch welchen die Luft getrocknet wurde, verbunden ist; und zwar so, daß, wie in der Zeichnung angegeben ist, ein Gasstrom ungehindert durchgehen kann. Hat dieses Durchströmen, wozu der untere Hahn des Apparates mit einem Aspirator verbunden wurde, lange genug gedauert, so wird die Kugel umgedreht und das Quecksilber füllt das Manometer, die Controlirung kann also einen Anfang nehmen: während der Versuche ist das Manometer durch den Hahn abgesperrt. Die Versuche gingen nun so vor sich, daß ein Beobachter den Hebel zu drücken und das Chronoskop zu registriren hatte. Ein zweiter machte am Fernrohr die Ablesungen der drei Drucke p_1 , p_2 , p_3 . Während des Ueberganges von p_2 auf p_3 sollte nun nach dem Vorgehen von Hrn. Kohlrausch die Abkühlung oder Erwärmung der Luft durch ihre Umgebung als Function der Zeit dargestellt werden, damit auf diese Weise eine Correction für die Wärmeabgabe oder Aufnahme während des Ueberganges von p_1 auf p_2 angebracht werden könne; der zweite Beobachter gab zu diesem Zweck mit dem Taster eines Morse'schen Telegraphenapparates jedesmal ein Zeichen, wenn der Zeiger des Metallbarometers einen Theilstrich passirte; nachher wurde dann der abgewickelte Papierstreifen mit einem verglichen, der in Secunden entsprechende Abschnitte getheilt war.

Ungefähr 60 Versuche wurden angestellt, die folgende Resultate lieferten:

I. Eine Versuchsreihe von 17 Versuchen mit trockener atmosphärischer Luft, wobei die Compression $p_2 - p_1$ fast durchgängig 56^{mm} war, ergab ohne Wärmeabgabecorrection als Gränzen $k = 1,300$ bis $k = 1,326$, die Compressionsdauer schwankte zwischen $t = 0,32$ bis $t = 0,17^{\text{sec}}$.

II. 10 Versuche wie oben, $p_2 - p_1$ durchgängig 39^{mm} lieferten $k = 1,354$ bis $1,370$.

III. 8 Versuche wie oben $p_2 - p_1 = 34^{\text{mm}}$, $k = 1,290$ bis $1,363$, die Zeit bei allen diesen durchschnittlich $0,3^{\text{sec}}$. Die

anderen Versuche ergaben ebenfalls sehr abweichende Resultate, so dafs ich zu folgender Ueberzeugung gerieth: Mit dem Metallbarometer von der vorliegenden Construction (und bessere fand ich trotz aller Bemühungen keine) liefsen sich keine vertrauenswerthe Versuche anstellen. Die Berechnung fordert mindestens eine Genauigkeit von $\frac{1}{10}$ mm Quecksilber und diese läfst sich nicht erreichen; überdies ändern die Barometer, wie oben erwähnt, bei vielem Gebrauch und etwa starker Inanspruchnahme ihren Nullpunkt fortwährend. Schliesslich üben sie einen sehr nachtheiligen Einfluss durch ihre relativ grofse metallische Oberfläche auf die soviel wie möglich erwünschte Absperrung der Wärme während der Compression aus: sie sind, wie überhaupt jeder im Innern des Gefäfses sich befindende fremde Körper, d. h. ein solcher, der nicht mit seiner Oberfläche einen Theil der Wandungen ausmacht, sehr zu vermeiden, weil ihr Einfluss durch eine Correction, wie sie bei obigen Berechnungen angebracht worden ist, nicht wohl eliminirt werden kann: denn ich setze dabei, mit Zugrundelegung des Newton'schen Abkühlungsgesetzes (um bei der Compression zu bleiben), Folgendes voraus. Während der Compression geht in jedem Moment eine der Temperaturdifferenz proportionale Wärmemenge *verloren*, welche mit grofser Annäherung berechnet werden kann, wenn für dieses specielle Gefäfs durch Beobachtung das Abkühlungsgesetz bestimmt ist: dieses ist bei den Versuchen geschehen, indem während der Temperatúrausgleichung die Druckabnahme als Function der Zeit dargestellt wurde. Befindet sich nun ausser dem Glase noch ein leitender Körper im Gefäfs, so geht während der Compression nicht alle Wärme verloren, sondern ein Theil wird diesem Körper abgegeben, der nun während der Temperatúrausgleichung diese Wärme jedenfalls theilweise wieder dem Gase abgiebt. Das Gesetz, welches ich also beobachtete, hat keine Gültigkeit auf die Compressionsperiode. Diese Bedenken gegen die Anwendung eines Metallbarometers überzeugten mich von der Nothwendigkeit eine andere Vorrichtung zu treffen und

ich verfiel nach langem Versuchen endlich auf folgende Construction Fig. 3, Taf. VII.

