(Aus dem physiologischen Institut zu Breslau.)

Beiträge zur Hämodynamik.

Zehnte Abhandlung.

Ueber die mechanische Registrirung der Herztöne.

Von

Prof. Dr. **K. Hürthle.**

Hierzu Tafel X und 10 Figuren im Text.

A. Technik.

Das Princip der hier verwendeten Methode zur mechanischen Registrirung der Herztöne ist schon vor zwei Jahren demonstrirt¹⁾ und sammt einigen Ergebnissen kurz veröffentlicht worden²⁾. Eine eingehende Beschreibung der Methode stand noch aus, da Verf. bisher mit Verbesserungen derselben beschäftigt war. Diese sollen nun im Folgenden beschrieben werden, wobei zu bemerken ist, dass die Methode inzwischen schon von anderer Seite aufgenommen und vervollkommenet worden ist³⁾.

1) S. d. Verhdlg. des II. internat. Physiologencongresses in Lüttich. Centralbl. f. Physiol. VI, 1892, S. 398.

2) K. Hürthle, Ueber die Erklärung des Cardiogramms mit Hülfe der Herztonmarkirung und über eine Methode zur mechanischen Registrirung der Töne. Deutsche med. Wochenschrift 1892. No. 4.

3) Einthoven u. Geluk, Die Registrirung der Herztöne. Dies. Arch. Bd. 57, S. 617. Zur Einleitung dieser Abhandlung sehe ich mich genöthigt, eine historische Bemerkung zu machen, da dieselbe beim Leser die Vorstellung erwecken muss, als hätte ich seiner Zeit Herrn Léon Fredericq die Bearbeitung des Themas aus der Hand genommen. Die Verff. schreiben nämlich: „der erste, welcher versucht hat, eine direkte graphische Darstellung der Herztöne zu erhalten, ist Léon Fredericq in Lüttich, der die Schwin-

Eine Uebersicht über die Methode gibt Fig. 1, welche der ersten Mittheilung entnommen ist. Auf einer, vom Spitzenstoss direkt nicht betroffenen Stelle der Brustwand sitzt das eigenartig

Fig. 1.

construirte Mikrophon *M*, dessen Contacte in den Kreis des Elementes *E* eingeschaltet sind, in welchem sich ausserdem noch die primäre Spirale *J_I* eines Inductoriums befindet. Die secundäre

gungen einer phonautographischen Membran photographirte, aber seine Ergebnisse unseres Wissens bis jetzt noch nicht publicirte. Nach Fredericq ist Hürthle in Breslau zu erwähnen.

Hierzu muss ich aber bemerken, dass ich zur Zeit, als die Mittheilung Fredericq's erschien, dass er Versuche angestellt habe, um die Herztöne objectiv zu registriren (Centralbl. f. Physiol. v. 30. Juli 1892), schon zwei Jahre lang mit dem Problem der Herztonregistriung beschäftigt und so weit gekommen war, dass ich meine Methode zum Physiologencongress in Lüttich anmelden konnte, wo sie am 29. August 1892 demonstriert wurde.

Spirale J_{II} kann verbunden werden 1) mit dem Telephon T durch Oeffnen des Schlüssels S_I ; 2) mit den Electroden El durch Oeffnen des Schlüssels S_{II} ; über diese wird der frisch präparirte Hüftnerf vom Frosche gelegt, während der zugehörige Wadenmuskel mit der Membran der Aufnahmetrommel A_{II} verbunden ist, welche er bei seiner Verkürzung anzieht; von der Aufnahmetrommel führt ein Gummischlauch zur Schreibtrommel T_{II} .

Die Registrirung geht nun in der Weise vor sich, dass die Herztöne mechanische Bewegungen des Mikrophoncontactes veranlassen, welche Schwankungen des vom Element E gelieferten electrischen Stromes zur Folge haben. Diese rufen in J_{II} Inductionsströme hervor, die entweder, in das Telephon T übergeführt, dem Gehör wahrnehmbar gemacht oder, den Electroden zugeführt, zur Reizung des Froschmuskels verwendet werden; im letzteren Falle wird die durch den Inductionsschlag veranlasste Muskelzuckung durch Luftübertragung auf dem Kymographion registrirt.

Verzeichnet man gleichzeitig noch die Bewegung des Spitzenstosses mit Hilfe des Transmissionssphygmographen $A_I T_I$, so hat man am Cardiogramm die Herztöne markirt.

Die Verspätung des einen Systems gegen das andere lässt sich nachträglich leicht dadurch feststellen und in Rechnung bringen, dass man mit der Aufnahmetrommel A_I gegen das Mikrophon M klopft. Beide Schreibtrommeln T_I und T_{II} geben dann einen Ausschlag auf eine Bewegung, welche die Anfangsglieder beider Systeme gleichzeitig trifft, und es lässt sich an den registrirten Ausschlägen der Schreibtrommeln ohne Weiteres ablesen, wie gross die Verspätung des einen Systems gegen das andere ist (s. Fig. 2, Taf. X).

Der wesentliche Theil der ganzen Vorrichtung, das Mikrophon, ist in Fig. 2 abgebildet, welche gleichfalls der ersten Mittheilung entnommen ist. R ist eine Stethoskopröhre, deren erweitertes, der Brust aufsitzendes Ende in der Zeichnung weggelassen ist; ihr oberes Ende trägt auf einem schräg angeleimten Holzring eine, nach Analogie des Trommelfells kegelförmig zusammengeklebte Membran aus dünnem Pergamentpapier und auf die oberste Mantellinie dieses Kegels ist das dünne Holzstäbchen H geleimt, welches am freien Ende den Kohlencontact K_I trägt. Der zweite Kohlencontact K_{II} ist auf einem mit der Stethoskopröhre fest verbundenen Holzring angebracht und kann mit Hilfe

der Schraube S gegen K_I bewegt oder von ihm entfernt werden. Zwischen K_I und K_{II} liegt ein kleiner Kohlencylinder mit kugelförmig abgeschrägten Enden, die in entsprechende Vertiefungen von K_I und K_{II} passen.

Diese Vorrichtung hat nun erhebliche Abänderungen erfahren, welche theils die Vervollkommenung des Mikrophons, theils die

Fig. 2 Ursprüngliches Mikrophon-Stethoskop.

Ersetzung des Froschmuskels durch eine mechanische Vorrichtung bezweckten. Es lag nun sehr nahe, zu letzterem Zwecke das Capillar-Electrometer zu verwenden, welches ja schon versuchsweise von Ewald¹⁾ und neuestens mit gutem Erfolge von Einthoven und Geluk verwendet worden ist. Der Grund, warum ich von der Verwendung dieses empfindlichen Instrumentes Abstand nahm, ist der, dass seine Bewegungen nur photographisch registrirt werden können. Diese Technik suchte ich womöglich zu umgehen und so ging ich darauf aus, die Herztöne mit Hilfe eines Electromagneten zu registriren.

Ohne Frage stellen die Versuche von E. und G. einen Fortschritt in der Registrirung der Herztöne dar, vor allem desshalb, weil es den Verff., vorläufig wenigstens am Herzen kleiner Thiere, gelungen ist, die Töne ohne feste Verbindung zwischen Brustwand und Mikrophon zu registriren. Ob die Verbindung von Mikrophon und Capillarelektrometer im Stande ist, auch die Qualität der Töne

1) S. Centralbl. f. Physiol. VII, 1893. S. 53.

richtig darzustellen, wird wohl die in Aussicht gestellte ausführliche Abhandlung lehren.

