

VIII.

Die akustische Leistung von Communicationsröhren und Stethoskopen.

Von Dr. Richard Geigel,
Privatdocenten in Würzburg.

In seinem ersten klinischen Semester pflegt der junge Mediciner sich ein Stethoskop zu erwerben, häufig folgt er dabei dem Rathe des Lehrers, bei dem er seinen ersten Cursus „für Anfänger“ hört, oft aber auch trifft einer seine Wahl nach eigenem Gutdünken und Geschmack, bestochen durch schmückes Aussehen, und der Geldpunkt spielt zum Glück dabei keine Rolle. Er ahnt gar nicht, dass er damit in den meisten Fällen eine Wahl für's Leben getroffen hat, denn fast jeder gewöhnt sich an sein Hörröhr immer mehr und mehr, hört gerade mit ihm am besten, viele Erinnerungen knüpfen sich an das Instrument und wenn er's einmal nothgedrungen mit einem anderen vertauschen muss, so ist er ärgerlich. Dass Einer, durch den Reiz der Neuheit veranlasst, ein kürzlich im Handel erschienenes absonderliches Muster sich zulegt, kommt ja vor, fast gar nie aber, dass ein Arzt auf Grund der gewonnenen Ueberzeugung, dass er ein besseres Instrument eintauscht, sein eigenes gewohntes, sein erstes Modell aus der Studentenzeit verwirft. Man muss also doch wohl mit jedem der vielen, an Stoff und Form verschiedenen Instrumente für eine gute Diagnose hinreichende auscultatorische Resultate erzielen können, sonst wäre jener Conservatismus nicht erklärlich; nicht erklärlich, dass selbst von den berufensten Lehrern der klinischen Medicin und klinischen Untersuchungsmethoden der eine dies, der andere jenes Instrument bevorzugt und längst müsste man sich schon international über das beste Modell geeinigt haben. Es ist auch dem Worte Gerhardt's in keiner Weise zu widersprechen, dass es mehr darauf ankommt, wie als womit man auscultirt. Gleichwohl ist es nicht gerade erfreulich, dass die Kenntniss

von der acustischen Wirkungsweise dieses von jedem Arzte täglich und entschieden am meisten gebrauchten Instrumentes nach dem, was man lesen kann und ab und zu zu hören bekommt, eine so unsäglich dürftige ist. Man findet in der ganzen Literatur über diesen Gegenstand kaum mehr, als die in der Regel recht kurzen Bemerkungen, welche in den Lehrbüchern der physikalischen Untersuchungsmethoden dem Stethoskop gewidmet werden. Dabei laufen jene meist nur auf ein subjectives Urtheil über den Vorzug dieser oder jener Construction hinaus und ich bin gewiss der Letzte, der glaubt, dass Skoda, Bamberger, Traube, Gerhardt ein schlechtes Instrument benutzt und empfohlen haben. Sieht man sich nach theoretischen Gründen um, so enthalten dieselben mitunter eine richtige zutreffende Bemerkung oder Beobachtung von Werth, nie sind sie erschöpfend, physikalisch absurd und sich selbst widersprechend häufig. Von den modernen Werken braucht man nur eines zu lesen, um die anderen zu kennen, alle laufen darauf hinaus, dass das Hohlstethoskop und zwar mit Recht sich gegenwärtig als das beste eingebürgert habe, von Skoda an wird Form und Stoff als so ziemlich oder ganz gleichgültig bezeichnet. Nur in dem kaum unternommenen oder mehr oder weniger misslungenen physikalischen Beweise differiren die sonst mit Recht so hochgeachteten Autoren von einander. Ich kenne eine einzige Ausnahme nur in Gerhardt¹⁾), der in seinen kurzen Bemerkungen weit mehr Richtiges über das Stethoskop gesagt hat, als vielleicht alle anderen zusammen. Wenn ich auch von dessen Anschauungen in nicht unwesentlichen Punkten abweiche, so müssen die nachfolgenden Untersuchungen mich dafür rechtfertigen. Ich habe sie angestellt, um einmal, so weit ich es vermag, den Gang der Schallwellen zu verfolgen, die, im Thorax entstehend, vom Stethoskop dem Ohr zugetragen werden.

Leider müssen wir da auf die alte, fast zum Ueberdruss erörterte Streitfrage eingehen, ob bei dem Hohlstethoskop die Luft, die Wand oder beides die Schallleitung übernimmt. Dass Holz den Schall nicht nur bedeutend schneller, sondern auch besser leitet als Luft, geht aus dem bekannten, in jedem Lehr-

¹⁾ Gerhardt, Lehrb. d. Auscult. und Percuss. IV. Aufl. Tübingen 1884.
S. 156 ff.

buch der Physik beschriebenen Versuch mit dem langen Balken hervor, an dessen einem Ende man das Ticken einer Taschenuhr, die an's andere Ende gehalten wird, nicht frei durch die Luft, sehr wohl aber beim directen Auflegen des Ohres hören kann. Bekanntlich hat von diesem Gesichtspunkt aus Niemeyer¹⁾ sein Akouoxylon construirt und auf's Lebhafteste empfohlen. Auch andere, wie Budd²⁾, haben die Höhlung für werthlos erklärt. Jetzt sind die soliden Stethoskope fast allgemein verlassen und umgekehrt die Wand der Stethoskope für irrelevant gehalten, alle neueren Autoren erklären sich in diesem Sinn, von den älteren namentlich auch Skoda³⁾), der ausdrücklich bemerkt: „Die Wahl des Holzes ist ganz gleichgültig; denn der Schall geht nur wenig durch das Holz der Röhre, sondern grösstentheils durch die Luft.“ Gründe werden für diese Meinung gar nicht beigebracht. Von den neueren erkennt zwar Gerhardt⁴⁾ auch der Luft den Hauptantheil für die Schallleitung zu, hält aber doch auch die Wand nicht für ganz gleichgültig; bemerkenswerth ist in seiner Ausführung besonders folgender Passus, auf den wir später noch zurückkommen müssen: „Die Aufgabe ist es, mit möglichst geringem Verlust die dem einen Ende des Stethoskops übertragene Schallerscheinung an dem anderen wahrzunehmen. Entscheidend ist dafür die Vollständigkeit der Reflexionen an der Aussenfläche des leitenden Mediums. Da sich die Bewegung eines Holzstabes leichter der umgebenden Luft mittheilt, als die einer Luftsäule ihrem Holzmantel, muss man die röhrenförmigen Stethoskope für die (nicht geschwinder, sondern) vollständiger leitenden halten, im Vergleich zu den stabartigen. Starre Röhren leiten besser als elastische, somit sind Holzröhren jenen aus Gummi vorzuziehen.“

Eine abweichende Stellung dieser Frage gegenüber nimmt Eichhorst⁵⁾ in seinem vortrefflichen Lehrbuch der physikalischen

¹⁾ Niemeyer, Handb. der theoret. und klin. Auscult. und Percuss. II. Bd. I. Abth. S. 4 ff.

²⁾ Citirt nach Niemeyer, a. a. O.

³⁾ Skoda, Abhandlung über Percussion und Auscultation. V. Aufl. Wien 1854. S. 39. VI. Aufl. S. 43, 44.

⁴⁾ Gerhardt, Lehrb. d. Auscult. und Percuss. IV. Aufl. S. 156 ff.

⁵⁾ Eichhorst, Lehrb. d. physik. Untersuchungsmethoden. III. Aufl. Wien 1889. I. Bd. S. 300.

Untersuchungsmethoden ein. Während andere doch auch noch der Wand einige Leitung zugestehen, äussert sich Eichhorst das eine Mal, dass den Hauptantheil der Schallleitung die Luft, vielleicht ausschliesslich, habe, das andere Mal sogar: „Beide Theile können nicht zugleich leiten, es kämen die Schallwellen durch's Holz früher an, als durch die Luft, und ähnlich einem bekannten Versuch Tyndall's müsste man, wenn auch nicht Verdoppelung der Schallerscheinungen, so doch wenigstens eine Verlängerung der Herztöne wahrnehmen müssen.“ Man fragt sich umsonst, was denn daran hindert, dass beide Theile nicht zugleich leiten könnten. Zudem zeigt doch die einfachste Rechnung, dass der Schall durch die Luft eines 20 cm langen Stethoskops, wenn er durch's Holz auch gar keine Zeit brauchte, doch nur um $\frac{1}{1650}$ Secunde hinter drein käme, wem ist's möglich, die Verlängerung eines Herztons um $\frac{1}{1650}$ Secunde zu erkennen?

