

XII.

**Ueber die Bedeutung der sogenannten automatischen
Bewegungen des ausgeschnittenen Froschherzens.**

Von Dr. Fr. Goltz.

Vorgetragen in dem Verein für wissenschaftliche Heilkunde zu Königsberg i. Pr.
am 5. November 1860.

Aus der bekannten Thatsache, dass das ausgeschnittene Herz eines frisch getödteten Frosches viele Stunden hindurch seine rhythmischen Bewegungen fortsetzt, auch wenn man das Blut aus demselben möglichst vollständig entfernte, hat man geschlossen, dass der Grund für diese Bewegungen in einer Einrichtung zu suchen sei, welche in der Herzwandlung selbst ihren Sitz habe. Man hat ferner entdeckt, dass selbst einzelne vom übrigen Herzen getrennte Stücke fort pulsiren und daraus gefolgert, dass jene eigenthümliche Einrichtung in einer gewissen Ausdehnung in der Herzwand verbreitet sein müsse. Endlich hat man sich überzeugt, dass solche Herztheile, welche keine Ganglien enthalten, nach ihrer Los-trennung vom übrigen Herzen ihre Bewegungen aufgeben, wie z. B. die Herzspitze, und es ist sogar gelungen, nachzuweisen, dass pulsirende Herzstücke stillstehen, sobald es glückt, die sie versorgenden Ganglienmassen auszuschneiden (Volkmann, Heidenhain, v. Wittich, Budge). Die zuletzt erwähnten Thatsachen berechtigen zu dem Schluss, dass die Ganglien die Träger jener Einrichtung sein müssen, deren Eigenthümlichkeit insbesondere darin besteht, dass sie rhythmische Bewegungen der Herzmuskulatur veranlassen. Da diese rhythmischen Herzbewegungen statthaben, ohne dass ein nachweisbarer Reiz auf das Herz ausgeübt wird, so hat man als weitere Eigenthümlichkeit des Ganglienapparats aufgestellt, er sei als ein automatischer Bewegungsapparat anzusehen, d. h. er veranlasse die Zusammenziehung der Musku-

latur aus Gründen, welche in ihm selbst liegen und bedürfe keiner äusseren Erregung. Diese Lehre von der Herzbewegung, wie sie im Vorstehenden kurz angedeutet ist, bildet im Wesentlichen wie in den Einzelheiten Volkmann's Schöpfung. Sie hat siegreich abweichenden Hypothesen anderer Forscher gegenüber das Feld behauptet und ist fast allgemein in die Lehrbücher übergegangen. Gleichwohl lassen sich mit dieser sonst so trefflich bewährten Theorie einige Thatsachen nur gewaltsam vereinigen: ich meine die Stannius'schen Versuche. Man findet diese Versuche in den Lehrbüchern verhältnissmässig oberflächlich behandelt und unzureichend erklärt. Nur Donders bekennt offen in seiner Physiologie, dass er die Versuche für räthselhaft halte. Bei Gelegenheit der Fortführung von Untersuchungen über die Functionen des Rückenmarks (Beitrag zur Lehre von den Functionen des Rückenmarks der Frösche, Königberger medicinische Jahrbücher, Zweiten Bandes zweites Heft) kam ich auf die Frage von dem Einflusse des Rückenmarks auf die Herzbewegung und naturgemäss zu Studien über die Herzbewegung überhaupt. Meine Aufmerksamkeit wurde auf die Stannius'schen Versuche gelenkt. Die neuesten Arbeiten über dieselben befriedigten mich nicht, und ich unternahm daher selbst durch ausgedehnte Versuchsreihen, die Schwierigkeiten, welche diese Versuche der Erklärung darbieten, zu lösen. Das Ergebniss dieser Bemühungen, soweit sie in einzelnen Punkten bereits einen gewissen Abschluss gefunden haben, übergebe ich hiermit den Fachmännern zur Prüfung.

Die wichtigsten der von Stannius entdeckten Thatsachen *) sind folgende: Legt man eine Ligatur um die Mündung des Hohlvenensacks in den Vorhof und zieht dieselbe fest zusammen, so steht das ganze Herz in der Diastole dauernd still. Legt man eine Ligatur quer um irgend eine Stelle der Vorhöfe, so steht der unterhalb der Ligatur gelegene Theil des Herzens dauernd still, während der oberhalb gelegene sammt Venensack und Hohlvenen weiter pulsirt. Legt man dagegen die Ligatur genau um die Grenze zwischen Vorhöfe und Ventrikel, so schlägt sowohl der Ventrikel

*) Stannius, Zwei Reihen physiologischer Versuche. Müller's Archiv 1852.
S. 85.

als die Vorhöfe weiter, nur pulsirt der Ventrikel langsamer. Legt man drittens bei einem und demselben Herzen zuerst eine Ligatur um den Venensack und dann eine zweite um die Kammergrenze, so fängt der durch die erste Ligatur zum Stillstand gebrachte Ventrikel von Neuem an, eine Weile zu pulsiren, während der Vorhof in der diastolischen Ruhe verharrt. Volkmann wies nach, dass der durch Stannius' Ligaturen bewirkte Herzstillstand kein immerwährender ist, sondern dass die abgeschnürten Herztheile, wenn auch erst nach längerer Zeit, wieder zu pulsiren beginnen. Um das Ergebniss dieser Versuche mit Wahrung der Volkmann'schen Theorie zu erklären, nimmt man E. Weber's Entdeckung von der Wirkung der gereizten Vagi auf die Herzbewegung zu Hilfe. Die Stannius'sche Ligatur, so ist die gewöhnliche Ansicht, wirke als starker Reiz durch Quetschung der Elemente des Vagus, und deshalb stehe das Herz still. Ist die Wirkung des Reizes abgelaufen, so beginnen die bis dahin in ihrer Function gehemmten Ganglien ihre automatische Thätigkeit von Neuem, und das Herz pulsirt wieder. An der Grenze zwischen Ventrikel und Vorhöfen soll dagegen die Ligatur als intensiver Reiz auf die der automatischen Bewegung vorstehenden nervösen Apparate wirken und deshalb den durch die erste Ligatur um den Sinus zum Stillstande gebrachten Ventrikel zu neuen Contractionen anreizen. Gegen solche Deutung der beobachteten Vorgänge lassen sich indess die gewichtigsten Bedenken äussern. Erstlich ist es kaum je einmal gelungen, das Herz durch Umschnürung der Vagi zum Stillstande zu bringen, und es muss daher befremden, dass eine Ligatur um die Endverzweigung des Vagus im Herzen so constant (denn Stannius' Versuche zeichnen sich durch ihre Sicherheit aus) den Stillstand hervorbringt, obwohl hier die unvermeidliche gleichzeitige Reizung der Ganglienapparate obenein die Wirkung der Vagusreizung zum Theil paralysiren müsste. Zweitens ist der Stillstand, in welchen das Herz durch die Ligatur versetzt wird, von einer so überaus langen Dauer, wie sie durch anhaltende Reizung der Vagusstämmen niemals erreicht wird. Endlich und hauptsächlich drittens: wenn doch die Ligatur als Reiz wirkt, so mussten andere ähnliche Reize, an derselben Stelle angebracht, ähnliche Wirkungen hervorbringen.

Wir sehen aber, dass weder elektrische noch mechanische Reizung einen ähnlichen Erfolg hat. Im Gegentheil: Reize irgend welcher Art, auf das Herz ausgeübt, beschleunigen die Herzbewegungen. Ferner muss wohl die Annahme, dass die Ligatur an der Ventrikelgrenze nur die automatischen Ganglien reize, während an anderen Herzstellen wieder nur die Vagusenden durch sie gereizt werden sollen, als eine sehr gekünstelte angesehen werden.

Zerlegen wir uns näher den Vorgang bei Anlegung einer Ligatur, so werden wir finden, dass diese zunächst quetschend und in letzter Instanz trennend auf die Herztheile wirken muss. Zur vollständigen Trennung des organischen Zusammenhanges ist es nicht erforderlich, dass die Ligatur die Herzsubstanz durchschneide. Wir müssen uns also, wenn wir zu einer befriedigenderen Erklärung gelangen wollen, zuerst fragen: welche Wirkung erklärt die Erscheinungen, die trennende oder die quetschende? Wie wir oben sehen, führt uns die Annahme von der vorzugsweise quetschenden, also reizenden Wirkung zu keiner genügenden Lösung, und ich stellte mir daher die weitere Frage, ob die Berücksichtigung der rein trennenden Wirkung vielleicht zu einer besseren Lösung führt. Ist die trennende Wirkung das Wesentliche, so muss eine Durchschneidung der Herzsubstanz, mit scharfen Instrumenten an den Stellen ausgeführt, wo Stannius seine Ligatur anbringt, denselben Erfolg haben wie die Ligatur. Diese Betrachtung schien jedoch fruchtlos, da bereits Stannius dergleichen Durchschneidungen am Sinus vielfach ausgeführt hat und nur zweimal Stillstand des Herzens beobachtete. In beiden Ausnahmsfällen schrieb er den Herzstillstand nicht der trennenden, sondern der quetschenden Wirkung der Scheere zu. Neuerdings hat Bezold *) nach Durchschneidung der Sinusgrenze häufig Stillstand beobachtet, doch sieht Heidenhain **) auch hier nur den Erfolg der Benutzung quetschender stumpfer Instrumente. Quere Durchschneidung der Vorhöfe scheint nach den bisherigen Erfahrungen niemals Stillstand des Ventrikels zu bewirken, wie die zahlreichen Versuche, namentlich von Heidenhain lehren. So fand ich also in der Literatur

*) A. v. Bezold, Virchow's Archiv Bd. XIV. Heft 3 u. 4. S. 282.

