

## XI.

## Zur Physiologie der Herzbewegungen.

Von Albert v. Bezold.

Ich theile im Folgenden einige Versuchsreihen über Herzbewegungen mit, die ich im verflossenen Sommer in dem Laboratorium des Herrn Prof. du Bois-Reymond angestellt habe. Sie haben die Beleuchtung einiger Fragen zum Gegenstande, welche zur Lehre von dem Mechanismus der Herzinnervation in genauer Beziehung stehen. Wenn sich im Folgenden theilweise statt einer Reihe exakter positiver Resultate vielmehr ergeben wird, wie weit die heutige Physiologie noch von klaren Vorstellungen über das Wesen des sogenannten nervösen Centralorgans des Herzens entfernt sei, so liegt gewiss zum grössten Theile die Schuld an der unendlichen Complication und Feinheit der Verhältnisse, welche die ganze letztgenannte Gruppe aus den Apparaten der thierischen Maschine darbietet und an der vergleichsweise ganz ausserordentlichen Unvollkommenheit der Untersuchungsmethoden, welche die Forscher bis jetzt noch an jedem feineren Verständnisse, an der Erwerbung irgendwie exakter Begriffe von der Wirkungsweise der gangliösen Apparate gehindert hat.

Nach der Reihenfolge, die ich bei meinen Versuchen beobachtet habe, will ich dieselben anführen und zwar werde ich handeln

1. Von dem Einflusse verschiedener Umstände auf den Rhythmus des ausgeschnittenen Froschherzens.
2. Von dem Stannius'schen Versuche und seiner physiologischen Bedeutung.
3. Von der Art und Weise, mit welcher das Herz auf verschiedene Erregungsarten des Nervus vagus reagirt.

1. Von dem Einflusse verschiedener Umstände auf den Rhythmus des ausgeschnittenen Froschherzens.

Bei dem rudimentären Zustande unserer Kenntnisse von den Gesetzen, nach denen im Thierleibe rhythmische Bewegung erzeugt wird, ist unter den Hülfsmitteln, welche uns zur Erforschung dieser Erscheinungen geboten sind, das Studium der Modificationen, welchen der Rhythmus des Organes erleidet, wenn auf das letztere verschiedene äussere bekannte Bedingungen einwirken, gewiss eines der wesentlichsten. Demgemäß war es das Bestreben schon vieler Physiologen, diesen Gegenstand nach verschiedenen Richtungen zu bearbeiten. Unter diesen Forschern nenne ich vor Allem Alexander von Humboldt, der in seinen „Versuchen über die gereizte Muskel und Nervenfaser etc.“ den Einfluss der Temperatur sowie verschiedener Gasarten auf den Rhythmus des ausgeschnittenen Froschherzens mit allen dem damaligen Forscher zu Gebote stehenden Mitteln studirt hat. Ueber den Einfluss des luftleeren Raumes sowie verschiedener Gase auf die Dauer und den Rhythmus der Herzbewegungen besitzen wir ausserdem Versuche von Caldani (Première lettre à M. Haller in Mémoires sur les parties sensibles et irritable. Lausanne 1756. Tome III. p. 135. Exp. 60, 61.);

von Wernlein und Kürschner (De incitat. Wireburg. 1808.) Art. Herzbewegung in R. W. H.;

Fontana (Beobachtungen und Versuche über die Natur der thierischen Körper. Aus dem Ital. v. Hebenstreit. Leipzig 1785.);

ferner die neueren Arbeiten von Tiedemann (Versuche über die Bewegungen des Herzens unter der Luftpumpe. Müll. Archiv 1847. S. 490 f.) und Castelli (Ueber das Verhalten des Herzens in verschiedenen Gasarten. Müll. Archiv 1848.)

Alle diese Versuche, insbesondere die ausführlichen Versuchsreihen des zuletzt genannten Forschers haben mit ziemlicher Ueber-einstimmung gezeigt, dass durch den Aufenthalt im luftverdünnten Raum sowie in irrespirablen Gasarten die Dauer der Herzbewegungen nach dem Tode und der Herausnahme des Herzens aus dem Thiere verkürzt und der Rhythmus seiner Bewegungen verlangsamt werde, dass dagegen durch das Verweilen in einer reinen Sauerstoffatmo-

sphäre die Fortdauer der Pulsationen nach dem Tode verlängert und die Herzbewegungen selbst beschleunigt und gekräftigt werden.

Als übereinstimmende und erklärende Thatsachen für diese Erscheinungen müssen die Versuche von G. Liebig \*) über Muskelatmung betrachtet werden. Der Einfluss dieser Momente ist demnach vorläufig ziemlich ins Klare gebracht.

Räthselhaft und unaufgeklärt dagegen ist bis jetzt folgender Versuch Alexander von Humboldt's, den derselbe mit diesen Worten (l. c. S. 275) einführt.

„Wir entdeckten endlich die noch unbekannte und für die Physiologie nicht unwichtige Thatsache, dass

1) ein Herz, wenn das Pericardium sorgfältig zurückgeschlagen und sammt den oberen Gefässen unterbunden ist, in senkrechter Lage an Fäden hängend 2-, 3-, ja bisweilen 4mal länger pulsirt als wenn man es ungebunden in einer horizontalen Lage ruhen lässt und

2) dass in der ersteren Stellung die Zahl der Pulsationen mit hinschwindender Lebenskraft im Zunehmen, in der letzteren im Abnehmen bleibt.“ Es folgen nun die beweisenden Versuche. Humboldt sucht die Erklärung in dem Umstande, dass das liegende Herz schneller sein Blut verliert, als das senkrecht hängende, dass ferner die Blutwelle, welche jedesmal im Herzen gehoben wird, beim Zurückfallen mechanisch als Stoss wirke. Er schliesst: „Ich gebe diese Erklärung für nicht mehr als Vermuthung aus. Die Thatsache selbst ist aber gewiss überaus merkwürdig.“

Auf Herrn Prof. du Bois-Reymond's Veranlassung habe ich diese Versuche wiederholt und nach einigen Richtungen vervielfältigt. Ich glaube dadurch zu einer vorläufig befriedigenden Erklärung gelangt zu sein. Es würde zu weit führen, die Zahlenreihen, die ich erhalten habe, alle anzuführen. Ich beschränke mich auf die Darstellung der Hauptthatsachen und füge jeder derselben als Paradigma eines von den Zahlenbelegen bei, die ich in grosser Uebereinstimmung erhalten habe.

\*) Müller's Archiv 1850. S. 393—416.

1) Es ist richtig, dass ein an seinen Arterien aufrecht aufgehängtes Herz, welches unter übrigens gleichen Bedingungen mit einem an derselben Stelle unterbundenen, aber mit der Rückenfläche auf einer glatten Unterlage liegenden Herzen sich befindet, länger pulsirt als letzteres, dass ferner der Rhythmus des hängenden Herzens sich anfangs beschleunigt und dann sehr langsam verzögert wird, während der Rhythmus des liegenden Herzens entweder eine sehr geringe Beschleunigung und dann eine bedeutende Verlangsamung, oder von vorn herein eine Verlangsamung erfährt.

Versuch 1\*). Herz A schlägt unmittelbar nach der Präparation 19mal.

Herz B - - - - - 27mal in der Minute.

A wird nun an einem Faden in freier Luft aufrecht aufgehängt. B wird auf der Rückenfläche gelegt, so dass der Venensinus vom Vorhofe bedeckt wird. Beide Herzen befinden sich im feuchten Raum unter einer Glaskugel.

Nach 8 Minuten schlägt A 27mal in der Minute, B 26mal

|   |    |   |   |    |   |   |    |   |
|---|----|---|---|----|---|---|----|---|
| - | 10 | - | - | 31 | - | - | 26 | - |
| - | 12 | - | - | 33 | - | - | 26 | - |
| - | 14 | - | - | 35 | - | - | 27 | - |
| - | 16 | - | - | 38 | - | - | 27 | - |
| - | 20 | - | - | 40 | - | - | 26 | - |
| - | 24 | - | - | 40 | - | - | 28 | - |
| - | 26 | - | - | 40 | - | - | 30 | - |
| - | 30 | - | - | 41 | - | - | 32 | - |
| - | 36 | - | - | 41 | - | - | 31 | - |
| - | 40 | - | - | 42 | - | - | 22 | - |
| - | 42 | - | - | 42 | - | - | 18 | - |
| - | 48 | - | - | 41 | - | - | 18 | - |
| - | 50 | - | - | 41 | - | - | 18 | - |
| - | 52 | - | - | 42 | - | - | 17 | - |
| - | 54 | - | - | 44 | - | - | 18 | - |
| - | 57 | - | - | 42 | - | - | 17 | - |
| - | 63 | - | - | 42 | - | - | 17 | - |
| - | 73 | - | - | 42 | - | - | 17 | - |
| - | 80 | - | - | 40 | - | - | 17 | - |

Nach 3 Stunden pulsirt A noch, B hat aufgehört.