Anstatt der Spiegelglasplatte brachte ich eine auf einen Ring gelöthete kreisförmig gewellte Platte von Metallblech an, zuerst eine von Messingblech, später wegen mehr constanter Elasticität, von Neusilberblech, wie sie in kleinen Dimensionen für die Aneroidbarometer benutzt werden. Diese Platten nun, welche mir Hr. Mechaniker Goldschmidt herstellte, ließen nichts zu wünschen übrig und machten den Apparat zu einem der empfindlichsten und zugleich regelmässigsten Druckdifferenzmesser. Die Bewegung der Platte wurde durch ein Stückchen Schilf auf einen kleinen Silberspiegel *ab* übertragen, der um eine Axe bei *a* drehbar ist; parallel dieser Axe ist ein zweiter länglicher Spiegel *cd*, welcher so gestellt wurde, daß eine vertikale Scale *BC* bei der Drehung des kleinen Spiegels immer im Gesichtsfeld des Ablesungsfernrohrs *A* blieb; die Entfernung der Scale vom Apparat betrug ungefähr 2 Meter. Allerdings wäre es nun sehr erwünscht gewesen, daß die Bewegung der Platte unabhängig sey vom äußeren Atmosphärendruck; wie wohl dieß nun auch nicht sehr complicirte Mittel erforderte, so unterliefs ich die Vorrichtung vorläufig, da bei der kurzen Dauer eines Versuches dieser Einfluß nicht merklich in Betracht kam.

Der Apparat wurde nun auf eine feste Mauer aufgestellt und eine Reduction der Scalentheile auf Millim. Quecksilber vorgenommen, indem von je 5 bis 5 Theilstreichen der zugehörige Manometer-, Barometer und Thermometerstand abgelesen wurde. Die Resultate wurden graphisch aufgetragen und konnten, ohne vollständig wiederholt werden zu müssen, zu vielen Versuchsreihen gebraucht werden. Ein Scalenthail entsprach ungefähr $\frac{1}{5}^{\text{mm}}$ Quecksilber.

Ich gehe nun über zu den Resultaten der Versuche und gebe zuerst einige Reihen mit der Messingplatte angestellt. Die einzelnen Versuche sind unter einander nicht sehr übereinstimmend, wie aus den Werthen von *k* ersichtlich ist, die Mittelwerthe jedoch stimmen leidlich.

I. 18 Versuche mit Ausströmen von gewöhnlicher atmosphärischer Luft ins Freie, ohne Wärmeaufnahme correction. Es war $p_1 - p_2$ im Maximum $22,40^{\text{mm}}$, im Minimum $2,59^{\text{mm}}$ Quecksilber. Der Werth von k lag zwischen $1,316$ und $1,231$. Die Ausströmungszeit schwankte zwischen $t = 0,28$ in $t = 0,56^{\text{sec}}$, Mittelwerthe der 18 Versuche, $k = 1,293$.

II. 11 Versuche wie oben.

$p_1 - p_2$ im Maximum $9,50^{\text{mm}}$, im Minimum $0,96^{\text{mm}}$ Quecksilber $k = 1,297$ bis $k = 1,275$; $t = 0,35$ bis $t = 0,59^{\text{sec}}$. Mittelwerth aus 11 Versuchen $k = 1,284$.

III. 15 Versuche wie oben, theilweise mit Wärmeaufnahme correction; $p_1 - p_2$ im Maximum $8,70^{\text{mm}}$, im Minimum $5,26^{\text{mm}}$ Quecksilber ohne Wärmeaufnahme correction $k = 1,300$ bis $k = 1,272$; $t = 0,33$ bis $t = 0,53^{\text{sec}}$. Mittelwerth aus 15 Versuchen $k = 1,289$.

Die Wärmeaufnahme correction erhöht den Werth auf $k = 1,297$.

