© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Über

Phonometrie,

nebst Beschreibung

eines

zur Messung der Intensität des Schalles erfundenen Instrumentes.

vom

Conservator Dr. Schafhäutl,

ord. Mitgliede der k. Akademie der Wissenschaften.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Über

Phonometrie,

nebst Beschreibung eines zur

Messung der Intensität des Schalles

erfundenen Instrumentes,

vom

Conservator Dr. Schafhäutl.

Die Wirkungen von unwägbaren Agentien, welche in allen oder auch nur einigen Körpern sichtbare und darum in der Regel auch messbare Veränderungen hervorbringen, lassen sich, wenn auch nicht absolut, doch immer relativ mit hinreichender Genauigkeit bestimmen.

So hat die Eigenschaft der Wärme, Körper in allen drei Formen ihrer Aggregatzustände auszudehnen, zur Construktion unserer Thermometer oder Thermoskope Veranlassung gegeben.

Schwieriger wird die Aufgabe schon beim Lichte. Das Licht wirkt auf manche Körper ein, indem es zugleich Wärme entwickelt. Es wirkt auf organische Gebilde und einige chemische Verbindungen. Allein alle diese Wirkungen sind in ihren Erscheinungen so unbestimmt, so langsam eintretend, von so mancherlei mitwirkenden Nebenursachen begleitet, dass man bei der messenden Vergleichung dieser Wirkung höchst unzuverlässige Resultate erhält, aus welchen sich nur indirekt und auf

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

mancherlei Umwegen auf die eigentliche Grösse der Wirkung schliessen lässt, welche der Intensität des Lichtes allein zuzuschreiben ist.

Noch schlimmer ist es mit dem Schalle. Seine Wirkungen beschränken sich im eigentlichsten Sinne bloss auf ein Sinnesorgan — das Ohr. Dass bei heftigem Schalle feste Körper zittern, stark musikalische Töne andere Körper gleichfalls in Vibration versetzen, kann hier gar nicht in Betracht gezogen werden; denn diese Miterzitterungen finden nicht immer, sondern nur unter gewissen Umständen statt, und lassen sich, wenn sie auch durch den Schall hervorgerufen wurden, nie nur mit einiger Sicherheit messen, da die Ortsveränderung der den Schall erzeugenden schwingenden Molecule innerhalb so äusserst kleiner Grenzen vorgeht, und die Schwingungen selbst so ausserordentlich schnell aufeinanderfolgen, dass sie auch durch unsere feinsten Instrumente nur hie und da oder gar nicht mehr wahrnehmbar oder messbar gemacht werden können, obwohl kein Zweifel ist, dass jeder Schall in jedem Körper verhältnissmässige Molecularbewegungen hervorrufen muss. Es fehlen uns jedoch bis jetzt noch die Mittel, diese Molecularbewegungen auch nur bemerkbar zu machen. Vielleicht dass es gelingt, durch Hilfe des Mikroskops und des polarisirten Lichtes diese Bewegungen nicht allein bemerkbar, sondern auch messbar zu machen.

Auch unter diesen Umständen würde es uns bloss möglich seyn, die relative Stärke der Intensität irgend einer Schallgrösse zu bestimmen, indem wir ihre Grösse mit der einer andern Schallquantität zu vergleichen suchen. Dazu können wir jedoch auch gelangen, wenn wir uns des Organs selbst, das zur Perception des Schalles geschaffen ist, des Gehörwerkzeuges bedienen, und die relative Quantität der Wirkung zu bestimmen suchen, mittelst welcher zwei Schallgrössen unser Ohr afficiren.

Der Schall selbst ist an und für sich nichts weniger als eine so einfache Wellenbewegung, wie man sich gewöhnlich vorzustellen pflegt;

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

beinahe jeder Schall ist ein Complex oder eine Summe mehrerer oft sehr eigenthümlicher Vibrationsweisen, und ist es um so mehr, wenn diese Vibrationsweisen dauernd durch bestimmte Zeitgrössen als musikalischer Ton erscheinen, wie ich schon an einem andern Orte dargethan.

Das Ohr hat vor dem Auge noch den Vorzug, dass es mehrere zugleich existirende Schallcomplexgrössen wohl von einander unterscheiden kann. Aber eben dieser Vorzug ist es, der die messende Vergleichung zweier Schallgrössen mit bedeutenden Schwierigkeiten umgibt.

Wollen wir von Messung des Schalles sprechen, so können wir hier nur die Messung der Intensität dieser Schallcomplexgrössen im Auge haben, d. h., die Messung der Kraft, mit welcher die vibrirenden Molecule das Tympanum des Gehörwerkzeuges berühren. Während die Tonhöhe von der Zahl der Vibrationen der Molecule eines elastischen Körpers innerhalb einer bestimmten Zeit abhängt, welche leichter gemessen werden kann, hängt die Intensität des Schalles von der Elongationsweite der oscillirenden Molecule ab, und nur die Stärke des Stosses oder vielmehr das Schwingungsmoment, durch die Elongation des oscillirenden Molecules verursacht, ist es, welche wir als Schallintensität zu messen unternehmen können.

Es bieten sich uns desshalb bei Ausführung dieser messenden Vergleichung vorzüglich zwei Anhaltspunkte dar, die wir nun näher betrachten wollen.

Der erste Anhaltspunkt wäre:

Wenn eine Schallgrösse in ihrer vollen Entwicklung dauernd existirt, während die zweite Schallgrösse sich gerade dem Ohre bemerkbar macht.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Der zweite Umstand wäre:

Wenn diese eben berührte zweite Schallgrösse so an Intensität zugenommen hat, dass sie die erste dem Ohre unvernehmbar macht.

Das arithmetische Mittel aus der Summe beider Momente bestimmte dann die Gränze, wo beide verglichenen Schallgrössen an Intensität einander gleich sind.