**) Heidenhain, Müller's Archiv 1858. S. 479.

keine Unterstützung für die Vermuthung, dass die Stannius'sche Ligatur vielleicht wesentlich nur trennend wirke. Gleichwohl blieb die Möglichkeit, dass die Durchschneidungsversuche vielleicht nur deshalb ein anderes Resultat geben wie die Ligaturen, weil bei ihnen Nebenumstände zur Geltung kommen, welche bei Anlegung der Ligatur fehlen, und in der That lehrt die einfachste Betrachtung, dass dem so ist. Schnürt man das Herz ab, so wird der unterhalb der Ligatur gelegene Theil organisch abgetrennt. Die Blutmasse, welche derselbe im Augenblick der Zuschnürung führte, bleibt in ihm und stockt. Schneidet man dagegen an irgend einer Stelle das Herz quer durch, so wird zwar auch die organische Trennung vollzogen, und das ist eben der Vergleichspunkt der Versuche, aber die Nebenumstände sind wesentlich verschieden. Das Blut des abgeschnittenen Herztheils fliest frei aus. Die atmosphärische Luft hat freien Zutritt zum Herzinnern und namentlich zu der Schnittfläche der Herzwandlung, die bei der Ligatur vor der Einwirkung der Luft geschützt bleibt. Es schien mir nun der anomale Einfluss der atmosphärischen Luft verdächtig, und ich beschloss daher die Durchschneidungsversuche unter Oel zu machen.

1. Ich entfernte das Herz eines frisch getöteten Frosches vollständig aus dem Leibe und brachte es unter Oel. Das Herz pulsirt ununterbrochen fort bis über eine Stunde, wenn man es sich selbst überlässt. Lege ich es auf die Vorderfläche und schneide den Venensack mit einer möglichst scharfen Scheere ab, so steht in den meisten Fällen Vorhof und Ventrikel still, während der Venensack weiter pulsirt. Bisweilen macht das Herz noch eine kurze Reihe beschleunigter Pulsationen und steht erst dann still. In anderen Fällen endlich pulsirt wohl auch das Herz überhaupt weiter. Häufig gelingt es dann noch nachträglich, den Stillstand zu bewirken, wenn man von Neuem denjenigen Theil der Vorhöfe wegschneidet, an welchem man die Pulsationen beginnen sieht. Aus diesen Versuchen geht hervor, dass Durchschneidung der Sinusgrenze unter Oel in den meisten Fällen ebenso Stillstand des Herzens bewirkt, wie die Ligatur.

2. Ich tödte einen Frosch dadurch, dass ich ihm mit einer quer ins Maul geführten Scheere den Kopf bis zur Mitte spalte und von der Wunde aus Hirn und Rückenmark mit einer stumpfen Sonde zerstöre. Dann lege ich das Thier auf den Rücken und entferne das Brustbein durch zwei parallele seitliche Schnitte. Jetzt öffne ich den Herzbeutel, spalte ihn nach oben hin und schlage seine Lappen zurück. Um das auf solche Weise blossgelegte Herz möglichst zugänglich zu machen, trenne ich endlich den feinen Fortsatz, welchen der Herzbeutel zur hinteren Ventrikelfläche schickt. Die Operation ist wenig blutig. Die Herzthätigkeit

bleibt unverändert. Das so zugerichtete Thier bringe ich vollständig unter Oel und beobachte, dass die Herzpulsationen ungestört bleiben. Nun führe ich das eine Blatt einer sehr scharfen feinen Knescheere derartig quer unter dem Herzen durch, dass ich die Spitze des untergeführten Blattes unter dem Vorhofe hervortreten sehe und der Vorhof mithin der Quere nach sich zwischen den geöffneten Scheerenblättern befindet. Dann erspähe ich den Augenblick, in dem der Ventrikel sich gerade in Contraction befindet und schneide ohne Zerrung, mit einem Zuge den Vorhof der Quere nach durch. Der abgeschnittene Herztheil sinkt in Diastole sofort, wie vom Blitze getroffen, nieder und steht dauernd still, während der am Rumpfe verbliebene Herztheil lebhaft weiter pulsirt. Dieser Versuch misslingt nicht leicht, wenn man ihn vorsichtig anstellt, Zerrungen meidet und nicht zu nahe dem Ventrikel durchschneidet. Man ersieht aus ihm, dass quere Durchschneidung der Vorhöfe ebenso wirkt wie die Ligatur.

3. Bette ich den Frosch in eben der Weise, wie unter 2. beschrieben und durchschneide ich das Herz quer durch die Ventrikalgrenze, so schlägt der Ventrikel gewöhnlich fort, zuerst schneller, dann langsamer als der Vorhof. In selteneren Fällen fällt er bewegungslos ab. Bisweilen macht er noch einige Pulsationen und steht dann still. Auch bei diesen Versuchen sind dann die Ergebnisse des Schnitts im Wesentlichen dieselben wie die der Ligatur.

4. Schneide ich ein Herz, das ich durch Entfernung des Sinus zum Stillstande gebracht habe, in der Gegend der Ventrikalgrenze der Quere nach durch, so pulsiren mitunter beide Theile weiter, mitunter nur der Ventrikel. Auch dieser Versuch ist im Wesentlichen dem von Stannius mit den beiden Ligaturen im Erfolge gleich.

Diese Versuche beweisen, dass die Durchschneidung unter Oel durchweg dieselben Resultate giebt, wie die Ligatur. Die Stannius'schen Versuche treten damit aus ihrer räthselhaften Vereinzelung heraus. Sie haben ein vollständiges Analogon gefunden. Für die Erklärung der Versuche haben wir indess bis jetzt nichts Durchschlagendes gewonnen. Es wird immer noch Jemand mit der Behauptung auftreten können, der Schnitt wirke dennoch ebenso wie die Ligatur quetschend und reizend, auch wenn die Instrumente noch so scharf seien. Die Versuche führten mich aber zu einer Beobachtung, welche die ganze Sachlage vollständig ändert und nicht bloss für die Deutung der Stannius'schen Versuche, sondern für die Theorie der Herzbewegung im Allgemeinen von Entscheidung sein dürfte. Bei den Versuchen 1. und 2. nämlich bemerkte ich, dass das abgeschnittene Herz nicht bloss zeitweise still stand, sondern dass es überhaupt für immer im diastolischen Zustande verharrete und die Bewegungen nicht mehr aufnahm. Diese That-

sache, welche ich selbst regelmässig wahrnahm, stösst die Hypothese von einer Reizung hemmender Elemente durch den Schnitt um.

Wirkt die Durchschneidung als Reiz auf den Vagus, so müsste der ihr folgende Hergang ein ganz analoger sein, wie der nach der Ligatur an der Luft. Der Verlauf müsste lediglich ein in seinen einzelnen Stadien durch die lebenkürzende Wirkung der Oelumhüllung beschleunigter sein. Die Dauer des Stillstandes müsste eine kürzere sein, weil die Thätigkeit der gereizten Hemmungsorgane, die unter Oel des erfrischenden Einflusses der atmosphärischen Luft beraubt sind, sich früher erschöpfen würde, und dann müssten ganz wie an der Luft, nur ebenfalls in abgekürzter Zeitdauer die automatischen Bewegungsapparate wieder zur Geltung kommen. Statt dessen sehen wir nach Durchschneidung unter Oel diastolischen Stillstand bis zur vollkommenen Reizlosigkeit und vermissen das zu erwartende Wiedereintreten der automatischen Bewegungen ganz und gar. Nun aber war ja dieser Umstand eben, dass an der Luft die Bewegungen wiederkehren, die wesentlichste Stütze für die Theorie von der Reizung hemmender nervöser Apparate durch den Schnitt.

Fällt diese Stütze, so fällt mit ihr die Theorie. Wir werden alsbald einige andere Wahrnehmungen kennen lernen, welche sämmtlich gleichfalls gegen die Lehre von der Reizung centraler Hemmungsapparate im Herzen sprechen, und kommen dann ausführlicher auf die theoretischen Folgerungen zurück. Für jetzt wollen wir die beschriebenen Experimente noch etwas weiter verfolgen.

