

A r c h i v
für
pathologische Anatomie und Physiologie
und für
klinische Medicin.

Bd. 141. (Vierzehnte Folge Bd. I.) Hft. 1.

I.

Entstehung und Zahl der normalen Herztöne.

Von Dr. Richard Geigel,
Privatdocenten in Würzburg.

Was ein reiner Herzton sei, hat jeder Mediciner in Cursen der Auscultation sinnlich erfahren, in der Definition des physikalischen Vorgangs aber, der diesen Tönen zu Grunde liegt, sind wir bisher über die sinnliche Beschreibung nicht hinausgekommen, die Skoda von ihnen gegeben hat.

„Ich nenne das Tick-Tack die Töne.“ „Die Töne des Herzens lassen sich durch tick-tack, tom-tum, dohm-lopp, ohm-ik u. s. w. bezeichnen; die Geräusche durch schuh, tschuh, ruh u. s. w.“ So hat vor mehr als 40 Jahren der hochberühmte Skoda¹⁾ die Phänomene charakterisiert, welche als Töne jedem Mediciner wohlbekannt sind. Dabei hat er einen hohen Werth auf die enge Abgrenzung des Schalls gelegt, wie z. B. aus folgender Stelle hervorgeht. „Das Muskelgeräusch“ (jetzt Muskelton genannt) „des Herzens lässt sich, weil kein Muskel einen begrenzten klappenden oder gar klingenden Schall giebt, nie als ein klappender Ton, sondern immer nur als ein dumpfer, gedehnter Schall annehmen, den ich nach der von mir gewählten Bezeichnung nie einen Ton nennen könnte.“ Es musste dies

¹⁾ Skoda, Abhandlung über Percussion und Auscultation. V. Aufl. 1854.
S. 176 und 195.

ausdrücklich hervorgehoben werden, da fast bei allen neueren Autoren ein anderer fundamentaler Unterschied zwischen Ton und Geräusch statuiert wurde; dem „Ton“ kämen regelmässige, dem „Geräusch“ unregelmässige Schwingungen zu. Eine nicht geringe Anzahl von Citaten könnte zeigen, wie allgemein verbreitet diese Anschauung unter maassgebenden Forschern ist, Angesichts noch dazu der zugestandenen Thatsache, dass die Töne keineswegs Töne in physikalischen Sinne darstellen. In der That ist die Bezeichnung Ton, die von Rouanet herstammt, physikalisch möglichst unglücklich gewählt, ein so unfruchtbare und unsinniges Unternehmen es auf der anderen Seite auch wäre, einen anderen Namen dafür vorschlagen zu wollen, da jener sich schon bei 2 bis 3 Generationen von Aerzten sein Bürgerrecht erworben hat. Ein jeder weiss, welchem Phänomen er ihn zuerkennen soll und das bleibt ja für die Praxis die Hauptsache. Im Interesse der nachfolgenden Ausführungen soll aber doch noch einmal ausdrücklich hervorgehoben werden, dass sowohl „Töne“ als „Geräusche“ im physikalischen Sinne Geräusche darstellen, dass beide durch ungleichmässige Schwingungen erzeugt werden. Und wenn man ja in dieser Beziehung einen Unterschied machen will, so kann es gar keinem Zweifel unterliegen, dass die musikalische Höhe bei den meisten Geräuschen viel leichter abgeschätzt werden kann, als bei den Tönen und ersteren müssen also nach der Lehre der Physik die regelmässigeren Schwingungen zuerkannt werden.

Die Herztöne sind, wie Gerhardt¹⁾ bemerkt, höchstens als Klänge zu bezeichnen, in denen ein Ton vorherrscht, gewiss nicht als „einfache Töne“. Auch das gilt, wie mir scheinen will, nur für die Ausnahmen, die klingenden Töne. Wer die einschlägige Literatur aufmerksam verfolgt, kann sich des Verdachtes nicht erwehren, dass der erwähnte Grundirrthum in der physikalischen Trennung der Töne und Geräusche der famosen Wirbeltheorie zu danken ist, deren Haltlosigkeit ich an anderer Stelle darzulegen suchte. Der naive Gedankengang, die unregelmässigen Strömungen in den Strudeln und Wirbeln, die man ja Dank den Experimenten von Heynsius vor Augen sah, auf un-

¹⁾ Gerhardt, Lehrb. d. Auscultation und Percussion. IV. Aufl. S. 191.

regelmässige Schwingungen des Blutes u. s. w. zu übertragen, lag leider allzu nah. Des Weiteren sehe ich mich, und den Leser, dem dies geläufig ist, bitte ich dessenthalb um Entschuldigung, gezwungen, nochmals den Cardinalsatz der Physik obenan zu stellen, wonach ein Körper nur dann einen Schall hervorbringen kann, wenn er aus seiner Gleichgewichtslage gebracht wird und um diese vermöge seiner elastischen Kräfte schwingt. Auch gegen diesen Satz wird stündlich gesündigt. Allenthalben kann man lesen und hören, dass die plötzliche starke Anspannung einer Klappe, die rasche Spannungszunahme oder -Abnahme der elastischen Arterienwand und dergl. einen Ton bewirke. Eine Veränderung in der Spannung betrifft aber nur die Kräfte, welche den Körper — die Klappe, die Gefässhaut — in ihrer Lage zu erhalten suchen, es fehlt jede Ursache, dass ein solcher Körper um seine Gleichgewichtslage schwingt, wenn nur seine Spannung geändert wird. Ja, longitudinale Schwingungen können entstehen. Traube¹⁾ hat ganz folgerichtig in der That seiner Zeit longitudinale Schwingungen in elastischer Membran angenommen, deren Spannung rasch einen beträchtlichen positiven Zuwachs erfährt, nur können solche longitudinale Schwingungen nicht für die Erzeugung wahrnehmbarer fortschreitender Wellen in den angrenzenden Medien, also zur Erzeugung eines Schalls in Frage kommen, vielmehr unstreitig nur transversale Schwingungen der betreffenden gespannten elastischen Körper.

Der Vorgang der „Tonbildung“ lässt sich in richtiger Weise an einem einfachen Beispiel erläutern. Eine starre cylindrische Röhre soll an einem Ende durch eine elastische Membran verschlossen und mit einer incompressiblen Flüssigkeit gefüllt sein, in ihr bewege sich ein dicht schliessender, ebenfalls starrer Spritzenstempel. Stösst man den Spritzenstempel vor, so wird die elastische Membran vorgebaucht und zugleich stärker gespannt, sie sinkt zurück und wird entspannt, wenn der Stempel zurückgezogen wird. Sie folgt dabei den Bewegungen des Stempels auf das Genaueste, gleichviel ob diese rasch oder langsam sich vollziehen, und kommt in jeder neuen Lage sofort

¹⁾ Med. Centralzg. 1859. No. 28. (Citirt nach Skoda.)

zur Ruhe, kann um diese nicht schwingen, denn wir haben allen anderen Theilen des Apparates irgend welche Volumänderung durch Zug oder Druck ja ausdrücklich abgesprochen. Nun wollen wir an einer Stelle der Röhre statt der starren Wand eine elastische Membran als Begrenzung supponiren. Stösst man jetzt den Stempel rasch vor, so überschreitet die Membran am anderen Ende ihre neue Gleichgewichtslage in Folge der Trägheit der bewegten Massen (der Flüssigkeit und der Membran), um ein gewisses kleines Maass. Dies ist jetzt möglich, weil die andere (2.) Membran nachgeben kann, ein leerer Raum also nicht zu entstehen braucht. Die erste Membran ist also noch über ihre dem Stand des Stempels entsprechende Gleichgewichtslage hinausgegangen und wird gegen diese durch ihre elastischen Kräfte gezogen, überschreitet sie vermöge der Trägheit nach der anderen Seite, kurz, schwingt um diese Gleichgewichtslage eine kurze Zeit. Ganz das Gleiche muss eintreten, wenn man den Spritzenstempel zurückzieht. (Stets schwingt die andere elastische Membran im nämlichen Tempo mit. Von der elastischen Begrenzung einer incompressiblen Flüssigkeit kann nicht ein Theil allein schwingen, sondern nur alle Theile zusammen, so dass das Volumen zu jeder Zeit das nämliche bleibt.) Wesentliche Bedingung für das Entstehen von solchen transversalen Schwingungen ist also das Ueberschreiten einer neuen Gleichgewichtslage, in welche der elastische Körper durch einen äusseren Eingriff gerissen wird, und nicht die vermehrte oder verminderde Spannung. Letztere ist nur maassgebend für die Schnelligkeit, mit welcher die Schwingungen erfolgen, also für die Tonhöhe, falls dieselbe erkannt werden kann. Für das Ueberschreiten der Gleichgewichtslage ist aber wieder wesentlich die Geschwindigkeit, mit der die Lageänderung der Membran sich vollzieht. Wird eine Gefässwand ganz langsam ausgedehnt, oder zieht sie sich ganz langsam zusammen, so ist das Trägheitsmoment nicht bedeutend genug, ein merkliches Ueberschreiten der neuen Gleichgewichtslage herbeizuführen, die Membran kommt in ihr sofort zur Ruhe, sobald der Anlass zu ihrer Ortsveränderung aufhört, und sie schwingt nicht.