Um diese zwei angegebenen Verhältnisse auf irgend eine Weise als Grundlage zu Vergleichungen und Messungen brauchen zu können, müssen wir im Stande seyn, eine Schallgrösse nicht nur willkürlich unter immer gleichen Umständen erzeugen, sondern sie auch innerhalb gewisser Grenzen und nach einem gewissen Gesetze quantitativ verändern zu können.

Die Erzeugung einer solchen Schallgrösse unter obigen Umständen ist mit nicht unbedeutenden praktischen Schwierigkeiten verknüpft.

Wir können musikalische Töne innerhalb gewisser Grenzen von verschiedener Stärke erzeugen; indessen diese verschiedenen Grade von Stärke nach einem bestimmten Gesetze hervorzurufen, das uns also auch vergönnt, diese verschiedenen Grade der Stärke in verhältnissmässiger Beziehung zu einander in Mass und Zahl auszudrücken, das bietet grosse Schwierigkeiten dar.

Unter den musikalischen Instrumenten sind es die Bogeninstrumente allein, welche, und zwar innerhalb sehr weiter Grenzen, die Schallquantität ihrer Töne in voller Gewalt haben.

Diese Grenzen messend zu bestimmen, dazu gehört, dass der Bogen

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

von einer Maschine geführt werde; aber eben dadurch hört alle Sicherheit in Hinsicht auf eine messende Vergleichung einzelner Tonquantitäten wieder auf; denn die zu erzeugende Tonquantität hängt nicht allein von der Grösse der Bewegung oder der Stärke der angewandten Kraft, sondern noch überdiess von der Beschaffenheit der Oberfläche der Haare des Bogens ab, von der Temperatur und dem hygrometrischen Zustande der Luft; lauter Grössen, welche, wenn sie sollten mit in Rechnung gezogen werden, die Erlangung eines sichern Resultates beinahe zur Unmöglichkeit steigern.

Eine bessere Aussicht scheint sich uns bei Anwendung von Windinstrumenten zu eröffnen; allein auch von ihrer Anwendung ist bei näherer Untersuchung sehr wenig zu erwarten.

Labialpfeifen vertragen überhaupt gar keine Veränderung in der Spannung des Windes, durch welche allein veränderte Schallquantitäten erzeugt werden könnten, ohne ihre Tonhöhe zu verändern oder gar in einen Aliquottheil ihrer vibrirenden Luftsäule überzuschlagen.

Zungenwerke mit durchschlagenden Zungen sind daher die einzigen, welche innerhalb gewisser Grenzen mit veränderter Spannung des Windes auch ihre Tonquantität verändern, ohne dass dabei die Tonhöhe selbst eine andere wird.

Aber auch diese Unveränderlichkeit der Tonhöhe liegt erstens immer zwischen sehr engen Grenzen; dazu wird noch zweitens die Hervorrufung des Tones selbst, namentlich bei seinem Entstehen von Umständen abhängig, welche die Verlässigkeit einer feineren Messung wieder beinahe ganz vernichten.

Die Spannung der Luft in dem Apparate, welcher zum Anblasen

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

dieser Zungenpfeifen dient, lässt sich zwar mittelst des Manometers hinlänglich genau messen; dagegen setzen sich der Handhabung des Apparates zur Erzielung bestimmter durch Messung vergleichbarer Wirkungen so grosse Hindernisse entgegen, dass auch er zur Erzielung des oben angegebenen Effektes nicht zu gebrauchen ist; denn abgesehen davon, dass die erste Ansprache der Zungenpfeife nicht immer im genauen Verhältnisse mit der Spannung des die Zunge in Schwingung versetzenden Luftstromes steht, ist zur grössern oder geringern, das Schallquantum bedingenden Compression der Luft eine Kraft vonnöthen, die nicht allein genau messbar, sondern auch der zartesten Modificationen fähig seyn muss. Gewichte oder Federkräfte sind die einzigen Mittel, welche wir zu einer beliebigen Compression der Luft in den Gebläsemaschinen anwenden können.

Allein die Wirkung dieser Art von Potenzen auf das Gebläse innerhalb sehr enger Grenzen beliebig, das heisst nach Mass und Zahl, verändern zu können, dazu reichen unsere mechanischen Hülfsmittel nicht mehr aus.

Benützbar wäre also blos das Princip der krustischen Instrumente.

Der Ton wird bei dieser Art von Instrumenten nur durch Schlag oder Stoss hervorgebracht, und mit der Stärke dieses Schlages oder Stosses steht auch die Tonquantität in einem geraden Verhältnisse.

Die Regulirung der Stärke dieses Schlages in seinen feinsten Nuancen steht vollkommen in unserer Macht, wenn wir uns zur Erzeugung dieses Stosses jener bekannten stets gleichförmig wirkenden Naturkraft bedienen, welche in jedem sich selbst überlassenen freien Körper eine gleichförmig beschleunigte Bewegung erzeugt, nämlich der Schwerkraft.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Von der Zeit, während welcher wir diese Kraft auf irgend einen festen freien Körper, dessen wir uns zur Hervorbringung eines Stosses bedienen wollen, wirken lassen, hängt natürlich die Gewalt des Stosses und also auch das Schallquantum ab, so dass wir in dieser Weise das einfachste und sicherste Mittel besitzen, Ton- und Schallgrössen in jeder beliebigen messbaren und vergleichbaren Stärke zu erzeugen, von dem Momente an, in welchem der Schall gerade anfängt dem Gehörorgane vernehmlich zu werden, bis zu dem Punkte, wo er alle andern Schallgrössen deckt.