Nun folgen die Versuche mit der Neusilberplatte:

I. 15 Versuche mit Ausströmen von gewöhnlicher atmosphärischer Luft ins Freie, $p_1 - p_2$ im Maximum $12,60^{\text{mm}}$, im Minimum $7,11^{\text{mm}}$ Quecksilber. Um den Gang der Versuche und der Rechnung zu zeigen, führe ich bei dieser Reihe sämtliche Tabellen bei, wie sie sich in meinem Notizbuch befinden:

Mittlerer Barometerstand während der Versuche ¹⁾ $719,00^{\text{mm}}$.

Mittlere Temperatur $18^{\circ},2$ C.

Nullpunkt der Scale $404,5$.

1) Es genügt, wie die Rechnung zeigt, bei kleinen Schwankungen überall einen mittleren Barometerstand auszuführen.

Nummer der Versuche	Auf der Scale beobachtete Werthe von			Stellung des Chronoskopen in Sekunden 1,029
	p_1	p_2	p_3	
1	331,0	381,2	370,0	1,658
2	242,5	327,2	308,5	2,336
3	308,5	369,2	356,5	3,029
4	252,0	327,3	310,8	3,676
5	310,8	359,2	348,8	4,264
6	258,0	337,2	319,8	4,939
7	238,9	322,3	303,9	5,640
8	303,9	366,3	352,9	6,330
9	299,7	360,0	347,2	7,004
10	243,2	326,5	308,0	7,671
11	308,0	367,2	354,9	8,355
12	254,0	335,8	318,0	9,118
13	318,0	373,0	361,5	9,818
14	249,0	330,0	312,0	0,589
15	312,0	370,0	358,0	1,335

Nummer der Versuche	Ueberdrucke in Scalentheile			Auf d. Curve abgestochene entsprechende Millm. Queck- silber			Nach der Formel $k = \frac{\log p_1 - \log p_2}{\log p_1 - \log p_3}$ berechnete Werthe	Dauer d. Aus- strö- mens t in Se- cunden	Werthe von k mit Be- rücksich- tigung d. Wärme- auf- nahme
1	73,5	23,3	34,5	11,06	3,60	5,27	1,278	0,629	—
2	162,0	77,3	96,0	24,20	11,60	14,29	1,274	0,678	—
3	96,0	35,3	48,0	14,29	5,35	7,27	1,275	0,693	—
4	152,5	77,2	93,7	22,70	11,59	13,97	1,275	0,647	1,293
5	93,7	45,3	55,7	13,97	6,87	8,38	1,271	0,590	1,288
6	146,5	67,3	84,7	21,85	10,13	12,62	1,272	0,675	1,287
7	165,6	82,2	100,6	24,72	12,30	15,00	1,280	0,701	1,297
8	100,6	38,2	51,6	15,00	5,78	7,78	1,278	0,690	1,297
9	104,8	44,5	57,3	15,61	6,76	8,64	1,271	0,674	1,290
10	161,3	78,0	96,5	24,10	11,69	14,37	1,278	0,667	1,293
11	96,5	37,3	49,6	14,37	5,65	7,50	1,271	0,684	1,290
12	150,5	68,7	86,5	22,48	10,36	12,93	1,271	0,763	1,289
13	86,5	31,5	43,0	12,93	4,75	6,51	1,276	0,700	1,296
14	155,5	74,5	92,5	23,23	11,20	13,80	1,276	0,771	1,294
15	92,5	34,5	46,5	13,80	5,22	7,07	1,276	0,746	1,294

Aus diesen Zahlen ergibt sich im Mittel

k ohne Wärmecorrection = 1,275

k mit „ „ = 1,295.

II. Es ist nun wahrscheinlich, daß der durch Wärmeaufnahme hineinkommende Fehler um so kleiner ist, je mehr Luft in der gleichen Zeit ausströmt, vermehre ich also die Ausströmungsgeschwindigkeit, so müssen richtigere Werthe erhalten werden. Ich versuchte dies, indem ich anstatt die Luft ins Freie ausströmen zu lassen, ihr Gelegenheit gab, sich in einem stark luftverdünnten Raum auszubreiten. Ich erhielt aus 15 Versuchen, bei denen $p_1 - p_2$ im Maximum $19,55^{\text{mm}}$ und die Zeit jedesmal wenig von $0,20^{\text{sec.}}$ verschieden war, als Mittelwerth, ohne daß dabei eine Wärmeaufnahme correction möglich war:

$$k = 1,296.$$

III. Der Vollständigkeit wegen führte ich auch einige Versuche mit Einströmen von atmosphärischer Luft aus und rechnete dabei nach der Formel ¹⁾

$$k = \frac{p_2 - p_1}{p_3 - p_2}$$

Aus 10 Versuchen $p_2 - p_1$ im Maximum $18,66^{\text{mm}}$, im Minimum $10,06^{\text{mm}}$ Quecksilber, die Zeit im Mittel $0,25^{\text{sec.}}$.

