

Flüssigkeiten gegen die Röhrenwand bekannt ist. Nur in wenigen Fällen ist dieser Randwinkel 0° oder 180° .

15. Die Beobachtungen an Steighöhen in Capillarröhren und an flachen oder aus vertikalen Röhren fallenden Tropfen einer Flüssigkeit in Luft ergeben leicht einen zu kleinen Werth der Capillar-Constante, da sich fremde in Dampfform durch die Atmosphäre verbreitete Substanzen auf der krummen capillaren Oberfläche condensiren und die so entstandene auf der capillaren Oberfläche ausgebreitete dünne Flüssigkeitsschicht die Spannung der freien Oberfläche vermindert. Diese Fehlerquelle ist bei gewöhnlicher Temperatur gröfser als bei hohen Temperaturen, bei Flüssigkeiten mit grofser Capillar-Constante bedeutender, als bei solchen mit kleiner Capillar-Constante, und erklärt die von früheren Beobachtern zu klein gefundenen Werthe der Capillar-Constanten bei einigen Flüssigkeiten wie Quecksilber und Wasser.

16. Diese Condensation von Dämpfen an der Oberfläche von Flüssigkeiten erklärt die verschiedene Gestalt linsenförmiger Wassertropfen auf Quecksilber und die sogenannten Hauchbilder.

II. Ueber die Dämpfung der Töne fester Körper durch innere Widerstände ¹⁾; von E. Warburg.

Es ist eine bekannte Thatsache, dafs die Tonschwingungen fester Körper, wenn sie nicht durch eine äufsere Kraft unterhalten werden, allmählich erlöschen. Diefs rührt offenbar theilweise davon her, dafs der feste Körper fortwährend eine Quantität von seiner Bewegung an die Befestigungspunkte und an die Luft als Schall abgibt. Es sind aber auch im Innern der festen Körper gewisse Kräfte vorhanden,

1) Die Versuche wurden im Laboratorium des Hrn. Geheimrath Magnus angestellt.

welche auf eine Dämpfung von Bewegungen im Innern dieser Körper hinwirken. Das Vorhandenseyn solcher innerer Kräfte folgt u. A., wie W. Weber gezeigt hat, aus der verschiedenen Schnelligkeit, mit welcher die Töne verschiedener Körper verklingen; ferner aus der Erwärmung der festen Körper durch das Tönen, welche von dem Verfasser nachgewiesen ist.

Die Kräfte, welche, im Innern der festen Körper thätig, auf das Erlöschen der Bewegungen im Innern derselben hinwirken, sollen im Folgenden als *innerer Widerstand* der festen Körper bezeichnet werden.

In Bezug auf den inneren Widerstand der festen Körper bemerkt Helmholtz ¹⁾:

»Die vollkommnere Elasticität scheint besonders das Fortbestehen der höheren Töne zu begünstigen, da schnellere Schwingungen im Allgemeinen durch unvollkommene Elasticität und Reibung schneller gedämpft werden, als langsamere.«

Ein sicherer experimenteller Nachweis dafür, daß höhere Töne durch den inneren Widerstand stärker gedämpft werden, als tiefere, ist dem Verfasser nicht bekannt, eben so wenig irgend eine Untersuchung der Ursache dieses Verhaltens.

Der erste Theil dieser Arbeit enthält experimentelle Belege für die erwähnte Erscheinung, der zweite Theil eine Untersuchung der Ursachen, welche dieselbe herbeiführen.

1. Theil.

Um die Wirkung der dämpfenden Kräfte fester Körper auf Töne verschiedener Höhe kennen zu lernen, hat der Verfasser den Schall einer Schallquelle, welche Töne sehr verschiedener Höhe gleichzeitig ausgab, nämlich einer Spieluhr, durch Stäbe aus verschiedenem Material dem Ohre zugeleitet. Es mußte dabei vor Allem dafür gesorgt werden, daß der Schall der Uhr nur durch den leitenden Stab zum Ohre gelangte. Dazu diente folgendes Isolationsverfahren.

1) Lehre von den Tonempfindungen, S. 122.

Ein kreisförmig cylindrischer, 250^{mm} hoher, oben offener, bis zum Rande mit Wasser gefüllter Beutel aus dünner Kautschuckplatte wird in einem dickwandigen, cylindrischen Glasgefäße hängend gehalten; indem der obere Rand des Beutels über den aufgeworfenen Rand des Glascylinders gezogen ist.

