wodurch sich für $t = 80^{\circ} \text{C.} = 64^{\circ} \text{R.}$ der brauchbare Werth A_i^s ergibt.

Das angedeutete Increment der Ausdehnungscoefficienten ist den Werthen der letzteren proportional. Folglich ändert durch die Einführung dieser Gl. (VII) in die Relation (VI) sich letztere nur quantitativ, d. h. der Factor m_i nimmt andere Werthe an. Die Formel (VI) wird deshalb doch nicht unrichtig, und man kann mit Zuhülfenahme derselben die angularen Veränderungen am Aragonit viel genauer berechnen, als mit den bisher direct bestimmten Dilatationsconstanten.

Ich habe durch die vorhergehende Discussion erwiesen, dass thatsächlich eine Relation zwischen den Parametern und den Ausdehnungscoefficienten existirt. Bei den Grundstoffen zeigen sich beide Grössen nahezu proportional, bei den chemischen Verbindungen sind die Dilatationen nicht blos von dem Krystallvolumen abhängig, sondern auch durch die axiale Dichte beeinflusst. Die hier benutzten Gleichungen mögen als die ersten Versuche betrachtet werden, den Causalnexus der genannten Grössen mittelst einfacher Formeln darzustellen, und durch dieselben Relationen zu interpretiren, welche für die Dispersionsconstante gelten.

Min. Mus. d. Univ. Wien, 19. April 1886.

VI. Ueber einige Vorlesungsversuche zur Wellenlehre; von A. Toepler.

(Hierzu Taf. IV Fig. 8—9.)

Nach dem Vorgange von Regnault sind schon mehrfach auch in kleinerem Maassstabe Versuche ausgeführt worden, um die Fortpflanzung der Luftwellen, welche in Rohrleitungen durch Explosionen oder sonstige kurzdauernde Stösse auf Membranen und dergleichen erzeugt werden, zu studiren. Es schien mir wünschenswerth, derartige Experimente in einer für Vorlesungszwecke geeigneten Form anzu-

stellen, so zwar, dass mit einzelnen Verdichtungs- oder Verdünnungsstößen operirt werden könne, um nicht nur deren wellenartige Fortpflanzung, sondern auch den Unterschied der Reflexion am geschlossenen oder offenen Rohrende zu zeigen. Dies gelingt sehr leicht, wenn man anstatt der Explosionen in die Rohrleitung Luftstöße von verhältnissmässig langer Dauer — Stöße, welche keinen Schall geben — einführt, und wenn man sich eines entsprechenden Hilfsmittels bedient, um positive oder negative Dichtenänderungen voneinander zu unterscheiden. Ich gebrauche zu diesem Zwecke seit längerer Zeit die im Folgenden beschriebene Vorrichtung; sie ist leicht herzustellen und bequem zu handhaben.

Man verschaffe sich eine Metallrohrleitung von 85 bis 100 m Länge und etwa 15 mm Weite, welche in irgendeiner Weise im Auditorium oder in benachbarten Räumen so angelegt ist, dass die Enden mittelst angesetzter Gummischläuche auf dem Experimentirtische zur Verfügung stehen. Ich habe eine solche Leitung ohne viel Mühe und Kosten in einem kleinen Nebenraume rings an den Wänden oberhalb der Thüren und Fenster viermal herumgeführt, wodurch eine Gesamtlänge von 88 m zustande kam. Die Leitung besteht aus dünnwandigen Messingröhren¹⁾, welche an den Zimmerecken (des bequemen Biegens halber) durch mässig gekrümmte Bleirohrstücke verbunden sind.

Ein so enges, langes Rohr dämpft rasche Schwingungen von kleiner Amplitude sehr stark; Töne, ja selbst die Explosionen starker electrischer Funken werden durch das Rohr nicht oder nur sehr schwach gehört. Allein Luftstöße von längerer Dauer werden darin gut fortgepflanzt, sodass man eine ganze Reihe von Reflexionen vom einen zum anderen Rohrende beobachten kann, falls man diese Enden in entsprechender Weise mit manometrischen Flammen verbindet. Ich bediene mich dazu eines Flammenzeigers, wel-

1) Es kommen solche Rohre im Handel in Stücken von mehreren Metern Länge vor; die Verbindung geschieht durch Verlöthen; luftdichter Anschluss ist wesentlich.

cher ausser einer grossen Empfindlichkeit die für den vorliegenden Zweck sehr bequeme Eigenschaft besitzt, bei kleinen Druckdifferenzen nur auf Verdichtungs-, nicht aber auf Verdünnungstösse zu reagieren. Seine Einrichtung ist aus Fig. 8 ersichtlich.