Mittelwerth ohne Wärmeaufnahme correction $k = 1,285$.

IV. Es folgen nun 2 Versuchsreihen, wobei gewöhnliche atmosphärische Luft durch ein rasches Herunterdrücken des Hebels comprimirt wurde; diese 42 Versuche zeigen unter sich eine sehr gute Uebereinstimmung; $p_2 - p_1$ im Maximum $21,70^{\text{mm}}$, im Minimum $16,02^{\text{mm}}$ Quecksilber, die Zeit war durchschnittlich $0,20^{\text{sec.}}$, Wärmeabgabecorrection konnte nicht vorgenommen werden. Mittelwerth $k = 1,271$. Dieser Werth ist nun auffallend klein, besonders weil eine etwas langsamere Compression ebenfalls ohne Wärmeabgabecorrection einen größeren Werth gab; (so gaben 7 Versuche den Mittelwerth $k = 1,282$, wenn $t = 0,40^{\text{sec.}}$) Die Ursache ist zu suchen in einem Constructionsfehler des Apparates: durch den sehr raschen, heftigen Druck wurde der Apparat etwas zusammengedrückt und diese bei langsamer Bewegung nicht auftretende Fehlerquelle wirkt im

1) Bauschinger, Ueberströmen von Gasen. Schlömilch Zeitschrift für Math. und Physik VIII, S. 81.

Sinne einer Verkleinerung von k . Einige Versuche zeigten wirklich, daß eine Verstellung der Scala von 2,4 Theilstreichen stattfand; führe ich dies in Rechnung, so steigt das Mittel auf

$$k = 1,292.$$

V. 28 Versuche mit Compression von gewöhnlicher atmosphärischer Luft und zwar die meisten mit Wärmeabgabecorrection. Die Zeit war bei allen fast immer größer als 1^{sec} , $p_2 - p_1$ im Maximum 24,70^{mm}, im Minimum 20,50^{mm} Quecksilber.

Mittelwerth von 28 Versuchen ohne Wärmeabgabecorrection $k = 1,264$

Mittelwerth von 21 Versuchen mit Wärmeabgabecorrection $k = 1,290.$

Aus den Resultaten dieser Versuche geht nun unzweifelhaft hervor, daß die gefundenen Werthe von k , wenn sie auch bei verschiedenen Methoden keine erhebliche Differenz darbieten, kleiner sind als der von Hrn. Kohlrausch, wiewohl ich doch durch Anwendung von Compression geglaubt hatte, denselben bedeutend zu erhöhen. Der erste Einwand den ich gegen die Methode von Hrn. K. machte, fällt dadurch weg, und es blieb also noch der zweite zu erledigen; es fragt sich also: ob der Einfluß der während des Ausströmens von dem Gase aufgenommenen Wärme durch die angebrachte Correction genügend eliminiert worden sey.

Von vornherein kann man sagen, daß, wenn dies der Fall wäre, und man verkleinerte die Wandoberfläche im Verhältniß zum Volumen, indem alle anderen Verhältnisse die nämlichen blieben, dadurch der Einfluß dieser ungenügenden Correction verringert werden müßte; und umgekehrt vergrößerte man die Wandoberfläche, so müßte dieser Einfluß merkbarer werden. Ein ähnlicher Fall findet in der Abhandlung von Prof. Kundt, über Schallgeschwindigkeit in Röhren statt ¹⁾, es wird da durch Versuche nachgewiesen,

1) Pogg. Ann. Bd. CXXXV, S. 337.

was auch Hr. Kirchhoff theoretisch bewiesen hat¹⁾, daß während der kurzen Dichtigkeitsänderungen beim Schalle Wärme von den Röhrenwandungen aufgenommen, respective ihnen abgegeben, und in Folge dessen die Schallgeschwindigkeit verringert wird.

