

XVI.

Ueber die Ursachen der Herzthätigkeit *).

Von Dr. Fr. Goltz, prov. Prosector zu Königsberg i. P.

Vorgetragen im Verein für wissenschaftliche Heilkunde am 5. November 1861.

In meinen bereits veröffentlichten Untersuchungen habe ich den Beweis zu liefern gesucht, dass die Herzbewegung keine wirklich automatische sein kann, sondern dass sie, wie jede andere Muskelbewegung, nur in Folge gewisser Reize zu Stande kommt. Welches der Reiz sei, der im Leben die normale Herzbewegung erzeuge, darüber wagte ich keine bestimmte Behauptung, sprach indess die Ueberzeugung aus, dass ich die Erledigung dieser Frage im Wege der weiteren experimentellen Forschung für erreichbar halte. Seitdem habe ich mich nun in der That bemüht, der Lösung dieser Aufgabe näher zu treten, und was ich bisher ermittelt, theile ich, nachdem nunmehr gerade ein Jahr nach meiner ersten Veröffentlichung verflossen ist, mit.

Da es feststeht, dass die Herzthätigkeit völlig losgelöst von allen Einflüssen, welche Hirn und Rückenmark auf dieselbe ausüben könnten, noch lange Zeit fortbestehen kann, so durfte ich die Quelle derselben nicht in diesen Centralorganen des Nervensystems suchen. Die verschiedensten Thatsachen wiesen darauf hin, dass der zu ermittelnde Reiz nicht aus einer gewissen Ferne wirken könne, sondern dass er ganz örtlich in der Herzsubstanz selbst seinen Träger finden müsse. Nehmen wir aber aus der Herzsubstanz die eigentlichen Gewebsbestandtheile des Herzens heraus, auf welche ja eben der anzunehmende Reiz wirken soll, so bleibt uns auf ausschliessendem Wege Nichts übrig, als in dem bewegten

*) Fortsetzung des Aufsatzes im XXI. Bande dieses Archivs: „Ueber die Bedeutung der sogenannten automatischen Bewegungen des ausgeschnittenen Froschherzens“.

Blute jenes Agens zu suchen, welches die Herzthätigkeit veranlasst.

Die nächstliegende Methode der Prüfung, ob das Blut wirklich der Träger jenes Reizes ist, wird die sein, zu untersuchen, ob das blutleere Herz wirklich seine Bewegungen einstellt. So alt wie die Annahme, dass das Blut den Reiz für die Herzthätigkeit abgebe, so alt sind auch die Versuche, durch das Experiment zu beweisen, dass das Herz nach Entfernung des Blutes stillsteht. Man hat vor und nach Haller das Herz ausbluten lassen, aufgeschnitten, ausgewischt, gewaschen und ausgequetscht, und dann in der That beobachtet, dass die so behandelten Herztheile stillstanden. Haller spricht davon wie von einer zweifellosen Thatsache*). In neuerer Zeit haben namentlich Budge und Schiff dergleichen Versuche angestellt mit demselben Ergebniss**). Andere Beobachter behaupten dagegen, dass auch das völlig blutleere Herz seine Bewegungen noch einige Zeit fortsetzt. Panum z. B. hat sämtliche Herzgefässe mit Oel und flüssigem Fett ausgespritzt und sah gleichwohl Fortdauer der Pulsationen***). Wenn wir uns diese auffallenden Widersprüche erklären wollen, so müssen wir uns daran erinnern, dass die Auffassung der Art und Weise, wie das Blut als Reiz wirke, bei den Forschern eine verschiedene war, und dass sich nach dieser verschiedenen Auffassungsweise meist auch ihr Verfahren zur Entfernung des Reizes richtete. Manche haben angenommen, das Blut in den Herzhöhlen wirke als mechanischer Reiz. Zu ihnen gehörte Haller und von Neueren z. B. Kürschner. Andere sahen in dem Reiz des Blutes die Wirkung chemischer Agentien und schlossen demgemäss, dass vornämlich das in der Herzwand kreisende Blut der Kranzgefässe wirksam sein müsse. Jenen kam es darauf an, bei ihren Versuchen die Herzhöhlen blutfrei zu machen, diesen galt es als Haupterforderniss,

*) Haller, *Elementa phys.* Lausanne 1757. T. I. p. 491. *Neque dubium est, cor rite inanitum quiescere, in meis inque aliorum, etiam ex adversa secta, virorum experimentis: ut elisum atque omni sanguine, aërisque parte maiori substracto, continuo de motu consistat, sive in ventriculo cordis experimentum feceris, sive in aure.*

**) Archiv für physiolog. Heilkunde. Jahrgang 1846 u. 1850.

***) Schmidt's Jahrbücher, 100. Bd. S. 154 (Auszug).

die Kranzgefäße zu entleeren. Kurz gesagt, die einen machten das Herz blutleer, die anderen blutlos. Die Ansicht, dass das Blut als mechanischer Reiz auf das Innere der Herzwandung wirke und dadurch allein die Contraction hervorrufe, dürfte kaum noch heute Vertreter finden. Die unwissenschaftlichen verworrenen Begründungen Haller's hat Volkmann schlagend in seiner Hämodynamik gerichtet. Schon die eine bekannte Thatsache, dass das blutleere Amphibienherz noch stundenlang weiter schlägt, reicht zu ihrer Widerlegung hin. Es bleibt demnach nur die andere Ansicht zu prüfen übrig. Chemisch reizen kann das Blut am leichtesten von den Kranzgefäßen aus. Es ist indess nicht unmöglich, dass auch das in den Herzhöhlen befindliche Blut wirksam werden kann, da ja die Innenwand des Herzens für flüssige und gasförmige chemische Agentien nichts weniger als undurchgängig ist. Zumal bei sehr verdünnter Herzwandung ist die vollständige Durchdringung des Gewebes mit den diffundirbaren Bestandtheilen des Höhleninhalts begreiflich. Wenn man demnach die chemischen Wirkungen des Blutes absolut ausschliessen will, so muss man nicht allein die Kranzgefäße, sondern auch die Herzhöhlen blutleer und damit dann das ganze Herz wirklich blutlos machen. Budge und Schiff versuchten dies durch Ausdrücken und Auswischen von Herztheilen zu erreichen. Diese Methode ist zumal da, wo die Herzwandungen dicker sind, sehr unvollkommen anwendbar, erfüllt den Zweck naturgemäss nicht sicher und führt deshalb auch zu keinem beständigen Ergebniss. Das sicherste Mittel, das Blut aus den Kranzgefäßen zu entfernen, wird wohl darin bestehen, dass man es durch eine andere Flüssigkeit verdrängt. Die verdrängende Flüssigkeit muss sich indess mit dem Blute mischen lassen; anderenfalls wird sie nur unvollständig in die Capillaren eindringen. Wenn Panum Oel einspritzte, so ist das sicher nicht überall in die Capillaren getreten; und daraus erklärt sich ohne Frage das Ergebniss seines Versuchs. Den ersten Versuch, das Blut durch eine Flüssigkeit zu verdrängen, machte ich mit gemeinem Brunnenwasser. Um möglichst schnell und vollständig das Blut gleichzeitig aus der Herzwand und den Höhlen zu verdrängen, wählte ich folgendes Verfahren:

13. Ich tödte einen Frosch in gewohnter Weise durch Zerstörung von Hirn und Rückenmark und lege das Herz mit den austretenden Gefässen bloss. Dann durchschneide ich beide Aorten in einiger Entfernung vom Bulbus und ebenso die grossen Gefässe der Extremitäten. Nachdem das Thier sich ziemlich vollständig verblutet hat, schreite ich zur Einspritzung. Hierzu bediene ich mich etwa achtzölliger mässig weiter Glasröhren mit kurzem dünn ausgezogenen, passend gebogenem Endstück. Das dünne Endstück bringe ich in das mit dem Herzen in Zusammenhang gebliebene Stück der linken Aorta und befestige das Gefäss mittelst Ligatur auf der Röhrenmündung. Sodann unterbinde ich die rechte Aorta etwas entfernt vom Bulbus. Jetzt fülle ich die Röhre mit Wasser und blase mit grosser Kraft ihren Inhalt gegen das Herz hin. Die Stümpfe der Aorten füllen sich. Das Wasser muss in die Kranzarterien treten, welche nach Brücke oberhalb der Sinus Valsalvae aus der rechten Aorta entspringen. Gleichzeitig stürzt das Wasser, durch den starken Druck die Semilunarklappen überwindend in den Ventrikel, die Vorhöfe und grossen Venen, das Blut verdrängend. Das ganze Herz dehnt sich stark aus und hört auf zu pulsiren. Ich nehme die Röhre aus dem Monde. Der Ventrikel zieht sich kräftig zusammen und bleibt in Systole stehen. Vorhöfe, Sinus und Venen stehen in Diastole still. Schneidet man das Herz sammt Hohlvenen jetzt aus, so bleibt es auch an der Luft für immer bewegungslos. Die Zusammenziehung des Ventrikels lässt allmählig nach. Das auf solche Weise zum Stillstande gebrachte Herz reagirt auf Reize nur wenig. Rhythmische Contractionen lassen sich nur schwer und dann auf die Gegend des Sinus beschränkt erzielen. Oertliche Contraction indess tritt auf stärkere Reize ein. Schneidet man das Herz nicht aus, so sieht man mitunter nach einiger Zeit, wie die Hohlvenen und der Sinus ihre Contractionen von Neuem beginnen; doch wird man dann auch regelmässig wahrnehmen, dass das zurückgedrängte Blut wieder in diese Herzabschnitte einzufliessen begonnen hat und so die Contractionen ermöglicht.

Dieser Versuch enthält zwei Momente, deren Mitwirkung ich nicht gewünscht habe, und deren Einfluss möglicher Weise einen wichtigen Antheil an dem Zustandekommen des Herzstillstandes hat. Meine Absicht war, das Blut zu entfernen und im Uebrigen den Status quo ante aufrecht zu erhalten. Statt dessen habe ich gleichzeitig eine mächtige mechanische Insultation verübt und zweitens an Stelle des Blutes eine Flüssigkeit gesetzt, welche keineswegs indifferenter Natur ist, und deren Wirkungen wir nicht abmessen können. Es wird sich daher, um das Ergebniss des obigen Versuchs zergliedern zu können, für's Erste darum handeln, zu ermitteln, welche Folgen die mit dem Versuche verknüpfte mechanische Insultation unter sonst normalen Bedingungen hat. Die Insultation bestand in einer übermässigen Ausdehnung des Herzens

durch Flüssigkeit. Soll man übrigens die normalen Bedingungen belassen, so darf man nur die normale Flüssigkeit injiciren, d. i. Blut und zwar am besten das Blut desselben Thieres. Diesen Anforderungen genügt der nachstehende Versuch.