Was nun die electromagnetische Registrirung der Herztöne betrifft, so müssen die vom Mikrophon veranlassten Stromschwankungen verhältnissmässig gross sein, um den Electromagneten in wirksamer Weise zu beeinflussen. Dies liess sich aber mit Hilfe des oben beschriebenen Mikrophons nicht erreichen. Der erste Nachtheil, welchen dasselbe zeigte, war der, dass es unregelmässig funktionirte und häufig versagte. Dieser Nachtheil liess sich durch eine kleine Abänderung beseitigen, nämlich durch ein sehr feines Loch, welches in die Stethoskopröhre gebohrt wurde. Durch ungleichmässiges Andrücken des Stethoskops gegen die Brustwand entstehen nämlich im Hohlraum desselben Druckschwankungen, welche auch die schwingende Membran und den Kohlencontact treffen und so die Einstellung des Mikrophons ändern. Das kleine Loch in der Stethoskopröhre gestattet nun den Ausgleich der Druckschwankungen mit der Aussenluft und hat so dieselbe Bedeutung wie die Tuba Eustachii, welche den Zweck hat, den Druck zu beiden Seiten des Trommelfells gleich zu erhalten.

Durch diese Verbesserung war die Thätigkeit des Mikrophons zwar regelmässig geworden, allein dasselbe vertrug die Anwendung stärkerer electrischer Ströme nicht, die zur Beeinflussung eines Electromagneten erforderlich waren. Verwendete man nämlich mehr als ein Daniell-Element zur Stromerzeugung, so bemerkte man im Telephon ein unregelmässiges Knarren und Zischen, auch wenn das Mikrophon vollkommen ruhig war. Dieser Uebelstand rührte, wie eine Prüfung der einzelnen Factoren lehrte, davon her, dass der Widerstand, welchen die Kohle des Mikrophons bot, zu gross war im Verhältniss zur Kraft von zwei Daniell. Die Dimensionen der Kohlenstäbchen waren nämlich möglichst klein gewählt worden, um die Trägheit dieser Theile möglichst gering zu machen. Dieser Uebelstand lässt sich natürlich durch Vergrösserung der Kohlenstücke beseitigen, doch vergrössert man mit der Masse der Kohle auch die Trägheit des Apparates. Aus diesem Grunde bin ich davon abgekommen, als Material für die Mikrophoncontacts ausschliesslich Kohle zu verwenden und benütze jetzt einen Contact aus reinem Silber, der einem Kohlenstück gegenübersteht. Die Form dieser Contacts wird später beschrieben werden (s. S. 271).

Was die Kohle anlangt, so sind die verschiedenen Arten derselben bekanntlich in sehr verschiedenem Grade zu mikrophonischen Zwecken geeignet und man muss sich bei jedem Instrument von der Brauchbarkeit des Kohlenstückes überzeugen.

Weiterhin machte sich am Mikrophon die bekannte Erfahrung geltend, dass die gegenseitige Entfernung, bezw. der Druck der Contacte ein ganz bestimmter sein muss, wenn das Instrument gut functioniren soll, und dass kleine Aenderungen des gegenseitigen Abstandes von weniger als $\frac{1}{100}$ mm genügen, um die Thätigkeit des Instrumentes zu stören. Die Regulirung der Einstellung muss daher eine äusserst sorgfältige sein (s. S. 271).

Als vortheilhaft erwies es sich ferner, den einen der Contacte an einer elastischen Feder anzubringen; diese lässt sich dann gleichzeitig zur Regulirung der Einstellung benützen.

Schliesslich habe ich auf Grund theoretischer Erwägungen das Princip des Trommelfells bei der Construction des Mikrophons verlassen und ein anderes an seine Stelle gesetzt. Das Trommelfell unseres Ohres ist, wie wir wissen, eine unübertroffene Vorrichtung, um Schwingungen aus der Luft aufzunehmen. Dagegen ist es fraglich, ob sich nicht für die Ausnützung von Schwingungen, welche in festen Körpern entstehen und aus diesen nur schwer an die Luft, leicht aber an feste Körper übergehen — und zu diesen gehören die Herztöne —, eine empfindlichere Vorrichtung finden lässt, als sie eine kegelförmige Membran darstellt.

Als solche Vorrichtung fasste ich die Stimmgabel in's Auge, die mir die Möglichkeit zu gewähren schien, Schwingungen fester Körper in einer für die Anbringung eines Mikrophons sehr vortheilhaften Weise aufzunehmen. An der schwingenden Gabel bewegen sich ja bekanntlich die beiden Zinken in der Weise, dass sie sich jeweils gleichzeitig einander nähern oder von einander entfernen; ihre Bewegung aber setzt sich als Längsschwingung in den Stiel fort. Die wesentliche, für den vorliegenden Zweck zu entscheidende Frage ist nun die, ob sich bei der Stimmgabel auch die umgekehrte Folge der Bewegungen erzielen lässt, als die gewöhnliche, d. h. also, ob sich die beiden Zinken der Gabel auch dadurch in Schwingung versetzen lassen, dass der Ton dem Stiel der Gabel durch einen festen Körper zugeführt wird. Eine weitere Frage ist dann die, ob die Stimmgabel auf diese Weise nur auf ihren Eigenton, oder auch auf andere Töne reagirt. Für den

Fall, dass diese beiden Bedingungen erfüllt sind, stellt dann die Stimmgabel aus dem Grunde ein für mikrophonische Zwecke geeignetes Instrument dar, weil zwei an den Zinken angebrachte Contacte beim Zuleiten eines Tones jeweils gleichzeitig einander genähert oder von einander entfernt werden.

Zur Entscheidung der genannten Fragen wurden folgende Versuche angestellt; die erste Frage, ob eine Stimmgabel vom Stiel aus in Schwingung versetzt werden kann, lässt sich durch einen einfachen, subjectiven Versuch beantworten: man bringt eine Metallgabel auf die gewöhnliche Weise zum Tönen und hält sie so, dass sich das Stielende in einiger Entfernung vom Ohre befindet und die Zinken nach abwärts gerichtet sind. Wartet man nun, bis der Ton der Gabel nicht mehr hörbar ist und setzt dann den Stiel einer Holzgabel auf den der Metallgabel, so wird der frühere Ton sofort wieder hörbar, ohne Zweifel deshalb, weil die Zinken der Holzgabel in Schwingung gerathen und dem Ohr viel näher sind als die der Metallgabel. Diese Erscheinung tritt nicht nur bei gleichem Eigenton der beiden Gabeln, sondern auch dann ein, wenn der Eigenton der Metall- und der Holzgabel verschieden ist. Um diese überraschende Erscheinung objektiv festzustellen, wurden folgende Versuche gemacht: An der Zinke einer Holzgabel wird ein zugespitzter Span eines Federkiels mittelst Klebwachs angebracht und die Gabel durch Einklemmen des Stiels so vor dem Kymographion befestigt, dass die Federspitze auf das berusste Papier schreibt, auf welchem ausserdem die Zeit in $\frac{1}{5}$ Sekunden (mittelst des graphischen Chronometers von Jaquet) markirt wird. Nun bestimmt man zunächst die Höhe des Eigentons der Gabel, indem man bei passendem Gang der Trommel die Gabel durch Anziehen und Loslassen einer Zinke in Schwingung versetzt und die registrierten Schwingungen auszählt. Alsdann bringt man den Stiel einer tönenden Stimmgabel von bekannter Schwingungszahl mit dem der Holzgabel in Berührung und registriert die fraglichen Schwingungen der letzteren wieder auf dem Kymographion. Bei diesen Prüfungen wurden drei stählerne Stimmgabeln von 100, 128 und 440 ganzen Schwingungen benützt; die Masse der beiden ersteren war gross, die der letzteren — einer gewöhnlichen normal a-Gabel — relativ klein. Diese drei Gabeln wurden mit drei verschiedenen Holzgabeln in der genannten Weise in Berührung gebracht, deren Eigenton eine Schwingungszahl von 130, bezw.

190 und 224 pro Sekunde hatte, Dabei zeigte sich, dass die kleine a-Gabel keine der Holzgabeln in so intensive Schwingung zu versetzen vermochte, dass diese hätte registriert werden können¹⁾; dagegen liessen sich die durch die beiden andern Metallgabeln verursachten Schwingungen der Holzgabeln leicht registrieren und erschienen als deutlich sichtbare, sinusförmige Schwingungen von 0,1 bis 0,6 mm Höhe. Die Auszählung dieser Schwingungen ergab, dass alle drei Holzgabeln beim Andrücken der Metallgabel von angeblich 100 Schwingungen 102 Schwingungen pro Sekunde aufzeichneten und 130 Schwingungen beim Andrücken der Gabel von 128 Schwingungen. Eine nachträgliche Prüfung der Metallgabeln ergab aber, dass diese in Wirklichkeit nicht 100 bzw. 128, sondern 102½ bzw. 130 Schwingungen pro Sekunde ausführten.

