

XIV.

Die Entstehung der Geräusche in Herz und Gefässen.

Von Dr. Richard Geigel,
Privatdocenten in Würzburg.

Die Bedingungen, unter denen strömende Flüssigkeiten Geräusche hervorzubringen vermögen, sind durch viele Experimente, unter denen die von Th. Weber obenan stehen, so gut und vollständig erforscht und die Resultate dieser Untersuchungen sind durch klinische Beobachtung so constant und vielfältig bestätigt worden, dass es weder möglich, noch als Bedürfniss erscheint, dem noch etwas hinzuzufügen. Anders steht es aber mit der physikalischen Deutung der beobachteten Thatsachen. Hier begegnen wir dem alten Streit darüber, ob die Schallphänomene, die man am Circulationsapparat unter dem Namen der „Geräusche“ kennt, im Blut oder in den elastischen Wandungen des Gefässsystems entstehen. Viele Träger hervorragender Namen sind an der Lösung dieser Frage betheiligt gewesen und jede der beiden sich gegenüberstehenden Meinungen hat ihre gewichtigen Vertreter gefunden¹⁾. Die Literatur über diesen Gegenstand ist eine sehr umfangreiche und zum Theil auch gehaltreiche und gleichwohl — es ist bedauerlich, aber ich könnte es leicht durch eine grosse Anzahl von Citaten erhärten — ist viel öfter von Reiben, Wirbeln, Strudeln, Pressstrahl u. dgl. die Rede als von Schwingungen oder gar stehenden Schwingungen, auch bei den Besten. Und doch lässt sich die aufgeworfene Frage in physikalischem Sinn gar nicht anders lösen, als dass man nachweist, wie unter gegebenen Verhältnissen ein Körper dadurch Schallgeber wird, dass er stehende Schwingungen ausführt, d. h. dass er durch elastische Kräfte um eine Gleichgewichtslage, aus der er durch einen äusseren Eingriff gebracht

¹⁾ Eine Aufzählung derselben giebt z. B. Matterstock, „Die acustischen Erscheinungen der Arterien. Würzb. 1878 u. Arch. f. kl. Med. Bd. XXII.

wurde, so schwingt, dass alle seine Theilchen zur nämlichen Zeit die Gleichgewichtslage passirten, zur nämlichen Zeit ihre grösste Entfernung von dieser erreichen, zur nämlichen Zeit alle die gleiche Bewegungsrichtung haben. Alle transversalen Schwingungen von gespannten Saiten und Membranen sind stehende. Wenn man diesen, aus der Physik ja Jedem wohlbekannten Satz sich wieder einmal vergegenwärtigt, wird man wohl kaum mehr „äussere oder innere Reibung“, „Wirbel“, „Strudel“, „Pressstrahl“ oder was sonst derartiges für eine ausreichende Erklärung der so wichtigen Schallphänomene ansehen wollen.

Geht man nicht auf stehende Schwingungen zurück und fragt nur nach Schwingungen überhaupt, so hat die aufgeworfene Frage keinen rechten Sinn. Weder die Wand, noch der flüssige Inhalt kann allein schwingen, jede Bewegung, welche das Eine ausführt, theilt sich nothwendig sofort dem Anderen mit. Man hat ausdrücklich erwähnt, dass die Schwingungen zwar im Blut entstehen, sich aber der Wand mittheilen. Thäten sie dieses nicht, so könnten wir sie auch nicht hören. Dass die Wand bei den Geräuschen vibriert, ist sicher, es fragt sich nur, ob sie dabei stehenden Wellen einfach nachgiebt, die im Blut entstehen, oder ob sie selbst um ihre Gleichgewichtslage stehende (Transversal-) Schwingungen ausführt, denen das Blut als moles iners folgen muss. Ferner kann gar kein Zweifel darüber sein, dass nur die lebendige Kraft des Blutes in den Gefässen, im Herzen die active Contraction des Herzmuskels die Kraft abgiebt, welche das Gleichgewicht in Wand oder Blut stört und die Schwingungen überhaupt veranlasst, die Frage dreht sich also schliesslich nur darum: wird das innere Gleichgewicht des Blutes oder das der elastischen Wand so gestört, dass stehende Wellen entstehen.