Wenn in diesen Beutel die durch ein Kautschuckfutteral geschützte, an Fäden hängende Spieluhr bis nahe an den Boden eingesenkt ward, so hörte ein danebenstehender Beobachter den Schall der Uhr gar nicht; erst durch einen dicht über der Wasseroberfläche gehaltenen Trichter hörte man ein wenig von den höchsten Tönen, diese aber so schwach, daß die Tonhöhe nicht mehr deutlich zu unterscheiden war.

Der Schall der Spieluhr wird an das Wasser kräftig übertragen, was u. A. daraus hervorgeht, daß dieselbe, in ein mit Wasser gefülltes Glasgefäß versenkt, durch Vermittlung von Wasser und Glas den umgebenden Medien starke Bewegung mittheilt. Auch die Seitenwände des Beutels werden ziemlich kräftig erregt; denn hängt man den Beutel frei in der Luft auf, so wird ziemlich viel Schall an dieselbe abgegeben. Wie in diesem Falle die freie Luft, so wird, wenn der Kautschuckbeutel sich in dem Glascylinder befindet, das Luftvolum zwischen Glas und Beutel durch die Seitenwände des letzteren stark erschüttert; da aber dieses Luftvolum mit der äußeren Luft nicht communicirt und ferner die dicken Glaswände nicht merklich zu erschüttern vermag, so geht von der Bewegung desselben nichts an den umgebenden Raum über.

Führt man bei frei hängendem Beutel, indem die Spieluhr in der Tiefe schwebt, das Ohr an den Seitenwänden hinauf, so bemerkt man eine starke Abnahme des Schalles von unten nach oben. Dieser Versuch zeigt den Grund davon, daß durch die freie Wasseroberfläche so wenig Schall an die Luft gelangt. Denkt man sich ein oben offenes Gefäß mit absolut starren Wänden mit Wasser gefüllt, und an irgend einer Stelle des Wassers einen Stoß auf

dasselbe ausgeübt, etwa durch einen tönenden Körper, so wird dieser Stofs zwar nach allen Richtungen hin fortgepflanzt werden, aber wegen der Reflexion durch die starren Wände sich vorzugsweise an der freien Oberfläche äufsern. Sind aber die Wände nachgiebig, so werden dieselben seitlich ausweichen, und nach Maafsgabe dieser Nachgiebigkeit eine Quantität Bewegung an die Luft abgegeben werden. Ist danach das Gefäfs tief genug, und wird der Stofs an einer tiefen Stelle geführt, so wird nur wenig Bewegung an die freie Wasseroberfläche gelangen. Selbst die starken Töne einer Wassersirene können durch das beschriebene Isolationsverfahren ziemlich vollständig von der Luft abgehalten werden. Man hängt die Sirene an Fäden in den Kautschuckbeutel; das Zuleitungsrohr für das Wasser ist von Kautschuck. Erst wenn die Sirene sehr rasch umläuft, treten die hohen Töne schwach in die Luft aus; von dem Vorhandenseyn der tieferen im Wasser überzeugt man sich, indem man ein in den Gehörgang eingesetztes, unten durch eine Membran verschlossenes Glasrohr in das Wasser führt.

An der in dem mit Wasser gefüllten Beutel befindlichen Spieluhr wird das eine Ende der zu untersuchenden Leiter passend befestigt, deren anderes Ende direct oder durch Vermittlung eines Resonanzbodens mit dem Ohre verbunden ist.

In dieser Weise wurde der Schall der Uhr durch einen 460^{mm} langen, 6^{mm} dicken Kautschuckstab dem Ohre zugeleitet: es wurde ausschliesslich die tiefe Begleitung des kleinen Musikstückes gehört, welches die Uhr spielte. Untersucht man verschiedene Stellen des Streifens, so findet man, dafs nur in der Nähe der Schallquelle etwas von den höchsten Tönen wahrzunehmen ist.

Um zu untersuchen, ob der Luftwiderstand Einflufs auf diese Erscheinungen habe, wird die Spieluhr in einem luftleeren Gefäfs an einem Kautschuckstreifen aufgehängt. Es gelangten durch den Aufhängepunkt und das Gefäfs nur tiefe Töne an die Unterlage; ersetzte man den Kautschuckstreifen durch ein Bleirohr, so wurden nun hohe wie tiefe

Töne von einem Beobachter wahrgenommen, der das Ohr auf die Unterlage legte.

Es ist daraus zu schliessen, dass die Ursache der Schwächung der Töne bei der Leitung durch das Kautschuck nicht vom Luftwiderstande herrührt, sondern in der Natur des Kautschucks selbst begründet ist.