Fig. 3.

physikalisch interessante Frage schien mir für den vorliegenden Zweck nicht erforderlich zu sein; das Mitgetheilte genügt, um die Aufnahme der Herztöne durch ein stimmgabelförmiges Mikrophon zu rechtfertigen.

Das Mikrophon, welches nach den im Vorhergehenden aus-

1) Dagegen war durch den subjectiven Versuch eine Erregung der Holzgabeln durch die a-Gabel zu constatiren.

einandergesetzten Principien construiert wurde, hat nun folgende Form: *ZGZ*, (s. Fig. 3) ist der Durchschnitt einer hölzernen Stimmgabel, an welcher die mikrophonische Vorrichtung angebracht ist. Die beiden Zinken *Z* und *Z*, tragen die Contacte *K* und *K*,, von welchen *K* einen kurzen Kohlencylinder darstellt, welcher in einen Neusilberrahmen gefasst ist; der zweite Contact, *K*, ist ein Cylinder aus reinem Silber, auf dessen der Kohle zugewandten Grundfläche sich 4 seitige Pyramiden von 1 mm Seitenlänge, in Reihen geordnet, erheben, deren Spitzen genau in einer Ebene liegen. Die Ebene der Pyramidenspitzen soll die Kohlenebene jeweils möglichst gleichmässig berühren und um dies zu ermöglichen, sind die beiden Contactplatten um zwei auf einander senkrechte Axen drehbar; die Kohlenplatte *K* nämlich ist drehbar um eine der Zinke *Z* parallele Axe, welche durch die Spitzen *S*, und *S*,, geht; die Silberplatte *K*, ist drehbar um eine zur Ebene der Zeichnung senkrechte Axe, welche durch die Spitze der Schraube *S*,, geht. Durch diese Einrichtung ist es ermöglicht, dass die Berührung der Contacte eine möglichst grosse und der Druck auch bei der Bewegung der Zinken gleichmässig auf die ganze Fläche vertheilt ist.

Die Kohlenplatte *K* ist in der genannten Weise fest mit der Zinke *Z* verbunden, die Silberplatte *K*, dagegen mit *Z*, durch Vermittelung der Neusilberfeder *I'*; diese ist durch den Fuss *P* und die Schraube *Sch_I* an der Zinke *Z*, festgeklemt.

Die richtige Einstellung der Contacte wird durch die Mikrometerschraube *M* bewerkstelligt, welche eine Ganghöhe von 0,2 mm und einen Kopf von 30 mm Durchmesser hat, so dass die Annäherung der Contactplatten mit grosser Feinheit ausgeführt werden kann. Um die Masse der Schraube nicht allzu gross zu machen, ist der Schraubenkopf dünn und in der Weise durchbrochen, dass der Radkranz nur von 3 Speichen getragen wird.

Die Zuleitung des Stromes geschieht links durch den Kupferdraht *L*,, rechts durch *L*,,.

Dieses Mikrophon wird nun mittelst des Stieles entweder auf ein gewöhnliches Stethoskop oder auf einen besonderen Resonanzapparat aufgesteckt und so zur Registrirung der Töne verwendet.

Nach mehreren missglückten Bemühungen, die Herztöne durch Resonanz einer Luftsäule zu verstärken, versuchte ich, eine Ver-

stärkung mit Hilfe von festen Körpern zu erzielen. Bekanntlich gerathen manche Formen von solchen, z. B. Scheiben, in ausgiebige Erzitterung, wenn sie von einem Ton oder Geräusch mit der Schwingungszahl ihres Eigentons getroffen werden. Bringt man daher eine grössere Zahl verschiedener Scheiben in den Weg,

Fig. 4. ($\frac{1}{3}$ nat. Gr.)

welchen die Herztöne zu durchlaufen haben, so werden sich unter diesen wohl eine oder mehrere befinden, welche durch die Töne in Mitschwingung versetzt werden; was die Theorie eines solchen Resonators anlangt, so würde derselbe den ursprünglichen Ton vermuthlich desshalb verstärken, weil eine grössere Masse in schwingende Bewegung versetzt wird, als dies ohne Anwendung der resonirenden Scheiben der Fall gewesen wäre; im letzteren Falle würde ein grösserer Theil der Energie des Tons in Wärme, anstatt in Massenbewegung umgesetzt.

Auf Grund dieser Ueberlegung erhielt der Resonanzapparat folgende Construction: Auf die Stethoskopröhre *St* (Fig. 4) wird das cylindrische Ende des hölzernen Hohlkegels *K* aufgesteckt, welcher den Resonanzapparat aufnimmt; dieser besteht aus einem cylindrischen Holzstab *C*, welcher in die Spitze des Kegels eingeschraubt

wird und am andern Ende eine Bohrung zur Aufnahme des Stimmgabelstieles hat; auf diesen Holzstab sind nun vierundzwanzig sehr dünne, im Centrum durchbohrte Scheiben aus Fichtenholz S_1-S_{24} in der aus der Skizze ersichtlichen Weise aufgesteckt und festgeleimt, deren Durchmesser zwischen 27 und 96 mm schwankt, so dass der Unterschied im Durchmesser zwischen je zwei Scheiben 3 mm beträgt. Nach Einbringung dieser Vorrichtung in den Holz-

kegel wird dieser durch den Deckel *D* mittelst Schrauben geschlossen.

Um die Wirkung dieser Resonanzvorrichtung zu prüfen, wurde das Mikrophon abwechselnd unmittelbar auf das Stethoskop *St* und auf den Resonator aufgesetzt; dabei zeigte sich ausnahmslos, dass bei Verwendung des Resonators die Töne entschieden lauter und gleichmässiger im Telephon gehört wurden, als ohne denselben; die benützte Resonanzvorrichtung hat daher die Fähigkeit, die Töne zu verstärken.

Von den übrigen zur Herztonregistrierung nöthigen Einrichtungen ist noch zu besprechen die electromotorische Kraft und die Verwerthung derselben.

Das neue Mikrophon erlaubt eine wesentliche Verstärkung der electromotorischen Kraft, ohne dass bei richtiger Einstellung der Contacte im Telephon Nebengeräusche entstehen; der Strom wird von 3 hinter einander geschalteten Daniell-Elementen von 7 cm Höhe und 5,5 cm Durchmesser geliefert.

Was die Verwerthung der im Mikrophon erzeugten Stromschwankungen anlangt, so werden dieselben entweder zur Erzeugung von Telephontönen oder zur Bewegung der Registrirvorrichtung (Erregung des Electromagneten) verwendet.

Die Telephontöne werden zur Einstellung des Mikrophons benützt und ihre Erzeugung hat gegen früher keine Abänderung erfahren: in den Batteriestrom ist die primäre Rolle eines kleinen Inductoriums eingeschaltet, während die secundäre mit einem Siemens'schen Telephon verbunden ist; der hölzerne Deckel des letzteren ist durch einen Schalltrichter aus Fichtenholz ersetzt, welcher eine vierseitige Pyramide mit abgenommener Spitze bildet; die Seitenlänge der Basis beträgt 24, die Länge der Kante 36 cm. Der akustische Effect ist gegen früher ganz erheblich gesteigert; während nämlich beim früheren Mikrophon die Telephontöne jeweils nur einem Beobachter hörbar gemacht werden konnten, welcher das Telephon ans Ohr hielt oder die Töne durch einen Gummischlauch zum Ohr leitete, ist die Intensität der Töne jetzt so gesteigert, dass dieselben für ein grosses Auditorium hörbar sind; so wurden dieselben auf der Naturforscherversammlung in Wien (1894) und bei anderen Gelegenheiten einem grösseren Zuhörerkreis demonstriert.