Um nun nicht schon längst Bekanntes zu wiederholen, soll nur erwähnt werden, dass im Jahre 1850 Kiwisch von Rotterdam in der Würzb. physikal.-medizinischen Gesellschaft gezeigt hat, dass beim Uebertritt des Blutes aus einer engeren Stelle des Gefässrohrs in eine weitere in der letzteren eine durch die Physik bewiesene Saugwirkung von Seite des Flüssigkeitsstromes sich einstellen muss. Hiedurch collabirt die Wand und von oben rückt mehr Blut nach, die Gefässwand begiebt sich nach

aussen, worauf wieder die Saugwirkung und das Schwingen der Gefässwand nach innen sich vollzieht. Dieses sich wiederholende Spiel, die transversalen Schwingungen der Gefässwand geben das Geräusch. Die rhythmische Beschleunigung des Flüssigkeitsstromes müsste, wie der Physiker Osann in der Discussion des Vortrags von v. Kiwisch darlegte, auch oberhalb der erweiterten Stelle ein rhythmisches Schwingen der Gefässwand mit sich bringen, diese würde nach innen schwingen, wenn die Wand an der erweiterten Stelle nach aussen sich biegt und umgekehrt. In beiden Gefässabschnitten würden sich also die Schwingungen im nämlichen Tempo vollziehen und zwar um die Stelle der Erweiterung wie um einen Knotenpunkt.

Dass auch oberhalb einer Stenose, ohne auf diese folgende Erweiterung, transversale (stehende) Schwingungen der Gefässwand eintreten können, wenn die Wand überhaupt elastisch ist, kann man ebenfalls leicht zeigen. Ueber einer solchen Stenose steigt durch Verzögerung des Flüssigkeitsstromes der Druck, die Gefässwand und mit ihr die stenosirte Stelle wird nach aussen gedrängt, indem jetzt mehr Flüssigkeit abfließen kann, sinkt der Druck, die Wand schwingt nach innen und auch dieses sich wiederholende Spiel findet seinen Ausdruck in transversalen (eo ipso stehenden) Schwingungen der Wand. Es ist weiter selbstverständlich, dass ein „Reiben“ der Flüssigkeit an einer rauhen Wand nichts weiter ist, als das Fliessen durch viele kleine Stenosen, und so erklärt es sich, wie Th. Weber zeigte, dass man auch an überall gleich weiten Röhren Geräusche wahrnehmen kann, dass dabei aber die Beschaffenheit der Innenfläche der Röhre von Belang ist. Sehr treffend hat Th. Weber das Blut mit dem Fiedelbogen, die Wand mit der schwingenden Saite verglichen.

In diesem Sinn möchte ich also das Zustandekommen von stehenden Wellen und Schallerscheinungen durch Reiben von Flüssigkeiten an der Röhrenwand verstanden wissen. Es ist ein offenes Missverständniss wohlbekannter und in ihren Resultaten gesicherter Arbeiten hervorragender Physiker, wenn man (Hamernjk, Rosenstein) eine solche Reibung von Flüssigkeiten an der Wand leugnen will. So nennt beispielsweise Eichhorst die „Reibung an der Wand eine physikalische Un-