Diese eigentlich selbstverständlichen Dinge finde ich nirgends

klar ausgesprochen, wenn auch ganz allgemein auf die plötzliche „Vermehrung und Veränderung der Spannung“ ein grosses Gewicht bei der Erzeugung von Gefässtönen gelegt wird. Wir konnten uns diese Erörterungen leider nicht sparen, denn sie liefern uns, wie es scheinen will, den Schlüssel zur Schlichtung eines alten Streites, der sich um die Frage dreht, ob der erste Herzton ein Muskelton ist oder der „Anspannung“ der Vorhofsklappen seine Entstehung verdankt.

Bekanntlich ist von Ludwig und Dogiel auf Grund eines frappanten Versuches behauptet worden, dass der erste Herzton ein Muskelton sei. Es gelang nehmlich, an einem völlig entbluteten Herzen einen Ton durch Contraction des gereizten Herzmuskels zu erzeugen. Gerhardt hatte Gelegenheit, einen solchen Ton zu auscultiren, und scheint diesem Ton eine grosse Aehnlichkeit mit dem Herzton zuzuerkennen. Dieser Versuch ist ohne allen Zweifel völlig beweisend dafür, dass die Stellung und Anspannung der Vorhofsklappen nicht nothwendig ist zur Erzeugung eines ersten Tons. Wohl gemerkt, und ich sehe nirgends dies hervorgehoben, gilt dies aber nur für das entblutete Herz. Um einen eigentlichen „Muskelton“ im physiologischen Sinn kann es sich bei dem beschriebenen Versuch freilich nicht handeln. Ein solcher Muskelton ist viel tiefer als ein Herzton, so weit man die Höhe beider schätzen kann (Gerhardt) und vor Allem kommt ein Muskelton nur beim Tetanus zu Stande, während die Herzcontraction nach den bekannten Untersuchungen Marey's eine einzelne Zuckung ist (A. Fick)¹⁾. Es kann sich bei letzterer nur um einige Schwingungen handeln, welche der sich contrahirende Herzmuskel noch um seine neue Ruhelage ausführt²⁾. Diese erreicht der Muskel am entbluteten Herzen ungemein leicht und rasch; es wäre aber noch zu beweisen, dass er dies auch am gefüllten Herzen that, wo seine Bewegungen durch die träge Masse des Inhalts erheblich gedämpft wurden. Ohne Zweifel sind hier die Bedingungen der Tonbildung nur zur sogenannten Verschlusszeit oder Spannungszeit gegeben, während welcher eine Fortbewegung des Blutes noch nicht statt-

¹⁾ A. Fick, Die med. Physik. 3. Aufl. 1885. S. 186.

²⁾ Aehnliche Vermuthung bei A. Fick, Die med. Physik. S. 186.

findet, die Ventrikelwand nun eine neue Gleichgewichtslage sehr rasch erreicht und um diese schwingt. Zeit dazu hat sie, denn die Dauer der Verschlusszeit ist auf etwa 0,07—0,08 Sec. (Landois, Martius) anzuschlagen, selbst der viel geringere Werth von 0,02—0,04 Sec., den Hürthle am Hundeherz fand, könnte noch genügen. Die bedeutende Druckerhöhung, die während der Verschlusszeit im Ventrikel entsteht, muss aber nothwendig die Vorhofsklappen plötzlich ausbauchen und es ist gar kein Grund abzusehen, warum sie nicht auch in's Schwingen gerathen. Wie O. Bayer gezeigt hat, entsteht auch ein Ton, wenn man ein unterbundenes todtes Herz mittelst einer Spritze prall mit Wasser füllt und dann den Spritzenstempel mit grosser Gewalt vorwärts treibt. Ohne Zweifel ist unter solchen Umständen die zarte, elastische Klappe viel geeigneter zu transversalen Schwingungen als die dicke, träge Muskelwand. Die Kliniker haben sich auch nie recht mit der Annahme befriedigen können, dass der erste Ton von der Muskelwand gebildet werde. Es ist ja doch durch tausendfältige Erfahrung festgestellt, dass zur Entstehung eines reinen ersten Tons Schlussfähigkeit der Klappe die *conditio sine qua non* ist, und dass man aus dem Fehlen des ersten Tons, bezw. dem Ersatz desselben durch ein systolisches Geräusch mit grosser Sicherheit einen Schluss auf pathologische Veränderungen an der Klappe oder wenigstens (relative Insufficienzen) mangelhaftes Functioniren derselben ziehen darf. Wie aber, wenn bei offener Vorhofsklappe der Klappenton und der Muskelton gleichzeitig verschwinden müssten? Dann wäre ja eine befriedigende Harmonie zwischen physiologischem Experiment und klinischer Beobachtung gegeben.

Wer es nun der Mühe werth gefunden hat, den oben dargelegten Gedankengang, der lediglich auf allbekannte physikalische Gesetze aufgebaut ist, zu folgen, dem wird es leicht sein, zu verstehen, wie in der That weder ein Muskel- noch ein Klappenton entstehen kann, wenn die Verschlusszeit fehlt. Steht die Vorhofsklappe offen, so presst der sich contrahirende Herzmuskel sofort das Blut zum Theil in den Vorhof, er erreicht nicht plötzlich eine neue Gleichgewichtslage, um die er schwingen könnte, sondern folgt allmählich dem ausweichenden Blut, bis auch der Druck in der Aorta überwunden ist, und er nun in schnellem

Tempo, immer aber noch zu langsam zur Tonbildung, sein Contractionsmaximum erreicht. Die träge Masse des fortgeschobenen Blutes dämpft hier die Bewegungen des Ventrikels in dem Grade, dass er zu keiner Zeit über eine Gleichgewichtslage hinausschießt und um dieselbe pendelt, oder besser gesagt, er thut dies jetzt in viel geringerem Maasse, aber sehr oft, je nachdem die Stenose am Schlitz in der Vorhofsklappe durch die Klappensegel bald enger, bald weiter wird, denn letztere schwingen wie die Lippen einer Labialpfeife. So entsteht ein Geräusch, wie ich seiner Zeit gezeigt habe.

Durch diese Ueberlegung ist nicht nur dargethan, dass auch ein „Muskelton“ bei Insufficienz der Vorhofsklappen nicht mehr entstehen kann, sondern auch ein fundamentaler physikalischer Unterschied zwischen Herz- (und Gefäss-) „Ton“ und „Geräusch“ statuirt. Beim Ton werden die elastischen Wände der Flüssigkeitssäule ein einziges Mal aus ihrer Gleichgewichtslage gerissen und schwingen um diese bis äussere Widerstände ein (sehr rasches) Abklingen herbeiführen. Beim Geräusch wird während einer kürzeren oder längeren Zeit durch einen äusseren Anlass die elastische Wand immer und immer wieder aus der Gleichgewichtslage gebracht und die Dämpfung der Schwingungen tritt erst dann ein, wenn jener äussere Anlass — die Blutbewegung — sistirt oder nicht mehr kräftig genug ist. Demgemäß sind Geräusche fast durchweg länger als Töne. Gleichwohl giebt es aber auch Geräusche, die so kurz oder doch beinahe so kurz sind als Töne, und dennoch ist ihr Geräuschcharakter dem geübten Ohr unverkennbar. Dies darf uns nicht Wunder nehmen, da wir ja doch auch das brillantest gespielte Staccato von einem Pizzicato sehr wohl zu unterscheiden wissen. In eben demselben Verhältniss stehen Geräusch und Ton zu einander. Die ungleiche Schwingungsform und vor Allem der ungleiche Verlauf im Abklingen giebt den Unterschied. Auch beim Stringendo giebt der Bogen erst eine Anzahl von nahezu gleichen Schwingungen der Saiten und erst wenn er diese verlässt, erfolgt das Abklingen, beim Pizzicato ist eine Schwingung allein, die erste bei Weitem die grösste und das Abklingen erfolgt sogleich; nicht anders beim Geräusch

und beim Ton. Für diesen in der That einzig charakteristischen Unterschied zwischen Ton und Geräusch sind die Vergleiche bezeichnend, die man mit Schallphänomenen angestellt hat, die aus dem alltäglichen Leben Jedem wohlbekannt sind. Das Ticken einer Uhr, der Schall einer Trommel verdanken ihre Entstehung nur einem einzigen Schlag, das Blasen, Hauchen, Sägen, Schnurren, Pfeifen, Raspeln, Rauschen, Giessen, Kratzen, Reiben einer kürzer oder länger fort dauernden Bewegung eines Körpers, der an schallgebenden Körpern das Gleichgewicht immer und immer wieder stört.