Zur Registrirung der Stromschwankungen kam, wie schon

erwähnt, ein Electromagnet zur Verwendung, welcher neben der primären Rolle des Inductoriums in den Batteriekreis eingeschaltet wurde. Der sehr kräftige Electromagnet war früher von Sauerwald-Berlin hergestellt worden und hatte zu anderen Zwecken gedient; er hat folgende Form: um die beiden Schenkel des U-förmigen Eisenkerns *EEE* liegen die Rollen *RR*. Den Polen des Magneten ist eine Luftkapsel *L* von 8 cm Durchmesser gegenübergestellt, welche mit dicker (0,8 mm) und sehr stark gespannter Kautschukmembran überzogen ist, so dass sie Verschiebungen aus der Gleichgewichtslage bedeutenden Widerstand entgegensetzt (sie tönt beim Versuche). Auf diese Membran ist eine Scheibe *S* aus Eisenblech von 6 cm Durchmesser geklebt; diese wird den wechselnden Erregungen des Electromagneten entsprechend angezogen und ruft dadurch Druckschwankungen im Hohlraum der Kapsel her-

Fig. 5. ($\frac{1}{2}$ nat. Gr.)

vor, welche in gewöhnlicher Weise auf eine Schreibtrommel übertragen werden. Die Entfernung der Luftkapsel vom Electromagneten kann durch die Schrauben *Sch Sch* regulirt werden; die Kapsel ist nämlich an den beiden Führungscylindern *CC* befestigt, welche in den Messingstäben *St St* laufen und durch die Spiralfedern *Sp Sp* gegen die Schrauben angedrückt erhalten werden; für gewöhnlich genügt eine Annäherung der Eisenscheibe an den Magneten auf etwa 5 mm.

Die Anordnung der beschriebenen Apparate beim Versuch wird durch folgende Skizze veranschaulicht (s. Fig. 6): B stellt die aus 3 Daniellelementen zusammengesetzte Batterie, M das Mikrophon, S_I einen einfachen, S_{II} und S_{III} zwei Dubois'sche Schlüssel dar, J_I , J_{II} und T das Inductorium sammt Telephon und E und R den Electromagneten mit der Registrirvorrichtung. S_I dient zum Schliessen und Oeffnen des Batteriestromes, der bei geschlossenen Schlüsseln S_{II} und S_{III} nur durch die Drähte a b c d e kreist; durch Oeffnung von S_{II} wird das Telephon, durch Oeffnung von S_{III} der Electromagnet eingeschaltet.

Die Verbindung des Mikrophons mit der Brustwand der Versuchsperson wurde bei der Aufnahme der später mitgetheilten

Fig. 6.

Versuche stets in folgender Weise vorgenommen: ein starkes Brett ist an der Fensternische der sehr dicken Mauerwand des Zimmers durch eingelassene Schrauben so befestigt, dass der kleinere Theil desselben 30 cm. weit ins Zimmer vorspringt; an diesem Theil ist das Ende des Stethoskoprohrs, welches den Holztrichter aufnimmt, unbeweglich eingeklemmt. Bei der Registrirung der Herztöne wird die Versuchsperson, welcher zur Aufnahme des Spitzenstosses noch ein Cardiograph umgeschallt ist, so gegen das Mikrophon gesetzt, dass die Gegend des zweiten Intercostalraums rechts oder links der Stethoskopöffnung anliegt. Zur richtigen Einstellung des Mikrophons schaltet man das Telephon ein und regulirt mit Hilfe der Mikrometerschraube (M Fig. 3 S. 270) die Stellung der Contacte so, dass die Töne gleichmässig und ohne Nebengeräusche im Telephon gehört werden. Dann schaltet man die Registrirvorrichtung ein, wobei der Telephonkreis offen

oder geschlossen bleiben kann und beobachtet nun bisweilen ohne Weiteres eine regelmässige, rhythmische Bewegung des Hebels der Schreibtrommel; in anderen Fällen ist es nöthig, das richtige Functioniren der Registrirvorrichtung durch minimale Aenderung der Einstellung des Mikrophons herbeizuführen.

Durch die genannte Befestigung des Mikrophons wird ein Einwand beseitigt, welchen R. Ewald¹⁾ gegen die in meiner ersten Mittheilung angegebene Befestigung des Mikrophons erhoben hat, bei welcher das Mikrophon einfach mit der Hand gegen eine vom Spitzenstoss nicht betroffene Stelle der Brustwand angedrückt wurde. Ewald „leitete die Ströme eines auf die Brustwand aufgesetzten Mikrophon-Stethoskops zu einem Capillarelectrometer und erhielt den Herztönen entsprechende Ausschläge. Diese blieben jedoch gänzlich aus, sobald das Stethoskop erschütterungsfest an einem Pfeiler angebracht wurde. Da nun andererseits die mit dem Ohr am Stethoskop wahrnehmbaren Herztöne durch diese Befestigungsweise nicht wesentlich abgeschwächt wurden, so waren es also nicht die Herztöne, sondern Erschütterungen der Brustwand, die sich auf das Capillarelectrometer übertrugen“. Diesen sehr berechtigten Einwand Ewald's fand ich bei der Nachprüfung anfangs vollkommen bestätigt; später aber zeigte sich, dass das Verschwinden oder Auftreten der Töne mit dem Ort der Befestigung des Stethoskops zusammenhängt; die Töne verschwinden nicht, wenn man das Stethoskop in nicht zu grosser Entfernung vom Brustende einklemmt, so dass das Stethoskop etwa in der Mitte seiner ganzen Länge gefasst wird. Immer aber werden die Töne durch die Feststellung des Mikrophons abgeschwächt, was vermuthlich durch eine Fortpflanzung des Schalles in die Befestigungsvorrichtung veranlasst wird. Bei der neuen Form des Mikrophons mit Resonanzapparat konnte ein Unterschied in der Intensität der Telephontöne nicht beobachtet werden, sei es, dass das Mikrophon mit der Hand gegen die Brustwand gehalten oder unbeweglich festgestellt wurde. Die Befestigung durfte aber auch hier nicht an jedem beliebigen Punkte des Instrumentes erfolgen; beispielsweise wurde versucht, dasselbe durch Anschrauben des Resonatordeckels (*D* Fig. 4 S. 272) an das mit der Wand verbundene Brett zu befestigen, worauf die Telephontöne nur sehr leise vernehmbar

1) S. Centralbl. f. Physiologie VII. 1893. S. 52.

wurden. Am besten bewährte sich das Festklemmen des Stethoskopendes, in welches der Resonanzapparat eingesteckt ist. Dass bei dieser Art der Befestigung das Mikrophon nicht durch den Herzstoss erregt wird, lässt sich dadurch beweisen, dass es auch noch auf die Herztöne reagirt, wenn ihm diese durch einen Schlauch aus vulkanisirtem Kautschuk zugeleitet werden; allerdings verlieren in diesem Falle die Töne auch erheblich an Intensität, was sich aber durch den Intensitätsverlust im Kautschukschlauch und an den Uebergängen von Holz und Kautschuk wohl erklärt. Ausserdem wird die Entstehung der Telephontöne durch den Herzstoss unwahrscheinlich bei der Betrachtung der Versuchsergebnisse: die Töne fallen meist (s. unten) in den Verlauf des auf- und des absteigenden Schenkels des Cardiogramms, fallen also weder mit dem Beginn, noch mit dem Aufhören des Stosses zusammen.

