standes müssen noch ausführlichere experimentelle Untersuchungen vorangehen. Es wird demnach meine erste Aufgabe seyn, die Versuche innerhalb weiterer Temperaturgränzen auszuführen und vor Allem auch die specifischen Wärmen der Dämpfe zu untersuchen. Ich habe bereits hierfür eine längere Reihe von Vorversuchen angestellt und dazu mit geringen Modificationen denselben Apparat benutzt, der schon für die vorliegende Arbeit gedient hat.

Die Mittheilung der hierauf bezüglichen Untersuchungen bleibt einer späteren Abhandlung vorbehalten.

II. Ueber die akustische Anziehung und Abstoßung;

von Dr. V. Dvořák,
Privadocenten in Prag.

Was die früheren Versuche von Guyot, Guthrie und Schellbach über diesen Gegenstand betrifft, so hat dieselben Bertin in den *Annales de Chimie et de Physique*, T. XXV, (1872), p. 199, übersichtlich zusammengestellt. Da ich die rein theoretischen Abhandlungen von Thomson (*Philos. Magazin* T. XLI) und Challis (ebendasselbst) bis jetzt nicht zu lesen bekam, so ist im Folgenden bloß auf die Untersuchungen von Guyot, Guthrie und Schellbach Rücksicht genommen.

Beobachtungen an transversal-schwingenden Stäben.

Schon Guyot (1834) untersuchte die Einwirkung eines transversal schwingenden Stabes auf ein kleines in der Nähe aufgehängtes Papierquadrat. Der Versuch ist in den *Annales de Chimie et de Physique* T. XXV, p. 200¹⁾, auf folgende Art beschrieben:

1) Auch diese Ann. 1834, Bd. 31, S. 640.

„Une verge fixée dans un étau et mise en vibration en appuyant sur son extrémité libre, attire le pendule quand le plan du papier est parallèle au plan des vibration, est le repousse quand il lui est perpendiculaire. On suppose ici le papier parallèle aux faces de la verge; si l'on suspend le pendule perpendiculairement au dessus de la lame vibrante, il ne reste vertical qu'au-dessus d'un certain point de cette lame; à droite et à gauche il s'incline en sens contraire. — Un diapason vibrant attire le pendule par toutes ses faces“. Diese Auseinandersetzung ist aber nur theilweise richtig, denn das Verhalten eines schwingenden Stabes ist bedeutend complicirter, als es Guyot beschreibt. Bloß die zum Schlusse angeführte Beobachtung an der Stimmgabel entspricht der Wirklichkeit. Daß sich aber die Gabel ganz anders verhält, als der Stab, das rührt nicht etwa von der eigenthümlichen Form der Gabel her.

Bei der Stimmgabel sind nämlich beide Zinken ziemlich nahe aneinander, und sie wirken somit auf das Papierquadrat beide zugleich ein. Nun kann man durch Ueberschieben einer Röhre die eine Stimmgabelzinke leicht unwirksam machen; aber auch in diesem Falle wird das Papierquadrat von der andern Zinke überall angezogen und an keiner Stelle abgestoßen. Es muß also bei diesen Erscheinungen die Schwingungsdauer eine Rolle spielen. Man wird übrigens aus dem Folgenden ersehen, daß auch Stäbe mit hinlänglich kleiner Schwingungsdauer ein ähnliches Verhalten zeigen, wie die Stimmgabeln.

Ich verwendete bei meinen Versuchen einen Stab von Ahornholz, dessen freischwinger Theil 405 Mm. lang, 41 Mm. breit und 4 Mm. dick war. Der Stab führte wegen seiner geringen Dicke ziemlich langsame Schwingungen aus. Er wurde immer um etwa 2 Ctm. aus der Gleichgewichtslage gebracht und dann losgelassen. Als Versuchsobject wurde zuerst ein Papierquadrat von 1 Ctm. Seite, das auf einem dünnen Glasfaden aufgehängt war, verwendet (siehe Fig. 1, Taf. II). Der Stab wurde anfangs so gestellt, daß die breiten Seitenflächen horizontal waren.

Das Papierquadrat war einer der schmalen Seitenflächen parallel und seine Mitte befand sich mit der Mittellinie dieser Seitenfläche in derselben Horizontalebene.

In dieser Horizontalebene wurde nun das Papierquadrat parallel zu sich selbst verschoben, und zwar zuerst in einer Distanz von 3 Mm. vom Stabe $ss' tt'$ (Fig. 1, von oben gesehen, $\frac{1}{2}$ nat. Gröfse); die Verschiebung geschah also in der zu st parallelen Linie sa . In jeder einzelnen Lage des Papierquadrates wurde beobachtet, ob dasselbe vom Stabe angezogen oder abgestoßen wurde.

Dann brachte ich das Papierquadrat in eine andere Distanz (5 Mm.), und führte für diese Distanz eine ähnliche Versuchsreihe durch, wie für die Linie $3a$. Dasselbe geschah noch für die Distanzen von 10, 20 und 30 Millimeter.

Das Resultat war sehr eigenthümlich. Befand sich nämlich das Papierquadrat mit seiner Mitte in dem von den zwei Curven ih und fg eingeschlossenen Raume, so wurde es vom Stabe abgestoßen, und zwar am stärksten beiläufig in der Mittellinie kl des Raumes $ihfg$. Außerhalb dieses Raumes wurde aber das Papierquadrat vom Stabe angezogen. Natürlich sind die Curven ih und fg bei h und f noch weiter verlängert zu denken.

Was die Vorderfläche ss' des Stabes betrifft, so wird ein dieser Vorderfläche paralleles Papierquadrat innerhalb des Raumes sms' abgestoßen, außerhalb aber angezogen.

Es wurde hierauf das Papierquadrat mit seiner Mitte in einer verticalen durch die Linie kl gelegten Ebene verschoben, wobei seine Fläche gerade so wie bei den früheren Versuchen stets der schmalen Seitenfläche st des Stabes parallel blieb. Das Resultat ist in der Fig. 2, Taf. II (rechte Hälfte, nat. Gröfse) graphisch dargestellt. Innerhalb des von den zwei Curven no und $n'o'$ (beide Curven sind bei o und o' verlängert zu denken) eingeschlossenen Raumes wurde das Papierquadrat vom Stabe abgestoßen, außerhalb desselben aber angezogen. Oberhalb des Stabes,

in dem links vor der Linie sp gelegenen Raume, wird das Quadrat immer gegen die Linie M , die auf der Stabmitte senkrecht steht, hingezogen.

Außerdem wurde das Papierquadrat in einer zweiten durch qr (Fig. 1, Taf. II) gelegten Verticalebene verschoben. Innerhalb des Raumes $uvw'u'$ (Fig. 2, Taf. II) wurde dasselbe abgestoßen, außerhalb desselben aber angezogen. Man sieht leicht ein, daß etwas ähnliches auch bei den übrigen Verticalschnitten eintreten wird, falls dieselben nur eine der Curven ih oder fg irgendwo treffen.

Als ich nun statt des Papierquadrates eine kleine Hollundermarkkugel (Durchmesser gleich 3 Mm.) an den Glasfaden befestigte, so zeigte diese ein ganz anderes Verhalten. Ich wiederholte also nochmals die zuerst erwähnten Versuchsreihen, wo das Papierquadrat in einer horizontalen durch die Stabmitte gelegten Ebene verschoben wurde, mit der Hollundermarkkugel. Stand nun das Pendel auf irgend einem Punkte der beiden Curven hi und fg (Fig 1, Taf. II), so erhielt es einen Anstoß gegen das Innere des Raumes $hifg$, dessen Richtung jedesmal zur Seitenfläche st des Stabes parallel war. Wurde das Pendel an andere Stellen, die nicht auf den beiden Curven hi und fg lagen, gebracht, so war die Richtung des Anstoßes von Stelle zu Stelle verschieden. Es wurde nun für möglichst viele Stellen die Richtung des Anstoßes bestimmt, und daraus die in der Fig. 1, Taf. II dargestellten punktirten Curven construirt. Natürlich ist diese Construction nur eine beiläufige und ungenaue.

Wenn man von der Ansicht ausgeht, daß die Bewegung des Kügelchens von Luftströmen verursacht wird, so würden diese Curven die Richtung der Luftströme in der Horizontalebene angeben. Aus diesen Curven ergiebt sich auch das Verhalten des Papierquadrates von selbst. Innerhalb des Raumes $hifg$ gehen nämlich alle Luftströme vom Stabe hinweg, während sie außerhalb desselben zum Stabe hingerichtet sind. Man kann sich nun jeden Luftstrom, der schief auf die Fläche des Papierquadrates trifft,

nach zwei Richtungen zerlegt denken, nämlich senkrecht zu dieser Fläche und parallel zu derselben. Bloß die Componente, welche auf der Fläche des Papierquadrates senkrecht steht, kann eine Wirkung haben, die andere bleibt fast ganz wirkungslos. So geht z. B. auf den Curven hi und fg der Luftstrom zur Fläche des Papierquadrates parallel, und er hat eben darum auch keine Wirkung auf dasselbe.