möglichkeit“, weil bekanntlich in strömenden Flüssigkeiten, welche die Wand benetzen, die äusserste Flüssigkeitsschicht in Ruhe bleibt und sich gegen die Wand gar nicht verschiebt. In allen solchen Fällen, wo die Flüssigkeit die Wand benetzt, ist die Adhäsion an dieser grösser als die Cohäsion der einzelnen Flüssigkeitstheilchen unter einander, die äussere Reibung also sogar grösser als die innere, die Reibungsconstante E unendlich gross und darauf beruht es gerade, dass, wenn die Flüssigkeit sich bewegt, sie die alleräusserste, der Wand anhaftende Schicht nicht mit fortreissen kann, sondern sich an dieser verschiebt. In Folge dessen ist freilich auf die Verzögerung der Flüssigkeitsbewegung im Ganzen nur noch innere Reibung im physikalischen Sinn von Einfluss und die physikalischen Eigenschaften der Wand (ihre Anziehungskraft auf die Flüssigkeitstheilchen) weiter nicht von Belang, was auch durch Versuche bewiesen ist. Dagegen ist die Oberflächengestaltung der Wand gar nicht irrelevant für die Grösse der Reibung und Verzögerung des ganzen Flüssigkeitsstromes. Alle Unebenheiten der Wand werden genau von der ihr adhären den, unmessbar dünnen Flüssigkeitsschicht mitgemacht und daran reiben sich dann ihre Nachbarn und die Schwingungen, zu denen dabei die Wand angeregt wird, macht sie eben zusammen mit der ihr adhären den Randschicht der Flüssigkeit. Der Unterschied ist, wie man leicht sieht, feiner als haarspaltend und für die Erklärung der Gefässgeräusche ohne alle Bedeutung.

Obwohl ich es nach den Arbeiten, namentlich von v. Kisch und Th. Weber als vollkommen gesichert ansehen muss, dass unter den gegebenen Verhältnissen stehende transversale Schwingungen der Gefässwand sich bilden und diese für die Entstehung der Geräusche verantwortlich gemacht werden können, ist es keineswegs überflüssig, auch die Kehrseite der Sache und die Meinung der Autoren in's Auge zu fassen, nach welchen die Schwingungen im Blut entstehen. Dass diese Aufgabe nicht überflüssig ist, geht schon daraus hervor, dass in fast allen Lehrbüchern, die sich ex officio mit der Frage beschäftigen, unter den neueren sogar in allen dieser Anschauung gehuldigt wird, die man hiernach also unbedingt als die jetzt herrschende ansehen muss. So viel ich weiss, macht nur A. Fick in seinem

Lehrbuch der medicinischen Physik¹⁾ eine Ausnahme, indem er sagt, dass „tropfbar flüssige Körper am schwersten Geräusche zu hören geben und nur unter ganz besonderen Umständen, die im thierischen Körper sicherlich nie gegeben sind“. A. Fick erkennt die Theorie von v. Kiwisch und Th. Weber als richtig an, aber in den Lehrbüchern von Gerhardt, Eichhorst, Vierordt, Fleischer, v. Dusch, v. Jürgensen, Rosenstein, Quincke, Landois wird die Wirbeltheorie vertreten.

Der Ausdruck Wirbel, Strudel stammt von Corrigan, er wurde in der erwähnten Würzburger Discussion wieder von Rinecker gebraucht. Dass Wirbel thatsächlich an solchen Stellen vorkommen, wo man Geräusche hört, darüber kann kein Zweifel sein, da bekanntlich Heynsius dieselben durch der Flüssigkeit beigemengten Bernsteinstaub sichtbar machte. v. Kiwisch versuchte solche Wirbel zu hören, mit negativem Resultat. Bei der mangelhaften Beschreibung seiner Versuche kann man freilich nicht beurtheilen, ob diese beweiskräftig waren, namentlich scheint er nicht direct auscultirt, sondern nur aus nächster Nähe behorcht zu haben. Für diese Annahme spricht ganz entschieden folgender Versuch von v. Kiwisch. Eine Jagdpfeife wurde mit einem Wasserstrahl angeblasen, den die Druckpumpe 30 Fuss weit schleuderte und man hörte trotzdem keinen Ton. Bei viel geringerer Stromgeschwindigkeit und ungünstigen Bedingungen für die Wirbelbildung hört man aber bei directer Auscultation thatsächlich ein Geräusch, wie ich durch folgenden Versuch constatiren konnte. Ein Becherglas von 12 cm Durchmesser war mit Wasser gefüllt, in welches der Schlauch der Wasserleitung mit $7\frac{1}{2}$ mm lichtem Durchmesser tief eintauchte. Der Schlauch lieferte in $56\frac{1}{2}$ Secunden 4 Liter Wasser, hieraus berechnet sich die Geschwindigkeit des aus diesem ausfliessenden Wassers = 158 cm per Secunde und sie war hinreichend, um im Schlauch ein Geräusch zu erzeugen, das man mit aufgesetztem Stethoskop sehr gut hören konnte. Auch aus nächster Entfernung war am Becherglas gar nichts zu hören, wohl aber ein deutliches Geräusch, wenn man das Stethoskop in's Wasser tauchte. Ganz sicher hätte meines Bedünkens auch v. Kiwisch,