14. Ich befestige einen lebenden, recht grossen und kräftigen Frosch in bekannter Weise an den vier Extremitäten auf einem Brettchen und lege das Herz in möglichst unblutiger Weise frei. Dann beklemme ich die linke Aorta dicht am Bulbus mit einer Pincette, einer Serre fine oder mit einer leicht löslichen Ligatur. Hierauf führe ich in das der Blutzufuhr beraubte peripherische Stück der linken Aorta das beschriebene Glasröhrchen so ein, dass dessen Spitze an die provisorische Ligatur anstösst und befestige das Arterienrohr auf der Glasröhre. Inzwischen ist das Blut aus dem Ventrikel durch die rechte Aorta in den Kreislauf gegangen. Nunmehr unterbinde ich die rechte Aorta an derselben Stelle wie im vorigen Versuch und löse dagegen die provisorische Ligatur an der linken Aorta. Das Blut tritt sofort durch die wieder wegsame linke Aorta in die Glasröhre. Der Rücktritt des ausgepressten Bluts wird durch die Semilunarklappen verhindert. Der Frosch pumpt also sein eignes Herzblut fort und fort in die Röhre. Ist das Thier einigermaßen gut genährt, und geht die Vorbereitung des Versuchs ohne nennenswerthen Blutverlust ab, so pumpt es ohne Schwierigkeit so viel Blut in die Röhre, als ich in vorigem Versuch Wassers bedurfte. Ich erziele dann vollständig dieselbe Anordnung wie in jenem Versuch mit dem Unterschiede, dass ich statt Wasser Blut in meiner Röhre habe. Wie oben erzählt, treibe ich durch kräftiges Blasen gewaltsam die Klappen überwindend das langsam ausgepumpte Blut auf einmal in das Herz zurück und nehme die Röhre schnell vom Munde. Der Erfolg ist ein sehr merkwürdiger. Der übermässig ausgedehnte Ventrikel zieht sich kräftig und vollständig zusammen und verharrt für längere Zeit in dieser Systole, welche genau der regelmässigen, vollständigen normalen Systole gleicht. Die längst vermisste Methode, einen allgemeinen gleichmässigen, einer chronischen normalen Systole entsprechenden Tetanus des Ventrikels herzustellen, ist gefunden. Nur ganz kurze Zeit verbleiben die Vorhöfe, Sinus und Hohlvenen in diastolischer Ruhe. Alsbald beginnen sie ihre Contractionen von Neuem, während der Ventrikel noch in seinem ausgeprägten starren Tetanus verharrt. Erst allmählig lässt der Starrkrampf nach, und sogleich mit dem Nachlass des Tetanus sieht man auch wieder die rhythmischen Pulsationen auftreten, welche sich an diejenigen der Vorhöfe in gewohnter Weise anschliessen. Der absolute, unbewegliche Tetanus wandelt sich in einen kräftigen Tonus. Auch während der Diastole bleibt der Ventrikel noch activ tonisch zusammengezogen und lässt nur wenig Blut in seine Höhle, das er in der Systole immer wieder vollständig ausstösst. Nach und nach mässigt sich der Tonus mehr und mehr. Der Formunterschied zwischen systolischem und diastolischem Ventrikel wird immer grösser, und schliesslich stellt sich der normale Hergang in alter Weise wieder her. Der Frosch hat die Röhre von Neuem vollgepumpt. Der Versuch kann von Neuem begonnen werden.

Je nachdem man stärker oder schwächer eingeblasen hat und je nach der Blutmenge, die man zur Verfügung hatte, ändert sich der Tetanus an Intensität und Dauer. Mitunter erreicht man keinen ganz vollständigen Tetanus. Der grösste Theil des Ventrikels zieht sich wohl tetanisch zusammen, doch Herzspitze und oberer linker Rand des Ventrikels nicht. Solche Abschnitte des Ventrikels, welche sich nicht am Tetanus betheiligen, pulsiren dann häufig nach anderem Rhythmus wie die Vorhöfe. Ganz missglücken wird der Versuch nur dann, wenn Blutgerinnsel die Röhre verstopfen. Wie man auch diesen Uebelstand sicher meiden kann, darauf kommen wir später zurück.

Die geschilderte chronische Systole wird man ohne Frage als Tetanus bezeichnen dürfen. Ist dieser Tetanus als eine rein muskuläre Contraction aufzufassen oder ist er von übermässiger Nervenreizung abhängig? Es ist nicht meine Absicht, die noch immer strittige Frage von der Irritabilität der Muskelfaser an sich zu diskutieren. In unserem besonderen Falle halte ich eine bestimmte Entscheidung für möglich. Dieser Entscheidung bedarf ich aber, um den Tetanus für die allgemeine Theorie der Herzbewegung verwerthen zu können. Meiner Ansicht nach ist dieser Tetanus von den nervösen Apparaten des Ventrikels, insbesondere von den Ganglien abhängig. Es ist als sicher anzunehmen, dass durch den Versuch die Ganglien des Ventrikels in ähnlicher Weise mechanisch misshandelt und in gereizten Zustand versetzt werden, wie die Muskelfaser selbst, und dass die Wirkung dieser Reizung auch irgend wie in Erscheinung treten wird. Rein muskulär dürfte dieser Tetanus also schon deshalb nicht sein. Es ist mir aber sogar ganz unwahrscheinlich, dass die Muskelzerrung auch nur das Wesentliche dabei ist. Könnte übermässige Muskeldehnung an sich anhaltenden Tetanus zur Folge haben, so müsste sich ein solcher Tetanus auch an anderen quergestreiften Muskeln herbeiführen lassen. Es ist aber mir so wenig wie Herrn Professor v. Wittich, welcher einen solchen Versuch in seinem Laboratorium anzustellen die Güte hatte, gelungen, durch übermässige Dehnung eines Muskels, z. B. des Gastrocnemius Tetanus desselben zu erhalten. Ein solches Ergebniss würde auch schwerlich Eduard

Weber bei seinen Versuchen mit kurzdauernder Ueberlastung von Muskeln entgangen sein. Wenn demnach der Herztetanus sich durch Muskelzerrung nicht erklären lässt, so bleibt uns nichts übrig, als ihn von der Reizung solcher Organtheile abzuleiten, die den gewöhnlichen Skelettmuskeln nicht eigenthümlich sind. Solche Organtheile, wie sie gerade nur in den quergestreiften Herzfasern eingebettet sind, sind die Ganglien. Sie scheinen also den beschriebenen Tetanus zu vermitteln. In der That entspricht auch das Bild dieses Tetanus genau der Anforderung, welche Volkmann an einen durch Ueberreizung von nervösen Centralorganen erzeugten Tetanus macht. Er überdauert beträchtlich den Reiz. Wie man durch intensive Reizung des Rückenmarks Tetanus der Skelettmuskeln erhält, welcher auch dann noch fortdauert, wenn man den Reiz entfernt, so entsteht hier nach starker Reizung des dem Herzen zugehörigen Centralorgans, der Ganglien, ein tonischer Krampf, der sich erst spät löst, nachdem die mechanische Misshandlung längst vorüber.

Wer das obige Tetanus-Experiment öfter gesehen, wer insbesondere bereits einen Fall beobachtete, wo es zu keinem ganz allgemeinen Tetanus kam, der wird durch die vollständige Aehnlichkeit der Erscheinungen alsbald zu der Ueberzeugung gebracht werden, dass es sich hier lediglich dem Wesen nach um denselben Tetanus handelt, welchen man schon vor Haller durch mechanische Reizung der Aussenfläche und seit Volkmann und Eduard Weber durch galvanische Reizung des Herzens zu erhalten wusste. Betupft man das Herz mit einer Nadel, Sonde u. dergl., so entsteht bekanntlich eine örtliche anhaltende Contraktion von einiger Dauer. Derselbe örtliche anhaltende Krampf entsteht, wenn man die Elektroden intermittirender oder stärkerer constanter galvanischer Ströme irgendwo dem Ventrikel nähert. Dadurch, dass man mit dieser Form der Reizung nach einander über jede Stelle des Ventrikels hingeht, kann man einen vollständigen Tetanus erzeugen. Diese bereits bekannte Form des Herztetanus ist von vielen Seiten nicht als echter Tetanus anerkannt worden. Ludwig, Eckhard und besonders Schiff leugnen die Existenz eines wahren Herztetanus. Verlangt man von dem Herztetanus, dass er die chronisch gewordene normale Form der Systole darstellt, und dass er nach

einer gewissen Dauer die Wiederkehr des normalen Zustandes gestatte, so durfte allerdings jenen längst bekannten Formen von Tetanus ihre Legitimation als solcher bestritten werden. Bringt man den Ventrikel durch eine jener Methoden zum Stillstande in Contraction, so bietet derselbe wohl nie die Form einer regelmässigen Systole dar. Seine Oberfläche ist meist geschrumpft, unregelmässig. Ausserdem bemerkt man kaum jemals wirklichen absoluten Ruhezustand, sondern gewöhnlich sieht man noch hier und da fibrilläre, unregelmässige Zuckungen. Endlich gehen diese Formen von Tetanus nur schwer und unregelmässig in die normale Pulsation über. Nichtsdestoweniger stellen alle diese Formen meiner Ansicht nach einen wirklichen echten, durch Reizung von Centralorganen bedingten Tetanus dar, und ihre Unregelmässigkeit erklärt sich hinreichend aus der Ungleichmässigkeit der angewandten Reize. Wie ich im Anschluss an Volkmann's Hypothese in meiner früheren Abhandlung erörtert habe, bilden die in der Herzsубstanz zerstreuten Ganglien und Gangliengruppen das centrale System, welches in eigenthümlicher Combination den Ablauf der Herzbeziehung regelt. Die einzelnen zerstreuten Ganglien und Gangliengruppen stehen zwar in nervöser Verbindung mit einander; doch dient diese Verbindung nur dazu, die einheitliche Zusammenwirkung des Systems zu ermöglichen. Sie ist nirgend der Ausdruck einer absoluten Abhängigkeit einer Gangliengruppe von der andern, sondern jeder bleibt ihre Selbständigkeit in ihrem Gebiete gewahrt. Wir haben, um ein Gleichniss zu gebrauchen, eine Anzahl Gemeinden mit Selbstregierung, die nur zu einem grossen Zweck zusammenwirken. Nirgend haben wir im Herzen zwischen den Ganglien eine Beziehung wie zwischen Rückenmark und motorischen Nerven. Es kann hiernach nicht befremden, dass es unmöglich ist, von einem Punkte aus Tetanus des ganzen Herzens zu erzielen. Ein solcher wird sich nur dann auf einmal und gleichmässig hervorbringen lassen, wenn auch alle die kleinen Centralorgane auf einmal und gleichmässig getroffen werden. Dieser Bedingung entspricht der Versuch 14, und deshalb führt er zu allgemeinem gleichmässigen Tetanus. Bei den anderen Methoden werden die Ganglien weder gleichzeitig, noch gleichmässig dem Reiz unter-

worfen, und daher entspringen auch die Unregelmässigkeiten des Erfolgs.