Dem Satze Eichhorst's: „wenn es erwiesen ist, dass die Wand des Stethoskops ohne Einfluss auf die Schallleitung ist, so ist es vollkommen gleichgültig, ob man hohle Stethoskope aus Holz, Elfenbein, Metall, oder was es sonst sei, wählt“ kann man kaum widersprechen, nur sucht man vergebens nach einem Beweis für den Vordersatz. Mir kamen die Leistungen solider Stethoskope doch immer so gut vor, dass ich es für nöthiger erachtete, zunächst den Beweis zu führen, dass die Luft an der Schallleitung in hohlen Stethoskopen in wesentlichem Grade mitbeteiligt sei.

Der Beweis ist nun freilich für gewöhnliche Schallphänomene nicht schwer zu führen, man wird ihn aber nach den späteren Erörterungen auch keineswegs für überflüssig halten können.

Versuch 1. Das Ticken einer an der Wand hängenden Taschen-(Anker-)Uhr mit starkem Schlag konnte ich mit meinem eigenen Traube'schen Stethoskop (20 cm lang, Kirschbaumholz) aus 57 cm Entfernung hören (Distanz zwischen Uhr und unterem Ende des Stethoskops), mit einem Hörholz (untere Platte 32 mm, obere 50 mm Durchmesser) auf 5 cm. Wurde die Röhre meines Hohlstethoskops mit Watte verschlossen, so hörte ich das Ticken nur 1 cm weit oder nur bei Berührung. (Auf diese auffallende Differenz zwischen Hörholz und obturirtem Hohlstethoskop wird

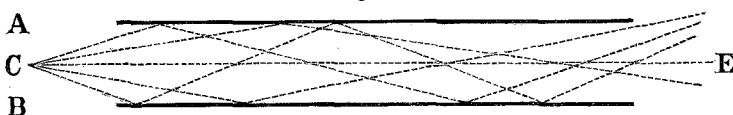
weiter unten noch näher einzugehen sein.) Jedenfalls ist damit der Beweis geliefert, dass die Luft an der Schallleitung mitbeteiligt ist.

Versuch 2. Bringt man ein Stethoskop, gleichviel ob hohles oder solides Instrument, in die nächste Nähe der Uhr, so erfolgt im Moment der Berührung eine höchst auffallende Verstärkung des Schalls. Es kann sich dabei nicht um blosen besseren Abschluss bei den Hohlstethoskopen handeln, denn die Verstärkung tritt auch dann und nur wenig schwächer ein, wenn man die Uhr nur mit dem Rande des Stethoskops oder sogar seitlich berührt. Hiemit ist nicht nur der unwidersprechbare Beweis erbracht, dass die Wand bei der Schallleitung mitbeteiligt ist, sondern nach dem gewonnenen Sinneseindruck, der bedeutenden Schallverstärkung, kaum mehr fraglich, dass die Schallleitung durch die Luft an Bedeutung gewaltig zurücktritt. Man kann bekanntlich mit dem Stethoskop auscultiren auch wenn kein vollständiger Abschluss an der Thoraxwand erzielt wird, wenn das Instrument schief aufsitzt, wer getraut sich aber etwas zu hören, wenn er das Hohlstethoskop der Brustwand bis auf einen Bruchtheil eines Millimeters nähert, die Berührung aber vermeidet! Ich habe auch diese Versuche angestellt, das Resultat ist wahrlich eindeutig genug. Man kann beim läderlichsten Aufsetzen des Hohlstethoskops, wo für das seitliche Entweichen der Schallwellen ein grosser Spalt bleibt, noch eine Herzdiagnose stellen und man hört nichts, gar nichts, wenn man die Brustwand überhaupt nicht berührt. Auf die relative quantitative Beteiligung von Luft und Holz an der Schallleitung wird später noch genauer einzugehen sein, jetzt wollen wir, da doch nach der Ansicht aller Autoren die Stethoskope vornehmlich als Communicationsröhren wirken und nach Versuch 1 die Luft jedenfalls mit in Betracht kommen könnte, die Luftleitung zunächst in's Auge fassen. Die verschiedenen Formen, welche den Stethoskopen von ihren jeweiligen Erfindern gegeben wurden, sollen alle ohne Ausnahme dem Zweck dienen, die Schallwellen der Luft dem Ohr möglichst concentrirt und möglichst wenig abgeschwächt zuzutragen. Nun ist es wichtig, sich zweier aus der täglichen Erfahrung wohl bekannten und erhärteten That-sachen zu erinnern. Nicht nur die Schallwellen werden von

unserem Gehörorgan percipirt, die direct in den äusseren Gehörgang eintreten, sondern auch die, welche die Ohrmuschel allein treffen, werden — wie man glaubt — durch die sonderbare Gestalt dieses Trichters dem Gehörgang zugeleitet und kommen noch mit zur Verwerthung; immerhin werden die ersteren an und für sich stärker das Trommelfell irritiren, letztere aber sind entsprechend dem grösseren Querschnitt des auffangenden Organs die zahlreicheren. Die zweite Erfahrungsthatsache ist die, dass Schallwellen, welche unser Ohr senkrecht treffen, lauter percipirt werden, als solche, welche in schiefem Winkel eintreten. Wir müssen also nicht nur die Schallwellen, welche dem Meatus acust. extern. direct, sondern auch die berücksichtigen, die vom Stethoskop der Ohrmuschel zugetragen werden.

Alle Hohlstethoskope ohne Ausnahme bestehen, wie bekannt, aus drei Theilen, einem kurzen trichterförmigen unteren Ende zum „Sammeln“ der Schallwellen, einem cylindrisch gebohrten langen Mittelstück und einem Ansatz für's Ohr, Platte oder Conus, zum Einsticken in den Gehörgang. Betrachten wir zuerst was am einfachsten ist, die Wirkung des cylindrischen Mittelstücks. Von jedem Punkt des schwingenden Körpers AB (Fig. 1)

Fig. 1.



geht die Wellenbewegung in concentrischen Kreisen weiter und so schickt z. B. der Punkt C nicht den Schallstrahl CE, sondern noch eine ganze Anzahl anderer gegen das Stethoskop, von denen einige in die Ebene des Papiers fallende mit gestrichelten Linien bezeichnet sind. Die Strahlen, welche der Axe nicht parallel sind, die ungeheure Mehrzahl erfährt an der Innenwand der Röhre nach dem bekannten Gesetz (Einfallswinkel = Ausfallswinkel) eine Reflexion. So werden die Wellenzüge stets in gleichem Winkel von einer Wand zur anderen geworfen und verlassen am anderen Ende in eben dem Winkel der Axe die Röhre, in welchem sie in dieselbe eintraten; bei gleicher Länge der Röhre erfahren dabei, wie die Fig. 1 zeigt, die Schallwellen, welche in stärkerem Winkel zur Axe eintreten, eine häufigere

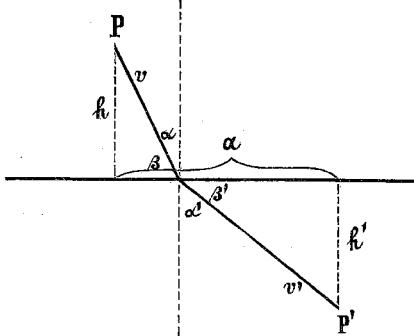
Reflexion als die, welche nahezu parallel zur Axe sich bewegen. Nun geht, sobald eine Welle ein anderes Medium trifft, etwas für die Wellenbewegung verloren, indem ein Theil der Bewegung in Wärme verwandelt wird, ein anderer Theil der Bewegung theilt sich dem begrenzenden Leiter mit und erst ein dritter Theil bildet die reflectirte Welle, auch von dieser wird ein Theil durch Interferenz vernichtet, weil beim Uebergang von Luft in ein besser leitendes Medium (Holz) die reflectirten Wellen mit einem Gangunterschied von $\frac{1}{2}$ Wellenlänge weiter gehen. Man muss sich nun billig wundern, dass der Schall bei häufiger Reflexion in einer cylindrischen Röhre nicht bald sehr bedeutend abgeschwächt werden soll. Von der starken Abschwächung, die der Schall durch häufige Reflexion erfährt, kann man sich bei günstiger Gelegenheit, z. B. in einem „Echozimmer“ sehr gut überzeugen. Der Schall, der hier durch die Stimme oder das Klatschen in die Hände hervorgerufen wird, erzeugt ein sich oftmals wiederholendes Knattern, das aber schon nach wenigen Secunden bis zum Verstummen abgeschwächt ist. Auf der anderen Seite haben die Versuche von Biot¹⁾ gezeigt, dass auf die Entfernung 3120 Fuss mit leiser Stimme eine Unterhaltung durch eine eiserne Röhre geführt werden konnte und selbst das leiseste Flüstern vernehmbar war. Dieser anscheinende Widerspruch harrt seiner Lösung, die wir versuchen wollen; da ja doch die Stethoskope nach der fast allgemein herrschenden Ansicht nichts Anderes sein sollen als Communicationsröhren und da die Stethoskope auch von diesem Gesichtspunkt aus construirt werden, müssen wir schon auf diesen Punkt näher eingehen.