2) Diese Ungleichmässigkeit, welche das hängende Herz gegenüber dem liegenden darbietet, röhrt nicht speciell von der hän-

\*) Der Rhythmus wurde hier wie in allen folgenden Versuchen nach einem Frodsham'schen Chronometer gezählt.

genden Lage her, denn, wenn man von 3 Herzen das eine A aufhängt, das zweite B auf seine Rückenfläche legt, wie im vorigen Experiment, das dritte C dagegen so auf Glas legt, dass die Rückenseite nach oben, der Sinus also frei zu liegen kommt, so verhält sich Herz C genau so wie Herz A.

Als Beweis diene folgender Versuch, der einer von vielen unter sich übereinstimmenden ist.

Versuch 2. Drei Herzen A, B, C schlagen um 10 Uhr 45 Minuten  
22 28 30mal.

A wird nun aufgehängt, B wird mit der Rückenfläche, C mit der Vorderfläche auf Glas gelegt.

Nun schlagen in einer Minute:

|                | A  | C  | B  |
|----------------|----|----|----|
| 10 Uhr 59 Min. | 56 | 52 | 24 |
| 11 - 2 -       | 56 | 52 | 24 |
| 11 - 16 -      | 56 | 56 | 18 |
| 11 - 55 -      | 28 | 30 | 13 |
| 12 - 8 -       | 26 | 28 | 8  |

3 Uhr. A und B pulsiren noch schwach. An B ist keine Pulsation mehr wahrzunehmen.

3) Es ist für die Constanze der beschriebenen Erscheinungen ziemlich gleichgültig, ob die Atmosphäre, in der die Herzen sich befinden, aus atmosphärischer Luft oder ob sie aus Wasserstoff besteht.

Im letzteren Falle besteht der Unterschied, den A und C gegen B darbieten, fort; nur hört im Allgemeinen die Herzthätigkeit im Wasserstoff bedeutend früher auf als in atmosphärischer Luft.

Als Apparates zur Herstellung einer Wasserstoffatmosphäre, welcher die Herzen in ihren verschiedenen Positionen gleichzeitig ausgesetzt werden konnten, bediente ich mich nach Castell's Vorgange einer an beiden Enden zugekorkten Glasröhre, deren unterer Kork die Zu- und Ableitungsrohren aufnahm und zu gleicher Zeit zwei Glimmerblättchen trug, auf welche die zulegenden Herzen gesetzt wurden. Der obere Kork war von einem im Inneren der Röhre hakenförmig umgebogenen Glasstäbe durchbohrt, an dessen Haken das zu hängende Herz mittelst eines Fadens befestigt wurde; der ganze Apparat wurde mit einer Gasentwicklungsflasche in Verbindung gesetzt, welche chemisch reines, mit Wasserdampf gesättigtes Wasserstoffgas in raschem Strome lieferte. Die Herzen wurden gleichzeitig in die Röhre gebracht, dieselbe darnach fest zugekorkt und nun die Communication mit der Wasserstoffquelle hergestellt.

Als Beispiel führe ich an:

Versuch 3. Drei Froschherzen A B C schlagen im Thierleibe um 12 Uhr 20 Min. 52 50 52mal.

Um 12 Uhr 31 Min. wurde A in den Apparat gehängt, B mit der Rückenfläche, C mit der Vorderfläche auf die Glimmerblättchen gelegt.

Unmittelbar vor der Diffusion, die um 12 Uhr 35 Min. beginnt, schlägt 80 C 76 B 48mal.

Nach der Diffusion

|                | A         | C  | B  |
|----------------|-----------|----|----|
| 12 Uhr 36 Min. | 68        | 68 | 36 |
| 12 - 39 -      | 60        | 60 | 28 |
| 12 - 40 -      | 54        | 48 | 20 |
| 12 - 42 -      | 48        | 48 | 16 |
| 12 - 44 -      | 48        | 48 | 12 |
| 12 - 47 -      | 48        | 48 | 12 |
| 12 - 48 -      | 48        | 48 | 14 |
| 12 - 49 -      | 46        | 44 | 16 |
| 12 - 52 -      | 46        | 44 | 16 |
| 12 - 55 -      | 46        | 40 | 20 |
| 12 - 59 -      | 46        | 42 | 20 |
| 1 - 1 -        | 44        | 36 | 18 |
| 1 - 4 -        | 40 Vorhof | 36 | 20 |
|                | 28 Ventr. |    |    |
| 1 - 7 -        | 42 Vorhof | 40 | 21 |
|                | 21 Ventr. |    |    |
| 1 - 19 -       | 40 Vorhof | 40 | 21 |
|                | 20 Ventr. |    |    |

Von nun an verwandeln sich die Pulsationen in undeutliche schwache Spiegelungen.

4) Derselbe Einfluss der Lagerung auf den Rhythmus wird beobachtet, wenn man die 3 Herzen in den gegebenen Positionen in Öl eintaucht, also in eine Flüssigkeit, welche mit den Flüssigkeiten, die das Herz umgeben, nicht in Diffusion tritt.

Versuch 4. Drei Herzen A, B, C, werden, A hängend, B auf der hinteren Seite, C verkehrtliegend in Öl eingetaucht.

|              | A  | C  | B  |
|--------------|----|----|----|
| 5 Uhr 2 Min. | 62 | 72 | 64 |
| 5 - 5 -      | 68 | 72 | 58 |
| 5 - 6 -      | 60 | 68 | 60 |
| 5 - 8 -      | 60 | 60 | 52 |
| 5 - 10 -     | 56 | 56 | 52 |
| 5 - 11 -     | 52 | 60 | 48 |

|               | A  | C  | B             |
|---------------|----|----|---------------|
| 5 Uhr 12 Min. | 52 | 60 | 48            |
| 5 - 14 -      | 48 | 56 | 46            |
| 5 - 16 -      | 44 | 52 | 40            |
| 5 - 18 -      | 50 | 52 | 38            |
| 5 - 22 -      | 48 | 48 | 39            |
| 5 - 24 -      | 50 | 48 | 18            |
| 5 - 28 -      | 48 | 44 | hat aufgehört |
| 5 - 29 -      | 48 | 44 |               |
| 5 - 31 -      | 45 | 40 |               |
| 5 - 32 -      | 44 | 40 |               |
| 5 - 35 -      | 40 | 40 |               |

5) Wenn man dagegen 3 ausgeschnittene Froschherzen in den 3 angegebenen Lagen in eine Flüssigkeit bringt, welche mit den das Herz umgebenden Flüssigkeiten in Diffusion tritt, z. B. in eine 4 procentige Zuckerlösung, so verschwinden die Verschiedenheiten im Rhythmus, welche wir bisher beobachtet haben. A, B und C verhalten sich dann vollkommen gleich.

Drei Herzen A, B und C werden in Zuckerwasser von 4 pCt. A gehängt, B auf die Rückseite, C verkehrt auf den Boden des die Lösung enthaltenden Glasgefäßes gelegt. Nun schlagen

|               | A  | B  | C  |
|---------------|----|----|----|
| 12 Uhr 8 Min. | 68 | 64 | 64 |
| 12 - 11 -     | 60 | 52 | 52 |
| 12 - 14 -     | 52 | 48 | 48 |
| 12 - 18 -     | 48 | 46 | 46 |
| 12 - 20 -     | 45 | 42 | 40 |
| 12 - 22 -     | 41 | 40 |    |
| 12 - 26 -     | 38 | 36 | 36 |
| 12 - 45 -     | 24 | 24 | 24 |

Wirft man nun einen vergleichenden Blick auf die dargelegten Erscheinungen, so wird man finden, dass durch diese Versuche eine Reihe von Möglichkeiten, nach denen man die Verschiedenheiten im Rhythmus beurtheilen könnte, ausgeschlossen sei. Alle Thatsachen weisen darauf hin, in dem Venensinus des ausgeschnittenen Froschherzens und in der Verschiedenheit seiner Lagerung den Grund für die auffallenden Differenzen zu suchen, die sich uns zwischen dem Herzen, das auf seiner Rückenfläche liegt und dem die Rückenfläche nach oben kehrenden so constant dargeboten haben. Es ist nämlich einleuchtend, dass, da bei dem auf seiner

Rückenfläche liegenden Herzen der Venensinus von den Vorhöfen vollkommen bedeckt und ausserdem in einen See von verschiedenartigen Flüssigkeiten, von Lymphe und Serum etc. eingebettet wird, dieser Theil des Herzens gewissen schädlichen Bedingungen ausgesetzt ist, welche derselbe am hängenden und am verkehrt liegenden Herzen nicht erleidet. In der Zuckerlösung, wo durch die rasche Diffusion das ganze Herz bald von einer gleichmässigen Schichte von Flüssigkeiten umgeben wird, sehen wir die Unterschiede verschwinden und denjenigen Verlauf des Rhythmus bei allen 3 Herzen eintreten, den wir früher immer nur bei Herz B wahrgenommen hatten.