Am lebhaftesten ist die Annahme eines von Nervenreiz bedingten Herztetanus von Schiff bekämpft worden *). Wie dieser Forscher selbst erklärt, wäre allerdings der sichere Nachweis eines solchen Tetanus zugleich das Todesurtheil für die von ihm verfochtene Theorie der Herzbewegung. Ich vermag den Gründen, welche Schiff für seine Ansicht anführt, keine Beweiskraft zuzugestehen. Schiff legt grosses Gewicht auf die Erfahrung, dass der örtliche Tetanus sich noch regelmässig hervorrufen lässt, wenn die Fähigkeit zu einer geordneten Herzcontraction längst erloschen ist. Nur die geordnete Herzhätigkeit soll vom Nervenreiz abhängen, jene örtliche rein muskulär sein. Nachdem die Nerven längst todt, also die geordnete Herzcontraction nicht mehr möglich, soll noch die reinmuskuläre statthaben können. Die in Rede stehende Thatsache erklärt sich aber ebenso einfach durch die an sich doch sehr wahrscheinliche Annahme, dass die Möglichkeit zur Combination, die Reflexaktion, eher erlischt als die örtliche Reizbarkeit der Nerven. Schiff führt ferner an, jener Tetanus komme auch während des durch Reizung der Vagi bewirkten Herzstillstandes zu Stande **). Da nun durch Reizung der Vagi die Ganglien gelähmt würden, so müsse jener Tetanus ohne dieselben bestehen können, d. i. rein muskulär sein. Die Annahme, dass die Ganglien bei Reizung der Vagi gelähmt werden, ist eine unbewiesene Hypothese, die man unmöglich benutzen darf, um mit Hilfe ihrer eine andere unbewiesene Hypothese zu stützen. Mit demselben Rechte könnte ich behaupten: Jener Tetanus kommt durch Reizung der Ganglien zu Stande, also muss die herkömmliche Theorie vom Vagus falsch sein. Diese Kugel könnte also den Schützen selbst treffen. Endlich meint Schiff, wenn es sich um einen wahren Tetanus handle, so müsse man je nach der wachsenden Intensität der Reizung eine Steigerung der Reaction wahrnehmen können. Wenn ein kräftiger Reiz Tetanus verursache, so müsse ein schwächerer wenigstens

*) Archiv für physiologische Heilkunde 1850. S. 52.

**) Auch der Versuch 14 gelingt ebenso an dem durch gleichzeitige Reizung der Vagi zur Ruhe gebrachten Herzen.

ein schnelleres Tempo der rhythmischen Bewegungen hervorrufen. Dieser Einwand führt uns auf eine Vorstellung, welche überhaupt dazu beigetragen hat, die Frage vom Herztetanus zu verwirren. Man hat von vielen Seiten dadurch Tetanus zu erzeugen gedacht, dass man die Frequenz der Pulsationen mehr und mehr steigerte. So hoffte man einen Zustand zu erzielen, bei dem der Wechsel zwischen Systole und Diastole nicht mehr sichtbar sei, und ein dauernder systolischer Krampf sich darstelle. Nach der Ansicht, die ich mir von dem Wesen der Herzbewegung gebildet habe, halte ich diese Vorstellung für verfehlt. Der Tetanus des Herzens tritt auch in seinen Anfängen sogleich als tonischer gleichmässiger Krampf auf, der einer Steigerung bis zur vollständigen Feststellung in äusserster Contraction fähig ist. Beim Nachlass des äussersten Tetanus hat man nicht enorme Frequenz der rhythmischen Bewegungen, sondern lediglich zunehmende Formdifferenz zwischen Systole und Diastole bei normalem Tempo. Tetanus des Herzens und Frequenz der rhythmischen Bewegungen stehen in keiner unmittelbaren Beziehung zu einander. Man darf daher weder bei Beginn noch bei Nachlass des Tetanus auf Steigerung der Pulsfrequenz rechnen. Bei gewissen Versuchen hat man allerdings gleichzeitig rasch vermehrte Pulsfrequenz und baldige Ausbildung von Tetanus, z. B. bei Anwendung intensiver Wärmereize. Durch solche wird dann, wie ich vermuthe, sowohl der Quelle der rhythmischen Bewegungen eine erhöhte Wirksamkeit ertheilt, als eine mächtige allgemeine örtliche Reizung hervorgebracht. Was mich, wie schon erwähnt, am meisten für die Annahme eines durch Ganglienreizung bewirkten Tetanus bestimmte, war der Umstand, dass sich an frischen Skelettmuskeln durch ähnliche Reizung kein Tetanus erzielen lässt. Schiff hilft sich über diesen Punkt damit hinweg, dass er eine eigenthümliche Reizbarkeit des organischen Muskels statuirt. Solche Aushilfe scheint sehr willkürlich, und es ist wohl einfacher als Grund für diese Eigenthümlichkeit des quergestreiften Herzmuskels lieber etwas wirklich sichtbar Vorhandenes, d. i. die eingestreuten Ganglien anzusehen.

Bei Nachlass des festgestellten Tetanus geht der Ventrikel in einen Zustand über, den ich mit Tonus bezeichnet habe. Es ist

ein dauernder Contraktionszustand mittleren Grades, der bei jeder Systole zur vollständigen Contraction wird. Ob dieser tonische Zustand dadurch bedingt ist, dass alle Fasern sich in einem Grade mittlerer Contraction befinden, oder ob er davon herrührt, dass ein Theil der Fasern noch in stetiger Contraction verharret, während andere bereits rhythmisch pulsiren, darüber wage ich noch nichts Bestimmtes zu behaupten.

Nach dieser Abschweifung über den Tetanus des Herzens wenden wir uns wieder zur Besprechung des Versuchs 13. In Versuch 14 haben wir ermittelt, wie die in Versuch 13 verübte mechanische Insultation wirkt. Sie bringt den Tetanus des Ventrikels hervor. Als Wirkung der Wasserinjektion bleibt der diastolische Stillstand der Vorhöfe und Venen, die dauernde Vernichtung aller rhythmischen Contraction, endlich die grosse Stumpfheit aller Herztheile gegen Reize irgend welcher Art. Mancher wird bei Durchlesung des Versuchs 13 sich gewundert haben, dass ich mir so viel Mühe gegeben, eine Thatsache zu constatiren, welche sich nach gewissen Angaben von selbst zu verstehen schien. Einzelne Forscher, z. B. Ludwig in seinem Handbuche, haben ausdrücklich bemerkt, dass für das Fortbestehen der automatischen Bewegungen das Vorhandensein von sauerstoffhaltigem Blut in der Herzwandung unumgängliche Bedingung ist. Es war also vorauszu-
sehen, dass das blutlose Herz stillstehen müsse. So einfach ist indess die Sache doch nicht zu erledigen. Wenn Ludwig und Volkmann leugnen, dass das Blut den Reiz für die Herzbewegung abgibt, wenn sie andererseits doch das Blut als eine der nothwendigen Bedingungen für die Thätigkeit der automatischen Apparate ansehen, so heisst das wohl so viel als: Das Blut liefert das nothwendige Ernährungsmaterial für die Automaten ab. Die automatischen Organe sind fortwährend thätig. Sie brauchen viel, und giebt man ihnen statt Blut Wasser, so kündigen sie den Dienst auf und stehen still. Aber wie stimmt hiermit der Tetanus des Ventrikels? Wie kommt es, dass dieselben Automaten auch ohne Blut eine minutenlange Contraction bewirken können, wenn sie nur energisch gereizt werden? Das Material, um eine kräftige Contraction zu Stande zu bringen, muss also auch nach Entfernung

des Bluts vorhanden sein, aber die Quelle der rhythmischen Bewegung fehlt. — Wir kommen später noch auf diese Sachen zurück. Einstweilen entnehmen wir aus Versuch 13 das Ergebniss: Das mit Wasser injicirte Herz ist ausser Stande, rhythmisch zu pulsiren, und zieht sich nur noch örtlich auf stärkere Reize zusammen.

Es könnte sich die Vermuthung aufdrängen, dass das diffundirende Wasser bald die zarten nervösen Gewebe vernichte. Dem ist jedoch nicht so. Wenigstens sind dieselben einer vollständigen Erfrischung fähig. Injicirt man etwa zehn Minuten nach der Wasserinjection frisches Blut auf demselben Wege ins Herz, so fängt es nach einiger Zeit wiederum von selbst an zu pulsiren.

Ich hatte bemerkt, dass das blutlose Herz sich, auch wenn es an der Luft lange Zeit liegen bleibt, nie mehr zu rhythmischen Bewegungen bringen lässt. Die Luft kann also für sich selbst nicht als ausreichender Reiz auf die Bewegungscentren wirken. Es bedarf dazu der Vermittlung des Bluts.

Nach diesen Versuchen wird es wahrscheinlich, dass durch das Blut nicht blos der Reiz, sondern auch die Fähigkeit zur rhythmischen Bewegung dem Herzen zu Theil wird. Man fragt: Welcher Bestandtheil des Herzens ist hierbei wesentlich? Dass der Fibringehalt des Blutes ohne Bedeutung sei, war nach Dieffenbach's und Bischoff's Transfusionsversuchen vorauszusehen. Berechtigter war die Aufgabe, zu ermitteln, ob die Blutkörperchen einen nothwendigen Bestandtheil bilden müssen.

15. Einem genau so wie in 13. vorbereiteten Frosch injicirte ich frisches von Blutkörperchen freies Froschblutserum. Wie bei 14. zog sich der Ventrikel in vorübergehendem sehr gleichmässigen Tetanus zusammen. Die Vorhöfe und Venen pulsirten fort. Bei Nachlass des Tetanus schloss sich ihnen der Ventrikel normaler Weise in seinen Bewegungen an. Kurz der Versuch verlief genau so wie ein wohlgelungener Blutinjectionsversuch. Der Tetanus ist ein sehr ausgebildeter, weil hier nie Blutgerinnsel störend wirken. Auch nach Injection von Kaninchenblutserum und Schweineblutserum, sofern solches frisch war, dauerten die Pulsationen in gewohnter Weise über eine Stunde fort.