B. Versuche.

Der nächste Zweck der im Vorhergehenden beschriebenen Methode ist der, die Lage der Herztöne am Cardiogramm festzustellen und damit einen festen Anhaltspunkt für die Deutung desselben zu gewinnen. Das Cardiogramm stellt ja, wie schon bekannt ist und wie sich noch im Folgenden zeigen wird, eine Curve dar, deren einzelne Theile nicht nur individuell, sondern auch bei der gleichen Person unter verschiedenen Umständen schwankende Bedeutung haben, die nur durch gleichzeitige Registrirung anderweitiger Folgeerscheinungen der Herzthätigkeit erkannt werden kann. Als solche kommen für das menschliche Cardiogramm in Betracht; die Herztöne, sowie der Vergleich mit der Puls-, am besten der Carotiscurve. Da aber bisher noch niemals der Versuch gemacht worden ist, die Lage der Herztöne innerhalb der Herzrevolution in objectiver Weise festzustellen, so erscheint es angezeigt, als Ausgangspunkt nicht die schwankende Form des Cardiogramms, sondern die Curve des Druckablaufs in der Herzkammer zu wählen, welche die Thätigkeit der Ventrikel, insbesondere Beginn und Ende der Zusammenziehung in scharfer und regelmässiger Weise zum Ausdruck bringt.

Von diesem Gesichtspunkt aus wurden die Herztöne gleichzeitig mit dem Druckablauf im linken Ventrikel eines morphinisirten Hundes registrirt, indem die Kammer in bekannter Weise

mittelst eines durch die Carotis eingeführten Katheters mit einem Gummimanometer in Verbindung gesetzt wurde. Zur Registrierung der Töne wurde die linke von Haaren befreite Brustwand des Thieres in der Höhe der dritten Rippe an das Stethoskop angelegt.

Fig. 7. Curve des Druckablaufs in der linken Herzkammer des Hundes (oben) mit Markirung der Herztöne (unten). Zeitmarken = $\frac{1}{5}$ Sek.

Figur 7 zeigt das Ergebniss dieses Versuches: Die obere Curve stellt den Druckablauf in der linken Kammer, die untere die Marken der Herztöne dar; über beiden ist die Zeit in Abständen von $\frac{1}{5}$ Sekunden markirt. Die Verspätung der tonregistrierenden Vorrichtung gegen die druckregistrirende beträgt in diesem Versuche weniger als 0,01 Sekunde, so dass der wirkliche Beginn des Tones nur ein klein wenig nach links verlegt werden muss.

Es fällt somit die Marke des ersten Tones auf den Fusspunkt des aufsteigenden Schenkels, die des zweiten in die erste Hälfte des absteigenden Schenkels der Kammercurve; die Marke des letzteren fällt daher ziemlich genau mit demjenigen Punkte zusammen, welcher durch die Registrirung der Druckdifferenz zwischen linker Kammer und Aorta als Moment des Semilunarklappenschlusses festgestellt worden ist¹⁾. Das Versuchsergebniss steht somit ganz im Einklang mit unseren bisherigen Vorstellungen von der Entstehung der beiden Herztöne: die Thatsache, dass der erste Ton mit der Zusammenziehung der Kammer beginnt, spricht ganz zu Gunsten der Ludwig'schen Erklärung, dass er im Wesentlichen ein Muskelton ist und das Zusammenfallen des zweiten Tones mit demjenigen Zeitpunkt, welchen der Druckdifferenzmesser als Moment des Semilunarklappenschlusses bezeichnet, ist eine exakte

1) S. dies. Arch. Bd. 49. S. 78.

Bestätigung der geläufigen Anschauung über die Ursache des zweiten Herztones.

Bevor wir nun zur Besprechung der Lage der Herztöne am Cardiogramm des Menschen übergehen, sollen noch einige Tatsachen bezüglich der Deutung des Cardiogramms erwähnt werden, welche sich in früheren Versuchen aus dem Vergleich der gleichzeitig registrierten Curven des Herzstosses und des Druckablaufs in

Fig. 8.

Fig. 9.

Fig. 8 u. 9. Gleichzeitig registrierte Curven des Druckablaufes in der linken Herzkammer (unten), in der Aorta (Mitte) und des Herzstosses (oben) vom Hunde. Zwischen Abscisse und Druckschwankung in der Aorta ist die Zeit in $\frac{1}{100}$ Sekunde markirt. Fig. 8: typisches; Fig. 9: atypisches Cardiogramm.

der Kammer des Hundeherzens ergeben haben¹⁾; diese Thatsachen sind folgende:

1) Es gibt Formen des Cardiogramms, bei welchen der Wechsel zwischen Thätigkeit und Ruhe des Kammermuskels in der Weise zum Ausdruck kommt, dass die Curve mit dem Beginn der Zusammenziehung steil ansteigt, während der Austreibungsperiode ein Plateau bildet und mit dem Beginn der Erschlaffung steil abfällt. Diese Formen gleichen bezüglich der Hauptwendepunkte vollständig der Curve des Druckablaufs in der Herzkammer: typische Cardiogramme (s. Fig. 8).

2) Bei anderen Formen des Cardiogramms kommt gleichfalls der Beginn der Zusammenziehung und Erschlaffung der Kammer durch einen ausgezeichneten Punkt zum Ausdruck; doch fällt dieser theils für den Beginn der Systole nicht mit dem Fusspunkt des aufsteigenden Schenkels, theils für den Beginn der Diastole nicht mit dem Beginn des absteigenden Schenkels zusammen (s. Fig. 9).

3) Endlich gibt es Cardiogramme, in welchen weder der Beginn der Systole, noch der der Diastole durch scharf hervortretende Punkte charakterisirt ist.

Da aber auch die unter 2 und 3 genannten Formen (atypische Cardiogramme) die der Curve des Kammerdruckes ähnliche Trapezform aufweisen können, so lässt sich die Entscheidung, ob im gegebenen Falle eine typische oder atypische Form vorliegt, an der Curve selbst nicht herbeiführen.

Mit Rücksicht auf die eben genannten Thatsachen wurde die Registrirung der Herztöne beim Menschen in der Weise ausgeführt, dass in jedem Falle zuerst Cardiogramm und Herztöne und unmittelbar darauf Cardiogramm und Carotispuls registrirt wurden. Beispiele solcher Aufnahmen sind in Tafel X mitgetheilt; in allen Figuren stellt die untere Curve das Cardiogramm, die obere in Fig. 3—7 die Markirung der Herztöne, in Fig. 1 den Carotispuls dar. Fig. 1—5 stammen von derselben Versuchsperson, einem 30jährigen Manne. Zwischen den beiden Curven jeder Figur ist die Zeit durch Stimmgabelschwingungen von $\frac{1}{100}$ Sekunde (die ganze Schwingung) angegeben; nur in Fig. 4 sind Zeitmarken im

1) S. dies. Arch. Bd. 49. S. 95.

Abstand von 0,2 Sekunden mittelst des graphischen Chronometers von Jaquet verzeichnet.

Die Verspätung des tonregistrierenden Hebels gegen den des Cardiographen (vgl. S. 265) ist in Fig. 2 angegeben und beträgt 0,01 Sekunde.

Was zunächst den zweiten Herzton anlangt, so zeigt derselbe an den Cardiogrammen aller untersuchten Personen eine sehr constante Lage; er fällt nämlich in den typisch ausgebildeten Cardiogrammen ausnahmslos in die erste Hälfte des absteigenden Schenkels, durchschnittlich 0,02 Sekunden hinter den Anfang der Diastole, an eine Stelle, an welche der zweite Ton schon von Marey verlegt wurde.

Da dieses Ergebniss ganz mit dem übereinstimmt, was man über die Ursache des zweiten Tones und die Bedeutung des typischen Cardiogramms weiss, brauchen wir uns dabei nicht weiter aufzuhalten.

Nicht so fest und gleichmässig wie die Lage des zweiten Tones ist die des ersten am Cardiogramm, und wir müssen bezüglich seiner Lage folgende Fälle unterscheiden:

1. a) Bei wohlausgebildeten Cardiogrammen, welche einen Knick im aufsteigenden Schenkel haben, ist die Regel die, dass der erste Ton mit diesem Knick zusammenfällt (s. Fig. 3 Taf. X); man muss daher die Kammersystole an dem genannten Punkte, also mitten im aufsteigenden Schenkel beginnen lassen.