Um mittelst des Hollundermarkkugelhens die Curven der Luftströmung in dem Verticalschnitt kl (Fig. 1, Taf. II) zu finden, muß der Stab natürlich vertical gestellt werden. Die Bestimmung habe ich jedoch nur flüchtig angeführt, die beiläufigen Stromcurven sind in der Figur 2, Tafel II (linke *obere* Hälfte der Figur) verzeichnet. Die Pfeile geben die Richtung der Luftströme an.

Die Stromcurven für den Verticalschnitt qr (Fig. 1, Taf. II) werden nach meiner Vermuthung etwa so aussehen, wie es in der Fig. 2, Taf. II (linke *untere* Hälfte der Figur) angedeutet ist. Was an der Linie vw eintritt, wo sich die Luftströme begegnen, weiß ich nicht zu sagen. Das Papierquadrat macht an dieser Stelle gewöhnlich unruhige, unregelmäßige Bewegungen.

Um das Ganze zu vervollständigen, muß ich noch bemerken, daß ein Kügelchen oder ein Papierquadrat, dessen Fläche auf der Längsrichtung des Stabes senkrecht ist, oberhalb des Stabes stets gegen die Linie lx (Fig. 1, Taf. II) getrieben wird. Die Wirkung auf das Pendel ist jedoch bedeutend schwächer, wenn sich dieses über der Mittellinie des Stabes befindet, als wenn dasselbe näher an den Rand st oder $s't'$ des Stabes gestellt ist.

Bringt man eine Kerzenflamme neben den Stab, so legt sich dieselbe immer nach der Richtung der in Fig. 1, gezeichneten Stromcurve. Sie wird also, wenn sie nahe am Punkte l ist, vom Stabe abgestoßen, bei i aber angezogen. Sie verhält sich demnach ebenso wie das Hollundermarkkugelhchen. Bei einer Stimmgabel verhält sich aber nach

Schellbach's Versuchen eine Kerzenflamme gerade umgekehrt, wie ein Pendel.

Bringt man das Ende eines Manometers in die Nähe von *l*, so zeigt es eine kleine Verdichtung an. In der Nähe von *i* giebt sich aber eine kleine Verdünnung zu erkennen. Wollte man die Druckverhältnisse genauer untersuchen, so müßte vor Allem der Stab ununterbrochen mit constanter Excursion schwingen, was hier nicht der Fall ist.

Soll das Manometer empfindlich seyn, so dürfen die beiden Schenkel desselben nicht parallel seyn, sondern sie müssen einen sehr stumpfen Winkel mit einander bilden. Statt Wasser ist es besser Weingeist zu nehmen, weil derselbe viel beweglicher ist, als Wasser.

Wie man sieht, sind die Verhältnisse an einem Stabe ziemlich verwickelt, und ich habe meine darüber angestellten Versuche eben nur deshalb angeführt, um auf die Complicirtheit der ganzen Erscheinung aufmerksam zu machen. Einfacher gestalten sich die Verhältnisse an einer kreisförmigen Scheibe. Ich nahm zu meinen Versuchen eine Pappscheibe (Dicke = 1 Mm., Durchmesser = 60 Mm.), die mittelst eines Stieles auf das Ende des früher erwähnten Stabes aufgesetzt wurde (Fig. 3, Taf. II, $\frac{1}{2}$ nat. Gröfse). Damit die vom Stabe herrührenden Luftströmungen nicht störend einwirken, muß derselbe am Ende möglichst schmal zugeschnitten werden. Das verwendete Papierpendel *p* war rechteckig, 1 Ctm. breit und bloß $\frac{1}{2}$ Ctm. hoch. Es wurde mit seiner Mitte in einer durch den Mittelpunkt *o* der Scheibe gelegten Verticalebene, die zugleich auf der Längsrichtung des Stabes senkrecht stand, verschoben. Diese Ebene trifft die Scheibe in den Geraden *fd*. Die Fläche des Papierrechteckes war stets senkrecht auf dem Radius der Scheibe. Die Excursion betrug 1 Ctm. Das Resultat, welches für den Schnitt *fd* gefunden wurde, ist der Deutlichkeit wegen in der Ebene des Schnittes *gh*, die in die Ebene der Zeichnung hineinfällt, verzeichnet.

Innerhalb des Raumes abc wurde das Pendel von der Scheibe abgestoßen, außerhalb desselben aber angezogen.

Würde die Scheibe während des Schwingens sich stets parallel bleiben, so wären die Verhältnisse für alle durch den Mittelpunkt o der Scheibe gelegten Verticalschnitte dieselben. Nun dreht sich auch die Scheibe etwas bei jeder Schwingung und dieses führt eine Unregelmäßigkeit herbei. Dieses sieht man am besten, wenn man statt des Papierrechteckes ein Hollundermarkkugélchen nimmt. Dasselbe stellt man gerade vertical über den Rand der Scheibe, weil daselbst eine starke Anziehung gegen das Innere der Scheibe vorhanden ist. Es wird nun bloß für den Schnitt hg , der mit der Längsrichtung des Stabes zusammenfällt, das Pendel in der Richtung des Radius gegen das Innere der Scheibe gezogen. Für die andern Schnitte fällt aber die Richtung der Anziehung nicht mit dem Radius zusammen, sondern diese Richtungen laufen beiläufig gegen einen Punkt r zusammen, der von dem festen Ende des Stabes weiter absteht, als der Mittelpunkt o der Scheibe.

Obwohl es schwer ist, sich die verwickelten Vorgänge an der Scheibe zurechtzulegen, so glaube ich doch, daß ihr Ursprung etwa folgender ist. Durch die Bewegung der Scheibe wird nicht bloß die Luft vor der Scheibe zusammengedrückt, sondern sie weicht auch nach der Seite aus und erhält somit eine Geschwindigkeit nach seitwärts. Zufolge dieser erlangten seitlichen Geschwindigkeit wird sie von der Scheibe wegströmen. Zur Wiederherstellung des Gleichgewichtes in der Luft muß aber eben deßwegen wieder andere Luft zur Scheibe hinströmen. Nach meiner Ansicht ist die seitwärts ausweichende, von der Scheibe weggetriebene Luft im Raume abc (Fig. 3, Taf. II) enthalten. An allen übrigen Stellen strömt Luft zur Scheibe hin; bei b müssen sich die beiden entgegengerichteten Luftströme begegnen.

Ein Uebelstand bei den vorhin beschriebenen Versuchen ist: daß die Excursionen des Stabes ziemlich schnell abnehmen. Glücklicherweise zeigte es sich, daß bei dem

von mir verwendeten Stabe die Größe der Excursion nur einen geringen Einfluß hatte. Als ich jedoch einen anderen Stab von Ahornholz untersuchte, der bei derselben Länge und Breite $1\frac{1}{2}$ mal dicker war als der zuerst verwendete, so wurde bei kleineren Excursionen des Stabes ein Pendel an allen Stellen vom Stabe angezogen. Der Stab verhielt sich also ähnlich wie eine Stimmgabel. Erst wenn man unter Anwendung von einiger Gewalt den Stab ziemlich weit aus der Gleichgewichtslage entfernte, so zeigte er dieselben Erscheinungen, wie sie an dem zuerst erwähnten dünneren Stabe beschrieben wurden. Ein Stahlstab, dessen freischwingendes Ende 270 Mm. lang, 20 Mm. breit und 3,5 Mm. dick war, zeigte auch bei den größten Excursionen, die ihm durch Streichen mit einem Bogen verliehen wurden, überall nur Anziehung.

Die Anziehung, welche bei einem hinlänglich rasch freischwingenden Körper auftritt, hat nach meiner Ansicht, die ich im Folgenden näher auseinander setzen will, nicht den Grund in Luftströmungen. Vielmehr glaube ich, daß sich die Luftströmungen bei rasch schwingendem Körper beinahe ganz in das Schwingungsfeld zurückziehen. Daß aber im Schwingungsfelde Luftströmungen vorhanden sind, dafür spricht folgender Versuch. Man stelle eine Stimmgabel so auf, daß die Zinken in eine horizontale Lage kommen und daß eine Zinke gerade vertical über der andern steht. Streut man Kieselsäure auf eine horizontal liegende Zinkenfläche, so sammelt sich diese beim Tönen der Stimmgabel sogleich auf der Mittellinie der Zinkenfläche zu einem scharfen Streifen an. Derselbe Versuch gelingt auch mit dem vorerwähnten Stahlstabe. Diese Anhäufung der Kieselsäure könnte eine Folge der in Fig. 1, Taf. II dargestellten nach der Stabmitte gerichteten Luftströmungen seyn. Auch kann man an das Ende eines longitudinal schwingenden Glasstabes eine runde Metall- oder Glasscheibe (Durchmesser = 27 Mm.), deren Fläche senkrecht ist zur Längsrichtung des Stabes, anmachen. Der Stab wird in einer verticalen Lage an zwei Stellen,

die Knotenpunkte sind, befestigt. Das Befestigen an zwei Punkten hat den Zweck, die Querschwingungen des Stabes möglichst zu verhindern. Auf die am Stabe befestigte Scheibe, deren Fläche horizontal liegt, wird Kieselsäure gestreut. Trotzdem die Excursionen des Stabes außerordentlich klein sind, so sammelt sich die Kieselsäure schon bei ganz schwachem Streichen augenblicklich in der Mitte der Scheibe an. Die Vergleichung mit den Erscheinungen an der in Fig. 3, Taf. II dargestellten Scheibe ist sehr naheliegend.