16. Dagegen stand das Herz ganz wie nach der Injection von Wasser für immer still, wenn ich Serum zur Injection verwandte, welches bereits zwei Tage gestanden und zu faulen begonnen hatte.

Resultat dieser Versuche ist: Frisches Blutserum verschiedener Thiere in beschriebener Weise injicirt reicht hin, um die Bewegungen des Froschherzens längere Zeit zu unterhalten. Weitere Versuche habe ich nicht gemacht. Es wäre wünschenswerth, den Einfluss der bekannten Gasarten in Eiweisslösung oder Serum diffundirt und injicirt zu beobachten. Solche Versuche, bei denen natürlich der Einfluss der atmosphärischen Luft ausgeschlossen bleiben müsste, werden wahrscheinlich werthvollere Resultate geben als die von Tiedemann und Castell über das Verhalten des ausgeschnittenen Herzens in verschiedenen Gasarten. Muthmaasslich wird wohl der in Eiweisslösung diffundirte Sauerstoff den Reiz für die normale Herzbewegung abgeben.

Wie ich bereits früher nachwies, empfiehlt sich die Annahme, dass bei der normalen Herzbewegung der hypothetische Reiz zu derselben hauptsächlich in der Gegend des Sinus und der Hohlvenen zur Geltung kommt. Die Contraction der übrigen Herztheile wickelt sich, sobald sich einmal der Sinus zusammengezogen, nach einem vorgeschriebenen Gesetz ab. Es war hiernach von Interesse zuzusehen, wie sich die Theile in der Gegend des Sinus, die also gleichsam das Centrum der Herzbewegung darstellen, verhalten, wenn man sie allein den eben beschriebenen Versuchen unterwirft.

Ich sprach oben darüber, dass es sehr schwierig ist, durch Wischen und ähnliche Handgriffe den dickwandigen Herztheilen das Blut zu entziehen und dass deshalb, wie Schiff zugiebt *), dergleichen Versuche von keinem constanten Erfolge sind. Hat man es mit dem Sinus und den Hohlvenen allein zu thun, so sind solche Versuche nicht ohne Werth.

17. Ich tödte einen Frosch durch Zerstörung von Hirn und Rückenmark, lege das Herz bloss und schneide es mit einem schnellen, die Vorhöfe nahe der Sinusgrenze trennenden Schnitte aus. Das abgeschnittene Herzstück bleibt in Ruhe. Es kommt nie mehr zu Pulsationen, wenn es sofort unter Oel gebracht wird. Dagegen klopft der im Körper befindliche Rest des Herzens und die Hohlvenen regelmässig weiter. Nachdem das Thier sich ein wenig ausgeblutet hat, reinige ich vorsichtig das Operationsfeld. Man überblickt das Innere des Sinus, in den das

*) Archiv für physiologische Heilkunde 1850, S. 35.

Blut fort und fort theils durch die elastische Contraction der Gefässe, theils nach dem Gesetz der Schwere hineingefördert wird. Jetzt lege ich ein passend geformtes, weiches, gut ausgedrücktes Schwämmchen auf die noch pulsirenden Theile und presse es schonend mit den Fingern zusammen. So wie ich mit dem Fingerdruck nachlasse, saugt das sich wieder ausdehnende Schwämmchen sämtliche Flüssigkeit aus dem geöffneten Sinus auf. Nach Entfernung des Schwämmchens sieht man den nunmehr blutlosen Rest des Herzens und die Hohlvenen stillstehn. Schneidet man jetzt den Sinus mit den Hohlvenenenden heraus, so bleibt er im Stillstande. Lässt man ihn im Thierkörper, so wird man bemerken, dass er alsbald wieder anfängt zu pulsiren, so wie die ersten Blutstropfen durch die Venen wieder zu ihm gelangen.

Auch dieser Versuch beweist also, dass blutlos gemachte Herztheile ihre Pulsationen aufgeben. Injectionen in die Hohlvenen von Wasser, frischem und altem Serum, hatten dieselben Erfolge, wie die oben am ganzen Herzen angestellten Versuche.

In meiner früheren Abhandlung theilte ich unter 10 einen Versuch mit, der seine Entstehung der Betrachtung verdankte, dass das einmal auf irgend eine Weise zur Ruhe gebrachte Herz vielleicht für immer stillstehen werde, wenn nur jeder neue Reiz, also auch der Blutreiz, abgehalten werde. Der Versuch, dies zu erreichen, bestand darin, dass ich bei einem möglichst blutleer gemachten Thierfragment unter Oel die Vagi reizte und dann das Herz ausschnitt. Das ausgeschnittene Herz blieb in der That stillstehen. Gegen diesen Versuch liess sich aber einwenden, dass er ja im Grunde sich kaum von Versuch 2 unterscheide, in welchem ich bewies, dass ein vom Sinus unter Oel fortgeschnittenes Herz für immer stillsteht; denn auch in jenem Versuch 10 konnte ich mit einem Scheerenschnitt schwerlich das Herz mit dem ganzen Sinus zusammen heraustrennen, und der am Körper verbliebene Rest des Sinus, welcher vielleicht das fragliche Bewegungscentrum enthielt, konnte später unbeachtet fortschlagen. Nur eins hätte ich, wenigstens dem gewöhnlichen Standpunkt gegenüber folgern dürfen, nämlich die Behauptung, dass die vom Vagus ausgehende Hemmung weder mit dem Ventrikel noch den Vorhöfen direct etwas zu thun hat, weil ja diese eo ipso vom Sinus abhängig sind. Da mich also jener Versuch nicht mehr befriedigte und ich gern Sicherheit darüber gewinnen wollte, ob sich auf dem betretenen

Wege vielleicht dauernder Stillstand sämmtlicher pulsirender Herztheile erzielen lasse, so stellte ich folgenden ähnlichen Versuch an*):

18. Zunächst suche ich den Frosch, welchen ich benutzen will, möglichst blutleer zu machen. Zur Anstellung des Experiments habe ich nur nöthig, das Herz, die Vagi und die Medulla oblongata zu schonen. Um diese blutleer zu machen, genügt es, alle sie umgebenden Weichtheile fortzuschneiden. Das Herz treibt dann von selbst den Rest des in ihm enthaltenen Bluts aus den geöffneten Arterien. Ich entferne, um das Herz nur kurze Zeit dem Einfluss der äusseren Luft preiszugeben, so rasch als möglich die Extremitäten und die übrigen überflüssigen Theile mit der Scheere, durchtrenne die Wirbelsäule zwischen zweitem und drittem Wirbel und durchschneide den Kopf der Quere noch dicht hinter den Augen. Es bleibt so von dem Thiere nur noch ein Stück Schädelhöhle und das oberste Ende der Wirbelsäule übrig, der vorn das Herz aufliegt, welches durch die sorgfältig geschonten Vagi mit der gleichfalls erhaltenen Medulla oblongata in Zusammenhang verblieben ist. Jetzt führe ich die Zuleitungsdrähte eines Du Bois'schen Schlittenapparats durch die Schädelöffnung zu beiden Seiten des Gehirns so tief ein, dass sie die Medulla oblongata zwischen sich fassen und lege das so zurechtete fast völlig blutleere Präparat, um die äussere Luft abzuschliessen, in ein mit Oel gefülltes Gefäss. In dasselbe Gefäss lege ich dann ein zweites von einem anderen Frosch herrührendes schnell gefertigtes eben solches Präparat, ohne dasselbe mit dem Inductionsapparat in Verbindung zu setzen. Die unter Oel befindlichen Herzen fahren fort lebhaft und kräftig zu pulsiren. Nun lasse ich den Apparat wirken und schiebe die Rolle des secundären Stroms so weit herüber, bis das Herz, dessen zugehörige Medulla oblongata gereizt wird, vollständig still steht. Hat man die nöthige Stromstärke erreicht, so gelingt es, den Stillstand zu einem dauernden zu machen. Das eine Herz bleibt für immer in der Diastole stehn, während das andere mit allmählig nachlassender Kraft wohl gegen eine Stunde weiter pulsirt. Haben die Contractionen des nicht gereizten Herzens schon einige Zeit aufgehört, so hebe ich die Wirkung des Apparats auf. Das andere Herz, dessen Medulla oblongata bisher gereizt wurde, bleibt nunmehr auch ohne fortgesetzte Reizung in Ruhe. Das Verhalten beider Herzen zeigt uns also den wichtigen Unterschied, dass das eine unter Oel noch eine grosse Reihe von Contractionen ausführte, während das andere nach anhaltender Reizung der Vagi für immer in Ruhe versank. Bei dem letzteren wurde also durch unsern Eingriff eine sehr erhebliche Kraftäusserung vollständig vernichtet. In dieser Weise ist mir das Experiment häufig geglückt. Die Stromstärke, deren man mitunter bedarf, ist eine sehr bedeutende. Zur Stromerzeugung benutzte ich ein grosses Zinkkupferelement und ein Zinkkohlenelement. Fast regelmässig gelangen mir die Versuche an Thieren, welche vorher in niedriger Temperatur aufbewahrt waren. Auch thut man gut, Sorge zu tragen, dass das Oel, in welches man die Präparate legt, kühl

*) Dieser Versuch ist bereits in den Königsberger medicin. Jahrbüchern, 3ten Bandes 1stes Heft, als vorläufige Mittheilung veröffentlicht.

sei. — In einzelnen Fällen kam es trotz Fortdauer und Steigerung der Reizung zum Wiederauftreten von Contractionen, doch waren diese dann gewöhnlich äusserst schwach im Vergleich zu denen des nicht gereizten Herzens, so dass auch in diesen Versuchen der vernichtende Einfluss der Vagusreizung in überzeugender Weise zur Geltung kam. — Unterbricht man während eines sonst wohl gelungenen Versuchs die Wirkung des Stroms, bevor das Herz abgestorben, also vor Ablauf einer Stunde, so fängt das Herz alsbald wieder an zu pulsiren, stärker oder schwächer je nach der Zeit, welche der Versuch bereits gekostet hatte. Im Allgemeinen sind die dann auftretenden Contractionen ebenso stark wie die des nicht gereizten Herzens in derselben Zeit. Das der Vagusreizung unterworfenen stillstehende Herz unterliegt also dem Absterben in ganz derselben Weise wie das fort pulsirende. Reizt man das zum Stillstande gebrachte Herz mechanisch, so macht es je nach der Intensität der Reizung eine oder mehrere Contractionen, und die Empfindlichkeit gegen diese mechanischen Eingriffe sinkt ebenfalls mit der Zeitdauer des Stillstandes. Schneidet man während des durch Vagusreizung herbeigeführten Stillstandes das Herz ab, so bleibt das abgeschnittene Herz nach wie vor in Ruhe, wie ich bereits unter No. 10. nachwies. Unterbricht man später den Strom, so fängt der Rest des Venensinus, welcher an dem Thierfragment verblieb, gewöhnlich wieder an zu pulsiren.

