
I. Ueber die Schallschwingungen der Luft in erhitzten Glasröhren und in gedeckten Pfeifen von ungleicher Weite; von C. Sondhaufs in Breslau.

Die Erscheinung, daß Kugeln, welche man an Glasröhren von 2 bis 3 Millim. Weite geblasen, manchmal, so lange sie stark erhitzt sind, einen Ton hören lassen, mögen schon viele Physiker, die sich mit der Bearbeitung des Glases vor der Glasbläserlampe beschäftigten, zufällig wahrgenommen haben; Beobachtungen haben darüber nur Pinaud (*l'Institut* No. 131. p. 366 und *Pogg. Ann.* XLII. S. 610. 1837) und C. Marx (*Erdmann's Journal für practische Chemie* XXII. S. 129. 1841) bekannt gemacht. Beide Beobachter haben eine Anzahl schätzbarer Bemerkungen mitgetheilt und Pinaud insbesondere hat auch Versuche über die Abhängigkeit der Tonhöhe von der Länge der Röhre angestellt; doch haben sie das Schwingungsgesetz der Luft in diesen Apparaten nicht ausgemittelt und weichen überdies in ihren Ansichten über die Entstehung dieser Töne von einander ab, so daß eine gründliche Untersuchung dieser räthselhaften Erscheinung sehr wünschenswerth erscheinen muß. Ich hatte dieselbe schon vor Pinaud's Bekanntmachung bei der Anfertigung von gläsernen Platzkugeln zufällig bemerkt und darüber auch einige Versuche angestellt, wurde jedoch durch Pinaud's Arbeit von der weiteren Verfolgung derselben abgehalten. Seit jener Zeit habe ich aber bei gelegentlicher Anfertigung von solchen tönenden Röhren eine Menge von Eigenthümlichkeiten in dieser Erscheinung bemerkt, welche den früheren Beobachtern entgangen sind, und wurde hierdurch zu einer genauern Untersuchung veranlaßt.

Anfänglich benutzte ich zur Anfertigung meiner tönenden Röhren meistens weitere Glasröhren, die ich an dem einen Ende zuschmolz, dann in einiger Entfernung von demselben in einen Hals von 1 bis 2 Millimeter Weite und verschiedener Länge auszog, wie Figur 1, Taf. I. zeigt. Entsteht durch starke Erhitzung des Theils *ab* noch kein Ton, so wird derselbe in eine Kugel aufgeblasen und diese vergrößert und wieder zusammenschmolzen bis der Ton hörbar wird. Der Apparat hat dann die in Figur 2, Taf. I. abgebildete Gestalt. Marx hat Röhren von dieser Form ausschliesslich angewandt. Später habe ich, wie Pinaud, nur cylindrische und meistens engere Röhren benutzt, welche zur Untersuchung der Schwingungsgesetze geeigneter sind. An diese wird auf gewöhnliche Weise eine Kugel geblasen und so lange vergrößert, bis der Ton anspricht. Ich glaube vor der Untersuchung des Schwingungsgesetzes zunächst einige allgemeine Bemerkungen über die Erscheinung voranschicken zu müssen.

1. Dafs der Ton in Folge der Schwingungen der Luft und nicht des Glases entsteht, haben die früheren Beobachter offenbar schon erkannt, wenn auch nicht hervorgehoben und begründet. Folgende Beobachtungen dürften darüber keinen Zweifel lassen: Man kann die Röhre und die Kugel während des Tönens an jeder beliebigen Stelle berühren und festhalten, ohne dafs irgend eine Aenderung erfolgt. Man kann die Röhre zerschneiden und mit gutschliessenden durchbohrten Korken wieder zusammensetzen (Fig. 4, Taf. I.), man kann den Hals beim Punkte *c* (Fig. 2, Taf. I.) abbrechen und mit einem Korce in eine Röhre von beliebiger Substanz, z. B. Pappc, Holz, Metall, wieder einsetzen (Fig. 5, Taf. I.) und erhält, wenn die Dimensionen des Apparats dieselben geblieben sind, durch Erhitzung der Kugel wieder denselben Ton. Dieser Umstand giebt ein vorzügliches Mittel an die Hand, die Erscheinung zu studiren. Die Kugel kann ferner bedeutende Sprünge haben und tönt dennoch. Beim Einführen von kalten Flüssigkeiten in noch heisse Kugeln haben diese einigemal, be-

sonders in der Nähe des Punktes *b*, fast ringsherum gehende Sprünge bekommen und dennoch denselben Ton kräftig angeben. Ausserdem wird noch aus dem im Folgenden ermittelten Schwingungsgesetze und der Beziehung auf gedeckte Pfeifen unzweifelhaft hervorgehen, dass die Luft der tönende Körper ist.

2. Marx hat schon bemerkt, dass zwischen den Dimensionen der einzelnen Theile des Apparates, nämlich der Kugel und der Weite und Länge der Röhre und des Halses, ein angemessenes Verhältniß stattfinden muß, damit der Ton anspreche. Haben die einzelnen Theile zu einander dieses zweckmäßige Verhältniß, so wird der Ton bei einer mäßigen Erhitzung, die von dem Glühen des Glases noch entfernt ist, schon hörbar. Ich habe in die Kugel eines gut ansprechenden Apparats feinen Schrot geschüttet und gefunden, dass bei Erhitzung der Kugel der Ton schon erzeugt wurde, als das Blei eben zu schmelzen anfing; denn wenn auch einige Kügelchen weich wurden und zusammenbackten, so rollte doch der grössere Theil derselben beim Drehen des Apparats während des Tönens in der Kugel ungeschmolzen herum. Es reichte also hier schon eine Temperatur von ungefähr 310° C. hin, um den Ton zu erzeugen. Aendert man dagegen eine einzelne Dimension, während die übrigen ungeändert bleiben, so ist eine stärkere Erhitzung der Kugel erforderlich, um den Apparat zum Tönen zu bringen. Ich bemerke noch, dass die Erhitzung der Stelle, wo die Kugel an der Röhre sitzt, besonders wichtig ist, indem manche Kugeln, die bis zum Glühen erhitzt, nicht ansprachen, den Ton sogleich hören liessen, wenn die Flamme auf jene Stelle gerichtet wurde. Grössere Kugeln tönen, beim Punkte *b* erhitzt, nicht selten, während die Kugel beim Punkte *a* so mäßig erwärmt ist, dass man dort den Finger ungestraft einige Sekunden anlegen kann. Ich habe Apparate von der in Fig. 8, 9, und 10, Taf. I. abgebildeten Gestalt angefertigt und gefunden, dass durch die stärkste Erhitzung der oberen Kugel *a* der Ton nicht erzeugt wurde, dagegen bei Erhitzung der un-

tern Kugel *b* leicht aussprach, wenn auch die obere sich ganz ausserhalb der Flamme befand.

3. Die Höhe des Tones ändert sich mit jeder der genannten fünf Dimensionen, und zwar in der Weise, wie die beiden früheren Beobachter im Allgemeinen angegeben haben. *Pinaud* giebt richtig an, dass der Ton um so tiefer ist, je gröfser die Kugel, je länger die Röhre und je kleiner der Durchmesser derselben ist, und *Marx* findet ausserdem noch in Beziehung auf die halsähnliche Verengung der Röhre, dass der Ton tiefer wird, wenn der Hals länger und enger gemacht wird. Von der Richtigkeit dieser leicht zu machenden Bemerkungen kann man sich durch einige einfache Versuche überzeugen. Lässt man vor der Glasbläserlampe die tönende Kugel allmählig sich zusammenziehen, so wird der Ton immer höher, und zwar beträgt die Erhöhung des Tones mehr als eine Octave. Hierbei ist zu bemerken, dass der Ton augenblicklich aufhört, sobald die Kugel an einer Stelle weich wird, aber sogleich wieder anspricht, wenn man die Kugel einen Augenblick von der Flamme entfernt. Verkürzt man die Röhre durch Abschneiden eines Theils derselben, so wird der Ton höher; verlängert man die Röhre, indem man mit einem durchbohrten Pfropfen noch ein Stück ansetzt, oder indem man ein Blatt Papier fest um dieselbe rollt und überstehen lässt, so wird der Ton tiefer. Man kann, während der Apparat tönt, das Papierrohr auf- und abschieben, und dadurch den Ton abwechselnd höher und tiefer machen. Die durch die Veränderung der Röhrenlänge zu erlangende Veränderung des Tones beträgt ebenfalls mehr als eine Octave. Um den Einfluss der Weite der Röhre auf die Tonhöhe im Allgemeinen zu bestimmen, nimmt man am besten zwei gleich lange Röhren von verschiedener Weite und bläst an dieselben Kugeln von ungefähr gleichem Durchmesser, doch so, dass die an die weitere Röhre geblasene Kugel eher etwas gröfser ist. Es giebt dann diese Kugel immer einen höhern Ton, und zwar ist die Verschiedenheit der Tonhöhe um so gröfser, je verschiedener die Weite der angewandten

Röhre ist. Ist die Röhre des Apparats 5 bis 6 Millimeter weit, so kann man in dieselbe auch ein dünnes Glasstäbchen stecken und dadurch den Ton tiefer machen. Zieht man, während die Kugel noch erhitzt wird, das Stäbchen rasch heraus, so geht der tiefere Ton sogleich in den höhern über. Es folgt hieraus auch, daß die Röhre nicht kreisrund seyn muß. Die Tonverschiedenheit, welche durch Anwendung von Röhren von verschiedenem Kaliber bei gleicher Größe der Kugel und gleicher Röhrenlänge erlangt wird, geht gleichfalls über eine Octave hinaus.