Stäbe aus Holz, Stahl, Glas, Blei, Wachs, von den Dimensionen des Kautschuckstreifens, pflanzten hohe wie tiefe Töne merklich gleichmäfsig fort. Selbst bei der Leitung des Schalles durch einen 30^m langen, schwach gespannten Kupferdraht von 0^{mm},2 Durchmesser war ein Unterschied in der Fortpflanzung höherer und tieferer Töne nicht zu erkennen. Als aber ein 11^m langer Bleidraht von 1½^{mm} Durchmesser zwischen der Schallquelle und dem Ohre eingeschaltet ward, war von den höheren Tönen nichts mehr wahrzunehmen, während die tiefe Begleitung vollkommen scharf hervortrat.

Dasselbe Verhalten, wie die Kautschuck- und die längere Bleileitung zeigte ein 4^m,5 langes, schwach gespanntes Hanfseil; spannte man dasselbe ein wenig stärker, so traten sofort die höheren Töne zu den tieferen hinzu; der Kautschuckstreifen hingegen musste sehr stark gespannt, nämlich auf etwa die dreifache Länge ausgezogen werden, damit die höchsten Töne sich auf etwas weitere Strecken in demselben fortpflanzten.

Mit diesen Versuchen hängt die ungleiche Schwächung zusammen, welche Töne verschiedener Höhe bei der Leitung durch Luft erleiden, die in Kautschuckröhren eingeschlossen ist.

Dem aus der Wasseroberfläche hervorragenden Ende eines mit der Spieluhr verbundenen Holzstabes ward, ohne dasselbe zu berühren, das eine Ende einer offenen Glasröhre genähert. Wurde das andere Ende in den Gehörgang eingesetzt, so hörte man das ganze Stück der Spieluhr, nur dass, besonders bei kurzen Röhren, einzelne Töne durch Resonanz besonders hervorgehoben wurden. Ersetzte man hingegen das Glasrohr durch ein Kautschuckrohr, so wurden bei hinreichender Länge der Leitung nur die tieferen Töne

wahrgenommen. Bei gleicher Wanddicke der Kautschuckröhren hörte man durch ein engeres Rohr die höheren Töne stärker, als durch ein weiteres. Um dies zu zeigen, genügt es, zwei Röhren von verschiedenem innern Durchmesser gleichzeitig in beide Ohren einzusetzen und die freien Enden der Schallquelle zu nähern. Drückt man jetzt den einen oder den andern Schlauch zu, so kann man den Unterschied in der Stärke und Zusammensetzung des von beiden Leitungen fortgepflanzten Schalles beurtheilen.

Durch die Kautschuckwände hindurch findet eine beträchtliche Abgabe von Schall an die Luft Statt. Diese Abgabe, welche in freier Luft nicht deutlich wahrgenommen ward, trat hervor, als man die Kautschuckröhren in ein weiteres Glasrohr einlegte; die freien Enden des cylindrischen, ringförmigen Raumes zwischen Kautschuck- und Glasrohr wurden durch Verkittung gegen den Eintritt des Schalles von aussen geschützt. Setzte man mittels eines seitlich in dem Glasrohr angebrachten Tubus den genannten ringförmigen Luftraum mit dem Ohre in Verbindung, so ward der Schall kräftig wahrgenommen; dies fand nicht Statt, wenn auch das innere Rohr ein Glasrohr war. Liegt das Kautschuckrohr in dem Glasrohr, so wird durch das erstere mehr Schall wahrgenommen, als wenn dasselbe sich in freier Luft befindet: offenbar weil das Glasrohr die Zerstreuung der von den Kautschuckwänden abgegebenen Bewegung hindert.

Hiernach hat man sich den Vorgang bei der Leitung durch die Luft in Kautschuckröhren so vorzustellen, daß die nachgiebigen, schlecht reflectirenden Wände des Rohres durch die Schwingungen der Luft in Transversalschwingungen versetzt werden. Diese Transversalschwingungen des festen Kautschucks werden beim Fortschreiten geschwächt, und zwar die höheren Tonschwingungen nach den zuerst beschriebenen Versuchen viel rascher, als die tieferen. Es werden sonach dem System die höheren Töne bei der Leitung schneller verloren gehen, und die tieferen demselben länger erhalten bleiben. Dabei bleibt dahingestellt, ob vielleicht auch ein Unterschied in der Stärke der Reflexion durch die Kaut-

schuckwände für Tonschwingungen verschiedener Höhe Statt finde.

