(Aus dem physiologischen Institut der Universität Budapest.)

Zwei Froschherz-Manometer als Kreislaufschema und Versuche mit denselben.

Von

Ferd. Klug.

(Mit 5 Textfiguren.)

I. Froschherz-Manometer.

1. Ein Kreislaufschema, in welchem ein comprimirbares Darmstück, ein Kautschukballon oder eine Pumpe das Herz darstellt, dessen Klappen in verschiedener Weise imitirte künstliche Ventile, dessen Blutgefäße Därme, Kautschukrohre, selbst Bleirohre vertreten, gibt beim Unterricht wohl über Vieles Aufschluss, entspricht aber dem Zweck, ein Kreislaufschema vorzustellen, nur höchst ungenügend. Man sieht, wie und unter welchen Bedingungen bei einem künstlichen Kreislauf die Flüssigkeit circulirt, wird aber nicht davon überzeugt, dass dies beim wirklichen Blutkreislauf der Fall ist, wie sich auch nicht nachweisen lässt, auf welche Weise Aenderungen von Wärme und Druck die Herzaction beeinflussen. Diese sind nur an einem Kreislaufschema zu demonstrieren, bei welchem das überlebende Herz und dessen Klappen selbst das Blut in entsprechender Bewegung erhalten. Hierzu eignet sich am besten das isolirte Froschherz, welches bekanntermaassen, mit Blut gespeist Stunden lang schlägt. Auf dieser Eigenschaft des Froschherzens beruhen auch die bereits seit lange vielseitig benutzten Froschherz-Manometer. Allein, nur wenige dieser Herzmanometer sollen ein Kreislaufschema darstellen; die meisten dienen besonderen Versuchszwecken, und die wenigen, welche ein Kreislaufschema vorzustellen bestimmt sind, entsprechen dem Zweck beim Unterricht mehr oder weniger auch nicht genügend.

Man kann die bekannten Froschherz-Manometer leichter Weise in zwei Gruppen theilen, je nachdem bei denselben entweder nur eine Canüle direct in den Ventrikel eingeführt wird oder aber zwei

Canülen benutzt werden, von welchen die eine im Sinus venosus oder durch denselben im Vorhof, die andere in der linken Aorta oder durch dieselbe im Bulbus aortae befestigt wird. Als Kreislaufschema kommen natürlich nur die letzteren in Betracht.

Die ersten Froschherz-Manometer wurden von Ludwig und seinen Schülern construiert¹⁾ und gehören meistens der ersten Gruppe an. So führte Luciani bei gebundenem Bulbus aortae eine Canüle durch den Sinus venosus und Vorhof in den Ventrikel. Durch diese Canüle wurde das Herz mit der ernährenden Flüssigkeit, mit Hülfe einer mit Serum oder Blut gefüllten Mariotte'schen Flasche, versehen, wodurch der Druck, unter welchem die Herzcontraction jedes Mal beginnt, während des ganzen Versuches derselbe blieb. Eine Abzweigung führte vom zuleitenden Rohre zu einem Quecksilber-Manometer. Der untere Theil der Mariotte'schen Flasche hatte eine Ventileinrichtung, mit der Bestimmung, den Rücktritt der Nährflüssigkeit aus dem Ventrikel in die Flasche zu verhüten, damit die ganze aus dem Herzen ausgetriebene Flüssigkeitsmenge zur Hebung des Quecksilbers im Manometer verwendet werde.

Viel gebraucht ist, seiner vielseitigen Vorzüge wegen, auch heute noch das ebenfalls hierhergehörige Froschherz-Manometer von Kronecker²⁾. In demselben wird durch die untere Hohlvene, je nach Bedarf mehr oder weniger tief, eine Doppelwegcanüle in das Herz eingeführt. Diese Canüle theilt eine Scheidewand in zwei senkrechte Hälften; die weitere Hälfte communicirt mit jenem Rohr, welches das Herzzinnere mit dem Manometer verbindet, während die engere Hälfte dazu dient, um die Nährflüssigkeit aus dem Behälter in das Herz zu leiten. Da der Inhalt des Herzventrikels nach Bedarf auch abgelassen werden kann und zur Füllung desselben zwei Mariotte'sche Röhren zur Verfügung stehen, so ist es möglich, die Wirkung verschiedener Flüssigkeiten auf die Herzhätigkeit zu untersuchen. Man kann das Herz ferner elektrisch reizen, wie auch die Einwirkung verschiedener Wärmegrade auf dasselbe untersuchen. Dies Manometer wurde vielseitig — auch von mir³⁾ — als vorzüglich erprobt.

---

1) E. Cyon, Methodik der physiologischen Experimente und Vivisectionen S. 134 Tafel XX. 1896.