Mit der Frage nach der Entstehung der Herztöne hängt die nach der Zahl der normalerweise gebildeten innig zusammen. Heutzutage kann wohl keine willkommenere an einen braven Candidaten der Medicin im Examen gestellt werden. Die Antwort ist ja fertig, es sind 6 Töne: 2 systolische entstehen durch Anspannung der beiden Vorhofsklappen, 2 systolische durch Anspannung der Wand der Aorta bzw. Pulmonalis und je 1 diastolischer durch Anspannung der halbmondförmigen Klappen an beiden grossen Gefässen. Zur Zeit, als sich die wissenschaftliche Forschung intensiv mit den Problemen der physikalischen Diagnostik beschäftigte, war in dieser Hinsicht aber lange keine Einheit zu erzielen und da wir es jetzt nach fast 40jähriger Ruhepause nochmals unternehmen müssen, an einer als richtig allgemein anerkannten Lehre zu rütteln, und wie es uns wenigstens scheinen will, mit aller Macht zu rütteln, ist ein kurzer historischer Ueberblick vielleicht gerechtfertigt und nicht überflüssig, schon aus dem Grunde, damit das Recht der Priorität jüngeren Ansprüchen, auch den meinigen gegenüber, gewahrt bleibe.

Fast alle älteren Autoren nehmen 4 Töne an, weichen aber in der Erklärung, wie sie entstehen sollen, zum Theil weit von einander ab. Nach Laënnec entsteht der erste Ton durch die Contraction der Kammern, der zweite durch die der Vorhöfe.

Magendie lässt den ersten Ton durch den Anschluss der Herzspitze, den zweiten Ton durch den Anschluss des rechten Ventrikels gegen die Brustwand entstehen. Nach Rouanet (1832) entsteht der erste Ton durch Anspannung der Vorhofsklappen, der zweite durch die der halbmondförmigen Klappen. Von

dieser Ansicht weicht Bouillaud nur insofern ab, als er zum Theil den ersten Ton auch durch den Anschlag der halbmondförmigen Klappen, den zweiten durch den der Vorhofsklappen an die Wand entstehen lässt, das wären also im Ganzen 8 Töne. Nach Charles Williams und Hope ist der erste Ton ein Muskelschall, der zweite wird durch den Stoss des Blutes gegen die Semilunarklappen bewirkt. Nach der späteren Lehre von Williams ist der erste Ton auf Vibrationen der Vorhofsklappen und der Wand des Ventrikels zurückzuführen. Nach Beau entsteht der erste Ton durch den Anprall des Blutes, das aus dem Vorhof in den Ventrikel strömt, der zweite durch die plötzliche Unterbrechung dieses Stromes und dadurch herbeigeführte Anspannung der Vorhofswand. Auch Aran huldigte dieser Ansicht. Das Dubliner Comité nahm ebenfalls 4 Töne an, hielt im Uebrigen die Sache noch nicht für spruchreif. Gendrin's Ansicht (4 Töne) ist insofern bemerkenswerth, als er ausnahmsweise die halbmondförmigen Klappen nicht für den zweiten Ton verantwortlich macht, sie seien zu der Zeit schon geschlossen, wo das aus dem Vorhof strömende Blut durch seinen Anprall gegen die Herzspitze den zweiten Ton erzeuge. Piorry (1834) und Piédagnel (1849) lassen gar den ersten Ton im linken Herz, den zweiten im rechten seine Entstehung finden. Auffallend ist auch die Lehre von Cruveilhier, der beide Töne an den grossen Arterien entstehen lässt, den ersten durch das Aufrichten, den zweiten durch das Herabgedrücktwerden der Klappen. Mitursache für den ersten Ton sei auch der Schlag des Herzens gegen die Brustwand. Das wären also 3 Töne! Auch Raph und Nega nehmen 4 Töne an. Skoda selbst, dem zum Theil diese Citate entnommen sind, lässt 8 Töne entstehen, in jedem Ventrikel und in jedem Gefäss je einen systolischen und einen diastolischen, wenngleich er zugiebt, dass der zweite Ton über den Ventrikeln manchmal ein fortgeleiteter sei, und eine befriedigende Erklärung für das Zustandekommen des diastolischen Tons im Ventrikel selbst nicht findet.

Erst Bamberger¹⁾) war es vorbehalten, eine Theorie über die Entstehung der Herztöne aufzustellen, welche so allseitigen

¹⁾ Bamberger, Lehrb. der Krankheiten des Herzens. Wien 1857. S. 38.

Anklang fand, dass sie alsbald zur allgemein herrschenden wurde und diese auch bis auf den heutigen Tag geblieben ist. Mit Fug und Recht konnte sich Gerhardt in seinem Lehrbuch der Auscultation und Percussion dahin aussprechen: „Ueber die Zahl der am Herzen entstehenden Töne ist ein Zweifel kaum mehr möglich. Es sind deren sechs.“ Ein zweckloses Beginnen wäre es, alle die neuen Autoren aufzuzählen, welche Bamberger's Lehre adoptirt haben, es sind einfach alle und fast keiner findet es mehr der Mühe werth, Bamberger selbst bei dieser Gelegenheit zu erwähnen; so sicher und selbstverständlich ist die Sache für den geschulten Mediciner, als wenn die Erkenntniss davon vom Himmel gekommen wäre.

Prüft man nun aber diese seit fast 4 Jahrzehnten widerspruchslos herrschende Lehre von der Bildung der 6 Töne auf ihre Richtigkeit, so kann sie, wie ich behaupte, Angesichts der neueren Forschungen über den Verlauf der Herzthätigkeit unmöglich mehr aufrecht erhalten werden.

Wenn eine Verschlusszeit von mehreren Hundertsteln Seunden besteht, so muss die Bildung des ersten Tons in Aorta und Pulmonalis um eben so viel später erfolgen als die Töne „an der Mitralis und Tricuspidalis“ und man müsste dann den ersten Ton regelmässig doppelt hören. Ich habe einige wenige Versuche zur Lösung dieser Frage in der Art angestellt, dass ich mit Hülfe eines flexiblen Stethoskops gleichzeitig den Ton an der Herzspitze und an der Aorta auscultirte, habe aber nicht einmal eine Spaltung des Tons wahrnehmen können. Um einen Beweis ad oculus zu haben, habe ich dann die Versuche angestellt, über die ich mir zu berichten erlauben werde.

Der Gedanke lag nahe, mit Hülfe der akustischen Markirmethode, wie sie durch Martius in so ausgezeichneter Weise ausgebildet wurde, die Frage zu lösen. Es handelte sich zunächst darum, zu untersuchen, ob der erste Ton über dem Ventrikel und der erste Ton über den grossen Gefässen zeitlich zusammenfallen oder nicht. Es findet sich hierüber nur die unbestimmte Angabe von Hilpert¹⁾), wonach es für das Ergebniss der Markirung gleichgültig war, wo am Herzen auscultirt wurde. Ob dabei auch die Auscultation der beiden grossen Gefässen mitzu-

¹⁾ Zeitschr. f. klin. Med. XIX. Bd. Suppl.-Heft. S. 157.

verstehen ist, wird nicht gesagt und vor Allem der so nahe liegende Schluss auf das Fallen des Gefässtons in die Verschlusszeit nicht gezogen.

Meine Versuche konnte ich, Dank dem liebenswürdigen Entgegenkommen von Herrn Prof. Kunkel, im hiesigen pharmakologischen Institut an einem guten Kymographion anstellen. Die Zeit wurde durch elektrische Uebertragung des Schlags eines Secundenpendels gegeben, eine abgestimmte Stimmgabel hatte ich zu diesem Zweck leider nicht zu meiner Verfügung. Der Gang der Trommel war so rasch, dass die Marken der Secunde durchschnittlich 35 mm auseinanderlagen. Die Ausmessung der Curven geschah mittelst des Zirkels bis auf 0,5 mm genau. Im Uebrigen wurde ganz nach den Vorschriften von Martius verfahren. Der Ventrikerton wurde im linken IV. Intercostalraum neben der Marey'schen Trommel, der Ton an Aorta, bezw. Pulmonalis im II. Intercostalraum auscultirt. Bei diesen Untersuchungen war die Deutung der einzelnen Fusspunkte und Gipfel der Herztонcurve natürlich vollkommen gleichgültig, es genügte, den Abstand der akustischen Marken für Ventrikerton und Gefässton stets vom nämlichen Punkte der Curve zu messen, um zu sehen, wie nahe die erhaltenen Werthe zusammenfallen. Als Ausgangspunkt für die Messungen wurde übrigens (abgesehen von einer einzigen, später zu erwähnenden Ausnahme) stets der Fusspunkt von der ersten Erhebung gewählt, die Stelle also, an welcher Martius und Alle, die mit der akustischen Markirmethode arbeiteten, den ersten Herzton verlegen. Für den Abstand des markirten Tons wurde das arithmetische Mittel aus den erhaltenen Einzelbeobachtungen genommen. Man ist dazu berechtigt, denn dann ist die Summe der Fehlerquadrate ein Minimum. Ein Vorversuch ergab, dass meine Person hinlänglich befähigt war, solche Versuche auszuführen, was bei jahrelangem Orchesterspiel in einer Dilettantenkapelle kein grosses Verdienst ist. Der Schlag des selbstregistrirenden Pendels wurde auscultirt und markirt und es ergab sich bei 16 Beobachtungen als mittlerer Fehler nur $+0,017$ Sec.