In ähnlicher Weise erklärt Helmholtz ¹⁾ den weicheren Klang der Holzpfifen im Verhältniß zu den Metallpfifen, »indem die Wände der ersteren nicht so gut der Erschütterung durch die Schallwellen widerstehen, wobei die höheren Tonschwingungen leichter durch Reibung vernichtet zu werden scheinen.«

Es sind damit die Erscheinungen bei der Leitung des Schalles durch die Luft in Kautschuckröhren auf die Erscheinungen der Leitung des Schalles durch das feste Kautschuck zurückgeführt, und es handelt sich nunmehr um die Erklärung der ungleichen Schwächung von Tönen verschiedener Höhe bei der Leitung durch feste Körper.

2. Theil.

Wenn Schwingungen einzig und allein durch *elastische Kräfte* unterhalten werden, so ist mit einer Verkleinerung der Schwingungsdauer in einem und demselben Körper stets eine Verkleinerung der Wellenlänge (schwingenden Abtheilung) und damit eine Vergrößerung der mittleren molekularen Verschiebung bei gleicher Amplitude in den Schwingungsmaximis, untrennbar verbunden. Es war die Frage, ob in der Kleinheit der Schwingungsdauer, oder in der Kleinheit der Wellenlänge, oder in beiden Umständen die Ursache der stärkeren Dämpfung der höheren Töne gelegen war. Um diese beiden Momente zu sondern, hat der Verfasser *magnetische Kräfte* mit den elastischen *combinirt* und ist überdies zu passend verlangsamten Torsionsschwingungen übergegangen, welche scharfen Messungen zugänglich sind. Denkt man sich an einem Faden einen Magneten aufgehängt, so kann man einzig durch Veränderung der Richtkraft des Magneten mittels eines passend gelegten anderen Magneten die Oscillationsdauer der Torsionsschwingungen ändern, deren diess System fähig ist. Andererseits kann man den Faden verkürzen und die dadurch entstandene Aenderung der

1) Lehre von den Tonempfindungen, S. 153.

Schwingungsdauer des Systems durch passende Verschiebung des äusseren Magneten compensiren.

Diese Idee ward mit einer Art Drehwaage ausgeführt. Um die Länge der Fäden ändern zu können, wurden dieselben am oberen Ende an einer Stange befestigt, die in der Röhre vertikal verschiebbar war; das untere Ende trug einen Wagebalken, welcher zur Aufnahme des Magneten die Form einer Rinne hatte und ausserdem mit einem versilberten vertikalen Glasspiegel versehen war. Der Wagebalken war aus Holz, 16^{mm} breit, 9^{mm},5 hoch und 64^{mm} lang; er wog 18^{gr},2. Der Magnet war 77^{mm} lang und wog 3^{gr}. Das Trägheitsmoment des Ganzen ist nicht ermittelt worden. Dieses gegen Erschütterungen möglichst geschützte System konnte durch äussere magnetische Einflüsse zu Torsionsschwingungen angeregt werden. Ein in das Gefäß der Wage eingesetztes, planparalleles Glas erlaubte die Beobachtung der Ausschläge durch Skale und Fernrohr. Die Entfernung des Spiegels von der Skale betrug 1940^{mm}.

Es wurde bei den Versuchen stets dafür gesorgt, daß in der Gleichgewichtslage des Systems der Faden ohne Torsion war. Wenn dieses bewirkt und der Wagebalken zur Ruhe gekommen war, ward derselbe durch einen angehöhten Magneten abgelenkt und die Ausschläge notirt. Die durch den äusseren Magneten regulirte Schwingungsdauer ward mit Hülfe einer Secundenuhr ermittelt. Die Gröfse der Amplitüden und die Entfernung des äusseren Magneten hielten sich stets in solchen Gränzen, daß der Isochronismus gröfserer und kleinerer Schwingungen nicht gestört ward. — Es wurden Kautschuckfäden und dünne Seiden-, Glas- und Metallfäden untersucht.

Auf diese Weise hat sich zunächst ergeben, daß innerhalb der Elongationen von 6° und 2° aus der Gleichgewichtslage, auf welche Gränzen die Beobachtungen beschränkt wurden, die Reihe der Ausschläge sich sehr genau durch eine geometrische Reihe darstellen läfst, ein Gesetz der Abnahme, welches schon Gauss und Weber für dünne Metall- und Seidenfäden gefunden haben.

Zum Beleg dafür diene folgender Versuch.

Kautschuckfaden 325^{mm} lang. Schwingungsdauer $\tau = 8'',35$.