Dass aber für den Rhythmus des ganzen Herzens der Sinus von der grössten Bedeutung sei, das ergiebt sich klar aus folgendem Versuche:

Versuch 6. Nachdem ich mich vorher durch den Versuch überzeugt hatte, dass es für den Rhythmus des ausgeschnittenen Herzens gleichgültig sei ob daselbe verkehrt oder aufrecht in freier Luft hänge, so hängte ich zwei gleichmässig pulsirende Herzen, das eine A so in Zuckerlösung, dass bloss der venöse Sinus in dieselbe tauchte, das zweite B dergestalt, dass Ventrikel und ein Theil der Vorhöfe von der Zuckerlösung umspült wurden, der Sinus aber in freier Luft sich befand.

Um 11 Uhr 2 Min. schlügen beide Herzen 60mal. Um 11 Uhr 6 Min. werden sie eingetaucht. Nun schlägt

|               | A  | B   |
|---------------|----|-----|
| 11 Uhr 8 Min. | 68 | 78  |
| 11 - 10 -     | 64 | 86  |
| 11 - 12 -     | 68 | 100 |
| 11 - 13 -     | 56 | 88  |
| 11 - 14 -     | 52 | 88  |
| 11 - 15 -     | 52 | 89  |
| 11 - 17 -     | 52 | 88  |
| 11 - 18 -     | 50 | 80  |
| 11 - 19 -     | 48 | 76  |
| 11 - 21 -     | 40 | 80  |
| 11 - 22 -     | 40 | 84  |
| 11 - 24 -     | 32 | 80  |

Durch die weitere Verfolgung des Humboldt'schen Versuches sind wir demnach mit grosser Wahrrscheinlichkeit zu dem Schlusse geführt worden:

dass für den Rhythmus des ausgeschnittenen Froschherzens die Lagerung und überhaupt die Bedingungen, unter welche der Sinus desselben versetzt wird, von der grössten Wichtigkeit seien. —

Wie sehr in Uebereinstimmung diese Thatsache mit einigen später zu beschreibenden sei, das wird der folgende Abschnitt lehren.

## 2. Von dem Stannius'schen Versuche und dessen physiologischer Bedeutung.

Stannius (2 Reihen physiolog. Versuche. Müll. Arch. 1852.) hat bekanntlich die merkwürdige Thatsache beobachtet: „dass Umschnürung irgend einer Stelle der Herzvorhöfe die Contractionen der dem Ventrikel näher liegenden, also abgeschnürten Vorhofs- partien, sowie des Ventrikels selbst dauernd hemmt; dass dagegen Umschnürung der Ventrikulargrenze den zuvor in Ruhe versetzten Ventrikel wieder zu dauernden Contractionen veranlasst.“ — In demselben Bande von Müller's Archiv findet man eine Abhandlung von Bidder (Ueber functionell verschiedene und räumlich getrennte Nervencentra im Froschherzen), worin unter Anderem die den Versuchen von Stannius geradezu widersprechende Angabe gemacht wird: „Wird das Herz durch einen raschen Schnitt in der Querfurche zwischen Atrium und Ventrikel getheilt, so bleibt der Ventrikel still und die Vorhöfe bewegen sich.“

Stannius ist geneigt, aus seinen Versuchen auf das Vorhandensein eines hemmenden und eines Bewegung erzeugenden Centrums im Herzen zu schliessen; während Bidder ein rhythmisches im Vorhof liegendes Centralorgan, im Ventrikel dagegen ein blos reflectorisches Centrum sieht.

Heidenhain (Disquisitiones de nervis organisque centralibus cordis. Berol.) hat sowohl die Versuche von Stannius als diejenigen Bidder's wiederholt. Er fand, dass der Ventrikel des Froschherzens ebenso gut ein rhythmisches Centralorgan besitze, als der Vorhof mit dem Sinus. Er fand ferner bei Wiederholung der Stannius'schen Versuche: dass die Ligatur zwischen Vorhof und Sinus nicht immer einen plötzlichen Stillstand des Herzens bewirke, sondern oft gingen der Ruhe des Herzens mehrere unter-

brochene Pulsationen voraus. Es dauere ferner die Ruhe des Herzens nicht in unbegrenzte Zeit, sondern im Durchschnitte 5 Minuten nach Anlegung der Ligatur, alsdann kämen zuerst langsam, dann schneller und schneller die Bewegungen zurück; endlich erzeuge nicht bloss die Ligatur, sondern auch die mechanische Compression und der Schnitt den beschriebenen Effect.

Er sucht, im Widerspruch mit Stannius, die Erklärung dieser merkwürdigen Thatsache in einer Vagusreizung durch den Schnitt oder das Unterband.

Ludwig sagt gleichfalls \*): „dieser auf den ersten Blick sehr überraschende Versuch dürfte sich erläutern, wenn man die an und für sich nicht unwahrscheinliche Voraussetzung macht, dass der umgelegte Faden als dauerndes Erregungsmittel zuerst des Nervus vagus und dann des automatischen Erregungsapparates des Herzens wirkt.“ —

Ich werde nun in Kürze das Resultat der Versuche, die ich über diesen Gegenstand in grosser Anzahl angestellt habe, darlegen und daran die Beantwortung der Frage reihen, ob sich die Erscheinungen durch eine einfache Annahme einer Vagusreizung erklären lassen.

Was zunächst die reinen Thatsachen anlangt, so findet sich:

1) Es gelingt bei einiger Uebung leicht, entweder durch Unterbindung oder durch einen raschen Scheerenschnitt an der Stelle, wo der Sinus in den Vorhof mündet, jedesmal einen augenblicklichen Stillstand des Herzens unterhalb der unterbundenen oder durchschnittenen Stelle zu erzeugen, während der Sinus regelmässig fortschlägt. Der Stillstand tritt ein, nachdem die erste durch die Reizung des Schnittes noch veranlasste Welle abgelaufen ist, und verhartet im Durchschnitte 5—10 Minuten ohne Unterbrechung.

Dieser Stillstand 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 2te und 3te

\*) Lehrbuch der Physiologie. 2ter Band. S. 68.

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.

2) Schneidet man das Herz eines Frosches mit dem Sinus aus, so beobachtet man einen bestimmten Rhythmus. Man kann nun diesen Rhythmus mehr und mehr verlangsamen, wenn man den Sinus theilweise, von oben nach unten fortschreitend, durch scharfe Scheerenschnitte entfernt. Ist man mit dem Abtragen bis über die Grenze des Atriums hinausgekommen, so steht das Herz plötzlich vollkommen still. — Ich habe diesen Versuch an vielen Froschherzen und ebenso an einigen Natterherzen gemacht.

Ich gebe in Folgendem ein Beispiel:

|   |                      |
|---|----------------------|
| Versuch: Ein Froschherz pulsirt im Thierleibe . . .         | 60 mal in der Minute |
| ausgeschnitten . . . . .                                    | 64 - -               |
| Nun wird ein Theil des venösen Sinus abgetrennt. Es schlägt | 56 - -               |
| Ein zweiter Theil wird abgetrennt . . . . .                 | 52 - -               |
| Ein dritter Theil . . . . .                                 | 36 - -               |

Endlich wird der Rest nebst einem Theil des Vorhofs abgetrennt, es entsteht nun Stillstand in Diastole; die um 12 Uhr 45 Min. beginnt.

Um 12 Uhr 46 Min. eine einzige Contraction, dann wieder Ruhe bis 12 Uhr 50 Min., wo eine Contraction den Anfang zu einer Reihe von neuen Contractionen macht, die bis 1 Uhr beobachtet werden.

3) Trennt man während des Stillstandes den Vorhof vom Ventrikel durch einen raschen Scheerenschnitt, so bleibt der Vorhof in Ruhe, der Ventrikel beginnt von Neuem seine rhythmischen Pulsationen.

4) Schneidet man dagegen, während das Herz in Diastole still steht, den Ventrikel quer in der Mitte durch, so dass die beiden von Bidder und Ludwig beschriebenen Ganglien mit dem Vorhöfe in Verbindung bleiben, so gelingt es in den meisten Fällen, eine regelmässige rhythmische Pulsation des oberen Stückes wieder einzuleiten, wobei meist der Ventrikularrand jede einzelne Pulsation beginnt und der Vorhof nachfolgt.