Hatte ich mich überzeugt, dass der abgeschnittene Herztheil, sich selbst unter Oel überlassen, die Contractionen von selbst nicht wieder aufnahm, so warf sich mir weiterhin die Frage auf, wie sich die zum Stillstand gebrachten Herzstücke verhalten, wenn sie Reizen ausgesetzt werden. Ich durchschnitt unter Oel den Vorhof der Quere nach. Das abgeschnittene Stück steht, wie beschrieben, sofort still. Nachdem ich es etliche Minuten im Zustande der Ruhe beobachtet hatte, berührte ich es leicht mit einer Sonde. Sofort antwortet das Herz mit einer Contraction, um dann wieder in diastolische Ruhe zu versinken. Darauf drücke ich es etwas energischer und wiederholt. Es antwortet mit einer Reihe zuerst

schnell auf einander folgender, dann in der Frequenz nachlassender Contractionen und steht schliesslich wiederum still. Die Zahl dieser Contractionen, welche einer mechanischen Reizung folgen, richtet sich im Allgemeinen nach der Intensität des Reizes und wie natürlich nach der Reizbarkeit des Objects. Nicht selten beobachtet man nach stärkerer Reizung wohl 50 und mehr Contractionen. In vielen Fällen pulsirt endlich das einmal wieder in Bewegung gesetzte, stark gereizte Herz überhaupt längere Zeit fort. Als Regel glaube ich indess aufstellen zu können, dass diese durch stärkere Reizung eingeleiteten Pulsationen des abgetrennten Herzens niemals so lange währen, wie die Pulsationen des am Rumpfe unbehelligt gebliebenen übrigen Herzstücks, das, wie oben angegeben, auch unter Oel blieb. Ferner kann man fast regelmässig beobachten, dass die für längere Zeit angeregten Bewegungen des abgeschnittenen Stückes in langsamerem Tempo stattfinden, als die des Rumpfstücks, wobei man natürlich von den der Reizung unmittelbar folgenden sehr beschleunigten Contractionen abzusehen hat. — Elektrische Reizung giebt im Ganzen ähnliche Resultate; wie die mechanische, ist übrigens von mir bisher nur wenig benutzt worden. — Mochte ich nun das abgeschnittene Herzstück vollständig sich selbst überlassen, oder bis zur Erschöpfung mit Reizungsversuchen misshandelt haben, immer traten die erloschenen rhythmischen Bewegungen alsbald wieder auf, sowie ich das Herz aus dem Oel an die atmosphärische Luft brachte. Hatte das Herz selbst so lange in Ruhe unter Oel gelegen, dass es sich nicht mehr auf Reize kontrahirte, so erholte es sich, an die Luft gebracht, dennoch regelmässig wieder und nahm die sogenannten automatischen Bewegungen wieder auf.

Wir haben Durchschneidungsversuche unter Oel gemacht und entdeckt, dass die abgeschnittenen Herzstücke im Stillstande dauernd verharren. Oben sahen wir, wie Volkmann nachgewiesen hat, dass der Stillstand nach den in der Luft ausgeführten Stannius-schen Ligaturen kein dauernder, sondern nur ein vorübergehender ist. Es drängt sich die Frage auf, wie sich der abgeschnürte Herzabschnitt unter Oel verhalten wird. Von vornherein dürfte ich vermuthen, dass die festgezogene Ligatur unter Oel ähnlich

wirke wie der Schnitt, und der Erfolg bestätigte die Vermuthung. Bringt man unter Oel die Ligatur quer über den Vorhof oder um die Sinusgrenze herum an, so steht das Herz still und verharrt dauernd in seinem Stillstande. Ligatur um die Ventrikulargrenze führt meist nicht zum Stillstande des Ventrikels, sondern Vorhof und Ventrikel pulsiren weiter.

Im Allgemeinen wirkt die Ligatur sicherer als der Schnitt. Es ist mir nie begegnet, dass quere Ligatur um die Vorhöfe nicht dauernden Stillstand herbeigeführt hätte, während der Schnitt an derselben Stelle mitunter im Stiche lässt. Ferner ist das Verhalten des auf die eine oder andere Methode zum Stillstande gebrachten Herzens gegen Reize verschieden. Das durch die Ligatur abgeschnürte Herz ist weit weniger empfänglich für Reize, als das abgeschnittene. Reizt man das unter Oel abgeschnürte Herz, so kostet es Mühe, dasselbe durch mechanische Reize zu mehreren auf einander folgenden Contractionen anzuregen. Gewöhnlich antwortet es auf ziemlich intensives Drücken mit der Sonde doch nur mit einer einzigen Contraction. Je kleiner der abgeschnürte Herztheil ist, desto schwerer ist es, rhythmische Bewegungen desselben zu Stande zu bringen; je näher die Ligatur dem Sinus liegt, desto leichter erzielt man eine Reihe von Contractionen auf Reizung. — Während wir uns also im Grossen und Ganzen überzeugt haben, dass Ligatur und Schnitt unter Oel dieselben Erfolge haben, so bemerken wir andererseits in einzelnen Punkten doch manche Verschiedenheit, und wir werden den Grund für diese Verschiedenheit wieder in den Nebenumständen zu suchen haben, welche diese Versuche begleiten. Es wird unsere Aufgabe sein, die Versuche noch weiter zu modifizieren, um immer mehr Licht darüber zu erhalten, welche Acte des Versuchs das Wesentliche, und welche unwesentlich oder störend sind. Haben wir in den früheren Experimenten den Luftreiz eliminiert, so wollen wir jetzt noch andere Umstände ausscheiden, welche das Experiment unrein machen und stören können. In dem abgeschnürten Herzen stockt die Blutmasse, während sie aus dem abgeschnittenen frei ausfliesst. Das sich kontrahirende Herz stösst auf übermässig vermehrten Widerstand, da es die in ihm enthaltene Blutmasse nicht durch die Ligatur

treiben kann, während das sich zusammenziehende abgeschnittene Herz sehr verminderde Widerstände vorfindet. Ich versuchte den übermässig vermehrten Widerstand zu mindern dadurch, dass ich die Stannius'schen Ligaturen entfernte.

Soviel die interessanten Stannius'schen Versuche auch nachgemacht sind, nirgend finde ich die Mittheilung, dass Jemand mit Methode die scheinbar so nahe liegende Modification durchgeführt hätte, das Verhalten des Herzens nach Wegnahme der Schlingen zu beobachten. Allerdings hat die Sache an sich ihre Schwierigkeit, einen auf dem gewöhnlichen Wege fest in den Weichtheilen des Herzens zugezogenen Knoten wiederum ohne Nebenverletzungen zu lösen. Man fühlt also das Bedürfniss nach einer Vorrichtung, mittelst welcher man eine Schlinge beliebig fest zusammenziehen und wieder lösen kann. Dieses Bedürfniss hat die operative Chirurgie längst erkannt und befriedigt. Das für unsere Zwecke ohne besondere Veränderung äusserst brauchbare Instrument ist das Ligaturstäbchen von Gräfe, bei welchem bekanntlich das Anziehen und Lösen der Schlinge durch eine Schraube bewirkt wird. Zur Ausführung der Stannius'schen Versuche habe ich mich fast ausschliesslich dieses kleinen Mechanismus bedient, da derselbe nebenbei den Vortheil gewährt, die Stärke der Anziehung der Schlinge zu controliren, was bei dem Anziehen der Schlinge mittelst der Finger nicht möglich ist.

Ist unsere Annahme richtig, dass die Ligatur im Wesentlichen trennend wirkt, so kann die Wegnahme der Ligatur, sofern diese nur vorher fest angezogen und die organische Trennung vollständig genug war, nicht wohl einen abändernden Einfluss in den Erscheinungen hervorbringen, denn der organische Zusammenhang der zerquetschten Weichtheile wird durch die Fortnahme der Ligatur nicht wieder hergestellt. Ist dagegen die Ansicht von der quetschenden, also reizenden Wirkung begründet, so kann man sich recht gut vorstellen, dass diese Reizung durch Fortnahme der Ligatur verkürzt werden kann; denn es ist denkbar, dass das Liegenbleiben der Ligatur als dauernder Reiz wirke. Pulsirte das durch die Ligatur zum Stillstande gebrachte Herz nach Abnahme derselben von Neuem, so spräche dies positiv für die bisher all-

gemeine Ansicht von der reizenden Wirkung. Das Resultat der Versuche ist Folgendes:

5. Ich bringe einen wie in 2. zugerichteten Frosch unter Oel und führe die Schlinge des Ligaturstäbchens um die Sinusgrenze. Langsam ziehe ich die Schraube mehr und mehr an, bis das Herz dauernd in der Diastole stille steht. Jetzt schneide ich das Herz vorsichtig vollständig aus und bemerke, dass der jenseit der Ligatur gelegene Venensack regelmässig weiter pulsirt, während das Herz stillstehen bleibt. Nun entferne ich die Ligatur, nachdem sie eine halbe Minute lang gelegen hat. Da die Wegnahme nicht ganz ohne Misshandlung des Herzens von Statten geht, so sieht man jetzt häufig eine oder wenige durch Reizung beim Abstreifen der Ligatur entstandene Contractionen, nach Ablauf welcher das sich selbst überlassene Herz wieder dauernd in Stillstand versinkt, während der Venensack, jenseit der Schnürstelle gelegen, ununterbrochen weiter klopft.

6. Bringe ich die Ligatur um den Vorhof, so verläuft der Versuch ähnlich wie 5. Nach Wegnahme der Ligatur verharrt der unterhalb derselben gelegene Theil des Vorhofes mit dem Ventrikel in dauerndem Stillstande.