Das Ergebniss der an herzgesunden Personen angestellten Beobachtungen war folgendes. (Als Resultat ist der Abstand vom ersten Fusspunkt der Curve zu verstehen.)

T a b e l l e I.

Ver- suchs- person.	I. Ventri- kelton	Resultat.	I. Aorten- ton	Resultat.	I. Pulmo- nalton	Resultat.	Differenz	
	Zahl der Beobach- tungen.		Zahl der Beobach- tungen.		Zahl der Beobach- tungen.		Aorten- ton minus Ventrikelton.	Pulmo- nalton
1. M.	22	0,003	13	-0,015	9	-0,05	-0,018	-0,053
2. W.	8	-0,053	28	-0,044	10	-0,05	0,009	-0,003
3. K.	17	-0,023	24	-0,032	-	-	-0,009	-
4. H.	17	-0,018	16	0,018	-	-	0,036	-
5. D.	15	-0,0001	15	-0,0086	-	-	0,01	-
6. R.	4	0,0000	12	-0,0027	-	-	-0,003	-
	Sa. 83		Sa. 108		Sa. 19		Mittel 0,009	-0,028

Wie man aus der vorstehenden Tabelle ersieht, fällt der erste Aortenton im Mittel nur um 0,009 Sec. später, als der Ventrikelton. Die Gesammtzahl der Einzelbeobachtungen, aus denen der Mittelwerth abgeleitet wurde, ist eine bedeutende, für den Ventrikelton 83, für den Aortenton 108. Der Ton der Pulmonalis fällt im Mittel aus 19 Beobachtungen 0,028 Sec. vor den Ventrikelton. Beide Zahlen fallen offenbar in die Grenze der unvermeidlichen Fehler und man könnte nach diesen Versuchen immerhin sagen, dass die beiden ersten Gefässtöne mit dem Ventrikelton zeitlich zusammenfallen, jedenfalls nicht durch eine längere Pause davon getrennt sind, wie sie die Verschlusszeit erfahrungsgemäss repräsentirt. Zu diesem Schluss hatte ich das nämliche Recht, mit dem Martius und seine Nachfolger nach den Resultaten der akustischen Markirmethode die einzelnen Marken an den Ort verlegten, der dem arithmetischen Mittel der erhaltenen Zahlen entsprach. Ich gebe mich aber mit diesem Ergebniss nicht zufrieden, denn eine eingehendere Kritik der ganzen Methode wird zeigen, dass man zu einem solchen Verfahren keineswegs berechtigt ist. Wenn ich mir gestatte, eine solche Kritik etwas ausführlicher zu geben, so liegt mir dabei keineswegs am Herzen, die Verdienste der Forscher, die sich dieser Methode bisher bedienten, irgendwie verkleinern zu wollen, als vielmehr zu zeigen, dass, in richtiger, aber anderer Weise verwerthet, die akustische Markirmethode (und ganz allgemein alle ähnlichen graphischen Methoden) eine mathematisch ausdrückbare Sicherheit in ihren Ergebnissen erlangen kann.

Zunächst konnte ich mich, wie ja auch schon andere dies thaten, davon überzeugen, dass bei der Martius'schen Markirmethode dadurch, dass im Tacte markirt wird, die Feinheit der Beobachtung in der That eine grosse zu sein scheint. Wenn man das arithmetische Mittel aus allen Beobachtungen zieht, erhält man eine Zahl, welche vom wahren Werth nur wenig abweicht. Es ist aber ganz falsch, daraus einen Schluss auf die Sicherheit der Methode begründen zu wollen, denn das kann Zufall sein. Das arithmetische Mittel ergiebt von n Beobachtungen nur den wahrscheinlichsten Werth und es ist noch gar nichts darüber ausgesagt, wie gross die Wahrscheinlichkeit ist, in einer weiteren Beobachtung oder in einer weiteren Reihe von Beobachtungen denselben Mittelwerth wieder zu erhalten oder einen Werth, der nur um eine bestimmte Grösse davon verschieden ist. Ein Beispiel mag dies erläutern. Es soll der Schlag eines Secundenpendels markirt werden, die Hälfte aller Beobachtungen soll um $\frac{1}{2}$ Secunde zu gross, die andere Hälfte um $\frac{1}{2}$ Secunde zu klein sein. Der erhaltene Mittelwerth würde dann mit dem wahren Werth vollständig zusammenfallen und trotzdem wäre die Beobachtungsweise eine sehr schlechte, der wahrscheinliche Fehler betrüge trotz der anscheinenden Exactheit $\pm 0,5$ Sec. und wenn die erste Beobachtungsreihe sehr viele Einzelbeobachtungen enthielte, könnte man sogar mit einer ausserordentlich grossen Sicherheit darauf rechnen, immer wieder bei jeder Beobachtung einen Fehler von 0,5 Sec. absolut zu begehen. Wäre die Beobachtungsreihe z. B. angestellt, um die Stelle eines Herztons in der Herzstosscurve festzusetzen und würde man, wie dies bisher allgemein geschehen ist, lediglich das arithmetische Mittel als maassgebend hierfür ansehen, so hätte diese Stelle immerhin eine grössere Wahrscheinlichkeit für sich als jede andere, aber nur eine sehr geringe Sicherheit wäre gegeben dafür, dass z. B. die richtige Stelle um $\frac{1}{4}$ Sec. vor oder hinter ihr liege. Wie gross die Wahrscheinlichkeit ist, dass der wahre Werth vom Mittelwerth nicht mehr als eine gewisse Grösse abweicht, lässt sich nur durch die Methode der kleinsten Quadrate entscheiden, wie dies später gezeigt werden soll.

Aber auch angenommen, der Methode käme die aus Versuchen von Martius und Anderen geschlossene Sicherheit

wirklich zu, so gilt dies nur von der Markirung eines stets im selben Tact wieder kommenden Schalls. Schon Martius selbst hat darauf aufmerksam gemacht, dass die Herztöne keineswegs streng rhythmisch erfolgen und dass daraus grössere Beobachtungsfehler resultiren. Eine Correction hingegen sucht Martius in der jederzeit möglichen Controle der Einzelbeobachtungen. Nach ihm kann man 2 Schallphänomene, die um mehr als etwa 0,03 bis 0,06 Sec. auseinander liegen, noch als getrennt unterscheiden und solche Beobachtungen sind dann von der Berechnung des Gesamtresultates auszuschliessen. So würde dann eine Genauigkeit bis auf etwa $\pm 0,03$ Sec. sich ergeben. Aber auch diese wäre für unsere Zwecke im Allgemeinen immer noch zu gering; da, wo 2 Punkte markirt werden, könnte der Fehler beim einen $+0,03$, beim anderen $-0,03$ Sec. betragen und in der gesuchten Differenz würde ein Fehler auftreten von 0,06 Sec., also fast so viel als die Verschlusszeit. Ausserdem habe ich mich von der Möglichkeit, solche fehlerhaften Einzelbeobachtungen mit Sicherheit auszuschliessen, nicht überzeugen können. Ich habe wohl auch jede gröbere Abweichung zwischen dem Klappen meiner Marke und dem auscultirten Ton sofort wahrgenommen, wenn man aber eine grössere Reihe von Einzelbeobachtungen in continuo anstellt, hat es hintennach seine Schwierigkeiten, jene mit gröberen Fehlern behafteten Beobachtungen auszusuchen und auszuschalten, wenn man nicht, willkürlich verfahrend, jede grössere Abweichung beim Ausmessen als fehlerhaft ausschliessen will. So liesse sich dann freilich jede Beobachtungsreihe auf ein beliebiges Maass erwünschter Genauigkeit bringen, aber künstlich! Ich habe auch in den vorstehenden und nachfolgenden Versuchen nur ein einziges Mal eine Beobachtung ausgeschlossen, die, als grob fehlerhaft erkannt, gerade an's Ende einer Beobachtungsreihe fiel. Verfährt man so, so leidet ja die Genauigkeit des Resultates unstreitig, es kommt nur darauf an, den Grad dieser Genauigkeit dann einwandfrei zu bestimmen, wie dies weiter unten gezeigt werden soll. Zu den möglichen Fehlern bei der Beobachtung und Markirung kommen dann auch noch die unvermeidlichen, ganz uncontrolirbaren Fehler beim Ausmessen der Curve mittelst des Zirkels. Ich habe die Ausmessungen nur nach halben Millimetern vorgenommen und halte