Ich stellte zu dem Zwecke einige Versuche an, indem eine Papierrolle in den Apparat gesteckt wurde, und bekam dabei so kleine Werthe von k ($k = 1,161$ bis $k = 1,225$), daß es mir jetzt unbedingt nothwendig schien, den Apparat gegen einen größeren zu vertauschen. Ich nahm einen 70 Litres haltenden Glasballon, worin seitwärts eine 0^m,115 weite Oeffnung ausgebohrt wurde; vor dieser Oeffnung wurde eine Neusilberplatte von der angegebenen Construction befestigt, deren Bewegung auf einen kleinen Spiegel übertragen wurde. Fig. 4, Taf. IV verdeutlicht die Einrichtung. Das Spiegelchen a ist um eine in Glaskörnern (bb) ruhende Axe drehbar. Zwei Federn (be) tragen die Glasstückchen und sind an einem Holzstück ($c d c d$) befestigt. Die Ablesung geschieht auf die nämliche Weise wie oben angegeben. Am Halse des Ballons ist ein Hahn mit weiter Oeffnung gekittet, der ebenfalls so eingerichtet ist, daß eine Bestimmung der Oeffnungsdauer möglich ist.

Ich war nun freilich durch diese Einrichtung darauf hingewiesen, nur Versuche mit Ein- und Ausströmen anstellen zu können, allein ich glaube auf Grund der gemachten Versuche, die wie gesagt auf keinen erheblichen Unterschied in den Resultaten der Compressions-, Ein- oder Ausströmungsmethode hinweisen, ohne Bedenken diese letztere Methode zu einer Bestimmung von k anwenden zu können. Es sey mir dazu noch folgende Erläuterung erlaubt: denke man sich den Inhalt des Gefäßes ACD , Fig. 5, wo bei A Luft ausströmt im Moment der Abschließung durch eine Fläche DB , so in zwei Theile getrennt, daß sämtliche Gastheilchen, welche sich im Raum $DEBCD$ befinden, in Verhältniß zu denen in der Mündung eine verschwindend

1) Pogg. Ann. Bd. CXXXIV, S. 177.

kleine Ausströmungsgeschwindigkeit haben ¹⁾), der Druck in dem Raum also überall mit gestatteter Annäherung gleich zu setzen ist; daß weiter die Gastheilchen, welche diese Geschwindigkeit überschreiten im Raum $ADEBA$ und außerhalb der Mündung liegen, so hat die Gasmenge $DEBCD$ sich von FCG auf $DEBCD$ auf umkehrbarem Wege ausgedehnt; auf diesem Theil wäre also die angeführte Formel anwendbar; von der Gasmenge $ABEDA$ ist dies nicht der Fall, wäre diese nun aber gegen die erste sehr klein, wobei als günstiger Umstand die immer allmählich stattfindende Verengerung der Mündung beim Abschießen mittelst eines Hahns zu erwähnen ist, so kann der Fall eintreten, daß kein merklicher Fehler begangen wird, wenn die Berechnung auf die ganze Gasmenge $AB\dot{C}DA$ angewendet wird: ich glaube dieses nun bei dem vorliegenden Apparat, wo die Mündung kurz ist, thun zu können, behalte mir aber doch vor, später Versuche über die Richtigkeit dieser Meinung anzustellen ²⁾). Endlich will ich noch bemerken, daß vielleicht eine allerdings kleine Fehlerquelle bei den angegebenen Versuchen mit dem Compressionsapparat darin zu suchen ist, daß die zweite Periode, welche eine Temperaturlausgleichung bei constantem Volumen darstellen sollte, nicht genau erfüllt worden ist; die Platte ändert nämlich bei Druck-Erhöhung oder Erniedrigung das Volumen naturgemäß immer; bei einem großen Gefäß ist dieser Einfluß gewiß verschwindend.

Mit diesem Apparat nun führte ich einige Reihen von Versuchen aus, die ich aber unterbrach, sobald ich mich überzeugt hatte, daß sich der Werth von k merklich größer und nahezu gleich 1,41 ergab; und zog es vor, zunächst

- 1) Die Gränze des Verschwindens würde für unseren Fall da liegen, wo diese Geschwindigkeit nur noch einen solchen Einfluß auf die Berechnung von k hat, daß der dadurch hineingebrachte Fehler innerhalb der gestellten Fehlergränzen fällt. Auf die Ausführung eines theoretisch genauen umkehrbaren Processes muß man überhaupt verzichten.
- 2) Siehe über Ausströmen von Gasen aus Gefäßmündungen, Bauschinger Abhandlung in Schönmilch Zeitschrift für Phy. und Math. B. VIII und a. a. O. die Bemerkungen von Clausius.