7. Sehr unerwartet, aber desto Licht bringender ist dagegen das Resultat der Wegnahme einer um die Ventrikellgrenze geführten Ligatur. Ziehe ich die Ligatur fester und fester an, so gelange ich schliesslich zu dem von Stannius beschriebenen Moment, in dem Vorhof und Ventrikel nach verschiedenem Rhythmus pulsiren, und zwar verlangsamen sich die Pulsationen des Ventrikels in der Weise, dass ungefähr auf je drei Vorhofspulsationen nur zwei des Ventrikels kommen. Entferne ich nun die Ligatur, so bleibt der Ventrikel, welcher bis dahin ununterbrochen, wenn auch etwas verlangsamt pulsirte, plötzlich in der Diastole stillstehen, während die Vorhöfe ruhig weiter pulsiren. Nach Fortnahme der Schlinge ist der Ventrikel der Blutbewegung wieder zugänglich geworden. Wir sehen daher, wie jede Vorhofscontraction eine Blutwelle in den Ventrikel hineinpresst und diesen mehr und mehr vergrössert. Der Ventrikel, der selbstständigen Bewegung baar, verhält sich passiv, wie eine elastische Kautschukblase. Zu einer enormen Grösse durch das von den Vorhöfen hineingepresste, blauschwarz durchschimmernde Blut ausgedehnt, zeigt er keine active Contractionen, wohl aber passive Pulsationen wie eine Arterienwand. Während der Systole der Vorhöfe dehnt sich unter dem vermehrten Blutdruck die Ventrikellblase noch stärker aus. Während der Diastole gewinnt die übermässig ausgedehnte elastische Wandung Zeit, durch rein physikalische Zusammenziehung einen Theil ihres Inhalts auszutreiben, und durch dieses Wechselspiel kommt die Pulsation zu Stande. In diesem diastolischen Zustande bleibt der Ventrikel erregbar. Berührt man ihn mit der Sonde, so zieht er sich plötzlich und vollständig zusammen und eine mächtige Blutwelle ergiesst sich durch die Aorten. Es hält aber sehr schwer, ihn durch einmalige stärkere Reizung zu mehreren hinter einander folgenden rhythmischen Contractionen zu reizen. Gewöhnlich antwortet er nur mit einer Contraction, und es bedarf zu jeder folgenden eines neuen Reizes. In seltenen Fällen erhielt ich 2 — 3 Pulsationen nach einer Reizung, mehr nicht.

Schneidet man das ganze Herz aus, nachdem man in Folge der Wegnahme der Ligatur um die Ventrikelgrenze Stillstand des Ventrikels bewirkte, so verharret der Ventrikel für immer in seinem Stillstande, während der übrige Theil des Herzens weiter pulsirt. Lässt man dagegen den Ventrikel im physikalischen Zusammenhange mit dem Vorhofe, so bleibt er in manchen Fällen allerdings auch dauernd still stehen. Häufig indess bemerkt man, dass der Ventrikel in grossen Pausen hin und wieder eine Pulsation scheinbar spontan macht. Diese Beobachtung, welche an und für sich sich zur weiteren Forschung eignet, ist von mir nicht hinlänglich verfolgt, doch will ich wenigstens das darüber, was mir aufgefallen ist, wenn es auch zu einer sicheren Deutung einer so merkwürdigen Erscheinung nicht hinreichen dürfte, mittheilen. — Die seltenen, scheinbar spontanen Pulsationen, welche der dem Blutumlauf erhaltene, von der Ligatur befreite Ventrikel zeigt, behaupten mitunter einen höchst merkwürdigen Rhythmus. Am interessantesten war mir die folgende Beobachtung:

Ich schnürte bei einem grossen kräftigen Wasserfrosch den Ventrikel unter Oel ab. Beim Zuziehen der Ligatur kloppte der Ventrikel fort, nur ein wenig langsamer als der Vorhof. Nachdem ich fest zugezogen zu haben glaubte, liess ich die Ligatur zunächst eine halbe Minute liegen, während welcher Zeit der Ventrikel in jenem Tempo weiter kloppte, dass etwa 3 Ventrikelpulse auf 2 Vorhofspulsationen kamen. Jetzt entfernte ich die Ligatur. Sofort stand der Ventrikel still unter den oben beschriebenen Erscheinungen. Nach einiger Zeit bemerkte ich selten auftretende spontane Contractionen des Ventrikels, durch welche er jedesmal seinen Inhalt vollständig in die Aorten entleerte. Ich verglich die Frequenz dieser Ventrikelpulsationen mit denen der Vorhöfe und nahm wahr, dass mit grosser Regelmässigkeit auf je 28 bis 30 Contractionen des Vorhofs immer je eine einzige des Ventrikels kam. Es kam mir nun darauf an, zu ermitteln, ob eine bestimmte gesetzliche Beziehung zwischen der Zahl der Vorhofcontractionen und derjenigen des Ventrikels auch unter veränderten Umständen bestehe. Ich wartete eine Contraction des Ventrikels ab und dann noch 10 Contractionen der Vorhöfe. Jetzt drückte ich den Ventrikel mit der Sonde, sofort zog er sich einmal kräftig zusammen und sank dann in den diastolischen Stillstand zurück. Nun mehr kam eine Pause von 37 Vorhofspulsationen, ehe ich wieder eine Ventrikelpulsation sah. Von da ab wiederholten sich die früheren Pausen von je ungefähr 28 Vorhofcontractionen mit alter Regelmässigkeit. Nachdem ich mich noch zweimal überzeugt hatte, dass eine während der Pause künstlich hervorgebrachte Contraction eine Verlängerung der nächstfolgenden Pause bewirkte, rief ich, als wiederum der ursprünglich regelmässige Rhythmus im Gange war, 4 Contractionen unmittelbar

hinter einander durch Sondenstöße hervor. Die nächstfolgende Pause zählte nicht weniger als 98 Vorhofcontraktionen, ehe eine Ventrikelpulsation austrat. Späterhin wieder ziemlich das ursprüngliche Tempo.

28	31	31	42	98	26
28	30	30	31	22	23
29	12	30	+	24	
10	+	32	+	23	
+	38	8	+	28	
37	28	+	+	26	

In der Tabelle, deren Columnen von oben nach unten zu lesen sind, sind die Zahlen der zwischen je zwei Ventrikelpulsationen verlaufenen Vorhofspulsationen angegeben. Mit den Querstrichen sind die einzeln auftretenden spontanen Ventrikelpulsationen bezeichnet, mit den Kreuzen endlich die künstlich hervorgebrachten Zusammenziehungen.

Schliesslich beendete ich den mitgetheilten Versuch dadurch, dass ich, wie in 2. erzählt, den Vorhof der Quere nach durchschnitt. Das abgeschnittene Vorhofsstück sammt dem Ventrikel blieben jetzt dauernd in diastolischem Stillstande. Reizung des einen oder des anderen rief jedesmal nur in dem gereizten Abschnitt, entweder Ventrikel oder Vorhof, eine Contraction hervor. Dergleichen Beobachtungen habe ich eine ganze Anzahl, wenn auch noch nicht viele gemacht. Es schien mir, dass jene scheinbar spontanen Zusammenziehungen vorzugsweise dann gern auftreten, wenn ich die Ligatur vorher nicht fest genug zugezogen hatte. Je weniger fest ich sie anzog, desto kürzer schien mir die Pause zwischen den nach Abnahme der Ligatur noch wahrzunehmenden Ventrikelpulsationen. Ich habe regelmässige Pausen von 22, 17, 12, in einem Falle nur von 5 Vorhofcontraktionen gesehen. In einem Falle endlich, wo ich den Versuch an der Luft mache, beobtete ich, dass die Pausen allmälig immer kürzer wurden, bis schliesslich die Ventrikelpulsation sich regelmässig wieder der Vorhofcontraction anschloss, deren Tempo mittlerweile nicht geändert war.

Wie gesagt, ich habe diese Versuche noch zu wenig verfolgt, um mehr als ziemlich wohlfeile Vermuthungen über ihre Auffassung geben zu können, behalte mir also Näheres vor.

Wir haben gesehen, dass Entfernung einer um die Sinusgrenze oder um die Vorhöfe gelegten Ligatur den Stillstand nicht aufhebt. Unsere Vermuthung, dass die Ligatur trennend wirke, und dass Wegnahme der Ligatur die einmal vollzogene Trennung und damit deren Erfolg nicht verändern werde, hat sich also bestätigt. Es fragt sich jetzt, wie sich das Resultat des unter 7. mitgetheilten Versuchs mit unserer Theorie vereinigen lässt. Wie fassen wir

zunächst den Stannius'schen Versuch an der Ventrikelpulsation auf? Die Ligatur wirkt, sagten wir, quetschend und trennend. Der abgeschnürte Herzventrikel bewegt sich meist noch fort, obwohl die Schnürung so vollständig war, dass die Trennung ebenfalls zu Stande gebracht sein musste. Wir müssen also annehmen, wenn wir unserer Theorie treu bleiben wollen, dass an der Ventrikelpulsationsgrenze vorzugsweise die quetschende, also reizende Wirkung der Ligatur sich äussert. Der Ventrikel pulsirt fort, weil seine Ganglien gequetscht werden. Wie nun, wenn die Ligatur entfernt wird? Die trennende Wirkung bleibt, die quetschende wird nach Entfernung des Reizes nachlassen, vielleicht mit ihm schwinden. Die Ligatur wird entfernt. Der Reiz hört auf und mit ihm die Ventrikelpulsation, während die Trennung bleibt, also dauernder Stillstand eintritt, vorausgesetzt, dass das ganze Herz aus dem Leibe herausgeschnitten und damit der Blutumlauf unterbrochen wird. Dieser Versuch bestätigt also positiv unsere Auffassung. Wie man mit der gewöhnlichen Ansicht, dass der Stillstand des Herzens durch Quetschung der Ligatur hervorgebracht wird, unsern Versuch zusammenreimen kann, ist nicht abzusehen. Selbst wer noch so starr auf Reizung der Hemmungsorgane als den Grund für den Herzstillstand schwört, wird es nicht wahrscheinlich machen können, dass die Entfernung der Ligatur nun erst recht als ein dauernder intensiver Reiz auf nervöse Apparate zu wirken vermöge.