Vergleichen wir das Resultat dieses Versuchs mit demjenigen, das man nach der gewöhnlichen Untersuchungsmethode erhält, so müssen wir als wesentlichen Unterschied hervorheben, dass unter Oel der Stillstand ein dauernder, an der Luft ein vorübergehender ist. An der Luft bewirkt die Vagusreizung nur eine zeitweise Hemmung, unter Oel und nach Entfernung des Bluts eine wirkliche Lähmung, ja eine vollständige Vernichtung der Herzbewegungen. Demnach wird der Schluss erlaubt sein, dass lediglich der anomale Luftreiz oder das Fortbestehen der Blutbewegung jenes Wiederauftreten der Contractionen bedingt und dass es sich dabei also nicht um eine mit der Vaguswirkung an sich unmittelbar zusammenhängende Erscheinung handelt. In der That braucht man nur das Präparat aus dem Oel an die Luft zu bringen, und man wird die Contractionen bald wieder auftreten sehen, auch wenn man mit der Reizung der Medulla oblongata fortfährt.

Gelegentlich dieses Versuches ist noch zu erwähnen, dass Panum in einem Falle bei einem Hunde ebenfalls immerwährenden Herzstillstand beobachtete, als er die beiden Vagi kräftig mittelst des elektromagnetischen Apparats reizte *).

*) Siehe Schmidt's Jahrbücher 100. Bd. S. 153.

Ich habe immer von Neuem Mühe darauf verwandt, recht viele Versuchsformen zu ersinnen, die das Herz und Stücke desselben in ewige Ruhe versenkten. Es wird an der Zeit sein, endlich auch einmal nachzuforschen, welches denn die Umstände sind, welche dem Fortbestehen der rhythmischen Bewegungen förderlich sind und die daher so oft den Erfolg jener Versuche vereitelten. Ich will bei dieser Gelegenheit wieder an eine frühere Beobachtung anknüpfen. Herztheile, die durch Schnitt oder Ligatur vom Sinus abgetrennt wurden, stehen unter Oel für immer still. Aber die abgetrennten Stücke verhalten sich keineswegs auf gleiche Weise. Die abgeschnürten Stücke antworteten auf Reize immer nur durch eine Contraction, die abgeschnittenen meist durch mehrere, ja manche durch mehr, als mir lieb war. Die Ligaturexperimente misslangen nie, die Schnittexperimente nicht gar selten. Es kostete bei reizbaren Thieren Mühe, sich der regen Klopffeister zu erwehren, welche auch die abgeschnittenen kleinen Stücke gern durchtobten. Woher dieser räthselhafte Unterschied? Ich vermuthete, es könnten die vermehrten Widerstände, auf welche das abgeschnürte Herzstück stösst, jene Trägheit gegen Reize bedingen; aber auch nach Entfernung der Ligatur bleibt sie meistens fortbestehen. Dass es sich hier um eine andere Ursache handelt, dafür spricht noch schlagender folgender Versuch:

19. Ich tödte einen Frosch, bringe ihn unter Oel und schneide das Herz unweit der Ventrikलगrenze schnell ab. Der abgeschnittene Ventrikel bleibt, wie bekannt, ruhig in Diastole liegen. Nach Entfernung der Leiche bringe ich einen zweiten todtten Frosch in dasselbe Gefäss und schnüre bei diesem mit Hilfe des Gräfe'schen Ligaturstäbchens das Herz an derselben Stelle ab. Es bleibt auch nach Entfernung der Ligatur stehn. Nun schneide ich das Herz zwischen Ligaturmarke und Sinus durch und thue auch diese Leiche hinweg. In meinem Gefässe bleiben also nur noch die beiden ruhenden Ventrikel. Reize ich denjenigen, welcher die Ligaturmarke trägt, ziemlich stark mechanisch, so zieht er sich nur je einmal träge zusammen und presst das in ihm enthaltene Blut aus. Reize ich dagegen den andern ebenso kräftig, so pulsirt er sogleich rhythmisch, je nachdem kürzere oder längere Zeit. Trage ich nun von dem umschnürten, der sich bisher so träge verhielt, ein gutes Stück der Herzspitze ab, so wird er sich alsbald ebenso lebhaft gegen Reize verhalten, wie der abgeschnittene Ventrikel.

Bevor wir das Wesen dieses Versuchs weiter erläutern, wird es hier an der Stelle sein, auf die Bedingungen zurückzukommen,

unter welchen nach einigen Forschern, z. B. Ludwig, die rhythmischen (automatischen) Bewegungen allein möglich sein sollen. Zu diesen Bedingungen gehörte die Anwesenheit von sauerstoffhaltigem Blut in der Herzsubstanz. Diese Forderung ist einerseits eine zu weitgehende; denn wir haben gesehen, dass Blutkörperchen und Fibrin aus dem Blute wegbleiben können, und sie ist andererseits eine unzureichende; denn das abgeschnürte Herz, welches reichlich Blut enthält, steht gleichwohl still. Durch dieses Experiment 19. scheint mir demnach die Ansicht, dass das Blut im Herzen keine besondere reizende, sondern lediglich die ernährende Aufgabe erfülle, hinreichend widerlegt zu sein. Die blosse Anwesenheit von Blut bedingt nicht die rhythmischen Pulsationen. Damit rhythmische Bewegung in einiger Frequenz unter Oel möglich werde, dazu bedarf es ausser einer besonderen Beschaffenheit des die Herzsubstanz erfüllenden Saftes noch eines anderen Momentes, d. i. der freien Saftbewegung. So verstehe ich das Wesen des geschilderten Experimentes. Der abgeschnürt gewesene Ventrikel ist erst dann im Stande rhythmisch zu pulsiren, wenn ihm durch die Verwundung freie Bahn für den bis dahin stockenden flüssigen Inhalt geschafft wird. Geht er auch dadurch eines Theils seines Ernährungsmaterials verlustig, der Rest in freier Bewegung reicht hin, um die rhythmischen Bewegungen zu ermöglichen.

Wir leiten also aus dem Versuch 19 den allgemeinen Satz ab, dass Stockung der im Herzen enthaltenen Säfte die Möglichkeit der rhythmischen Bewegungen aufhebt. Diese Stockung wird nur dann eine absolut vollständige sein, wenn auch der Herzhöhleninhalt stockt, und deshalb sind auch solche vollständig abgeschnürten Herzstücke am allersichersten dem ewigen Stillstande verfallen. Daher erklärt sich die grosse Constanz der mit Stannius'schen Ligaturen gewonnenen Versuchsergebnisse. Je grösser das abgeschnürte Herzstück ist, desto eher ist die Möglichkeit zu einer Art Saftbewegung gegeben, und deshalb sind abgeschnürte grosse Herzhtheile auch eher zu rhythmischen Contractionen zu bringen.

Nachdem ich diese Erfahrungen über den die rhythmischen Contractionen hindernden Einfluss der Blutstockung gemacht hatte, legte ich mir die Frage vor, ob es sich nicht erreichen lasse,

durch künstliche Erzeugung einer erhöhten Blutstockung das ganze Herz einschliesslich der Sinus zum Stillstande zu bringen. Dass eine solche Stockung nicht dadurch schon herbeigeführt wird, dass man sämtliche Gefässe unterbindet, liegt auf der Hand; denn eine wenn auch unvollkommene Bewegung des Herzinhalts ist auch dann noch möglich. Es schien, um die nothwendige Stockung sicher zu erzeugen, rathsam, den flüssigen Inhalt zu vermehren. Das Mittel hierzu gab mir eine Beobachtung an die Hand, welche ich beim Gebrauch des Ligaturstäbchens machte. Es war mir schon immer aufgefallen, dass das Anziehen der Schlinge mittelst dieses Instruments noch weit präcisere Resultate gab als das Knotenschürzen nach Stannius. Das hing aber folgendermaassen zusammen. Die Wirkung des Graefe'schen Schlingenziehers ist nicht damit erschöpft, dass man den Herzumfang an irgend einer Stelle im kleinsten Raume unterbringt, wie das eine geschürzte Schlinge thut, sondern das Instrument leistet mehr. Nachdem die durch die Schraube angezogene Schlinge den Herzumfang an einer Stelle völlig zusammengequetscht hat, zieht sie, wenn man mit dem Anziehen der Schraube fortfährt, diese Stelle und demnächst deren Nachbarschaft in die feine Oeffnung hinein, aus welcher die Fäden der Schlinge heraustreten. Es vollzieht sich ein ganz ähnlicher Vorgang, wie bei einer Ziehbörse, wenn man einen Ring derselben fest gegen deren Inhalt hinaufschiebt. Das Herz wird bei diesem Verfahren nicht an einer haarbreiten Linie, sondern wie mit einem breiten Bande zusammengedrückt. Der Inhalt, welchen die zusammengepresste Partie enthielt, wird nach beiden Richtungen sowohl gegen das Herz als gegen die Venen hin verschoben, und dadurch wird der abgeschnürte Theil praller gefüllt. Das Blut stockt in ihm vollständiger, und er bleibt daher mit grösserer Sicherheit in Diastole stehen, als wenn ich blos die einfache Schlingenschürzung nach Stannius vorgenommen hätte. Diese Erfahrung suchte ich bei folgendem Versuch zu verwerthen.

20. Ich bringe einen möglichst ohne Blutverlust getödteten Frosch unter Oel, lege das Herz frei, unterbinde die Aorten, durchschneide sie jenseits der Ligatur, unterbinde dann jederseits die obere Hohlvene und durchschneide auch hier,

so dass die Ligaturen in Verbindung mit dem Herzen bleiben *). Dann präparire ich die untere Hohlvene, so weit es ohne Blutung thunlich, sammt Aesten frei und führe die Schlinge möglichst hoch über die Aeste hinauf. Wenn ich nun die Schraube mehr und mehr, aber recht allmählig anziehe, so wird schliesslich die Hohlvene in die Oeffnung hineingezogen und ihr Inhalt in's Herz gepresst, das sich mehr und mehr anfüllt und schliesslich still steht. Der Sicherheit wegen entferne ich die Schlinge erst nach zwei Minuten mit aller Vorsicht. Das Herz bleibt auch nach Entfernung der Schlinge stehen. — An die Luft gebracht pulst es alsbald von Neuem. Auf diesem Wege habe ich Herzen zum Stillstande gebracht, die auch den Sinus vollständig und unverletzt enthielten.