feineres Ausmessen für phärisäisch, da kein Mensch den Fusspunkt oder Gipelpunkt einer Curve bis auf $\frac{1}{10}$ mm genau bestimmen kann, ganz seltene, besonders günstige Verhältnisse an sehr fein gezeichneter Curve ausgenommen. Auch hier gilt es wieder, lieber mit einer etwas geringeren Genauigkeit vorlieb zu nehmen, den Grad derselben aber dann gewissenhaft zu bestimmen. Alles in Allem, kann ich der Kritik von Hürthle¹⁾ nur zustimmen, dass die akustische Methode keineswegs der Genauigkeit entspricht, die man ihr zuschrieb und die man von ihr verlangen muss, wenn es sich um Berechnung bis auf Hunderttheile der Secunde handelt. Das heisst: die akustische Markirmethode leistet das, wenn ihre Resultate eine Verwendung wie bisher finden, vielleicht, man hat aber nur keine Controle darüber, ob und inwieweit sie's thut. In der Art verwendet, wie ich's nun beschreiben will, leistet sie's auch nur vielleicht, aber ob und inwieweit sie's gethan hat, kann jederzeit zahlenmässig angegeben werden.

Es wurde schon erwähnt, dass das erhaltene Resultat der oben angeführten Beobachtungen mir keineswegs genügte, um die Frage nach der Selbständigkeit des Aortentons zu lösen. Der Cardinalpunkt bei dieser Frage liegt darin, ob der Aortenton innerhalb der Verschlusszeit, also bei noch geschlossenen, halbmondförmigen Klappen gebildet wird oder erst später. Nur im letzten Falle kann die herrschende Annahme, dass er durch die plötzliche Anspannung der Aortenwand entsteht, richtig sein. Bei den obigen Beobachtungen ist aber die Grösse der Verschlusszeit nicht bekannt, und ich vermag also auch nicht anzugeben, ob der wahrscheinliche Fehler die Grenze dieser Grösse nicht erreicht, oder gar überschreitet. Der Gedanke lag nahe, als Vergleichsobject zum Aortenton nicht den Ventrikelton, sondern ein Schallphänomen zu benutzen, das sicher erst während der Eröffnungsperiode, also nach der Verschlusszeit entsteht. Das nächstliegende, zu ähnlichen Zwecken von Martius mit Vortheil schon verwendete, wäre ein Aneurysmengeräusch. Das hatte ich nicht; man kann sich aber ein Stenosengeräusch mit Leichtigkeit bei den meisten Personen an der Carotis erzeugen.

¹⁾ Hürthle, Ueber die Erklärung des Cardiogramms. Deutsche med. Wochenschr. 1892. No. 4.

Drückt man mit dem Stethoskop auf das Gefäss, so hört man bei passendem Druck ein Geräusch, das ganz sicher an Ort und Stelle entsteht. Die Pulswelle braucht bekanntlich 0,03 Sec. bis zur Fortleitung in die Carotis, die Differenz der erhaltenen Werthe minus 0,03 Sec. musste also die Verschlusszeit geben, wenn auch am Herzen der erste Ton markirt wurde. Nun kam es aber bei meinen Versuchen darauf an, zu entscheiden, ob der erste Aortenton noch in die Verschlusszeit falle oder nicht und so musste folgende Anordnung der Beobachtungen getroffen werden.

Mit Hülfe der akustischen Markirmethode wurde der erste Aortenton und dann ebenfalls in einer Reihe von Einzelbeobachtungen das Carotisgeräusch bestimmt. Nach dem arithmetischen Mittel aus den Einzelbeobachtungen ergab sich die wahrscheinlichste Stelle je für den Aortenton und das Carotisgeräusch (Tab. II, Col. II und V). Die zeitliche Differenz minus 0,03 Sec. gab die Verschlusszeit (Col. IX). Man sieht, dass sich für diese im Mittel die Dauer von 0,078 Sec. findet, eine Zahl, welche mit den Werthen von Landois und Martius sehr gut übereinstimmt. Wäre die bisherige Annahme, dass der erste Aortenton durch Anspannung der Gefässwand entsteht, richtig, so dürfte sich (in Col. VIII) nur eine zeitliche Differenz gegenüber dem Carotisgeräusch von 0,03 Sec. ergeben und in der Col. IX müsste der Werth 0 Sec. stehen. Der Unterschied ist auffallend, immerhin kann erst die zahlenmässige Kritik der Beobachtungen auf ihre Genauigkeit den Entscheid liefern, ob die alte, ob die von mir vertretene Ansicht als die richtige angesehen werden muss. Diese Kritik war in folgender Weise anzustellen.

Durch die Markirmethode erhält man aus jeder Einzelbeobachtung einen Werth (Abstand vom ersten Fusspunkt der Curve, nur in der Reihe 6 wurde vom Gipfel gemessen); alle so erhaltenen Werthe auf der Abscisse (Zeitaxe) eingetragen, gruppiren sich um 2 Punkte, die für den Aortenton um einen (A), und die für das Carotisgeräusch um einen anderen (B). Die Lage des Punktes A und die des Punktes B wird durch das arithmetische Mittel aus den Einzelbeobachtungen ermittelt (wahrscheinlichster Werth Col. II, V). Die Entfernung beider Punkte von einander betrage a (Col. X in ganzen Millimetern).

T a b e l l e II.

I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
Versuchsperson und Datum.	I. Aortenton.	Mittel- werthe. Sec.	Zahl der Beobach- tungen.	b_1	Mittel- werthe. Sec.	Zahl der Beobach- tungen.	b_2	Sec.	mm	Sec.	
1. M. A., 21 J. 31. Jan. 1895.	—0,015	13	0,6583	0,094	26	0,7137	0,109	0,079	3	0,967	22 : 1
2. K. J., 20 J. 14. Febr. 1895.	0,018	30	0,4450	0,124	34	0,9091	0,106	0,076	4	0,810	5 : 1
3. G. J., 17 J. 15. Febr. 1895.	—0,044	19	0,6427	0,097	13	0,7140	0,141	0,111	5	0,921	10,2 : 1
4. H. J., 25 J. 15. Febr. 1895.	0,057	30	0,4518	0,184	28	0,7071	0,127	0,097	3	0,888	7,9 : 1
5. N. K., 38 J. 18. Febr. 1895.	—0,023	18	0,4671	0,090	38	0,4148	0,113	0,083	4	0,78	3,5 : 1
6. H. E., 21 J. 18. Febr. 1895.	—0,091 ¹⁾	29	0,433	—0,038 ¹⁾	45	0,7668	0,052	0,022	3	0,80	4 : 1
7. Sch. R., 34 J. 19. Febr. 1892.	—0,0016	27	0,6599	0,115	27	0,6324	0,117	0,087	4	0,865	6,3 : 1
8. II.	0,018	16	0,6641	0,116	29	0,6680	0,098	0,068	4	0,893	8,3 : 1
	Mittel:	0,013	Sa.: 182		Sa.: 240			Mittel:	0,078		8,4 : 1

¹⁾ Vom Gipfel gemessen!

Diese Entfernung kann als graphische Darstellung der Verschlusszeit angesprochen werden, denn die 0,03 Sec., welche das Blut vom Herz bis in die Carotis braucht, beträgt im Längenmaass nur etwa 0,1 mm, kommt also bei einer Abrundung auf ganze Millimeter nicht in Betracht. Wäre nun der für das Carotisgeräusch gefundene Werth sicher der wahre, so brachte man nur die Wahrscheinlichkeit zu berechnen, dass ein beim Aortenton begangener Fehler höchstens bis zu B reichte, um zu wissen, mit welcher Wahrscheinlichkeit der Aortenton sicher innerhalb der Verschlusszeit entsteht. Aber auch der Carotiswerth ist unsicher und ist auf seine Genauigkeit zu prüfen. Die mathematische Frage läuft also darauf hinaus: welche Wahrscheinlichkeit ist dafür vorhanden, dass der wahre Werth für den Aortenton den wahren Werth für das Carotisgeräusch nicht erreicht, dann hat man die Wahrscheinlichkeit dafür, dass der Aortenton nicht jenseits der Verschlusszeit entsteht.