4. Die Gestalt der an die Röhre angeblasenen gewöhnlich kugelförmigen Erweiterung haben die frühern Beobachter nicht beachtet. Ich habe gefunden, daß die Gestalt für die Entstehung des Tons gleichgültig ist, indem solche Erweiterungen von allen möglichen oft sehr unregelmäßigen und kantigen Formen, wie sie beim raschen Zusammenschmelzen von dünn ausgeblasenen Kugeln entstehen, den Ton hören ließen. Läßt man die Erweiterung aus zwei Kugeln bestehen, die durch ein nicht zu enges Röhrchen verbunden sind (Fig. 8, Taf. I.), so nimmt auch die Luft in der obern Kugel a an den Vibrationen Antheil und hat Einfluß auf die Tonhöhe, denn die Vergrößerung dieser Kugel hat immer eine Vertiefung des Tones zur Folge, und umgekehrt. Man kann die Kugeln auch in ein feines Röhrchen endigen lassen (Fig. 6, 7 u. 9, Taf. I.) und erhält dadurch, wenn man ein kleines Stück desselben abbricht, ein bequemes Mittel, die Kugeln mit Quecksilber zu füllen und zu messen. — Es wird in der Folge noch zu untersuchen seyn, ob die Gestalt der Erweiterung einen merklichen Einfluß auf die Höhe der Töne ausübe.

5. Die Gegenwart von Dämpfen in der Kugel ist auf das Ansprechen des Tones von großem Einflusse: Apparate von solchen Verhältnissen zwischen Kugel und Röhre, daß sie auch bei sehr starker Hitze entweder gar nicht, oder nur schwer und schwach ansprachen, gaben, durch eine kleine Weingeistlampe erhitzt, den Ton leicht und kräftig an, wenn ich ein Paar Tropfen Aether, Weingeist

oder Wasser durch ein enges Röhrchen in die Kugel gebracht hatte. Auch einige Tröpfchen Quecksilber begünstigen die Erzeugung des Tons. Wenn man durch ein langes, bis in die Kugel, die man vorher schon stark erhitzt hat, reichendes Röhrchen einen Tropfen Wasser oder Weingeist einführt und das Röhrchen rasch herauszieht, so hört man oft den Ton augenblicklich und kann außerdem das Leidenfrost'sche Phänomen beobachten. Da die Höhe des Tones durch die Anwendung von Dämpfen nicht geändert wird, so habe ich mich bei Behandlung von Apparaten mit einem 5 bis 6 Millim. weitem Rohre, deren Kugel, wenn sie allein durch Hitze ansprechen soll, sehr groß seyn muß, der Dämpfe als eines vorzüglichen Hilfsmittels zur Erzeugung des Tones mit Vortheil bedient. Bei engeren 1 bis 2 Millim. weiten Röhren sind die Dämpfe in anderer Beziehung sogar hinderlich, indem sie sich in dem kälteren Rohre verdichten, zu Tröpfchen ansammeln und das Rohr verschließen. Ein die Röhre an irgend einer Stelle ausfüllender Tropfen hindert die Entstehung des Tones, ist aber insofern interessant, als man die Vibrationen der abgesperrten Luft an der raschen Erzitterung des Tropfens sehen kann: ein 2 bis 3 Millim. langer Tropfen erscheint dann als eine 5 bis 6 Millim. lange durchscheinende Masse. Bringt man plötzlich die Flamme unter den vibrierenden Tropfen, so zerspringt er und der Ton wird hörbar.

Ueber den Einfluß des Dampfes sind die beiden frühern Beobachter sehr verschiedener Ansicht. Während Pinaud die Gegenwart von Feuchtigkeit in der Kugel zur Erzeugung des Tons für unbedingt nothwendig hält und die Erklärung des Phänomen's in der an den kalten Wänden der Röhre erfolgenden Verdichtung des durch die Hitze aus der Kugel getriebenen Wasserdampfes und dem dadurch entstehenden Vacuum findet, hält Marx die Gegenwart von Dämpfen für unwesentlich, und in einer anhaltend und stark erhitzten Kugel unmöglich. Hier ist erstens zu bemerken, daß es, nach Pinaud's und meinen Versuchen Thatsache ist, daß die Dämpfe die Entstehung des To-

nes begünstigen; andererseits habe ich beobachtet, dafs Kugeln, welche nur durch Anwendung von Dämpfen den Ton hören liessen, nicht mehr ansprachen, wenn sie einige Zeit getönt hatten, wenn also die Dämpfe allmählig durch die fortdauernde Erhitzung der Kugel sich an den Wänden der Röhre entweder vollständig oder größtentheils niedergeschlagen hatten; ich mußte wieder Flüssigkeit in die Kugel bringen, um den Ton zu erhalten. Ich bemerke hierbei, dafs, wenn der Apparat durch Erhitzung der Kugel nicht mehr tönt, man nur die feuchte Röhre über die Flamme zu halten braucht, um den Ton zu erhalten. Dieser Versuch gelingt am besten mit weiteren Röhren. Der dadurch entstehende Ton ist übrigens etwas höher. Wenn man durch Einführung von Flüssigkeiten solche Apparate nur verhältnißmäßig kurze Zeit tönen lassen kann, so geben Apparate von zweckmäßigen Dimensionen den Ton durch bloße Erhitzung der Kugel sehr lange Zeit hindurch ungeändert an, wenn nur die Kugel nicht weich wird oder zusammenschmilzt.

Um noch auf mehr directe Weise zu entscheiden, ob die Gegenwart von Dämpfen für die Entstehung des Tones nothwendig sey, habe ich folgende Versuche angestellt. Ich verfertigte zwei Apparate von der in Fig. 7, Taf. I. abgebildeten Form, mit ziemlich weiten Röhrenchen *ad* am Ende der Kugel, und gab denselben solche Dimensionen, dafs sie bei mäßiger Hitze den Ton leicht und sicher angaben. Hierauf öffnete ich das Röhrenchen *ad* durch Abbrechen der Spitze, setzte den Apparat mit einem Pfropfen auf das Rohr des Blasetisches und trieb längere Zeit einen Luftstrom hindurch. Nachdem ich auf diese Weise Rohr und Kugel des Apparates lufttrocken gemacht hatte, schmolz ich die Spitze des Röhrenchens *ad* wieder zu, erhitzte die Kugel und erhielt wie früher den Ton. Bei dem zweiten Versuche wurde noch die Röhre und Kugel des Apparats einige Mal stark erhitzt und dann der Luftstrom durchgetrieben. Der Apparat tönte ebenfalls. Hierdurch dürfte außer Zweifel gestellt seyn, dafs die Gegenwart von Dämpfen die Erzeu-

gung des Tones nicht bedingt, und dafs die von Pinaud gegebene Erklärung des Phänomens unrichtig ist.

Auch die von Marx gegebene Erklärung kann nicht als genügend betrachtet werden. Er sagt, über den Ursprung des Tönens könne kaum ein Zweifel obwalten, indem es von der aus der erhitzten Kugel hinausgetriebenen Luft herrühre, deren Stofs die kältere Luft, auf welche sie trifft, in Schwingungen versetze. Diese Erklärung ist wenigstens nicht deutlich. Die durch Erhitzung sich ausdehnende und deshalb aus der Kugel in die Röhre tretende Luft versetzt die in der Röhre befindliche gewifs nicht durch Stöße in Bewegung, da ihre Erwärmung und Ausdehnung allmählig geschieht, so dafs die Luft in der Röhre mehr fortgedrängt als fortgestofsen wird. Nimmt man auch an, dafs die Luft in der Röhre beim Eintauchen der Kugel in eine starke Flamme plötzlich, wie durch eine Explosion, fortgestofsen werde, so würde dadurch nur ein einfacher Schall, nicht aber ein auf stehenden Schwingungen beruhender Ton erklärt seyn. Dieser Annahme widerspricht auferdem noch, dafs der Ton auch bei den besten Apparaten nicht bei der ersten Wirkung der Flammen, sondern erst dann eintritt, wenn die Kugel bis zu einem gewissen Grade erhitzt ist.

Ich erkläre die Erscheinung auf folgende Weise: Durch die allmähliche Erhitzung der Kugel wird die in derselben befindliche Luft ausgedehnt und tritt bei der Zunahme der Wärme fortwährend in die Röhre, bis endlich ihre Verdünnung einen solchen Grad erreicht hat, dafs ihr der Druck der äufsern Luft das Gleichgewicht hält. Es wird diefs offenbar dann eintreten, wenn die durch die Wirkung der Flamme herbeigeführte Wärmezunahme dem Wärmeverlust durch die Abkühlung im Ganzen gleich ist.

Da die Luft ein schlechter Wärmeleiter ist, und wegen des kleinen Querschnitts der Röhre eine Circulation zwischen der warmen und kalten Luft in der Kugel und der Röhre nicht entsteht, so wird sich in der Röhre, in der Nähe der Stelle, wo sie in die Kugel mündet, eine Gränze

zwischen der warmen und kalten Luft vorfinden, welche aber in beständiger Bewegung auf- und abschwankt, weil das Gleichgewicht zwischen der heißen Luft in der Kugel und der äußern kalten durch die Abkühlung beständig gestört, durch die fortdauernde Wirkung der Flamme aber wieder hergestellt wird. Die bei dieser Bewegung aus der Kugel tretende heiße Luft kühlt sich in der kältern Röhre etwas ab und zieht sich deshalb wieder zusammen; die Luftsäule in der Röhre dringt in Folge des atmosphärischen Drucks nach, und es wird hierdurch die Luft in der Kugel mit dem erlangten dynamischen Momente sogar etwas comprimirt. Im nächsten Augenblick dehnt sich aber die Luft in der Kugel, sowohl in Folge dieser Compression als auch wegen der rasch erfolgenden Erhitzung und Expansion der eingedrungenen kältern Luft wieder aus, die Luftsäule in der Röhre wird mit der entsprechenden Geschwindigkeit nach außen bewegt, und setzt diese Bewegung auch noch einen Augenblick fort, wenn die Luft in der Kugel nicht mehr durch die Hitze ausgedehnt wird, wodurch in der Kugel einen Moment hindurch eine größere Verdünnung entsteht, als der Temperatur der heißen Luft entspricht. Hierauf erfolgt wieder die entgegengesetzte Bewegung. Ist die Größe und die Erhitzung der Kugel ausreichend, in dieser oscillirenden Bewegung, die den Dimensionen der ganzen eingeschlossenen Luftsäule entsprechende Geschwindigkeit zu geben, so entsteht der Ton. Wenn die Luftsäule einmal in Vibration versetzt ist, so kann die Hitze der Kugel auch etwas abnehmen, ohne daß der Ton aufhört. Deshalb tönen die Apparate noch einige Zeit, nachdem man die Kugel von der Flamme entfernt hat.