Es ist jedoch wahrscheinlich, daß die Luftströmungen auch ein wenig über das Schwingungsfeld hinausreichen. Dafür spricht folgender Umstand: es wird bei dem früher erwähnten Stahlstabe ein Papierquadrat, welches der schmalen Seitenfläche des Stabes parallel ist, nie bis zur Berührung mit dem Stabe angezogen, sondern es bleibt immer etwa auf 1 Mm. von demselben entfernt. Ich glaube, daß dieses von der seitwärts ausweichenden Luft herrührt, welche das Papierquadrat hindert, bis in unmittelbare Berührung mit dem Stabe zu treten.

Wirkung eines Schirmes in einer Schallwelle.

Vor das Resonanzkästchen einer Stimmgabel ¹⁾ wird in einer Entfernung von 5 bis 6 Ctm. von der Oeffnung des Kästchens ein ebener, verticaler Schirm angebracht, dessen Fläche der Oeffnungsfläche des Kästchens parallel ist. Dieser Schirm ist auf einer Seite mit einer verticalen

- 1) Sollen die Versuche gut gelingen, so muß das Resonanzkästchen sehr gut auf die Stimmgabel abgestimmt seyn, was gewöhnlich nicht der Fall ist. Man überzeugt sich durch schwaches Darüberblasen über die Oeffnung des Kästchens, ob sein Ton mit dem der Stimmgabel übereinstimme. Ist die Abstimmung genau, so klingt zwar die Gabel stark, sie schwingt aber sehr bald aus. Verändert man durch theilweises Bedecken der Oeffnung die Stimmung des Kästchens, so tönt die Stimmgabel sehr lange Zeit hindurch. Ich benutzte bei meinen Versuchen stets eine Stimmgabel von 425 ganzen Schwingungen, mit sehr starken Zinken (15 Mm. breit, 8 Mm. dick), die ungemein lange tönte, wenn das Kästchen nicht auf dieselbe abgestimmt war.

Linie begränzt und diese Begränzungslinie steht gerade vor der Mitte der Oeffnung des Kästchens. Es wird somit durch diesen Schirm, den man sich an einer Seite unbegränzt groß vorstellen kann, die Hälfte der aus dem Resonanzkästchen tretenden Schallwelle abgefaßt. Es zeigt sich nun, daß von dem Rande des Schirmes ein kleines Pendel angezogen wird, während die Fläche des Schirms selbst bis auf eine ganz kleine Distanz vom Schirmrande nicht die geringste Wirkung zeigte. Ich verwendete als Pendel ein kleines Hollundermarkkugélchen, das an einem feinen Glasfaden aufgehängt war. Als Schirm diente anfangs eine Platte von 2 Mm. Dicke. Die stärkste Anziehung auf das Pendel äußert der Rand des Schirmes beiläufig in einer Richtung, die auf der Fortpflanzungsrichtung der aus dem Resonanzkästchen heraustretenden Schallwellen nahezu senkrecht steht. Aber auch in allen übrigen Richtungen äußert sich die Anziehung des Schirmrandes auf das Pendel. So wird z. B. das Pendel auch dann zu dem Schirmrande hingezogen, wenn es sich fast unmittelbar *vor* dem Schirme und in einer kleinen seitlichen Entfernung von der Kante desselben befindet. Ja selbst in dem Falle, wenn sich das Pendel *hinter* dem Schirme in einem kleinen seitlichen Abstände von der Kante befindet, wird es gegen die Kante des Schirms gezogen, wenn auch mit geringerer Intensität, wie in dem zuvor betrachteten Falle. Die Distanz, auf welche sich die Anziehung erstreckt, ist aber in jedem Falle sehr klein, nämlich etwa 2 Mm. Die Dicke des Schirms kann auch sehr klein seyn; so äußert z. B. der Rand von einem Stück Rauschblech oder die Schneide eines Rasirmessers auch eine Anziehung auf das Pendel. Ja auch ein Glasstab von 4 Mm. Durchmesser, den man vertical vor die Oeffnung des Kästchens stellt, übt eine schwache Anziehung aus, jedoch nur in einigen wenig von einander abweichenden Richtungen, die nahezu auf die Fortpflanzungsrichtung der Schallwellen senkrecht stehen. Doch äußert so ein Glasstab noch immer mehr anziehende Kraft, als ein ebener Streifen von geringer Dicke, dessen

Breite den Durchmesser des Glasstabes bei weitem übertrifft. So zeigt eine Messingklinge von 1 Ctm. Breite, deren Fläche senkrecht ist zur Fortpflanzung der Schallwellen, fast gar keine Wirkung.

Stellt man den Schirm so, daß seine Ebene zur Fortpflanzungsrichtung der Schallwellen parallel ist, so zeigt er nicht die geringste Anziehung.

Die Wirkung der Ränder kann man übrigens auch an der Oeffnung des Resonanzkästchens sehen. Ist nämlich das Kügelchen des Pendels in der Ebene dieser Oeffnung, so wird es immer zu demjenigen Oeffnungsrande hingezogen, von welchem es gerade am wenigsten entfernt ist. Bei diesem Versuche muß man natürlich das Kästchen so stellen, daß die Ebene der Oeffnung horizontal liegt.

Schellbach bemerkte bekanntlich, daß ein Papierquadrat von einer Spalte in einem Schirme angezogen wurde. Diese Anziehung rührt jedoch, wie ich mich überzeugt habe, von den *Rändern* der Spalte her, indem ein hinlänglich kleines Pendel immer von derjenigen Kante der Spalte (Schellbach's Spalte war 15 Mm. breit) angezogen wird, zu welcher es näher gestellt ist.

Ich halte es für wahrscheinlich, daß die akustische Anziehung eines Pendels von einer Tonquelle mit den Erscheinungen an Schirmen irgendwie zusammenhängt. Ein kleines Papierquadrat oder ein Kügelchen in der Nähe eines tönenden Körpers stellen ebenfalls einen kleinen Schirm vor. Danach wäre vielleicht die akustische Anziehung als eine Wirkung der Reflexion des Schalles an den Rändern anzusehen.

Daß die akustische Anziehung mit der Reflexion des Schalles zusammenhängt, dafür sprechen auch die Versuche Schellbach's, nach welchen Körper, die dünner sind als Luft, von der Tonquelle abgestoßen, die dichteren hingegen angezogen werden. Dieses könnte damit in Beziehung stehen, daß an dünneren Medien der Schall ganz anders reflectirt wird, als an dichteren.

Akustische Abstossung und Anziehung von Resonatoren.

Zu diesen Versuchen nimmt man am besten eine kräftig tönende Kundt'sche Schallröhre ab (Fig. 4, Taf. II), die an der einen Seite (bei *a*) offen ist. Da an dem offenen Ende der Röhre bei *a* stets ein Bauch ist, so tönt die Luftsäule dann am stärksten, wenn an das Ende *c* des tonerregenden Glasstabes gerade ein Knoten fällt.

Es wird nun eine an beiden Enden offene dünnwandige Glasröhre (Durchmesser = 12 Mm., Wanddicke = 0,3 Mm.) auf den Ton der Kundt'schen Röhre abgestimmt. Dieses darf nicht etwa so geschehen, daß man bei der Kundt'schen Röhre an der Staubfigur eine halbe Wellenlänge abmisst, und die Glasröhre nach diesem Maafse abschneidet; denn dann ist der Ton der Glasröhre zu tief, und zwar deshalb, weil die Luft eine merkliche Strecke über die Enden der Röhre hinausschwingt. Man muß also durch schwaches Darüberblasen den Ton der Glasröhre mit dem der Kundt'schen Röhre vergleichen.

Die abgestimmte Glasröhre *df* wird auf etwa 2 bis 3 Ctm. Entfernung vor das offene Ende *a* der Kundt'schen Röhre auf zwei Fäden aufgehängt, so daß die Axen beider Röhren in dieselbe Gerade fallen. Beim Ertönen der Kundt'schen Röhre wird nun das Glasröhrchen sehr heftig abgestossen. Die Abstossung zeigt sich jedoch auch dann, wenn ein Oberton des Glasröhrchens mit dem Tone der Kundt'schen Röhre übereinstimmt, also wenn sein Grundton z. B. um eine oder zwei Octaven tiefer ist, als der Ton der Kundt'schen Röhre.

Selbstverständlich gelingen diese Versuche auch mit Glasröhrchen, die an einem Ende geschlossen sind, nur ist die Abstossung einer an beiden Seiten offenen Röhre viel überraschender, weil man nicht weiß, wo der Angriffspunkt der abstossenden Kraft zu suchen ist. Man kann den Versuch auch mit dem Resonanzkästchen einer stark tönenden Stimmgabel anstellen. Zu diesem Zwecke wird ein möglichst leichter cylindrischer Resonator aus steifem Papier gemacht, und diesen hängt man nahe vor

die Oeffnung des Resonanzkästchens auf zwei Fäden auf (Fig. 5, Taf. II). Die Abstofsung des Resonators ist sehr merklich ¹⁾).