$6\lambda = 0,081\ 4021$.

Beobachtet		Berechnet	Diff. in Skth.	Diff. in Bogensek.
Skalenth.	Corrig. Skalth.			
460	451,7			
379	374,3	374,5	^{mm} +0,2	+10,4
313	310,3	310,5	+0,2	10,4
258	256,4	257,4	+1	52
214	213,2	213,4	+0,2	10,4
177	176,5	176,9	+0,4	20,8
146	115,8	146,7	+0,9	46,8

Die beobachteten Zahlen sind nach dem Tangentengesetz corrigirt (Rubrik corrigirte Skalenth.). Das n fache logarithmische Decrement $n\lambda$ ward aus einer Anzahl m beobachteter Ausschläge berechnet, welche um die Zeit $n\tau$ (wo τ die Dauer einer ganzen Schwingung bedeutet) von einander abstanden und zwar nach einer von O. E. Meyer zu ähnlichem Zweck benutzten Formel

$$n\lambda = \frac{2}{m \cdot m + 1} \cdot \sum_{p=1}^{p=m} \log \frac{a_0}{a_p}$$

wo $a_0, a_1 \dots a_m$ die beobachteten Ausschläge bedeuten. Mit dem so erhaltenen Werth von $n\lambda$ ward eine Anzahl anderer, gleichfalls um die Zeit $n\tau$ von einander abstehender Ausschläge berechnet. Man sieht, daß die Differenzen der beobachteten und berechneten Werthe sich durchweg innerhalb der Gränzen des möglichen Beobachtungsfehlers halten, welcher, 1 Skalenthail entsprechend, bei den kleinsten Elongationen $\frac{1}{138}$, bei den größten $\frac{1}{416}$ der ganzen Elongation betrug.

Danach wird die Bewegung des Systems dargestellt durch die Formel:

$$x = A \cdot e^{-\lambda t} \cdot \cos n t,$$

wo

- x die Elongation aus der Gleichgewichtslage in Winkelgraden,
- A die Elongation zur Zeit $t = 0$,
- n die Schwingungszahl in der Zeit 2π ,
- ε eine Gröfse bedeutet, welche für jeden Versuch eine Constante ist.

In dieser Formel ist die Gröfse ε umgekehrt proportional der Zeit, innerhalb welcher die Amplitude von a auf $\frac{1}{n}a$ reducirt wird, also *Maafs der Dämpfung*. Es setzt ferner jenes Gesetz, wie bekannt, eine dämpfende Kraft voraus, proportional und entgegengesetzt der Geschwindigkeit; *Maafs der dämpfenden Kraft* bezogen auf die Einheit der Geschwindigkeit ist das Product $\varepsilon \cdot M$, wo M das Trägheitsmoment bedeutet. Da nun bei den Versuchen nur die Länge der Fäden geändert ward, der Wagebalken aber nebst Zubehör immer derselbe blieb, so blieb auch das Trägheitsmoment bei allen Versuchen merklich constant. Es kann danach die Gröfse ε sowohl als *Maafs der Dämpfung*, wie als *Maafs der dämpfenden Kraft* betrachtet werden.

Man könnte die relative Gröfse der dämpfenden Kraft, auf deren Ermittlung die Versuche hinzielen, herleiten, indem man unmittelbar die Zeit beobachtet, innerhalb deren die Amplitude von a auf $\frac{1}{n}a$ reducirt wird. Sicherer findet man jene Gröfse aus dem logarithmischen Decrement, nämlich durch Division desselben durch die Schwingungsdauer. In dieser Weise hat der Verfasser die Bestimmung der Gröfse ε ausgeführt.

Es war das erste Ziel des Verfassers, die Abhängigkeit der Dämpfung von der Schwingungsdauer ¹⁾ aufzufinden, und wurden zu diesem Zweck zuerst Beobachtungen im luftgefüllten Raume angestellt.

Die folgenden Tabellen enthalten einen Theil der ermittelten Zahlen. L bedeutet die Länge der Fäden.

1) Aus Versuchen von W. Thomson (*Phil. Mag.* 1865, IV. series) über die Viscösität von Metalldräthen lassen sich keine Schlüsse ziehen zur Beantwortung der hier behandelten Frage.

