©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Ueber

akustische Distanzmessung.

Von

Max Jüllig,

Assistent an der k. k. technischen Hochschule zu Wien, k. k. Lieutenant in der Reserve.

Vortrag, gehalten am 17. November 1880.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Nichts kann erfreulicher für den Fachmann sein, als zu constatiren, dass die Erkenntnisse, welche ohne bestimmtes praktisches Ziel, lediglich im Interesse der Wissenschaft mühevoll gewonnen werden, niemals verfehlen, früher oder später einen für Alle greifbaren Nutzen zu bringen.

Wissenschaftliche Untersuchungen sind in der Regel theuer; nicht nur muss ihnen oft das ganze Leben des Menschen geweiht werden, sie erheischen auch materielle Opfer. Ich erinnere nur an die bedeutenden Summen, die zur Erbauung und Einrichtung von astronomischen Observatorien, zur Dotirung der verschiedensten wissenschaftlichen Institute und zur Ausrüstung von Expeditionen in ferne Länder alljährlich vom Staate und von Privaten verausgabt werden.

So wendete denn auch die französische Regierung ganz ausserordentliche Mittel auf, um dem berühmten Physiker Regnault die Durchführung seiner bis heute noch einzig dastehenden Arbeiten auf dem Gebiete der Wärmelehre, Akustik und anderer Partien der Naturlehre zu ermöglichen. Ich werde auf dieselben später zurückkommen.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Dem Fachmanne genügt es zu wissen, er steht auf dem Standpunkte Goethe's:

„Was kann der Mensch denn Höheres gewinnen,
Als dass sich Gott, Natur ihm offenbare."

Dem Laien wird das Naturgesetz erst durch seine Verwerthung wichtig und er durfte sich fragen, ob es nicht besser gewesen wäre, so bedeutende Summen zu wohlthätigen Zwecken zu verwenden. An der Hand eines neuen Instrumentes, das heute schon einen nicht unbedeutenden praktischen Werth repräsentirt, hoffe ich Ihnen darzuthun, dass wieder eine Reihe physikalischer Thatsachen aus dem Gebiete der Akustik das Stadium des rein theoretischen Interesses überwunden hat, um einem grösseren Kreise zugänglich und nützlich zu werden. Es sind dies die Erscheinungen der Fortpflanzung des Schalles.

Das Zustandekommen einer Schallwahrnehmung ist an das Vorhandensein eines Schallerregers, eines den Schall fortpflanzenden Mediums und eines Gehörorgans geknüpft.

Die Lichtwelle bedarf zwar auch eines Mediums, um sich fortzupflanzen, es ist der den ganzen uns durch astronomische Beobachtungen zugänglichen Weltraum erfüllende Lichtäther, von dem wir wohl voraussetzen müssen, dass er eine ausserordentliche Elasticität besitze, dessen Masse sich aber der Wägung entzieht. Das Licht durchdringt denselben mit der kolossalen Geschwindigkeit von 308.000 Kilometer pro Secunde. Ein mit dieser Geschwindigkeit auf

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

dem Aequator fahrender Wagen würde die Erde in einer Secunde siebenmal umkreisen.

Die Schallwelle hingegen ist an das Vorhandensein eines wägbaren Mediums geknüpft, sei dies nun Luft, Wasser*) oder ein fester Körper.

Ich erlaube mir bei dieser Gelegenheit ein schon von Hawksbee angestelltes Experiment in etwas modificirter Form vorzuführen.

Auf dem Teller einer Luftpumpe steht ein mit einer Glasglocke überdecktes elektrisches Läutwerk. Der elektrische Strom wird durch das Metall des Luftpumpentellers eingeleitet und tritt dann wieder durch einen unter den Rand der Glocke gelegten ringförmigen Stanniolstreifen aus. An der Glocke befindet sich ferner ein in einer Stopfbüchse verschiebbarer Messingstab. Ich schliesse den Strom und Sie hören den Klang der Glocke. Ich lasse nun die Luft auspumpen und die Intensität des Schalles wird fortwährend geringer, schliesslich ist das Läuten fast gar nicht mehr wahrzunehmen. Ich schiebe nun den Messingstab so weit hinunter, dass er das Läutwerk berührt, sofort ertönt die Glocke wieder kräftig, da sich jetzt der Schall durch das Messing fortpflanzt. Ich hebe denselben Stab und wieder erstirbt der Ton. Nun lassen wir Luft einströmen und sofort ertönt die Glocke.

---

*) Auch alle anderen Gase und Flüssigkeiten sind zur Schallfortpflanzung geeignet.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Von der Thatsache, dass die Schallwelle zu ihrer Fortpflanzung einer merklichen Zeit bedarf, kann sich Jedermann leicht überzeugen.

Sieht man von der Ferne einem Zimmermann oder Steinklopfer zu, so bemerkt man immer zuerst das Niederfallen von Hacke oder Hammer und hört erst später den Schlag.

Ein herannahendes Gewitter kündet sich durch Wetterleuchten an. Ist es näher gekommen, so vergeht noch immer eine merkliche Zeit zwischen der Wahrnehmung von Blitz und Donner. In unmittelbarer Nähe aber folgen sich Blitz und Donnerschlag ohne Intervall. Aehnliche Wahrnehmungen kann man beim Abfeuern von Gewehren und Geschützen machen.

Beobachtet man aus grösserer Entfernung eine Locomotive, deren Pfeife soeben zu tönen beginnt, so sieht man aus derselben zuerst eine weisse Dampfwolke aufsteigen und hört erst später den Pfiff.

Die nach dem Tacte der Musik oder der Trommel marschirenden Soldaten einer langen Colonne treten nicht alle gleichzeitig auf, sondern diejenigen früher, die dem Tambour zunächst gehen, die entfernteren später. So liessen sich noch viele Beispiele aus dem täglichen Leben anführen.

Die ersten quantitativen Versuche über die Geschwindigkeit der Schallwelle in freier Luft rühren von der Florentiner Akademie her und wurden in der zweiten Hälfte des 17. Jahrhunderts angestellt. Man wählte zwei erhöhte Punkte im Terrain derart

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

aus, dass man von dem einen zum anderen sehen konnte. Auf der einen Höhe postirte man ein Geschütz, auf der anderen einen Beobachter. Beim Abfeuern des Geschützes sah dieser zuerst das Aufblitzen des Schusses und vernahm später den Knall.