Ein Theil der Wellenbewegung geht, wie wir sahen, bei jeder Reflexion unter Wärmebildung verloren, daran lässt sich nichts ändern, dagegen ist die Einbusse, welche die reflectirte Welle dadurch erleitet, dass ein Theil in's angrenzende neue Medium übergeht, nicht nur die viel bedeutendere, sondern auch unter gewissen Bedingungen eine höchst verschiedene. Ein Jeder kennt die auffallende Wirkung der Lichtleiter, die in Form von gebogenen Glasstäben dem Mikroskop das Licht einer Lampe, trotz vielfacher innerer Reflexion sehr wenig geschwächt zuführen,

¹⁾ Tyndall, Der Schall. Braunschweig 1869. S. 15.

weil bei dem bekannten Brechungsverhältniss von Glas zu Luft ein grosser Theil der Lichtstrahlen im dichteren Medium (Glas) eine totale Reflexion erfährt und aus dem Glas seitlich gar nicht mehr heraus kann; diese total reflectirten Strahlen kommen fast ganz ungeschwächt zur Fortleitung im gebogenen Glasstab. Nimmt man nun nichts weiter an, und dieser Annahme wird wohl Niemand widersprechen, als dass beim Uebergang der Schallwellen aus einem Leiter in den anderen die Wellen ihre Richtung so einschlagen, dass sie von einem Punkt im ersten

Fig. 2.



Leiter zu einem zweiten in der kürzest möglichen Zeit gelangen, so lässt sich durch die Mittel der Infinitesimalrechnung leicht zeigen, dass dabei die Wellen eine Ablenkung von ihrem ursprünglichen Weg erleiden und zwar so, dass der Sinus des Einfallswinkels sich zum Sinus des Brechungswinkels verhält, wie die Geschwindigkeit, die der Schall im ersten Medium hat, zu der im zweiten¹⁾.

schwindigkeit, die der Schall im ersten Medium hat, zu der im zweiten¹⁾.

¹⁾ Der mathematische Beweis hiefür ist bekanntlich nicht schwer zu liefern. In Fig. 2 soll die Wellenbewegung vom Punkt P im ersten Medium sich bis zum Punkte P' im zweiten fortpflanzen und bei x in dieses übergehen. Die Geschwindigkeit im ersten Medium soll v , die im zweiten v' betragen. Wie muss x gelegen sein, damit die Zeit T , welche die Welle braucht, um von P zu P' zu gelangen ein Minimum ist? h und h' sollen in P und P' errichtete Lothe sein, ihre Entfernung betrage a, ein Loth geht auch durch den Punkt x, die übrigen Bezeichnungen sind selbstverständlich. Man hat nun

$$T = \frac{\sqrt{x^2 + h^2}}{v} + \frac{\sqrt{(a-x)^2 + h'^2}}{v'},$$

derivirt man nach x , so erhält man

$$\frac{dT}{dx} = \frac{x}{v\sqrt{x^2 + h^2}} - \frac{a-x}{v'\sqrt{(a-x)^2 + h'^2}} = 0,$$

Hiermit ist bewiesen, dass das Snellius'sche Brechungsgesetz auch für die Fortbewegung der Schallwellen Gültigkeit haben muss. Es ist nun leicht, z. B. für Tannenholz den Winkel zu berechnen, bei welchem totale Reflexion eintreten muss. Im Tannenholz bewegt sich der Schall bekanntlich 18mal schneller als in Luft. $\frac{1}{18}$ giebt also den Sinus des gesuchten Winkels, der beinahe $3^\circ 11' 5''$ beträgt. Also nur fast senkrecht auf die Wand des Stethoskops auftreffende Strahlen dringen in das Holz ein, die anderen erfahren eine totale Reflexion. Anders ist es natürlich beim Uebergang von Holz in Luft, hier kann es keine totale Reflexion geben und alle spitzwinklig einfallenden Schallstrahlen treten unter sehr grossem Winkel aus. Hiermit haben wir einen sehr schönen Beweis für die Richtigkeit der Anschauungen Gerhardt's, die oben citirt wurden. Nur die Luft vermag (und zwar in Folge totaler Reflexion des Schalls) als Communicationsröhre zu dienen, nicht der Holzstab. In diesem pflanzen sich thatsächlich nur die Schallwellen ungeschwächt fort, die in ihm axial oder so nahe der axialen Richtung verlaufen, dass sie noch das Ende des soliden Leiters ohne Reflexion erreichen, was aber an die Aussenfläche (oder auch an die Innenfläche bei Hohlstethoskopen) trifft, geht zu grossem Theil in die umgebende Luft über. Hiemit haben wir aber zugleich auch einen Anhaltspunkt dafür, dass das gewählte feste Material für eine Communication nicht gleichgültig ist. Nicht nur deswegen, weil das eine besser und rascher den Schall leitet als das andere, sondern vornehmlich auch darum, weil eben in Zu-

durch nochmalige Derivation folgt

$$\frac{d^2T}{dx^2} = \frac{h^2}{v(x^2+h^2)^{\frac{3}{2}}} + \frac{h'^2}{v[(a-x)^2+h'^2]^{\frac{3}{2}}}.$$

Die zweite Derivirte ist unter allen Umständen positiv; die Function hat also ein Minimum für

$$\frac{x}{v\sqrt{x^2+h^2}} - \frac{a-x}{v'\sqrt{(a-x)^2+h'^2}} = 0;$$

hieraus folgt

$$\frac{\cos \beta}{v} - \frac{\cos \beta'}{v'} = 0$$

oder

$$\sin \alpha : \sin \alpha' = v : v'.$$

sammenhang mit der Geschwindigkeit des Schalls im betreffenden Medium der Winkel, bei welchem totale Reflexion eintritt, verschieden gross ist. Es ist beispielsweise der Grenzwinkel für

Eisen . . .	3° 26' 20"
Lindenholz .	3° 49' 20"
Erlenholz .	4° 2' 14"
Ahornholz .	4° 39' 40"
Silber . . .	6° 22' 45".

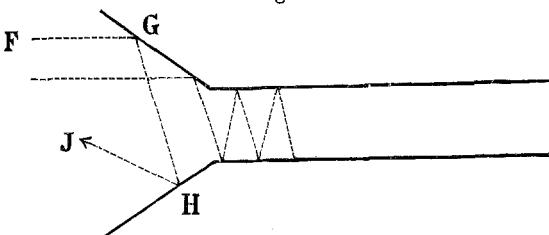
Es würden also demnach alle Schallwellen, die mit einem Einfallswinkel zwischen 3° 11' und 6° 23' die Wand des Stethoskops treffen, eine totale Reflexion erfahren, wenn sie aus Tannenholz bestände und so in der Röhre fortgeleitet werden, in einer silbernen Röhre würden diese Wellen aber zum grössten Theil in die Wand ein- und diese durchdringen und so für die Fortleitung zum Ohr verloren gehen. Die Grenzwinkel für die gebräuchlichsten Holzarten liegen schon näher bei einander, das beste ist aber immerhin von diesem Gesichtspunkte aus das Tannenholz.

Aus den vorausgehenden Untersuchungen dürfen wir den Schluss ziehen, dass alle Schallwellen, welche dem Mittelstück eines Hohlstethoskopes einmal übermittelt sind, ohne wesentlichen Verlust an Stärke und zwar durch totale Reflexion einfach weitergeleitet werden; ausgenommen sind hiervon nur Strahlen, welche zur Axe einen kleineren Winkel als 3° 11' machen, diese müssen aber die Wand der Röhre schon in sehr geringer Entfernung von ihrem unteren Ende treffen. Hat diese z. B. einen Durchmesser von 5 mm, so ist die Entfernung $= 5 \text{ tang } (3^\circ 11') = 0,28 \text{ mm}$. Jede Schallwelle, die also einmal tiefer als 0,28 mm in die Röhre eingedrungen ist (von den anderen auch manche), muss nothwendigerweise durch totale Reflexion weiter geleitet werden.