Die Abstofsung des Röhrchens ist natürlich um so stärker, je genauer der Ton des Röhrchens mit dem der Kundt'schen Röhre übereinstimmt. Es dauert jedoch die Abstofsung auch bei ziemlich starker Verstimmlung des Röhrchens fort, und sie geht erst bei einer gewissen Gränze in *Anziehung* über. Ich suchte diese Gränze für ein Glasröhrchen auf, welches auf einer Seite mit einem verschiebbaren Korke geschlossen war. War das Röhrchen genau abgestimmt, so betrug die Länge der Luftsäule 29 Mm., aber erst bei der Länge von 41 bis 45 Mm., wo der Ton des Röhrchens schon um eine Quinte tiefer war, als der Ton der Kundt'schen Röhre, begann die Anziehung.

Mit der *Erhöhung* des Tones darf man nicht mehr so weit gehen, wie mit der Vertiefung desselben. So wurde das Glasröhrchen schon bei einer Verkürzung um 2 Mm., also bei einer Länge von 27 Mm. angezogen. Außerdem zeigt sich hierbei ein sehr eigenthümlicher Umstand.

- 1) Während man sonst einen Ton durch Resonanz zu verstärken pflegt, so muß es anfangs auffallend erscheinen, daß durch einen in die Nähe der Kästchenöffnung gebrachten Resonator der Ton außerordentlich geschwächt wird.

Man gebe z. B. eine genau abgestimmte, an beiden Enden offene Röhre nahe vor die Oeffnung des Resonanzkästchens; der Ton wird augenblicklich sehr schwach. Er schwillt jedoch mächtig an, wenn man das von dem Kästchen abgewendete Ende der Röhre mit der Hand verschließt und so die Resonanz der Röhre vernichtet. Ebenso gut gelingt der Versuch mit einem Helmholtz'schen Resonator, bei welchem man, um denselben zu verstimmen, mit einem vorgehaltenen Stück Pappe die Oeffnung theilweise verschließt. Am auffallendsten ist die Anschwellung des Tones bei einer auf die Gabel gestimmten Kautschukmembran, welche ganz nahe vor die Kästchenöffnung befestigt wird. Jedesmal wenn man mit einem Stifte die Membran berührt, schwillt der Ton wie mit einem Schlage an. Ueber die Schwächung des Tones durch einen mitschwingenden Körper siehe übrigens die sehr merkwürdigen Versuche von Gripon (*Ann. de Chimie* 1874, T. III, p. 343, „*Sur les vibration de l'air*“).

Läßt man nämlich die Kundt'sche Röhre sehr stark ertönen, so wird das Röhrechen bei dieser Länge von 27 Mm. noch abgestoßen, und nur bei nicht allzu starken Tönen wird es angezogen. Auch bei der Länge von 23 Mm. (der Ton ist hiebei um eine kleine Terz höher, als der Ton der Kundt'schen Röhre) wurde das Glasröhrechen bei schwachen Tönen angezogen, bei starken abgestoßen. Doch konnte man diese Abstofsung leicht in Anziehung verwandeln, wenn man das Glasröhrechen in eine etwas größere Distanz von der Kundt'schen Röhre brachte. Es zeigt sich also, daß bei einem starken Tone das Röhrechen *für kleinere Distanzen abgestoßen, für größere angezogen wurde.*

Verkleinert man die Länge der Luftsäule im Röhrechen bis auf 21 Mm., so wird dasselbe unter allen Umständen *angezogen*, der Ton mag schwach oder stark, die Distanz kleiner oder größer seyn.

Ich untersuchte nun weiter, wie *zwei* auf den Ton der Kundt'schen Röhre genau abgestimmte, gedeckte Glasröhrechen gegenseitig auf einander wirken. Es wurden zwei solche Röhrechen *hi* und *kl* (im oberen Theile der Fig. 4, Taf. II schematisch gezeichnet) mit den offenen Enden einander gegenüber horizontal aufgehängt, so daß ihre Axen in dieselbe Gerade fielen. Der Abstand der offenen Enden betrug 5 Mm. Nun wurde in einer Distanz von 30 Mm. eine Kundt'sche Röhre *a'b'* so aufgestellt, daß ihre verlängerte Axe senkrecht stand auf den Axen der beiden Röhrechen und gerade in die Mitte ihres gegenseitigen Abstandes hineinfiel. Man sollte nun erwarten, daß die zwei Röhrechen, da sie beide denselben Ton geben, sich abstoßen würden, sie ziehen sich aber bis zur Berührung an. Waren die Röhrechen nicht auf den Ton der Kundt'schen Röhre abgestimmt, so war die Anziehung je nach dem Grade der Verstimmung unmerklich oder $= 0$.

Ein Versuch, der ebenfalls ziemlich paradox erscheint, ist folgender. Wenn man den tonerregenden Glasstab aus

der Kundt'schen Röhre herausnimmt, und dann nahe vor das Ende desselben ein genau abgestimmtes (gedecktes) Röhrchen bringt, so wird dasselbe nicht abgestoßen, wie man erwarten möchte, sondern angezogen.

Erscheinungen an Luftsäulen, die in stehenden Schwingungen begriffen sind.

I.

In jeder Luftsäule, die stehende Schwingungen ausführt, zeigt ein Manometer im Schwingungsknoten einen kleinen Druck an; vom Knoten gegen den Bauch nimmt dieser Druck stetig ab und er ist im Bauche sehr klein oder beinahe $= 0$. Diese Thatsache läßt sich überall mit Leichtigkeit nachweisen. Man macht zu diesem Zwecke ein recht empfindliches Manometer, wie solches gleich anfangs besprochen wurde. Das Ende des Manometers, welches in die schwingende Luftsäule eingeführt wird, muß natürlich hinreichend lang seyn. Um sehr kleine Druckänderungen nachzuweisen, nimmt man eine ganz gerade, horizontale Röhre mit einem Weingeist-Index darin. Damit durch das Einführen des Manometerendes in die Luftsäule keine große Störung der Schwingungsverhältnisse von verhältnißmäßig kleinem Querschnitt leicht eintreten könne, so soll das Manometer aus einer recht dünnen, jedoch gleichmäßigen Glasröhre verfertigt seyn.

Die Versuche kann man auf sehr verschiedene Art anstellen. Wenn man z. B. das Ende des Manometers in das Resonanzkästchen einer Stimmgabel einführt, so ist der Druck desto größer, je tiefer das Manometerende in das Kästchen eingeführt wird. Stellt man einen genau abgestimmten Resonator nahe vor das Kästchen, so kann man an dem Resonator dasselbe nachweisen. Als Resonator kann nun auch eine an beiden Enden offene Glasröhre dienen; dann zeigt sich der größte Druck in der Mitte der Röhre.

In allen Fällen gilt aber als Regel, daß in der Ebene der Oeffnung des Resonators immer, wenn auch fast un-

merkliche Verdichtung angegeben wird. Dieses rührt wahrscheinlich davon her, daß die stehende Welle immer etwas über die Ebene der Oeffnung hinausragt, wie dieses ja bei Pfeifen allgemein bekannt ist.

In einer Kundt'schen Röhre ist natürlich der Druck im Knoten viel gröfser, als bei einem Resonator. Ich habe schon in einer früheren Mittheilung („Ueber einige neue Staubfiguren“ Sitzungsber. 1874) darüber folgendes angeführt: Giebt man in den Kork, welcher das Ende der Kundt'schen Röhre verschließt, ein kleines Manometer, so zeigt es beim Streichen eine Druckvermehrung von etwa 1 Ctm. Wasser, jedoch nur dann, wenn die Länge der Luftsäule ein Vielfaches von einer halben Wellenlänge beträgt. Läßt man den Kork an der Knotenstelle, und schiebt das Ende des Manometerröhrchens so weit hinein, bis es in der Mitte des Bauches steht, so zeigt sich keine Druckvermehrung. Die Erscheinung ist wahrscheinlich der von Kundt bei gedeckten Pfeifen beobachteten analog. Die Erklärung, durch den aus dem Kernspalt dringenden Luftstrom, wie sie Kundt annimmt, ist natürlich hier nicht zulässig, und scheint auch für Pfeifen nicht die richtige zu seyn, wie ich schon früher einmal (Sitzungsber. 1873 „Ueber das Kundt'sche Manometer“ — auch diese Ann. Bd. 150, S. 410) bemerkt habe.

Ich muß jedoch hinzufügen, daß nach den späteren Versuchen, die ich mit empfindlichen Manometern angestellt habe, *sich auch im Schwingungsbauche eine kleine Verdichtung zeigt*. Ich werde auf diesen Umstand im Späteren noch einmal zurückkommen.