Beobachtete er nun die Zeit, welche zwischen diesen beiden Wahrnehmungen verstrich, und kannte er die Entfernung der beiden Terrainpunkte, so brauchte er nur die letztere durch die Anzahl der verflossenen Secunden zu dividiren, um sogleich die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles zu erhalten. Sie ergab sich gleich 1185 Fuss.

Weit genauer waren die im Jahre 1738 von einer Commission der Pariser Akademie angestellten Versuche. Von den Commissionsmitgliedern nenne ich nur Cassini, Lacaille und Maraldi. Die Messungsmethode war die der Florentiner Akademie. Die Entfernung der beiden Punkte betrug gegen vier Meilen und man verwendete als Zeitmesser eine Pendeluhr. Die Geschwindigkeit ergab sich gleich 1038 Fuss pro Secunde.

Schon früher hatte Bianconi einen Einfluss der Temperatur auf die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles constatirt, ohne dass diese Thatsache weitere Verbreitung gefunden hätte. Erst Benzenberg, der seine Versuche 1809 und 1811 in Düsseldorf anstellte, brachte dieselbe in Rechnung. Weitere Aufklärungen über diese Frage gewährten die Versuche, welche von Alexander v. Humboldt in Gemein-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

schaft mit Arago, Gay-Lussac und anderen bedeutenden Gelehrten im Jahre 1822 bei Paris angestellt wurden. Hierbei betrug die Entfernung von der Mündung der Kanone bis zum Beobachter $2^1/_2$ deutsche Meilen.

Von den Messungen, die bei sehr niedriger Temperatur angestellt wurden, erwähne ich die Bestimmungen des Lieutenants Kendall, der als Mitglied der zweiten Franklin-Expedition am Sklavensee in Nord-Amerika 40 Kanonenschüsse abfeuern liess und jedesmal die Schallgeschwindigkeit mass. Die Temperatur betrug 40^0 Celsius unter Null.

Capitain Parry stellte ähnliche Versuche bei den Melville-Inseln in Luft von 41 Centigraden Kälte an.

Während auf diese Weise die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Schallwelle unter den verschiedensten Temperaturverhältnissen gemessen wurde, fehlte es auch nicht an Versuchen, dieselbe mit Hilfe der analytischen Mechanik zu berechnen.

Die erste Bestimmung dieser Art rührt von Newton her, doch waren die von ihm berechneten Werthe um ein Sechstel zu klein und erst dem eben so genauen als genialen Laplace — der auch die schönste Hypothese verwarf — gelang es, diesen Widerspruch zu lösen und durch eine Verbesserung an Newton's Formel dieselbe mit den experimentell gefundenen Werthen in Uebereinstimmung zu bringen.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Ich unterlasse es, diese Formel zu geben und erwähne nur, dass man den Einfluss der Temperatur auf die Schall-Fortpflanzungsgeschwindigkeit in folgender Weise algebraisch darstellen kann:

$$C = C_0 \sqrt{1 + \alpha t}$$

Hiebei bezeichnet C die Schallfortpflanzungsgeschwindigkeit in der Luft bei der Temperatur von t Graden, C_0 diejenige bei 0 Graden und α ist eine Constante, deren genaueste Bestimmung von Regnault herrührt. Sie beträgt $^1/_{273}$; demnach findet man, dass die Schallgeschwindigkeit bei 0^0 330·7 Meter beträgt; bei 5^0 ist sie 333·7, bei 10^0 Celsius 336·7 Meter und man kann in den Grenzen, in welchen die Temperatur der freien Luft auf der Erdoberfläche wechselt, für jeden Grad Temperaturzunahme eine Zunahme der Schallgeschwindigkeit um 6 Decimeter annehmen.

Alle die bis jetzt angeführten Versuche über die Schall-Fortpflanzungsgeschwindigkeit wurden aber hinsichtlich ihrer Genauigkeit von denjenigen, welche Regnault 1867 im Polygon von Satory bei Versailles anstellte, beiweitem übertroffen. Abgesehen davon, dass die fortwährende Vervollkommnung der Geodäsie (Feldmesskunst) eine viel grössere Genauigkeit in der Bestimmung von Distanzen erreichen liess und Regnault einen sehr vollkommenen Zeit-Messapparat verwendete, wusste er auch gewisse Fehler zu vermeiden, welche in der Unvollkommenheit der Sinne des Beobachters liegen.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Machen wir, um die letztgenannten Fehlerquellen beurtheilen zu können, im Geiste eine kleine Landpartie, und stellen Sie sich vor, ich stünde auf dem Aussichtsplateau des Leopoldsberges und blicke mit gespannter Aufmerksamkeit auf den Bisamberg, von dessen Höhe ich ein Lichtsignal erwarte. In meiner Hand halte ich einen Secundenzähler. Sie sehen, ein Druck mit dem Finger genügt, ihn in Gang zu setzen, ein zweiter Druck und er steht stille, ein dritter und die beiden Zeiger stehen wieder auf Null. Es blitzt und ich drücke den Knopf herab.

War ich im Stande, im selben Momente als der Blitz mein Auge traf, auch schon die Bewegung des Uhrwerkes zu veranlassen? Gewiss nicht. Es musste erst die Reizung der Gesichtsnerven zum Gehirn fortgepflanzt werden, um von dieser Centrale des Wissens und Könnens dem Finger den Befehl zum Niederdrücken zu bringen.