Bläst man durch eine feine Oeffnung von höchstens 0,5 mm Durchmesser, welche in die Schlussplatte eines Blaseröhrchens *a* gebohrt ist, aus geringer Entfernung gegen die Mitte einer kleinen, aus einer ebenfalls feinen Oeffnung hervorbrennenden Gasflamme *A* von 15 bis 18 mm Höhe, so verschwindet die helle Kuppe selbst bei ungemein schwachem Blasen; die Flamme wird aber auch bei sehr starkem Blasen nicht ausgelöscht, sie nimmt in letzterem Falle die Gestalt einer kurzen, blauen Stichflamme an. Wird dagegen in das Blaseröhrchen Luft mässig stark eingesogen, so bemerkt man keine Veränderung der Helligkeit der Flamme. Diese Thatsache beruht hauptsächlich auf dem Umstande, dass beim Blasen ein feiner Luftstrahl in die Flamme schiesst, während beim Saugen die Luft von allen Seiten zur Oeffnung herbeiströmt.¹⁾ Wird daher an irgendeinem Querschnitte der vorher erwähnten Rohrleitung ein Blaseröhrchen mit gegenüberstehender Flamme angebracht, so besorgt die Blaseöffnung gewissermassen das Geschäft eines Ventils. Die Flamme zuckt

1) Es entsteht schon eine deutliche Verdunkelung der Flamme, wenn im Blaserohr ein Ueberdruck gleich dem einer Wassersäule von $1\frac{1}{2}$ bis 2 mm Höhe auftritt. Dagegen bringt das Saugen erst bei etwa 250 mm Druckdifferenz eine deutliche Helligkeitsänderung hervor. So grosse Differenzen kommen aber bei den oben beschriebenen Versuchen nicht vor. Freilich verkürzt sich die Flamme auch beim Saugen ein wenig, allein die Helligkeit der Kuppe bleibt fast unverändert, die Flamme bleibt für den entfernten Beobachter ruhig. Ich stelle das Blaseröhrchen so nahe an die Flamme, dass deren äusserer Saum fast berührt wird. Der Luftstrahl muss die Axe der Flamme treffen. Das condensirte Wasser, welches die Blaseöffnung nach dem Anzünden der Flamme zuweilen verstopft, verschwindet, wenn die Blaseöffnung sich genügend erwärmt hat. — Ich will bemerken, dass schon Mach (vgl. dessen Schrift: Optisch-akustische Versuche. Prag, 1870. p. 48) einen sehr empfindlichen Flammenzeiger angegeben hat, bei welchem Luft in die Flamme getrieben wird, aber axial von unten. Die Mach'sche Anordnung reagirt wie die König'sche Manometerflamme sowohl auf Verdichtungen als auf Verdünnungen.

beim Anlangen je einer Verdichtungswelle. Bei der unten angegebenen Stossvorrichtung ist die Zuckung überall im verfinsterten Auditorium sichtbar. Die bei *a* austretende Luftmenge ist so klein, dass sie keinen störenden Einfluss auf den Verlauf der zu beobachtenden Wellenerscheinungen hat. Zu den Versuchen genügen zwei Brenner an den Enden der Rohrleitung.