Die Analogie der Schwingungen der Luft in diesen Apparaten mit den Schallschwingungen in gedeckten Pfeifen ist unverkennbar; nur ist die Art der Erregung derselben eine sehr verschiedene, indem in diesen die Luft von Außen durch einen Luftstrom comprimirt, in jenen im Innern durch Erwärmung verdünnt wird. Inwiefern Dämpfe, die in der Kugel enthalten sind, die Entstehung des Tones be-

günstigen, dürfte nach der obigen Erklärung sich von selbst verstehen; ich erinnere blofs an die rasche Zunahme der Elasticität der Dämpfe in hoher Temperatur und bemerke nur noch, dafs Schwefelätherdampf das Ansprechen des Tones weniger erleichtert, als der Dampf von Weingeist oder Wasser, wahrscheinlich, weil seine Elasticität durch die Aenderung der Temperatur nicht in demselben Grade verändert wird.

6. Bei der Länge und dem in der Regel kleinen Durchmesser der Röhre und der verhältnißmäfsig bedeutenden Gröfse der Kugeln gelingt es schwer und selten, die in einem Apparate, der durch Erhitzung der Kugel tönt, enthaltene ganze Luftsäule durch Anblasen mit dem Munde zum Tönen zu bringen, sobald die Kugel kalt geworden ist. Man erhält dann gewöhnlich nur die Flageolettöne. Ist nämlich die Kugel heifs, so ist die Tendenz zur Vibration nach meiner oben gegebenen Erklärung schon vorhanden, wenn auch die Erhitzung noch nicht ausreicht, den Ton zu erzeugen; man braucht daher nur die Röhre leise anzublasen, um die in der Kugel enthaltene Luft mit schwingen zu lassen. So lange die Kugel hinreichend heifs ist, gelingt es sogar nicht leicht, durch kräftiges Anblasen die Flageolettöne zu erzeugen. Pinaud empfiehlt das Anblasen von schwer ansprechenden Apparaten, so lange die Kugel heifs ist, für die Untersuchung der Erscheinung, und bemerkt, dafs der Ton derselbe ist, wie wenn der Apparat blofs durch Erhitzung der Kugel tönt, und sagt hierauf in Beziehung auf das Anblasen kalter Apparate: „Nachdem die Kugel vollständig erkaltet ist, wird es unmöglich, der Röhre denselben Ton zu entlocken; wenn es dann überhaupt gelingt, einen reinen und gleichmäfsigen Ton zu erhalten, so ist derselbe weit höher.“ Das letzte gilt in der That von den meisten Apparaten, da man in der Regel nicht im Stande ist, durch leises Anblasen die Luft bis in die Kugel zu erschüttern, und durch kräftigere Stöße die Flageolettöne erhält; doch sind diese immer dieselben und gleichmäfsig, sobald man nur die Röhre auf dieselbe Weise

und gleichmäfsig anbläst. Wie viel auf die Haltung des Mundes beim Anblasen von Röhren ankommt, ist bekannt. Es ist mir aber auch bei Apparaten von sehr verschiedenen Dimensionen, wenn nur die Röhre nicht zu lang und zu eng war, gelungen, nach der vollständigen Erkaltung der Kugel durch vorsichtiges Anblasen der Röhre den tiefsten Ton zu erzeugen, welcher der Vibration der ganzen Luftsäule ohne Schwingungsknoten entspricht. *Dieser Ton war immer einen halben oder ganzen Ton tiefer als derjenige, welcher durch Erhitzung der Kugel hörbar wurde.* Da die Ursache dieser Vertiefung des Tones offenbar in der geringeren Elasticität der in der Kugel enthaltenen nunmehr kalten Luft und außerdem noch in der Verengung der Oeffnung der Röhre zu suchen ist, welche bei dem Ueberlegen der Oberlippe während des schwierigen Anblasens nicht vermieden werden kann, so folgt, dafs die Luft in den durch Erhitzung tönenden Apparaten nach denselben Gesetzen schwingt, wie in gedeckten Orgelpfeifen von ähnlicher Gestalt. Die nunmehr aufzusuchenden Schwingungsgesetze werden daher auch für solche Orgelpfeifen gelten.

7. Um die Abhängigkeit der Schwingungszahl des beobachteten Tones von den verschiedenen Dimensionen des Apparats zu finden, war es nothwendig, das Volumen der Kugel und die Weite und Länge der Röhre genau zu bestimmen. Ich habe daher sämtliche Apparate mit Quecksilber gefüllt und aus dem Gewichte desselben das Volumen der Kugel und den Querschnitt der Röhre gefunden. Die Länge der Röhren wurde durch Auflegen derselben auf einen in Millimeter getheilten Maafstab gemessen. Die Kugel der Apparate habe ich nicht wie Thermometerkugeln durch Anwendung von Wärme gefüllt, sondern das Quecksilber durch lange enge Trichter eingegossen, welche ich mir durch Ausziehen weiter Glasröhren in lange Fäden anfertigte. Zu einigen Versuchen habe ich auch Apparate angewendet, deren Kugeln mit engen Röhrchen versehen waren (Fig. 6. und 7. Taf. I.). Diese wurden durch das

geöffnete Röhrchen gefüllt. Zum Abwägen des Quecksilbers habe ich mich, da die Anwendung einer feinern Waage zu viel Zeit gekostet hätte, nur einer Waage bedient, mit welcher ich das Gewicht der zu wiegenden Massen bis auf ein Decigramm genau bestimmen konnte.

Es stellte sich schon nach einigen Versuchsreihen heraus, daß Apparate, deren Röhren unterhalb der Kugel eine halsähnliche Verengung haben (Fig. 2. Taf. I.), zur Untersuchung der Schwingungsgesetze sehr wenig geeignet sind; denn abgesehen davon, daß zwei Elemente mehr in die Untersuchung eintreten, gerathen die Verengungen der Röhren beim Ausziehen selten cylindrisch, weshalb ihre Weite sich nicht genau bestimmen läßt. Ebenso läßt sich bei der allmäligen Erweiterung des Halses nach der Kugel und der Röhre hin seine Länge nicht genau angeben. Die Weite und Länge des Halses hat aber auf die Höhe des Tones einen viel größeren Einfluß als der übrige Theil der Röhre. Ist z. B. der Hals ziemlich lang, so kann man die Röhre am Ende desselben abbrechen und es spricht die erhitzte Kugel dennoch an, so daß die weitere Röhre hier mehr als ein Schallrohr zu betrachten ist, welches natürlich den Ton tiefer macht. Ich habe daher zu der eigentlichen Untersuchung ausschließlich cylindrische Röhren angewendet, will aber doch einige der ersten Versuche in einer Tabelle zusammenstellen, um die Dimensionen solcher Apparate anzugeben. In der ersten Columne ist die Nummer des Apparats oder des Versuches angegeben und es sind durch die beigesetzten Buchstaben *a* und *b* Versuche unterschieden, welche mit derselben Röhre angestellt wurden, nachdem das Volumen der Kugel durch Zusammenschmelzung verändert worden war. Das Volumen der Kugel ist in Cubikcentimetern, die übrigen Dimensionen sind in Millimetern angegeben. Ich bemerke noch ausdrücklich, daß die Angabe über Weite und Länge des Halses nicht genau, und daher mehr als Schätzung zu betrachten ist. In der achten Columne habe ich die Schwingungszahl des beobachteten Tones nach der gleichschwebenden Temperatur beigefügt.

Tabelle I.

No.	Volumen der Kugel Cub. Ctm.	Länge des Halses. mm	Weite des Halses. mm	Länge der Röhre. mm	Weite der Röhre. mm	Der be- obach- tete Ton.	Schwin- gungszahl des Tons.
1 a.	2,937	50	2,5	291	6	b	456,1
1 b.	2,258	50	2,5	291	6	c	512,0
2 a.	1,837	51	2,0	234	6	h	483,3
2 b.	0,937	51	2,0	234	6	e	645,1
3 a.	1,727	21	1,2	222	8	f	683,4
3 b.	0,937	21	1,2	222	8	g	767,1
4 a.	0,886	50	1,6	212	6	o	645,1
4 b.	0,583	50	1,6	212	6	g	767,1
5 a.	2,325	38	2,0	170	5,5	cis	542,3
5 b.	0,848	38	2,0	170	5,5	gis	812,7
6 a.	0,922	27	1,5	135	6	c	1024,0
6 b.	0,324	27	1,5	135	6	e	1290,2
7 a.	0,708	40	1,5	225	6	fis	724,1
-	0,708	40	1,5	147	6	gis	812,7
-	0,708	40	1,5	72	6	h	966,5
7 b.	0,391	40	1,5	225	6	gis	812,7
-	0,391	40	1,5	147	6	cis	1084,7
-	0,391	40	1,5	72	6	es	1217,8

8. Die mit Apparaten, deren Röhre cylindrisch war, angestellten Versuche zerfallen in vier Abtheilungen, indem sie nämlich erstens: die Untersuchung von dem Einflusse der Röhrenlänge, zweitens: der Gröfse der Kugel, drittens: der Weite der Röhre bezweckten und viertens: noch zu untersuchen war, ob eine Abweichung der Erweiterung von der Kugelgestalt Einfluss auf die Höhe des Tons ausübe.