¹⁾ A. Fick, a. a. O. 3. Aufl. S. 185.

bei seinem Versuche mit viel grösserer Stromgeschwindigkeit, etwas hören können, hätte er direct auscultirt und das Ausbleiben des Tons an der Pfeife beweist nichts weiter, als dass dieser schwerer zu Stande kommt, wenn die Pfeife mit Wasser, als wenn sie mit Luft angeblasen wird. Mein Versuch lässt sich aber für die akustische Eigenschaft des Wasserwirbels keineswegs verwerthen, wie eine leicht zu beobachtende Thatsache erwies. Zog ich allmählich den Schlauch aus der Flüssigkeit heraus, so wurde das Geräusch immer leiser, obwohl die Mündung des Schlauchs und der Wirbel dabei meinem Stethoskope immer näher kam, am leisesten war es, als der Wirbel das Hörrohr, das nur wenig eintauchte, direct umspülte. Hierdurch ist wohl ohne Zweifel das Geräusch als das nämliche wiedererkannt, das im Schlauch selbst entstand und zu hören war, und das sich dem Wasser um so leichter mittheilte, je grösser die berührende Fläche war, je tiefer also der schallende Schlauch eintauchte. Zog man den Schlauch ganz heraus, so war nichts mehr zu hören, obwohl das Wasser im Becherglas ohne Zweifel seine Bewegung noch einige Zeit mit ziemlicher Geschwindigkeit beibehielt. Immerhin konnte diese Geschwindigkeit doch vielleicht zu gering zur Geräuschbildung geworden sein und das Gleiche könnte man auch vielleicht gegen folgenden Versuch einwenden: Das Becherglas war mit Wasser von 56° C. halb gefüllt und es wurde rasch Wasser von 11° C. zugegossen, die „Wirbel“, welche sich beim Vermischen beider Flüssigkeiten bildeten, konnte mit dem eingetauchten Stethoskop nicht gehört werden, ebenso wenig wurde etwas gehört, wenn der Boden des Becherglases erwärmt wurde und die heissen Flüssigkeitstheilen aufstiegen, nichts bis zu dem Zeitpunkt, wo kleine Explosionen am Boden des Gefässes ein leicht kenntliches Geräusch gaben.

Bei folgendem Versuch nun kann der oben erwähnte Einwand wohl keinen Anspruch auf Berechtigung machen. Ich goss in Wasser concentrirte Schwefelsäure, auscultirte mit dem eingetauchten Stethoskop und hörte nichts. Obwohl hier die Geschwindigkeit, mit welcher die Moleküle sich bewegten, jedenfalls eine sehr grosse war und bei der starken Erwärmung stellenweise Verdünnungen des Fluidums gesetzt wurden, waren doch die

Bedingungen für einen wahrnehmbaren Schall damit nicht gegeben.

Es scheint, dass Gerhardts allein gefühlt hat, dass mit dem Worte „Wirbelbildung“ nicht allzu viel gesagt ist und er fügt erläuternd hinzu, „also ein Act innerer Reibung“. Innere Reibung in Flüssigkeiten ist nun die Verzögerung, welche die Bewegung der einzelnen Theilchen der Flüssigkeit durch ihre Nachbarn erfährt.