Aus der Druckvertheilung in der Kundt'schen Röhre erklärt sich nun der von mir früher einmal beschriebene Versuch¹⁾, bei welchem das Wasser in der Kundt'schen Röhre zu den Bäuchen getrieben wird, von selbst. Es ist in der betreffenden Mittheilung über diesen Versuch Folgendes bemerkt: Merkwürdig ist es, daß selbst Wasser in der Kundt'schen Röhre zu den Bäuchen getrieben wird,

1) „Ueber einige neue Staubfiguren“ (Sitzungsber. 1873. — Auch diese Ann. Bd. 153, S. 102).

und sich daselbst zu einer Wand anstaut. Ich nahm eine zuvor gut mit Weingeist ausgewachsene Röhre, machte die Länge der Luftsäule = 2 halben Wellenlängen, und goß soviel gefärbtes Wasser hinein, daß es, wenn die Röhre horizontal war, über der tiefsten Stelle des Röhrenquerschnittes etwa 2 Mm. hoch stand. Beim Streichen bildete sich im Bauche eine Rippe von Wasser (Fig. 6, Taf. II), die bei jedem starken Strich den ganzen Röhrenquerschnitt ausfüllte.“

Das Ganze hat nun darin seinen Grund, daß zufolge des an den Knoten herrschenden nicht unbedeutenden Druckes das Wasser dort von oben her gedrückt wird; es muß somit nach der Seite ausweichen und sich im Bauche anstauen, wo der Druck fast unmerklich ist.

II.

Dieser Ueberdruck in dem Knoten einer schwingenden Luftsäule hat nun darin seinen Grund, daß die Amplitude der Schwingungen nicht gegen die Wellenlänge verschwindet. Es hat mich gelegentlich Hr. Prof. Mach darauf aufmerksam gemacht, daß in diesem Falle die Verdünnung kleiner ausfällt als die Verdichtung, daß mithin der mittlere Druckzuwachs nicht = 0 seyn kann.

Dieses kann man ohne Schwierigkeit einsehen. Es sollen nämlich x und $x + dx$ die Abscissen zweier Theilchen, ξ und $\xi + d\xi$ die zugehörigen Excursionen vorstellen. Ist dx die Entfernung der Theilchen in der Ruhelage, so ist sie $dx + d\xi$ in der Excursion. Nimmt man die Dichte des ruhenden Mediums als Einheit, so drückt sich jene des bewegten einfach durch

$$\frac{dx}{dx + d\xi} = \frac{1}{1 + \frac{d\xi}{dx}}$$

aus, was sich auf $1 - \frac{d\xi}{dx}$ reducirt, wenn man die Excursionen als sehr klein betrachtet. Die Dichtenänderung ohne Rücksicht auf das Zeichen ist also $= \frac{d\xi}{dx}$, wobei ξ die Ex-

cursion als Function der Abscisse x und der Zeit t gegeben ist¹⁾).

Wenn nun die Excursionen nicht als verschwindend klein betrachtet werden können, so ist

$$\frac{1}{1 + \frac{d\xi}{dx}} = 1 - \frac{d\xi}{dx} + \left(\frac{d\xi}{dx}\right)^2.$$

Die Verdichtung ist demnach, wenn man die übrigen Glieder vernachlässigt,

$$\frac{d\xi}{dx} + \left(\frac{d\xi}{dx}\right)^2,$$

die Verdünnung jedoch

$$- \frac{d\xi}{dx} + \left(\frac{d\xi}{dx}\right)^2.$$

Der mittlere Druckzuwachs für eine bestimmte Abscisse ist somit

$$\int_{t=0}^{t=T} \left(\frac{d\xi}{dx}\right)^2 \frac{dt}{T},$$

wobei T die Schwingungsdauer vorstellt.

Ich will nicht weiter auf die Sache eingehen; soviel glaube ich jedoch annehmen zu dürfen, daß man aus dem mittleren Druckzuwachs, der leicht experimentell bestimmt werden kann, die GröÙe der Verdichtung, und somit auch die Excursionen der Luft berechnen könnte. Jedoch wäre diese Bestimmung keine sehr genaue, weil der mittlere Druckzuwachs in Wirklichkeit immer sehr klein ist, und man bei seiner Messung leicht einen verhältnißmäÙig großen Fehler begehen kann. Für das Resonanzkästchen einer Stimmgabel betrug z. B. der mittlere Druckzuwachs im Knoten bloß 2 Mm. Wasser.

III.

Die eigenthümliche Druckvertheilung in einer schwingenden Luftsäule hat eine sehr merkwürdige Bewegung

1) Diese Ableitung des Druckes aus der Excursion findet sich in den „Optisch akustischen Verrucken“ (Prag, Calve 1872) von Professor E. Mach.

der Luft zur Folge. *Da nämlich der mittlere Druck von den Knoten gegen die Bäuche stetig abnimmt, so muß die Luft nothwendig von den Knoten gegen die Bäuche strömen.*

Man kann sehr leicht durch die Versuche bestätigen, daß diese Strömung wirklich eintritt. Füllt man z. B. das Resonanzkästchen der Stimmgabel mit Salmiakrauch, so fährt derselbe beim Streichen der Stimmgabel mit wirbelnder, unruhiger Bewegung aus dem Kästchen heraus. Sehr gut gelingt auch dieses Herausströmen des Rauches bei einem in der Nähe der Kästchenöffnung aufgestellten kugelförmigen Helmholtz'schen Resonator. Mit einer einseitig gedeckten Glasröhre, die auf den Ton der Gabel abgestimmt ist, gelingt aber der Versuch fast gar nicht; es schwächt nämlich der hineingebrachte Salmiakrauch bei so einer Röhre die Resonanz allzusehr. Davon überzeugt man sich sehr leicht. Bläst man nämlich über die Oeffnung der Glasröhre, solange noch kein Rauch darin ist, so giebt sie einen reinen, starken Ton. Der Ton verlöscht jedoch ganz, wenn Salmiakrauch in die Röhre hineingebracht wird.

Ein merkwürdiger Umstand tritt bei den Röhren auf, die an beiden Seiten offen sind. Stellt man so eine möglichst genau abgestimmte Glasröhre in einer horizontalen Lage nahe vor die Oeffnung des Resonanzkästchens einer Stimmgabel, so fährt der sämtliche Rauch immer bei demjenigen Röhrende heraus, welches den größeren Querschnitt hat. Bei einer 395 Mm. langen, etwas conischen Glasröhre, die an dem einen Ende 17 Mm., auf dem anderen 13 Mm. im Durchmesser hatte, *entleerte sich der Rauch fast momentan durch das weitere Ende.* Aber selbst bei Röhren, *die kaum merklich conisch* sind, und wo man sich nur mit Mühe von der ungleichen Breite der beiden Oeffnungen überzeugen kann, strömt der Rauch immer durch das weitere Ende heraus; jedoch muß man die Stimmgabel mehrmals nach einander streichen, um den Rauch vollständig durch das breitere Ende zu entfernen.

IV.

Es ist also gar keinem Zweifel unterworfen, daß die Luft wirklich von den Knoten zu den Bäuchen strömt. Doch ist dabei Folgendes zu beachten. Es scheint, daß diese Strömung sehr bald ihr Ende erreichen müßte, nämlich dann, wenn durch die zu den Bäuchen getriebene Luft sich der Druck überall ausgeglichen hätte. Der Grund, daß diese Strömung fort dauert, scheint nun folgender zu seyn. Es sind nämlich in dem ganzen Röhrenquerschnitte die Verhältnisse nicht immer dieselben; an den Wänden der Röhre sind die Excursionen der Luft wegen der Reibung kleiner, als in der Mitte der Röhre. Dieser Unterschied in der Größe der Excursionen muß dann besonders groß seyn, wenn die Schwingungen in der Röhre sehr heftig sind, denn dann ist auch die Reibung an den Wänden sehr groß. Außerdem wird durch diese Reibung im Schwingungsbauche Wärme entwickelt, welche daselbst die Spannkraft der an den Röhren befindlichen Luft etwas vergrößert. Ohne weiter in theoretische Betrachtungen hineinzugerathen, will ich bloß anführen, was thatsächlich geschieht. *Es strömt nämlich an den Röhrenwänden die Luft von dem Bauche zu dem Knoten, im Inneren der Röhre jedoch von dem Knoten zu dem Bauche.*

Diese Thatsache läßt sich durch die Betrachtung der Staubfiguren in der Kundt'schen Röhre ganz deutlich nachweisen. Ich habe eine detaillirte Beschreibung dieser Staubfiguren schon in einer früheren Mittheilung¹⁾ gegeben. Zur Erzeugung der Staubfiguren wurde *Kieselsäure* und *Lycopodium* verwendet. Die Kieselsäure eignet sich vorzugsweise zur Nachweisung der Luftbewegung, die im Inneren der Röhre in einem merklichen Abstände von der Röhrenwand herrscht, und zwar aus dem einfachen Grunde, weil sie wegen ihrer großen Leichtigkeit und Feinheit schon bei dem geringsten Anlasse aufwirbelt und sich vom Boden der Röhre emporhebt: sie tritt also sogleich aus der Sphäre des knapp an der Röhrenwand fort-

1) „Ueber einige neue Staubfiguren,“ (Sitzungsber. 1873).

gleitenden gegen den Knoten gerichteten Luftstromes. Man sieht also an der Kieselsäure vorzugsweise die Wirkungen des von dem Knoten gegen den Bauch gerichteten Luftstromes, und die Kieselsäure bewegt sich somit zu den Bäuchen. Dieses ist in der früher angeführten Mittheilung auf folgende Art beschrieben: „Streicht man etwas stärker, so bildet sich eine einfache Staubwand $\alpha\beta\gamma\delta$ (Fig. 7, Taf. II) im Bauche. Beim Ausklingen zertheilt sich jede Staubwand in zwei Staubwolken, die von einander stürzen, so treffen die gegen einander gerichteten zwei Staubwolken von zwei benachbarten Staubwänden in der Nähe des Knotens aufeinander, wodurch viel Staub auf die Knotenstellen gelagert wird“.