Da diese Erklärung des Cardiogramms von der gewöhnlichen abweicht, nach welcher die Kammersystole mit dem Fusspunkt des aufsteigenden Schenkels beginnt (so bei Marey, Chauveau, François-Franck, Léon Fredericq, Edgren u. A.), so ist es angezeigt, die Richtigkeit des vorliegenden Ergebnisses noch in anderer Weise zu prüfen: hierzu lässt sich beim Menschen der Vergleich des Cardiogramms mit der Pulscurve, am besten der Carotiscurve verwenden. In wie fern dieser ein Urtheil über den Beginn der Systole erlaubt, zeigt die folgende Betrachtung, für welche Fig. 1 Taf. X als Beispiel gewählt ist. In dieser stellt die untere Curve das Cardiogramm, die obere den Carotispuls eines erwachsenen Mannes dar.

In einer früheren Abhandlung¹⁾ ist nämlich nachgewiesen wor-

1) S. dies. Arch. Bd. 49. S. 65.

den, dass der Zeitraum vom Beginn des Pulses bis zum Auftreten der diastolischen Welle ein ziemlich genaues Maass für die Kammer-systole darstellt, indem er von dieser um höchstens 0,02 Sekunden abweicht. In Fig. 1 entspricht dieser Zeitraum der Strecke 2—4, welche beim ersten Pulse 0,24, beim zweiten 0,23 Sekunden dauert. Nehmen wir nun an, dass am Cardiogramm Beginn und Ende der Kammer-systole durch ausgezeichnete Punkte markirt sind, so müssen wir im vorliegenden Falle die Systole im Punkte 1 beginnen und im Punkte 3 aufhören lassen, denn die Strecke 1—3 ist in beiden Pulsen genau = 2—4. Dabei bleibt nur noch zu untersuchen, ob die Strecke 1—2, die etwas mehr als 0,05 Sekunden beträgt, genügt, um die Verspätung des Pulses gegen die Systole zu erklären. Diese Verspätung wird ja bedingt 1) durch die Anspannungszeit (Verschlusszeit) der Kammer-systole und 2) durch die zur Fortpflanzung der Pulswelle durch Aorta und Carotis erforderliche Zeit. Setzen wir nun zur Schätzung der letzteren die Entfernung des untersuchten Carotispunktes von den Aortaklappen = 20 cm (die Entfernung dieses Punktes von der dritten Rippe betrug bei dem untersuchten Manne in der Luftlinie 17 cm) und nehmen eine mittlere Fortpflanzungsgeschwindigkeit von 6 m pro Sekunde an, so beträgt die Fortpflanzungszeit $\frac{1}{30} = 0,03$ Sekunden. Dazu kommt noch die Anspannungszeit, welche nach meinen directen am Hundeherzen angestellten Messungen durchschnittlich 0,02 Sekunden dauert und bei normalen Kreislaufverhältnissen von dieser Zahl höchstens um 0,01 Sekunde abweicht. Die Summe der die Verspätung des Carotispulses veranlassenden Zeitstrecken beträgt somit etwa $0,03 + 0,02 = 0,05$ Sekunden, was mit der Strecke 1—2 Fig. 1 sehr gut übereinstimmt.

Keinesfalls dürfen wir nach dieser Berechnung die Kammer-systole im Punkte 0 beginnen lassen, denn in diesem Falle wäre der Puls gegen die Systole um 0,10 Sekunde verspätet. Diese Zeit ist aber wesentlich grösser als die Summe von Anspannungs- und Fortpflanzungszeit, auch wenn wir hiefür die grössten zulässigen Werthe wählen. Setzen wir nämlich die Anspannungszeit = 0,03 und die Fortpflanzungszeit = 0,05 Sekunden, ein Werth, der einer normal wohl kaum vorkommenden Fortpflanzungsgeschwindigkeit von 4 m pro Sekunde entspricht, so beträgt die Summe beider immer erst 0,08 Sekunden, ist also noch um 0,02 Sekunden kleiner als die Strecke 0—2 in Fig. 1. Wir sind

somit auch durch den Vergleich von Cardiogramm und Pulscurve genöthigt, die Kammersystole im Punkte 1, im Knick des aufsteigenden Schenkels beginnen zu lassen.

1. b) Bei einer zweiten Form von trapezförmigen Cardiogrammen — dies sind aber die selteneren Fälle — fällt der erste Ton auf den Fusspunkt des aufsteigenden Schenkels (s. Fig. 5, Taf. X). Diese Cardiogramme unterscheiden sich von denen der ersten Gattung dadurch, dass sie keinen Knick im aufsteigenden Schenkel haben, sowie durch geringere Höhe des letzteren. Solche Formen kommen theils ausschliesslich bei bestimmten Personen vor, theils vereinzelt neben denen der ersten Gattung im Stadium der Einathmung, wie in Fig. 5; die gleichzeitige Registrirung von Cardiogramm und Puls ergibt dann in diesen Fällen, dass die Kammersystole im Fusspunkt des aufsteigenden Schenkels beginnt, so dass also auch hier wieder die beiden Methoden übereinstimmende Ergebnisse lieferh.

Es gibt demnach zwei Formen trapezförmiger Cardiogramme, bei welchen der aufsteigende Schenkel eine verschiedene Bedeutung hat. Bei der letztbeschriebenen Form (1. b.) wird derselbe ausschliesslich durch die Systole der Kammer erzeugt, welche im Fusspunkt beginnt; bei der zuerst beschriebenen (1. a.) dagegen betheiligen sich zwei Factoren an der Bildung des aufsteigenden Schenkels: die erste Hälfte wird veranlasst durch die Systole des Vorhofs, die zweite durch die Systole der Kammer, und beide sind durch den Knick des aufsteigenden Schenkels von einander getrennt.

2) So weit ist die Erklärung der Thatsachen einfach und durch die Uebereinstimmung verschiedener Methoden gesichert. Nun kommen bei der Tonregistrirung aber auch Cardiogramme vor, in welchen der erste Ton im Fusspunkt des aufsteigenden Schenkels oder noch etwas vor demselben beginnt, obwohl diese Cardiogramme den Typus 1a, d. h. einen Knick im aufsteigenden Schenkel haben und der Vergleich mit der Pulscurve ergibt, dass der Beginn der Kammersystole in diesem Knick liegen muss (s. Fig. 4 und 6. In Fig. 6 ist nur der Beginn der Hauptmarke auf das Cardiogramm übertragen; derselben geht aber beim ersten Pulse eine kleinere voraus). Solche Markirungen des ersten Tons kommen theils vereinzelt neben den unter 1a beschriebenen vor (Fig. 6), theils ausschliesslich in einer längeren Reihe von Pulsen (Fig. 4); im letzteren Falle lassen sie sich durch besondere Ein-

stellung des Mikrophons erzeugen, doch gelingt dies nicht in jedem einzelnen Falle.

Es fragt sich nun, warum hier die Tonregistrierung und der Vergleich zwischen Cardiogramm und Pulseurve nicht zu demselben Ergebniss führen. Das richtige Funktioniren der tonregistrierenden Vorrichtung vorausgesetzt, können nur die beiden folgenden Möglichkeiten in Betracht kommen:

a) Entweder liefert der Vergleich von Cardiogramm und Pulseurve nicht den richtigen Zeitpunkt für den Beginn der Kammer-systole, oder aber b) der erste Ton beginnt in manchen Fällen nicht mit der Kammersystole, sondern vor derselben.

Was die erste Möglichkeit betrifft, so könnte beim Vergleich von Cardiogramm und Pulseurve ein Fehler durch Zugrundlegung unrichtiger Werthe für Anspannungszeit und Fortpflanzungszeit des Pulses eingeführt werden; die Summe dieser beiden müsste, wenn die beiden Methoden in dem unter 2 angeführten Beispiel übereinstimmen sollten, etwa 0,1 Sekunde betragen (statt 0,05). Es ist aber unmöglich, dass diese Werthe von einem Pulse zum andern so schwanken, dass sie in dem einen Falle mit dem Ergebniss der Tonregistrierung übereinstimmen, im andern aber nicht.