Die zur Untersuchung der Abhängigkeit des Tons von der Röhrenlänge bestimmten Röhren wurden schon vor den Versuchen in bestimmter Länge zerschnitten und mit Hülfe von gut schließenden Pfropfen wieder zusammengesetzt. Ich konnte daher nach Beendigung einer Versuchsreihe die erste Länge der Röhre wieder herstellen und mich durch das Ansprechen des schon beobachteten Tons überzeugen, dafs die Kugel sich durch die Erhitzung während der Ver-

suche nicht zusammengezogen hatte. Außerdem entsteht durch diese Einrichtung der Vortheil, daß man nach dem Zusammenschmelzen der Kugel mit denselben Röhrenlängen eine zweite Versuchsreihe anstellen kann. Dagegen können auch leicht Fehler entstehen, wenn die Röhrenstücke nicht ganz genau auf einander passen, indem durch die hierdurch an einer oder gar an zwei Stellen veranlasste Verengung der Röhre der Ton tiefer wird. Es entsteht dann immer ein größeres Intervall durch die Verkürzung der Röhre, als dem Längenverhältnisse entspricht. Solche Fehler sind bei der Beobachtung, trotz der größten Vorsicht, doch wohl nicht ganz vermieden worden und dürften die bedeutenderen Abweichungen erklären.

Ich stelle zunächst sämtliche Versuche in einer Haupttabelle zusammen und werde daraus die Resultate ableiten. In der ersten Columne sind durch die angehängten Buchstaben *a*, *b*, *c* wieder Versuche bezeichnet, welche mit denselben Apparaten nach dem Zusammenschmelzen der Kugel angestellt sind. Das Volumen der Kugel ist in Cubikcentimetern, die Weite oder der Durchmesser der ziemlich kreisförmigen Röhren ist, so wie deren Länge, in Millimetern angegeben. Die sechste Columne enthält die Schwingungszahl des beobachteten Tones:

Tabelle II.

No.	Volumen der Kugel.	Weite der Röhre.	Länge der Röhre.	Der beobachtete Ton.	Schwingungszahl des Tons.
I a.	2,878	2,1	200	c	256,0
-	-	-	150	cs	404,4
-	-	-	120	f	341,7
-	-	-	100	g	383,6
I b.	1,513	-	200	f	341,7
-	-	-	150	as	406,4
-	-	-	120	b	456,1
-	-	-	100	\bar{c}	512,0
I c.	1,015	-	200	a	430,5
-	-	-	100	\bar{e}	645,1
-	-	-	60	\bar{a}	861,1
II a.	3,055	2,1	200	c	256,0
-	-	-	150	cs	304,4

No.	Volumen der Kugel.	Weite der Röhre.	Länge der Röhre.	Der be- obachtete Ton.	Schwin- gungszahl des Tons.
II b.	1,911	2,1	200	f	341,7
-	-	-	150	g	383,6
II c.	1,063	-	200	a	430,5
-	-	-	150	h	483,3
III a.	1,136	2,09	200	fs	362,0
-	-	-	180	g	383,6
-	-	-	150	a	430,5
-	-	-	120	c	512,0
-	-	-	100	d	574,7
III a.	1,136	-	80	e	645,1
III b.	0,812	-	100	f	683,4
-	-	-	80	g	767,1
III c.	0,391	-	160	e	645,1
-	-	-	120	g	767,1
-	-	-	100	b	912,3
-	-	-	80	c	1024,0
IV a.	1,461	2,1	200	f	341,7
-	-	-	100	c	512,0
-	-	-	60	f	683,4
-	-	-	50	g	767,1
IV b.	1,026	-	200	g	383,6
-	-	-	150	b	456,1
-	-	-	120	des	542,3
-	-	-	100	es	608,9
V a.	3,221	2,9	240	es	304,4
-	-	-	200	c	322,5
V b.	2,310	-	200	g	383,6
V c.	1,912	-	200	a	430,5
VI a.	1,358	2,0	240	es	304,4
-	-	-	200	e	322,5
VI b.	0,907	-	200	g	383,6
VI c.	0,657	-	200	a	430,5
VII a.	3,911	2,1	280	G	191,8
-	-	-	200	B	228,1
VII b.	2,376	-	280	H	241,6
-	-	-	200	d	287,3
VII c.	0,767	-	200	b	456,1
VIII a.	3,469	2,2	280	As	203,4
VIII b.	2,649	-	280	B	228,1

No.	Volumen der Kugel.	Weite der Röhre.	Länge der Röhre.	Der he- obachtete Ton.	Schwin- gungszahl des Tons.
IX a.	2,863	2,1	260	B	228,1
IX b.	1,720	-	260	cis	271,2
X	9,373	2,948	255	G	191,8
XI	2,332	2,020	200	c	256,0
XII	5,520	2,948	200	c	256,0
XIII	17,120	5,470	200	c	256,0
XIV	7,033	4,202	108	h	483,3
XV	2,000	2,246	108	h	483,3
XVI	1,668	1,865	54	\bar{a}	574,7
XVII	27,950	5,816	172	H	241,6
XVIII	1,092	2,006	21	\bar{e}	1290,2
XIX	35,910	6,502	404	E	161,3
XX	0,885	2,060	104	\bar{es}	608,9
XXI	1,055	2,386	99	\bar{e}	645,1
XXII	0,915	2,264	99	\bar{e}	645,1
XXIII	0,989	2,306	99	\bar{e}	645,1

9. Zur Untersuchung des Einflusses, welchen die Länge der Röhre auf die Höhe des Tones ausübt, sind die Versuche I bis VII bestimmt. Ich stelle, um die Vergleichung des Längenverhältnisses der Röhren mit dem Intervalle der beobachteten Töne zu erleichtern, die Versuche nach Intervallen geordnet in einer Tabelle zusammen. In der ersten Columne sind die Versuche wie früher bezeichnet, in der zweiten ist das Volumen der Kugel, in der dritten die dem tiefern Tone des Intervalls entsprechende Röhrenlänge und in der vierten das Verhältniß der Röhren-Länge angegeben; die fünfte enthält die Töne des Intervalls, welches in der sechsten angegeben ist.

Tabelle III.

No.	Volumen der Kugel.	Länge der Röhre.	Verhältniß der Länge der Röhre.	Beobach- tete Töne.	Intervall der- selben.
V a.	3,321	240	6 : 5	es : e	kleine Sekunde
VI a.	1,358	240	6 : 5	es : e	-
I a.	2,878	150	5 : 4	es : f	große Sekunde
I a.	-	120	6 : 5	f : g	-
I b.	1,513	150	5 : 4	as : b	-
I b.	-	120	6 : 5	b : c	-
II b.	1,911	200	4 : 3	f : g	-
II c.	1,063	200	4 : 3	a : h	-
III a.	1,136	180	6 : 5	$\frac{g : a}{c : d}$	-
III a.	-	120	6 : 5	$\frac{c : d}{d : e}$	-
III a.	-	100	5 : 4	$\frac{d : e}{f : g}$	-
III b.	0,812	100	5 : 4	$\frac{f : g}{b : c}$	-
III c.	0,391	100	5 : 4	$\frac{b : c}{f : g}$	-
IV a.	1,461	60	6 : 5	$\frac{f : g}{des : es}$	-
IV b.	1,026	120	6 : 5	des : es	-
I a.	2,878	200	4 : 3	c : es	kleine Terz.
I b.	1,513	200	4 : 3	f : as	-
II a.	3,055	200	4 : 3	c : es	-
III a.	1,136	200	4 : 3	fis : a	-
III a.	-	150	5 : 4	$\frac{a : c}{e : g}$	-
III c.	0,391	160	4 : 3	$\frac{e : g}{g : b}$	-
III c.	-	120	6 : 5	g : b	-
IV b.	1,026	200	4 : 3	g : b	-
IV b.	-	150	5 : 4	b : des	-
VII a.	3,911	280	7 : 5	G : B	-
VII b.	2,376	280	7 : 5	H : d	-
I a.	2,878	150	3 : 2	es : g	große Terz.
I b.	1,513	150	3 : 2	$\frac{as : c}{c : e}$	-
III a.	1,136	120	3 : 2	$\frac{c : e}{c : f}$	-
I a.	2,878	200	5 : 3	c : f	reine Quart.
I b.	1,513	200	5 : 3	$\frac{f : b}{e : a}$	-
I c.	1,015	100	5 : 3	$\frac{e : a}{g : c}$	-
III a.	1,136	180	3 : 2	g : c	-
III a.	-	150	3 : 2	a : d	-
III c.	0,391	120	3 : 2	$\frac{g : c}{c : f}$	-
IV a.	1,461	100	5 : 3	$\frac{c : f}{b : es}$	-
IV b.	1,026	150	3 : 2	b : es	-

No.	Volumen der Kugel.	Länge der Röhre.	Verhältniß der Länge der Röhre.	Beobach- tete Töne.	Intervall der- selben.
I a.	2,878	200	2 : 1	c : g	reine Quinte
I b.	1,513	200	2 : 1	f : c	-
I c.	1,015	200	2 : 1	a : e	-
III a.	1,136	150	15 : 8	a : e	-
IV a.	1,461	200	2 : 1	f : c	-
IV a.	-	100	2 : 1	c : g	-
III a.	1,136	200	2 : 1	fis : d	kleine Sext.
III c.	0,391	160	2 : 1	e : c	-
IV b.	1,026	200	2 : 1	g : es	-
III a.	1,136	180	9 : 4	g : c	große Sext.
III a.	-	200	5 : 2	fis : e	kleine Septime
I c.	1,015	200	10 : 3	a : a	Octave
IV a.	1,461	200	10 : 3	f : f	-
IV a.	-	200	4 : 1	f : g	None.