Um ein solches Instrument nun nach dem oben angegebenen Prinzipe für akustische Zwecke zu construiren, ist erstens nöthig: ein leicht in Schwingung zu versetzender Körper, auf welchen man einfach irgend einen andern gerundeten festen Körper herabfallen lässt. Natürlich hängt bei gleichbleibender Masse des fallenden Körpers die Schallgrösse von der Höhe des Falles allein ab, und wir brauchen desshalb bloss die Höhe genau zu messen, welche der auf die schallende Unterlage herabfallende Körper durchlaufen hat, so haben wir in dieser Fallhöhe das genaueste Mass zur Vergleichung nicht nur all der Schallgrössen, welche durch den fallenden Körper auf seiner Unterlage erzeugt werden, miteinander, sondern auch zur Vergleichung dieser Schallgrössen, die wir in jedem Augenblicke mit derselben Genauigkeit hervorrufen können, mit andern Schallgrössen, was eigentlich unsere Hauptaufgabe ist und wodurch unser Instrument zum Phonometer wird.

Da es sich hier um Vergleichung aller möglichen Arten von Schall handelt, so ist die Hervorrufung eines eigentlich ausgesprochenen reinen musikalischen Tones nicht wünschenswerth, und ich habe in dieser Beziehung gefunden, dass eine rectanguläre Platte aus gewöhnlichem Spiegelglase, an ihren Schwingungsknotenlinien durch Schrauben festgehalten, wohl das beste Mittel seyn dürfte, um Schallgrössen zu er-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

zeugen, welche mit jeder andern Art von Schall und Ton verglichen werden können.

In der beiliegenden Zeichnung Tf. XVII. ist die rectanguläre Platte aus Spiegelglas mit lit. a. von der Seite, auf Taf. XVIII. fig. 2 a a a a in der horizontalen Projection zu sehen, festgehalten und verstellbar durch die 8 Schrauben b, welche sich in den Rahmen c c bewegen.

Die zwei Rahmen oder Plattenhalter cc sind mittelst ihrer Hülsen d auf dem hölzernen Querbalken e verschiebbar und mittelst der Stellschrauben f in einer bestimmten Stellung fixirbar. Um diesen Querbalken, welcher die Platte trägt, horizontal zu erhalten und ihn in beliebiger Höhe feststellen zu können, ist unten in seiner Mitte rechtwinklig ein cylindrisches Stäbchen eingelassen, welches in der vertikalen Oeffnung des ganz freien auch zur beliebigen Wegnahme bestimmten Fusses h sich leicht auf und ab bewegen lässt, und da gleichfalls durch eine Stellschraube in bestimmter Höhe festgehalten wird.

Um nun auf diese Glasplatte einen Körper herabfallen lassen und zugleich seine Fallhöhe messen zu können, habe ich folgende Vorrichtung angebracht.

An der vertikalen auf einem Säulchen befestigten Zahnstange k ist eine dicht anliegende Hülse l auf und ab verschiebbar, welche mittelst eines in die Zähne der vertikalen Stange eingreifenden Getriebes und des Kopfes m in jede Höhe der Zahnstange gebracht und dort erhalten werden kann. Um die Erhöhung der Hülse über der horizontalen Glasplatte, also ihren veränderlichen Abstand von der Glasplatte messen zu können, ist die breite Seite der Zahnstange mit einem Massstabe in Theilen des Meters versehen, und durch einen Nonius ist man auch im Stande, kleinere Unterabtheilungen des Meters angeben zu können.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Die Hülse l trägt einen Arm o, an dessen freiem Ende sich in Schlitz und Schlitten eine vertikale Pincette p mittelst zweier Schräubchen feststellen lässt, welche bestimmt ist, den Fallkörper zu fassen und so lange festzuhalten, bis man die Pincette mittelst der beiden Drücker q Taf. XVIII. fig. 2 öffnet, worauf der Fallkörper herab auf den Mittelpunkt der darunter gestellten zuerst beschriebenen Schalltafel fällt.

Die Stiele der beiden Druckplättchen q müssen sich in Oeffnungen der Pincette bewegen, die hinreichend gross sind, um bei der Oeffnung der Pincette Platz für die Bewegung der beiden Stiele Fig. 2. q. q. zu lassen, damit sie nicht die Flügel der Pincette berühren und durch Reibung auch nur das leiseste Geräusch verursachen, das hier sehr störend seyn würde und desshalb durchaus vermieden werden muss.

Der zu erzeugende Schall wächst natürlich mit dem Momente des die Tafel berührenden Fallkörpers also mit der Fallhöhe.

Wir hätten somit das Prinzip erklärt, nach welchem unser Phonometer gebaut ist.

Um nun auch einen festen Anhaltspunkt für das Ohr zu erhalten, welches den erregten Schall vernehmen und vergleichen soll, habe ich folgende Vorrichtung getroffen:

In dem vertikalen Säulchen Tf. XVII. fig. r bewegt sich ein cylindrischer Stab s auf- und abwärts und ist in jeder beliebigen Höhe durch eine Stellschraube Tf. XVIII. fig. 2 lit. t zu befestigen (in Tf. XVII. fig. 2 ist dieser Theil in der Hälfte natürlicher Grösse gezeichnet).

Auf diesem Säulchen ist mittelst einer Messingkappe t eine V oder gabelförmige Figur aus Messingsblech befestigt, welche dazu bestimmt ist, dem äussern Ohr als Träger oder Anhaltspunkt zu dienen, wobei der

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Theil u_1 nach dem Hinterkopf gewendet ist, und u_2 den untern Theil des Ohres unter dem Ohrläppchen stützt.

Das Ohr erhält also durch diese Gabel eine feste Stelle in Hinsicht auf die Schallplatte.