Wie so häufig treffen auch hier die Extreme in der Wirkung zusammen. Das blutlose und das blutüberfüllte Herz, beide stehen für immer still.

Theoretische Betrachtungen.

An diese locker aneinander gereihten Versuche knüpfe ich eine theoretische Besprechung, in der ich die bereits in der Darstellung der Versuche eingestreuten Betrachtungen theils zusammenfassen, theils erweitern möchte.

Gestützt auf die ermittelten Thatsachen können wir sicher behaupten, dass rhythmische (automatische) Herzbewegungen nur dann zu Stande kommen können, wenn die Gefässräume des Herzens eine Flüssigkeit bergen, welche eine bestimmte allerdings nicht näher bekannte chemische Zusammensetzung besitzt. Die Nothwendigkeit dieser so allgemein gestellten Bedingung wird gewiss allgemein zugegeben werden. Es wird aber nicht überflüssig sein, auf den Kernpunkt unserer Frage wiederum zurückzukommen, ob nämlich die Berechtigung vorliegt, innerhalb dieser unabwieslichen Bedingung für die Herzbewegung (dem flüssigen Gefässinhalt) ein Etwas aufzufinden, welches mit dem Worte Reiz bezeichnet werden muss.

Zwischen Bedingung einer Bewegung und Reiz überall scharf zu unterscheiden, wird gewiss Schwierigkeiten haben. Was unseren

*) Die von mir in meiner früheren Abhandlung gelegentlich des Versuchs 9. nach Unterbindung der Aorten beschriebenen Unregelmässigkeiten der Herzbewegung sind bereits von Schiff (Archiv für physiolog. Heilkunde 1850) erwähnt worden. Ueberhaupt ist der betreffende Aufsatz von Schiff reich an gedankenvollen Versuchen und Beobachtungen, welche in unverdiente Vergessenheit gerathen sind.

Fall betrifft, so glaube ich den Nachweis führen zu können, dass eine bestimmte Herzflüssigkeit, z. B. Blut von einem gewissen Gasgehalt im eigentlichen Sinne wie ein Reiz wirken kann, das ist wie ein Moment, das eine Bewegung auslöst, zu der die Bedingungen schon gegeben waren, ein Moment, das durch andere heterogene Reize ersetzt werden kann.

Das in den Gefäßsräumen des Herzens enthaltene Blut ist hiernach einmal als Bedingung für die Herzbewegung aufzufassen, insofern es das Ernährungsmaterial für Muskeln und Nerven abgibt und zweitens als Reiz, insofern es bei einer bestimmten Zusammensetzung gleichzeitig die Ganglien erregt. An und für sich kann es nicht auffallen, dass eine scheinbar so harmlose Flüssigkeit, wie das Blut, im Stande sein soll, als Reiz auf die Ganglien zu wirken. Je nach ihren Zwecken hat die Natur die verschiedenen Nervenapparate so auszustatten gewusst, dass sie auf die verschiedensten Qualitäten von Reizen Bewegung auslösen. Reichen die Aetherschwingungen des Lichtreizes hin, Muskelbewegung hervorzurufen, wie sollte nicht eine Einrichtung zu denken sein, vermöge deren Nervenelemente auf einen gewissen Blutreiz reagieren?

Sehen wir uns die beschriebenen Versuche näher durch, ob wir unter ihnen einige entdecken, welche uns möglichst sicher zu dem gewünschten Nachweise verhelfen, dass Blut von einer gewissen Beschaffenheit nicht bloss wie Ernährungssaft, sondern auch wie ein Bewegungsreiz wirkt. Es wird am besten sein, zuerst auf die Ligaturversuche zurückzugreifen. Man lege an zwei Herzen unter Oel Ligaturen um die Vorhöfe an. Beide Herzen stehen still. Man betupfe das eine in gewissen Zeiträumen zehnmal mit der Sonde. Es wird jedesmal eine, im Ganzen zehn Pulsationen machen und dann nach wie vor stehen bleiben. Jetzt bringe man das andere Herz eine gewisse durch verschiedene Versuche auszuprobirende Zeit an die Luft, und es wird auch seine zehn Pulsationen machen. Natürlich wird man es schon vor der zehnten Pulsation wieder unter Oel bringen müssen, wenn man nicht zu viel Pulse erhalten will. Man wird mir zugeben, dass in beiden Herzen die Bedingungen vorlagen, welche das Pulsiren an sich ermöglichen. Beide hätten auf jeden Reiz durch Contraction geantwortet. Bei

dem einen habe ich zehn Pulse durch mechanischen Reiz, bei dem anderen durch Luftreiz, d. h. durch Veränderung des Gasgehalts im Blute bewirkt. Man wird daher behaupten dürfen, dass das Blut in Folge von Gasaustausch mit der Atmosphäre die Eigenschaft als Bewegungsreiz erhalten hat. Ich sehe aber noch folgendem Vorwurf entgegen: Zugegeben, wird man mir sagen, dass Deine Experimente für Vorhof und Ventrikel beweisend sind und dass diese Herztheile unter Umständen zu träge sind, sich zusammenzuziehen, wenn sie es an sich recht gut vermöchten; aber Du hast ja selbst bewiesen, dass diese Theile vom Sinus abhängig sind. Der Sinus ist der wahre Automat. Wenn diesem nur überhaupt die Möglichkeit gegeben ist, sich zusammenzuziehen, dann benutzt er sie auch und nimmt die übrigen trägen Herztheile ins Schlepptau. Ich bekenne gern, dass es schwierig ist, für den Sinus in so schlagender Weise wie für die übrigen Herztheile darzuthun, dass die Fähigkeit und das Handeln für die ihm übertragene hohe Aufgabe auch bei ihm nicht eins sind, sondern dass auch er schon im Besitz des Vermögens doch noch eines Anstosses, eines Reizes bedarf, um seine Schuldigkeit zu thun. Man erinnere sich des Versuchs 18. Mittelst besonderer Vorkehrungen hatte ich es erreicht, das Herz durch Vagusreizung zum ewigen Stillstande zu bringen. Reizt man das Herz mechanisch während dieses Stillstandes, so zieht es sich je einmal zusammen. Das Herz hat also während der Vaguswirkung nicht an sich die Fähigkeit verloren, sich zu contrahiren. Bringt man das Herz während der Vagusreizung an die Luft, so wird es sich gleichfalls contrahiren. Der durch das Blut vermittelte Luftreiz wirkt also auch hier genau so wie der mechanische Reiz. Er weckt Kraftäusserungen, deren Bedingungen zuvor gegeben waren.

Die nährende und die reizende Einwirkung des Bluts fallen demnach nicht unbedingt zusammen. Das Blut wirkt nur dann als Reiz, wenn es einen gewissen Gasgehalt besitzt. Während des ganzen Lebens pulsirt das Herz. Das lebende Blut wird also jenen erforderlichen Gasgehalt haben, durch welchen es reizungsfähig wird. Der Athmungsprozess sorgt dafür, dass diese reizende Eigenschaft des Blutes während des Lebens stets aufgefrischt wird. Stockt

die Athmung, so verändert sich das Blut bald in der Weise, dass es seine Reizfähigkeit verliert. Das Herz steht dann still. Es kann wieder von Neuem zu Pulsationen gebracht werden, sobald dem Blute durch künstliche Athmung u. dergl. die reizende Eigenschaft wieder verliehen wird. So erkläre ich mir eine Beobachtung, die mir häufig aufgestossen ist, und welche ich schon bei Haller finde. Haller (*elementa*, T. I. p. 467) sagt: „*Cor irritatur ab externo aëris frigidi tactu. Inde fit, ut animali, cui nullus in corde pulsus superest, pectus apertum cordi motum reddat.*“ So oft ich in meinen Behältern einen Frosch fand, der im Verlauf der letzten 24 Stunden eines natürlichen Todes verstorben war, konnte ich diese Angabe bestätigen. Legt man bei einem solchen Thiere das vollkommen stillstehende Herz bloss und lässt die Leiche an der Luft liegen, so wird das Herz nach einiger Zeit regelmässig wieder seine Pulsationen anheben, und man kann dann dasselbe recht gut zu allerlei Versuchen verwerthen. Das mit der äusseren Luft in Berührung gebrachte Herz schlägt von Neuem, weil das in ihm enthaltene Blut durch den Gasaustausch mit der Atmosphäre seine reizende Eigenschaft wieder erhielt.

Ich habe immer die unbestimmten Ausdrücke „gewisser Gasgehalt des Bluts“ u. dergl. gewählt, weil noch keine Versuche vorliegen, welche uns Genaueres darüber darböten, welche Gase es denn sind, die dem Blute jene reizende Eigenschaft geben. Nach Tiedemann's und Castell's Versuchen lässt sich indess mit der grössten Wahrscheinlichkeit annehmen, dass der Sauerstoff und die Kohlensäure dabei die wesentlichen Rollen natürlich von entgegengesetzter Bedeutung spielen.

Wenn ich mit solcher Entschiedenheit darzuthun suche, dass die Herzbewegung aufzufassen ist als Bewegung in Folge von Blutreiz, und wenn ich die bisher geltende Ansicht von der automatischen Bewegung bekämpfe, so handelt es sich da nicht um bloss theoretische Haarspalterei; denn die scharfe Entscheidung ist auch deshalb wichtig, weil beide Ansichten zu sehr verschiedenen Konsequenzen führen können. Nimmt man an, dass in den Ganglien sich unter dem ernährenden Einfluss des Blutes automatisch bewegende Kräfte entwickeln, so muss man folgern, dass diese auto-

matisch entwickelten Kräfte sich anhäufen, sobald das Herz aus irgend einem Anlass stillsteht, welcher weder die Existenz der Ganglien noch deren Ernährung antastet. Diese nothwendige Consequenz ist denn auch gezogen worden. Während des durch Reizung der Vagi hervorgerufenen Herzstillstandes sollen sich die bewegenden Kräfte gleichsam aufspeichern und schliesslich mit überströmender Kraftfülle zur Geltung kommen. Wie der Versuch 18 lehrte, steht diese Vorstellung von der Aufstapelung der bewegenden automatischen Kräfte während des Herzstillstandes in Widerspruch mit den Thatsachen. Man kann beweisen, dass das Herz während des Vagusstillstandes dem Absterben ebenso unterworfen ist wie das thätige Herz. Prüfen wir die andere Auffassung, dass die Herzbewegung eine Reizbewegung, so haben weder der Versuch 18 noch die anderen Thatsachen nach ihr betrachtet etwas Ungewöhnliches. Der Herzmuskel verhält sich wie jeder andere Muskel. Sofern er überhaupt contractionsfähig, wird er sich nur dann zusammenziehen, wenn er gereizt wird. Er bleibt in Ruhe, sobald der Reiz ausbleibt. Ist der Muskel während dieser Ruhe Schädlichkeiten ausgesetzt, befindet er sich unter Oel, leidet die Ernährung u. s. w., so wird er seine Contractionsfähigkeit allmählig einbüßen, auch ohne dass er durch Anstrengung ermüdet wäre. Es werden also Kraftäusserungen vollständig verloren gehen, die man durch zeitige Reizung des Herzens hätte erhalten können. Echte automatische Bewegungen müssen schliesslich sich kundgeben, so wie das Material zu ihnen vorhanden ist. Reizbewegungen bleiben bei reichlichem Material aus, so lange der Reiz fehlt. Welcher von beiden Consequenzen sich allein die Thatsachen fügen, leuchtet ein.