Kautschuckfäden $L=328^{\text{mm}}$		$L=164^{\text{mm}}$		$L=82^{\text{mm}}$	
τ	ε	τ	ε	τ	ε
13,63	0,001 76	12,26	0,002 86		
8,72	0,001 49	8,3	0,002 38	7,6	0,003 26
5,13	0,001 27	5,17	0,001 88	5,23	0,002 88
2,87	0,001 28	2,7	0,001 57	2,65	0,002 11

Glasfäden $L=330^{\text{mm}}$		Seidenfäden $L=330^{\text{mm}}$		Kupferfäden ¹⁾ $L=320^{\text{mm}}$	
τ	ε	τ	ε	τ	ε
7,90	0,000 78	7,65	0,000 69	7,17	0,000 83
4,6	0,000 86	4,97	0,000 79	4	0,000 90

Bei näherer Betrachtung dieser Zahlen (welche im Allgemeinen in der fünften Decimalstelle um vier Einheiten unsicher sind) zeigt sich: Für Kautschuckfäden nimmt im Allgemeinen die Dämpfung mit wachsender Schwingungsdauer bedeutend zu.

Nur für den längsten untersuchten Kautschuckfaden (von 328^{mm}) tritt für kleine Werthe der Schwingungsdauer keine Zunahme mehr ein, sondern sogar eine kleine Abnahme.

Wie dieser längste Kautschuckfaden sich für kleine Werthe der Schwingungsdauer verhält, so verhalten sich alle übrigen untersuchten Fäden (feine Seiden-, Glas-, Metallfäden) für alle untersuchten Werthe der Schwingungsdauer, nämlich bei allen zeigt sich eine Abnahme der Dämpfung mit wachsender Schwingungsdauer.

Diese Complication der Erscheinungen konnte davon herrühren, daß die beobachtete Gröfse ε eine zusammengesetzte war. Die dämpfenden Kräfte, welchen das schwingende System unterliegt, sind nämlich theilweise außerhalb desselben, im Luftwiderstand, theilweise innerhalb desselben, im Faden gelegen. Es ist also die Gröfse ε die Summe

1) Die Durchmesser der angewandten Metallfäden betrugen kaum $\frac{1}{10}^{\text{mm}}$ die der Kautschuckfäden etwas über 1^{mm} .

zweier Größen, deren eine dem Luftwiderstand, deren andere, welche wir suchen, dem Faden zufällt. Es schienen nun die erhaltenen Resultate darauf hinzudeuten, daß die beiden Theile, aus denen die Dämpfung zusammengesetzt war, sich im entgegengesetzten Sinne mit der Schwingungsdauer änderten. Diese Vermuthung bestätigte sich, als der Verfasser die Versuche im luftleeren Raume anstellte.

Es wurde dazu der Drehwage folgende Gestalt gegeben (s. Fig. 5 Taf. I).

Die Röhre trug oben eine ringförmige Messingplatte; die obere Deckplatte war ebenfalls aus Messing, und beide Platten waren auf einander abgeschliffen. Die Deckplatte war durchbohrt und trug eine Stopfbüchse, in welcher eine 9^{mm} dicke Stange aus Messing vertical verschiebbar war. An dem untern Ende dieser Stange befand sich die Vorrichtung zur Befestigung des oberen Fadenendes. Das Gefäß der Wage war ein cylindrisches Glasgefäß (220^{mm} hoch; lichter Durchmesser 130^{mm}) mit abgeschliffenem Rand; der Deckel desselben eine auf diesem Rand abgeschliffene Messingplatte ¹⁾. Von derselben führte ein T-förmiges Rohr einerseits zur Luftpumpe, anderseits zu einem Manometer; durch einen Metallhahn konnte der Apparat mit dem Manometer von der Luftpumpe abgeschlossen werden. Zur Beobachtung der Schwingungen war in das Glasgefäß nahe dem unteren Boden eine planparallele Glasplatte eingesetzt. Der Luftdruck konnte in diesem Apparat auf $\frac{1}{3}$ erniedrigt werden und änderte sich nicht merklich während eines Versuchs.

Mit diesem Apparat hat sich ergeben, daß im luftverdünnten Raum für alle Fäden die Dämpfung mit der Schwingungsdauer zunimmt. So ward beispielsweise erhalten ²⁾:

- 1) Der Magnet befand sich in den Versuchen 150^{mm} unter der Messingplatte. Dieselbe hatte unter diesen Umständen keinen Einfluß auf das logarithmische Decrement der Schwingungen; denn dieses änderte sich nicht, wenn man unter den Boden des Gefäßes Kupferplatten schob, die nur 70^{mm} von dem Magneten entfernt waren. (Das Gefäß ist in der Figur durch ein Versehen viel zu flach gezeichnet, so daß der Magnet der Messingplatte zu nahe gerückt ist.)
- 2) Bei diesen Versuchen ward ein etwas schwererer Magnetstab angewandt, als bei den übrigen.