2) Zeitschr. für Instrumentenkunde 1889 S. 27.

3) Arch. f. Physiol. 1879 S. 435 und 1880 S. 457.

Um den Einfluss von Giften auf das Herz zu prüfen, wird das Herzmanometer von Williams¹⁾ viel benutzt. Williams führt durch die Aorta in den Herzventrikel ein Ansatzstück ein, in dessen freies Ende eine doppelläufige Canüle eingeschoben wird. Nun unterbindet man die Venen und verbindet den einen der beiden freien Aeste der doppelläufigen Canüle mit einer in passender Höhe aufgestellten Mariotte'schen Flasche, während der andere zum Abflussrohr und zum Manometer führt. Je ein Ventil aus Goldschlägermembran bestimmt die Richtung der Strömungen. Wird das Abflussrohr verengt, dann zeichnet das Manometer die Herzschläge; verschlossen stellt dasselbe ein Maximummanometer dar: die Höhe der Quecksilbersäule im Manometer ist ein Maass für den Maximaldruck, den das Froschherz noch überwunden hat. Der Williams'sche Apparat registriert also nicht nur die Herzthätigkeit, sondern wurde auch zum Messen der absoluten Kraft des Herzens benutzt, wozu natürlich, bei Abschluss des Abflussrohres, in derselben Weise auch das Kronecker'sche Manometer benutzt werden kann. — Bei dem Williams'schen Herzmanometer strömt das Blut sowohl in das Herz wie aus dem Herzen durch die Aorta, und künstliche Ventile regulieren die Stromesrichtung. Ein Kreislaufschema will und kann dieser Apparat auch nicht vorstellen. Williams gibt zwar an: „Soll das ganze intacte Herz beobachtet werden, so bleibt die Canüle weg, und es wird das eine Ventil mit einer in die Vena cava und das andere mit einer in die Aorta mündenden Röhre verbunden.“ Es wäre dies ein, wohl nicht in sich zurückkehrendes, Kreislaufschema mit künstlichen Ventilen. Ich finde übrigens bei Williams keine in dieser Weise gemachten Versuche angegeben.

Eine Abänderung erfuhr dieser Apparat vor Allem durch H. Dreser²⁾, indem der Abfluss durch die Doppelwegcanüle vom Membranventil, durch einen längeren Kautschukschlauch, entweder in das Blutreservoir zurückgeleitet wird, oder die Flüssigkeit auch besonders aufgefangen werden kann. Dies ist, wie es Dreser auch nennt, in der That ein künstliches Kreislaufschema. Allein, hier wird eine Canüle durch die Aorta in die Ventrikelhöhle eingeführt; künstliche Klappen bestimmen die Strömungsrichtung; es ist dies Kreislaufschema weit davon entfernt, den natürlichen Kreislauf zu imitiren.

---

1) Arch. f. experim. Pathol. u. Pharmakol. Bd. 13 S. 1. 1881.

2) Arch. f. experim. Pathol. u. Pharmakol. Bd. 24 S. 221. 1888.

Die Methode von Williams wurde noch mehrfach modificirt. So benutzte Perles¹⁾ statt der Goldschlägermembran Glasventile. Bei Santesson²⁾ trieb das Herz die Flüssigkeit in einen 25–30 cm über demselben stehenden Ballon, aus welchem dieselbe, zu Folge ihres eigenen Druckes, durch den anderen Arm der Kronecker'schen Doppelcanüle in das Herz gelangte.

Herr White³⁾ unterzog die Methoden von Kronecker und Williams einem eingehenden Vergleich und fand, dass, während durch die zwei Abtheilungen der Kronecker'schen Canüle keine Flüssigkeit strömen kann, ohne in das Herz zu gelangen, die Williams'sche Canüle die Flüssigkeit beim Herzen vorüberleitet. Die letztere erschwert, durch mangelhaften Flüssigkeitswechsel im Herzen, das Auswaschen desselben. Es bleibt der Williams'schen Canüle nach White nur der eine Vortheil, dass sie auch in kleine Froschherzen eingebunden werden kann, und gewiss auch noch der, dass dem Herzen während des Versuches fortwährend frisches Blut zugeführt wird.

Herr White findet, dass dem Williams'schen Verfahren das Cyon'sche vorzuziehen sei. E. Cyon⁴⁾ construirte nämlich ein Herzmanometer mit gesonderten Canülen für Aorta und Sinus venosus. Hierbei wurde eine Glascanüle in die linke Aorta und eine zweite in die Vena cava inferior eingeführt. Die Canülen waren mit je einem Ende eines U-förmig gebogenen Glasrohres in Verbindung gebracht und konnten durch ein Seitenrohr nach Belieben mit Blutserum gefüllt werden. Das Herz hielt so in einem geschlossenen Glasrohr die Circulation aufrecht, wobei der Seitendruck mittelst Quecksilbermanometers bestimmt werden konnte. Coats änderte das Cyon'sche Herzmanometer insoweit ab, als die Vena cava statt des Kreislaufbogens mit einem offenen Trichtergefäß verbunden wird, welches durch die Vene einen Strom von Serum in dem Fall durchsendet, dass die Zweigröhre geöffnet ist.