Die Vergleichung der mit *a*, *b*, *c* bezeichneten Versuche zeigt zunächst, dafs, bei verschiedenem Volumen der Kugel, demselben Verhältnisse der Röhrenlänge meistens, aber nicht durchgängig dieselben Intervalle entsprechen. Die Verhältnisse, nach welchen die Röhre verkürzt werden muß, um die einzelnen Intervalle zu erhalten, sind sehr verschieden von den bekannten Längenverhältnissen, welche die Höhe des Tones einer Saite oder einer prismatischen Orgelpfeife bedingen. Das Längenverhältniß der Röhren, welches dasselbe Intervall angeben, ist nicht immer dasselbe, doch gehen die Abweichungen, die kleine Terz $\bar{g} : \bar{b}$ im Versuche IIIc ausgenommen, nicht über einen halben Ton hinaus, und es müssen daher, wenn man die Beobachtungsfehler berücksichtigt, die Versuche als hinreichend übereinstimmend betrachtet werden. Ich erinnere nur an das oben §. 8 über die Zusammensetzung der einzelnen Röhrentheile durch Pfropfen Gesagte, wodurch der tiefere Ton leicht noch etwas tiefer werden konnte, und bemerke noch, dafs jeder Ton, den ein Apparat mit einer bestimmten Röhrenlänge angab, für sich allein bestimmt wurde, ohne auf das Intervall zu achten, welches derselbe mit dem Tone bil-

dete, welcher bei einer andern Länge der Röhre beobachtet wurde. Es geschah dieß theils absichtlich, um ein von jeder vorgefaßten theoretischen Ansicht unabhängiges Resultat zu erhalten, theils unwillkürlich, weil während der Verlängerung oder Verkürzung der Röhre die Kugel sich in der Regel soweit abkühlte, daß der folgende Ton erst einige Zeit darauf ansprach, die beobachteten Töne sind außerdem sehr oft nicht ganz rein, so daß ich mich begnügen mußte, den am nächsten kommenden Ton zu notiren, und sie ändern sich in Folge der Wärme-Zu- oder Abnahme nicht selten während der Beobachtung fast um einen halben Ton. Ich habe in diesem Falle immer die Tonhöhe aufgezeichnet, welche der geringsten Hitze entsprach, bei welcher der Ton noch hörbar wurde. Es dürfte aus dem Vorangeschickten hervorgehen, daß Abweichungen in den Intervallen um einen halben Ton innerhalb der Grenzen der unvermeidlichen Beobachtungsfehler liegen. Die Ursache der Verschiedenheit der denselben Intervallen entsprechenden Verhältnisse der Röhrenlänge scheint aber noch in etwas Anderem zu liegen, nämlich in der Verschiedenheit der absoluten Röhrenlängen. Die Tabelle zeigt nämlich, daß in den meisten Fällen eine längere Röhre in einem größeren Verhältnisse verkürzt werden mußte, als eine kürzere, um dasselbe Intervall zu erhalten. Bei einer Röhrenlänge von 240^{mm} in den Versuchen Va und VIa entspricht dem Verhältnisse 6 : 5 nur eine kleine Sekunde, während in den übrigen Versuchen I, II, III, IV, bei kürzeren Röhren von 60 bis 180^{mm}, demselben Verhältnisse die große Sekunde entspricht. Es findet sich jedoch eine nicht unbedeutende Anzahl von Ausnahmen von dieser Regel in der Tabelle, die vielleicht die Folge von kleinen Beobachtungsfehlern sind.

Vergleicht man die Längenverhältnisse der Röhren mit den Schwingungsverhältnissen der dazu gehörigen Intervalle, so ergibt sich, daß die Quadratwurzeln aus den Längenverhältnissen den Schwingungsverhältnissen der Intervalle sehr nahe kommen. Die kleine Sekunde in den Versu-

chen $V a$ und $VI a$ hat das Längenverhältniß $6 : 5$, dessen Quadratwurzel 1,095 zwischen dem Schwingungsverhältniß der kleinen Sekunde 1,059 und dem der großen Sekunde 1,122 ziemlich in der Mitte liegt.

Die große Sekunde ist beobachtet worden bei den Längenverhältnissen $6 : 5$, $5 : 4$ und $4 : 3$, deren Quadratwurzeln nämlich 1,095, 1,118 und 1,155 von dem Schwingungsverhältnisse dieses Intervalls, nämlich 1,122 nicht sehr abweichen. Das Verhältniß $4 : 3$ kommt übrigens nur zweimal vor in den Versuchen $II b$ und $II c$, während in $II a$ denselben Verhältnissen die kleine Terz entspricht. Es muß daher hier entweder ein Beobachtungsfehler stattgefunden, oder die Verkleinerung des Volumens der Kugel in $II b$ und $II c$ diese Abweichung herbeigeführt haben.

Die Längenverhältnisse der Röhre, welche die kleine Terz gegeben haben, sind: $7 : 5$, $4 : 3$, $5 : 4$ und $6 : 5$. Das letzte kommt nur einmal (in $III c$) vor und weicht so bedeutend ab, daß ich hier einen Beobachtungsfehler vermute. Auch das Verhältniß $5 : 4$, welches nur zweimal (in $III a$ und $IV b$) vorkommt, halte ich für nicht ganz zuverlässig, obwohl die geringere Länge der Röhre bei diesen Versuchen einigen Einfluß auf die Vergrößerung des Intervalls ausgeübt haben mag. Die Quadratwurzeln aus den beiden andern Verhältnissen $7 : 5$ und $4 : 3$, nämlich 1,183 und 1,155, stimmen, mit den Schwingungsverhältnissen der kleinen Terz 1,189 die erste sehr gut, die andere noch hinreichend überein. Denn der Quotient $1,189 : 1,155$ gleich 1,030 zeigt, daß die Abweichung noch lange keinen halben Ton beträgt.

Die große Terz entspricht dem Längenverhältnisse $3 : 2$, dessen Quadratwurzel 1,225, obwohl kleiner als das Schwingungsverhältniß des Intervalls 1,260, dennoch mit demselben noch gut übereinstimmt, wie der Quotient der zu vergleichenden Werthe, nämlich 1,029 anzeigt.

Der reinen Quart entsprechen die Längenverhältnisse der Röhre $5 : 3$ und $3 : 2$; das Verhältniß $3 : 2$ kommt in den Versuchen $III a$, $III c$ und $IV b$ vor, bei welchen sich

oben schon die bedeutenderen Abweichungen vorfinden. Ich halte daher das Verhältniß 5 : 3 für das richtigere, dessen Quadratwurzel 1,294 mit dem Schwingungsverhältnisse der reinen Quart 1,335 noch hinreichend übereinstimmt, da ihr Quotient 1,034 ist.

Die Quadratwurzel aus dem der reinen Quinte entsprechenden Verhältnisse 2 : 1 ist 1,414 und stimmt mit 1,498, dem Schwingungsverhältnisse der reinen Quinte, noch so weit überein, daß die Abweichung nur einem halben Ton entspricht, wie der Quotient $1,498 : 1,414 = 1,059$ angiebt.

Die kleine Sext in den Versuchen IIIa, IIIc und IVb, welche demselben Längenverhältnisse der Röhre entspricht, würde demnach eine Abweichung von einem ganzen Ton geben. Ebenso giebt die Quadratwurzel aus dem der großen Sext angehörenden Röhrenverhältniß 9 : 4, nämlich 1,500 das Schwingungsverhältniß eines um einen ganzen Ton kleineren Intervalles an. Auch bei der kleinen Septime, der Octave und der None sind die Quadratwurzeln dem Längenverhältnisse der Röhre kleiner, als das Schwingungsverhältniß der beobachteten Intervalle und zwar beträgt die Abweichung ebenfalls einen ganzen Ton.

Es ergibt sich im Ganzen, daß die Quadratwurzel aus dem Verhältnisse der Röhren fast durchgängig etwas kleiner ist, als das dem Intervalle angehörende Schwingungsverhältniß, und daß die Abweichung bei größeren Intervallen größer ist. Der Grund hiervon liegt wohl nicht in bei den größeren Intervallen etwa vorgekommenen bedeutenderen Beobachtungsfehlern, sondern in der hier nothwendigen, bedeutenden Verkürzung der Röhre, während die übrigen Dimensionen des Apparats dieselben bleiben. Je mehr die Röhre und mit derselben die in ihr enthaltene kältere Luftsäule verkürzt wird, desto mehr überwiegt die größere Elasticität der in der Kugel enthaltenen heißen Luft, wodurch eine über das Längenverhältniß der Röhre hinausgehende Erhöhung des Tons herbeigeführt wird. Hierin ist auch offenbar die Erklärung für die oben gemachte Bemerkung zu suchen, daß bei größerer Länge der Röhre

dieselbe in stärkerem Verhältnisse verkürzt werden muß, um dasselbe Intervall zu erhalten, als wenn die Röhre sehr kurz ist.

Das Gesetz über die Abhängigkeit der Schwingungszahl von der Länge der Röhre ist demnach: *Die Schwingungszahl steht in umgekehrtem Verhältnisse zur Quadratwurzel der Röhrenlänge.* Die von Pinaud über die Abhängigkeit der Tonhöhe von der Röhrenlänge angestellten Versuche stimmen mit den meinigen meistens überein; das eben ausgesprochene Gesetz hat er aber nicht aufgefunden.