Für die Grösse dieser inneren Reibung gilt folgende Formel¹⁾

$$k = \eta f \cdot \frac{dv}{dx},$$

worin bedeutet: k die Kraft, welche auf die schneller bewegte Schicht verzögernd einwirkt, dv den Unterschied der Geschwindigkeiten zweier in der Fläche f um dx von einander entfernten Schichten, η eine je nach der Natur der Flüssigkeit verschiedene Constante. Diese Constante ist also die Kraft, welche auf die Bewegung einer Flüssigkeitsschicht verzögernd einwirkt, wenn diese die benachbarte langsamer bewegte Schicht in der Flächeneinheit berührt und wenn $\frac{dv}{dx} = 1$ ist. Die „Reibungscon-

stante“ η ist in zäheren, viscösen Flüssigkeiten grösser als in leicht beweglichen, sie ist geradezu der Ausdruck der Viscosität. Wenn nun die innere Reibung demnach um so grösser ist, je viscider das Fluidum, so widerspricht dies direct der experimentellen Erfahrung, dass Geräuschbildung um so leichter auftritt, je leichter beweglich die Flüssigkeit ist, hat man ja doch geradezu, in quantitativer Ueberschätzung der experimentellen Beweise hiefür, die Geräusche bei Chlorose, Hydrämie auf die dünnere, leichter bewegliche Beschaffenheit des Blutes zurückführen wollen. Hierin allein ist schon ein stricter Beweis dafür gegeben, dass die Geräuschbildung nicht abhängig sein kann von innerer Reibung.

Wir wollen noch einen weiteren Beweis hinzufügen. Es ist zwar noch nirgends dargethan worden, wie durch einen „Act innerer Reibung“, durch „Wirbelbildung“, Verdichtungs- und Verdünnungswellen, ähnlich den Schallwellen, in Flüssigkeiten

¹⁾ Wüllner, Lehrb. d. Experimentalphysik. 3. Aufl. I. Bd. S. 326.

entstehen können, und dieser Vorgang unwahrscheinlich genug, aber wir wollen einmal die Möglichkeit wenigstens zugeben. Die Kräfte, die dabei in Frage kommen, sind in der That gross genug, auch in einer so wenig compressiblen, aber sehr elastischen Flüssigkeit, wie Wasser oder Blut, stellenweise Verdichtung oder Verdünnung zu erzeugen und diese Wellen werden, wenn sie einmal bestehen, auch ohne Zweifel in die Flüssigkeit als fortschreitende Wellen fortgepflanzt. In jedem Lehrbuch der Physik steht zu lesen, und ich habe selbst den Versuch sehr oft gemacht, dass man unter Wasser das Zusammenschlagen zweier Steine als lauten Schall vernehmen kann. Auch im Zimmer und mit einer kleinen Quantität Wassers kann man einen hiefür beweisenden Versuch anstellen, von dem ich nicht weiss, ob er schon irgendwo ausgeführt wurde. Füllt man ein etwa 12 cm weites Becherglas mit Wasser, und taucht in die Mitte desselben ein Stethoskop, an dem man auscultirt, tief ein, aber ohne irgendwo das Glas zu berühren, so hört man ein helles Klingen des Glases, sobald man nur ganz leicht an das Stethoskop klopft oder an demselben kratzt¹⁾. Die Schwingungen des Holzes pflanzen sich also hier durch das Wasser bis zur gläsernen Wand fort, bringen dieselbe zum Vibriren und diese Schwingungen werden wieder durch das Wasser dem Stethoskop und so dem Ohr übermittelt. (Nebenbei gesagt ist dieser Versuch ein neuer Beweis mehr gegen die völlig verfehlte Theorie Wintrich's von der Entstehung des tympanitischen Schalls. Hier steht die Aussenfläche des Glases unter Atmosphärendruck, die innere unter dem durch die Flüssigkeitssäule vermehrten, und trotzdem hört man nicht ein Geräusch, sondern einen seiner Höhe nach leicht abschätzbaren Klang.)

Keiner, der den Versuch anstellt, wird einen Augenblick darüber im Zweifel sein, dass der schöne, helle, glockenähnliche Klang den stehenden Schwingungen des dünnen Glases seine Entstehung verdankt und dass dieses Experiment geradezu ad aures demonstirt, dass der wahrgenommene Schall nicht durch stehende Schwingungen des erschütterten Wassers erzeugt wird.