Um nun die Entfernung des Mittelpunktes des Gehörganges von der Mitte der Schallplatte messen zu können, dient das aus Messingblech geschnittene Instrument Tf. XVII. fig. 3 in der Hälfte natürlicher Grösse gezeichnet, welches mit seiner rectangulären Fussplatte auf die Schallplatte gestellt mit der Spitze 1 in die Mitte der Ohröffnung passen muss. Um dieses zu bewirken, ist das Stäbchen mit der Ohrgabel in dem Säulchen höher oder niedriger zu stellen, wie wir schon erwähnt haben.

Bei meiner Maschine beträgt die horizontale Entfernung des Mittelpunktes der Glasplatte vom Mittelpunkte des Säulchens r 55^{mm}, die vertikale Höhe des Mittelpunktes der Ohröffnung vom Punkte r 74^{mm}, die geradlinige Entfernung des Mittelpunktes der Schallplatte vom Mittelpunkte der Ohröffnung wird also 91^{mm} betragen.

Erfahrung hat mich gelehrt, dass dies die besste Entfernung sey, in welcher das Ohr den leisesten Schall, der es noch zu affiziren im Stande ist, sicher vernimmt.

Als *Fallkörper* bediene ich mich je nach der Schallgrösse, welche hervorgebracht werden soll, kugelförmiger Körper von *Kork, Elfenbein* und *Blei,* deren Gewicht genau bestimmt ist.

Die Korkkügelchen sind bestimmt, die schwächsten Schallgrössen zu messen; die Elfenbeinkügelchen Schallgrössen von mittlerer Stärke; Bleikugeln messen die stärksten Schallgrössen.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Es ist jedoch immer schwer kleine Elfenbeinkügelchen von gleicher Grösse zu erhalten, und desshalb bediene ich mich meistens gewöhnlicher Bleischrote von der kleinsten Form, Vogeldunst genannt, bis zur eigentlichen Bleikugel. Um sie von gleichem Gewichte zu erhalten, lege ich ein Kügelchen auf die eine Wagschale und dann ein zweites auf die andere. Ist dieses zu schwer, so werfe ich es in ein Gefäss zur Rechten, ist es zu leicht, in ein Gefäss zur Linken; hat es das rechte Gewicht, so nimmt es ein Gefäss in der Mitte stehend auf.

Auf diese Art erhält man vor der Hand aus einer Masse von Schroten 3 Sorten, von welchen die mittelste Kügelchen von gleichem Gewichte enthält. Die zwei andern Sorten werden nun auf gleiche Weise behandelt, wie oben beschrieben und wir erhalten dann wieder 3 Sorten, von welchen die mittlere gleichfalls aus Kugeln von gleichem Gewichte besteht. Dazu kömmt noch der Vortheil, dass die Bleikugeln wegen ihres specifischen Gewichtes während des Falles durch die Luft weniger Widerstand erfahren, als Kugeln von gleicher Grösse aus Kork oder Elfenbein. Eben so springen sie wegen ihrer äusserst geringen Elastizität nicht mehr so sehr in die Höhe, beim Niederfallen einen störenden secundären Schall erregend.

Auf diese Weise ist das Instrument bloss geeignet, dauernde Schallgrössen zu messen, oder musikalische, ausgehaltene Töne.

Um Schallgrössen, welche nur einen Moment dauern, z. B. Knall, durch Schlag oder Stoss erzeugten Schall vergleichend messen zu können, ist diese Vorrichtung des Phonometers, welche gleichfalls nur einen *momentanen* Schall erzeugt, nicht zu verwenden, weil es schon schwer, ja sogar oft unmöglich ist, die zwei mit einander zu vergleichenden Schallgrössen in demselben Momente entstehen zu lassen.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Ich musste desshalb auf eine Vorrichtung denken, welche die momentane Schallgrösse, welche als Urmass dient, nach demselben Prinzipe hervorgerufen, in eine andauernde verwandelt.

Dieser Zweck wird sehr einfach dadurch erreicht, dass man statt einer einzigen Kugel, eine grössere Anzahl derselben nach einander fallen lässt; von der Zahl der Kugeln, welche nach einander fallen, hängt die Dauer der zu erzeugenden Schallgrösse ab, welche in dieser Beziehung als Massstab dienen soll.

Um nun mehrere Kugeln nacheinander und zwar in beliebigen Zeiträumen nacheinander fallen zu lassen, habe ich folgende Vorrichtung construirt:

Fig. 6 Tf. XVIII. ist eine gläserne cylindrische Röhre, welche horizontal gelegt und mit einer beliebigen Anzahl von Kugeln gefüllt wird, welche einen solchen Durchmesser besitzen, dass sie nahezu die Röhre ausfüllen, so dass sich keine Kugel über die andere hinwegschieben kann.

Lässt man nun die mit diesen Kugeln gefüllte Röhre einen kleinen Winkel mit dem Horizonte machen, so werden natürlich die Kugeln nach einander am offenen, tiefer gelegenen Ende herausfallen, und die Zeit, in welcher eine Kugel nach der andern das Rohr verlässt, wird von dem Winkel abhängen, welchen die Röhre mit dem Horizonte macht.

Um nun dieses Kugelreservoir über der Mitte der Schallplatte aufzuhängen, und seine Entfernung von der horizontalen Schallplatte so genau als die Entfernung der Spitze der Pincette von der obigen Platte messen zu können, habe ich an dem schon früher beschriebenen Arme o, welcher an seinem einen Ende die Pincette trägt, ein an dem Arme verschiebbares Metallprisma v angebracht, welches Tf. XVII. fig. 4. und Tf. XVIII. fig. 5 und 6 in vergrössertem Massstabe gezeichnet ist. Es kann

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

mittelst der Stellschraube w an dem horizontalen Arme o an jeder beliebigen Stelle desselben festgestellt werden.