Diese Function, Schallwellen zu sammeln und dem Mittelstück zur Weiterleitung zu übermitteln, kommt dem unteren trichterförmigen Ende zu, das jedes Stethoskop besitzt (ausgenommen die Laënnec'schen, bei denen aber auch durch Herausnahme eines Obturators das untere Ende trichterförmig gestaltet werden kann). Es ist nun einer weiteren Erörterung nicht werth, dass ein weiterer Trichter ceteris paribus mehr Schallwellen der

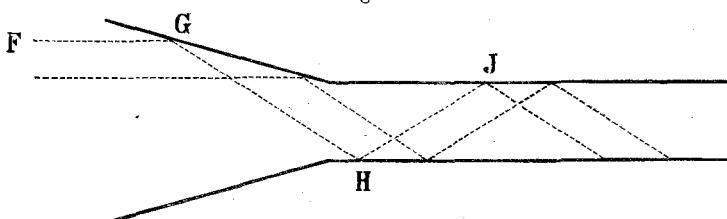
mittleren Röhre zuleiten kann als ein engerer, man darf aber mit der Grösse der Trichtermündung nicht zu weit gehen, weil sonst das Instrument aufhört, die Schallwahrnehmungen zu localisiren. Hier interessirt nur die Frage, wie gleich weite Trichter gestaltet sein sollen, damit sie ihre Aufgabe möglichst gut erfüllen. Viel besser als weitschweifende Erörterungen wird dies aus den untenstehenden einfachen Zeichnungen ersichtlich. Man bemerkt, dass in Fig. 3 der Trichter einen Strahl der Röhre

Fig. 3.



zuleitet, der ohne diesen nicht in die Röhre gekommen wäre. Dagegen kommt der Strahl FGHJ in Fig. 3 nicht in das Mittelstück, wohl aber in Fig. 4. In Fig. 3 und 4 ist die Trichter-

Fig. 4.

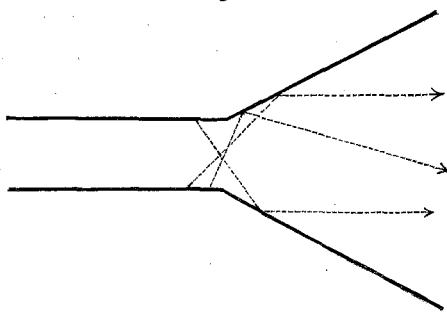


mündung gleich weit, nur ihr Oeffnungswinkel verschieden, es ist unmittelbar ersichtlich, dass ein schlank sich verjüngender, tiefer Trichter bessere Resultate geben muss als ein seichter.

Nun kommen wir zu dem Theil des Stethoskops, der die grösste Mannichfaltigkeit der Formen aufzuweisen hat; theils aus Gründen der Bequemlichkeit, theils weil man glaubte, besonders gute akustische Resultate damit zu erhalten. Wie Fig. 1 lehrt, verlassen die Schallwellen das cylindrische Mittelstück alle im nämlichen Winkel zur Axe, mit welchem sie in dasselbe eintreten. Soll dieses Verhältniss verbessert werden, so dass die

schief austretenden Strahlen mehr senkrecht gegen die Ohrmuschel gerichtet sind, so kann kein Zweifel darüber obwalten, dass dies nur durch einen sich erweiternden Ansatz an die Röhre, einen Trichter, wie ihn Traube's Stethoskop besitzt und wie Fig. 5 zeigt, geschehen kann. So bekannt dies auch ist und so

Fig. 5.



lang dieses Princip schon bei der Construction des Sprachrohrs Verwendung fand, so nimmt doch, so viel ich sehe, einzig und allein Gerhardt auf dieses theoretische Postulat Rücksicht. Doch glaubt Gerhardt, dass solche sich gegen das Ohr erweiternde Trichter

in ihren Dimensionen mit dem Gehörgang in Conflict kommen, dem jedenfalls durch einen conusförmigen Ansatz die Schallwellen vollkommen zugeleitet würden. Dabei wird aber offenbar die akustische Leitung der Ohrmuschel unterschätzt, die ja die ihr überlieferten Schallwellen zur Verwerthung beim Acte des Hörens bringt, besonders wenn sie senkrecht auftreffen. Was das zapfenförmige Ende des Stethoskops anlangt, so wurde es bekanntlich von L. Fick¹⁾ empfohlen, von Skoda wurden nach der physikalischen Seite die Vortheile zugegeben, nur hielt Skoda dasselbe für praktisch unbequem, namentlich bei öfterem Gebrauch. Niemeyer hat noch sein Akouoxylon mit einem Conus versehen, der bei der Auscultation in den Gehörgang gesteckt wurde, heutzutage wird es wohl Niemandem mehr einfallen, bei einem starren Stethoskop einen Endzapfen zu verwenden, man riskirt bei einer unvorhergesehenen Bewegung des Kranken sein Trommelfell, bei häufigerem Gebrauch können schmerzhafte Reizungen des äusseren Gehörgangs gar nicht ausbleiben. Dagegen ist für den Endconus das flexible Stethoskop unbestrittene Domäne geworden und auch am Otoskop findet es, so viel ich weiss, allgemeine Verwendung. Man hat sich eben von der Anschauung, dass hiedurch eine besonders starke Con-

¹⁾ L. Fick, Müller's Archiv. 1855.

centration der Schallwellen im Gehörgang und ein besonders guter „Abschluss“ erreicht werde, leiten lassen. Betrachtet man die Wirkungsweise eines solchen zapfenförmigen Ansatzes genauer, so liegen die Verhältnisse freilich anders. Der perforirte Zapfen verengert ohne allen Zweifel das Lumen des Stethoskops und auch das Lumen des Gehörgangs, so weit er in diesem steckt. Durch den Conus geht also nur ein kleiner Theil der Schallwellen, die im cylindrischen Theil des Stethoskops herankommen, der andere wird von dem festen Material des Conus einfach aufgefangen und nur zum geringen Theil in der Wand des Conus weiter geleitet. Verengert sich die untere Oeffnung des Conus aber allmählich, so müssen die eintretenden Schallwellen nach den oben erörterten Gesetzen der Reflexion nothwendig von der Richtung der Axe abgelenkt und immer mehr senkrecht zur Wand gestellt werden. Wenn man also auf die Leitung der Wellen Rücksicht nimmt, die sich nur durch die Luft vollzieht, so ist der Conus der unvorteilhafteste Ansatz für ein Hörrohr, dagegen ein sich gegen das Ohr erweiternder Trichter der beste. In einem solchen, wie vom Sprachrohr bekannt ist, werden die Schallwellen, wie Fig. 5 zeigt, immer mehr der Axe parallel gemacht, je häufiger sie reflectirt werden, je länger also der Trichter ist, nur sind die Trichter an den im Handel vorkommenden Instrumenten sammt und sondes noch zu seicht, um diesem Zweck, der Zusammenhaltung der Schallwellen, gut zu dienen. Mein eigenes Stethoskop nach Traube ist gerade wegen seines besonders tiefen Trichters gewählt und auch der hat noch einen Oeffnungswinkel von fast 100° . Man weiss aber, dass Sprachrohre den besten Effect geben, wenn sie einen Oeffnungswinkel zwischen 20 und 25° besitzen, von diesem Gesichtspunkt aus sind also sämmtliche trichterförmige Ohrplatten entschieden viel zu seicht. Was die planparallelen oder biconvexen Platten anbelangt, die an vielen Stethoskopen sich finden, z. B. am Bamberger'schen, so ändern sie begreiflicherweise die Richtung der aus dem Mittelstück kommenden Schallwellen gar nicht und dienen nur dazu, das Instrument dem Ohr zu adaptiren, was nebenbei gesagt, auch mit einer vertieften Platte viel leichter und sicherer geschieht. Mit einem viel citirten Wort hat A. Fick in seiner vortrefflichen „Medizinischen

Physik“ diese Platte die physikalisch unbegreifliche genannt, wir werden auf sie später noch einmal zurückkommen.

Nun zu dem Theil der Schallwellen, die ihre Fortleitung in der Wand des Stethoskops finden. Wie wir weiter oben gesehen haben, findet in der Wand des Hörrohrs eine totale Reflexion nicht statt, alle Schallstrahlen, welche an die (innere oder äussere) Oberfläche gelangen, treten zum grössten Theil aus und zwar entsprechend dem grossen Leitungsvermögen des Holzes (18 : 1 in der Luft) in einem sehr kleinen Winkel mit dem Loth. Bei der geringen Anzahl von Schallwellen, welche das Holz dem Ohr zuleitet, muss man sich fragen, wie denn überhaupt ein thatsächlich so lauter Schall durch solide Stethoskope und bei den hohlen auch nachweislich (vergl. Vers. 2) vermittelt werden kann. Da ist denn für's erste der Querschnitt der Wand (oder des Stabes beim nicht perforirten Stethoskop) nicht gleichgültig. Der dünne Rand des Hohlstethoskops nahm in Versuch 1 offenbar weniger von den durch die Luft kommenden Schallwellen auf als die 32 mm Durchmesser haltende Bodenplatte des Hörholzes. Dann sind aber die Fortleitungsbedingungen für die durch die Wand vermittelten Schallwellen aus einem sehr einfachen Grund viel günstigere als die, welche durch den Hohlraum des Rohres gehen. Von der schwingenden Brustwand aus geht der Schall direct in's Holz der Röhre, von da direct auf die Weichtheile des Kopfes und kann so dem inneren Ohr übermittelt werden, ohne dass er ein einziges Mal durch Luft hätte gehen müssen, überall findet er in continuo feste und flüssige Leiter vor. Anders bei den Schallwellen, die unter dem Stethoskop von der vibrierenden Brustwand aus der Luft übermittelt werden, sie treffen auf's Trommelfell und müssen erst dieses wieder mit sammt seinem weiteren schallleitenden Apparat in Mitschwingungen versetzen; es ist aber bekannt (Doppelthüren, Kissen u. s. w.), dass beim Uebergang von festen Leitern in Luft und umgekehrt allemal ein grosser Verlust an Stärke für die weiter geleitete Schallwelle entsteht, hört man doch für gewöhnlich von den Herztonen in freier Luft nichts, wenn man das Ohr auch ganz nah an die Brustwand heranbringt.