Der von der Nervenreizung zurückzulegende Weg vom Auge zum Gehirn und von da in die Hand ist zwar nicht lang, doch auch die Geschwindigkeit der Fortpflanzung der Nervenreizung ist nicht gross; sie beträgt nach Brücke nur 26·40 bis 27·34 Meter pro Secunde, also nur ein Zehntel der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles. Für einen Nervenweg von 1 Meter Länge würde die Verspätung $^1/_{30}$ Secunde betragen, ein Zeittheilchen, das dem Laien verschwindend klein erscheint, für den Physiker aber, der heute schon den tausendsten Theil

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

einer Secunde misst, eine nicht zu vernachlässigende Grösse bildet. Indess hat auch der Schall mein Ohr erreicht und rasch hebe ich den Daumen, wobei ich mich aber ebenso wie früher verspäte. Nehmen wir an, ich hätte mich beim Markiren zuerst und zuletzt jedesmal um die gleiche Zeit verspätet, so würde das auf die gesammte Zeit, die ich mass, keinen Einfluss gehabt haben, ich hätte das Uhrwerk um eben soviel länger laufen lassen, als ich es zu spät in Bewegung setzte. Deswegen mag auch das Auslösen des Uhrwerks durch die Hand keinen für praktische Zwecke störenden Fehler herbeiführen, wohl aber musste der gewissenhafte Forscher auf Methoden sinnen, die Zeitmarkirung in vollster Präcision durchzuführen. Ein Mittel hiezu bot die magnetisirende Wirkung des elektrischen Stromes. Ein Stück weichen Eisens, von einem elektrischen Strom umkreist, wird sofort zum kräftigen Magnet, der bekanntlich im Stande ist, Eisen mit bedeutender Kraft an sich zu reissen. Ich erlaube mir an der Hand einer kleinen Skizze die Wirkung eines solchen Elektromagnets zu erläutern (Fig. 1).

Ein hufeisenförmig gebogener Schmiedeisenstab *H* — umwunden mit einem Draht, in dem ein elektrischer Strom fliesst — wird kräftig magnetisch und kann ein darüber befindliches Eisenstück, den Anker, an sich reissen. Es ist ganz leicht, diesem Anker die nämliche Function anzuvertrauen, die gerade mein Daumen ausgeübt hat. Ich brauche ihn nur am einen

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Ende um den Stützpunkt *o* drehbar zu machen und das andere Ende mit dem Schieber *s* am Secundenzähler *z* zu verbinden, so würde ein elektrischer Strom, der den Draht durchfliesst, sofort den Secundenzähler auslösen. Ein Aufhören des elektrischen Stromes könnte dann dem Anker gestatten, in seine frühere Lage zurückzukehren, zu welchem Zwecke ich nur eine nach aufwärts wirkende Spiralfeder anzubringen hätte. Ich könnte aber auch die Anordnung so treffen, dass ein Verschwinden des elektrischen Stromes meinen Secundenzähler in Gang brächte und zwar in folgender Weise: der Elektromagnet *H* (Fig. 2) hält den Anker *A* so lange fest, als er von einem elektrischen Strome (aus der Batterie *B*) umflossen wird. Im Momente als man letzteren unterbricht, fällt der Anker *A* ab und bleibt auf einem vorspringenden Metallprisma *v* liegen. Die Feder *f* drückt den Schieber nieder und

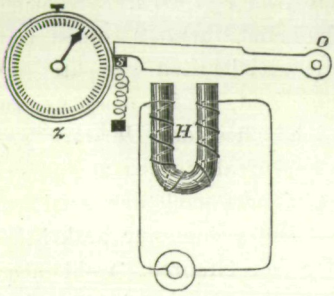

Fig. 1.

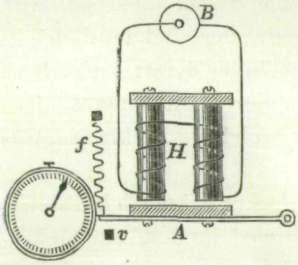

Fig. 2.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

die Secundenuhr läuft. Auch Regnault's Zeitmesser war derart eingerichtet, dass ein Verschwinden des elektrischen Stromes den Anfang der zu messenden Zeit, das Wiedererscheinen das Zeitende markirte. Ich bin zwar nicht in der Lage, den Zeitmessapparat

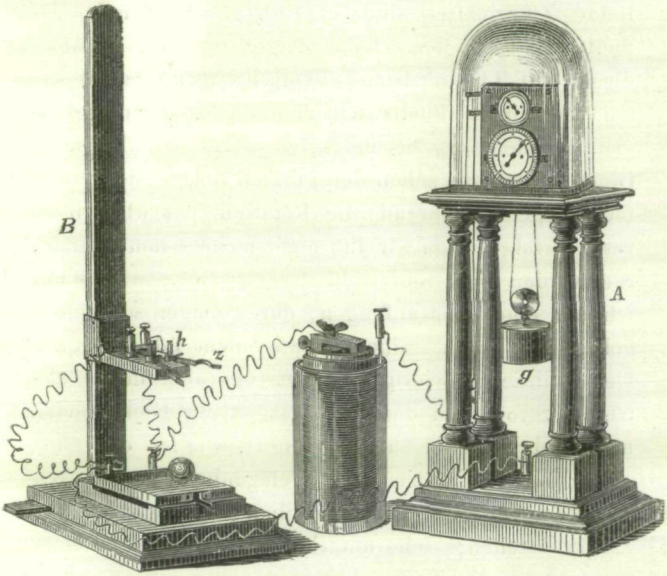

Fig. 3.

Regnault's vorzuzeigen und eine Beschreibung desselben — es war ein sogenannter Chronograph — würde mich zu weit führen. Dagegen sehen Sie in Fig. 3 (rechts, *A*) einen ebenso sinnreich construirten Apparat, es ist das von dem Schweizer Hipp erfundene Chronoskop. Ein Gewicht *g* treibt ein Räder-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

werk, das die Zeiger auf den beiden Zifferblättern bewegt. Der kleinere (obere) macht in der Secunde 10 Umläufe, der grössere (unten) rückt bei jedem Umlauf des kleineren um einen Theilstrich weiter und dient dazu, die Umläufe des ersteren zu zählen. Beide Zifferblätter sind in 100 gleiche Theile getheilt, und da der kleine Zeiger in einer Secunde diese 100 Theile 10mal überschreitet, braucht er, um von einem Theilstrich zum nächsten zu gelangen, gerade $^1/_{1000}$ Secunde. Ich werde das Werk in Gang setzen, Sie sehen den grossen Zeiger sich stetig fortbewegen, während die Rotation des kleinen so rasch erfolgt, dass wir ihn nicht mehr sehen können. Sie werden sich nun wohl fragen: Ja, was kann ich mit einer Uhr anfangen, deren Zeiger so schnell geht, dass man seinem Laufe nicht folgen kann? Ueber diese Schwierigkeit hilft uns aber der elektrische Strom. An dem Apparat ist ein Elektromagnet angebracht, der ähnlich fungirt, wie ich es früher schon auseinanderzusetzen Gelegenheit hatte. Ich schicke einen Strom um denselben und Sie sehen die Zeiger stehen; ich unterbreche den elektrischen Strom und die Zeiger bewegen sich, ich schliesse ihn und sie ruhen wie früher.