Wir müssen daher die zweite Möglichkeit ins Auge fassen, dass der erste Ton vor der Kammersystole beginnt. In dieser Formulirung steht zwar die Möglichkeit in offenem Widerspruch mit unsern gegenwärtigen Anschauungen über die Ursache des ersten Herztons; doch lässt sich der Widerspruch durch folgende einfache Erklärung und Hypothese beseitigen.

Definirt man den ersten Herzton als das Muskelgeräusch, welches durch die Zusammenziehung der Kammer hervorgerufen und durch die Spannung der Atrioventricularklappen und die der Aorten- und Pulmonalarterienwände noch modificirt wird¹⁾, so kann dieser natürlich nicht vor der Kammersystole einsetzen. Es ist aber wahrscheinlich, dass auch die Vorhofsmuskulatur in ähnlicher Weise wie die der Kammer bei ihrer Zusammenziehung einen Ton erzeugt, welcher der geringeren Masse und Kraftentwicklung des Vorhofs entsprechend weniger intensiv als der Kammerton ist; ein solcher Vorkammerton, den wir kurz als Vor-

1) S. L. Krehl, Ueber den Herzmuskelton. Arch. f. (Anat. u.) Physiol., 1889, S. 253.

ton bezeichnen wollen, während als erster Ton der Kammerton festgehalten wird, müsste dem letzteren unmittelbar vorausgehen.

Mit dieser Hypothese erklären sich die Ergebnisse der Tonregistrirung in ungezwungener Weise: Seiner geringeren Intensität entsprechend vermag der Vorton das Mikrophon weniger leicht zu erregen als der Kammerton und thut dies nur unter besonders günstigen Bedingungen, nämlich dann, wenn das Mikrophon besonders fein eingestellt und die günstige Stelle zum Aufsetzen desselben gewählt wird, oder auch, wenn der Ton besonders laut ist.

Fragt man nun, ob diese Hypothese sich auch durch That-sachen stützen lässt, so ist hervorzuheben, dass ein durch die Contraction der Vorhöfe veranlasster Ton von L. Krehl gehört und beschrieben worden ist ¹⁾. „Auch die klappenlosen Vorhöfe tönen bei ihrer Contraction. Wenn am blossgelegten Herzen des Hundes oder Kaninchens die Muskulatur der Ventrikel in das sogenannte „Muskelgewühl“, regellose fibrilläre Zuckungen geräth, abstirbt, so schlagen die Vorhöfe meist noch lange Zeit ruhig im alten Rhythmus weiter. Auskultirt man nun den rechten Vorhof (er eignet sich seiner Lage wegen besser als der linke) und schaltet man die Geräusche, die durch Anschlagen des sich bewegenden Vorhofes an das Stethoskop entstehen, aus, so hört man bei jeder Zusammenziehung des Vorhofes einen Ton ganz vom Charakter des Herzmuskeltones, nur schwächer.“

Ich habe mich in einigen Versuchen in Verbindung mit Herrn Collegen Stern bemüht, diesen Vorton am blossgelegten Herzen eben getödteter Hunde gleichfalls zu hören, doch ist uns dies in drei Versuchen nur einmal für kurze Zeit gelungen. Dies hat vermuthlich seinen Grund einerseits in der geringen Intensität der Töne, andererseits darin, dass es nicht leicht ist, die Nebengeräusche auszuschalten, welche durch das Anschlagen des Vorhofs an das Stethoskop entstehen. Dass die Intensität der Töne in diesen Versuchen geringer ist, als im Leben, daran ist wohl nicht zu zweifeln, denn man untersucht immer ein absterbendes Organ, da man nach Blosslegung des Herzens noch einige Minuten warten muss, bis die Ventrikelcontraction aufhört und die Vorhöfe allein weiter schlagen.

1) S. L. Krehl, l. c. S. 255.

Diese Thatsachen scheinen mir ausreichend zur Stütze der Hypothese, dass ein von der Zusammenziehung des Vorhofs herührender Ton das Mikrophon zu erregen vermag und hiefür spricht ferner die noch nicht erwähnte Thatsache, dass in vielen Fällen die Marke des ersten Herztons sich von der des Vortons deutlich unterscheidet. Bei vielen Pulsen fällt nämlich die dem ersten Ton entsprechende Hauptmarke auf den Knick im aufsteigenden Schenkel, während dieser Hauptmarke eine kleinere vorangeht, welche mit der durch die Vorhofsecontraction bedingten Erhebung des Cardiogramms beginnt oder ihr etwas verangeht (s. Fig. 4 und 6). Dieser Befund spricht gleichfalls zu Gunsten unserer Annahme, dass dem Kammerton ein Ton des Vorhofes vorangeht, welcher dem ersteren an Intensität nachsteht. In anderen Fällen veranlasst allerdings der Vorton eine vom Kammerton nicht unterscheidbare Marke, sondern beide Töne verschmelzen mit einander.

Es dürfte von praktischem Interesse sein, an dieses Ergebnis die Frage zu knüpfen, ob der Vorton für gewöhnlich unser Gehörorgan erregt. Dies ist in hohem Grade wahrscheinlich, da der Vorton unter günstigen Umständen registriert werden kann und unser Ohr jedenfalls ein viel empfindlicherer Apparat ist, als das beste Mikrophon¹⁾.

1) Man trifft zwar häufig auf die Vorstellung, dass das Mikrophon an Feinheit der Perception unserem Ohr wesentlich überlegen sei und findet als Beispiel dafür angeführt, dass mit Hilfe des Mikrophons das Geräusch gehört werden kann, welches durch den Gang einer Fliege veranlasst wird, während dieses Geräusch mit dem blossen Ohre nicht gehört wird. Dabei übersieht man aber, dass im ersten Falle das Mikrophon vom Geräusch direkt getroffen wird, indem die über das Mikrophon laufende Fliege die festen Theile des Apparates selbst erschüttert. Soll dagegen das Geräusch einer über die Tischplatte laufenden Fliege direkt gehört werden, so muss dieses von den festen Theilen, in welchen es entsteht, erst an die Luft und von dieser an unser Trommelfell übergehen. Beide Uebergänge sind aber mit einem Intensitätsverlust verbunden und es ist daher begreiflich, dass das Ohr das Geräusch einer laufenden Fliege für gewöhnlich nicht wahrnimmt. Bringt man aber einen Gegenstand, über welchen eine Fliege läuft, in feste Verbindung mit dem äusseren Gehörgang, so hört man das Geräusch, welches durch den Gang der Fliege veranlasst wird, ganz deutlich. Der beste Beweis für die Ueberlegenheit des Ohres ist die Wahrnehmung der Flüstersprache; wo ist das Mikrophon, welches auf Flüstersprache in einer Entfernung von 20 Meter reagiert?

Wenn wir aber annehmen müssen, dass der Vorton unser Ohr erregt, so folgt daraus, dass das Geräusch, welches bisher als erster Herzton bezeichnet wird, sich aus zwei verschiedenen Tönen zusammensetzt, nämlich aus dem Vorton und dem Kammerton und dass diese bei normaler Herzthätigkeit so schnell aufeinanderfolgen, dass das Ohr sie nicht zu trennen vermag.

Zum Schlusse sei noch auf ein Beispiel der Verwerthung der Methode der Tonregistrirung zur Deutung bzw. Erkennung der atypischen Formen des Cardiogramms hingewiesen: In Fig. 7, Taf. X ist das Cardiogramm (mit Markirung der Herztöne: obere Curve) von einem gesunden 12jährigen Knaben mitgetheilt; beim blossen Anblick der beiden ersten Cardiogramme wird Jedermann geneigt sein, diese als typische Formen zu betrachten und die Kammersystole mit dem aufsteigenden Schenkel beginnen zu lassen. Die erste Tonmarke fällt jedoch (wenn man die Verspätung von 0,01 Sekunde mit in Betracht zieht) genau in den Gipfel des aufsteigenden Schenkels, und in diesem Punkte muss daher der Beginn der Kammersystole gesucht werden. Dass die erste Tonmarke nicht durch den Vorton veranlasst wird, ergibt sich einerseits aus der Unmöglichkeit, dass die Vorhofsystole mit dem Gipfel des aufsteigenden Schenkels beginnt, andererseits aus dem Vergleich dieser Cardiogramme mit dem Carotispuls.