Kautschuckfaden $L=320\text{mm}$		Luftdruck $=\frac{1}{2}''$ Glasfaden		Metallfaden	
τ	ε	τ	ε	τ	ε
9",8	0,001 32	7",58	0,00051	8",18	0,000 38
4 ,65	0,000 81	4 ,36	0,000 38	4 ,98	0,000 32.

Es ist daraus zu schliessen, dafs die Dämpfung durch den inneren Widerstand mit der Schwingungsdauer zunimmt. d. h. dafs durch denselben *bei gleicher Fadenlänge die langsameren Schwingungen stärker gedämpft werden, als die rascheren* ¹⁾. In Bezug auf dieses Ergebnifs erinnert der Verfasser an die Ansicht, welche W. Weber ²⁾ über diejenige Ursache der Abnahme der Schwingungsamplituden fester Körper aufgestellt hat, die in der Natur der festen Körper selbst begründet ist. W. Weber zeigt, dafs das von ihm entdeckte Phänomen der elastischen Nachwirkung eine Verminderung der Schwingungsamplituden herbeiführen müsse. Es ist nun a priori wahrscheinlich, dafs die Nachwirkung einen um so stärkeren Effect äufsern müsse, je langsamer die Schwingungen geschehen; was mit des Verfassers Versuchen, nach welchen langsamere Torsionsschwingungen eines Fadens durch den inneren Widerstand stärker gedämpft werden, als raschere, im Einklang ist.

Nimmt man an, dafs bei den Dimensionen des angewandten Apparates der Luftwiderstand durch die Evacuierung ziemlich vollständig eliminirt wird, so kann man aus zwei correspondirenden Beobachtungen im luft erfüllten und luftverdünnten Raum die Dämpfung durch den Luftwiderstand angenähert herleiten. In der folgenden Tabelle bedeutet $\alpha + \gamma$ die im luft erfüllten Raum, γ die im luftleeren Raum beobachtete Dämpfung. Die mit α bezeichnete Columne enthält die Differenzen entsprechender Zahlen der beiden vorhergehenden Columnen.

1) Die angewandte Methode, den Luftwiderstand zu eliminiren, ist zwar nach O. E. Meyer (Pogg. Ann. Bd. 128, S. 576 ff.) nicht streng, genügt aber, um den Sinn der Aenderung der gesuchten Gröfse mit der Schwingungsdauer nachzuweisen.

2) Pogg. Ann. Bd. 34.

τ	Metallfaden.		
	$\alpha + \gamma$	γ	α
8",7	0,00092	0,00061	0,00031
5,9	0,00096	0,00054	0,00043
4,9	0,00098	0,00052	0,00046
3,7	0,00103	0,00050	0,00054.

Es nimmt danach die Dämpfung durch den Luftwiderstand mit wachsender Schwingungsdauer ab. Diefs ist in Uebereinstimmung mit den theoretischen Ergebnissen von Stokes ¹⁾, nach welchen in der That durch die innere Luftreibung schnellere Schwingungen fester Körper in der Luft stärker gedämpft werden, als langsamere; und bei so langsamen Schwingungen, wie sie in den beschriebenen Versuchen angewandt wurden, ist die innere Luftreibung die einzige Ursache des Luftwiderstandes.

Es ändern sich folglich die Dämpfung durch den Luftwiderstand und die Dämpfung durch den inneren Widerstand im entgegengesetzten Sinne mit der Schwingungsdauer und es erklären sich sonach die im luftgefüllten Raum erhaltenen Resultate dadurch, dafs bei den dünnen Metall-, Glas- und Seidenfäden die Aenderung der Dämpfung durch den Luftwiderstand die Aenderung der Dämpfung durch den inneren Widerstand überwog, während bei den stärker dämpfenden, dickeren Kautschuckfäden der umgekehrte Fall eintrat.

Es ist im Vorigen nur von der Abhängigkeit der von dem inneren Widerstand herrührenden Dämpfung von der Schwingungsdauer (bei constanter Fadenlänge) die Rede gewesen. Was die Abhängigkeit dieser Dämpfung von der Fadenlänge (bei constanter Schwingungsdauer) betrifft, so hat sich ergeben, dafs die Dämpfung mit abnehmender Länge der Fäden zunimmt; d. h. dafs bei gleicher Schwingungsdauer kürzere Fäden eine stärkere Dämpfung hervorbringen, als längere. So ward beispielsweise erhalten für Kautschuckfäden:

1) *Transact. of the Cambridge Philos. Society* t IX, part. II.