Eine ganz erstaunliche Probe der Leistungsfähigkeit dieser Uhr erlaube ich mir, Ihnen an einem Apparatchen vorzuführen, das auf Seite 67, Fig. 3 (*B* links) abgebildet ist. Es wird die Zeit messen in der eine kleine Steinkugel die Höhe

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

einer Spanne herabfällt. Die Kugel wird durch eine Zange *z* gehalten und sobald ich an einem kleinen Hebel *h* drücke, öffnet sich die Zange, die Kugel fällt und schlägt auf das Brettchen *b* auf. Gleichzeitig mit dem Oeffnen der Zange wird der elektrische Strom unterbrochen und das Niederfallen auf das Brettchen schliesst ihn wieder.

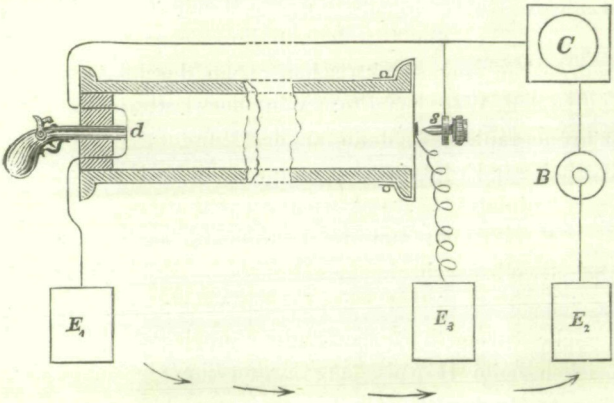

Fig. 4.

Ich sehe nun nach, wieviele Theilstriche beide Zeiger überschritten haben und erhalte sofort die Fallzeit.

Regnault bestimmte die Schallgeschwindigkeit sowohl in freier Luft als auch in Röhren des verschiedensten Kalibers, die mit Luft oder auch mit anderen Gasen gefüllt waren.

Die Anordnung seiner Apparate für den letzteren Zweck zeigt Fig. 4.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

In dem einen Röhrenende wurde eine kleine Pistole befestigt und das andere mit Kautschukleinwand überbunden. Diese Kautschukmembran vertrat so das Trommelfell des menschlichen Ohres. Vor die Mündung der Pistole war ein dünner Draht *d* gespannt, der beim Abfeuern der ersteren durchrissen wurde. Kam der Schall aber bis an's andere Ende der Röhre, so musste er die Membran erschüttern.

Der vor die Pistolenmündung gespannte Draht wurde von einem elektrischen Strom durchflossen, der folgenden Weg machte: Von der Batterie *B* zum Chronographen *C*, dann an der Mündung der Pistole vorbei zur Erdplatte E_1, und durch die Erde zurück zur Erdplatte E_2, und wieder zur Batterie *B*.

Schoss man nun die Pistole ab, so begann die Schallwelle sich in der Röhre fortzupflanzen und gleichzeitig wurde der Draht *d* durchrissen, der elektrische Strom hörte auf und ähnlich wie ich dies soeben beim Hipp'schen Chronoskop gezeigt habe, begann Regnault's Chronograph seine Thätigkeit. Um dieselbe bei der Ankunft des Schalles an dem anderen Röhrenende wieder zu unterbrechen, musste eine Erschütterung der Membran auch die Wiederkunft des elektrischen Stromes veranlassen. Dies geschah in folgender Weise: Im Mittelpunkte der Kautschukmembran wurde ein feines Metallplättchen befestigt, das durch einen dünnen Kupferdraht mit der Erde in leitender Verbindung stand. Die ankommende Schallwelle bewirkte eine Ausbiegung der Membran,

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

das Plättchen berührte die Schraubenspritze *s* und schloss so den elektrischen Strom, der im Chronographen das Zeit-Ende markirte. Dividirte man die genau gemessene Röhrenlänge durch die vom Chronographen registrirte Zeit, so erhielt man die Schall-Fortpflanzungsgeschwindigkeit. Für die Versuche in freier Luft modificirte Regnault seinen Apparat in mancher Hinsicht, und zwar wurde die Pistole durch eine Kanone ersetzt, der ein Schallbecher seine Mündung entgegenhielt. Dieser Schallbecher war auf der anderen Seite mit der früher erwähnten Membran überspannt. Die Anordnung der Telegraphenleitung blieb im Wesen dieselbe.

Aus einer grossen Anzahl von Versuchen fand Regnault im Mittel die Schall-Fortpflanzungsgeschwindigkeit gleich 330·7 Meter bei 0 Grad in freier Luft. Auch die Versuche in sehr weiten Röhren von 1 Meter Durchmesser ergaben fast das gleiche Resultat, während in engeren Röhren die Schall-Fortpflanzungsgeschwindigkeit etwas geringer ausfällt.

Aber nicht allein in Luft, auch im Wasser und festen Körpern pflanzt sich die Schallwelle fort — eine Erscheinung, die dem Laien, trotzdem er sie im täglichen Leben immer wieder wahrnehmen könnte, selten geläufig ist.

Schon Otto von Guericke, der als Erfinder der Luftpumpe und Elektrisirmaschine berühmte Bürgermeister von Magdeburg, wusste, dass man gezähmte

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse; download unter www.biologiezentrum.at

Fische mit einer Klingel rufen könne und schloss daraus, dass das Wasser den Schall fortpflanze.