Beim dritten Pulse der Fig. 7 hat sich das Cardiogramm so verändert, dass die Marke des ersten Herztons auf einen ausgezeichneten Punkt im aufsteigenden Schenkel fällt, der somit mit dem Gipfel des aufsteigenden Schenkels der beiden ersten Pulse identisch ist. Dieser Wechsel in der Form des Cardiogramms trat bei dem untersuchten Knaben regelmässig mit den Phasen der Respiration ein.

Vorliegendes Beispiel zeigt, wie wechselnd die Bedeutung der einzelnen Theile des Cardiogramms, insbesondere des aufsteigenden Schenkels ist und wie nothwendig es ist, zur Deutung derselben in jedem einzelnen Falle anderweitige Hilfsmittel herbeizuziehen.

Das Ergebniss der vorliegenden Abhandlung lässt sich in folgenden Sätzen zusammenfassen: Die einzelnen Theile der Curve des Herzspitzenstosses haben eine wechselnde Bedeutung, welche

durch weitere Hilfsmittel festgestellt werden muss. Als solche kommen für das menschliche Cardiogramm in Betracht: die mechanische Markirung der Herztöne und der Vergleich des Cardiogramms mit dem Carotispuls. Durch diese Hilfsmittel lässt sich feststellen, dass in der Mehrzahl der Fälle, in welchen es überhaupt gelingt, deutliche Cardiogramme zu erhalten, Anfang und Ende der Kammersystole durch ausgezeichnete Punkte an der Curve markirt sind, in selteneren Fällen aber nicht.

Der zweite Herzton fällt in den Anfang der Diastole (etwa 0,02 Sekunde hinter den Anfang der Diastole), der erste mit dem Beginn der Kammersystole zusammen. In vielen Fällen zeichnet aber die tonregistrirende Vorrichtung vor dem ersten Ton noch ein anderes Geräusch auf, welches mit grosser Wahrscheinlichkeit durch die Systole des Vorhofs veranlasst wird.

Im Vorhergehenden sind die Ergebnisse, zu welchen Einthoven und Geluk in ihrer schon erwähnten Abhandlung gekommen sind, im Interesse einer einfacheren Darstellung noch nicht berücksichtigt worden; diese Autoren haben im Wesentlichen dieselben Thatsachen gefunden, haben diesen aber bezüglich des ersten Tones eine andere Deutung gegeben, die wir am besten ihrer eigenen Darstellung entnehmen:

Fig. 10. Menschliches Cardiogramm. *C* Cardiogramm. — 1 erster Ton. — 2 zweiter Ton. — Bei *a* fängt der erste Spitzenton an, bei *b* der erste Arterienton (nach E. u. G.).

„Die Curve *C* der Fig. 10 stellt das menschliche Cardiogramm dar, *S* ist die Zeitlinie, deren jede Abtheilung 0,02 Secunden entspricht. Die breiten Streifen 1 und 2 bedeuten den ersten und

zweiten Herzton. Der erste Ton tritt eher an der Herzspitze als im zweiten Intercostalraum hervor: bei *a* fängt der erste Spitzenton an, bei *b* der erste Aorta- und Pulmonalton¹⁾. Weder vom ersten noch vom zweiten Ton kann der genaue Zeitpunkt angegeben werden, worauf sie endigen; dieser Zeitpunkt muss irgendwo in den schraffirten Stücken *cd* und *fg* gefunden werden.

An der Herzspitze ist der erste Ton schon vorhanden — bei *aa*₁ — vor dem Anfange des Cardiogrammes. Dieses Ergebniss könnte auf verschiedene Weise gedeutet werden, wir gehen jedoch nicht näher darauf ein hauptsächlich, weil das Zeitintervall nur klein ist. Eine grössere Bedeutung hat die Thatsache, dass im zweiten Intercostalraum der erste Ton in dem Augenblick anfängt, wo ungefähr die Hälfte des anakroten Theiles des Cardiogrammes vollendet ist (*bb*₁).

Wenn wir uns die Frage stellen, welchem Umstande es zugeschrieben werden muss, dass der erste Ton als Aorta- oder Pulmonalton so viel später als der erste Spitzenton anfängt, so erblicken wir zwei Möglichkeiten. Entweder man hört im 2. Intercostalraum als ersten Ton einen andern Schall als an der Herzspitze — und zwar hervorgerufen durch die plötzliche Spannung der Arterienmembranen — oder die Semilunarklappen verhindern — so lange sie noch geschlossen sind — die Fortpflanzung des Tones von den Ventrikeln nach den Arterien²⁾. In beiden Fällen wird der erste Ton im zweiten Intercostalraum anfangen müssen in dem Augenblick, wo die Semilunarklappen sich öffnen, und daraus folgt, dass der Anfang dieses Tones ein ausgezeichnetes Mittel darbietet, diesen Zeitpunkt zu bestimmen (siehe das Cardiogramm *b*₁)“.

E. und G. betrachten es also als feststehende Thatsache, dass die Kammersystole regelmässig mit dem aufsteigenden Schenkel des Cardiogramms beginnt und müssen dann die Frage beantworten, warum der erste Ton etwa 0,06 Sekunden früher angegeben wird,

1) Das Zeitintervall zwischen dem Auftreten des ersten Tones im zweiten rechten und im zweiten linken Intercostalraum ist so klein, dass wir es hier nicht in Rechnung bringen.

2) Der Abstand zwischen der Herzspitze und dem 2. Intercostalraum ist nur klein, so dass wir die gewöhnliche Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles ausser Rechnung lassen können.

wenn der Aufnahmetrichter des Mikrophons auf die Herzspitze gedrückt wird, als in dem Falle, wenn er im zweiten Intercostalraum aufgesetzt wird. Die im obigen Citat enthaltene Antwort, welche sie auf diese Frage geben, scheint mir aber aus nahe liegenden physikalischen Gründen unhaltbar und Verf. müssten zum Mindesten durch Vergleich des Cardiogramms mit der Carotiscurve den Nachweis der Möglichkeit erbringen, dass die Austreibungsperiode der Kammersystole im Punkte b_1 beginnen kann.

Viel einfacher erklären sich die Befunde von E. und G. durch die Annahme, dass der im Zeitraum $a_1 b_1$ angegebene Ton vom Vorhof herrührt. Hierfür scheint mir zunächst die Thatsache zu sprechen, dass in denjenigen Versuchen von E. und G., in welchen das Stethoskop auf die Herzspitze aufgesetzt wurde, der erste Ton eine andere Form hat, als beim Aufsetzen des Stethoskops im zweiten Intercostalraum. Im ersten Falle geht nämlich der grossen Schwankung des Capillarelektrometers ein kleiner Vorschlag voraus, der vermuthlich durch den weniger intensiven Vorton veranlasst wird; dieser Vorschlag fehlt im zweiten Falle. Fragt man aber, warum der Vorton in den Versuchen von E. und G. nur beim Aufsetzen des Stethoskops auf die Herzspitze angegeben wird und nicht im zweiten Intercostalraum, so lässt sich nicht mit Bestimmtheit eine Erklärung, sondern nur die Vermuthung aufstellen, dass der Vorton sich leichter durch die Ventrikelmuskulatur fortpflanzt, als in die grossen Gefässe, welche ausserdem der Brustwand weniger, dicht anliegen, als die Herzspitze. Dagegen lässt sich die Annahme, dass der an der Herzspitze auftretende Ton von der Vorkammer herrührt, durch die klinische Erfahrung stützen, dass das in den meisten Fällen von Mitralstenose auftretende praesystolische Geräusch, welches für diesen Klappenfehler als typisch betrachtet wird, am deutlichsten, in manchen Fällen sogar ausschliesslich an der Herzspitze gehört wird, eine Thatsache, auf welche mich Herr Kollege Stern aufmerksam machte.