Der untere freie Theil dieses Metallprisma ist in der Richtung des Armes o konisch durchbohrt Tf. XVII. fig. 4 zur Aufnahme eines um seine Achse drehbaren Zapfens, welcher an seinem einen Ende eine Zange x Tf. XVIII. fig. 5 trägt, welche mit ihrem Gebisse y die Enden der Glasröhren von beliebigen Durchmessern fasst und sicher festhält, wenn die Schraube z angezogen wird.

Der konische Piston, welcher die Zange x mit ihren an der Charniere beweglichen Armen y trägt, dreht sich in der horizontalen Hülse des Metallprisma v Tf. XVII. fig. 4 um seine Achse und erlaubt also auch das rechtwinklig auf diese Achse mit seinem einen Ende befestigte Kugelrohr Fig. 6. Tf. XVIII. unter verschiedenen Winkeln gegen den Horizont zu stellen.

Die Schraube α hält diesen Piston und die Zange mit dem Rohre in der verlangten Neigung gegen den Horizont fest, welche durch den Gradbogen v^2 Tf. XVII. fig. 4, Tf. XVIII. fig. 5 mittelst eines an der Zangenachse angebrachten Zeigers gemessen wird. Der Stahlstab α^1, welcher zugleich die Charnierachse der Zange bildet, mit dem verstellbaren Gewichte α^2 dient dazu, der mit Bleikugeln gefüllten Röhre η das Gleichgewicht zu halten.

Wird die Kugelröhre eingelegt, so muss natürlich zuvor die Pincette p entfernt werden.

Da wir also die Kugelröhre an dieselbe Stelle bringen können, welche die Pincette früher eingenommen hat, so lässt sich desshalb auch diese Röhre mittelst der Schraube m ebenso wie die Pincette in jeder beliebigen Höhe an der Zahnstange k und über der Schallplatte a feststellen.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Ist die Röhre an ihre Stelle gebracht, so haben wir nur mehr eine Vorrichtung nöthig, welche das unzeitige Herausfallen der Kugeln aus der Röhre verhindert.

Diese Vorrichtung ist auf Tf. XVII. β, Tf. XVIII. fig. 3, 5 und 6 mit den Buchstaben β γ δ ε ζ zu sehen.

Die ganze Vorrichtung besteht einfach aus einem Hebelarme δ β γ, der an der untern Seite des schon beschriebenen Messingprisma Tf. XVIII. fig. 3. v bei γ horizontal um seine Achse drehbar angebracht ist. An seinem einen Ende trägt er eine kleine vertikale Scheibe δ Tf. XVIII. fig. 5., welche mit Tuch gefüttert die Oeffnung der Kugelröhre unter jedem Neigungswinkel so verschlossen zu halten im Stande ist, dass keine Kugel herausfallen kann.

Zu diesem Zwecke wird der Arm an seinem andern Ende durch eine Feder ε Tf. XVIII. fig. 3 stets gegen die Oeffnung der Kugelröhre gedrückt.

Aus dieser Beschreibung wird von selbst klar, dass man mittelst des Fingers nur das eine Ende dieses Armes seitwärts zu drücken braucht, um die Scheibe δ so weit von der Oeffnung der Röhre zu entfernen, dass die Kugeln Raum zum Herausfallen erhalten.

Um jedoch zu verhindern, dass die Platte ε nicht zu weit von der Oeffnung der Kugelröhre entfernt werde, so dass die Kugeln mit einer Geschwindigkeit $=$ o aus der Röhre kommen und senkrecht, nicht in einer parabolischen Linie, herabfallen, ist am hintern Ende des Armes eine Stellschraube ζ Tf. XVIII. fig. 3 angebracht, welche so gestellt werden kann, dass die Platte δ beim Drucke gerade so weit von der Oeffnung der Glasröhre entfernt werden kann, als nöthig ist, um Raum zum Durchgange für eine Kugel von bestimmter Dimension zu erhalten.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Jetzt ist uns nur noch eine Vorrichtung nöthig, zu verhüten, dass die auf die Schallplatte fallenden Kugeln nicht von allen Seiten über die Schallplatte herab auf das Fussgestell laufen. Dieses zu verhindern, dient der Leitring Tf. XVIII. fig. 4 aus Messingblech mit weichem Tuche gefüttert, in der Hälfte natürlicher Grösse gezeichnet.

Da er indessen nicht unmittelbar auf die Schallplatte aufgelegt werden kann, damit er sie nicht berühre und ihre Schwingungen störe, so ist er an 3 Punkten μ an drei Stäbchen aufgehängt, welche in vertikalen Hülsen auf und ab verschiebbar sind. Die vertikalen Hülsen sind an zwei parallelen freien Stäbchen $\pi\pi$ befestigt, die von den schon früher beschriebenen zur Befestigung der Platte dienenden Schrauben b in stets gleicher Entfernung von einander gehalten werden. Tf. XVII. fig. 1 λ μ π, Tf. XVIII. fig. II. λ μ π.

Durch die Oeffnung ζ des Leitringes Tf. XVIII. fig. 4 können die Kugeln von der Schalltafel in ein mit Tuch gefüttertes Gefäss laufen, ohne irgend einen störenden Schall zu erregen.

An die Röhre η ist eine Art von messingnem, oben offenen Trichter angekittet, welcher dazu dient, die Kugeln ohne Schwierigkeit aus ihrem Gefässe in die Röhre bringen zu können.

Das ganze Instrument lässt sich durch seine 3 mit Schraubengewinden versehenen Füsse leicht horizontal stellen.

Nun zum Gebrauche des Instrumentes.