Die Rechnung liegt also jetzt so: durch die Wand des Stethoskops wird nur ein dünnes Bündel von starken Wellen,

ausgezeichnet gut fortgeleitet, ein viel dickeres von sehr schwachen Wellen durch das Lumen der Röhre.

Ich habe mich bemüht, eine Methode zu ersinnen, mittelst welcher man den Anteil der Luft- und Wandleitung an der akustischen Leitung feststellen und zudem verschiedene Stethoskope nach ihrer Güte zahlenmäßig vergleichen kann, was letzteres man bis jetzt auch nur schätzungsweise konnte.

Ich bin dabei auf grössere Schwierigkeiten gestossen, als ich Anfangs erwartet hatte. Diese Schwierigkeiten betreffen die mess- und vergleichbare Abstufung einer Schallquelle. Der nächstliegende Gedanke, die Entfernung zu bestimmen, aus welcher man eine gleichmässige Schallquelle noch zu hören vermag, führt natürlich nicht zum Ziel, weil dabei, wie in Versuch 1, nur die Luftleitung in Betracht kommt und die so viel wichtigere des festen Materials ausserm Spiel bleibt. Vielfache Versuche, durch mehrfache Schichten eines dämpfenden Materials, z. B. Watte, zu auscultiren, haben mich auch nicht befriedigt und so verfiel ich zuletzt auf den Gedanken, das Ausklingen einer angeschlagenen Stimmgabel zu auscultiren. Die Versuchsanordnung ist eine sehr einfache. Man auscultirt mit dem zu prüfenden Stethoskop die Platte eines Tisches, schlägt eine Stimmgabel an, setzt diese sofort auf die Tischplatte auf und bestimmt die Zeit, die zwischen dem Anschlage der Stimmgabel bis zum Aufhören des immer leiser werdenden Tones verstreicht. Man möchte diese Methode zunächst für sehr ungenau halten, weil anscheinend wohl das plötzliche Entstehen eines Tones, nicht aber sein allmähliches Verschwinden scharf markirt werden kann, weil ferner die Schwingungsdauer einer angeschlagenen Stimmgabel abhängig ist von der Grösse der ersten Amplitude, i. e. der Stärke des Anschlags. Schon die ersten Versuche haben mir aber ein dieser Erwartung entgegenstehendes Resultat ergeben. Die Versuche wurden mit einer Stimmgabel, die den Ton d (Quinte des Kammertons) giebt, angestellt, die Zeit an einem vorzüglichen Taschenchronographen, der Viertelsecunden giebt, bestimmt. Um die Genauigkeit dieser Zeitbestimmung zu prüfen, wurde eine Serie von 100 Bestimmungen mit dem nämlichen Stethoskop in einem Zuge vorgenommen, Anschlag der Gabel und letztes Ausklingen möglichst sorgfältig bestimmt.

Die Serie der beobachteten Klangzeiten betrug $1078\frac{1}{2}$ Secunden, das Mittel für eine Beobachtung also ziemlich genau $10\frac{3}{4}$ Secunden. Eine Prüfung der Einzelbeobachtungen ergab als Fehler bei

13 Beobachtungen	0 Secunden
24	$\frac{1}{4}$
22	$\frac{2}{4}$
7	$\frac{3}{4}$
13	1
9	$1\frac{1}{4}$
8	$1\frac{1}{2}$
1	$1\frac{3}{4}$
1	$2\frac{1}{4}$
1	$2\frac{1}{2}$
1	$2\frac{3}{4}$

Summa 100 Beobachtungen.

Bei 59 pCt. betrug der Fehler also $0 - \frac{1}{2}$ Secunde, bei 20 pCt. $\frac{1}{2} - 1$ Secunde, bei 17 pCt. $1 - 1\frac{1}{2}$ Secunden. 4 pCt. sind schlechte Beobachtungen, die in jeder kleineren Versuchsreihe sofort auffallen und zur Verwerfung der Versuchsreihe führen müssten. Daneben ist zu bedenken, dass eine kleinere Versuchsreihe jedenfalls mit grösserer Aufmerksamkeit und Gleichmässigkeit durchgeführt werden kann, als eine, die sich wie die vorliegende mit allen Zwischenzeiten immerhin auf $1\frac{1}{2}$ Stunden belief und einigermaassen ermüdete. Wir wollen aber die Zahlen, wie sie uns einmal geliefert sind, verwenden, um nach dem Gesetze der Wahrscheinlichkeit die Genauigkeit zu ermitteln, die von kleineren Versuchsreihen erwartet werden kann. Verlangen wir eine Genauigkeit von $\pm \frac{1}{2}$ Secunde, so zeigen die 100 angestellten Versuche, dass dieser Bedingung 59 pCt. entsprechen, sagen wir weniger, rund $\frac{1}{2}$. Solche gute Beobachtungen, die keinen grösseren Fehler als $\frac{1}{2}$ Secunde aufweisen, wollen wir a, Beobachtungen mit grösseren b heissen.

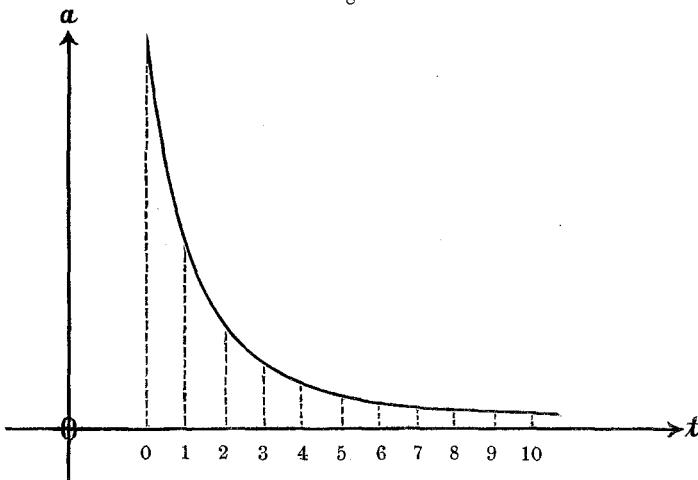
Eine Versuchsreihe von n Beobachtungen kann in ihrem arithmetischen Mittel einen Fehler von mehr als 1 Secunde nur dann aufweisen, wenn die Zahl der schlechten Beobachtungen $b > \frac{n}{2}$ ist, die der guten a wenigstens um 1 übersteigt, unter

5 Beobachtungen müsste b 3mal, unter 3 Beobachtungen mindestens 2mal vorkommen, a also bei 5 höchstens 2mal, bei 3 höchstens 1mal. Die Wahrscheinlichkeit, dass a unter n Beobachtungen 1mal vorkommt, ist $= \frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \dots + \frac{1}{2^{n-1}} + \frac{1}{2^n}$. Die