5) Reizt man, während das Herz in Folge des Stannius'schen Versuches in Diastole steht, Ventrikel oder Vorhof, so con-

trahirt sich im ersten Falle zuerst der Ventrikel und dann der Vorhof, im 2ten Falle zuerst der Vorhof und dann der Ventrikel und häufig nun der Vorhof zum zweiten Male. Ist die einzelne Welle abgelaufen, dann bleibt das Herz wieder im Stillstande liegen.

6) Alle die beschriebenen Erscheinungen erhält man auch an Herzen solcher Frösche, welche mit starken Dosen Pfeilgiftes vergiftet sind und bei denen der Vagus auch durch die kräftigsten Inductionsströme afficirt, keine Hemmung mehr zu erzeugen vermochte.

7) Die dargelegten Erscheinungen sind endlich constant, gleichviel ob man die Versuche an frisch ausgeschnittenen Herzen anstellt, oder an solchen Herzen, die bereits  $\frac{1}{2}$ —1 Stunde aus dem Thierleibe entfernt und in feuchter Atmosphäre aufbewahrt waren.

Vor Allem handelt es sich nun um die Entscheidung der Frage: Sind wir berechtigt, den auf den ersten Stannius'schen Schnitt folgenden Stillstand auf eine einfache Reizungserscheinung des Vagus zu beziehen, wie dies Heidenhain und Ludwig zu thun geneigt sind?

Man muss, glaube ich, diese Frage entschieden verneinen.

Für's Erste ist keine einzige Thatsache aus der ganzen Nervenphysik bekannt, welche zeigte, dass die einfache rasche Durchschneidung eines Nerven, gleichviel ob er central oder peripherisch, frei oder in Muskelfleisch verlaufe, so lange er nur noch einfacher Nerv ist, einen Tetanus oder eine irgendwie gestaltete Erregung, die 5—10 Minuten lang andauert, in demselben hervorrufe. Wir finden, gerade im Gegensatze zu der Annahme, dass die Reizung des Vagus, während er im Herzen verläuft, einen mächtigeren Erfolg und eine grössere Nachwirkung ausübe: eine Annahme, die man zur Erklärung der gedachten Erscheinung statuirt hat; wir finden, sage ich, im Gegentheile, dass die Erregbarkeit eines Nerven, je weiter das betroffene Stück vom Muskel entfernt ist, um so grösser erscheint (Pflüger und Rosenthal). Es müsste daher, soll die Annahme von einer Vagusreizung irgendwie stichhaltig sein, ein noch länger andauernder Stillstand des Herzens entstehen, wenn man beide Vagi möglichst central unterbände oder durchschnitte. Dass aber in beiden Fällen gerade das Gegentheil eintrifft, ist all-

bekannt. Aber selbst zugegeben, die Durchschneidung oder Unterbindung der Vagusverzweigungen im Herzen wirke als anhaltender Reiz, so müsste die Durchschneidung oder die Unterbindung einer beliebigen Stelle am Herzen den beschriebenen Erfolg haben. Der Stillstand des Herzens tritt aber nur auf die Durchschneidung an einer ganz bestimmten Stelle des Herzens ein.

Man sieht, dass die Annahme einer Vagusreizung ganz unhaltbar sei. Wendet man dagegen ein, der Vagus könne hier eine ganz bestimmte, nicht näher anzugebende Endungsweise besitzen, so ist das einzig mögliche anzunehmen, dass er in Ganglienzellen endige. Man hat es alsdann aber nicht mehr mit dem Vagus, sondern mit einem neuen Centralorgane zu thun, in welches der Vagus ausläuft, ein Centralorgan, auf das schon Stannius durch seinen Versuch geleitet hingewiesen hat. In der That wird man durch ein gründliches Studium dieser Erscheinungen fast unwillkürlich auf folgende Anschauungsweise hingedrängt:

Wir müssen uns in dem Herzen hemmende und bewegende Kräfte zu gleicher Zeit und fortwährend in Wechselwirkung begriffen vorstellen. Die Anordnung dieser nach ihrem anatomischen Substrat räumlich getrennt zu denkenden Kräfte, ist von der Art, dass die eine Reihe dieser Kräfte in gewissen Abtheilungen, die andere in anderen Abtheilungen des Herzens überwiegt. Die Erfahrungen, welche wir im ersten Abschnitte dieses Aufsatzes mitgetheilt haben, weisen darauf hin, in dem Sinus des Froschherzens das Centrum für einen überwiegenden Anteil derjenigen Kräfte zu suchen, welche die Herzbewegungen einleiten und ihren Rhythmus reguliren; alle Thatsachen ferner, die in diesem Abschnitte dargelegt wurden, vereinigen sich um darzuthun, dass die beiden Hauptheerde für die Erzeugung der rhythmischen Bewegungen in den Ganglien, welche der Hohlvenensinus des Frosches besitzt einerseits, und andererseits in den beiden grösseren Ganglien am Ventrikularande repräsentirt seien. Trennt man nun den Sinus theilweise ab, so erfolgt eine Verlangsamung der Pulsationen, weil die bewegenden Kräfte des Sinus, welche jede einzelne Contractionswelle die am Herzen abläuft, einleiten, immer spärlicher werden; trennt man den Sinus ganz ab, so bleibt eine Combination Ven-

trikel + Vorhof zurück, in der die hemmenden und die bewegenden Kräfte sich im Gleichgewichte befinden.

Während der Ruhe nun sammelt sich eine gewisse Kraftmenge in den Centralorganen des Ventrikels an, welche das Gleichgewicht endlich zu Gunsten der Bewegung stört. Dass aber die Ruhe wirklich in dieser Weise wirken könne, das lehren die Erfahrungen, die man bei Reizung der Vagi vielfältig zu machen Gelegenheit hat und wovon wir weiter unten ein Beispiel sehen werden. Trennt man nun den Ventrikel vom Vorhof, so wirkt der Schnitt erstens als Reiz auf die im Ventrikel befindlichen Randganglien, wie diess schon Hoffa gezeigt hat; auf der anderen Seite wird der Vorhof, indem wir uns die hemmenden Kräfte vorzugsweise concentrirt denken, fortgeschafft. Trennt man den Ventrikel unterhalb dieser Ganglien, so wirkt der Schnitt ebenfalls als Reiz, was uns bei dem von Hoffa \*) bewiesenen Umstände, dass diese Ganglien eine bedeutende Nachwirkung des Reizes erkennen lassen, nicht auffallen kann; und in beiden Fällen beginnt das Spiel der Contractionen von Neuem.

Diese ganze Darstellung bezweckt nichts als eine vorläufige rohe Deutung der Erscheinungen, über deren Wesen noch ein dichter Schleier gedeckt liegt, zu geben, ohne den Thatsachen Zwang anzuthun und ohne Analogien zu verletzen.

Was die Frage anlangt, ob die Unterscheidung eines rhythmischen und reflectorischen Centralorgans am Herzen, wovon das letztere im Ventrikel seinen Sitz habe, zulässig sei, so lehren die Versuche in Uebereinstimmung mit den Heidenhain'schen, dass eine solche Unterscheidung durch die Thatsachen nicht gerechtfertigt werde, obwohl die Art und Weise, in welcher sie von Bidder vorgetragen worden ist, eine überaus geistreiche und ansprechende zu nennen ist \*\*).

\*) Henle und Pfeufer. IX. Band.

\*\*) Siehe Bidder, über funktionell verschiedene und räumlich getrennte Nervencentra im Froschherzen (Müller's Arch. 1852) und über die funktionelle Selbständigkeit des sympathischen Systems. Briefe Bidder's an Volkmann (Müller's Archiv 1844. S. 359—380).

### 3. Von dem Einflusse der rhythmischen Reizung des Vagus auf die Herzbewegung.

Seitdem Weber den hemmenden Einfluss des Nervus vagus auf das Herz entdeckt hat und Pflüger ihm in der Erkenntniss des *Splachnicus* als Hemmungsnerven nachgefolgt ist, hat man, soviel ich weiss, ausschliesslich des tetanisirenden Strömungsvorganges oder des mechanischen Tetanus (Heidenhain) sich bedient, um das Herz zum Stillstande zu bringen. Man hat sich daran gewöhnt, den sogenannten Tonus des Vagus bei den Säugethieren als Tetanus zu betrachten, und man hält im Allgemeinen die Erregung durch den tetanisirenden Strömungsvorgang am Hemmungsnerven ebenso wesentlich für die Erzeugung des Herzstillstandes, als man für den Muskeltetanus einen analogen Vorgang im Nerven als Bedingung voraussetzt.