Die Ursache der normalen Herzbewegung ist der Blutreiz. Die Bewegung beginnt von der Gegend des Sinus aus. Erinnert man sich der Durchschneidungs- und Ligatur-Versuche, so könnte man auf die Vermuthung kommen, dass dort das unabänderliche nervöse Centrum für die gesammte Herzbewegung gelegen sei. Je länger ich aber mich mit Herzversuchen beschäftigt habe, desto fester ist bei mir die Ueberzeugung geworden, dass die Ganglien der Gegend des Sinus keine wesentlich andere Bedeutung haben,

wie die anderen Herzganglien. Sie führen bei der normalen Herzbewegung die Contraction an, aber sie sind keineswegs die nothwendigen Centren, von denen diese Bewegung ausgehen müsste. Vernichtet man sie, sorgt aber übrigens dafür, dass der Kreislauf nicht stocke, so wird man nach einem gewissen Stillstande immer Wiederkehr der Bewegungen beobachten, wobei sich die dem Sinus zunächst gelegene Stelle zum Centrum erhebt. Unterbindet man z. B. die untere Hohlvene an ihrer Mündung so, dass man den grössten Theil des Sinus mit in die Ligatur fasst, so steht das Herz allerdings für einige Zeit still, schlägt dann aber mit verlangsamtem Tempo weiter. Ebenso wenig vermochte ich durch galvanokaustische Zerstörung der betreffenden Gegend nach Eckhard mehr als vorübergehenden Stillstand zu erzeugen. Die Fähigkeit, durch den Reiz des Bluts zu Contractionen gebracht zu werden, ist offenbar über das ganze Herz verbreitet. Nur ist ein Theil, je näher er dem Sinus liegt, als desto reizempfindlicher zu betrachten. Vielleicht hängt es damit zusammen, dass Herzabschnitte, die gezwungen werden, selbstständig zu pulsiren, *ceteris paribus* in desto langsamerem Tempo schlagen, je ferner sie dem Sinus liegen.

Die Herzbewegung beginnt also nur deshalb vom Sinus, weil hier die für den Blutreiz empfindlichste Stelle ist. Wie erklären wir nun den regelmässigen Ablauf der gesamten Herzbewegung? Die Annahme, dass ein Herztheil nach dem anderen durch den Blutreiz erregt werde, reicht nicht hin, um alle Erscheinungen zu erklären. Man sieht nicht ab, aus welchem Grunde die Herzcontraction so constant in demselben gesetzmässigen Ablauf vor sich geht, wenn jeder einzelne Herztheil für sich nur durch den Blutreiz zur Contraction gebracht werden sollte. Ferner würde es dann ganz dunkel bleiben, weshalb das Herz für längere Zeit stillsteht, sobald der die Contraction beginnende Theil zerstört wird. Um den regelmässigen Ablauf der Herzbewegung zu erklären, bedürfen wir, wie schon öfter angedeutet, nach dem Vorgange von Volkmann der Zuhilfenahme von Nervenverbindungen. Contraction irgend eines Herztheils wirkt an und für sich wie ein Reiz auf den zunächst gelegenen Abschnitt. Contrahierte sich der Sinus nebst

Hohlvenen, so wird sich in ablaufender Kette durch Fortpflanzung der Reizung auf dem Wege der Nervenverbindung ein Abschnitt nach dem anderen contrahiren. Der Blutreiz als Bewegungserreger kommt also nur an einer Stelle zur Geltung; und von dort aus wickelt sich die übrige Herzbewegung nach Gesetzen ab, die in der nervösen Verbindung der einzelnen Theile unter einander begründet sind. Die führende Herzstelle, welche sich in Folge des Blutreizes contrahirt, wird man also gewissermaassen allerdings wie ein Centrum der Bewegung ansehen können; doch ist dieses eben kein unvermeidliches. Es kann durch andere Herztheile ersetzt werden.

Die Erscheinungen an losgetrennten Herzen und Herzstücken erklären sich unter obigen Annahmen leicht. Jedes losgetrennte grössere Herzstück ist an sich im Stande, automatisch, d. h. durch den Blutreiz angeregt, zu pulsiren; denn seine Ganglien sind gegen Blutreiz empfänglich. Durch den Akt der Abtrennung werden diese Herzstücke aber häufig unter Umstände gebracht, welche das Weiterpulsiren theils aufhalten, theils verhindern können. Auch unter günstigen Verhältnissen bleibt das abgetrennte Stück meist eine Weile ruhig liegen, weil es der gewohnheitsmässigen Anregung vom Sinus her plötzlich entbehrt. Der Blutreiz, sofern solcher noch nach der Lostrennung wirksam werden kann, muss sich gleichsam ein neues Centrum in dem abgetrennten Stück suchen, welches nunmehr die Führung übernimmt. Dazu bedarf es der Zeit. Die im abgetrennten Stück verbliebene Blutmenge wird aber weit schwieriger als Reiz wirken können, weil sie nach der Lostrennung nicht mehr in Bewegung ist. So lange das Herz in Zusammenhang mit dem übrigen Körper ist und der Kreislauf fort dauert, kommen immer neue Bluttheilchen mit den Ganglien in Berührung. Das Blut wird dann naturgemäss viel leichter reizend wirken, als wenn es stillsteht. Wird das abgetrennte Herzstück an die Luft gebracht, so wird es über kurz oder lang doch pulsiren; denn der Nachtheil der fehlenden Bluterneuerung wird dann reichlich dadurch wieder gut gemacht, dass der erhaltene Blutrest mit der Luft in lebhaften Gasaustausch tritt und nun viel stärker reizend wirkt als das Blut im Thierleibe. Unter Oel werden abgetrennte Herzstücke

nur schwer längere Zeit pulsiren, weil die Blutmenge dann weder erneuert wird, noch respiriren kann. Am ungünstigsten gestaltet sich der Zustand für unter Oel abgeschnürte Herzstücke. Bei diesen kann wegen der durch die Ligatur herbeigeführten Blutstockung nicht einmal das Restchen von Blut, welches dem Herzen verblieben ist, ausgenutzt werden, weil es keiner hinreichenden Bewegung fähig ist. Besser daran sind unter Oel abgeschnittene Herzstücke. Sind diese einmal in Bewegung gebracht, so können sie einige Zeit noch pulsiren, so lange nämlich, als der hin- und hergetriebene Blutrest, welcher sich noch in einer wenn auch höchst dürftigen Circulation befindet, irgend welche reizende Kraft hat.

Ich habe die Annahme gemacht, dass die verschiedenen Herztheile nicht gleich empfänglich gegen den Blutreiz sind. Worin der Grund für diese Abstufung der Reizempfindlichkeit bei den einzelnen Herztheilen zu suchen, ist nicht anzugeben. Vielleicht hängt sie mit der Zahl der Ganglien zusammen. Auffallend bleibt es, dass gegen äussere Reize, Stiche u. dergl., der Ventrikel sich empfindlicher verhält, als die Vorhöfe. Eher lässt es sich möglicher Weise erklären, weshalb gewisse Herztheile am längsten schlagen. Bei Säugethieren schlägt der rechte Vorhof am längsten. Bekanntlich treten die kleinen Fleischvenen dieses Herztheils nicht in die grossen Kranzvenen, sondern sie münden direkt durch viele Foramina Tebesii in den rechten Vorhof. Die Wandmasse des rechten Vorhofs kann man ansehen wie einen löcherigen Schwamm, dessen Oeffnungen an einen beständigen Blutbehälter grenzen. Bei der Systole giebt sie ihr Blut an den Vorhof ab. Bei der Diastole sollte von Rechts wegen aus den Kranzarterien Blut nachströmen. Wenn in diesen keine Blutbewegung mehr Statt hat, so muss der Vorhof sehen, wo er auf dem kürzesten Wege Saft herbekommt. Der Inhalt des Vorhofs wird durch die offenen Venenmündungen regurgitiren. So wird sich eine wenn auch höchst unvollkommene Art von Kreislauf noch erhalten, wenn das Blut im übrigen Herzen längst stockt und die Reizbarkeit sowohl wie die Reizung werden länger andauern können.

Wir gelangen jetzt noch zu einer Frage, welche zu den schwierigsten der Herzphysiologie gehört, zur Frage nach den Ursachen

des Rhythmus der Herzbewegung. Die Ursache des Rhythmus ist so dunkel, dass man sie gegenwärtig fast allgemein unerklärt gelassen hat. Man begnügt sich mit der Angabe, es sei nun einmal den Herzganglien eigenthümlich, rhythmische Contractionen anzuregen. Es scheint mir nun einigermassen bedrohlich, den Herzganglien eine Eigenthümlichkeit nach der anderen aufzubürden, zumal wenn uns diese statuirte Eigenthümlichkeit sogar gewissen Thatfachen gegenüber rathlos lässt. Wie erklärt sich die Möglichkeit eines Tetanus, wenn die Ganglien nur rhythmisch thätig sein sollen? Vielleicht ist es besser, einen nicht ganz unmöglichen Erklärungsversuch zu wagen, als schlechthin die Sache unerklärt zu lassen. Man beachte den Umstand, dass das Herz einen Muskel darstellt, welcher bei seiner Contraction jedesmal sein eigenes Centralorgan in eine sehr eigenthümliche Lage versetzt, ein Umstand, der sich bei keinem Skelettmuskel vorfindet, und der recht wohl den Schlüssel zur Erklärung des Rhythmus geben könnte. Die Ganglien werden bei jeder Contraction blutlos. Giebt das Blut den Reiz ab für die Bewegung, so wird diese aufhören können, wenn der Reiz entfernt wird, und dann wieder auftreten, wenn der Reiz wiederkehrt, wie das bei jedesmaliger Diastole geschieht.