noch Versuche nach derselben Methode anzustellen mit einem ungefähr 800 Litres haltenden Windkessel des eidg. Polytechnicums, welchen mir die Güte des Hrn. Zeuner zur Benutzung überliefs. In der oben citirten Abhandlung von Prof. Kundt wird gezeigt, dafs es für die Schallgeschwindigkeit in Röhren einen gewissen Röhrendurchmesser giebt, bei dem der Einflufs der Wandungen aufhört merklich zu seyn. Ich konnte daraus schliessen, dafs es auch in meinem Falle eine Gränze des Verhältnisses zwischen Wandoberfläche und Volumen gäbe, wo ich eine Fehlerquelle in der Wärmeabgabe oder Aufnahme nicht mehr zu befürchten hätte. Ob ich diese Gränze erreicht habe mit dem 70 Litres grofsen Ballon, liefs sich entscheiden durch einen Vergleich der Werthe von k , die mit dem Ballon und mit dem 800 Litres grofsen Windkessel erhalten wurden.

Wenn ich auch nun diese Frage nicht definitiv lösen kann, weil wie gesagt nicht hinreichende Versuche mit dem Glasballon vorliegen, so genügten die Resultate doch vollständig, um mir zu zeigen, dafs der mit beiden Apparaten erhaltene Werth von k in der Nähe von 1,41 liegt, und führt mithin diese Voruntersuchung zu dem folgenden wichtigen Resultat:

Die Versuche mit dem kleinen Compressionsapparat, auf welche Weise auch und mit Rücksicht auf alle bekannten Einflüsse angestellt, liefern stets Werthe von k , die nicht über den von Kohlrausch gefundenen hinauskommen; es steigt aber sofort jener Werth, wenn der Apparat gegen einen von gröfserem Volumen vertauscht wird, bleiben auch alle anderen Umstände dabei die nämlichen; *die ersten Werthe und der von Hrn. Kohlrausch gefundene sind somit zu klein und zwar weil bei den Versuchen das Verhältnifs der Wandoberfläche zu dem Volumen des benutzten Gefäfses ein so ungünstiges ist, dafs trotz einer angebrachten Correction der Einflufs der Wände nicht eliminiert werden kann.*

Ist nun diese Fehlerquelle beseitigt, so sehe ich keine

Schwierigkeiten mehr zu einer genauen Bestimmung von k zu gelangen, weil die oben beschriebene Methode mit noch einigen nicht principiellen Veränderungen, die ich noch vornehmen will, eine zuverlässige ist. Diese Bestimmung hoffe ich sobald wie möglich vorzunehmen.

VII. Ueber eine Intensitätsmessung des Schalles; von August Heller,

Prof. d. Physik an d. K. Ober-Realschule zu Ofen.

Im 134. Bande dieser Annalen befindet sich eine Abhandlung von Hrn. Prof. Kirchhoff, welche von dem Einfluß der Reibung und Wärmeleitung der Luft auf die Schallgeschwindigkeit in einer Luftmasse, die durch eine Röhre von kreisförmigem Querschnitt begränzt wird, handelt. Hr. Kirchhoff erhält dort für die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Schallwellen in einer Röhre eine Formel, welche hinsichtlich ihrer Form mit der — bloß unter Berücksichtigung der Reibung — von Helmholtz [Verhandlungen des naturhistorisch-medizinischen Vereins zu Heidelberg, Bd. III, S. 16] abgeleiteten vollkommen übereinstimmt, in welcher aber jene Reibungsconstante der Luft eine andere Bedeutung hat. Kirchhoff's Formel ist nämlich die folgende:

$$v = v_0 \left(\frac{\gamma}{2r\sqrt{\pi n}} \right)$$

wo v_0 die Geschwindigkeit des Schalles in freier Luft, v dieselbe in der Röhre, r den Radius der letztern, n die Schwingungszahl des als einfach vorausgesetzten Tones und γ eben jene Constante bedeutet, welche sowohl die Reibung als Wärmeleitung der Luft in sich enthält.

Ueber den Werth dieser GröÙe γ wurde bisher nichts veröffentlicht, so daß wir denselben auch nicht einmal annäherungsweise kennen.

Fig. 1.

Fig. 8.

Fig. 4.

Fig. 9.

Fig. 5.

Fig. 2.

Fig. 3.

Fig. 7.

Fig. 6.