Auf dieser Vorstellung hat sich sogar in der letzten Zeit eine ganz besondere Hypothese über den Mechanismus der hemmenden Vorrichtungen aufgebaut. Schiff (siehe dessen *Physiologie* in Schauenburg's *Cyclus organisch verbundener Lehrbücher*) betrachtet nämlich Vagus und *Splachnicus* als sehr erschöpfbare Nerven, die auf verschiedenen Stellen ihres Verlaufes erregt werden. Die Erregung an der Peripherie geschieht nach Schiff durch die Herzganglien. Wird nun durch den oberen Theil eines sehr erschöpfbaren Nerven, so sagt Schiff, ein tetanisirender Strömungsvorgang geschickt, der den Nerven ermüdet, so wirkt während dieser Zeit ein an der Peripherie angebrachter Reiz nicht mehr auf diesen Nerven, das Herz muss folglich in Diastole stille stehen. Sei dagegen der Tetanus sehr schwach, so dass der Nerv nicht erschöpft werde, so werde vielmehr die Herzaction beschleunigt.

Wenn nun auch schon von vorn herein das Unhaltbare dieser Hypothese einleuchtet, so sieht man doch ein, dass, um unseren Ideen von der Einrichtung dieser Apparate einen festeren Halt zu geben und die Aufstellung ähnlicher Hypothesen unmöglich zu machen, es vor Allem Noth thue, die Art und Weise, wie das Herz auf verschiedenartige Erregung des Vagus reagire, ebenso genau zu studiren, als es bis jetzt mit der einfachen Muskelzuckung, die auf Reizung des Bewegungsnerven eintritt, geschehen ist.

Ich habe mir im Folgenden die Frage zu beantworten vorgesetzt: Ist es nothwendig, dass der Vagus in Tetanus versetzt werde, um Verlangsamung oder Stillstand der Herzbewegungen zu erzeugen oder wird dieser Effect auch noch durch andere Erregungsweisen hervorgebracht?

Ich habe in dieser Richtung am Frosche eine grosse Anzahl von Versuchen angestellt und gebe im Folgenden das Hauptsächliche der Erscheinungen im Zusammenhange, indem ich einzelne Experimente als Beispiele nachfolgen lasse.

1) Schickt man durch einen oder beide Vagi des Frosches eine gewisse Anzahl einfacher oder doppelter Stromesschwankungen \*), die im rhythmischen Tempo aufeinanderfolgen, und welche bei Weitem nicht die Anzahl erreichen, die nöthig ist, um Tetanus zu erzeugen, so kann man die Herzbewegungen bedeutend verlangsamen und das Herz sogar ganz zum Stillstande bringen.

2) Werden beide Vagi gereizt, so reichen ungefähr 70—120 einfache Reize von mässiger Grösse \*\*) in der Minute hin, um Stillstand des Herzens von  $\frac{1}{2}$ —2 Minuten zu erzeugen. Sechzig einfache Inductionsschläge in der Minute können bereits eine beträchtliche Verlangsamung des Herzschlages zu Wege bringen.

3) 50—90 Doppelreize \*\*\*) in der Minute in rhythmischer Aufeinanderfolge durch den Vagus gesandt, leisten dasselbe, was 70—120 einfache Reize in der Minute, die in gleichen Intervallen einander folgen, unter übrigens gleichen Umständen bewirken.

4) Die Anzahl der Inductionsschläge, welche nöthig ist, um Herzstillstand zu erzeugen, hängt unter übrigens gleichen Umständen nachweislich ab:

a) Von der absoluten Höhe der Ordinaten, zwischen denen

\*) Erzeugt durch die Stromesabgleichung in der secundären Spirale, welche Schliessung und Oeffnung der Kette in dem Kreise der primären Spirale begleitet.

\*\*) D. h. einfache Stromesschwankung in der secundären Spirale, wenn die Rolle übergeshoben ist, und im primären Kreise ein Daniell'sches Element sich befindet.

\*\*\*) Bedeutet den Strömungsvorgang in der secundären Spirale, der die Schliessung und sofortige Oeffnung des primären Kreises begleitet.

die Stromesschwankung, die als Reiz dient, vor sich geht. Sie sinkt, je stärker die Ströme werden.

b) Von der Anzahl und der Energie der Herzcontractionen. Sie wächst mit der Beschleunigung und mit der Verstärkung der Herzcontractionen. In letzterer Beziehung ist sie demnach besonders abhängig von der Zeit, welche nach der Präparation der Vagi und nach dem Tode des Frosches verflossen ist: d. h. die Energie der Herzcontractionen nimmt nach dem Tode des Thieres in schnellem Maasse ab, als die Leistungsfähigkeit des Vagus.

c) Von der Erregbarkeit und Leistungsfähigkeit der Vagi. Letztere lässt sich besonders gut in feuchten Räumen längere Zeit erhalten.

d) Von der besonderen Art des Rhythmus, in der die Schläge folgen. Es scheint nämlich die wirksamste Anordnung der Schläge diejenige zu sein, nach welcher Oeffnung und Schliessung des primären Stromes von ziemlich gleichen Intervallen getrennt sind. Eine gewisse Anzahl in gleichförmigem Rhythmus den Vagus treffender einfacher Reize ist wirksamer als die halbe Anzahl von genau gleichen Doppelreizen, die in derselben Zeiteinheit den Vagus treffen, obwohl die letztere aus genau eben so vielen Stromesschwankungen von gleicher Form und Grösse besteht als die erstere. Hier genaue Zahlen angeben zu wollen ist jedoch illusorisch \*).

5) Die gewöhnliche Erscheinungsweise der Verlangsamung und des Stillstandes ist, wie man aus den nachfolgenden Experimenten entnehmen wird, diese: Nach dem Beginne der rhythmischen Reizung werden die Pausen zwischen den einzelnen Herzschlägen grösser und grösser; die letzteren verharren dann entweder eine Zeitlang in einem gleichmässig langsamem Rhythmus und beschleunigen sich allmälig wieder; oder sie setzen eine gewisse Zeit lang ganz aus, und der Stillstand wird nach Verfluss derselben

\*) Die längste Dauer des Stillstandes, die ich durch rhythmische Reizung ein und derselben Strecke der beiden Vagi vom Frosche erzeugt habe, betrug 6 Minuten. Das Herz schlug zuerst 72mal in der Minute, und wurde dann durch 64 starke Doppelreize, die ich in der Minute durch den Vagus schickte, 6 Minuten lang zu absolutem Stillstande gebracht. Unmittelbar nach Aufhören der Reizung schlug das Herz wieder 60mal in der Minute.

durch einzelne Contractionen, die sich zuerst in langen, dann immer kürzer werdenden Pausen folgen, unterbrochen. Nach Aufhören der Reizung geht der Rhythmus allmälig wieder zu seiner früheren Schnelligkeit zurück. Setzt man, während das Herz noch stille steht, mit der Reizung aus, so dauert der Stillstand noch einige Secunden an, und dann kehrt plötzlich der frühere Rhythmus mit ziemlicher Kraft und Schnelligkeit wieder.

6) Diese Erscheinungen lassen sich an einem und demselben Vagusstücke wiederholt beobachten, wenn man zwischen den einzelnen Reihen von Reizungen demselben Ruhe gönnnt.

7) Sind mit abnehmender Kraft der Herzbewegungen die Vorhöfe und Kammern in ungleichmässigen Rhythmus gerathen, so gelingt es durch eine gewisse Anzahl rhythmischer einfacher oder Doppelreize, den Ventrikel, der meist langsamer schlägt als die Vorhöfe, andauernd zum Stillstande zu bringen, während der Rhythmus der Vorhöfe hierdurch blos verlangsamt, und die Kraft ihrer Contractionen geschwächt wird. Vergrössert man nun die Anzahl der Schläge in der Minute oft nur um einen geringen Bruchtheil, so gelingt es sowohl Vorhöfe als den Ventrikel zum dauernden Stillstande zu bringen. Nach dem Aufhören der Reizung ist im ersten Falle gewöhnlich der Rhythmus wieder regelmässig geworden, so dass der Ventrikel sich ebenso oft contrahirt als die Vorhöfe und zwar hat der Rhythmus dieser Contractionen dieselbe Geschwindigkeit als der Rhythmus der Vorhöfe zuvor besessen hatte. Nach Verlauf von 1—2 Minuten wird aber der Rhythmus wieder ungleichmässig im früheren Sinne, und es gelingt nun, das Experiment mit gleichem Erfolge zu wiederholen.

Offenbar hat sich durch den Stillstand der Ventrikel mehr erholt, als die Vorhöfe, die nicht zum Stillstande gebracht wurden.

Beispielsweise lasse ich einige von meinen Experimenten folgen.

Ich schicke einige Worte über die Art und Weise voraus, wie die rhythmische Schliessung und Oeffnung des primären Kreises des Inductionsapparates bewirkt wurde. Handelte es sich darum, eine bestimmte Anzahl einfacher Reize, die in gleichen Zwischenräumen auf einander folgten, durch die Vagi zu schicken, so wurde der primäre Kreis mittelst eines verquickten Kupferhakens in Quecksilber mit der Hand geschlossen und geöffnet, so dass der Haken immer

eben so lange Zeit ausserhalb als im Quecksilber verweilte. Ich hatte die Bewegungen ziemlich eingefübt, so dass ein gleichförmiger Rhythmus möglich war.