Fig. 8 stellt den Flammenzeiger am Anfange der Leitung so dar, wie ich ihn bequemlichkeits halber habe ausführen lassen; selbstverständlich kann man denselben mit noch einfacheren Hilfsmitteln zusammenstellen. Ein 15 mm weites Metallrohrstück *R* kann auf dem Stativ *T* höher oder tiefer gestellt werden. Von *R* führt ein weiter Gummischlauch *H* zum vorderen Ende der langen Metallrohrleitung. Mittelst eines ebenfalls weiten Stückes Gummischlauch ist vorn an *R* der dickwandige Kautschukballon *G* von etwa 120 ccm Inhalt angehängt. Dieser Ballon wird zur Erzeugung von Verdichtungsstößen plötzlich mit der Hand zusammengedrückt. Er muss beim Loslassen von selbst sehr rasch wieder aufschnellen.¹⁾ Durch dieses Aufschnellen wird in die Leitung eine Verdünnungswelle entsendet. Aus Fig. 8 ist ohne weiteres zu ersehen, wie das Blaseröhrchen *a* mit *R* durch ein Stückchen Gummischlauch *ta* zusammenhängt und vermöge dieser beweglichen Verbindung und vermittelt der Klemmschraube *e* am Arme *d* vor der Flamme passend eingestellt werden kann. Letztere wird durch Handhabung von *c* in geeignete Höhenlage gebracht. Der Flammenzeiger am anderen Ende der Rohrleitung hat dieselbe Einrichtung, jedoch fehlt ihm der Ballon *G*.

Fig. 9 ist ein Schema der ganzen Anordnung. Vom Ballon *G* beim Flammenzeiger *A* gehen die Stösse in die Rohrwindungen *M* über. Das Ende bei *B* wird offen oder (durch den Gummipfropfen *p*) verschlossen benutzt. Ich will die hauptsächlichsten Versuche, welche sich mit der Vor-

1) Solche Ballons sind zu medicinischen Zwecken vielfach in Gebrauch. Es gibt auch bekanntlich pneumatische Signalapparate, bei denen mit solchen Ballons erzeugte Verdichtungsstösse zur Anwendung kommen.

richtung anstellen lassen, erwähnen, ohne auf Einzelheiten näher einzugehen.

1. Man schliesse das Ende bei *B* durch den Pfropfen ab, stosse durch einen raschen Druck der Hand den Luftinhalt des Ballons *G* in die Rohrleitung, lasse aber den Ballon sofort wieder los. Die beiden Flammen zucken abwechselnd mit grosser Regelmässigkeit etwa neunmal, sodass es leicht ist, einen Tactmesser so abzustimmen, dass die Zuckungen von *A* mit den Schlägen 0, 2, 4, 6, 8, die von *B* mit 1, 3, 5, 7 zusammenfallen, wenn mit einem beliebigen als Null bezeichneten Tactschlage die Zusammendrückung beginnt.

2. Bei dem vorherigen Experimente folgte auf den Verdichtungs- sofort ein Verdünnungsstoss; beide werden unverändert an den geschlossenen Enden reflectirt, aber nur der erstere wird bemerkt. Um nur den Verdünnungsstoss zu haben, lüfte man den Pfropf *p* bei *B*, drücke *G* dauernd zusammen, schliesse, wenn sich die Flammen beruhigt haben, *B* wieder und lasse nun erst *G* wieder los. Die Flammen bleiben ruhig. Dass trotzdem eine kräftige Verdünnungswelle auftritt, kann man mit einem durch den Propf *p* gesteckten Manometer (U-Röhre mit Wasser) zeigen; es geht auch aus den Versuchen 3 bis 8 hervor. Ein einzelner Verdichtungsstoss, den man erhält, indem man *G* plötzlich dauernd zusammendrückt, bringt, wenn das Ende *B* geschlossen ist, selbstverständlich Zuckungen, wie bei dem Versuche Nr. 1, hervor, jedoch kann man sie in diesem Falle nur in der Nähe gut sehen, da in dem Maasse, als die Welle an Intensität verliert, ein beständiger Ueberdruck im ganzen Rohrsystem entsteht, welcher dauernd auf die Flammen einwirkt. Zweckmässiger sind die folgenden Experimente.

3. Das Ende *B* der Rohrleitung sei offen; dann wird eine Verdichtungs- als Verdünnungswelle reflectirt und umgekehrt. Man entferne *p* und drücke *G* beim Schlage 0 des nach Nr. 1 abgestimmten Tactmessers dauernd zusammen. Die Flamme *A* zuckt nur bei den Schlägen 0, 4, 8, weil die Stosswelle bei den Schlägen 2 und 6 als Verdünnungswelle

zurückkehrt. Die Flamme *B* bleibt ruhig, wie nicht anders zu erwarten war.

4. Ebenso übersichtlich ist die Wiederholung des Experimentes mit einem einzelnen Verdünnungsstosse. Man lasse, während das Ende *B* offen ist, den vorher schon dauernd zusammengedrückten Ballon beim Schlage 0 los. Die Flamme *A* zuckt nun bei 2, 6 und manchmal noch bei 10, *B* bleibt wieder ruhig.