Die Berechnung hatte nach der Methode der kleinsten Quadrate zu geschehen und zwar hat man in folgender Weise zu verfahren¹⁾.

Die Grösse der Fehler wollen wir allgemein mit v bezeichnen.

Nach Feststellung des Mittelwerthes aus allen (n) Einzelbeobachtungen war die Abweichung von diesem Werthe für jede Einzelbeobachtung zu bestimmen. Diese übriggebliebenen Fehler wurden quadriert und die Summe der Quadrate ergab eine Grösse, die wir mit $\Sigma(v^2)$ bezeichnen wollen. Das mittlere Fehlerquadrat ε^2 erhält man durch Division der Summe der Quadrate der übriggebliebenen Fehler durch die Zahl der Einzelbeobachtungen, also

$$\varepsilon^2 = \frac{\Sigma(v^2)}{n},$$

woraus die Seite des mittleren Fehlerquadrates folgt

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{\Sigma(v^2)}{n}}.$$

Eine hieraus berechnete Grösse $h = \frac{1}{\varepsilon\sqrt{2}}$ wird als Maass der Präcision bezeichnet.

¹⁾ W. von Rüdiger, Die Methode der kleinsten Quadrate. Berlin 1877.

Aus den gefundenen Grössen ergibt sich als Gleichung eine Curve, deren Ordinaten (w) die Wahrscheinlichkeit für die in der Abscisse eingetragenen Fehler (v) angeben in der Form

$$w = \frac{h}{\sqrt{\pi}} \cdot e^{-h^2 v^2}$$

und hieraus folgt, dass das Integral

$$\frac{2h}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-h^2 v^2} dv$$

die Wahrscheinlichkeit angiebt, dass der Fehler die Grösse x nicht überschreite.

Diese Rechnung muss sowohl für die Aortenwerthe, als auch für die Carotiswerthe durchgeführt werden, wenn man den Fehler mit v, das gefundene Maass der Präcision mit h, und h_2 bezeichnet, so sind also zu bestimmen

$$\frac{2h}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-h_1^2 v^2} dv \quad \text{und} \quad \frac{2h_2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-h_2^2 v^2} dv,$$

um zu erfahren, mit welcher Wahrscheinlichkeit an beiden Stellen kein Fehler grösser als x begangen wurde. Um kürzer schreiben zu können, wollen wir die beiden Functionen von v als $\varphi(v)$ und $\psi(v)$ bezeichnen.

Die Integrale können nicht in endlicher Form dargestellt, sondern nur durch Reihenentwickelung näherungsweise berechnet werden. Die meiner Rechnung zu Grunde gelegten x Werthe sind einer Tabelle entnommen, die sich im citirten Werk von W. von Rüdiger S. 46 findet.

Die Anwendung dieser Methode hat, wenn man x als aliquoten Theil des mittleren Fehlers bestimmt, den grossen Vortheil, dass man damit von der Güte der Beobachtungen vollständig unabhängig geworden ist. Das Resultat ist ebenso sicher, wenn die Beobachtungen schlecht, als wenn sie gut waren, man erhält dann eben eine geringere oder grössere Wahrscheinlichkeit für oder auch gegen die aufgestellte Behauptung, eventuell eine so kleine, dass man gar nichts behaupten kann. Für den Beobachter allein ist die Genauigkeit der Beobachtungen von Werth, denn er erhält mit ihnen bei einer kleineren Anzahl schon eine der Sicherheit nahe kommende Wahrscheinlichkeit für seinen Satz, während ein schlechter Beobachter entweder

mehr Serien dazu braucht oder überhaupt über einen so geringen Grad von Wahrscheinlichkeit nicht hinauskommt, dass er sein Resultat nicht als gesichert ansehen und proclaimiren kann. Der erstere gewaltige Vortheil liegt in der eben zahlenmässig angebaren Wahrscheinlichkeit dafür, dass eine Annahme richtig oder falsch ist. Ich sehe nicht ein, wie man sich sonst über die Beweiskraft von Beobachtungsreihen ein Urtheil verschaffen wollte und möchte mich dahin aussprechen, dass ähnliche Beobachtungen nur dann einer wissenschaftlichen Discussion völlig fähig sind, wenn sie in der angegebenen Weise mathematisch bearbeitet wurden. Eine Controle der Einzelbeobachtungen und Ausmessungen ist ja ausgeschlossen und es geht auch nicht an, sie alle wiederzugeben, denn, das mag auch noch betont werden, nur bei einer nicht zu kleinen Anzahl von Einzelbeobachtungen hat die Anwendung der Wahrscheinlichkeitsrechnung überhaupt einen Sinn (in nachfolgenden Untersuchungen wurde der erste Aortenton 182 mal, das Geräusch an der Carotis 240 mal markirt). Die Berechnung selbst ist durchaus keine schwierige, da die Werthe für das Integral in Tabellen schon vorliegen. Für den, der die Richtigkeit der Resultate prüfen will, sind in Tabelle II die Grössen h_1 und h_2 angegeben, wodurch sich die Controle von selbst ergiebt.

Nun handelt es sich darum, den entwickelten Gang der Wahrscheinlichkeitsrechnung auf unser Problem anzuwenden. Es ist die Wahrscheinlichkeit zu ermitteln, dass der Werth für A kleiner ist oder höchstens gleich dem für B. Um jeden dieser beiden Punkte gruppiren sich die Fehler so, dass die Wahrscheinlichkeit gleich gross ist, einen positiven oder einen negativen Fehler zu begehen, denn A und B stellen ja die Mittelwerthe aus den n Beobachtungen dar. Nun ist die Forderung, dass $A \leq B$ ist, jedenfalls erfüllt erstens für alle jene Fälle, dass der Fehler bei A negativ und bei B positiv ausfällt. Die Wahrscheinlichkeit für beide ist gleich $\frac{1}{2}$, das Produkt $\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$ ergiebt die Wahrscheinlichkeit, dass Beides zugleich eintritt. Möglich ist ferner zweitens, dass der Fehler bei A positiv und der bei B auch positiv ausfällt. Für die Annahme, dass $A \leq B$ wird, sprechen dann alle jene Fälle ganz sicher, in denen der Fehler bei $A \leq a$ ist (a die Entfernung zwischen A

und B). Die Wahrscheinlichkeit, dass der Fehler an beiden Stellen positiv ist, ist $= \frac{1}{4}$, diese Zahl muss also noch mit der Wahrscheinlichkeit w_1 multipliziert werden, welche nach der oben beschriebenen Rechnung dafür erhalten wird, dass der Fehler bei A die Grösse a nicht überschreitet. Drittens es liegt die Möglichkeit vor, die wieder die Wahrscheinlichkeit $= \frac{1}{4}$ für sich hat, dass beide Fehler bei A und bei B negativ sind. Es muss die Wahrscheinlichkeit w_2 dafür ausgerechnet werden, dass der Fehler bei der Markirung des Carotisgeräusches die Grösse a nicht überschreitet, das Produkt $\frac{1}{4} \cdot w_2$ zählt auch noch für unsere Annahme. Viertens endlich liegt die mit der Wahrscheinlichkeit $= \frac{1}{4}$ eintretende Möglichkeit vor, dass sich die Abweichungen von A und B entgegen kommen, der Fehler bei A positiv, der bei B negativ ist. Eine Coincidenz der Fehler wird dann sicher nicht eintreffen, A also $< B$ bleiben, wenn der Fehler bei A und bei B zugleich $< \frac{a}{2}$ ist. Für die Markirung des Aortentons muss also die Wahrscheinlichkeit dafür ausgerechnet werden, dass der Fehler die Grösse von $\frac{a}{2}$ nicht überschreitet, und ebenso für die Markirung des Carotisgeräusches die Wahrscheinlichkeit w_4 , dass der Fehler $< \frac{a}{2}$ bleibt. Nach Obigem findet man diese verschiedenen Wahrscheinlichkeiten

$$w_1 = \int_0^a \varphi(v) dv,$$

$$w_2 = \int_{-a}^0 \psi(v) dv,$$

$$w_3 = \int_0^{\frac{a}{2}} \varphi(v) dv,$$

$$w_4 = \int_{-\frac{a}{2}}^0 \psi(v) dv.$$

So ergiebt sich also aus jeder Beobachtungsreihe folgende Summe als Gesamtwahrscheinlichkeit dafür, dass der erste Aortenton in die Verschlusszeit fällt:

$$\begin{aligned}
 \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} &= \frac{1}{4}, \\
 + \frac{1}{4} \cdot w_1 &= x, \\
 + \frac{1}{4} \cdot w_2 &= y, \\
 + \frac{1}{4} \cdot w_3 \cdot w_4 &= z.
 \end{aligned}$$

Die Summe $\frac{1}{4} + x + y + z$ ist die gesuchte Wahrscheinlichkeit, die in Tab. II, Col. XI mit W bezeichnet ist.