10. Um zu finden, welchen Einfluss die Größe der Kugel auf die Höhe des Tons ausübt, habe ich die mit *a, b, c* bezeichneten Versuche von I bis IX angestellt. Es wurden die Kugeln durch Zusammenschmelzung verkleinert und jedesmal ihr Volumen und die Höhe des Tons bei gleicher Röhrenlänge genau bestimmt. Durch Vergleichung der Volumenverhältnisse mit den Schwingungsverhältnissen der durch die Volumensveränderung herbeigeführten Intervalle habe ich gefunden: *dafs die Schwingungszahl des Tons ebenfalls der Quadratwurzel aus dem Volumen der Kugel umgekehrt proportionirt ist.* Die Richtigkeit dieses Gesetzes wird sich am besten aus einer nach Intervallen geordneten Zusammenstellung der Versuche ergeben. In der ersten Columnne der folgenden Tabelle sind die Versuche mit derselben Bezeichnung wie in der Haupttabelle angegeben, die zweite enthält die beobachteten Töne, die dritte das Intervall derselben, die vierte die Quadratwurzel aus dem Volumenverhältnisse der Kugeln, die fünfte das Schwingungsverhältnifs des beobachteten Intervalls nach der gleichschwebenden Temperatur. Um die Vergleichung des berechneten Intervalls mit dem beobachteten zu erleichtern, habe ich die in der vierten und fünften Columnne enthaltenen Werthe durch einander dividirt und die Quotienten in der sechsten Spalte beigesetzt, welche unmittelbar angeben, um welches Intervall die Quadratwurzel des Volumenverhältnisses von dem Schwingungsverhältnisse des beobachteten Intervalls abweicht. Wenn das berechnete

Intervall gröfser war, habe ich dem Quotienten das positive Vorzeichen beigesetzt, im entgegengesetzten Falle das negative.

Tabelle IV.

No.	Beobachtete Töne.	Intervalle derselben.	$\sqrt{V_1 : V_2}$	Schwingungsverhältnifs.	Abweichung Q.
IV a : IV b.	f : g	grofse Sekunde	1,194	1,122	+ 1,063
V b : V c.	g : a	-	1,102	-	- 1,018
VI b : VI c.	g : a	-	1,175	-	+ 1,047
VII a : VIII b.	As : B	-	1,144	-	+ 1,019
III a : III b.	$\bar{d} : \bar{f}$	kleine Terz	1,183	1,189	- 1,005
V a : V b.	e : g	-	1,199	-	+ 1,008
VI a : VI b.	e : g	-	1,223	-	+ 1,028
IX a : IX b.	B : cis	-	1,290	-	+ 1,085
I b : I c.	f : a	grofse Terz	1,220	1,260	- 1,032
II a : II b.	es : g	-	1,264	-	+ 1,003
II b : II c.	f : a	-	1,341	-	+ 1,064
VII a : VII b.	B : d	-	1,283	-	+ 1,006
I a : I b.	e : f	reine Quart	1,380	1,335	+ 1,033
II a : II b.	e : f	-	1,264	-	- 1,056
III b : III c.	$\bar{f} : \bar{b}$	-	1,441	-	+ 1,079
V a : V c.	e : a	-	1,318	-	- 1,010
VI a : VI c.	e : a	-	1,438	-	+ 1,077
III a : III c.	$\bar{d} : \bar{b}$	kleine Sext	1,704	1,587	+ 1,073
VII b : VII c.	d : b	-	1,760	-	+ 1,108
I a : I c.	e : a	grofse Sext	1,684	1,682	+ 1,001
II a : II c.	e : a	-	1,695	-	+ 1,008
VII a : VII b.	B : b	Octave	2,257	2,000	+ 1,128

Die Quadratwurzel aus dem Volumenverhältnifs der Kugeln stimmt im Allgemeinen mit dem Schwingungsverhältnisse der entsprechenden Intervalle gut überein, da die Abweichung in der gröfsern Hälfte der Versuche noch keinen halben Ton beträgt, in den übrigen meistens auch nicht viel darüber hinausgeht. Die gröfste Abweichung findet sich bei der kleinen Sext und der Octave und beträgt bei jener beinahe einen ganzen Ton, in dieser sogar etwas mehr als einen ganzen Ton. Der Grund hiervon liegt vielleicht zum Theil in einem bei dem Versuche VII c gemachten Beobachtungsfehler, indem der wegen der Kleinheit der Kugel schwer ansprechende Ton nicht leicht zu

bestimmen war; gewiß ist aber auch die sehr bedeutende Volumensveränderung der Kugel hierbei von Einfluß gewesen.

Pinaud hat über den Einfluß des Volumens der Kugel nur einen Versuch gemacht, welchen er selbst als nicht sorgfältig genug angestellt bezeichnet, und dessen Resultat mit dem meinigen nicht übereinstimmt.

11. Es bleibt noch die Abhängigkeit der Schwingungszahl des Tones von der Weite der Röhre, zu bestimmen übrig. Zu diesem Zwecke habe ich die Versuche V und VI; XI, XII und XIII, und XIV, XV angestellt, in welche ich an Röhren von gleicher Länge, aber verschiedener Weite, Kugeln bliefs und dieselben durch Veränderung ihres Volumens möglichst auf denselben Ton stimmte. Es ergab sich, daß für jeden bestimmten Ton das Verhältniß des Volumens der Kugel zum Querschnitt der Röhre, bei gleicher Länge derselben, ein constantes ist. Da nach dem Vorgegangenen die Schwingungszahl im umgekehrten Verhältnisse zu der Quadratwurzel des Volumens steht, so folgt: *daß sie der Quadratwurzel aus dem Querschnitt der Röhre direct proportional ist.* Ich stelle angegebene Versuchsreihen in einer Tabelle zusammen. Die erste Columne enthält die Bezeichnung des Apparats, die zweite das Volumen der Kugel in Cubikcentimetern, die dritte den Querschnitt der Röhre in Quadratmillimetern, die vierte die beobachteten Töne, die fünfte das Verhältniß der Kugel zum Querschnitt der Röhre. Die letzte Columne dient zur Beurtheilung der in den zu vergleichenden Werthen von $V:S$ vorkommenden Abweichungen; sie enthält nämlich die Quadratwurzel aus dem Quotienten der zu vergleichenden Werthe $\sqrt{\frac{V_1}{S_1} : \frac{V_2}{S_2}} = Q$.

Tabelle V.

No.	Volumen der Kugel.	Querschnitt der Röhre.	Der beobach- tete Ton.	V: S.	Q.
V a.	3,321	6,857	e	484,4	} 1,069
VI a.	1,358	3,204	e	423,9	
V b.	2,310	6,857	g	336,9	} 1,090
VI b.	0,907	3,204	g	283,4	
V c.	1,912	6,857	a	278,8	} 1,166
VI c.	0,657	3,204	a	205,5	
XI	2,332	3,204	c	727,9	} 1,052
XII	5,520	6,857	c	805,1	
XIII	17,120	23,510	c	728,4	} 1,051
XIV	7,033	13,870	h	507,0	
XV	2,000	3,963	h	504,6	} 1,002

Die größte Abweichung findet sich bei den Versuchen V c und VI c und entspricht einer Tonverschiedenheit von etwas mehr als einem ganzen Ton; in den Versuchen XI und XIII, XIV und XV stimmen die Werthe von V: S sehr gut überein, in den übrigen Versuchen beträgt die Abweichung ungefähr einen halben Ton. Berücksichtigt man, wie schwer es ist, zwei Apparate durch Veränderung des Volumens der Kugel genau auf denselben Ton zu stimmen, so werden die Versuche noch als gut übereinstimmend und die Richtigkeit des oben ausgesprochenen Gesetzes beweisend erscheinen müssen. Man bemerkt außerdem, daß der Werth V: S in den Apparaten mit größerer Kugel und weiterer Röhre fast durchweg der größere ist, indem der Apparat XII, dessen Ton übrigens etwas tiefer als c war, in Beziehung auf XIII die einzige Ausnahme macht.

12. *Die Schwingungszahl des durch Erhitzung der Kugel ansprechenden Tones steht demnach in geradem Verhältnisse zu der Quadratwurzel aus dem Querschnitt der Röhre, und in umgekehrtem Verhältnisse zu den Quadratwurzeln aus dem Volumen der Kugel und der Länge der Röhre.* Diefß Gesetz wird durch folgende Formel ausgedrückt:

$$n = C \sqrt{\frac{S}{VL}}$$

in welcher n die Schwingungszahl, C eine Constante, V das Volumen der Kugel, S den Querschnitt und L die Länge der Röhre bedeutet. Denkt man sich die Kugel in eine Röhre verwandelt, welche eben so weit ist, als die Röhre des Apparats und bezeichnet deshalb $V : S$ mit L' , so wird die Formel:

$$n = \frac{C}{\sqrt{L \cdot L'}}$$

wonach die Schwingungszahl im umgekehrten Verhältnisse steht zur geometrischen Mitte aus der Länge der Röhre des Apparats und der Länge einer ebenso weiten Röhre, welche mit der Kugel gleichen Inhalt hat. Sind die Apparate, für welche man die Schwingungszahl des Tones berechnen will, sämmtlich einander ähnlich, so wird die Formel noch viel einfacher, da das Volumen der Kugel zu dem der Röhre in diesem Falle ein bestimmtes Verhältniß hat. Ist z. B. $V : S$ oder $L' = \alpha^2 L$, so ist:

$$n = \frac{C}{\alpha L}$$

Die Schwingungszahl des Tones steht also bei einander ähnlichen Apparaten in umgekehrtem Verhältnisse zur Länge der Röhre.