Luftverdünnter Baum

$\tau = 5'',9$		$\tau = 4''$	
L	ε	L	ε
<small>mm</small>		<small>mm</small>	
310	0,000 86	310	0,000 71
160	0,00 199	160	0,00 154
85	0,00 295	85	0,00 214

Wenn man die Schwingungsversuche auf die Schallleitungsversuche anwenden will, so muß man die Annahme machen: daß die von dem innern Widerstand herrührende Dämpfung bei den tönenden Schwingungen fester Körper in demselben Sinne von der Schwingungsdauer und der GröÙe der schwingenden Abtheilungen abhängt, wie es sich für die langsamen Torsionsschwingungen herausgestellt hat.

Geht man von dieser Annahme aus, so kann die Ursache davon, daß die höheren Töne bei der Fortleitung durch feste Conductoren stärker gedämpft werden, als die tieferen, nicht darin liegen, daß bei den höheren Tönen die Schwingungen rascher geschehen; denn es werden nach den Schwingungsversuchen gerade die langsameren Schwingungen bei gleicher Wellenlänge durch den inneren Widerstand stärker gedämpft, als die rascheren. Die Ursache davon kann vielmehr nur darin liegen, daß bei den höheren Tönen kleinere schwingende Abtheilungen (Wellenlängen) gebildet werden; nach den Schwingungsversuchen nämlich wird in kürzeren Wellen (bei gleicher Schwingungsdauer) eine gröÙere dämpfende Kraft entwickelt, als in längeren ¹⁾.

Wie bei einem und demselben Körper höhere Töne kleineren Wellenlängen entsprechen, so entspricht bei zwei verschiedenen Körpern die kleinere Schallgeschwindigkeit bei gleicher Tonhöhe kleineren Wellenlängen. Es muß danach von zwei verschiedenen Körpern bei gleichem specifischen inneren Widerstand und unter sonst gleichen Um-

1) Es kommt dazu, daß die zu bewegendende Masse einer kleinern schwingenden Abtheilung kleiner ist, als die einer gröÙeren, so daß aus doppeltem Grunde das Verhältniß der *dämpfenden Kraft zu der bewegten Masse*, von welcher die *Dämpfung* abhängt, für die kürzeren Wellen einen gröÙeren Werth hat, als für die längeren.

ständen die Dämpfung gleich hoher Töne gröfser seyn für den Körper mit der kleineren Schallgeschwindigkeit.

Bei den Schwingungsversuchen haben alle angewandten Fäden qualitativ gleiches Verhalten in Bezug auf die Dämpfung gezeigt; bei den Schallleitungsversuchen hat sich ein Unterschied in dem Verhalten der verschiedenen angewandten Leitungen in so weit ergeben, als nur bei einer beschränkten Anzahl (Kautschuckstab, schwach gespanntes Hanfseil, dünner Bleidraht) ein Unterschied in der Dämpfung für die höheren und tieferen Töne hervortrat. Dieses Verhalten könnte davon herrühren, dafs der specifische innere Widerstand für die Körper, aus denen die andern Leitungen gebildet waren, einen zu kleinen Werth hatte. Es ist aber wahrscheinlich nur darin begründet, dafs die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wellen bei den anderen Leitungen eine zu grofse war. Es mufs nämlich mit wachsender Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wellen in den Schallleitungsversuchen der Unterschied in der Intensität des Schalles an den beiden Enden des Leiters aus doppeltem Grunde abnehmen: erstens nach dem oben Gesagten deshalb, weil mit der Fortpflanzungsgeschwindigkeit die Wellenlängen wachsen, zweitens deshalb, weil mit wachsender Fortpflanzungsgeschwindigkeit bei gleicher Länge der Schall leitenden Strecke die Wirkungszeit der dämpfenden Einflüsse abnimmt.

III. *Ueber die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles in Röhren; von Dr. Adolf Seebeck.*

Kundt hat bei seinen Versuchen über die Schallgeschwindigkeit der Gase gefunden, dafs dieselbe in Röhren eine wesentliche Veränderung erleidet und seine Versuche bereits in dem Bericht der Königlichen Akademie der Wissenschaften zu Berlin vom 19. December 1867 mitgetheilt.

Schon ein Jahr früher hatte ich — allerdings zu einem andern Zweck — auf Veranlassung des Hrn. Prof. Quincke Versuche angestellt, welche qualitativ dasselbe Resultat ga-