Hawksbee vernahm in freier Luft den Ton einer unter Wasser angeschlagenen Glocke. Arderon constatirte, dass Taucher in einer Tiefe von 2 bis 12 Fuss unter dem Wasserspiegel noch das Tönen einer in freier Luft angeschlagenen Glocke und den Knall einer Flinte hören konnten. An eine Messung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles im Wasser wurde aber im ganzen 18. Jahrhundert nicht gedacht. Ebensowenig wurde die Geschwindigkeit des Schalles in festen Körpern gemessen, obwohl die Thatsache der Fortpflanzung desselben in diesen Körpern schon längst bekannt war.

Schon Boerhave that ihrer Erwähnung, und später war sie Gegenstand mehrerer Verhandlungen, als Jorrissen 1757 zu Halle zeigte, dass man durch einen an die Zähne gehaltenen Stab Taube hören machen könne. Von den Messungen der Schallgeschwindigkeit in Flüssigkeiten führe ich nur diejenigen von Colladon und Sturm an.

Diese beiden Physiker massen im Jahre 1826 die Schallgeschwindigkeit im Wasser des Genfer-Sees. Die beträchtliche Tiefe desselben (im Mittel 140 Meter) und die Klarheit seines Wassers schienen für derartige Versuche besonders vortheilhaft. Die grösste Entfernung, die man sich über allseitig tiefem Wasser verschaffen konnte, war die zwischen Thonon und Rolle; sie beträgt fast zwei Meilen. In der Nähe von Rolle

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

wurde ein Boot festgelegt, welches eine 130 Pfund schwere Glocke trug, die durch einen Hammer angeschlagen wurde. Mit Hilfe einer Hebelverbindung entzündete gleichzeitig eine Lunte etwas Pulver auf dem Verdeck des Schiffes. Ein zweites Boot lag bei Thonon vor Anker.

Die darin befindlichen Beobachter überwachten die Ankunft des Schalles mit Hilfe eines besonderen Hörrohres, welches aus einer 5 Meter langen, nach unten sich conisch erweiternden Blechröhre bestand, deren untere Oeffnung mit einer Membran überspannt war. Die Membran wurde im Wasser nach der Schallseite gerichtet; der Beobachter legte das Ohr an die Spitze des Rohres, indem er aufmerksam nach dem zweiten Boote sah. Beim Erscheinen des Blitzes setzte er ein Zählwerk in Gang, dessen Zeiger bei der ersten Wahrnehmung des Schalles wieder arretirt wurde und auf diese Weise die Zwischenzeit unmittelbar angab. Dieselbe betrug etwas über 9 Secunden. Indem man die Entfernung der Boote durch die Anzahl der Secunden dividirte, fand man die Schall-Fortpflanzungsgeschwindigkeit im Wasser gleich 1435 Meter.

Noch viel grössere Werthe liefern Versuche an festen Körpern. Biot benützte eine leere gusseiserne Röhrenleitung von fast 1000 Meter Länge. Schlug man gegen das eine Ende mit einem Hammer, so hörte der Beobachter am anderen Ende zwei Schläge nacheinander; der erste rührte von der Schall-Fort-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

pflanzung im Eisen, der zweite von jener in der Luft her. Beobachtete man die Zeit zwischen beiden Schlägen, so konnte man aus der bekannten Röhrenlänge und Schall-Fortpflanzungsgeschwindigkeit in der Luft auch jene im Eisen berechnen. Sie ergab sich gleich 3488 Meter. Sehr nahe das gleiche Resultat lieferten die Versuche von Wertheim nnd Breguet an Telegraphendrähten.

Fassen wir die so gewonnenen Resultate kurz zusammen, so ergiebt sich die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles in freier Luft sehr nahe gleich $^1/_3$ Kilometer pro Secunde; diejenige im Wasser ist viermal und im Eisen zehnmal so gross. Im Tannenholz in der Richtung der Fasern ist sie nach Chladni sogar achtzehnmal grösser als in Luft.

Hatte man einmal die Schall-Fortpflanzungsgeschwindigkeit mit so grosser Genauigkeit ermittelt, so lag nichts näher, als das Problem umzukehren und aus der Schall-Fortpflanzungszeit die Entfernung, welche die Schallwelle durchmessen hatte, zu bestimmen.

Beobachten wir bei einem Gewitter die Zeit zwischen Blitz und Donner, so entspricht jeder verflossenen Secunde eine Entfernung von $^1/_3$ Kilometer. Eine alte Regel sagt, das 9 Pulsschläge einer Viertelmeile Donnerlauf entsprechen. Von Abbadie hat auf seinen Reisen in Afrika mehrere Standlinien auf akustischem Wege gemessen. So wird z. B. auf der Insel Massaua während der Dauer des Monates

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Ramazan jeden Abend nach Sonnenuntergang ein Kanonenschuss abgefeuert, welcher den Mohammedanern das Ende der Fasten verkündigt. Abbadie benützte diesen Umstand dazu, die Entfernung der Insel vom Ufer zu bestimmen. Er postirte sich auf einer Anhöhe in der Nähe des Dorfes Oemkullu und wartete, bis die Kanone auf dem Fort Mudir abgeschossen wurde. Er hörte den Knall 18 Secunden nach dem Aufblitzen. Die Temperatur betrug 36 Grad, und mit diesen Daten berechnete er die Entfernung zu 19.800 Fuss. Ein andermal mass er auf dieselbe Art die Distanz zwischen der Stadt Adua und dem Berge Saloda. Sein Bruder ging mit einer Luntenflinte versehen auf den Berg, er selbst blieb auf dem Dache eines Hauses. Beide Beobachter feuerten abwechselnd ihre Flinten ab und beobachteten die Schall-Fortpflanzungszeit.

Newton liess einen Stein in einen tiefen Brunnen fallen und mass die Zeit, in welcher er das Aufschlagen desselben hören konnte. Dieselbe besteht aus der Zeit, welche der Stein braucht, um den Boden zu erreichen, mehr derjenigen, in der sich der Schall bis zum Ohr des Beobachters fortpflanzt. Newton gibt z. B. an, dass einer Zeit von 5 Secunden eine Tiefe von 330 Fuss, einer Zeit von 10 Secunden 1182 Fuss Tiefe entsprechen; im letzteren Falle dauert die Fallbewegung fast 9 Secunden, die Schall-Fortpflanzungszeit wenig mehr als 1 Secunde.