Wahrscheinlichkeit, dass unter 5 Beobachtungen a einmal vorkommt, ist demnach $= \frac{3}{2}$, die, dass a unter 4 Beobachtungen 1mal erscheint, $= \frac{1}{16}$; das Produkt $\frac{3}{2} \cdot \frac{1}{16} = \frac{4}{12}$ giebt die Wahrscheinlichkeit, dass unter 5 Beobachtungen 2 „gute“ (a) sich befinden, daraus ergiebt sich die Wahrscheinlichkeit für 3 „schlechte“ (b) $= \frac{4}{12}$; die Summe beider muss $= 1$ (Gewissheit) sein. $\frac{4}{12}$, rund $= \frac{1}{3}$ ist die Wahrscheinlichkeit, dass in einer Serie von 5 Beobachtungen 3 von grösserem Fehler als $\frac{1}{2}$ Secunde vorkommen, hiedurch bekommt das arithmetische Mittel aus den 5 Beobachtungen aber nur dann einen Fehler $> \frac{1}{2}$ Secunde, wenn alle 3 Beobachtungen b das nämliche Vorzeichen haben, was die Wahrscheinlichkeit $\frac{1}{3}$ für sich hat. $\frac{1}{3}$ ist Wahrscheinlichkeit eines Fehlers $> \frac{1}{2}$ Secunde für eine Beobachtungsreihe, dass dieser Fehler in 2 auf einander folgenden Serien von 5 Beobachtungen vorkommt $= \frac{1}{6}$; die 2 Beobachtungsreihen differiren von einander um 1 ganze Secunde, wenn die Fehler von $\frac{1}{2}$ Secunde in jeder der beiden Reihen das entgegengesetzte Vorzeichen haben, was die Wahrscheinlichkeit $= \frac{1}{2}$ für sich hat. Also ist die Wahrscheinlichkeit, dass 2 Serien zu 5 Beobachtungen in ihrem arithmetischen Mittel um mehr als 1 Secunde differiren $= \frac{1}{32}$, oder wenn das arithmetische Mittel von 2 Beobachtungsreihen um mehr als 1 Secunde differt, kann man 131 gegen 1 wetten, dass dieser Fehler nicht der Methode zur Last fällt, sondern eine verschieden gute Leistung der verwendeten Stethoskope bedeutet. Die angestellte Wahrscheinlichkeitsrechnung hat aber nur für Beobachtungen Gültigkeit, die unter den nämlichen Umständen und mit der nämlichen Sorgfalt angestellt wurden wie bei der Serie von 100 Beobachtungen, aus denen sie abgeleitet wurde. Vor Allem müssen die Beobachtungen in einem Zuge auf einander erfolgen und die Resultate des einen Tages können an einem anderen nicht mehr zur Vergleichung dienen. Will man die Güte eines neuen Instrumentes prüfen, so kann man jeweils ein aus früheren Ver-

suchen als gut erkanntes als Vergleichsobject zu einem neuen Vergleichsversuch verwenden. Die Zahlen, die man an verschiedenen Tagen mit dem nämlichen Instrument erhält, differiren wohl namentlich deshalb, weil man die Stärke des Anschlags nicht an 2 Tagen so hinreichend genau gleich bemessen kann, wie bei einer forlaufenden Versuchsreihe. Die Formel $a = A \cdot e^{-kt}$ gibt die Dämpfung einer angeschlagenen Stimmgabel an. a bedeutet die Grösse der Amplitude nach der Zeit t , A die Anfangsamplitude, e die Basis der natürlichen Logarithmen, k eine Constante. Kennte man diese Constante, so könnte man die Dämpfungscurve zeichnen, diese muss aber jedenfalls ungefähr wie die schematische Zeichnung, Fig. 6, ausfallen, in welcher die

Fig. 6.



Zeiten auf der t -Axe als Abscissen, die Amplituden als Ordinaten eingetragen sind. Die Curve kommt aus dem positiv Unendlichen, ist concav nach oben gekrümmt und convergiert mit wachsendem t (Zeit) gegen Null. Man sieht aus dem Anblick dieser Curve leicht Folgendes ein. Die berechnete Genauigkeit trifft nur für die Zeit ungefähr = 11 Secunden zu, bei längerer Beobachtungszeit ist sie geringer, bei kleinerer aber viel grösser, weil für 1 Secunde Zeitdifferenz im ersten Fall die Ordinaten weniger, im zweiten aber viel mehr differiren. Ferner ist ein Fehler bezüglich gleich starken Anschlags der Stimmgabel für

die beobachtete Zeit, also für den Fehler der Beobachtung von viel geringerem Belang, wenn die Anfangsamplitude gross, als wenn sie kleiner gewählt wurde. Würde man einmal doppelt so stark schlagen, wie das andere Mal, so käme für eine Anfangsamplitude über 8 eine Zeitdifferenz von 6 Secunden, für eine Anfangsamplitude über 2 nur von 2 Secunden heraus. Es ist also für die Güte der Methode wesentlich, nicht nur stets mit möglichst gleicher Stärke, sondern überhaupt möglichst stark die Stimmabel anzuschlagen.

Unter diesen Bedingungen wurden folgende Beobachtungsreihen angestellt. Zur Vergleichung kamen folgende Stethoskope: I. mein eigenes, 20 cm lang, Kirschbaumholz, nach Traube, II. Stethoskop nach Traube, Ebenholz, III. Stethoskop nach Bamberger, Ebenholz mit Elfenbeinplatte, IV. Stethoskop nach Gerhardt, V. Stethoskop nach Traube, aus nichtpolirtem Lindenholz, VI. Stethoskop nach Hawskey, aus Neusilber mit grosser flacher Hartgummiplatte, VII. zusammenschraubbares Taschenstethoskop aus Ebenholz, VIII. Laenec'schen Stethoskop, 50 cm lang, Kirschbaumholz mit Obturator, IX. dasselbe ohne Obturator, X. Hörholz mit kleinem Fuss, grösserer planparalleler Ohrplatte (Tannenholz?), XI. Holzcylinder, 15 cm lang, 3 cm dick, Ahornholz.

Das arithmetische Mittel in Secunden, berechnet aus 5 Beobachtungen, betrug für

I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.
12,4	12,6	11,9	12,4	13,1	11,7	11,3
						Secunden
VIII.	IX.	X.		XI.		
12,1	11,8	12,3		11,2		Secunden.

Hienach ist das Hörrohr aus Lindenholz den anderen entschieden überlegen (so hat es sich bei mehreren vergleichenden Versuchen stets herausgestellt), danach kommen in ziemlich gleicher Güte die Stethoskope nach Traube, Gerhardt, das massive Stethoskop, das Instrument von Laënnec und das nach Bamberger und entschieden minderwerthig ist das englische Modell und der roh gedrehte Holzcylinder.

Der Einfluss starken Drucks auf die Fortleitung des Schalls wurde beispielsweise durch folgenden Versuch eruiert. Es kam das Instrument I. (Traube), das, möglichst ohne Druck auf-

gesetzt, den Klang der Stimmgabel 12,4 Secunden hatte hören lassen, zur Verwendung. Bei dieser Versuchsreihe von 5 Beobachtungen wurde Kopf und Ohr schwer auf das Instrument gestützt, jetzt fand sich die Dauer des Tons = 10,7 Secunden. Um zu prüfen, ob dabei das Stethoskop oder die Tischplatte, auf der die Stimmgabel aufgesetzt war, an seinen Schwingungen verhindert war, wurde der Versuch wiederholt, das Ohr möglichst leise auf das Stethoskop aufgesetzt und dafür mit dem Arm mittelst des Holzylinders XI. ein starker Druck senkrecht auf die Tischplatte ausgeübt; nunmehr hörte ich den Stimmgabelton im Mittel 10,1 Secunden lang. Hienach ist es gar keinem Zweifel unterworfen, dass die Erfahrung Recht hat, wonach man mit leise aufgesetztem Stethoskop am besten hört, drückt man stärker, so wird die Brustwand in ihren Schwingungen beeinträchtigt und der Schall verliert an Intensität. Will man subjectiven Schätzungen dabei nicht allen Werth absprechen, so scheint sogar der allergeringste Druck nicht ohne bemerkbaren Einfluss auf die Lautheit des Schalls zu sein, weshalb die Forderung schon berechtigt sein dürfte, ein Stethoskop möglichst leicht zu construiren. Das oben erwähnte Stethoskop No. V. aus Lindenholz, augenscheinlich das beste von allen, ist zugleich das leichteste (19 g). Ihm kommt nur ein Stethoskop gleich, das in der obigen Reihe gar nicht aufgeführt ist, weil es zu anderem Zwecke einem Versuche dienen sollte. Es besitzt die medicinische Klinik zu Würzburg, ich weiss nicht wie lang, eine Suite von Stethoskopen, die alle nach der gleichen Form aus dem nämlichen Material gearbeitet sind und deren einzelne Exemplare sich nur durch die verschiedene Länge unterscheiden. Wer im Juliusspital gelegentlich in einem Curs diese Instrumente vorzeigte, dem musste es auffallen, dass das Instrument mit der Länge, so auch an Güte zunahm. Der Vergleich zwischen dem längsten Repräsentanten dieser Sorte (etwa 70 cm) und dem kürzesten (etwa 15 cm) liefert hiefür den zahlenmässigen Beleg. Das kurze Instrument gab als mittlere Dauer 10,1 Secunden, das lange 13,1 Secunden. Hiemit ist ein neuer ganz evidenter Beweis dafür erbracht, dass das Stethoskop den Schall nicht nur leitet, sondern auch (so durch Resonanz) verstärkt.