Ich habe den Werth der Constanten C aus den Dimensionen mehrer durch Erwärmung der Kugel ansprechender Apparate und der Schwingungszahl der beobachteten Töne bestimmt und denselben im Mittel gefunden: $C = 104100$.

Mit Hülfe dieser Constanten kann man nach der ersten Formel aus den Dimensionen der Apparate die Schwingungszahl des durch Erhitzung der Kugel ansprechenden Tones berechnen. Ich war überrascht durch die auch bei den verschiedensten Dimensionen der Apparate noch stattfindende Uebereinstimmung der durch Rechnung für n gefundenen Werthe mit den Schwingungszahlen der beobachteten Töne. In der folgenden Tabelle sind einige Versuche in dieser Beziehung zusammengestellt. In der ersten Columne sind wieder die Versuche bezeichnet, in der zweiten, dritten und vierten sind Volumen der Kugel, Quer-

schnitt und Länge der Röhre angegeben, die fünfte enthält die Angabe der beobachteten Töne, die sechste die nach der obigen Formel berechneten Werthe der Schwingungszahl, die siebente die den beobachteten Tönen entsprechenden Schwingungszahlen. In der achten Columne habe ich noch die Quotienten aus der berechneten und beobachteten Schwingungszahl beigefügt, welche das Intervall zwischen dem beobachteten und berechneten Tone unmittelbar angeben.

Tabelle VI.

No.	Volumen der Kugel.	Querschnitt d. Röhre.	Länge der Röhre.	Beobachtete Ton.	<i>n</i> .	Schwingungszahl des Tons.	Abweichung <i>Q</i> .
IX <i>a</i> .	2,863	3,480	260	H	225,7	228,5	− 1,012
X	9,373	6,857	255	G	176,9	191,7	− 1,084
XI	2,332	3,204	200	c	273,6	256,0	+ 1,069
XII	5,520	6,857	200	c	260,2	256,0	+ 1,016
XIII	17,120	23,510	200	c	273,5	256,0	+ 1,069
XIV	7,033	13,870	108	h	446,2	483,3	− 1,083
XV	2,000	3,963	108	$\frac{h}{d}$	447,3	483,3	− 1,081
XVI	1,668	2,733	54	$\frac{d}{h}$	575,2	574,7	+ 1,001
XVII	27,950	27,030	172	H	247,6	241,6	+ 1,025
XVIII	1,092	3,163	21	$\frac{e}{e}$	1226,0	1290,0	− 1,052
XIX	35,910	33,210	404	E	158,0	161,2	− 1,020

13. Die letzten vier Versuche der Tabelle II habe ich angestellt, um zu untersuchen, ob eine Abweichung der an die Röhre geblasenen Erweiterung von der Kugelgestalt einen merklichen Einfluss auf die Höhe des Tones ausübe. Die Erweiterung der Röhre des Apparats XX hatte eine längliche sackförmige Gestalt (Fig. 11, Taf. I.) und war von außen gemessen in der Linie *ab* ungefähr 20 Millim. lang und in der Richtung *ab* gegen 10 Millim. weit. Ich bestimmte das Volumen dieser sackförmigen Erweiterung und die Dimensionen der Röhre mit besonderer Sorgfalt und berechnete daraus und der Schwingungszahl des beobachteten Tones *es*, nach der für Apparate mit kugelförmiger

Erweiterung gültigen Formel: $n = C \sqrt{\frac{S}{V L}}$, den Werth der Constanten. Es ergab sich: $C = 101200$.

Da dieser Werth innerhalb der Werthe fiel, welche ich für die Constante der einzelnen mit Kugeln versehenen Apparate gefunden hatte, so schloß ich daraus, daß die angegebene Abweichung von der Kugelgestalt keinen merklichen Einfluß ausübe, stellte jedoch noch die folgenden Versuche auf eine mehr directe Weise an. Ich schnitt von derselben Röhre drei Stücke ab und blies an die erste (Versuch XXI) eine Erweiterung, die aus zwei aneinander hängenden Kugeln bestand (Fig. 10, Taf. I); der Erweiterung der zweiten (Versuch XXII) gab ich wieder eine sackförmige Gestalt (Fig. 11, Taf. I) und blies an die dritte eine Kugel (Versuch XXIII). Hierauf gab ich den drei Röhren gleiche Länge und stimmte die Apparate durch Aufblasen und Zusammenschmelzen ihrer Erweiterung möglichst genau auf denselben Ton (\bar{e}). Die Erweiterung von XXI (Fig. 10, Taf. I) maß jetzt in der Linie ab von außen ungefähr 22 Millim., in der Linie fg 10 Millim. und in der Linie mn 4 Millim. Die Erweiterung von XXII (Fig. 11, Taf. I) war in der Richtung der Linie ab ungefähr 25 Millimeter lang und in der Linie fg 8 Millim. weit. Es wurden die Erweiterungen und Röhren mit Quecksilber angefüllt, dessen Gewicht bestimmt, und auf diese Weise Volumen und Querschnitt genau gefunden. Das Volumen der drei Erweiterungen war nicht genau gleich, ebenso aber auch der Querschnitt der drei Röhren, weshalb die Quotienten aus Volumen und Querschnitt verglichen werden mußten. Dieser Quotient $V:S$ ist für die Apparate:

für XXI	gleich	236,0
- XXII	-	227,6
- XXIII	-	236,9.

Die für die Apparate XXI und XXIII $V:S$ aufgefundenen Werthe des Quotienten stimmen so gut überein, daß die Formverschiedenheit ihrer Erweiterung offenbar keinen Einfluß geübt hat, wie auch die Verschiedenheit dieser

Werthe bei XXII und XXIII noch lange keinen halben Ton entspricht, da $\sqrt{236,9 : 227,7} = 1,021$ ist, während die kleine Sekunde durch das Schwingungsverhältniß 1,059 angegeben wird. Es dürfte demnach feststehen, daß eine verhältnißmäßig schon sehr bedeutende Abweichung der Erweiterung von der Kugelgestalt noch keinen merklichen Einfluß auf die Höhe des Tones ausübt.

14. Der tiefste Ton, den die besprochenen Apparate nach Abkühlung der Kugel durch Anblasen geben, ist, wie oben §. 6. angegeben wurde, immer etwas tiefer, als der durch Erhitzen der Kugel erzeugte. Ich schloß hieraus, daß die Formel

$$n = c \sqrt{\frac{s}{vL}}$$

auch für gedeckte Orgelpfeifen, welche am Ende ähnlich erweitert sind, Gültigkeit haben würde. Meine Ansicht ist durch einige hierüber angestellte Versuche vollkommen bestätigt worden.

Ich nahm ein ziemlich cylindrisches Glasfläschchen, dessen Höhe dem Durchmesser des Bodens ungefähr gleich, und dessen kurzer und weiter Hals ziemlich scharf abgegränzt war, und paßte mit Pfropfen Röhren von verschiedener Weite und Länge luftdicht ein, wobei ich sorgfältig darauf achtete, daß die Pfropfen den Hals immer vollständig ausfüllten. Das Volumen der Flasche und der Querschnitt der Röhren wurden durch das Gewicht des eingegossenen Quecksilbers genau bestimmt. Das Volumen des Fläschchens betrug 46,750 Cubikcentimeter. Der erste Versuch bezog sich auf die Abhängigkeit der Tonhöhe von der Länge der Röhre. Zwei Röhren von gleicher Weite ($d = 11,59$ Millim.) aber verschiedener Länge, wurden nach einander mit dem Pfropfen in den Hals des Fläschchens eingesetzt und mit dem Munde angeblasen, wobei darauf geachtet wurde, daß der Ton durch das Ueberlegen der Oberlippe möglichst wenig vertieft wurde. Die Flasche gab mit einem 175 Millim. langen Rohre f , mit einem eben so weiten 67 Millim. langen Rohre cis an. Dem Intervall

der Töne $f: cis$, nämlich der übermäßigen Quint, entspricht das Schwingungsverhältniß 1,587, womit die Quadratwurzel aus dem Verhältnisse der beiden Röhrenlängen 1,616 sehr gut übereinstimmt. Die Schwingungszahl des Tons einer solchen gedeckten Pfeife steht daher ebenfalls im umgekehrten Verhältniß zu der Quadratwurzel aus der Röhrenlänge.

Ein zweiter Versuch zeigte, daß die Schwingungszahl dieses Tones der Weite der Röhre oder der Quadratwurzel aus ihrem Querschnitt direct proportional ist. Es wurde nämlich ein ebenfalls 67 Millimeter langes aber engeres Rohr, dessen Weite nur 7,508^{mm} betrug, mit einem Pfropf in dieselbe Flasche eingepafst. Beim Anblasen gab der Apparat g an. Da der mit dem gleichlangen weiteren Rohre erhaltene Ton cis gewesen war, so hat die Anwendung des engeren Rohres eine Vertiefung des Tons um eine übermäßige Quart zur Folge gehabt. Das Schwingungsverhältniß dieses Intervalles ist 1,414, womit die Quadratwurzel aus dem Verhältnisse der Querschnitte, nämlich 1,544 noch ziemlich gut übereinstimmt, da die Verschiedenheit dieser Schwingungsverhältnisse nur etwas mehr als einen halben Ton beträgt, und die durch das Anblasen der Röhren erhaltenen Töne in Folge der Haltung des Mundes und der Stärke des Luftstroms oft um mehr als einen halben Ton variiren.