Oben hatten wir uns mit der Frage beschäftigt, aus welchem Grunde die durch die Ligatur abgeschnürten Herzstücke sich so auffallend träge gegen Reize verhalten im Vergleich zu den abgeschnittenen, und wir hatten die Vermuthung hingestellt, dass möglicherweise die Blutstockung in den abgeschnürten Theilen den schädlichen Einfluss auf ihre Reizbarkeit ausübe. Deshalb hatten wir also die Ligaturen entfernt und das Herz nachträglich abgeschnitten. Das Blut kann dann ungehindert abfließen, die Contraction trifft nicht mehr auf abnorme Widerstände. In der That sind so zugerichtete Herzstücke reizbarer als solche, an denen die Ligatur liegen blieb, und es gelingt eher, sie zu mehreren Contraktionen anzuregen; doch bleiben auch sie noch sehr hinter der Reizbarkeit der abgeschnittenen Stücke zurück.

Gehen wir jetzt daran, die gewonnenen Thatsachen für die allgemeine Theorie der Herzbewegung zu verwerthen. Wir haben gesehen, dass ein, sei es durch Ligatur, sei es durch Schnitt abgetrenntes Herzstück, sofern es die Sinusgrenze nicht mit enthält, sofort für immer in diastolischen Stillstand versinkt. Die Annahme von der automatischen Thätigkeit der Ganglien des Vorhofes und der Kammer scheint danach widerlegt. Die Ganglien stellen ihre Thätigkeit ein, sobald es gelingt, sie vor der Einwirkung von Reizen zu bergen. Dagegen müssen wir sie als eigenthümliche reflektische Centralorgane betrachten; denn sie sind im Stande, auf mechanische, elektrische Reize, Luftreiz u. s. w. eine Reihe rhythmischer wohlgeordneter Pulsationen anzuregen. Unter normalen Verhältnissen geht die Anregung, deren sie bedürfen, von der Sinusgrenze her aus. Hier ist gleichsam die leitende Stelle, von der sie ihre Befehle empfangen und in einer nach der Spitze des Herzens zu ablaufenden Kette weiter geben. Sie versinken in Nichts-thun, sobald die organische Verbindung und damit die regelmässige Anregung vom Sinus her aufhört. Erst künstlicher Reiz vermag in ihnen selbstständiges Leben zu entfalten. Nach stärkerem Reize sehen wir auch das abgetrennte Herzstück lange fort pulsiren in wohlgeordnetem Ablauf der Contraction. Die vorher dem Sinus zunächst gelegene Herzstelle übernimmt dann die Leitung der Zusammenziehungen. Mit den automatischen Ganglien sind nach unserer Ansicht nebenher von selbst die sogenannten hemmenden Centralorgane aus dem Bereich des Ventrikels und Vorhofs verbannt, unheimliche Mächte, welche man ganz besonders für das Herz erfunden hat, und welche ihren Sitz vornehmlich im Vorhof haben sollen. Wir bedürfen ihrer nicht, also weshalb sollten wir sie erfinden?

Doch was helfe uns ein solches Stückwerk von Theorie? Wir haben die automatischen Kräfte glücklich aus dem Vorhof und Ventrikel verjagt, um ihnen desto sicherer ihren Thron im Sinus zu garantiren; und dort werden wir wohl auch die unheimlichen rätselhaften hemmenden Centralorgane wieder vorfinden, deren wir uns bisher nur mit Mühe erwehrt haben. Wie Flourens seinen Lebenspunkt für die Athembewegung construirte, so würden wir

einen solehen für die Herzbewegung erfunden und ihm seinen Sitz im Venensinus angewiesen haben. Flourens' Ansichten sind längst aufgegeben. Wir wollen einen Lebenspunkt für die Herzbewegung nicht erst erfinden. Es gilt, die automatischen Kräfte aus ihrem letzten Bollwerk zu treiben, und ich glaube in der That, sie brauchen auch im Sinus nicht heimisch zu sein. Diese Ansicht stützt sich auf folgende Beobachtungen.

8. Unter 1. zeigte ich, dass, wenn ich ein ausgeschnittenes Herz unter Oel bringe, dasselbe seine Pulsationen für immer aufgibt, sobald man den Sinus fortgeschnitten hat. Ich fügte hinzu, dass der Sinus nach der Operation seine Contractionen regelmässig fortsetzt. Diese Angabe trifft zwar meistens zu, doch beobachtet man auch nicht selten eine für die Theorie sehr wichtige Ausnahme. Es ist mir nämlich wiederholt begegnet, dass, nachdem der Schnitt in vorgeschriebener Weise mit der Scheere geführt war, nicht blos Kammer und Vorhof stillstehen blieben, wie es die Regel ist, sondern dass gleichzeitig auch der Sinus seine Contractionen für immer aufgab. Es wurde also in diesen Fällen das unter Oel kräftig und regelmässig fort pulsirende ausgeschnittene Herz durch den Schnitt in zwei Stücke zerlegt, deren keines mehr Contractionen zeigte. Von der Abwesenheit jeder Bewegung habe ich mich in jedem Falle durch genaue Beobachtung mit der Lupe überzeugt. Beide stillstehende Herzstücke verhielten sich gegen Reize ganz gleich, nur zeigte sich der Sinus reizbarer. Leichte Reize lösen vereinzelte oder wenige, stärkere eine längere Reihe von Contractionen aus. Ja die Contractionen können selbst eine so erhebliche Dauer erlangen, wie sie das ausgeschnittene Herz unter Oel überhaupt zeigt.

Wie gesagt, die Beobachtung von dem künstlich herbeigeführten Stillstande des Sinus ist selten, und ich kann sie nicht mit Sicherheit erzielen, aber auch der seltene Erfolg erlaubt uns, den Schluss zu ziehen, dass die Lehre von der Autonomie der rhythmischen Bewegungen des Sinus gleichfalls sehr zweifelhaft sein muss.

9. Wir hatten oben beobachtet, dass die Ligatur im Allgemeinen mit grösserer Sicherheit den Stillstand herbeiführt, als der Schnitt. Quere Ligatur um die Vorhöfe hat mir z. B. nie versagt. Es lag daher nahe, zu prüfen, ob die Ligatur nicht auf irgend eine Weise auch dauernden Stillstand des Sinus zu Stande bringe. In dem früheren Versuchen hatten wir Ligaturen angelegt von der Herzspitze aufwärts bis zur Grenze des Venensinus. Welchen Einfluss hat die Ligatur, welche den Sinus selbst theilweise oder ganz mit abschnürt? Um bequem den Venensack überblicken zu können und nach Belieben die Stelle der Ligatur zu wählen, verfahre ich folgendermassen. Zuerst lege ich mir das Herz in gewohnter Weise frei und bringe das ganze Thier unter Oel. Dann führe ich einen Seidenfaden um die Aorten und unterbinde sie. Bei Gelegenheit der Unterbindung der Aorten habe

ich nur beiläufig regelmässig eine Erscheinung beobachtet, welche Aufmerksamkeit verdient, und mit der wir uns einen Augenblick beschäftigen wollen, bevor ich den weiteren Verlauf des Versuches darstelle.

Nach Unterbindung der Aorten behält das mehr und mehr von Blut strotzende Herz den früheren Rhythmus seiner Bewegungen bei, dagegen ändert sich alsbald die Erscheinung jeder einzelnen Contraction. Der Ventrikel zieht sich nicht mehr regelmässig auf einmal zusammen. Man sieht dann einzelne Streifen der Oberfläche sich einziehen, während andere Theile derselben bald quere wallartige Erhebungen bilden, bald ganz umschriebene beutelartige Ausbuchungen zeigen. Schliesslich gleicht seine Zusammenziehung eher einer Art peristaltischer Bewegung als einer geordneten Herzcontraction. Nach einiger Zeit lässt der Vorhof die gleichen auffallenden Unregelmässigkeiten der Zusammenziehung wahrnehmen. Diese eigenthümliche Form unregelmässiger Contraction ist jedenfalls abhängig von dem vermehrten Widerstande, auf welchen die Herzaction nach Unterbindung der Aorten stösst; denn sie schwindet sofort und macht dem normalen Hergange Platz, wenn man entweder die Ligatur fortnimmt, oder durch Abschneiden der Herzspitze auf anderem Wege die abnormalen Widerstände wieder aufhebt.

Vielelleicht ist diese Beobachtung für die Pathologie nicht ohne Interesse, da sich bei Stenose der Aorta ähnliche Alterationen der Herzaction zeigen dürften. — Studien zur näheren Deutung des Vorganges habe ich nicht gemacht.