Zahlen, wie die oben angeführten, haben, wie schon er-

wähnt, das Missliche, das sie keine absolute Gültigkeit und keinen Maassstab für spätere Untersuchungen abgeben. Ich kann also z. B. nicht an ein Stethoskop die Forderung stellen, dass es den Ton einer d-Stimmgabel überall und zu jeder Zeit etwa 12 Secunden lang hören lasse. Wohl aber kann ich ein in dieser Versuchsreihe als gut erkanntes Instrument am anderen Ort als Vergleichsobject benutzen. So habe ich mit dem Stethoskop No. I, das einen guten Durchschnittswerth lieferte, noch mehrere, auch flexible Stethoskope verglichen. In einer Versuchsreihe fand sich für das Vergleichsstethoskop No. I. das arithmetische Mittel = 11,8 Secunden, für ein langes Stethoskop nach Fraentzel = 10,4, für ein flexibles Stethoskop nach Cammann à deux oreilles = 9,8 Secunden. Die Minderwerthigkeit flexibler Stethoskope stellte sich auch bei einem improvisirten Instrumente heraus, bei welchem ähnlich einem Stethoskop nach Voltolini, ein kleiner Glastrichter mit dem Schlauch eines Otoskops verbunden wurde, das Vergleichsstethoskop ergab 10,6, das flexible 9,8 Secunden.

Mittelst dieser Methode lässt sich nunmehr auch die Frage leicht entscheiden, ob die Wand oder der Hohlraum mehr an der Schallleitung betheiligt ist. Man kann die Leitung durch die Luft vollkommen ausschalten, wenn man die Röhre mit Watte verstopft, man hört dann das Ticken einer Uhr nur bei Berührung derselben. So wurde mein eigenes Stethoskop No. I. behandelt und der Vergleich ergab vor der Verstopfung 10,9 Secunden, nach der Verstopfung 11,8 Secunden, das Lindenholzstethoskop frei 10,8 Secunden, verstopft 10,3 Secunden, ein kurzes Celluloidstethoskop frei 10,4, verstopft 10,5 Secunden. Nach diesen Versuchen und Beobachtungen am Krankenbett halte ich es für vollkommen erwiesen, dass die Leistung eines Hohlstethoskops, wenn es mit Watte verstopft wird, nicht merklich an Güte verliert. Bei dem, wie oben erwähnt, hergerichteten Otoskop wurde die Schalldauer von 9,9 Secunden durch Abklemmen mittelst eines Quetschhahns auf 7,6 Secunden heruntergedrückt, dabei ist aber auch die Fortleitung durch die Wand alterirt, wie der Controlversuch mit Watteverstopfung des Trichterrohrs ergiebt, wobei der Schall 9,4 Secunden anhielt. Wie nothwendig es ist, bei flexiblen Stethoskopen die Schlauchwand nicht am Schwingen

zu verhindern, geht aus folgendem Versuche mit Cammann's binauralem Instrument hervor: Die Schalldauer wurde von 10,1 Secunden durch einfaches Aneinanderlegen beider Schläuche ohne alle Compression auf 8,1 Secunden herabgesetzt. Nach diesen Untersuchungen ist es gar keinem Zweifel unterworfen, dass beim Auscultiren mit dem Stethoskop die Wand geradezu alles, die Luft so gut wie nichts leistet. Wenn dennoch die Hohlstethoskope den soliden überlegen sind, so hat dies nur seinen Grund darin, dass bei den hohlen die Wand dünner, leichter und schwingungsfähiger gemacht werden kann.

Die oben erwähnte Thatsache, dass man mit blossem Ohr aus nächster Nähe am Thorax, aber noch in freier Luft, nichts hört, hat Gerhardt¹⁾ Veranlassung gegeben zu einem schönen Versuch. Er fand, dass er Herztöne und aneurysmatische Geräusche an dem aufgesetzten Stethoskop schon, ehe er es mit dem Ohr berührte, hören konnte. Mit Recht betrachtet Gerhardt diese Beobachtung als Beweis dafür, dass das Stethoskop eben nicht blos leite, sondern auch schallverstärkend wirke. Man wird nicht umhin können, diesen Beweis gelten zu lassen und auch die Angaben Gerhardt's richtig zu finden, „dass man die Herztöne mit dem blossen Ohr stets schwächer und diffuser hört“ und „pleuritische Reibegeräusche denn doch besser mit dem Hörrohr unterschieden werden“. Wenn Gerhardt aus diesen Gründen eine Resonanzwirkung des Stethoskops annimmt, muss man ihm beipflichten, wenn er aber den Hohlraum des Stethoskops für diese Resonanz in Anspruch nimmt, so kann ich ihm nicht folgen. Ein röhrenförmiger Hohlraum wie der eines Stethoskops vermag bekanntlich nur Wellen von ganz bestimmter Länge durch Resonanz zu verstärken, Gerhardt nimmt nun in der That an, dass „die Töne, welche gut in Stethoskopen von gewöhnlicher Länge (etwa 20 cm) resoniren, etwa in der Höhe der Herztöne und etwas tiefen Trachealathmens liegen“. Ganz abgesehen davon, dass die Herztöne in physikalischem Sinn keine Töne, sondern Geräusche sind, würde damit die Schallverstärkung für die doch ohne Zweifel viel höher liegenden Reibegeräusche nicht erklärt sein. Zugegeben, dass die hohle Röhre aus jedem Geräusch die ihm conformen Wellen electiv

¹⁾ Lehrb. der Auscult. und Percuss., a. a. O.

verstärkt, so müsste man nothwendig je nach der geringeren oder bedeutenderen Länge des verwendeten Instrumentes die Herztöne, zum Mindesten das Trachealathmen constant höher oder tiefer zu hören bekommen; das amphorische Athmen und den Metallklang bei gleichzeitiger Percussion hört man mit dem aufgesetzten Stethoskop gleich gut, mögen die Phänomene in einer kleineren Caverne entstehen und höher in der Scala liegen, oder in dem grossen Hohlraum eines Pneumothorax. Hieraus geht, wie mir scheinen will, mit Evidenz hervor, dass zwar eine Resonanzwirkung des Stethoskops nicht geleugnet werden kann, dass sie aber ganz wo anders als in dem Hohlraum desselben gesucht werden muss. Sie ist vielmehr offenbar von stehenden Schwingungen des Holzes abhängig. Dieser Stoff vermag, wie ja unzählige Beispiele zur Genüge darthun, nicht nur als Resonanzboden eines musikalischen Instrumentes für die verschiedensten Töne und Klänge zu resoniren, sondern auch, wie die Holzplatten der Telephone beispielsweise lehren, die kunderbunten Schwingungen, die ein Geräusch darstellen, auf das Genaueste mitzumachen. Es ist auch gar kein Grund abzusehen, warum die dünne Wand einer Röhre, die aus gut getrocknetem Holze besteht, sich anders verhalten soll. Man kann sich überdies durch einen einfachen Versuch von der Richtigkeit dieser Hypothese schlagend überzeugen. Es gelingt nehmlich leicht, die Resonanzwirkung eines Stethoskops zu verstärken. Zu diesem Zweck habe ich eine dünne Platte aus Ahornholz von etwa 20 cm Durchmesser auf mein Stethoskop zwischen Mittelstück und Ohrplatte aufgeschraubt. Setzt man diese Vorrichtung auf das Herz, so braucht man das Ohr nur bis auf etwa 2 cm dem Stethoskop zu nähern, um die Herztöne, freilich sehr leise, zu vernehmen. Ohne die verstärkende Holzplatte hört man aus dieser Entfernung gar nichts. Dieser Versuch gelingt nun auch dann, wenn die Röhre des Hohlstethoskops mit Watte ganz ausgestopft ist, nur scheint die Resonanz geringer auszufallen.

Am einfachsten wird die Resonanzwirkung eines (hohlen oder soliden) Stethoskops dadurch demonstriert, dass man auf das freigehaltene Instrument eine angeschlagene Stimmgabel aufsetzt, deren Ton sofort deutlich verstärkt wird; grosse Ohrplatten können offenbar als Resonatoren wirken.

Wenn wir sonach gezwungen sind, auch noch die Resonanzwirkung der Hohlstethoskope auf die Schwingungen der Wand zu beziehen, was bleibt dann noch für die Luft im Hohlraum übrig! Herzlich wenig freilich und doch stehen wir damit keineswegs im Gegensatz zu der tausendfältigen Erfahrung, die schliesslich den Hohlstethoskopen den Sieg über ihren Concurrenten, das Hörholz, derart verschafft hat, dass letzteres — ich weiss nicht fast oder wirklich — von Niemandem mehr gebraucht wird. Sind die Hohlstethoskope wirklich die besseren und ich zweifle keinen Augenblick daran, dann verdanken sie ihre Ueberlegenheit nicht den akustischen Leistungen des Hohlraums, sondern der für die Resonanzwirkung günstigeren Form, die das Holz dadurch bekommen hat, dass es durchbohrt und zu einer dünnwandigen Röhre gestaltet wurde¹⁾.