¹⁾ Der Versuch gelingt auch, wenn das Glas ganz, sehr viel leichter, wenn es zu etwa $\frac{2}{3}$ mit Wasser gefüllt ist. Ist das Glas nur mit Luft gefüllt, so fällt der Versuch negativ aus.

Am leichtesten wäre die Entstehung von stehenden Verdichtungs- und Verdünnungswellen in dem Sinne zu verstehen, wie ihn Niemeyer seiner Pressstrahltheorie unterlegt. Strömt beispielsweise das Blut durch eine insufficiante Vorhofsklappe, so gerathen die Klappensegel gerade so gut in transversale Schwingungen, wie die Lippen einer Labialpfeife. Nach Niemeyer's Anschauung bilden sich bei dem ruckweisen Ausströmen der Flüssigkeit in letzterer eben so gut Verdichtungswellen, wie in der Luft und sind Ursache des Schalles. Sehen wir nun, zu welchen Consequenzen man kommt, wenn man wirklich den Schall im Blut entstehen lässt, gleichviel, ob durch „Wirbel“, durch „innere Reibung“ oder durch „Pressstrahl“.

Die Bildung stehender Wellen in Flüssigkeiten ist ja in der That unter Umständen möglich, wie die bekannten Versuche von Wertheim¹⁾ mit der Wasserpfeife zeigen. Sollen nun solche stehenden Wellen auch im Gefässsystem auftreten, so muss sich nothwendig Folgendes bewahrheiten²⁾:

Nach wohlbekanntem Gesetz bilden sich in einer Röhre von der Länge l stehende Wellen von der Länge $\lambda = 4l$. Die Wellenlänge λ ist aber ausserdem $\lambda = \frac{c}{n}$, worin c die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalls in der Zeiteinheit, n die Zahl der Schwingungen in der Zeiteinheit bedeutet. In der Luft ist die Fortpflanzungsgeschwindigkeit bekanntlich rund $= 333$ m per Secunde, im Wasser $= 1437$ m. Vergleichen wir nun den Eigenton, den ein mit Luft gefüllter Hohlraum von der Länge l_1 giebt, mit dem, den ein mit Wasser gefüllter von der Länge l_2 geben muss, so ergibt sich:

$$4l_1 = \lambda_1 = \frac{c_1}{n_1} \quad \text{und} \quad 4l_2 = \lambda_2 = \frac{c_2}{n_2}.$$

Setzen wir $l_1 = l_2$, vergleichen also 2 Hohlräume mit einander,

¹⁾ Annal. d. Chim. et de Phys. 3. Ser. T. XXIII. (Citirt nach Ostwald, Lehrb. d. allg. Chemie.) Vgl. auch Wüllner, a. a. O. S. 655, 704 f.

²⁾ Die folgenden Rechnungen geben natürlich nur ein annähernd richtiges Resultat, da der längste Durchmesser eines Hohlraums zwar vorwiegend, aber doch nicht allein für die Wellenlänge des Eigentons maassgebend ist, die erhaltenen Zahlen sind aber so paradox, dass die deductio ad absurdum wohl ausser Zweifel steht.

die gleich lang sind, und von denen der eine mit Luft, der andere mit Wasser gefüllt ist, so erhalten wir:

$$\lambda_1 = \lambda_2 = \frac{c_1}{n_1} = \frac{c_2}{n_2};$$

hieraus folgt $n_1 : n_2 = c_1 : c_2$ und $n_2 = \frac{n_1 \cdot c_2}{c_1}$. Setzen wir die oben angenommenen Zahlen für c_1 und c_2 ein, so finden wir, dass in einem mit Wasser gefüllten Hohlraum $\frac{1437}{333}$ oder rund 4mal