Einer der berühmtesten Schachte Oesterreichs ist der Adalberti-Schacht im Přibramer Bergwerk; derselbe

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

ist über 1000 Meter tief und das Auffallen eines hineingeworfenen Steines kann erst nach 17 Secunden gehört werden, wovon nur 3 Secunden für das Aufsteigen des Schalles in Anspruch genommen werden. Derartige Versuche kann man mit jeder guten Secundenuhr anstellen.

Auf der Jagd, insbesondere aber im Kriege ist eine Bestimmung der Entfernung der Objecte, die man mittels der Schusswaffen zu treffen sucht, ausserordentlich wichtig.

Für die ersteren Zwecke genügt die Schätzung des geübten Jägers vollkommen, auch im Kriege spielt die Distanzbestimmung nach dem Augenmasse noch heute eine grosse Rolle. Allein seit den ausserordentlichen Fortschritten, welche das Geschützwesen in den letzten Jahrzehnten gemacht hat, konnte die Schätzung auch des geübtesten Praktikers nicht mehr genügen.

Schon in dem letzten grossen Kampfe der Culturvölker des Westens wurde der Mangel eines Instrumentes, das die Entfernungen von einem feuernden Feinde wenigstens annähernd bestimmen half, schwer empfunden, insbesondere auf Seite der Franzosen.

Geschütze, welche die Deutschen vor dem belagerten Paris in Position brachten, überragten in ihrer Tragweite diejenigen der Franzosen um ein Bedeutendes und die letzteren nahmen oft den Kampf gegen Batterien auf, die von ihren Geschossen niemals erreicht werden konnten. Diese Geschosse waren aber

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

nicht nur hinsichtlich des Nutzeffectes, den sie hätten erzielen sollen, sondern auch pecuniär von Werth, denn der Preis jedes einzelnen Schusses ist selbstverständlich von dem Kaliber abhängig, und gerade mit ihren mächtigsten Geschützen schleuderten die Franzosen unzählige, nur die Felder vor den preussischen Batterien aufwühlende, Geschosse in den Raum.

Wie wichtig die Hilfsmittel für die Messung von Distanzen im Dienste der Artillerie werden können, insbesondere mit Rücksicht auf die Hintanhaltung einer unnützen Vergeudung von Material, mag Ihnen die Thatsache erkennen lassen, dass heute schon Geschütze gebaut und in Verwendung genommen sind, welche 2000 Pfund Geschossgewicht durch eine Pulverladung von 550 Pfund auf $1^1/_2$ deutsche Meilen weit schleudern. Es sind dies jüngst in der italienischen Marine in Dienst gestellte sogenannte Hunderttons-Geschütze.

Berechnet man die Abnützung des mit 500.000 Francs bezahlten Geschützes zu dem Betrage für eine Ladung, so werden die Kosten eines einzelnen Schusses die Höhe von 2000 Francs wohl übersteigen.

Man war denn auch seit dem deutsch-französischen Kriege an vielen Orten eifrig bemüht, das Problem eines, für Kriegszwecke wirklich brauchbaren Distanzmessapparates zu lösen. Die vorher schon bekannten optischen und geometrischen Instrumente, welche sich in der Verwendung als ungenügend erwiesen hatten, wurden verbessert, doch auch ihre

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

höchste Vervollkommnung konnte dem capitalen Mangel ihrer absoluten Unverwendbarkeit in der Dunkelheit nicht abhelfen. Auch bei hellem Tageslichte versagen sie in bedecktem Terrain und auf grosse Distanzen oft ihren Dienst.

So dachte man denn an die Verwerthung akustischer Erkenntnisse. Denn das Geschützfeuer bietet ein Mittel, welches uns vom Feinde niemals entzogen werden kann.

Versetzen wir uns im Geiste auf eine Anhöhe, die vom Feinde beschossen wird. Es ist tiefe Nacht. Plötzlich blitzt es in der Ferne, einige Secunden und wir hören das unheimliche Schwirren der Granate über unserem Kopfe und dann den dumpfen Knall des Schusses. Noch ein Moment und hinter unserm Rücken kracht das zerplatzende Hohlgeschoss, weithin Tod und Verderben bringend. Die Zeit zwischen Blitz und Knall hat der Schall gebraucht, um unser Ohr zu erreichen; aus ihr berechnen wir die Distanz, wenn wir die Anzahl der verflossenen Secunden mit der Schallgeschwindigkeit (im Mittel 330 Meter) multipliciren. Bei hellem Tageslicht sieht man beim Abfeuern des Schusses auch eine weisse Wolke von Pulverdampf aufsteigen, die sich gleichzeitig mit dem Lichtblitze entwickelt.

Eine Messung der Schallfortpflanzungszeit mittels der Secundenuhr genügt aber beiweitem nicht, denn eine einzige versäumte Secunde entspricht schon einem Fehler in der Distanz von mehr als 300 Meter.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Es ist deshalb eine Messung noch weit kleinerer Zeitintervallen angestrebt worden. Ferner ist es wünschenswerth, den Zeitmessapparat so compendiös als möglich herzustellen.

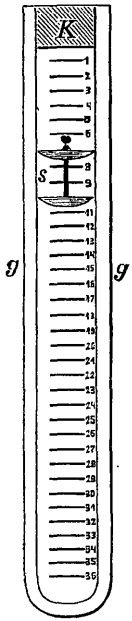

Fig. 5.

Le Boulengé, Artilleriemajor in Belgien, stellt ein niedliches Instrumentchen her, von dem ich mir ein Exemplar vorzuzeigen erlaube. Er nannte es Télémètre de combat.