Wurde dagegen beabsichtigt, rhythmische Doppelreize durch die Vagi zu senden, so benutzte ich zu diesem Zwecke ein Metronom, an dessen Pendel ein verquickerter Kupferdraht sich befand, der, während er durch die Schwerlinie ging, eine Quecksilberkuppe berührte und auf diese Weise den primären Kreis der Kette schloss und unmittelbar darauf wieder öffnete. Zwischen Schliessung und Öffnung verflossen natürlich immer gleiche Zeiten, in denen der Strom unterbrochen war. Der Vagus wurde auch hier in die secundäre Spirale eingeschaltet. Um die Vagi längere Zeit zu conserviren, geschah die Zuführung des Stromes innerhalb des feuchten Raumes mittelst einer dazu eigens hergestellten Vorrichtung.

Experiment 1. Die beiden Vagi eines Frosches werden schnell präparirt und das Präparat in den feuchten Raum gebracht. Das Herz macht 80 Schläge in der Minute. Durch beide Vagi werden nun 80 einfache rhythmische Reize in der Minute gesandt. Das Herz macht

|  |    |         |
|--|----|---------|
| in der ersten Viertelminute nach der Reizung | 10 | Schläge |
| - zweiten                                    | -  | -       |
| - dritten                                    | -  | -       |
| - vierten                                    | -  | -       |

Unmittelbar nach Aufhören der Reizung macht das Herz wieder 76 Schläge in der Minute.

Nach 4 Minuten wird dieselbe Stelle der Nerven wieder gereizt, so dass nun 60 einfache Inductionsschläge des Vagus in der Minute treffen. Das Herz macht

|                             |    |         |
|-----------------------------|----|---------|
| in der ersten Viertelminute | 13 | Schläge |
| - zweiten                   | -  | 10      |
| - dritten                   | -  | 11      |
| - vierten                   | -  | 13      |

Unmittelbar nach Aufhören der Reizung schlägt das Herz wieder 68mal in der Minute.

Fünf Minuten nachher um 11 Uhr 15 Min. macht das Herz 60 Schläge in der Minute. Durch 54 einfache Reize, die dieselbe Stelle des Vagus treffen, wird die Anzahl der Herzschläge auf 52 herabgesetzt.

Nach Aufhören der Reizung macht das Herz 68 Schläge in der Minute. Der primäre Kreis wird nun 60mal geschlossen und 60mal geöffnet, so dass 120 einfache Reize des Vagus in der Minute treffen. Nach dem Beginn der Reizung macht das Herz

|                             |    |         |
|-----------------------------|----|---------|
| in der ersten Viertelminute | 13 | Schläge |
| - zweiten                   | -  | 0       |
| - dritten                   | -  | 0       |
| - vierten                   | -  | 0       |
| - fünften                   | -  | 1       |
| - sechsten                  | -  | 0       |
| - siebenten                 | -  | 1       |
| - achten                    | -  | 0       |

in der neunten Viertelminute 2 Schläge

|            |   |   |   |
|------------|---|---|---|
| - zehnten  | - | 4 | - |
| - elften   | - | 6 | - |
| - zwölften | - | 8 | - |

Nach Aufhören der Reizung wieder 60 Schläge in der Minute.

Eine Stunde nach Präparation beider Vagi macht das Herz noch 13 Schläge in der Viertelminute, d. h. der Vorhof macht 52, der Ventrikel ungefähr 40 Schläge.

Durch 70 einfache Reize in der Minute wird der Ventrikel in absoluten Stillstand versetzt, der eine Minute andauert. Der Vorhof dagegen pulsirt allerdings in verlangsamten Tempo fort.

120 einfache Reize indess bringen nun sowohl den Vorhof als den Ventrikel zum Stillstande.

Experiment 2. Ein Herz, dessen Vagi präparirt sind, schlägt 60mal in der Minute. Nun werden die beiden Vagi in der Minute von 120 einfachen mässigen Reizen getroffen. Das Herz macht nun

in der ersten Viertelminute 3 Contractionen

|           |   |   |   |
|-----------|---|---|---|
| - zweiten | - | 2 | - |
| - dritten | - | 1 | - |
| - vierten | - | 3 | - |

Nach Aufhören der Reizung macht das Herz 52 Contractionen in der Minute.

Nun gehen 120 einfache Reize durch den Vagus. Das Herz macht

in der ersten Viertelminute 2 Schläge

|           |   |   |   |
|-----------|---|---|---|
| - zweiten | - | 0 | - |
| - dritten | - | 0 | - |
| - vierten | - | 0 | - |

Nach dem Aufhören der Reizung noch 3 Secunden Stillstand, dann Wiederbeginn der Pulsationen. Nach 5 Minuten macht das Herz wieder 52 Pulsationen.

Experiment 3. 17. August. Ein Froschherz, dessen Vagi präparirt sind und auf der stromzuführenden Vorrichtung liegen, macht in der Minute 72 Schläge. Es wird nun das Metronom so gestellt, das der primäre Kreis der Kette 72mal geschlossen und geöffnet wurde, so dass 72 Doppelreize den Vagus in einer Minute durchflossen. Das Herz macht nun um 11 Uhr 43 Min.

in der ersten Viertelminute 6 Schläge

|           |   |   |   |
|-----------|---|---|---|
| - zweiten | - | 1 | - |
| - dritten | - | 2 | - |
| - vierten | - | 4 | - |
| - fünften | - | 5 | - |

Um 12 Uhr 1 Minute macht das Herz 52 Schläge. 52 Doppelreize in der Minute gehen nun durch die Vagi. Das Herz macht nun

in der ersten Viertelminute 8 schwache Schläge

|           |   |   |   |
|-----------|---|---|---|
| - zweiten | - | 4 | - |
| - dritten | - | 7 | - |
| - vierten | - | 8 | - |

Um 12 Uhr 6 Min. macht das Herz 50 Schläge.

Es wird nun der Vagus von 80 Doppelreizen in der Minute getroffen. Das Herz macht noch 2 Schläge, dann tritt Stillstand von  $\frac{3}{4}$  Minute ein. Hierauf beginnt der Vorhof langsam zu pulsiren und ihm folgt der Ventrikel.

Um 12 Uhr 15 Min. schlägt das Herz unregelmässig. Der Vorhof macht 52, der Ventrikel 28 Schläge in der Minute. Es durchfliessen nun den Vagus 56 Doppelreize in der Minute. Die Contractionen des Vorhofs sinken dadurch von 52 auf 40. Der Ventrikel steht eine Minute lang in Diastole stille. Nach Aufhörender Reizung machen sowohl Vorhof als Ventrikel 50 regelmässige Pulsationen in der Minute.

Um 12 Uhr 20 Min. hat sich das Verhältniss wieder so geändert, dass auf 2 Vorhofspulsationen 1 Pulsation des Ventrikels kommt. Nun treffen um 12 Uhr 23 Minuten den Vagus 84 Doppelreize in der Minute; die Vorhofscontractionen sinken von 48 auf 36 und werden sehr schwach. Der Ventrikel steht eine halbe Minute lang in Diastole. Nach Aufhören der Reizung schlägt eine halbe Minute lang der Ventrikel mit dem Vorhofs in gleichem Rhythmus. Hierauf wird der Rhythmus, in dem der Ventrikel pulsirt, wieder langsamer.

Um 12 Uhr 30 Minuten werden die Vagi peripherischer über die Enden der stromzuführenden Vorrichtung gebrückt. 84 Doppelreize in der Minute erzeugen nun einen andauernden Stillstand sowohl des Vorhofs als des Ventrikels. Nach Aufhören der Reizung ist der Rhythmus wieder regelmässig.

Experiment 4. Ein Froschherz, dessen Vagi präparirt sind, schlägt 64mal in der Minute. Nun werden 84 Doppelreize in der Minute durch die Vagi geschickt. Das Herz macht noch 2 Pulsationen und steht dann 5 Minuten lang während der Reizung absolut stille. Nach Aufhören der Reizung macht es wieder 60 Schläge in der Minute.

In den bisher beschriebenen Versuchen war im Kreis der primären Spirale ein Daniell'sches Element als Electromotor eingeschaltet gewesen. Ich theile nun noch einen Versuch mit, in dem 2 Grove'sche Elemente der kleineren Art in dem primären Kreise befindlich waren.

Experiment 5. 20. August. Ein Froschherz macht nach Präparation beider Vagi 84 Schläge. Es werden nun 84 starke Doppelreize durch den Vagus gesandt.