In dem Versuche fortfahrend, schneide ich die Aorten jenseit der Ligatur durch und präparire die obere Fläche der Vorhöfe frei. Der Venensack sammt den in ihn mündenden Hohlvenen ist mir jetzt seiner ganzen Ausdehnung nach zugänglich. Ich führe nun die Schlinge des Ligaturstäbchens über das Herz hinweg, um den Sinus bis an die Stelle, wo die Hohlvenen ihn zusammensetzen. Der an den Aorten hängende Ligaturfaden dient mir als Handhabe, mittelst welcher ich das Herz möglichst schonend so weit anziehen kann, dass die Ligatur genau den Anfang des Sinus umgreift. Durch Bewegung der Schraube ziehe ich die Schlinge nunmehr fester und fester, bis das Herz sammt Sinus stillsteht. In der Mehrzahl der Fälle habe ich wenigstens Stillstand eintreten gesehen. Mitunter allerdings pulsirt es weiter und dann fast immer in sehr verlangsamtem Rhythmus. Mehrmals ist es mir begegnet, dass das durch die Ligatur nicht zum Stillstande gebrachte Herz seine Bewegungen aufgab, als ich die festgezogene Ligatur löste. Es trat also in diesen Fällen ausnahmsweise ein, was bei der Ligatur um die Ventrikelseite die Regel ist. In den Fällen, wo der Stillstand des Herzens in Folge der Abschnürung glückte, war derselbe meist ein dauernder. In einigen Fällen jedoch beobachtete ich nachträglich auftretende seltene Contractionen. Fortnahme der Ligatur war in manchen Fällen ohne jeden Einfluss, wenn ich zuvor das ganze Herz mit den Hohlvenen ausgeschnitten hatte. Einige Male sah ich nach Ausschneidung des Herzens und Fortnahme der Ligatur Wiederbelebung der Contractionen. Das Verhalten des zum Stillstande gebrachten Herzens gegen Reize

war ganz so, wie wenn die Ligatur um die Sinusgrenze gelegt worden wäre, nur schien mir das Herz leichter erregbar als bei fehlendem Sinus.

Wir ersehen aus allen diesen Versuchen, dass es häufig wenigstens gelingt, das vollständige Herz sammt Sinus durch eine dicht vor der Mündung der Hohlvenen gelegenen Ligatur für immer zum Stillstande zu bringen, und wir dürfen, glaube ich, daraus schliessen, dass was für das Herz galt, ebenso, wenn auch weniger überzeugend für den Sinus Geltung haben muss. Auch die Ganglien des Sinus sind keine wirklich automatischen Organe. Einmal zum Stillstande gebracht, nehmen sie ihre Thätigkeit nicht wieder auf, wenn sie vor der Einwirkung von Reizen geschützt bleiben.

10. Richtete ich mir einen Frosch ebenso zu, wie unter 9. eben angegeben wurde und schnitt ich, statt das Ligaturstäbchen anzuwenden, das Herz an der Sinusgrenze mit der Scheere durch, so erzielte ich fast regelmässig dauernden Stillstand des Herzens. Versuchte ich es dagegen, den Sinus weiter nach seinem Ursprunge zu in unmittelbarer Nähe der Hohlvenenmündung zu durchschneiden, so kam es nicht zum Stillstande, sondern das Herz pulsirte fort. Verschiedene theoretische Muthmaassungen, auf welche wir später zurückkommen, veranlassten mich zu folgendem Versuche, durch den ich es zu erreichen hoffte, dass auch ein höher im Sinus ausgeführter Schnitt Stillstand bewirke. Ich tödte einen Frosch dadurch, dass ich ihm Hirn und Rückenmark mit der Sonde zerstörte, dann schnitt ich sämtliche Extremitäten weg, entfernte die Baucheingeweide und das Beckengerüst, öffnete die Brust und legte das Herz frei. Schliesslich nahm ich von dem übrig gebliebenen Rumpfstücke noch soviel fort, dass ich im Wesentlichen nur noch ein Präparat vor mir sah, das aus einem Stück Wirbelsäule sammt hinterem Ende des Schädels bestand, auf welchem das Herz mit wenigen dasselbe umgebenden Weichtheilen auflag. Beide Vagi von ihrem Ursprunge am Schädel bis zum Herzen hatte ich sorgfältig mit erhalten. Es war meine Absicht, das Herz möglichst blutleer zu machen und ihm neue Blutzufuhr abzuschneiden. Beides hatte ich durch die Verstümmelung im Wesentlichen erreicht. Was noch von Blut in den Hohlvenen und im Herzen war, entfernte ich, soweit als thunlich, durch sanften Druck aus kleinen schlitzförmigen Oeffnungen, welche ich in den Vorhöfen und dem Aortenbulbus anbrachte; dann durchschnitt ich die Aorten und befestigte am Herzende der einen von ihnen einen seidenen Faden. Jetzt brachte ich die hakenförmig umgebogenen Enden je eines Elektrodenpaars von einem Schlittenapparat unter je einen Vagus bei geöffneter Kette *). Das ganze Präparat sammt den Elektrodenpaaren, welche die Vagi trugen, legte ich nun in Oel. Das Herz, dessen Pulsationen während der Präparation ununterbrochen in unverändertem

*) Ich benutzte einen und denselben Schlittenapparat, welchen ich mit 4 Leitungsdrähten versah, von denen ich je einen positiven und negativen zu einem Elektroden-Paare in gewöhnlicher Weise verband.

Rhythmus fortgedauert hatten, veränderte seinen Rhythmus auch unter Oel nicht. Nachdem es etwa 2 Minuten unter Oel fortgeschlagen, liess ich den Strom in Wirksamkeit treten. Sogleich stand das Herz in Diastole still. Ich fasste nun mit der einen Hand die Ligatur, welche an der Aorta befestigt war, und zog das Herz leise von seiner Unterlage ab, während ich mit der anderen die Blätter einer scharfen Scheere so führte, dass der Ursprung des Sinus, welcher allein noch die Verbindungsbrücke zwischen Herz- und Rumpfstück bildete, zwischen ihnen sich befand. In dieser Haltung wartete ich ab, bis der Strom eine halbe Minute gewirkt hatte. Jetzt durchschnitt ich mit einem Zuge den Ursprung des Sinus und liess das so abgetrennte Herz auf den Boden des Gefässes fallen. Es blieb in Diastole liegen und verharrte in derselben über eine halbe Stunde. Als ich es nun durch Berührungen mit der Sonde zu Contractionen anzuregen suchte, versagte es. Auch stärkeres Quetschen vermochte keine Contraction auszulösen. Das vollkommen scheintodte Herz nahm ich nun aus dem Oel heraus an die Luft und spülte es mit Wasser rein. Es blieb auch an der Luft regungslos liegen. Nach einer Viertelstunde indess fing es von selbst zuerst langsam, dann immer schneller an zu pulsiren und pulsirte jetzt auch dann noch lange weiter, als ich es von Neuem unter Oel brachte. In dieser Form ist mir der Versuch mehrmals geglückt, einigemal allerdings auch missglückt. Schneidet man das Herz während der durch den intermittirenden Strom künstlich bewirkten Diastole nicht ab, so nimmt es regelmässig nach einigen Minuten spätestens seine Contractionen wieder auf, es mag die Reizung der Vagi fortduern oder nicht. Die Reizung der Vagi unter Oel bringt also an sich nur vorübergehenden Stillstand des Herzens hervor.

Das Ergebniss des mitgetheilten Versuches ist: Bringt man ein Herz unter Oel durch Reizung der Vagi zum Stillstande, so wird dieser Stillstand ein dauernder, wenn man das Herz in der Diastole durch Schnitt durch den Sinus von dem übrigen Körper trennt. Auch dieser Versuch berechtigt uns zu dem Schlusse, dass die Ganglien des Sinus keine automatische Thätigkeit entwickeln.

Beiläufig wirft dieser Versuch auch einiges Licht auf die Auffassung von der Wirkungsweise des Vagus. Man nimmt gewöhnlich an, dass während der Reizung des Vagus die bewegenden Kräfte des Herzens gleichsam niedergehalten, sich anhäufen und schliesslich wegen ihrer mehr und mehr zunehmenden Machtfülle die Oberhand gewinnen über die vom Vagus angeregten hemmenden Kräfte. Der Versuch lehrt, dass die während der Reizung des Vagus angeblich angehäuften Kräfte nach Lostrennung des Herzens gleichwohl nicht sich geltend machen, sondern das Herz bleibt in Diastole stillstehen. Dieser Punkt der gewöhnlichen Auffassungsweise von der Wirkung des Vagus dürfte daher zu berichtigen

sein, wie denn überhaupt die ganze Lehre vom Vagus wohl als offene Frage darf angesehen werden.

11. Bei einem wie unter 9 zugerichteten Frosche unterband ich nach einander die drei Hohlvenen einzeln. In zwei Fällen habe ich darnach dauernden Herzstillstand gesehen. In der Mehrzahl der übrigen Versuche sah ich wenigstens sehr erhebliche Verlangsamung der Pulsationen. Jedesmal schnitt ich nach Anlegung der Ligaturen das Herz vollständig heraus.

Nach Stannius ist Ligatur um die Hohlvenen, an der Luft ausgeführt, ganz ohne bemerkbaren Erfolg. Unter Oel ist völlige Resultatlosigkeit mir nie begegnet. Immer verlangsamt sich wenigstens der Rhythmus. — Da ich von diesen Versuchen nicht viele angestellt habe, so will ich sie zu weiteren Folgerungen nicht benutzen.