Dieses Auseinandertreten der Staubwand beim Ausklingen erkläre ich mir auf folgende Art: Es hat sich im Bauche der Welle durch das Zusammenströmen die Luft etwas verdichtet. Es ist im Früheren bemerkt worden, daß ein Manometer im Bauche der Welle eine kleine Verdichtung zeigt. Nach dem Aufhören des Tones gleicht sich nun diese durch Anstauung der Luft entstandene Verdichtung nach beiden Seiten aus, wodurch momentan zwei vom Bauche gegen die Knoten gerichtete Luftströme entstehen.

Sehr gut sieht man auch die Bewegung der Kieselsäure zu den Bäuchen, wenn man nahe vor die Oeffnung des Resonanzkästchens einer Stimmgabel eine genau abgestimmte beiderseits offene Glasröhre mit Kieselsäure bringt. Diese Röhre wird mit einer Libelle genau horizontal gestellt. Beim Tönen der Stimmgabel bilden sich Rippen in der Glasröhre, die sich mit großer Gleichmäßigkeit gegen die Enden der Röhre bewegen, wo dann die Kieselsäure aus der Röhre austritt und herabfällt.

Was nun die Nachweisung des an *der Röhrenwand befindlichen Stromes* betrifft, so eignet sich dazu *Lycopodium* viel besser als *Kieselsäure*, weil es sich schwerer hebt, und deshalb immer nahe an dem Boden der Röhre bleibt.

Doch kann man auch mit Kieselsäure, wenn man *außerordentlich wenig* davon nimmt, das *Lycopodium* ersetzen¹⁾, und umgekehrt ersetzt auch das *Lycopodium*, wenn man etwas mehr davon nimmt, die Kieselsäure.

Soll der Luftstrom an den Röhrenwänden merklich seyn, so ist es nothwendig, daß die Luftströmungen sehr heftig seyen, was nur bei gedeckten Kundt'schen Röhren eintritt, wo die Länge der Luftsäule einem Vielfachen von einer halben Wellenlänge gleich ist.

Die Staubfiguren, an denen man die Wirkung des an der Röhrenwand befindlichen Stromes sehen kann, sind in der vorhin angeführten Mittheilung auf folgende Art beschrieben: „Macht man die Länge der Luftsäule gleich einigen wenigen Halbwellen, etwa vier, so sieht man bei näherer Untersuchung mehrere Erscheinungen von meistens sehr variabler Natur, die oft sehr sonderbar sind. Giebt man z. B. sehr wenig *Lycopodium* in die Röhre und streicht die Röhre etwa drei- bis viermal sehr mäßig, so sieht man, wenn man mitten im Strich die tönende Röhre festhält, matte gegen den Knoten bin gekrümmte Rippen (Fig. 8, Taf. II A). Beobachtet man die Rippen während die Röhre tönt, so scheint es, als ob sich von einem Knoten zum andern zwei *Rippensysteme in entgegengesetzter Richtung hindurch bewegen würden*. Bei etwas näherer Betrachtung der Rippen sieht man ihre dünnen Enden gegen den Knoten, ihre Mitten aber gegen den Bauch sich hinbewegen, was also auch die gekrümmte Form derselben erklären würde“.

„Setzt man das Streichen einige Zeit fort, so verschwinden bald die Rippen von der Mitte des Bauches, und wenn man dann mitten im Striche anhält, so erhält man die in Fig. 8, Taf. II B dargestellte Form. Streicht man etwas stärker, so entfernen sich die Grenzen *g* und *g'* von einander und nähern sich dem Knoten, ohne ihn jemals zu erreichen; sobald jedoch der Stab anfängt aus-

1) Das Nähere darüber findet sich in der schon mehrmals angeführten Mittheilung („Ueber einige neue Staubfiguren“).

zuklingen, so nehmen sie fast augenblicklich ihre alte Stelle ein ¹⁾“.

„Ist außerordentlich wenig Lycopodium an den Wänden der Röhre gleichmäfsig vertheilt, so bildet sich gleich beim ersten kurzen, mäfsigen Strich die Form in Fig. 9, Taf. II, die natürlich der in Fig. 8, Taf. II *B* dargestellten analog ist. Ist hingegen etwas zu viel Staub in der Röhre, so gelingt es auch nach längerem Streichen fast gar nicht, die Fig. 8, Taf. II *B* hervorzubringen“.

Man sieht also an der Fig. 8, Taf. II *A* sowohl die Wirkung des Wandstromes, als auch die des inneren Stromes. Der Gipfel der Rippen, welcher etwas tiefer in das Innere der Röhre hineinragt, folgt dem inneren Strome, der untere Theil der Rippen, welcher knapp an der Röhrenwand liegt und die dünnen Enden der Rippen, von denen dasselbe gilt, folgen dem Wandstrome. Die Rippen nämlich, welche das Lycopodium in diesem Falle bildet, sind nicht compact, wie man das oft an Kieselsäurerippen nach längeren Tönen sieht, sondern sie bilden schütterere, sehr lockere Staubwände, durch welche die Luft leicht hindurchgeht.

Man sieht zugleich aus der obigen Beschreibung, dafs die *Staubmenge* auf die Erscheinungen von grossem Einflufs ist. Ist nämlich viel Staub in der Röhre, so wirbelt er stark auf, und die Hauptmasse des Staubes gelangt so in den Bereich des inneren Stromes. Es gelingt somit nicht den Staub aus der Mitte des Bauches wegzubringen, sondern es häuft sich vielmehr der Staub daselbst an.

Ist aber wenig Staub in der Röhre, so überwiegt die Wirkung des Wandstromes, und die Mitte des Bauches wird bald staubfrei. So entsteht die Fig. 8, Taf. II *B* und die Fig. 9. Ich sah übrigens öfter bei genauerer Betrachtung *einzelne* an dem Boden der Röhre liegende Staubkörner sich gegen den Knoten bewegen.

1) Dieses Zurückgehen des Staubes an den Boden der Röhre beim Aufhören des Tones dürfte einen ähnlichen Grund haben, wie das früher besprochene Auseinandertreten der Staubwand im Bauche.

V.

Man sieht jedoch in einer Kundt'schen Röhre außer den zuvor beschriebenen Bewegungen der Kieselsäure und des Lycopodiums zugleich noch eine *Bewegung des gesamten Staubes von dem A-Ende des tonerregenden Glasstabes gegen das andere Ende B der schwingenden Luftsäule* ¹⁾.

Es sieht auch die Staubfigur in einer sehr langen Röhre (3 Meter) bei A ganz anders aus, als bei B. Bei A finden sich nämlich starke Rippen, diese erstrecken sich selbst über die Knoten, nur sind sie dort etwas dichter. Bei B hingegen ist die Löcherfigur zu sehen, wobei die Rippen sehr schwach sind. Diese Ungleichheit in der Staubfigur erklärte ich dadurch, daß „die vom tönenden Glasstabende ausgehende Schallwelle auf dem langen Wege bis zum Röhrenende und nach der Reflexion wieder beträchtlich geschwächt wird, so daß in der Nähe des tönenden Glasstabendes keine reine stehende Welle entstehen kann, sondern eine stehende Welle, über welche sich eine fortlaufende dartüberlegt“.

Ich glaube nun, daß diese fortlaufende Welle die Ursache der Bewegung des Staubes von A gegen B ist. Es kann nämlich auch in einer fortlaufenden Welle der mittlere Druckzuwachs nicht $= 0$ seyn. Hätte die fortlaufende Welle auf ihrer ganzen Ausdehnung überall dieselbe Stärke, so wäre dieser Druckzuwachs überall gleich. Nun ist sie (wie man aus der Staubfigur schließen kann) bei A stärker als bei B; der Druck bei A ist also größer als bei B und es muß mithin eine Strömung entstehen, die von A nach B gerichtet ist.

Man kann den Versuch auch gut mit *Salmiakrauch* anstellen. Man giebt nämlich an das eine Ende A einer beiderseits offenen Glasröhre eine Portion recht dichten Salmiakrauch; der tonerregende Glasstab, welcher für sich auf einem eigenen Gestelle befestigt ist, ragt nur wenig

1) Eine ausführliche Beschreibung des ganzen Vorganges ist in der Mittheilung „Ueber einige neue Staubfiguren“ enthalten.

in das Ende *A* der Glasröhre hinein. Bei jedem Strich macht der gesammte Rauch einen ziemlich großen Ruck gegen das andere Ende *B* der Glasröhre. Die Länge der Luftsäule muß so gewählt seyn, daß die Luftströmungen möglichst stark sind, sonst ist die Bewegung des Rauches nicht merklich.