Um endlich den Einfluß des Volumens der Flasche zu bestimmen; füllte ich dieselbe zur Hälfte mit Wasser und erhielt mit dem 67 Millimeter langen weiteren Rohre beim Anblasen den Ton g , mit dem eben so langen engeren Rohre c . Dieselben Röhren hatten mit der leeren Flasche cis und g gegeben, so daß dem Volumenverhältniß der Flasche 2:1 einmal eine verminderte Quint, das andere Mal eine reine Quart entspricht. Das Schwingungsverhältniß des ersten Intervalls 1,414 stimmt mit der Quadratwurzel aus dem Volumenverhältniß 2:1 vollkommen überein, während das Schwingungsverhältniß der reinen Quart 1,335 eine dem halben Tone entsprechende Abweichung erkennen läßt.

Da die Formel $n = C \sqrt{\frac{s}{VL}}$ demnach das Schwingungsgesetz der Luft in gedeckten, am Ende erweiterten Pfeifen ausdrückt, so habe ich die Constante aus den Dimensionen des eben besprochenen Apparats und der Schwingungszahl eines der beobachteten Töne bestimmt und den Werth desselben gefunden: $C' = 93410$.

Dieser Werth ist kleiner als der für die Apparate, welche durch Erhitzung der Kugel tönen, gefundene $C = 104400$. Diefs stimmt mit der früher §. 6 gemachten Bemerkung zusammen, daß der Ton, den man durch Anblasen solcher Apparate erhält, immer einen halben bis einen ganzen Ton tiefer ist, als der durch Erhitzung der Kugel ansprechende. Das Verhältniß $C : C'$ ist gleich 1,117 und kommt dem Schwingungsverhältnisse einer großen Sekunde sehr nahe.

Um die Anwendbarkeit der obigen Formel und des angegebenen Werths der Constanten C' zu prüfen, habe ich noch einige Versuche gemacht, welche ich in der folgenden Tabelle aufführe. Der Versuch No. I ist mit dem in Tabelle II unter No. XIII angeführten Apparate angesetzt, welcher nach der bedeutenden Verkürzung der Röhre durch Erhitzen der Kugel nicht mehr anspricht, dagegen sich leicht anblasen läßt. Im Versuche No. II ist ein Tausendgranfläschchen, in No. III ein kleines Fläschchen mit eingeriebenem Glasstöpsel, in No. IV ein gewöhnliches Medicinfläschchen ungefähr 80^{mm} hoch und 43^{mm} weit angeblasen worden. Im Versuche No. V wendete ich ein ziemlich cylindrisches Glasfläschchen an, in dessen weiten Hals ich mit einem Pfropfen ein Glasrohr eingepaßt hatte; die Höhe des Fläschchens ist dem Durchmesser des Bodens ziemlich gleich. Der im Versuche No. VI gebrauchte Apparat war eine cylindrische Glasflasche ungefähr doppelt so hoch als weit, mit eingeriebenem Glasstöpsel, in deren Hals ein Papprohr eingesetzt war. Im Versuche No. VII wendete ich eine große 8kantige Flasche an, deren Hals ich bis auf ein ungefähr 1 $\frac{1}{2}$ " langes Stück abschnitt und dafür ein Papprohr aufkittete. No. VIII ist ein mit einem

kleinen Glaskolben angestellter Versuch. Im Versuche No. IX ist die in No. VI angewendete Flasche ohne eingesetztes Rohr angeblasen. Der letzte Versuch No. X ist mit einem aus starker Pappe gefertigten Cylinder 137^{mm} hoch und 36^{mm} weit, angestellt, in welchen ein Papprohr eingeleimt war. Die Apparate wurden mit der nöthigen Vorsicht angeblasen, so daß die Oeffnung möglichst wenig verengt wurde. Ich habe mich hierzu mit Vortheil einer breitgeschlagenen Blechröhre bedient, welche ich an den Rand der Oeffnung ansetzte, um den Luftstrom quer über dieselbe hinweg zu treiben. Die Tabelle enthält in der ersten Columnne die Bezeichnung des Versuchs, in der zweiten das Volumen der Erweiterung der Flasche in Cubikcentimetern, in der dritten und vierten die Weite und Länge des Halses oder der Röhre in Millimetern, in der fünften den beobachteten Ton, in der sechsten den nach der Formel berechneten Werth von n , in der siebenten die Schwingungszahl des beobachteten Tones. In der achten habe ich wieder die Quotienten der in der sechsten und siebenten Columnne stehenden Werthe beigefügt, welche das Intervall angeben, um welches der dem Werthe von n entsprechende Ton zu hoch oder zu niedrig ist. Im ersten Falle ist das positive, im zweiten das negative Zeichen vorgesetzt.

Tabelle VII.

No.	Volumen.	Weite der Röhre.	Länge d. Röhre.	Der beobachtete Ton.	n .	Schwingungszahl d. Tons.	Abweichung.
I	17,1	5,5	60	$\frac{h}{a}$	446,8	483,3	- 1,081
II	60,9	12,5	19	$\frac{h}{a}$	906,4	861,1	+ 1,052
III	10,7	10,0	15	$\frac{h}{d}$	2064,0	1933,0	+ 1,068
IV	97,7	9,0	13	$\frac{h}{d}$	661,1	574,7	+ 1,150
V	66,2	11,6	175	d	282,0	287,3	- 1,019
VI	117,8	18,0	183	f	320,9	341,7	- 1,065
VII	654,5	26,5	193	$\frac{B}{c}$	198,9	228,1	- 1,144
VIII	76,3	20,5	118	$\frac{c}{d}$	566,9	512,0	+ 1,105
IX	117,8	25,3	15	$\frac{d}{f_{is}}$	1576,0	1149,4	+ 1,371
X	132,4	27,0	44	f_{is}	902,3	724,1	+ 1,246

Eine

Eine genaue Uebereinstimmung der durch Rechnung gefundenen Werthe der Schwingungszahlen mit den beobachteten liefs sich schon deswegen bei den meisten Versuchen nicht erwarten, weil der Hals der Flaschen gegen die Erweiterung derselben nicht scharf abgesetzt und auferdem nicht cylindrisch ist, weshalb die Länge und Weite desselben nicht mit hinreichender Genauigkeit bestimmt werden konnte. Daher findet sich die grösste Uebereinstimmung im Versuche No. V, weil die in den Hals der Flasche eingesetzte Glasröhre genau gemessen werden konnte. In den Versuchen No. I, II, III und VI beträgt die Abweichung ungefähr einen halben Ton, in No. IV, VII und VIII ungefähr einen ganzen Ton. Die grösste Abweichung findet sich in den beiden letzten Versuchen, indem die in der letzten Columne beigefügten Quotienten hier eine Tonverschiedenheit von einer reinen Quart (No. IX) und einer grossen Terz (No. X) anzeigen. Das oben ausgesprochene Schwingungsgesetz findet für diese Apparate offenbar deshalb nicht mehr seine volle Anwendung, weil der Hals oder das Rohr verhältnismässig sehr kurz und im Vergleich zur Weite der Flasche auferordentlich weit ist.

Bei meinen Versuchen über das Tönen der Luft in erhitzten Glasröhren habe ich ein Mittel, Töne zu erzeugen, gefunden, welches meines Wissens noch nicht bekannt ist. Oeffnet man nämlich die Spitze der in Figur 6 und 7 abgebildeten Apparate beim Punkte *d* und bläfst, nachdem man die Kugel *ab* beinahe bis zum Glühen erhitzt hat, von unten mit dem Munde kräftig durch die Röhre, so entsteht ein tiefer Ton, welcher mit dem Ton eines Fagott's einige Aehnlichkeit hat. Wenn die Kugel nicht heifs genug ist, so gelingt es nicht, den Ton zu erzeugen. Dieser Ton ist sehr verschieden von demjenigen, welcher, so lange die Röhre bei *d* geschlossen ist, durch Erhitzung der Kugel anspricht und entsteht auf eine ganz andere Weise. Indem ich mir vorbehalte, über diese Erscheinung später ausführlich zu berichten, erlaube ich mir für jetzt einige vor-

läufige Bemerkungen. Je heißer die Kugel ist, desto leichter spricht der Ton an; ist die Kugel etwas abgekühlt, so ist eine stärkere Compression der Luft zur Erzeugung des Tones erforderlich. Bläset man kräftiger durch den Apparat, so wird der Ton höher. Der Ton hängt außerdem noch von der Länge des Röhrchens *ab* und von der Weite der Oeffnung bei *d* in der Weise ab, daß er um so tiefer ist, je länger das Röhrchen und je enger die Oeffnung. Ich habe die Erscheinung an Apparaten beobachtet, deren Röhrchen 5 bis 30 Mllm. lang, und 0,5 bis 1 Mllm. weit war. Die Oeffnung beim Punkte *d* muß bedeutend enger seyn als die Röhre oder ihre Verengung unterhalb des Punktes *b*, damit man beim Blasen der Luft in der Kugel die nöthige Spannung geben kann. Ich verkleinere daher die Oeffnung *d* durch vorsichtiges Zusammenschmelzen allmählig, bis der Ton beim Durchblasen anspricht. Ebenso muß die Größe der Kugel ein gewisses zweckmäßiges Verhältniß zur Weite der Röhre beim Punkte *b* haben.

II. Ueber den Einfluss der Elemente auf die Siedhitze; von H. Schröder.

Dritte Abhandlung.

§. 1.

Ich habe in den Jahren 1844 und 1845 in meiner Schrift: „Die Siedhitze der chemischen Verbindungen u. s. w.“, und in diesen Annalen Bd. 62. S. 184 und 337, dann Bd. 64. S. 96 und 367, endlich Bd. 67. S. 45 mehrere Arbeiten über die Siedepunkte der chemischen Verbindungen bekannt gemacht. Die Beobachtungen sind seit jener Zeit nicht unwesentlich verbessert und vermehrt worden; ich hielt es daher für nöthig, mit diesen neuen Hülfsmitteln ausgerüstet,