Aehnliche Erklärungsversuche sind bereits vor Haller's Zeit gemacht, aber sie fanden keine dauernde Beachtung, weil sie, so lange man die Herzganglien und ihre centrale Natur nicht kannte, unhaltbar erscheinen mussten. In Haller's Elementa T. I. S. 498 finde ich folgende Stelle: *Eodem fere tempore Raymundus Vieussens cordis vim deduxit ab unita actione spirituum animalium et articularum coronariorum, uti in universum musculos a coniunctis sanguinis et spirituum viribus cieri persuadebatur. Addebat, in ventriculorum cordis systole a contractis fibris articularum quidem coronariorum sanguinem expelli nervosque a fibris tensionem molientibus comprimi, ita carnes ventriculorum utraque causa sui motus destitutas laxari et sanguinem ex vicinis auriculis in quietos ventriculos urgeri. Sed vicissim, demta nunc causa articularias premente nervosque ventriculorum, in cor nunc emollitum redire per coronarias articularias sanguinem inque nervos spiritum, ita novam contractionem nasci.*

Zum Schluss stelle ich die wichtigsten Punkte der von mir versuchten Hypothese zusammen.

1. Die pulsirenden Herztheile des Frosches bilden zusammen ein System kleiner selbstständiger Apparate, deren jeder ein aus Ganglien bestehendes Centralorgan besitzt.

2. Diese kleinen Centralheerde können durch Reize der verschiedensten Art in Erregungszustand versetzt werden; und dieser Erregungszustand tritt je nach seiner Intensität durch kürzere oder länger dauernde Contraction des dem betreffenden Centralorgan unterworfenen Muskelapparats in die Erscheinung.

3. Zu diesen Reizen gehört unter anderen Blut von einem gewissen Gasgehalt.

4. Plötzliche Contraction irgend einer Herzstelle wirkt wie ein leichter Reiz auf die benachbarten, so dass, wenn eine Herzstelle gereizt wurde und sich contrahirte, die Zusammenziehung der übrigen sich wie eine peristaltische Bewegung nach Gesetzen abwickelt, die in der Nervenverbindung der Ganglien begründet sind. Jede chronische Contraction wirkt demgemäss nur bei ihrem Auftreten als einmaliger Reiz auf die übrigen Herztheile.

5. Die verschiedenen Herztheile sind nicht gleich empfänglich für den Blutreiz. Je näher ein Theil den Hohlvenen, desto grösser ist im Allgemeinen seine Reizbarkeit.

6. Die normale Herzcontraction geht nach dem Vorstehenden in der Weise von Statten, dass der reizempfindlichste Herztheil, d. i. Hohlvenen und Sinus, durch den Blutreiz angeregt, die Systole beginnt und die übrigen Herztheile mit Hilfe der nervösen Verbindungen zur Fortentwicklung der Contraction veranlasst.

7. Der Rhythmus der normalen Herzbewegung hat vielleicht darin seinen Grund, dass der Blutreiz, sobald er intensiv genug geworden, die Ganglien zur Thätigkeit anzuregen, durch die jedesmalige Systole von den Ganglien entfernt wird. Wie der Reiz also ein rhythmischer, so die Reaktion.

An obige Mittheilungen schliesse ich einige Worte über die Beziehung der N. vagi zur Herzthätigkeit.

Werden die Vagi gereizt, so steht das Herz bekanntlich in Diastole still. Reizt man während dieses diastolischen Stillstandes das Herz selbst örtlich und energisch, so antwortet es, so lange die Vagusreizung noch frisch ist, jedesmal nur mit einer einzigen Contraction. Das durch Vagusreizung zum Stillstande gebrachte Herz verhält sich also gegen Reize ganz genau so, wie das abgeschnürte Herz. Um so erklärlicher war die Annahme, dass die Ligatur eben nur eine Form der Vagusreizung darstelle. Schon in meiner früheren Arbeit habe ich nachzuweisen gesucht, dass diese Annahme gleichwohl nicht statthaft ist. Es wird aber vielleicht möglich sein, diese so augenfällige Aehnlichkeit des Verhaltens in einer anderen Richtung für das Verständniss der Erscheinungen zu verwerthen. Die Uebereinstimmung zwischen den Erscheinungen beider Zustände ist so gross, dass man auf die Vermuthung kommt, auch das Wesen beider Zustände müsse in gewissem Grade übereinstimmen. Wesentlich bei dem Stillstande durch die Ligatur war die Stockung der Saftbewegung in der Herzwandung. Kann nun nicht auch den Erscheinungen des Vagus-Stillstandes eine solche Stockung zu Grunde liegen? Dass die Stockung der Blutbewegung in der Herzwand das Verhalten des abgeschnürten Herzens bedinge, bewiesen wir durch Versuch 19. Nach Abtragung der Herzspitze, nachdem also der stockenden Säftemasse ein künstlicher Abfluss geschaffen, erhielt der abgeschnittene Ventrikel wieder die Fähigkeit zurück, rhythmisch zu pulsiren. Es wird der Mühe werth sein, dieser Probe auch das durch Vagusreizung zum Stillstande gebrachte Herz zu unterziehen, wie ich das in folgendem Versuch gethan habe.

21. Die Zurichtung des Präparats ist ganz ähnlich wie in Versuch 18. Nur braucht man nicht so ängstlich auf Ausblutung bedacht zu sein. Das Präparat wird unter Oel gebracht, nachdem die Elektroden zu beiden Seiten der Medulla oblongata eingeführt worden sind. Lässt man jetzt die mässig intensiven intermittirenden Ströme in Wirksamkeit treten, so steht das Herz in Diastole still. Betupft man das Herz energisch mit einer Sonde und ähnlich, so zieht es sich immer nur einmal zusammen. Die Leitung wird unterbrochen. Das Herz pulsirt wieder. Nach Herstellung der Leitung steht es wieder still. Jetzt schneide ich mit scharfer Scheere die unteren zwei Drittel des Ventrikels fort und reize das übriggebliebene oberste Drittel ähnlich wie früher mit der Sonde. Nunmehr antwortet dies Stück mit rhythmischen Pulsationen, die je nach der Stärke des

Reizes längere oder kürzere Zeit andauern. Die Vorhöfe betheiligen sich nicht an diesen rhythmischen Bewegungen. Unterbricht man wieder die Leitung, so schlägt das ganze Herz von Neuem. Auch dann pulsirt häufig die gereizte Ventrikelzone nach anderem Tempo wie das übrige Herz. Erst allmählig schliessen sich die Pulsationen des Ventrikelrestes der übrigen Herzpulsation an. Sobald die Pulsation wieder eine regelmässige geworden, gehorcht auch das ganze Herz wieder der Vaguswirkung, und ich kann den Versuch mit demselben Erfolge wiederholen.

Der Versuch lehrt, dass die angestellte Probe uns nur einen Beweis mehr geliefert hat dafür, wie überraschend die Aehnlichkeit zwischen den beiden verglichenen Zuständen ist. Danach darf man die Möglichkeit näher ins Auge fassen, ob in der That bei der Vagusreizung das Bestehen einer Blutstockung denkbar ist. Es wird glücklicher Weise nicht nöthig sein, diese Möglichkeit durch Erfindung einer neuen Hypothese zu schaffen. Wir haben bereits eine Hypothese, welche die Annahme der von uns postulirten Blutstockung in sich schliesst, das ist die Hypothese von Brown-Séguard. Dieser behauptet, der Vagus sei Gefässnerv des Herzens. Wird er gereizt, so verengern sich die contractilen Herzgefässe. Erreicht diese Verengerung einen hohen Grad, so muss der Blutlauf in den Capillaren offenbar so träge werden, dass er einer völligen Stockung ziemlich nahe kommt. Diese Hypothese würde demnach unsere Ansprüche zufriedenstellen. Es fehlt nur noch der Nachweis, dass die Thatsache, der Vagus sei Gefässnerv, wirklich richtig ist. Ein solcher Nachweis ist noch nicht geliefert. Dass während des Vagusstillstandes die Herzgefässe enger werden, ist unzweifelhaft *); aber es bleibt fraglich, ob dieses Engerwerden wirklich eine muskuläre Zusammenschnürung, oder ob es bloss eine passive Contraction darstellt, welche dadurch zu Stande kommt, dass bei anhaltender Diastole die vis a tergo mehr und mehr nachlässt.

Bei dem mir zu Gebote stehenden Experimentiobject, dem Frosche, habe ich diese Frage nicht zu lösen vermocht. Die einzigen Herzgefässe **), welche sich mit blossem Auge oder der Lupe

*) S. Panum a. a. O.

**) Im Ventrikel des Frosches sollen überhaupt keine eigentlichen Gefässe existiren. Man wird aber annehmen müssen, dass auch er eine bestimmte intraparietale Blutbewegung hat. Ob diese durch Capillaren, oder durch cavernöse Räume vermittelt wird, ist für unsere Versuche gleichgültig.

beim Frosche sehen lassen, sind einige Venen namentlich die, welche über den Bulbus hinziehen. Während des Vagusstillstandes fallen diese Venen in der That zusammen, aber sicher nur passiv; denn ruft man bei fortdauernder Vagusreizung künstlich Contractionen hervor, so füllen sich die Venen alsbald wieder stärker. Hoffentlich wird sich bei grösseren Thieren, zumal grossen Amphibien, eine Entscheidung treffen lassen.

Die Brown-Séquard'sche Hypothese hätte viel für sich. Sie gäbe eine wirkliche Erklärung der Vaguswirkung; denn sie handelt nur von bereits anderweitig bekannten Grössen. Alle übrigen Hypothesen erscheinen mir entweder an sich ungereimt oder sie zwingen uns eigens für diesen Fall erfundene Grössen auf. Solche Hypothesen sind in Wirklichkeit keine Erklärungen, sondern sie enthalten nur das Schema einer solchen. Hierhin gehört die Theorie von den Hemmungsnerven. Den Vagus als Hemmungsnerven zu taufen und ihm schlechthin eine eigene specifische Energie anzuweisen, eine solche Erklärung bleibt uns immer noch übrig, wenn alle anderen Versuche fehlschlagen; denn diese Erklärung statuirt ja nur einfach ein Räthsel. Sie führt nicht auf bereits Bekanntes zurück.

In Betreff der Lebensfähigkeit der in vorstehenden Blättern enthaltenen theoretischen Betrachtungen gebe ich mich keiner übertriebenen Hoffnung hin. Sie sollten nur ein Versuch sein, die neugewonnenen Thatsachen mit sichergestellten Sätzen der Physiologie in Einklang zu bringen. Mit der Ermittlung neuer Ergebnisse wird die Theorie sich ummodelln müssen. Wie schwankend und unsicher das ganze Gebiet ist, darüber habe ich Erfahrung genug. Es wird mir genügen gezeigt zu haben, dass hier auch mit den einfachsten Mitteln immer noch Manches gefördert werden kann.