Da wir hier die zwei Elemente, welche zur Hervorbringung des Schallmasses, Gewicht und Fallhöhe, innerhalb sehr weiter Grenzen anwenden können, so dient das Instrument, die Grösse selbst der kleinsten Schallquantität zu bestimmen, welche die Gehörwerkzeuge noch zu affiziren vermag.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Bei meinen Versuchen, die Schallquantität zu bestimmen, welche meinem Ohre noch vernehmlich ist, habe ich gefunden, dass der Schall von einem 1 Milligramm schweren Korkkügelchen durch 1 Millimeter Höhe herabfallend erzeugt, für mein Ohr bei vollkommner Ruhe, also des Nachts, noch durchschnittlich vernehmbar ist. Bei 30 Versuchen dieser Art des Nachts 12 Uhr bei vollkommener Windstille habe ich den durch obiges Experiment erzeugten Schall noch mit voller Entschiedenheit 25 mal gehört, ein ähnliches Verhältniss fand auch bei einigen musikalisch gebildeten Ohren jüngerer Leute statt. Von älteren Individuen fanden sich nur wenige vor, welche diesen Schall noch zu hören vermochten, wenn sie ihr Ohr nicht geübt hatten; es gelang jedoch einigen nach mehrfacher Uebung, den obigen Schall noch mit Bestimmtheit zu vernehmen.

Ich stehe desshalb nicht an, die Schallgrösse durch den Fall eines 1 Milligramm schweren Korkkügelchens aus 1 Millimeter Höhe hervorgerufen, als akustische Dynamis anzunehmen, welche die durchschnittliche Grenze der dem gesunden menschlichen Ohre unter den Einflüssen unserer Civilisation noch vernehmbaren Schallgrössen bezeichnet, und schlage desshalb vor, *als Mass* für jede Schallgrösse, welche mit meinem Instrumente gemessen werden soll, diese akustische Dynamis das Milligrammmillimeter $M^m = \sqrt{2g}$ = dem Bewegungsmomente des fallenden Körpers anzunehmen.

Nehmen wir die Beschleunigung eines frei fallenden Körpers im luftleeren Raume im Mittel zu 9,81 Meter in der Sekunde, so würde die Zeit, welche das Kügelchen zum Durchfallen eines Millimeters gebraucht = 0,014278 einer Sekunde und die dabei erlangte Geschwindigkeit $140{,}07^{mm}$ seyn. Ist ferner die Masse oder das Gewicht unseres Fallkörpers = M = 1 Milligramm, so wird sein akustisches Moment oder die akustische Dynamis $= 140{,}07^{mm} \times 1$; also $M^m = 140{,}07^{mg}$ seyn.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Wir werden nun in den Stand gesetzt seyn, jede Schallgrösse mit dieser akustischen Dynamie zu messen, indem wir einfach angeben, wie vielen unserer akustischen Dynamien eine zu messende Schallgrösse gleichkömmt.

Bezeichnen wir also mit Φ die Schallgrösse, ausgedrückt in akustischen Dynamien, mit M das Gewicht der fallenden Kugel; die Acceleration durch den Fall in der ersten Sekunde $=$ g in Millimetern ausgedrückt, mit S den durchfallenen Raum in Millimetern, so wird die einfache Formel, welche uns die gemessene Schallgrösse in Dynamien oder Bewegungsmomenten angibt, heissen:

$$\Phi = \frac{M\sqrt{2gS}}{M^m}$$

Aus dieser Formel ergibt sich natürlich weiter von selbst:

1) Dass sich bei gleichbleibender Fallhöhe die Anzahl der Schalldynamien wie die Gewichte der Kügelchen verhält;

2) dass bei gleichbleibendem Gewichte der Kügelchen sich die Schalldynamien verhalten wie die Wurzeln aus den Fallhöhen.

Mittelst der auf den beiliegenden Tafeln gezeichneten Maschine können wir noch eine Fallhöhe von 404^{mm} erhalten.

Nehmen wir diese Fallhöhe als Extrem an und beginnen mit dem Korkkügelchen von 1 Milligramm Schwere, so erhalten wir bei obigen Fallhöhen folgende Resultate: Nämlich 1 Millimeter und 404 Millimeter als Grenzen angenommen:

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Nummern der Kugeln.	Gewicht in Milligramm.	Akustische Dynamien bei Fallhöhen. durch 1 Millimeter	durch 404 Millimeter.
1. Korkkügelchen	1	1	20,0975
2. Bleikügelchen	10	10	200,975
3. „ „	40	40	803,90
4. „ „	100	100	2009,75
5. „ „	1380	1380	27737,6
6. „ „	3775	3775	75876,5
7. „ „	6320	6320	127000,0
8. „ „	10000,0	10000,0	277376,00

Es wird also schon durch 7 Kügelchen möglich, ununterbrochen alle Schallgrössen von 1 bis zu 277376 Dynamien zu messen.

Das Instrument selbst stellt man am besten auf einen Dreifuss, dessen man sich zur Aufstellung von Theodoliten oder Messtischen bedient, um die Gabel u und u¹ gerade in die Höhe des Ohres bringen zu können.

Will man mittelst desselben eine Schallgrösse messen, so wähle man sich als vorbereitenden Versuch eine Kugel, von welcher man vermuthen kann, dass sie hinreichend schwer sey, als Mass für den zu vergleichenden Schall zu dienen.

Man lässt sie dann aus freier Hand immer höher und höher herabfallen, bis man ihren Schall neben dem zu vergleichenden vernimmt.

Hat man durch diese Versuche Grösse der Kugel und Fallhöhe annähernd ermittelt, so bedient man sich erst der Maschine, um ein genaues Mass der Fallhöhe zu erhalten.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Wir haben schon Eingangs erwähnt, dass zur Ermittlung der phonometrischen Schallgrösse, welche gerade dem zu messenden Schalle gleich ist, eigentlich zwei Versuche nothwendig seien, der eine, den wir A nennen, der die Quantität unserer phonometrischen Schallgrösse ermittelt, wenn sie gerade neben dem zu erforschenden Schall vernommen wird; der zweite Versuch wird der = B seyn, wodurch die Schallgrösse ermittelt wird, welche hinreichend ist, den zu messenden Schall unhörbar zu machen.