5. Will man die Stosswellen auch in der Nähe des offenen Endes *B* beobachten, so verlängere man dieses, indem man einen etwa 3 m langen offenen Gummischlauch ansetzt. Die Experimente 3 und 4 bringen dann an der vorher ruhigen Flamme *B* Zuckungen hervor, deren Zeitfolge nach dem Gesagten leicht zu übersehen ist.

6. Die durch den Handdruck sowohl als durch das Wiederaufschnellen des Gummiballons in der Rohrleitung erzeugten longitudinalen Luftbewegungen sind Impulse von verhältnissmässig langer Dauer. Die Experimente zeigen daher sehr auffällig die aus den Beobachtungen von Regnault und Kundt bekannte Verminderung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit in engen Röhren. Der Tactmesser musste beim Versuche Nr. 1 für meine Rohrleitung auf etwa 204 Schläge in der Minute eingestellt werden, woraus die Fortpflanzungsgeschwindigkeit 299 m folgt. Es ist nicht ohne Interesse, ein experimentelles Beispiel einer so starken Verzögerung zu haben.

7. Bei den Experimenten 1 bis 6 wirkte der Ballon *G* auf die zurückkehrende Welle wie eine feste Wand; auch bei der rohen Berechnung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit kann man den Ballon mit Rücksicht auf seinen geringen Rauminhalt als geschlossenes Rohrende ansehen. Man kann aber auch so experimentiren, dass der Ballon bei den Reflexionen ganz aus dem Spiele kommt. Der kurze Schlauch, welcher *G* mit *R* (Fig. 8) verbindet, lässt sich nach erfolgtem Verdichtungsstosse durch einen raschen Zug der Hand von *R* abziehen. Dann ist das vordere Ende der Leitung offen, und man erhält die Zuckungen am geschlossenen Ende *B*

(Fig. 9) bei den Schlägen 1, 5 und 9, wie zu erwarten war.¹⁾ Setzt man an *B* ein etwa 3 m langes, offenes Schlauchstück an und verfährt bei *G* wie oben, so hat man eine der beiderseits offenen Rohrleitung entsprechende Abänderung des Versuches.

8. Wurde durch die Rohrleitung einige Zeit lang ein Strom von Kohlensäure geleitet, darauf *G* angesetzt und *B* verschlossen, so ergab der Versuch Nr. 1 etwa 165 Tactschläge in der Minute; die Zuckungen waren eben so deutlich zu sehen, wie bei Luftfüllung. Mit Wasserstoff- oder Leuchtgasfüllung konnte selbstverständlich nicht experimentirt werden.

9. Will man die Dämpfung der Stosswellen ungefähr beurtheilen, so versieht man den das Ende *B* verschliessenden Pfropf *p* mit einem leicht beweglichen Glashahn und setzt an diesen ein Manometer an. Schickt man beim Tactschlage 0 eine Welle derart, wie bei Nr. 1 in die Leitung, während der Hahn geschlossen ist, so kann man den Stoss im Manometer beim Schlage 3 oder 5 auffangen, wenn man den Hahn erst in den Momenten 2 oder 4 rasch öffnet. Bleibt der Hahn gleich zu Anfang offen, so erhält man die Wirkung beim Schlage 1. Die rasche Abnahme der beobachteten ersten Manometerausschläge zeigt, dass die Flammenzeiger innerhalb sehr weiter Grenzen brauchbar sind.

Zur Noth kann man Experimente der obigen Art schon mit einer etwas kürzeren Leitung aus Gummischläuchen von 8 bis 10 mm Weite anstellen, welche man unter Vermeidung von Knickungen auf dem Fussboden ausbreitet. Man erhält eine noch weit geringere Fortpflanzungsgeschwindigkeit; freilich nehmen auch die Zuckungen sehr viel rascher ab, sodass nur wenige Reflexionen zu beobachten sind.

1) Man kann dasselbe erreichen, wenn man an das Rohr *R* (Fig. 8) den Mund anlegt und diesen nach kurzem, kräftigem Blasen rasch zurückzieht; auf diese Weise lassen sich sogar noch öftere Reflexionen erzielen.

Ltd. Anst v C Kist, Leipzig.