Man sieht übrigens aus der hier auseinandergesetzten Theorie, daß auch in freier Luft von jedem schwingenden Körper Luftströmungen ausgehen müßten, die einen in die Nähe gebrachten Körper abstossen. Doch sind in freier Luft die Luftschwingungen bei weitem nicht so stark, als wie in einem geschlossenen, resonnirenden Raume, und sie nehmen außerdem im quadratischen Verhältnisse mit der Entfernung ab. Die Luftströmungen müßten deshalb außerordentlich schwach seyn. Nebstdem könnten diese Luftströmungen wahrscheinlich nur zu Anfang (und zu Ende) der schwingenden Bewegung entstehen. Man denke sich nur eine Kugel, die Dilatations- und Contractionschwingungen macht. Wenn auch der mittlere Druck in der Nähe der Kugel größer ist als in größerer Entfernung davon, so muß sich dieser Druck durch Wegströmen der Luft von der Kugel fast momentan ausgleichen. Denn bei einer Kugel ist nicht die geringste Veranlassung zur Entstehung eines zweiten, dem Wandstrome in Röhren analogen Luftstromes vorhanden, und nur die Entstehung eines zweiten, dem ersten entgegengerichteten Luftstromes kann dem ersten Luftstrome eine längere Fortdauer verleihen.

Es bleibt somit die akustische Anziehung eines in freier Luft befindlichen Körpers, der dichter ist als die Luft, und die Abstossung eines solchen, dessen Dichte von der Luft übertroffen wird, bis jetzt noch ganz unerklärt. Es ist auch schwer, darüber eine theoretische Ansicht aufzustellen, denn es sind jedenfalls die Verhältnisse in diesem Falle recht complicirt. So halte ich es z. B. für wahrscheinlich, daß bei jeder Verdichtung, welche an einem in der Schallwelle befindlichen festen Körper an-

kommt, die Luft *seitwärts* ausweicht, was besonders an den Rändern des Körpers der Fall seyn dürfte.

Es ist übrigens auch *die Form* des Körpers nicht ohne Einfluß auf sein Verhalten. Ich habe schon in einer früheren Mittheilung ¹⁾ das Verhalten eines kleinen rechteckigen Papierpendels in einer Kundt'schen Röhre beschrieben. Es reichte nämlich durch den Kork, der das Röhrende verschloß, ein Draht in das Innere der Röhre. Auf diesem Drahte hing nun das Papierrechteck auf zwei feinen Fäden, so daß seine Ebene senkrecht war zur Längsaxe der Röhre. Das Papierrechteck wurde nun, wenn die Länge der Luftsäule ein Vielfaches von einer halben Wellenlänge ausmachte, in hinlänglicher Entfernung vom Knoten heftig von der Mitte des Bauches abgestoßen ²⁾. Es verhielt sich in diesem Punkte ganz entgegengesetzt, wie die Kieselsäure. Als ich das Ganze später noch einmal untersuchte, kam ich zur Ueberzeugung, daß dieses Papierrechteck eine allzugroße Störung in den Schwingungsverhältnissen herbeiführen müsse, welcher Umstand das abweichende Verhalten des Papierrechteckes rechtfertigen würde.

Um diese Störung möglichst klein zu machen, nahm ich den Durchmesser der Kundt'schen Röhre möglichst groß (38 Mm.). Der tonerregende Glasstab war beinahe zwei Meter lang und er ragte mit dem an seinem Ende angebrachten Korke nur auf eine gewisse Strecke in die

1) „Ueber die Schwingungen des Wassers in Röhren“ (Sitzungsber. 1875).

2) Ist das Papierrechteck genug *nahe am Knoten*, so wird es von diesem abgestoßen. Wenn die Länge der Luftsäule nicht mehr gleich ist einem Vielfachen von einer halben Wellenlänge, wobei die Luftschwingungen nicht mehr so stark sind, so verhält sich das Papierrechteck genau wie Kieselsäure, d. h. es wird auf der ganzen Ausdehnung von der Mitte des Bauches bis zum Knoten stets von dem Knoten abgestoßen. Ich wurde durch dieses eigenthümliche Verhalten des Papierpendels zu einer unrichtigen Bemerkung über die Entstehung der Fig. 5, Taf. II veranlaßt („Ueber Schwingungen des Wassers in Röhren“ — welcher Aufsatz nächstens in den Annalen mitgetheilt werden wird).

Glasröhre. Auch wurde er immer an eben diesem, mit dem Kork versehenen Ende gestrichen. Diese Einrichtung hat den Vortheil, daß man zugleich den Glasstab streichen und währenddess die Vorgänge in der Röhre beobachten kann.

Ich hängte nun zuerst eine kleine *Hollundermarkkugel* (Durchmesser = 3 Mm.) mit einem Coconfaden an den in das Innere der Röhre hineinragenden Draht. *Diese verhielt sich stets ganz normal*, d. h. so wie die Kieselsäure. Man sah auch, wenn Kieselsäure in die Röhre gegeben wurde, daß die Bewegung der Kieselsäure durch die hineingebrachte Hollundermarkkugel fast keine merkliche Abänderung oder Störung erlitt.

Ich nahm nun ein *sehr kleines* an zwei Coconfäden aufgehängtes *Papierquadrat* von 3 Mm. Seite, dessen Ebene senkrecht stand zur Längsaxe der Röhre. Dasselbe wurde nun in hinlänglich großer Entfernung vom Knoten wieder *heftig von der Mitte des Bauches abgestoßen*. Auch sah man, trotzdem die Fläche des Quadrates sehr klein war, gegen den Querschnitt der Röhre, daß die Bewegung der Kieselsäure in derjenigen Halbwelle, wo sich das Papierquadrat befand, total geändert wurde. Es bildeten sich nämlich zu beiden Seiten des Papierquadrates zwei ganz von Kieselsäure freie Stellen von beträchtlicher Ausdehnung, während in den übrigen Halbwellen die Kieselsäure sich ganz regelmäßig in der Mitte des Bauches anhäuft.

Wird das Papierquadrat so aufgehängt, daß seine Fläche *parallel* ist zur Längsaxe der Röhre, so stellt es sich während des Tönens stets *senkrecht* zu derselben. Rechteckige Papierstücke, die auf den Boden der Röhre gelegt werden, stellen sich während des Tönens aufrecht; diesen letzteren Versuch kann man auch mit dem Resonanzkästchen einer Stimmgabel anstellen, wenn man die Papierstücke in das Innere des Kästchens bringt.

Zum Schlusse muß ich noch auf einen Umstand aufmerksam machen, der bei der Bestimmung des mittleren

Ueberdruckes in einer Kundt'schen Röhre einen störenden Einfluss ausübt. Wenn nämlich das Ende der Manometerröhre in die schwingende Luftsäule hineinragt, so schwingt die in der Manometerröhre enthaltene Luft mit. Es hat sich nun gezeigt, daß der Ueberdruck, den das Manometer anzeigt, auch theilweise von der Länge der im Manometer enthaltenen Luftsäule abhängt. Dieser Einfluss ist jedoch für gewöhnlich ein sehr geringer, wenigstens nach den Beobachtungen, die ich bis jetzt darüber gemacht habe.

Man kann aber diesen Einfluss sehr beträchtlich machen. Ich schmolz nämlich das in die schwingende Luftsäule hineinragende Ende der Manometerröhre (Durchmesser = 3,5 Mm.) zu, und machte auf etwa 6 Mm. von diesem Ende seitwärts¹⁾ mit einer Stichflamme eine kleine Oeffnung von 1,5 Mm. Durchmesser. Ich brachte nun dieses Manometerende in eine gedeckte Kundt'sche Röhre, und zwar etwa in die Mitte zwischen einen Bauch und einen Knoten. Da das ganze Manometer aus einer fast geraden nur unmerklich gebogenen Glasröhre bestand, so konnte durch verschiedene Neigung das kleine Wassersäulchen im Manometer an verschiedene Stellen der Röhre gebracht werden. Das Manometer zeigte je nach der Länge der Luftsäule bald eine Verdichtung, bald eine Verdünnung an. Das Ganze ist wahrscheinlich den beim Kundt'schen Schallmanometer²⁾ vorkommenden Erscheinungen analog. Ich konnte bis jetzt keine Erklärung dieser eigenthümlichen Erscheinung finden.

Wenn man also den mittleren Ueberdruck in einer Kundt'schen Röhre bestimmen wollte, so wäre es ange-

1) Es ist für das Gelingen des Versuches wesentlich, daß diese Oeffnung seitwärts ist, daß mithin die Luftschwingungen parallel sind zur Ebene dieser Oeffnung. Ist diese kleine Oeffnung vorne gerade am Ende der Röhre angebracht, so zeigt sich der Einfluss der im Manometer enthaltenen Luftsäule fast gar nicht.