Wir müssen obige einfache Formel für A et B benützen. In A können wir die Pincette anwenden, für B müssen wir die Kugelröhre gebrauchen und dann natürlich aus der Summe das arithmetische Mittel ziehen, $X = \frac{A+B}{2}$, welches uns dann die Gleichheitsgrösse des verglichenen Tones angibt.

Wir können den zu messenden Schall als absolute Schallgrösse betrachten, wie sie eben auf unser Ohr einwirkt, unbekümmert um die Quelle dieses Schalles; wir können uns also die erregende Ursache unendlich nahe oder unendlich ferne denken.

Betrachten wir jedoch unsern zu messenden Schall als relative Schallgrösse, nämlich in Beziehung auf den Ort ihrer Entstehung, so müssen wir mit obiger Grösse X noch, wie es sich von selbst versteht, das Quadrat der Entfernung der Schallquelle multipliciren, um die wahre Schallgrösse zu erhalten, woraus XD^2 entsteht, wenn wir die constante Entfernung der Ohröffnung in unserm Instrumente von der Schallgrösse = 1 annehmen.

Wir müssen uns dieser Weise auch bedienen, wenn der Schall, den wir messen wollen, stärker ist, als das Maximum des Schallquantums, das wir mittelst unseres Phonometers erzeugen können.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

In diesem Falle entfernen wir uns mit unserm Instrumente so lange von der Quelle des zu messenden Schalles, bis wir im Stande sind, ihn mit unserm Phonometer zu messen.

Um die Fallkugel von der Pincette immer so gefasst zu erhalten, dass man mittelst des auf der Scala abgelesenen Masses genau die Entfernung des tiefsten untersten Theiles der Kugel von der Platte erhält, oder mit andern Worten, dass die Schallplatte gerade die tangirende Ebene der Schallkugel bildet, legt man bei kleinen Kügelchen einfach das Kügelchen auf die Schallplatte, fasst das Postament, welches die Schallplatte trägt, mit einer Hand, hebt es in die Höhe und bringt die Stelle der Fallplatte, worauf das Kügelchen liegt, gerade unter die Pincette, öffnet mit der andern Hand dieselbe und schiebt nun mittelst der Schallplatte das Kügelchen so tief zwischen die Spitzen der Pincette, dass diese Spitzen die Glastafel berühren. Tf. XVIII. fig. 2.

Wenn ich mich der Kugelröhre bediene, um einen dauernden Schall zu erzeugen, so kehre ich mittelst eines oben zugeschnittenen steifen Pinsels die Schrote, welche auf der Schallplatte liegen, in das untergesetzte Gefässe, aus welchem man dann die Kugeln leicht und rasch wieder in die Kugelröhre laufen lassen kann.

Man kann sich aber auch, nachdem man einmal mit diesem Urmass versehen ist, jedes andern Schalles, den man nach Belieben in derselben Stärke wieder zu erzeugen im Stande ist, als Mittel zur Vergleichung des zu messenden Schalles mit dem Urmasse bedienen. So ist es sogar bequemer, wenn man einen dauernden Schall erregen will, um mittelst desselben einen momentanen Schall, z. B. einen Kanonenknall zu messen, sich dazu einer Windlade zu bedienen, welche durch einen Blasebalg nach Art der Cylindergebläse bei den Eisenhohöfen eingerichtet mit comprimirter Luft versehen wird. Als Schallwerkzeug eignet sich

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

eine gewöhnliche durchschlagende Zunge, die man aber, wenn nöthig des stärkeren Tones wegen, aus Stahl macht, am allerbesten.

Man braucht nur mehr Gewicht auf den Balg zu legen, um den Ton zu verstärken, oder Gewicht abzunehmen, um denselben schwächer zu machen.

Ein Quecksilbermanometer an der Windlade angebracht, misst die jedesmalige Spannung der Luft.

Da man auf diese Weise durch dasselbe Gewicht immer dieselbe Tonstärke hervorbringen kann, so lässt sich jede solche Stärke bei Vergleichung mit dem Phonometer leicht in Schalldynamien angeben.

Auch construirte ich einen tragbaren Apparat dieser Art, bei welchem die Zunge mittelst der Lunge in Schwingung versetzt werden kann.

Es besteht ganz einfach aus zwei rectangulären prismatischen Kanälen, jeder etwa von 6 Zoll Länge und 2 Zoll Breite, aus Holz, eine Art von Windlade darstellend, welche rechtwinklig aneinander gefügt und an den Enden geschlossen sind.

Wenn man diesen Windkanal horizontal legt und das Ende der innern Seite des einen Schenkels an den Mund bringt, so muss die innere Seite des zweiten Schenkelendes gerade dem einen Ohre gegenüber zu stehen kommen.

An diese Stelle bringt man die durchschlagende Zunge mit ihrem Lager an; am entgegengesetzten Ende, das dem Munde gegenübersteht, ein Mundstück, vermittelst dessen man Wind in den Kanal bläst und

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

die Zunge zum Ansprechen bringt, welche nach dieser Einrichtung gerade dem einen Ohr gegenüberliegt. Zwei Füsschen, welche sich da an den Kopf stützen, halten diese Zunge immer in der bestimmten Entfernung vom Ohre.

Man befestigt die Zungen, wie diess die Orgelbauer zu thun pflegen, bloss mittelst zweier vertikal auf die Windlade gestellter beweglicher Zwingen, so dass man schnell eine stärkere Zunge mit einer schwächeren oder umgekehrt vertauschen kann, wenn die eben aufgepasste Zunge einen zu starken oder zu schwachen Ton hervorbringen sollte.