In den bisher mitgetheilten Versuchen habe ich zur Abtrennung des Herzens entweder die Abquetschung durch die Schlinge oder den Schnitt benutzt. Es giebt noch eine dritte Methode, welche zur Vergleichung brauchbar sein dürfte, die ich indess bisher nur einmal angewandt habe: ich meine die Galvanokaustik. Mittelst ihrer gelingt es, das Herz vollständig abzutrennen, ohne der Luft Zutritt zu dem Innern der Herzwandung zu gestatten.

12. Ich brachte die Glühschlinge einer Grenetschen galvanokaustischen Batterie um die Sinusgrenze und liess sie allmälig durchschneiden. Die Wärmeerzeugung reizte das Herz zu sehr beschleunigten Palpitationen während des Durchschneidens. Nachdem die Durchschneidung vollendet war, stand das Herz in der Diastole still. Ich legte es in Oel und es blieb in der Diastole für immer liegen. Das Resultat stimmt mit unseren übrigen Erfahrungen gut überein.

Versuchen wir es, die Resultate der unter den Nummern 8 bis 12 aufgeföhrten Versuche zur Erweiterung der bereits oben begonnenen theoretischen Betrachtungen zu benutzen und das ganze Gebiet der von uns gewagten Schlüsse unter einem Gesamtbilde zu vereinen.

Trennt man unter Oel das ganze Froschherz oder einen Theil desselben auf mechanischem Wege, sei es durch Schnitt, sei es durch die Ligatur von dem übrigen Thierleibe los, so bleibt das abgetrennte Herzstück, resp. das ganze Herz unter Umständen für immer in der Diastole regungslos liegen. Die Annahme von wirk-

lich automatischen, in den Ganglien der Herzwand wirksamen Kräften ist daher unstatthaft, weil sie ihre Wirksamkeit plötzlich und für immer einbüßen können durch einen Akt, welcher sie nachweislich weder vernichtet, noch auch nur dauernd an Thätigkeitsäusserungen hindern kann. Durch mechanische oder elektrische Reize können die abgetrennten Herztheile wieder zu andauernden rhythmischen Contractionen gebracht werden, und man darf daher vermuthen, dass die normalen rhythmischen Bewegungen des unversehrten im Thierleibe verbliebenen Herzens ebenfalls einem Reize ihren Ursprung verdanken. Man dürfte weiter schliessen, dass das aus dem Thierleibe herausgetrennte Herz seine Contractionen einstellt, weil es der Einwirkung dieses normalen Reizes entzogen ist. Unsere Erfahrungen reichen bis jetzt, wie ich glaube, nicht hin, um mit Bestimmtheit ermitteln zu können, welches dieser Reiz ist, dessen Existenz wir fordern müssen. Betrachtet man den geordneten Ablauf der normalen Herzcontractionen, so wird man unwillkürlich darauf geleitet, als Grund dieses streng vorgeschriebenen Ablaufs anzunehmen, dass die Erregung sich von Ganglion zu Ganglion mitteilt und so die eigenthümliche regelmässige Folge der einzelnen Zusammenziehungen zu Stande kommt. Es würde dann eine der Herzspitze näher gelegene Gangliengruppe ihre Anregung immer von der nächst höher gelegenen erhalten, diese wieder von einer dritten u. s. w. Ein abgeschnittenes Herzstück würde dann deshalb stillstehen, weil nach der Trennung der normale Reiz von den höheren Ganglien her ausbleibt. Diese Vorstellung, welche für den Augenblick anspricht, führt uns aber auf Abenteuerlichkeiten, wenn wir sie weiter verfolgen. Wie wir aus den letzten Experimenten ersahen, hat auch der Sinus nicht automatische Bewegung. Wo haben wir nun den Reiz für den Sinus zu suchen? Vielleicht in den Hohlvenen, deren Pulsationen noch früher eintreten, als die des Sinus? Und was giebt den Reiz ab für die Pulsationen der Hohlvenen? Hirn und Rückenmark etwa, welche vollständig zerstört werden können, ohne dass die Herzbewegungen eher als nach vielen Tagen aufhören? Wie gesagt, die Besprechung solcher hypothetischer Anschauungen scheint vor der Hand unfruchtbär, so lange man nicht mehr entscheidende Thatsachen bei-

zubringen hat, mit Hülfe deren man nicht nur angreifen, sondern wirklich widerlegen kann. Die Ermittelung des Reizes für die normalen Herzbewegungen scheint mir übrigens der weiteren Forschung zugänglich. Mir selbst ist bisher die uralte Annahme als die wahrscheinlichste erschienen, welche in dem bewegten Blute und zwar in chemischen Eigenthümlichkeiten desselben den Reiz sieht, welcher die bewegenden Organe des Herzens anregt. Die Annahme steht wenigstens mit keiner der mir bekannten That-sachen in vollständigem Widerspruch. Positiv neue Beweise für dieselbe kann ich bis jetzt nicht beibringen. Natürlich halte ich nur das in der Herzwand selbst bewegte Blut für fähig, einen Reiz auszuüben, während ich es für ganz unwahrscheinlich halte, dass das in den Herzhöhlen enthaltene Blut einen Reiz auf die Innенwand auszuüben im Stande sei. Weitere Ausführungen über die Art, wie das Blut als Reiz wirken könne, wollen wir für jetzt aufgeben.

Kehren wir zurück zu dem, was wir mit mehr Sicherheit behaupten zu können glauben. Die Herzthätigkeit kann keine automatische sein, so haben wir geschlossen aus der ganzen Reihe von Versuchen, welche oben angeführt sind. Wir waren im Stande, das Herz oder einen Theil desselben zum dauernden Stillstande zu bringen durch Operationen, welche wirklich automatische Kräfte nicht lähmen konnten. Sind wir nun andererseits im Stande anzugeben, aus welchen Gründen unter gewissen Bedingungen auch das ausgeschnittene Herz weiter pulsiren kann? In mancher Beziehung können wir eine befriedigende Antwort geben. Wir wissen, dass ausser den normalen Reizen, welche während des Lebens thätig sind, auch künstliche die Nerven und Muskeln anregen können. Wir sehen, dass ein scheinbar für immer stillstehendes Herzstück zu pulsiren anfängt, wenn man es energisch künstlich mechanisch reizt. Ferner sahen wir, dass unter Oel schon scheintodt gewordene Herzstücke, an die Luft gebracht, wieder pulsiren und mussten daher die Luft als energischen Reiz für das Herz betrachten. Es wird daher ein vom Thierleibe losgetrenntes Herz weiter pulsiren können, wenn man dergleichen künstliche Reizung mit ihm vornimmt. Dieser Reiz liegt nun manchmal unvermeidlich im Akte

der Trennung selbst, so dass sich die durch künstliche Reizung hervorgebrachten Contractionen unmittelbar anreihen können an die, welche der normale Reiz erzeugte. So kann ich mir vorstellen, dass der Schnitt, durch welchen ich das Herz abtrenne, im Augenblick als Reiz auf das abgeschnittene Stück wirkt und dieses zum Weiterpulsiren bringt. Aus diesem Grunde erkläre ich mir das Misslingen mancher Versuche. Wir sind ferner durchaus nicht im Stande, mit Sicherheit ein Herzstück vor Reizen zu bergen, weil wir ja keine Kenntniss haben, ob nicht Umstände als Reiz wirken können, welche wir bisher ganz übersahen. Das Misslingen einzelner Versuche, bei denen wir alle mögliche Vorsicht anwandten, beweist daher nur, dass das Herz unter Umständen sehr empfänglich für Reize ist. Die Versuche scheinen nun zu lehren, dass im Allgemeinen der Sinus am reizbarsten ist und dass es mitunter nur eines kleinen Anstosses bedarf, um denselben zu neuen Contractionen anzuregen. Daher misslingen Versuche, bei denen man den Sinus mit zum dauernden Stillstande bringen will bei weitem am leichtesten. Aus dem Umstande, dass ein energetischer Reiz eine ganze Reihe von rhythmischen Pulsationen auslösen kann, glaube ich schliessen zu müssen, dass der Reiz eine mächtige Nachwirkung auszuüben im Stande ist. Beobachten wir also im todten Frosch unter Oel langdauernde Pulsationen, so ist es durchaus nicht nothwendig, dass der von uns hypothetisch anzunehmende Reiz so lange noch wirksam sei, wie die Contractionen dauern. Der Reiz kann vielmehr längst erloschen sein und die Contractionen fahren als Nachwirkung fort. Wenn man daher das Blut auch noch so vollständig entfernt aus dem Herzen und die Contractionen dauern gleichwohl fort, so darf man nicht schliessen, dass deshalb das Blut nicht den Reiz für die Contractionen abgeben kann. Abgesehen davon, dass die vollständige Entfernung des Blutes nicht möglich, so werden die Contractionen sicher noch als Nachwirkung fortbestehen können. Dieser Gedanke leitete mich bei Anstellung des Versuchs mit Reizung der Vagi. Ich wollte zuerst die Contractionen an und für sich zum Stillstande bringen und nachdem dies geschehen, das zur Ruhe gebrachte Herz vor neuen Reizen schützen. Da ich als normalen Reiz das Blut an-

sehe, so schnitt ich das Herz während der Diastole schnell aus und es blieb nun in der That dauernd stehen. Bleibt das Herz im Leibe, so treten die Contractionen, wie ich glaube, deshalb nach einiger Zeit wieder auf, weil das von den Venen her einströmende Blut wieder als Reiz wirkt. Die vorgefasste Meinung, dass das die Herzwandungen durchströmende Blut den Reiz für die Ganglien abgibt, hat mich überhaupt bei allen Versuchen dahin getrieben, der Sicherheit wegen das Herz noch ganz herauszuschneiden, wenn es schon durch die Ligatur zum Stillstande gebracht war.