Dasselbe besteht aus einer, mit einer Flüssigkeit gefüllten und durch einen Kautschukpfropfen *K* sorgfältig verschlossenen Glasröhre *g* (Fig. 5), in der sich ein metallener Schwimmer *s* befindet. Dieser besteht aus zwei concaven (uhrglasartig gekrümmten) Silberplättchen, deren Centra durch einen dünnen Stift verbunden sind. Bei horizontaler Lage der Glasröhre bleibt dieser Schwimmer ruhig liegen; wenn man nun das Instrument plötzlich in eine verticale Lage bringt, beginnt er mit gleichförmiger Geschwindigkeit nach abwärts zu sinken. Dieses Verticalstellen muss im Momente der Wahrnehmung des Aufblitzens eines feindlichen Schusses erfolgen. Vermittels einer raschen Bewegung der das Instrument fassenden Hand wird dasselbe bei Ankunft des Geschützdonners wieder in die horizontale Lage gebracht und hiedurch das

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

weitere Niedersinken des Schwimmers gehemmt. Le Boulengé regulirt die Geschwindigkeit der Fallbewegung des Schwimmers derart, dass dieselbe 25.000mal kleiner ist als die mittlere Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles in der Luft. In derselben Zeit also, in der sich der Schwimmer um einen Millimeter nach abwärts bewegt, legt die Schallwelle in der Luft einen Weg von 25 Meter zurück. Um die Glasröhre vor dem Zerbrechen zu schützen, ist sie mit einer geschlitzten Messinghülse umgeben. Dem Schlitz gegenüber befindet sich zwischen Röhre und Mantel die Theilung, auf der man direct die Schalldistanz ablesen kann.

Ein äusserst praktisches und handliches Instrument, das ich kürzlich aus Paris erhielt, hat folgende Einrichtung: Auf einem Zifferblatt, das nicht viel grösser als das einer gewöhnlichen Taschenuhr ist, bewegt sich ein einziger Zeiger. Das Zifferblatt ist in 100 gleiche Theile eingetheilt und der Zeiger bedarf, um einen solchen Theil zu passiren, drei Zehntel einer Secunde. Jeder zehnte Theilstrich ist beziffert und man sieht auf dem Zifferblatte nacheinander die Zahlen 1000, 2000, 3000 u. s. w. bis 10.000 eingegraben. Diese Zahlen bedeuten Meter, welche die Schallwelle in jener Zeit zurücklegte, in der sich der Zeiger von Null bis zum abgelesenen Theilstrich bewegte. Die Anwendung dieses Instrumentes setzt eine Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles von genau $333^1/_3$ Meter voraus, eine An-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

nahme, die nur bei einer Temperatur von 5 Grad Celsius zutrifft. Auch beim Télémètre dürfte eine derartige Annahme getroffen worden sein, da seine Angaben mit denen des zuletzt beschriebenen Instrumentes ziemlich gut übereinstimmen.

Le Boulengé giebt an, dass sein Instrument mit einem Fehler von 25 bis 50 Meter arbeite. Dass dasselbe nicht im Stande ist, seine Angaben mit Rücksicht auf die Temperatur zu verändern — wie von mancher Seite behauptet wird — beweist die der Gebrauchsanweisung beigefügte Regel, das Instrument niemals unter 15 Grad Celsius abkühlen zu lassen.

Beide Instrumente sollen Distanzen in Luft von entsprechender Temperatur bis auf 30 oder 40 Meter genau angeben, eine Fehlergrenze, die für den praktischen Zweck der Artillerie gleich Null wäre, wenn sie eingehalten werden könnte. Allein abgesehen von dem physischen Unvermögen eines Individuums, der Wahrnehmung von Licht und Schall durch eine mechanische Bewegung momentan zu folgen, haben diese Instrumente auch noch den Mangel, dass sie dem Einfluss der Temperatur auf die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles nicht Rechnung tragen. Sie sind eben wie schon früher erwähnt, nur für ganz bestimmte Temperaturen berechnet. Würde ich z. B. ein Instrument, das bei 5 Grad Celsius ganz richtige Resultate gibt, in einem Geschützkampfe verwenden, der vor einer belagerten Festung in einer Winternacht geführt wird, so könnte dabei die Temperatur

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

leicht bis auf 20° Kälte fallen, was einer Abnahme der Schallgeschwindigkeit um 15 Meter pro Secunde, d. i. fast 5 Procent entspricht.

Nun wirft aber die heutige Artillerie ihre Geschosse schon auf mehr als 20 Secunden Schall-

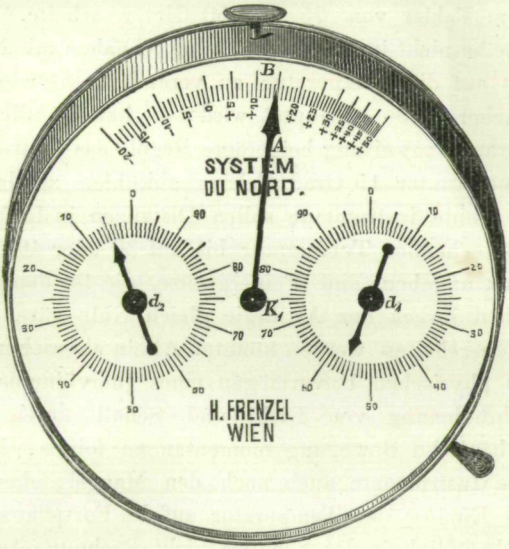

Fig. 6.

distanz, denn so lange braucht die Schallwelle, um 7000 Meter bei einer Temperatur von 30 Grad C. zu durchlaufen. Ein Fehler von 5 Procent dieser Distanz beträgt aber schon 350 Meter, eine unbedingt nicht mehr zu vernachlässigende Grösse.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Man schlug sich in den letzten Kriegen in Frankreich wie im Orient bei glühender Sommerhitze wie im Froste des Winters, und ein wirklich gutes Instrument hätte unbedingt so bedeutende Temperaturdifferenzen automatisch in Anschlag bringen müssen, da man auch kaltblütigen Soldaten nicht die Ausführung einer Rechnung während der Action zumuthen soll.

Diese Forderung erfasste mein geehrter Freund, Hauptmann Du Nord, und in dem Instrument, das in Fig. 6 abgebildet ist, sahen Sie diese Forderung auch schon erfüllt.

Die Entstehungsgeschichte des Instrumentes ist nicht ohne Interesse. Du Nord gab seiner Idee vor mehreren Fachgenossen Ausdruck und einer derselben that ihrer Erwähnung, als einst an der Tafel Sr. k. Hoheit des durchlauchtigsten Herrn Erzherzog Albrecht die Mangelhaftigkeit der optisch-geometrischen Distanzmesser besprochen wurde. Se. k. Hoheit liess Hauptmann Du Nord auffordern, die Ausführung seiner Idee zu versuchen, was selbstverständlich einem Befehle gleichkam.