(In der Art, wie ich meine Resultate berechnet habe, liegen einige Ungenauigkeiten vor. Sowohl w_1 als w_2 sind zu eng bestimmt, denn beide sind nicht nur für alle Fälle, wo v höchstens $= a$ wird, sondern auch überhaupt für alle jene Fälle zu bestimmen, wo der Fehler an der Aorta v_1 kleiner bleibt, als der Fehler v_2 an der Carotis vermehrt um a , also für alle Fälle für $v_1 < v_2 + a$. Ebenso ist im 4. Fall w_3 und w_4 streng genommen so zu bestimmen, dass $w_3 + w_4 < a$ bleibt, wovon $w_3 = \frac{a}{2}$ und $w_4 = \frac{a}{2}$ nur eine Möglichkeit darstellt. Es würde demnach noch eine nicht unbeträchtlich grössere Wahrscheinlichkeit für unsere zu beweisende Annahme bezüglich der Lage des ersten Aortentons innerhalb der Verschlusszeit herauskommen. Im Interesse der einfacheren Rechnung habe ich es aber bei den oben erwähnten Möglichkeiten belassen.)

Aus der Grösse w kann man berechnen, wie hoch man auf die Richtigkeit des Resultats wetten kann; so ergiebt sich eine Grösse, die wir mit E (Einsatz) bezeichnen wollen. So kann ich in der ersten Versuchsreihe 967 gegen 33 oder rund 22 gegen 1 wetten, dass der erste Aortenton in die Verschlusszeit fällt. Im Mittel beträgt dieser Einsatz 8.4 : 1. Würde es sich um ein regellos vorkommendes, in seiner Entstehung dem Zufall preisgegebenes Phänomen handeln, so könnte ich nach meinen 420 Beobachtungen die Wette darauf eingehen, dass unter 9 Fällen mindestens 8mal der erste Aortenton während der Verschlusszeit entsteht. So liegen aber hier die Dinge keineswegs. Es ist unvernünftig anzunehmen, dass der erste Aortenton bisweilen während der Verschlusszeit, also im Ventrikel, bisweilen nach derselben durch Anspannung der Gefässwand entsteht, man hat nur die Wahl, entweder das eine oder das andere als das Gesetzmässige (beim Gesunden) anzunehmen. Prüft man nun die Wahrscheinlichkeit für diese Alternative an

der Hand der von mir angestellten Beobachtungen, so stellt sich heraus, dass in allen 8 Fällen das Entstehen des Tons während der Verschlusszeit constatirt wurde und zwar mit der jedesmal angegebenen Wahrscheinlichkeit. Letztere von 1 subtrahirt ergiebt die Wahrscheinlichkeit für die entgegengesetzte Annahme, der Quotient der beiden Wahrscheinlichkeiten den Einsatz, den ich jedesmal für meine Behauptung gegen 1 wetten darf. Wäre die entgegenstehende Annahme, die bisher gültige, die richtige, so hätte ich jedesmal meinen Einsatz verloren. Die Wahrscheinlichkeit hierfür erhält man durch das Produkt aller Wahrscheinlichkeiten für die mir entgegenstehende Annahme. Dieses beträgt 0,000000036, ich kann also rund 25 Millionen gegen 1 wetten, dass ich mit der Behauptung Recht habe, wonach der erste Aortenton während der Verschlusszeit entsteht und dass die bisherige Anschauung von seiner Entstehung irrig ist.

Wenn ich nun die von mir aufgestellte Behauptung über die Entstehung des ersten Aortentons mit einer so grossen Sicherheit aussprechen kann, so ist kein Grund einzusehen, warum es sich bei der Pulmonalis anders verhalten sollte. Wer aber den besonderen Nachweis für den ersten Pulmonalton im Ernst für nöthig halten sollte, der mag ihn selber führen, ich mache diesbezüglich gar keinen Vorbehalt.

Diesen Beobachtungsreihen an Personen mit gesundem Herzen möchte ich anhangsweise noch zwei weitere, an Herzkranken angestellt, anreihen. Beim Patienten 1 (Tab. III) wurde eine Insuff. v. mitralis angenommen. Auffallend ist die lange Dauer der Verschlusszeit, die plausibel erscheint, denn wenn das Blut zum Theil durch die Vorhofsklappe entweicht, so wird der Ventrikel eine längere Zeit brauchen, um den hohen Druck in der Aorta zu überwinden. Der andere Fall (2) betrifft einen Patienten mit starker Insuff. v. aortae. Die Resultate bilden einen hübschen Gegensatz zu den bisher erhobenen. Wie man sieht, fehlt die Verschlusszeit, ist sogar als negativ gefunden und der erste Aortenton fällt mit dem Geräusch in der Carotis zeitlich nah zusammen. Hier ist nicht zu unterscheiden, ob er durch Anspannung der Aortenwand entsteht oder vom Ventrikel

fortgeleitet ist, denn auch der Ventrikelton liegt sehr nah bei den anderen beiden Schallphänomenen.

Eine Gewähr bezüglich der Genauigkeit an diesen beiden pathologischen Fällen gebe ich nicht, wer über ein grösseres Material verfügt, kann hier noch schöne Entdeckungen machen, ich gebe sie preis.

T a b e l l e III.

Patient.	I. Ventrikel-ton. Sec.	I. Aorten-ton. Sec.	Carotis-geräusch. Sec.	Differenz Aort. minus Ventr. Sec.	Differenz Carot. minus Aort. Sec.	Ver- schluss- zeit. Sec.
1. D. H., 31 Jahre. 20. Febr. 1895.	(15 Beob.) —0,0001	(15 Beob.) —0,0086	(38 Beob.) 0,122	0,01	0,123	0,093
2. R. W., 69 Jahre. 24. Jan. u. 1. Febr. 1895.	(4 Beob.) 0,0000	(12 Beob.) —0,0027	(17 Beob.) 0,013	—0,0027	0,0157	—0,014

Wenn der erste Gefässton zu einer Zeit entsteht, während deren die halbmondförmigen Klappen noch geschlossen sind, so kann er nur von Schwingungen dieser Klappe selbst herrühren. Es ist auch gar kein Grund einzusehen, warum zu Beginn der Systole nur die Vorhofsklappen und nicht auch die geschlossenen Valvulae semilunares schwingen sollen. Diese sind zu Ende der Diastole durch den bedeutenden Druck im Gefäss gegen den Ventrikel, in welchem kein oder nur ein sehr geringer positiver Druck herrscht, stark vorgebaucht. Mit dem Anfang der Systole wird dies anders, die Druckdifferenz zwischen Arterie und Ventrikel ist während der Verschlusszeit viel geringer und die Klappen müssen eine neue Gleichgewichtslage, mehr gegen das Lumen der Arterie hin, annehmen, um welche sie schwingen, oder wem die alte Sprachweise geläufiger ist: die plötzliche Entspannung der halbmondförmigen Klappen bringt diese zum Tönen. Es fragt sich nur noch, warum die Gefässwand nach der Verschlusszeit nicht durch den plötzlichen Anprall zum Tönen gebracht wird, warum also der Vorgang, den man bisher ganz allgemein für die Bildung des ersten Gefässtons verantwortlich machte, einen Ton nicht entstehen lässt. Ein Blick auf die beiden Curven, welche A. Fick¹⁾ vom Druck im Ventrikel

¹⁾ A. Fick, Compend. d. Physiol. IV. Aufl. Wien 1891. S. 271.

und vom Druck in der Aorta gegeben hat, lässt dies wohl verstehen. Die Druckschwankung im Ventrikel ist so viel bedeutender als die in der Aorta, dass es begreiflich erscheint, dass zwar im Ventrikel, nicht aber im Gefäss eine so starke und plötzliche Dehnung der Wandung bewirkt wird, dass ein Ton entstehen kann. Es soll aber gar nicht geleugnet werden, dass bei Aorteninsufficienz ein systolischer Ton an der Aorta durch Dehnung der Wand entstehen kann, oder auch bei aussergewöhnlichen Druckschwankungen bei Gesunden und der Gedanke liegt nah, dass sich so die häufig zu beobachtenden gespaltenen Töne wenigstens zum Theil erklären lassen. Der erste Theil des gespaltenen Tons wäre ein Ventrikeltion, bezw. durch Schwingung der geschlossenen Klappen gebildet, der zweite Theil durch Dehnung der Gefässwand. Die häufige Flüchtigkeit des Phänomens würde sich damit wohl in Einklang bringen lassen, der gespaltene Ton würde zu erwarten sein, wenn der Druck im Gefäss während der Diastole stark gesunken ist oder auch bei abnorm kräftiger Herzarbeit. Auch die Spannung der Gefässwand käme für die Schwingungsfähigkeit derselben in Betracht, lauter Dinge, welche ich nur andeuten will, denn ich möchte meine Hypothese bezüglich der gespaltenen Töne noch nicht für ganz gesichert halten, vielleicht hat sie aber wenigstens deswegen einigen Werth, weil bisher alle Versuche, die gespaltenen ersten Töne zu erklären, keineswegs geglückt sind.