Dies Cyon'sche Verfahren wurde von Blasius⁵⁾ zu einem Kreislaufschema umgeändert, indem Blasius die Canüle der Vena

1) Arch. f. experim. Pathol. u. Pharmacol. Bd. 28 S. 88. 1890.

2) Arch. f. experim. Pathol. u. Pharmacol. Bd. 32 S. 321. 1893.

3) Zeitschr. f. Biologie Bd. 17 S. 1. 1897.

4) E. Cyon, Methodik etc. S. 134 Tafel XX. 1876.

5) Arbeiten aus dem physiologischen Laboratorium der Würzburger Hochschule Bd. 1 S. 1. 1872.

cava inferior durch ein Kautschukrohr mit einem Serumbehälter in Verbindung brachte, während die Canüle der linken Aorta in ein Manometer derart mündete, dass man mit Hülfe einer Zweigröhre einen beliebig grossen Theil der aus dem Herzen geschleuderten Flüssigkeit zur Hebung des Quecksilbers benutzen konnte. Das Herz selbst wurde in einen wasserdicht verschlossenen Cylinder gebracht, der mit einer 0,5 %igen Kochsalzlösung gefüllt worden war. Von diesem Cylinder geht ein senkrecht nach oben gerichtetes Zweigröhr ab. Gibt man nun dem Niveau der Kochsalzlösung eine dem Niveau des Herzens entsprechende Höhe, so muss sich bei jeder Füllung des Herzens das Niveau der Kochsalzlösung entsprechend erheben und bei jeder Entleerung sinken. Versieht man die freie Mündung dieses Ansatzrohres mit einem Schwimmer, so kann man die Niveauschwankungen auf einem Kymographion verzeichnen.

Sobald man in dem Blasius'schen Kreislaufschema den Kautschukschlauch des Aortarohres in den Serumbehälter münden lässt, hat man ein Kreislaufschema, in welchem das Herz die Circulation aufrecht erhält und Kautschukrohre die Blutgefässe ersetzen. Dem ähnlich ist das künstliche Kreislaufschema von Marey¹⁾, mit dem Unterschied, dass die Volumänderungen des Herzens mit demselben nicht bestimmt werden können. — Kautschukrohre ersetzen insoweit die Blutgefässe besser als Glasrohre, als sie elastisch sind; allein, der Gebrauch der letzteren macht den Kreislauf bedeutend übersichtlicher.

Jacoby²⁾ war bestrebt, das Herz unter den normalen möglichst gleichartige Bedingungen, insbesondere der Druck- und Stromverhältnisse, zu bringen und die seine Leistungen betreffenden Factoren möglichst graphisch darzustellen. Hierbei wird in die linke der zum Herzen führenden Venen eine und in die linke Aorta bis zum Bulbus eine zweite Canüle eingeführt; sonst werden alle Gefässe des Herzens natürlicher Weise unterbunden. Das Herz selbst wird bis zur Atrioventricularklappe in ein mit Nährflüssigkeit gefülltes Gefäss eingetaucht. Die Nährflüssigkeit — eine 2 %ige Gummilösung mit 0,6 % NaCl-Gehalt, durch Na_2CO_3 schwach alkalisch gemacht — gelangt aus einem Reservoir zum isolirten Herzen unter einem Druck von 20 mm Wasser und aus demselben durch eine

---

1) E. J. Marey, La circulation du sang p. 70. Paris 1881.

2) Arch. f. exp. Pathol. u. Pharmakol. Bd. 44 S. 368. 1900.

Rohrleitung zur Aorta hinaus. Diese Rohrleitung wurde mit einem T-Rohr versehen, das auf der einen Seite zu einem Quecksilber-Manometer führt und auf der anderen mit einer Glasröhre verbunden ist. In der Glasröhre befindet sich ein das Lumen derselben genau ausfüllender Glasstab, der nur einen feinen cylindrischen Capillarspalt zwischen sich und der Röhre frei lässt. Am freien Ende dieser Röhre war ein feuchter Wollfaden um den Glasstab geschlungen, um zu ermöglichen, dass die durch den Capillarspalt austretende Flüssigkeit gleichmässig abtropfe. Die ganze Röhre wurde horizontal, einige Millimeter höher als das Niveau des die Nährflüssigkeit dem Herzen zuführenden Reservoirs, gestellt und das Manometer mit seinem Nullpunkt auf die gleiche Höhe gesetzt.