Du Nord liess mehrere Modelle in Wien sowohl als auch in Paris anfertigen, doch verwarf er eines nach dem andern, da die Regulirung nach der Temperatur nicht die Vollkommenheit erreichte, die er unbedingt fordern musste. Endlich übertrug er die Ausführung des Instrumentes dem Mechaniker der technischen Hochschule, H. Frenzel, und Professor

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Pierre hatte die Güte zu gestatten, dass das Instrument in der Werkstätte seiner Lehrkanzel ausgeführt werde. Meine Aufgabe war es, das Instrument zu reguliren und Professor Pierre verdanke ich die Idee, zur Regulirung eine schwingende Feder zu verwenden, die ähnlich einem Pendel den gleichmässigen Gang des Werkes besorgt. Allerdings macht das Pendel einer gewöhnlichen Pendule nur eine Schwingung in der Secunde, während die Regulirungsfeder oft mehr als tausend Oscillationen in derselben Zeit vollführen muss.

Wie Sie sehen, besitzt Du Nord's Instrument zwei Zifferblätter (Fig. 6 auf Seite 82), auf dem einen bewegt sich ein Zeiger sehr rasch, auf dem zweiten langsamer. Der zweite Zeiger dient ähnlich wie beim Hipp'schen Chronoskop dazu, die Umdrehungen des ersteren zu zählen. Ein Druck auf einen Knopf genügt, um das Werk in Gang zu setzen, und wenn ich den Knopf auslasse, schnellt er zurück und hemmt den Lauf der Räder. Blicke ich nun auf den Stand der Zeiger, so giebt mir der auf der rechten Seite (Fig. 6) die Anzahl der Einheiten, der andere die Hunderter der Meter direct an, welche die Schallwelle während der Zeit durchlief, als das Instrument in Thätigkeit war. Ein grosser Zeiger B_1 K (Fig. 6), der mit freier Hand verstellt werden kann, weist auf eine Temperaturscala, deren Theilung mit Hilfe eines elektrisch auszulösenden Chronoskops empirisch angefertigt wurde. Eine Verstellung dieses Tempe-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

raturzeigers bewirkt auch eine Aenderung in der Drehungsgeschwindigkeit der Distanzzeiger. Bei 0 Grad z. B. muss das Instrument langsamer gehen als bei 20 Grad, da die Schallwelle in derselben Zeit bei 0 Grad eine kürzere Strecke zurücklegt als bei 20 Grad.

Ist das Instrument einmal gebraucht worden, so führt ein Druck auf einen Knopf die Zeiger sofort wieder in die Stellung zurück, in der sie beide auf 0 zeigen. Und so kann der Artillerist — ist es ihm überhaupt möglich, Blitz und Knall eines feindlichen Schusses zu erfassen und zu unterscheiden — mit Sicherheit darauf bauen, dass das Instrument in der Angabe der zu messenden Distanz nur mit solchen Fehlern arbeitet, denen seine Physis selbst unterliegt.

Aber auch für friedliche Zwecke hat sich schon eine Anwendung gefunden, und zwar im Dienste der pneumatischen Post.

Wie der Knabe seine Bolzen durch das Blaserohr treibt, so bläst die pneumatische Post kleine, mit Briefschaften gefüllte Kapseln durch Röhren von Station zu Station. Der Athem eines Menschen genügt natürlich nicht, diese kleinen Briefgeschosse zu treiben, und an die Stelle der menschlichen Lunge muss ein grosser, mit comprimirter Luft gefüllter Kessel treten.

Es ist schon öfter vorgekommen, dass namentlich im Winter die Büchsen irgendwo stecken blieben und dann aufgesucht werden mussten, was langwierig und zeitraubend ist.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Feuert man nun an der Mündung einer solchen Röhre, in der eine Briefkapsel irgendwo eingeklemmt ist, eine kleine Pistole ab, so geht die Schallwelle bis zur Briefkapsel; von derselben wird sie reflektirt und gelangt dann als Echo wieder zum Ohre des Beobachters. Eine Messung der Zeit, die von der Wahrnehmung des Pistolenknalles bis zur Ankunft des Echos verfliesst, setzt uns sofort in Stand, die Entfernung der Kapsel zu finden. Diese Zeit entspricht nämlich — da der Schall zur Kapsel und dann auf dem nämlichen Wege wieder zurückgehen muss — der doppelten Entfernung. Mit Hilfe eines Du Nord'schen Schalldistanzmessers ist es nun möglich, bei jeder Temperatur sofort die doppelte Distanz in Metern abzulesen, aus der sich dann auch die einfache Entfernung ergiebt. Eine automatische Auslösung des Werkes bei dieser Verwendung kann ähnlich wie bei Regnault's Versuchen der elektrische Strom besorgen und auf diese Weise die Genauigkeit des Verfahrens noch erhöht werden. Die pneumatische Post in Paris hat auch zu diesem Zwecke schon ein Instrument bestellt.

Und nun gestatten Sie mir noch einen kurzen Rückblick.

Ich habe an der Hand der Geschichte der Physik gezeigt, wie sich allmälig die Ansichten über die Verbreitung der Schallwelle im Raume bildeten und klärten, um in den genauesten messenden Bestimmungen ihren Abschluss zu finden; wie man die so

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

gewonnenen Zahlenreihen im Dienste der Menschheit, nicht nur im grossen bewaffneten, sondern auch in dem weit intensiveren friedlichen Kampfe um's Dasein nutzbringend anwendete; ich schliesse, indem ich hoffe, Ihnen dargethan zu haben, dass wieder ein Stück bisher grauer Theorie entschwunden ist, um frische Blüthen am goldenen Baume des Lebens spriessen zu lassen.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Schriften des Vereins zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse Wien

Jahr/Year: 1881

Band/Volume: 21

Autor(en)/Author(s): Jüllig Max

Artikel/Article: Ueber akustische Distanzmessung. 55-87