Durch die vorliegenden Untersuchungen sind wir gezwungen, anzunehmen, dass beim ersten Ton nicht nur die Vorhofsklappen und die Muskelwand, sondern auch die noch geschlossenen halbmondförmigen Klappen schwingen, also die ganze Umgrenzung des allseitig geschlossenen Ventrikels. Fehlt irgendwo die geschlossene Umgrenzung, ist ein Loch da, durch welches der Blutstrom schon zu Beginn der Systole entweichen kann, so wird ein erster Ton nicht mehr gebildet, weil die schwingungsfähigen Theile nicht mit einem Ruck in die neue Gleichgewichtslage gerissen werden, sondern dieselben in verhältnissmässig langsamem Tempo erreichen. Durch das träge Blut wird die Bewegung der sich contrahirenden Theile gedämpft und auch der Druck steigt, weil das Blut ausweichen kann, im Ventrikel nur allmähhlich an, und so werden auch die geschlossenen Klappen

am Vorhof und am Gefäss verhältnissmässig nur langsam in eine andere Lage gebracht. Hiemit wäre also auch eine Erklärung dafür gegeben, dass bei Insufficienz der Aortenklappe gar nicht selten ein erster Ton „an der Mitralis“ vermisst wird. Er kann sich in der That nur dann bilden, wenn eine Verschlusszeit trotz zerstörter Aortenklappen noch dadurch wenigstens in geringem Maasse gegeben ist, dass das Blut in der Aorta nicht sofort entweicht. (Oder man hört einen fortgeleiteten ersten Ton von der Aorta her, wo er bei Insufficienz der Klappen in der Wand entstehen kann.) Eine Verschlusszeit, wenn auch nur rudimentär entwickelt, ist aber absolut Bedingung für die Bildung eines reinen ersten Tons im Ventrikel. Da bei diesem nothwendig die ganze Umgrenzung des Ventrikels erzittert, hat man nur die Wahl, entweder wenigstens 3 systolische Töne für jedes Herz anzunehmen: einen an der Vorhofsklappe, einen an der Wand, und einen an den geschlossenen halbmondförmigen Klappen oder nur einen einzigen Ventrikelton für jeden Herzabschnitt. Diese Wahl kann kaum schwer fallen. Die 3 Töne entstehen absolut zur nämlichen Zeit, durch die nämliche Kraft und unter den nämlichen Bedingungen; unter den nämlichen pathologischen Bedingungen gehen sie auch allesamt verloren oder werden durch ein Geräusch ersetzt, dessen Charakter dann freilich je nach dem Ort, wo es entsteht, ein verschiedener ist. Demgemäß ist man wohl berechtigt, von einem systolischen Geräusch an der Mitralis, an der Aorta u. s. w. zu sprechen, während es sich empfehlen dürfte, nur von einem einzigen systolischen Ventrikelton in jeder Herzhälfte zu reden. Ich weiss wohl, dass der erste Ton auch bei Gesunden sich nicht überall am Herzen ganz gleichartig anhört, dass er an der Spalte den Accent trägt, an der Aorta thut dies der zweite Ton. Allein dies widerspricht keineswegs der ausgesprochenen, wie ich glaube, wohl gestützten Meinung. Für's erste ist das Maass für die Stärke des ersten Tons die des zweiten. Wenn man das Tick-Tack an der Spalte mit einer Trochaeus, das an den Gefässen mit einem Jambus verglichen hat, so lässt dies auch die Deutung zu, dass eben der zweite Ton an den Gefässen, wo er gebildet wird, lauter sein muss, als an der Spalte, die Verschiedenheit in der Stärke des zweiten Tons würde also die

für viele Fälle passenden Vergleiche aus der Metrik erklären. Wenn man ferner nur einen Ventrikelton annimmt, so ist damit keineswegs gesagt, dass an allen Theilen der Umgrenzung des Ventrikels die Wand gleich stark und in gleicher Weise schwingt, nur zur nämlichen Zeit, das wurde behauptet. Wer also Unterschiede machen will, der darf gleich so viele erste Töne annehmen, als er Stellen am Ventrikels einschliesslich der geschlossenen arteriellen Klappen auscultiren kann. Will einer das nicht, so bleibt ihm offenbar nichts anderes übrig, als mit der Lehre von den 6 Herztönen zu brechen und deren allerhöchstens 4 anzunehmen. Je ein systolischer entsteht am Ventrikels, je ein diastolischer an den halbmondförmigen Klappen. Ja es lässt sich noch die Frage aufwerfen, ob die Zahl der Herztöne nicht noch weiter reducirt werden müsse. Für die beiden diastolischen Töne geht dies ohne Zweifel nicht an, sie sind in ihrer Bildung von einander gänzlich unabhängig, es sind ihrer zwei, die nur zeitlich regelmässig zusammenfallen, dass sie dies unter pathologischen Bedingungen nicht immer thun, ist durch die bekannten Untersuchungen von A. Geigel über den gespaltenen zweiten Herztont erwiesen.

Dagegen wäre es noch zu entscheiden, ob in allen Fällen die beiden Ventrikel sich ganz unabhängig von einander contrahiren können. Es giebt in der That Fälle, z. B. von Insuffizienz der Mitralis, wo auch über dem rechten Herzen statt des ersten Tons ein systolisches Geräusch gehört wird. Dieses mag man ja dann wohl als „fortgeleitetes“ deuten, damit ist aber nicht erklärt, warum nicht neben dem Geräusch noch ein erster Ton vorhanden ist, wie dies in vielen anderen Fällen tatsächlich nachgewiesen werden kann, nicht erklärt, warum der erste Ton auch über dem rechten Herzen fehlt. Die Annahme, dass der Ton durch das Geräusch verdeckt werde, geht auf schwachen Füssen, wie eben jene Fälle vom Ton neben lautem Geräusch beweisen. Ich will die Frage, ob nicht manchmal nur 3 Herztöne anzunehmen seien, 1 systolischer und 2 diastolische für heute nicht entscheiden und mich einstweilen mit meinen 4 Tönen begnügen. Die Revolution dürfte so schon eine hinreichend grosse sein. Ich will heute nicht darauf eingehen, aber so viel ich aber sehe, eröffnet die von mir vorgetragene Lehre

Aussichten auf eine in mancher Beziehung einfachere und ungewungenere Erklärung der mitunter nicht leicht zu entwirrenden Phänomene bei complicirten Herzfehlern. Dem physikalischen Verständniss der mechanischen Verhältnisse muss eine richtigere physikalisch-physiologische Grundlage nothwendig zu Gute kommen, ob die Diagnostik ebenfalls davon einigen Nutzen haben wird, kann erst die Zukunft lehren, ganz ausgeschlossen ist die Hoffnung darauf aber nicht, wenn man bedenken will, dass — die Richtigkeit der hier vorgetragenen Dinge vorausgesetzt — eine Lehre gestürzt ist, welcher seit fast vier Decennien alle¹⁾ Mediciner wohl der ganzen Welt ohne den leisesten Zweifel an ihrer Gültigkeit anhingen.

II.

Beiträge zur Aetiologie der putriden Bronchitis.

(Aus der Medicinischen Klinik des Herrn Prof. Eichhorst in Zürich.)

Von Dr. Th. Hitzig,
Assistenten der Klinik.

Seit den Untersuchungen von Leyden und Jaffe²⁾), die sich zum ersten Mal eingehend mit den Mikroorganismen in den putriden Sputa und der Frage nach dem causalen Zusammenhang zwischen denselben und dem Fäulnissprozess in den Lungen beschäftigen, sind über diesen Gegenstand zahlreiche Untersuchungen angestellt worden, ohne dass bis jetzt sich dabei übereinstimmende Resultate ergeben hätten, so dass es heutzutage noch nichts weniger als sicher gestellt ist, auf welche Weise der putride Prozess, sowohl bei der Lungengangrän als bei der putriden Bronchitis zu Stande kommt.

¹⁾ Anm. bei der Correctur: Dies ist nicht ganz richtig. Hr. Prof. Martius war so freundlich, mir brieflich mitzutheilen, dass er schon seit 4 Jahren in seinen Vorlesungen und Cursen lehre, dass es 4 und nicht 6 Herzschläge gebe, nur durch Mangel an Zeit sei er an der beabsichtigten experimentellen Ausarbeitung dieser Frage verhindert worden.

²⁾ Deutsches Archiv f. klin. Med. Bd. 2.