Hiemit haben wir nun den letzten Schritt in ein Gebiet gethan, in welchem alle Theorie aufhört, denn wenn einmal die Resonanzböden in Frage kommen, spielt bekanntlich die Empirie die erste Violine. Nur so viel kann und muss man, wie ich glaube, aus den vorstehenden Erörterungen im vollen Gegensatz zur Meinung aller Autoren schliessen, dass Material und Form des Stethoskops nicht gleichgültig, sondern die Hauptsache ist, wenn man ein möglichst vollkommenes Instrument liefern will; ja gleichgültig meinetwegen insofern, als ein Geübter auch mit einem Hörrohr von relativ geringerem Werthe vorzügliche Diagnosen stellen kann. Wir sind vorläufig keineswegs im Stande, allgemein gültige genaue Vorschriften für die Gestaltung eines Stethoskops aufzustellen, wenn auch im Vorgetragenen Manches vor direct Widersinnigem bewahren mag, dagegen kann man wohl als das beste Material trockenes Holz von gleichmässiger Faser bezeichnen. Im Uebrigen sind die Stethoskope, wie die musikalischen Instrumente, Individuen und ein vorzüglicher Repräsentant einer geringeren Sorte kann einem schlechten des

¹⁾ Alison, der sich sonst durch sonderbare Ideen über Akustik auszeichnen scheint, erklärt das Stethoskop für einen *essentially solid conductor*, in welchem die Luftsäule nur eingeschlossen sei, um die Schallerscheinungen des Holzes zu erleichtern, daher man eine möglichst leicht vibrirende Holzart wählen müsse (citirt nach Niemeyer, Handb. der Auscult. und Percuss. II. 1. S. 6 ff.).

besten Modells gleich oder selbst überlegen sein, wie manche Violine von Amati oder Stradivarius einem Guarnerio nachsteht.

In dieser Beziehung ist eine Bemerkung, welche v. Leube gelegentlich der Discussion dieses Gegenstandes in der physikalisch-medicinischen Gesellschaft zu Würzburg machte, sicher nicht zu unterschätzen. v. Leube hatte, unabhängig von mir, auch einem Stethoskop aus Lindenholz nach seinen Erfahrungen den Preis vor seinen anderen Instrumenten zuerkannt, es war dies ebenso wie meines aus unpolirtem Holz verfertigt und v. Leube hält die Oberflächengestaltung durch Politur für nicht gleichgültig bezüglich der Schwingungsfähigkeit der hölzernen Röhren. Bekanntlich schreibt man in Fachkreisen die eminente Klangwirkung der Cremoneser Geigen zum guten Theil dem eigenthümlichen Firniss zu, mit dem diese Meisterinstrumente überzogen sind und dessen Zubereitung man erst in der allerjüngsten Zeit wieder neu gefunden haben will.

Es bleibt nun noch die Frage zu erörtern, wie dem Gehörorgan die vom Stethoskop kommenden Schallwellen übermittelt werden, wenn der Uebergang durch die Luft auf's Trommelfell durch Verstopfung mit Watte eliminiert ist. Es bliebe da die Knochenleitung übrig, aber auch diese muss ausgeschlossen werden, es gelingt schlechterdings nicht, mit anderen Theilen des Schädels, der Stirn, dem Proc. mastoideus zu auscultiren, die Mitwirkung der Ohrmuschel ist hiezu unerlässliche Bedingung. Die Bedeutung dieses Organs beim Acte des Hörens ist ja bekannt genug und schon oben habe ich mir ebenfalls erlaubt, die Schallwellen, welche die Ohrmuschel überhaupt noch treffen, als akustisch wirksam anzusprechen. Die Meinung ist gang und gäbe, dass die Ohrmuschel die Function hat, mehr Schallwellen aufzufangen und sie wie in einem Trichter in den äusseren Gehörgang hinein und so dem Trommelfell zuzuführen. Diese Function erklärt das Resultat meiner Versuche aber keineswegs und dass sie falsch ist, konnte ich durch die einfachsten Versuche leicht nachweisen. Ich hörte mit freiem Ohr das Ticken der Taschenuhr etwa 2 m weit, der äussere Gehörgang wurde mit Watte verschlossen, jetzt war das Ticken in 50 cm Entfernung noch vernehmbar, wurde aber noch die Ohrmuschel durch die vorgelegte Hand abgeblendet, so war die Uhr auch

in der allernächsten Nähe nicht mehr zu hören. In 50 cm Entfernung hatte ich also mit meiner freien Ohrmuschel noch etwas gehört, was durch den mit Watte verschlossenen Gehörgang nicht zum Trommelfell gelangt sein konnte. Es bleibt demgemäss nichts übrig, als anzunehmen, dass der Knorpel des äusseren Ohres (elastischer Knorpel bekanntlich), der sich ja eine Strecke weit in den äusseren Gehörgang fortsetzt und mit dem Knochen durch knorpelhartes fibröses Bindegewebe verbunden ist, durch die auftreffenden Schallwellen in Schwingungen gerath und diese dem Trommelfell, das mit dem Periost des knöchernen Gehörgangs verwachsen ist, direct und ohne Beihülfe der Luft übermittelt. Darauf beruht gerade augenscheinlich die Lautheit der Schallempfindung, wenn durch feste Leiter auscultirt wird, dass dabei nirgends, auch nicht in und am Ohr, ein Uebergang in Luft und von da wieder auf feste Theile stattfindet. Auch bei unmittelbarer Auscultation mittelst des flach aufgelegten Ohres hören wir thatsächlich nur mit der Ohrmuschel und nicht mit dem äusseren Gehörgang, wenn ich mich so ausdrücken darf. Der einfachste Beweis liegt schon darin, dass die auscultirten Geräusche (Herztöne u. s. w.) ja viel zu leis sind, als dass sie überhaupt von der Brustwand aus in merklichem Grade in die Luft überreten, man hört sie ja gar nicht, wenn man das Ohr, oder auch das Stethoskop in unmittelbare Nähe der Körperoberfläche bringt, jede Berührung aber vermeidet, wie kann aber etwas durch die Luft weiter geleitet werden, was gar nicht da ist!

Nicht mit allen Theilen der Ohrmuschel hört man gleich gut. Man kann sich davon sehr leicht durch einen hübschen Versuch überzeugen. Auscultirt man das tönende Sausen einer Telegraphenstange, durch deren Drähte der Wind fährt, mit Hülfe seines Spazierstockes, so hat man entschieden die stärkste Schallempfindung, wenn der Griff des Stockes den Tragus oder die Fossa conchae berührt. Hienach ist es auch verständlich, warum die zapfenförmigen Ansätze der flexiblen Stethoskope thatsächlich eine gute Uebertragung des Tones vermitteln, sie thun dies durch ihr directes Anliegen an die Wand des äusseren knorpeligen Gehörgangs, keineswegs durch besseren „Abschluss“ und Fortleitung von Luftwellen zum Trommelfell.

Die Resultate vorstehender Untersuchungen zusammenfassend, möchten wir uns also dahin aussprechen:

Die vorzügliche Wirkung der Communicationsröhren ist nur durch totale Reflexion der Schallwellen an der besser leitenden Wand zu erklären. Diese Wirkung kommt aber für die Leistung der Stethoskope für gewöhnlich gar nicht in Betracht, weil die Schallphänomene im Innern des Körpers so leis sind, dass sie schon beim ersten Uebergang in Luft an der Körperoberfläche bis zum Verschwinden abgeschwächt werden. Zu ihrer Fortleitung kommt nur die Leitung durch die festen Theile des Stethoskops und des Ohrs in Betracht. In diesem Sinne ist also das Material die Hauptsache, Gummischläuche sind am schlechtesten. Hohlstethoskope sind vorzuziehen, weil bei ihnen die Wand besser schwingen kann, sie wirken nicht nur schallleitend, sondern auch schallverstärkend, die Resonanz findet dabei aber nicht im Hohlraum, sondern nur in der Wand statt und kann vielleicht durch Gestalt des Rohres und der Platten günstig beeinflusst werden, in diesem Sinne ist also auch die Form nicht irrelevant. Durch die beschriebene akustische Maassmethode, so verbesserungsfähig sie auch noch ist, können wenigstens gute Stethoskope von entschieden schlechteren ausgesondert werden. Ob man sein Stethoskop mit Watte verschliesst oder nicht, ist gleichgültig. Beim gewöhnlichen Höract kommen die Schwingungen des Ohrknorpels und dessen directe Fortleitung zum Rand des Trommelfells wesentlich mit in Betracht, beim Auscultiren ausschliesslich. Gute Adaption des Stethoskops an die Ohrmuschel ist von Wichtigkeit, namentlich muss der Tragus berührt werden oder ein Theil der Höhlung (Fossa conchae, äusserer Gehörgang). Druck mit dem Stethoskop auf die Unterlage schwächt den Schall und ist möglichst zu vermeiden.