Soll ich ein Gleichniss brauchen, so möchte ich mir das Herz vorstellen wie ein Uhrwerk mit leicht beweglichem Pendel. Ist das Pendel durch irgend eine Störung zum Stillstande gebracht, so steht das Werk still für immer. Der geringste Anstoss kann das Pendel aber wieder in Gang bringen, und dann für eine Zeit, die zu dem Anstoss in keinem Verhältniss stand. Wie das ganze Herz, so stellen seine einzelnen Stücke für sich auch solche leicht bewegliche Mechanismen dar. Sind sie in Ruhe, so verharren sie in ihr. Ein verhältnissmässig leiser Anstoss bringt auch sie zu dauernden rhythmischen Bewegungen.

Blicken wir zurück auf die im Eingange unserer Abhandlung kurz dargestellte Theorie Volkmann's, so können wir sie ihrem ganzen Umfange nach vertreten, wenn wir den einen Punkt an ihr ändern, dass die Ganglien des Herzens nicht als automatische, sondern als reflectorische anzusehen sind.

Es wird vielleicht nicht überflüssig sein, noch einige allgemeine Bemerkungen hinzuzufügen für Diejenigen, welche sich die Mühe geben wollen, meine Versuche zu prüfen. Die Versuche sind von mir angestellt im Monat October an Wasserfröschen, Landfröschen und einige Male auch an Kröten. Die zur Untersuchung benutzten Thiere waren entweder frisch gefangen oder einige Wochen vor der Tödtung im Kühlen aufbewahrt worden. Ich habe stets Werth darauf gelegt, möglichst scharfe Instrumente zu benutzen, um quetschende Nebenwirkung zu vermeiden. Zu den unter Oel angestellten Versuchen verwandte ich bald Baumöl, bald gewöhnliches Brennöl. Hat man die Wahl, so verwende man möglichst

grossen Frösche, weil bei ihnen die Versuche sich leichter anstellen lassen und die Folge-Erscheinungen mehr hervortreten, auch im Ganzen constanter sind.

Ich habe es vermieden, viele Anführungen aus der bezüglichen ausgedehnten Literatur zu machen, um den Gang der Darstellung nicht zu verwirren. Es sei mir daher hier am Schlusse vergönnt, einige Notizen aus den neueren Arbeiten zu vermerken, welche sich auf die von uns verhandelten Fragen spezieller beziehen.

F. Bidder (Ueber funktionell verschiedene und räumlich getrennte Nervencentra im Froschherzen, Müller's Archiv 1852, S. 163) hat zum Theil auf ausgezeichnete anatomische Untersuchungen gestützt, anzunehmen zu müssen geglaubt, dass die Vorhofsganglien als rhythmische, die Ventrikelganglien als reflectorische anzusehen sind. Unter reflectorischen will B. solche verstanden wissen, welche auf Reize nur durch eine einzige Contraction antworten. Wie bereits von Andern nachgewiesen ist, sind Bidder's Annahmen nicht zu bestätigen. Es stellt sich kein wesentlicher Unterschied zwischen den Thätigkeitsäußerungen der Ganglien heraus, sei es nun, dass sie im Vorhof oder Ventrikel liegen. Wir haben gesehen, dass je nach der besonderen Form der Behandlung abgetrennte Herzstücke bald als reflectorische, bald als rhythmische im Sinne Bidder's fungiren können. Im Allgemeinen antwortet das abgeschnürte Herzstück auf Reize nur durch eine Contraction, während das abgeschnittene leicht eine Reihe von Contractionen auslöst. Jenes verhält sich daher wie ein reflectorisches, dies wie ein rhythmisches Organ.

C. Eckhard (Beiträge zur Anatomie und Physiologie, zweites Heft, S. 147; Giessen 1858) sagt wörtlich: „Die spontanen Herzbewegungen hängen von der Anwesenheit der Herztheile ab, an welchen der Venensinus in den rechten Vorhof übergeht.“ E. hat also den Standpunkt festgehalten, den wir nach Darstellung des Versuches 6. eingehalten und von welchem wir später zu erweiterten Betrachtungen übergingen. Eckhard's Ansicht hat Einwürfe von Heidenhain erfahren, welche indess den von uns mitgetheilten Versuchen gegenüber an Gewicht verlieren dürften.

A. v. Bezold (Virchow's Archiv, 14. Bandes 3. und 4. Heft,

S. 282) hat in seinen trefflichen Untersuchungen bereits nachgewiesen, dass ein Schnitt durch die Sinusgrenze das Herz ebenso gut zum Stillstande bringen kann wie die Ligatur. B. vertritt ferner mit Eifer die Auffassung, dass die Ligatur der Stannius'schen Versuche mehr trennend wirkt und nicht reizend.

Finden meine Versuche in diesen Angaben eine Stütze, so bedaure ich andererseits gerade diesem Forscher direkt gegenüber treten zu müssen. B. sagt: „Dieser Stillstand (durch Schnitt an der Sinusgrenze) tritt ein, gleichviel, ob man die abgeschnittenen Herzstücke in Oel, Serum oder Zuckerwasserbettet, oder ob man sie in der Atmosphäre liegen lässt. Nach einiger Zeit, gleichviel wie es gelagert ist, beginnt das Herz sich wieder zu bewegen und zwar meist in der Weise, dass der Ventrikel zuerst sich zusammenzieht und das in ihm befindliche Blut ausstösst; dass dann in längeren oder kürzeren Intervallen eine zweite und dritte Contraction, die meist vom Ventrikel eingeleitet wird, folgen und dass endlich eine ziemlich regelmässige Reihe von Contractionen abläuft, die später oder früher endet, je nachdem das Herz in freier atmosphärischer Luft oder in den angegebenen Flüssigkeiten sich befindet.“ Die Angabe, dass das unter Oel vom Sinus losgetrennte und zum Stillstand gebrachte Herz seine Contractionen nach einiger Zeit wieder aufnimmt, steht in Widerspruch mit meiner Beobachtung, dass der Stillstand in der Regel von immerwährender Dauer ist. Da ich meine Versuche sehr oft angestellt habe und das von mir angegebene Ergebniss für gesichert halte, so kann ich nur annehmen, dass v. Bezold zufällig auf Ausnahmsfälle getroffen ist, oder dass auf irgend einer Seite unbekannte Nebenumstände zur Gel tung kommen, welche einen Irrthum, sei es meiner- sei es seinerseits veranlassen. In Folge davon, dass B. den Lähmungszustand nach der Ligatur oder Schnitt für keinen dauernden hält, ist er zu theoretischen Ansichten geführt worden, welche er lediglich für provisorische erklärt und die ich nicht näher durchgehen will, weil ich ihre Grundlagen jetzt für so erschüttert halte, dass B. selbst sie nicht unverändert festhalten wird.

Heidenhain (*Disquisitiones de nervis organisve centralibus cordis cordiumve ranae lymphaticarum experimentis illustratae*,

Dissertatio inauguralis, und Müller's Archiv 1858, S. 479) hat sich bemüht, Volkmann's Theorie vollständig unverändert aufrecht zu erhalten. Er erklärt die Wirkung der Ligatur oder des Schnittes für eine reizende durch Quetschung und sieht in dem Wiederauftreten von Contractionen bei den der Luft ausgesetzten ausgeschnittenen Herzstücken wirkliche automatische Bewegungen. Meiner Ansicht nach verdanken diese automatischen Bewegungen ihren Ursprung meistens dem Lustreiz, in manchen Fällen auch mechanischer Insultation. So muss z. B. in den Versuchen Heidenhain's, bei denen er Schnittchen für Schnittchen die Herzsubstanz abträgt, um zu sehen, wie klein das Stück sein kann, welches sich noch automatisch fortbewegt, jeder einzige Schnitt als neuer Reiz durch mechanischen Insult angesehen werden.

Heidenhain hat, wie ich aus seiner Dissertation ersehe, in einzelnen Fällen den Erfolg von Wegnahme der Stannius'schen Ligatur beobachtet, ist indess zu keinen wesentlichen neuen That-sachen, so viel mir bekannt, dadurch gelangt.

Seite 47 seiner Dissertation heisst es: „Ventriculi cordis ranini ceteroquin integri in media parte aut in linea, quae tertiam eius partem superiorem a bis tertia parte inferiore separat, ligatura eum in modum constringatur et haec facile removeri possit, quo facto Ligatura auferatur, et sanguis in partem ventriculi inferiorem de-scendere possit: pars inferior motus expers iacet atque pulsationum partis superioris, quae rhythmo regulari cum atriorum pulsationi-bus se excipiunt, minime particeps est, summum partis superioris contractionibus mechanice corripitur.

Hätte Heidenhain seine Ligatur um ein Drittel Ventrikels höher angelegt, und dann ebenfalls entfernt, so wäre er vielleicht schon damals zu veränderten Ansichten über die Theorie der Herz-bewegung gekommen.