2) Siehe die Mittheilung: „Ueber das Kundt'sche Manometer“ (Sitzungsberichte 1873. — Annal. Bd. 150, S. 410).

zeigt, die Manometerröhre so eng zu nehmen, daß die Luftschwingungen in derselben fast vollständig durch die Reibung aufgezehrt werden.

Ueber akustische Anziehung und Abstossung in Flüssigkeiten.

Die akustische Anziehung in Flüssigkeiten ist zuerst von Guyot beobachtet worden. Derselbe nahm eine mit Wasser gefüllte Glocke, in welche an einem Roßhaare eine Münze aufgehängt war; tönte die Glocke, so wurde die Münze angezogen, jedoch nur in den Bäuchen, nicht in den Knoten.

Bei der Wiederholung dieser Versuche machte ich zufällig einige Beobachtungen. Um das heftige Spritzen des Wassers in den Bäuchen zu verhüten, goß ich eine Schicht Oel auf das Wasser. Ich gab jedoch Anfangs nur soviel Oel auf die Wasseroberfläche, daß eine kreisförmige Oelscheibe entstand, deren Umfang von dem Rande der Glocke um 1 Ctm. entfernt war; diese Oelscheibe ist in dem oberen Theile der Fig. 10, Taf. II durch den punktirten Kreis angedeutet. Beim Streichen der Glocke, die einen sehr starken Ton gab, veränderte die kreisförmige Scheibe augenblicklich ihre Form, und nahm eine mehr quadratische Gestalt $\alpha\beta\gamma\delta$ an. Zugleich staute sich das Wasser an den Bäuchen B an, so daß dort die Flüssigkeitsoberfläche höher stand als an den Knoten K . Dieser Umstand bewirkte ein fortdauerndes Abfließen des Wassers von den Bäuchen zu den Knoten. Diese Strömungen sind auf der Figur durch die spiralförmigen Linien angedeutet.

Man kann, um das Spritzen des Wassers beim Tönen zu verhindern, auch Lycopodium auf die Wasseroberfläche streuen. Das Wasser zieht sich wiederum beim Tönen an den Bäuchen B beträchtlich in die Höhe. Ist ziemlich viel Lycopodium auf der Wasseroberfläche, so gleitet dasselbe an den schiefen Ebenen, die an den Bäuchen entstehen, herab, und bildet eine beinahe quadratische Staubfigur, wie sie im unteren Theile der Fig. 10, Taf. II dargestellt ist.

Andere Beobachtungen über die akustische Anziehung und Abstossung in Flüssigkeiten habe ich in der Mittheilung „Ueber die Schwingungen des Wassers in Röhren“ (Sitzungsber. 1875) angeführt. Besonders ausführlich ist daselbst die von Cagniard Latour zuerst beobachtete Bewegung der Luftblasen in einer schwingenden Wassersäule untersucht. In einer Wassersäule, die stehende Schwingungen ausführt, bewegen sich kleine Luftbläschen stets zu den *Knoten*. Ein unter Wasser tönender Glasstab zieht ebenfalls auf eine nicht unbeträchtliche Entfernung kleine Luftblasen an. Ein Blechstreifen wird von dem eben abgeschnittenen Ende eines tönenden Glasstabes für kleine Distanzen angezogen, für grössere abgestossen.

Ich untersuchte nun vor Kurzem abermals die Einwirkung eines unter Wasser tönenden Glasstabes. Um seiner schwingenden Endfläche eine grössere Ausdehnung zu geben, befestigte ich eine runde Glasscheibe *ss* (Fig. 11) an das Ende des Stabes. Sie hatte einen Durchmesser von 26 Mm. bei einer Dicke von 2 Mm., während der Glasstab, welcher in zwei Knoten befestigt wurde, eine Länge von 135 Ctm. und einen Durchmesser von 11 Mm. besaß. Statt des Blechstreifens nahm ich eine kleine schwarze Glasperle (Durchmesser = 2,5 Mm.), die auf einem Glasfaden angebracht war. Es zeigte sich nun, daß die Mitte der Scheibe *ss*, sich ganz anders verhielt, als die näher an der Peripherie gelegenen Theile derselben. Stand die Glasperle genau der Mitte der Scheibe gegenüber, so wurde sie für alle Distanzen abgestossen. War aber die Glasperle näher an der Peripherie der Scheibe, so wurde sie angezogen. Die Pfeile in der Figur geben beiläufig die Richtung der Anziehung und Abstossung an.

Es stellt sich nun heraus, daß von der Mitte der Scheibe eine continuirliche Strömung ausgeht, welche die Abstossung der Perle verursacht. Gab man nämlich die Glasperle in eine etwas grössere Entfernung von der Scheibe, der Mitte der Scheibe gerade gegenüber, so wurde sie erst in einer merklichen Zeit nach dem Aufhören des

Tones abgestoßen, wenn der Ton kurz und stark erregt wurde. Ich stellte überdies, um die Existenz des Stromes nachzuweisen, ein rechtwinklig gebogenes Glasröhrchen *ab* (Fig. 11, Taf. II) nahe vor die Mitte der Scheibe, so daß die Ebene der Oeffnung bei dem Röhrenende *a* zu der Scheibenebene parallel war. Das andere Ende *b* des Röhrchens ragte über den Wasserspiegel *NN*. Bei jedem Strich stieg das Wasser in diesem Ende um etwa 2 Ctm. Stellte man aber das Röhrchen so, daß die Oeffnungsebene des Endes *a* gerade senkrecht stand auf der Scheibenfläche, so stieg das Wasser auch bei sehr kräftigen Tönen des Glasstabes gar nicht in dem anderen Röhrchenende *b*. Dieses ist nur erklärlich, wenn man eine von der Mitte der Scheibe ausgehende Strömung annimmt. Stellt man das Röhrchenende *a* etwas näher gegen die Peripherie der Scheibe, so steigt das Wasser auch dann nicht in dem anderen Ende *b*, wenn die Oeffnungsebene des Röhrchenendes *a* parallel ist zur Scheibenfläche.

Außerdem ist es mir gelungen, *eine elektrische Stimmgabel unter Wasser zum Tönen zu bringen*. Ich setzte anfangs die Gabel unter Brennschmelze, woselbst sie auch ganz gut tönnte; als ich mich jedoch überzeugte, daß man die Unterbrechungsflüssigkeit im Quecksilbernäpfchen ohne Nachtheil durch Wasser ersetzen kann, so versenkte ich die ganze Stimmgabel unter Wasser. Mit drei Grove'schen Elementen gelingt es ohne sonderliche Anstrengung, die Gabel zum Tönen zu bringen. Da die Zinken eine zu complicirte Form hatten, so untersuchte ich die Sache nicht näher. Vorläufig zeigte sich, daß ein Blechquadrat auf eine kleine Distanz von den Zinken angezogen wurde. Außen sah man eine constante Strömung in der Nähe der Zinkenenden. Die Strömung war theilweise vertical abwärts gerichtet, und es wurden daselbst kleine Luftblasen nach unten angezogen. An einer anderen Stelle sah man, daß kleine im hellen Lichte glänzende Luftblasen im Aufsteigen zu einer wellenförmigen Curve angezogen wurden.

Auf das Entstehen einer Strömung scheint auch fol-

gender Versuch, den ich früher einmal ¹⁾ angestellt habe, hinzudeuten. Bedeckt man eine horizontale Glasplatte in einem Gefäße etwa 3 Ctm. hoch mit Wasser, welches gelöstes Schiefspulver enthält, so setzt sich nach einiger Zeit die Kohle des Schiefspulvers auf die Glasplatte ab. Man befestigt nun auf der Zinke einer Stimmgabel ein Zündhölzchen, dessen Längsrichtung mit der Schwingungsrichtung der Gabel zusammenfällt. Taucht man das Zündhölzchen, nachdem man die Gabel kräftig angeschlagen hat, so weit in das Wasser, daß das Ende des Zündhölzchen einige Millimeter von der Glasplatte absteht, so wird die an der Glasplatte gelagerte Kohle augenblicklich in einem Kreise um das Zündhölzchen weggefeht.

Die Versuche wurden im physik. Institute der Prager Universität ausgeführt.

III. *Ueber flüssige Lamellen;* *von Dr. Sondhaufs in Neifse.*

Die Eigenschaft der Flüssigkeiten, Schaum zu erzeugen, Blasen zu bilden, sich in dünne Häutchen auszuspannen, dient nicht bloß zur Decoration beliebter Getränke, verleiht nicht bloß den Landschaften den poetischen Schmuck des schäumenden Wasserfalls oder der schaumspritzenden Meeresbrandung, gewährt nicht bloß den Knaben das harmlose Spiel mit dem vergänglichen, farbenglänzenden Seifenblasen, sondern giebt auch den Physikern Mittel an die Hand, aus der Schaumbildung auf die Natur der Flüssigkeiten zu schließen und durch Beobachtung und Messung von Blasen die zwischen den kleinsten Flüssigkeitstheilchen wirkenden Kräfte, die sogenannten Molecular-Kräfte zu

1) „Ueber die Schwingungen des Wassers in Röhren“.