Das Herz macht in der ersten Viertelminute 7 Puls.

|             |   |   |   |
|-------------|---|---|---|
| - zweiten   | - | 0 | - |
| - dritten   | - | 0 | - |
| - vierten   | - | 1 | - |
| - fünften   | - | 1 | - |
| - sechsten  | - | 1 | - |
| - siebenten | - | 1 | - |
| - achten    | - | 1 | - |

Nach Aufhören der Reizung macht der Vorhof 72, der Ventrikel 60 Schläge in der Minute. 68 Doppelreize durch die Vagi gesandt bringen einen dauernden

Stillstand des Herzens hervor, der nach 6 Minuten noch anhält. Als nun mit der Reizung aufgehört wird, fährt das Herz noch fort 3 Secunden lang im Stillstande zu verharren. Gleich darauf macht das Herz 60 kräftige regelmässige Pulsationen in der Minute. Nach weiterem Verlaufe von 10 Minuten macht der Vorhof 52, der Ventrikel 40 Schläge in der Minute.

44 Doppelreize in der Minute durch den Vagus gesandt, bringen nun den Ventrikel auf  $1\frac{1}{2}$  Minuten zum Stillstand, während der Vorhof nur etwas langsamere und schwächere Pulsationen macht. Nach Aufhören der Reizung contrahiren sich Vorhof und Ventrikel 50mal gleichmässig und kräftig in der Minute. Bald aber verliert der Rhythmus seine Regelmässigkeit und nun schlägt der Ventrikel wieder langsamer als der Vorhof.

Die Aufzählung dieser Versuche halte ich für hinreichend, um ein deutliches Bild von der Art und Weise zu geben, wie die Ergebnisse, welche ich oben dargestellt habe, gewonnen sind. Ich schliesse hieran noch ein Paar Versuche, die ich an Kaninchen in dieser Richtung angestellt habe und bei welchen mich mein Freund Rosenthal unterstützte.

Experiment 1. Ein erwachsenes Kaninchen hat 264 Pulsschläge in der Minute nach Präparation beider Vagi \*). Nach Durchschneidung eines Vagus 280 Pulse.

Nach Durchschneidung des zweiten Vagus 288 Schläge. 4 Minuten hierauf 336 Schläge in der Minute.

Nun werden beide Vagi 182 einfachen Reizen in der Minute ausgesetzt. Die Herzbewegungen sinken von 336 auf 182 in der Minute.

Nach 6 Minuten macht das Herz 326 Pulsationen. Durch 312 einfache Reize in der Minute sinkt die Zahl von 326 auf 192.

Nach 10 Minuten macht das Herz wieder 384 Pulsationen; durch die gleiche Anzahl von einfachen Reizen sinkt die Zahl der Herzbewegungen von 384 auf 186

|                |     |                               |   |   |     |   |     |
|----------------|-----|-------------------------------|---|---|-----|---|-----|
| Ferner bringen | 192 | Doppelreize in der Minute die | - | - | 360 | - | 144 |
| 144            | -   | -                             | - | - | 360 | - | 164 |
| 96             | -   | -                             | - | - | 312 | - | 192 |
| 72             | -   | -                             | - | - | 326 | - | 228 |

Experiment 2. (Im primären Kreise des Inductionsapparates sind zwei kleine Grove's.)

Ein Kaninchen hat 288 Herzschläge in der Minute.

Nach Präparation der Vagi und Einsenkung der Middeldorff'schen Nadel 240 Herzschläge.

Nach Durchschneidung beider Vagi 324 Schläge.

240 Doppelreize reduciren die Herzbewegungen von 324 auf 156.

Ferner reduciren 240 Doppelreize die Herzbewegungen von 336 auf 164

|    |   |   |   |     |   |     |
|----|---|---|---|-----|---|-----|
| 72 | - | - | - | 336 | - | 228 |
| 60 | - | - | - | 336 | - | 252 |

\*) Die Pulsschläge wurden mittelst der Middeldorff'schen Nadel sichtbar gemacht.

Einige andere Experimente, die ich an Kaninchen angestellt habe, gaben vollkommen analoge Ergebnisse.

Es gelang mir, wie die Versuche zeigen, nicht, einen Stillstand des Herzens am lebenden unversehrten Kaninchen durch die rhythmische Reizung in den angegebenen Grenzen herbei zu führen. Es ist dies auch durchaus nicht wunderbar, da wir beim Frosche gesehen haben, dass ungefähr eine doppelte Anzahl von Schlägen, als die Zahl der Herzbewegungen beträgt, durch den Vagus nötig ist, um absoluten Stillstand des Herzens herbeizuführen. Auf jeden Fall lehren aber die Ergebnisse, die ich bis jetzt am Säugethiere erhalten habe, dass der Tonus sehr gut in einer rhythmischen Erregung des Vagus durch die Medulla oblongata bestehen könne; ja es ist bei den Kenntnissen, die wir von der Medulla oblongata als rhythmisch wirkendem Centralorgane besitzen, und bei der Unbequemlichkeit einen fortwährenden Tetanus der Herznerven der Vagi zu statuiren, sogar äusserst wahrscheinlich, dass die Herzbewegung beim Säugethiere durch rhythmische Innervationswellen regulirt werde, welche die Medulla oblongata durch den Vagus zum Herzen sendet, und deren Rhythmus durchaus nicht den der Athembewegungen zu übersteigen braucht. An Säugethieren, bei denen die Herzaction weniger stürmisch von Statten geht als bei Kaninchen, bei denen der Puls oft kaumzählbar ist, wird es jedenfalls gelingen, durch rhythmische Reizung in den angegebenen Grenzen vollkommenen Herzstillstand zu erzeugen. Ich habe, wie am Vagus, so auch am Splachnicus des Kaninchens es versucht, Stillstand der Darmbewegungen durch rhythmische Reizung des letzteren zu erhalten. In einem Experimente, das ich bis jetzt angestellt habe, und bei dem der Splachnicus, wenn er in Tetanus gerieth, jedes mal Stillstand der Darmbewegungen erzeugte, gelang es mir nicht, Stillstand der peristaltischen Bewegungen auf rhythmische Reizung desselben Nerven zu erzeugen, obwohl ich die Bedingungen so variierte, dass 60—820 Doppelreize in der Minute durch den Splachnicus gingen.

Dagegen habe ich in 3 Experimenten nach dem Tode des Kaninchens durch rhythmische Erregung des Vagus in den angege-

benen Grenzen eine sehr bedeutende Vermehrung und Verstärkung der peristaltischen Bewegungen der Gedärme erzeugt. —

Welche Bedeutung nun für die Theorie der Herznervation haben die Erscheinungen, welche wir nach der rhythmischen Reizung des Vagus auftreten sehen?

Nach meiner Ansicht erhalten mehrere für die Auffassung der regulatorischen Vorrichtungen am Herzen wesentliche Fragen durch die beschriebenen Thatsachen Licht und Aufklärung.

In erster Reihe steht die Frage, ob der Vagus unmittelbar auf die Herzmuskulatur oder vermittelst ganglionärer Elemente seine hemmenden Wirkungen ausübe; eine Frage, welche in der letzten Zeit von einigen Seiten zu Gunsten der ersteren Ansicht beantwortet worden ist.

Jedermann wird erkennen, dass die Thatsachen, welche dieser letzte Abschnitt enthält, laut zu Gunsten der letzteren Meinung sprechen, dass nämlich der Vagus vermittelst ganglionärer Elemente seine hemmenden Wirkungen äussere. Wer in der Physiologie die Beweiskraft vernünftiger Analogien zugiebt, der wird nicht verkennen, dass in dem Stillstande des Herzens, wie er auf rhythmische Reizung der Vagi in der angegebenen Weise erfolgt, eine allgemeine Eigenschaft der ganglionären Elemente hindurchleuchte. Jeder einzelne Reiz nämlich, der einen Nerven trifft, hinterlässt in dem Organe, in welchem der Nerv endigt, eine Nachwirkung von grösserer oder geringerer Dauer, so oft dieser Nerv auf seinem Wege mit Ganglien in Verbindung steht.

Ein Beispiel dieser Nachwirkung leuchtet besonders ein in der Eigenschaft der Retina, wo eine Reihe von durch ziemlich grosse Intervalle getrennten, also discontinuirlichen Eindrücken zu einem einzigen continuirlichen verschmelzen. Eine solche Nachwirkung des Reizes finden wir am Herzen selbst, wo z. B. ein einziger einfacher Reiz, der auf einen vom Vorhofe getrennten ruhenden Ventrikel angebracht wird, eine Reihe von Pulsationen wachruft, die erst nach einiger Zeit verschwindet (Hoffa).