so viel Schwingungen pro Secunde als tiefster Eigenton auftreten, als in einem gleich grossen mit Luft gefüllten. In einem mit Wasser gefüllten Hohlraum könnte also tiefstens als Grundton erscheinen die zweit höhere Octave von dem Eigenton eines ganz gleichen mit Luft gefüllten Hohlraumes. Nun ist allerdings die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalls im Wasser, das unbegrenzt ist, grösser, als in einer Röhre und um diese zu erhalten, muss man nach den Untersuchungen von Wertheim die oben erwähnte Zahl von 1437 m noch mit $\sqrt{\frac{2}{3}}$ multipliciren. Man erhält dann $c_2 = 1173,4$ m. Aber auch jetzt noch giebt der mit Wasser gefüllte Hohlraum immer noch einen etwa $1\frac{1}{2}$ Octaven höheren Grundton als der gleiche mit Luft gefüllte. Es müsste also, wenn „Wirbelbildung“ stehende Wellen und ein „Blutgeräusch“ im linken Vorhof bei Insufficienz der Mitralklappe bewirken sollte, ein Schall herauskommen, der, wenn man auch den Grundton unterscheiden könnte, noch $1\frac{1}{2}$ Octaven höher wäre, als der amphorische Widerhall über einer gleich grossen Caverne. Solche hohe Geräusche kommen aber, wie Jeder weiss, weder im Herzen, noch in den Gefässen vor, von den sogenannten musicirenden abgesehen, die nur in seltenen Fällen erscheinen und für die ohne allen Zweifel die Entstehung nicht im Blut, sondern in den Schwingungen gespannter Sehnenfäden u. dergl. zu suchen ist.

A. Geigel hat bekanntlich zuerst gezeigt, dass man aus der Höhe des amphorischen Widerhalls unter gewissen Voraussetzungen die Grösse der auscultirten Caverne berechnen kann. Bei einer Caverne, bei welcher er das Volumen = 68 ccm berechnete, fand er, dass der amphorische Widerhall während der Inspiration dem Tone \bar{a} , während der Expiration dem Tone $\bar{a}is$

entsprach¹⁾. Die Menge des Blutes, das der Ventrikel bei jeder Systole liefert, beträgt nach A. Fick²⁾ etwa 66 ccm (das Volumen des Ventrikels ist aber wohl etwas grösser). Es müsste demnach der Grundton im Ventrikel mindestens die Höhe von \bar{c} haben.

Ich weiss nicht, ob man schon versucht hat, die musicalische Höhe von Herzgeräuschen annähernd zu bestimmen, bezüglich der Herztöne ist von Gerhardt und von Funke dieser Versuch ausgeführt worden. Nach Funke entspricht dem ersten Herzton eine Schwingungszahl von 198 (sagen wir rund 200) in der Secunde. Wollte man die Entstehungsursache des ersten Herztons, wie dies auch schon geschehen ist, oder von gleich hohen Geräuschen, wie dies jetzt allgemein geschieht, in Schwingungen des Blutes suchen, so käme man zu folgendem Resultate. Der Eigenton der Herzhöhle von der Länge l hat eine Wellenlänge von $\lambda = 4l$. Wie wir gesehen haben, ist

$$\lambda = \frac{c}{n} = \frac{1173}{200} = 5,9 \text{ m,}$$

hieraus folgt, dass $l = \frac{5,9}{4}$ ist, d. h. das Herz müsste rund 1 m und 50 cm lang sein!

Nach diesen Darlegungen kann wohl kein Zweifel mehr darüber sein, dass es mit der ganzen Wirbeltheorie nichts ist, und dass die „Geräusche“ im Circulationsapparat lediglich durch stehende transversale Schwingungen der Wand, bzw. der Klappen entstehen.

¹⁾ Verhandl. der Würzb. phys.-med. Gesellschaft. Bd. VII. 1856. Wohl die erste Beobachtung von respiratorischem Schallwechsel! A. Geigel giebt hierfür die Erklärung, dass bei der Inspiration das vermehrte Volumen der Caverne den Schall tiefer erscheinen lasse. Friedreich, dessen Namen der resp. Schallwechsel jetzt trägt, betheiligte sich damals an der Discussion, kannte also die Beobachtung und Erklärung A. Geigel's recht wohl, ohne sie in seinen späteren Arbeiten je zu erwähnen.

²⁾ A. Fick, Compendium der Physiologie. 4. Aufl. Wien 1891. S. 268.