Um nun auch die Spannung des Windes zu messen, mittelst welcher die Zunge zum Tönen gebracht wird, ist an der über dem Mundstücke liegenden Stelle des Kanals ein Quecksilbermanometer eingelassen, welches in der gewöhnlichen Weise aus einer hebeartig gebogenen Glasröhre besteht.

Eine $4\frac{1}{2}^{mm}$ im Lichten weite Röhre von dünnem Glase ist etwa in einer Höhe von 52^{mm} in einem engen Knie abwärts, dann nach etwa 49^{mm} wieder in einem engen Knie aufwärts gebogen, so dass dieser Theil des Hebers 75^{mm} lang bleibt. Er dient als eigentliche Messröhre.

Man giesst in diesen Schenkel Quecksilber, bis es in beiden Schenkeln 32^{mm} hoch steht, von da an ist die Röhre aufwärts entweder in Millimeter getheilt, (mehr als dreissig sind nicht nöthig) oder es befindet sich an ihr eine am besten etwas verschiebbare weisse Scala.

Man macht diese Scala am besten mit scharfen, deutlichen Zifern auf weissem Grunde, dass die Höhe der Quecksilbersäule, auf welche sie durch die Lunge gehoben worden ist, leicht abgelesen werden kann.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Um die Scala in solcher Nähe noch deutlich sehen zu können, ist zwischen dem Auge und der Scala eine Linse von etwa zwei Zoll Brennweite angebracht.

Da die Veränderung des Quecksilberspiegels, auch wenn die Windlade vollkommen geschlossen ist, wegen beschränkter Kraft der menschlichen Lunge wohl nie 29^{mm} übersteigt, so lassen sich durch die Loupe die Scalentheile leicht ablesen ohne dass man genöthigt wäre, die Stellung des Auges zu verändern.

Nimmt man das Manometer von der Windlade ab, um es wieder einzupacken, so verschliesst man einfach zuerst die obere, dann die untere Oeffnung mittelst eines feinen Korkstöpselchens, um das Quecksilber am Herauslaufen zu verhindern. Ebenso lässt man, wenn das Manometer auf die Windlage gesteckt werden soll, das Quecksilber in den einen Schenkel laufen, an welchem die Scala befestigt ist, entfernt dann vom entgegengesetzten Theile der Manometerröhre das Stöpselchen und schiebt nun das offene Ende in die auf der Windlade angebrachte Hülse. Steht das Manometer nun fest und senkrecht, so wird auch der obere Theil der Röhre geöffnet.

Hat man vermittelst dieses leicht fortzuschaffenden Instrumentes irgend einen Ton auf die angeführte Weise verglichen, so kann natürlich die zur Vergleichung angewandte Tonquantität auch zu Hause wieder erzeugt werden, da man den Stand des Manometers kennt, unter welchem er erzeugt worden ist.

Zum Anblasen zu Hause bedient man sich der Lungen oder des Gebläses, und hat dann Musse genug, das erhaltene Schallquantum mittelst des Phonometers in Schalldynamien zu bestimmen.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Es ist kaum nöthig zu erinnern, welche mannigfaltige Anwendung von einem solchen Instrumente sowohl im Gebiete der Akustik als dem mit ihr so nahe verwandten Zweig der praktischen Musik, ja selbst der Medicin gemacht werden kann.

In der Physik wird es uns möglich werden, die Modificationen, welche ein bestimmter Schall durch verschiedene Umstände immer erleidet, z. B. durch Luftströme — messen, und diese Modificationen wissenschaftlich, das heisst in Mass und Zahl, ausdrücken zu können.

Im Gebiete der Medicin lassen sich mit diesem Instrumente der Grad der Stärke und Schwäche des Gehörorganes überhaupt und die Variationen derselben zu verschiedenen Zeiten und unter besondern Umständen mit Sicherheit bestimmen. Ebenso kann das quantitative Hörvermögen einzelner Individuen vergleichend dargelegt werden, und eben so ist es möglich, die verschiedenen quantitativen Eindrücke des Schalles auf verschiedene Individuen durch unsere phonometrische Normalgrösse mit aller Sicherheit zu messen.

Es wird ferner auch möglich, das Schallquantum musikalischer Instrumente messend zu bestimmen, was bis zu diesem Augenblicke unausführbar war. Denn nur das individuelle Gefühl gab bisher den einzigen Anhaltspunkt zu einer höchst oberflächlichen Schätzung; eine lange Erfahrung hat aber gelehrt, wie unsicher und anders bei jeder andern Individualität dieser Anhaltspunkt war.

Der Arzt, der sich mit den Krankheiten des Ohres beschäftigt, hat nun das so nothwendig genaue Mass für die Schärfe oder Schwäche des Gehöres, und ebenso für die Zu- und Abnahme der Harthörigkeit seiner Patienten.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentrum.at

Ja selbst früher unmerkbare oder zweifelhafte eben beginnende krankhafte Veränderungen des Gehörorganes lassen sich mittelst dieses Instrumentes mit voller Sicherheit bestimmen und deshalb zweckgemässe Heilmittel zu einer Zeit anwenden, wo man sich noch Hilfe von ihrer Anwendung versprechen kann.

In anderer Weise wird das Phonometer zur Entscheidung mancher technischen Streitigkeiten dienen, wozu bis jetzt noch gar kein nur einiger Massen verlässiger Anhaltspunkt gegeben war.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Abhandlungen der Bayerischen Akademie der Wissenschaften - Mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse

Jahr/Year: 1855

Band/Volume: 7

Autor(en)/Author(s): Schafhäutl Karl Emil von

Artikel/Article: Über Phonometrie, nebst Beschreibung eines zur Messung der Intensität des Schalles erfundenen Instrumentes. 499-525