In beiden Fällen und überhaupt in all den anderen zahlreichen Beispielen, wo längere Nachwirkung eines einzelnen Reizes beob-

achtet wird, fasst man diese Erscheinungen als Function der mit dem Nerven in Verbindung stehenden Ganglienzellen auf.

Eines der schönsten und reinsten Beispiele dieser Nachwirkungen haben wir jetzt in dem Effecte der rhythmischen Reizung des Vagus kennen gelernt. Gleichwie ein im Dunkeln geschwungener leuchtender Punkt dem Auge als continuirlicher Feuerkreis erscheint, ebenso wirkt eine den Vagus treffende durch Intervalle bis zu 1 Secunde getrennte Reihe von einfachen Reizen gleich einem Tetanus des Vagus auf das Centralorgan des Herzens. Wer sieht hierin nicht einen neuen mächtigen Beweis für die von E. Weber ausgesprochenen Worte: „Der hemmende Einfluss des N. vagi auf die Herzbewegungen scheint nicht unmittelbar auf die Muskelfasern, sondern zunächst auf diejenigen Nerveneinrichtungen zu wirken, von denen die Herzbewegungen ausgehen.“

Von grossem Interesse ist es ferner, die Art und Weise dieser Nachwirkung näher kennen zu lernen. Wir haben gesehen, dass der Stillstand des Herzens nach Beginn der rhythmischen Reizung kein plötzlicher ist, sondern dass derselbe durch eine Reihe von Contractionen eingeleitet wird, welche durch Zwischenräume von immer grösserer Dauer von einander getrennt werden. Der erste Reiz hat deshalb ein Minimum von Nachwirkung; jeder neue Reiz fügt zu diesem Minimum eine gewisse Grösse hinzu, bis endlich, meist nach dem Verlaufe einer Viertelminute, die Dauer der Nachwirkung, die jedem einzelnen Reize folgt, dem Intervalle zwischen den einzelnen Reizen selbst gleich ist. Die Nachwirkung eines jeden Reizes ist also gleich einer Summe, von der der eine Summand die Nachwirkung dieses Reizes selbst darstellt, der andere die Ueberbleibsel aller übrigen vorausgehenden Reize in sich fasst. Sobald diese Summe das Intervall zwischen den einzelnen Reizen vollständig ausfüllt, ist begreiflicher Weise der Stillstand des Herzens da.

Eine Vergleichung nun der Dauer des Stillstandes, welche man durch rhythmische Reizung der Vagi erlangen kann mit derjenigen Dauer, welche durch Tetanisirung der Vagi hervorgebracht wird, lehrt Folgendes.

Wir haben gesehen, dass man am Froschherzen einen Stillstand von 6 Minuten durch rhythmische Reizung ein und derselben

Nervenstrecke herbeiführen kann. Ich glaube nicht, dass es bis jetzt gelungen ist, die gleiche Dauer durch Tetanisirung **ein und** derselben Nervenstrecke des Vagus zu erzielen. Es leuchtet demnach ein, dass die Methode der rhythmischen Reizung eine bedeutend schonendere und wirkungsvollere ist, als die Tetanisirung, wo diejenige Anzahl von Stromesschwankungen, welche die Zahl **2—3** in der Secunde übersteigt (also mindestens **14—15** in der Secunde) blos schädlich wirken kann, indem sie die Leistungsfähigkeit des Vagus herabsetzt, ohne den Effect auf das Herz zu vergrössern.

Das Maximum der Wirkung durch eine bestimmte Anzahl von Reizen würde man unter übrigens gleichen Umständen zweifelsohne erreichen, wenn man die rhythmischen Reize dergestalt aufeinander folgen liesse, dass das Intervall zwischen jedem einzelnen Reize nur um Weniges kürzer wäre als die Summe der Nachwirkungen der vorausgegangenen Reize dauert. Bei der Summation der Nachwirkungen, wie wir sie kennen gelernt haben, würde ein stetig sich verzögernder Rhythmus von einfachen Reizen diejenige Art der Vagusreizung sein, welcher zu gleicher Zeit den Vagus am wenigsten beleidigte und den grösstmöglichen Effect gewährte.

Beim Kaninchen, wo die Herzactionen so stürmisch sind, wird jedenfalls eine bedeutend grössere Anzahl von Stromesschwankungen nöthig sein, um Stillstand des Herzens hervorzurufen, als wir in Anwendung bringen könnten. Es ist indess sehr wahrscheinlich, dass sie diejenige Anzahl, welche nöthig ist, um Muskeltetanus hervorzurufen, nicht zu erreichen brauche.

Endlich will ich noch auf den Umstand besonders aufmerksam machen, dass rhythmische Reizung der Vagi, welche den Ventrikel eines unregelmässig schlagenden Herzens zum Stillstande, Sinus und Vorhöfe desselben aber bloss zur Verlangsamung bringt, ganz constant das Resultat ergiebt, dass nach Aufhören der Reizung die Regelmässigkeit des Rhythmus für eine gewisse Zeit lang wiederkehrt. Man kann nicht umhin, diese Erscheinung als ein Phänomen der Erstarkung und Erholung der Centralorgane des Herzens durch die Ruhe zu deuten.

Zieht man die Summe der vorliegenden Ergebnisse, so lassen sich folgende Sätze aufstellen:

1) Der Rhythmus des ausgeschnittenen Froschherzens ist von den Bedingungen, unter welche der Sinus desselben gebracht wird, vorzugsweise abhängig.

Im Sinus haben wir deshalb hauptsächlich das den Rhythmus des Froschherzens regelnde Centralorgan zu sehen, welche Auffassung auch durch die Erscheinungen des Stannius'schen Versuches gestützt wird.

2) Der Stannius'sche Versuch ist durch die Annahme einer Vagusreizung nicht erklärbar. Derselbe lässt bis jetzt blos unsichere Deutungen zu. Alle bisher bekannten That-sachen fordern die Annahme eines hemmenden und eines bewegenden Centralorganes im Herzen selbst. Die Reizung des Vagus würde das erstere in seiner Wirkung blos unterstützen.

3) Beim Frosche lässt sich durch die rhythmische Reizung des Vagus (60—120 einfache, 50—90 Doppelreize in der Minute) Stillstand des Herzens erzielen, beim Kaninchen konnte durch dieselbe Einwirkung bis jetzt blos Verlangsamung der Pulsationen erzeugt werden.

4) Der Tonus des Vagus bei Säugethieren besteht höchst wahrscheinlich in einer durch die Medulla oblongata erzeugten rhythmischen Innervation der Herzäste desselben.

5) Der Effect der rhythmischen Reizung, vorzugsweise beim Frosch, ist ein neuer Beweis für die Endungen der Herzäste des Vagus in Ganglien. —

Zum Schlusse sage ich Herrn Professor du Bois Reymond für die Freundlichkeit, mit der er mir die Benutzung seines Laboratoriums gestattete, sowie für seinen gütigen Rath bei der Ausführung meiner Versuche, meinen wärmsten Dank.

## Nachtrag.

Bei der Wiederholung des S. 304 beschriebenen Versuches, den Splachnicus durch rhythmische Reizung zu erregen, gelang es mir, durch 240—192 Doppelreize, welche ich in der Minute durch den rechtseitigen Splachnicus eines jungen Kaninchens gehen liess, die peristaltischen Bewegungen der Gedärme, welche sehr ausgesprochen waren, mehrere (12—20) Secunden hindurch zu vollkommenem Stillstande zu bringen. In dem primären Kreise des Apparates befand sich ein Grove'sches Element der kleineren Art, und die secundäre Spirale war an das Ende der primären Rolle angeschoben. Die Reize wurden in der S. 299 u. 300 beschriebenen Weise durch ein Metronom erzeugt. Mein Freund Rosenthal, der mich bei der Anstellung dieses Experimentes zu unterstützen die Güte hatte, überzeugte sich mit mir von der Regelmässigkeit, mit welcher jedesmal einige Zeit nach Beginn der rhythmischen Erregung (2—3 Secunden) die Darmbewegungen zum Stillstande gebracht wurden, ein Stillstand, der im Durchschnitt 12—20 Secunden dauerte und, wenn die Reizung noch während des Stillstandes unterbrochen wurde, ungefähr 2—3 Secunden nach Aufhören der Reizung anhielt. Das Resultat wurde 5mal bei Reizung desselben Nerven hintereinander beobachtet, so dass kein Zweifel über den Effect der Erregung bestehen kann. Wir finden demnach auch in dieser Beziehung eine vollkommene Analogie zwischen Splachnicus und Vagus. Während wir aber durch die Reizung beider Vagi in denselben Grenzen beim Kaninchen nur Verlangsamung der Herzbewegungen zu Wege brachten, gelang es uns hier durch rhythmische Reizung nur eines Splachnicus die peristaltischen Bewegungen zu vollkommenem Stillstande zu bringen.

Berlin, am 7. September.