Die vom Herzen ausgeworfene Flüssigkeit floss durch die Capillarröhre aus, deren Widerstand durch Einschieben des Glasstabes geändert werden konnte. Das Herz warf 2—3 Tropfen, also 0,1—0,15 g, mit 10 Pulsen 1,0—1,5 g aus, welche, auf die Hubhöhe von 50 cm Wasser berechnet, eine Arbeitsleistung von 50—75 gcm darstellen.

Der Apparat war auch mit einem Strommesser versehen, welcher eine Messung der in der Zeiteinheit abfliessenden Flüssigkeitsmengen durch graphische Aufzeichnung möglich machte, so wie ein Puls-volumeter die Volumänderung des Ventrikels graphisch darstellte. Als mittleres Pulsvolum des normal im Thier schlagenden Froschherzens ergab sich ein solches von 0,11 ccm, entsprechend 2 Tropfen.

Nach Jacoby führt Steigerung des venösen Druckes zu einer ausgesprochenen Verlangsamung der Schlagfolge unter Volumzunahme und zur Herabsetzung der Arbeitsleistung.

Dieser Apparat ist viel zu complicirt, um ein leicht übersichtliches Kreislaufschema vorzustellen. Auch strömt die ausfliessende Flüssigkeit ab und kehrt nicht in das Venensystem zurück. — Ich habe diesen Apparat und die mit demselben erzielten Resultate etwas eingehender beschrieben, weil derselbe mit viel Umsicht construirt wurde und die erhaltenen Resultate mir werthvoll scheinen.

Schliesslich sei noch das neueste Herzmanometer von Camus erwähnt. L. Camus¹⁾ gibt die Nährflüssigkeit in ein Reservoir, aus welchem dieselbe mittelst Cantile direct in den Vorhof und aus diesem in den Ventrikel gelangt; der Ventrikel treibt die Flüssigkeit

---

1) Journal de physiologie et de pathologie générale vol. 3 p. 921. 1891

zurück in das Reservoir. Aus dem Ventrikel gelangt nämlich die Flüssigkeit in eine enge Röhre, deren oberes Ende in eine weitere Röhre mündet, durch welche die Flüssigkeit, zu Folge ihrer eigenen Schwere, in das Reservoir zurückfällt. Der Druck im Ventrikel kann durch Aufrechtstellen und Senken des Röhrensystems verändert werden. Liegen die Röhren horizontal, dann ist der Druck gleich 0; er wird am grössten, wenn die Röhren senkrecht stehen. Hierbei wird auch der Druck im Reservoir etwas geändert. Das Herz selbst wird in ein mit Wasserdampf gesättigtes Gefäss versenkt. Das Gefäss schliesst ein dreifach durchbohrter Korkpfropfen. Zwei der Löcher dienen zum Durchleiten der beiden Herzcanülen, während durch das dritte eine Glascanüle führt, welche mit einer empfindlichen Marey'schen Trommel verbunden ist. Camus schliesst seiner Mittheilung kymographische Curven bei, welche den Volumwechsel des Herzens zeigen.

Bei diesem Circulationsapparat mündet das Reservoir direct in den Vorhof; der venöse Blutdruck kann nur in relativ sehr engen Grenzen und nicht unabhängig vom arteriellen Druck abgeändert werden.

2. Zur Demonstration des Kreislaufs construirte ich das folgende, auf eine starke Glasplatte montirte Froschherz-Manometer (Fig. 1); die Glasplatte selbst ist in einem Stativ fest befestigt. Zwei Canülen aus Metall sind durch einen doppelt durchlöchernten Kautschukpfropfen (*a*) geführt. Die weitere Canüle wird in den Sinus venosus, die etwas engere in die linke Aorta eingebunden; sonst werden alle Gefässe unterbunden und das Herz frei gemacht. So gelangt das letztere in ein mit 0,6 % NaCl enthaltendem Wasser gefülltes Glasgefäss, welches man mit dem Kautschukpfropfen verschliesst. Unten zweigt sich ein graduirtes Volumrohr (*b*) von dem Glasgefäss ab, mittelst dessen die Volumänderungen des Herzens gemessen wie auch mit Hülfe eines Polygraphen verzeichnet werden können. *g* deutet ein weiteres Glasgefäss an, welches dazu dient, um das Herz einer beliebigen Temperatur aussetzen zu können; dies geschieht selbstverständlich auf die Weise, dass durch das Gefäss Wasser von ganz bestimmter Temperatur circulirt. Von dem Blutreservoir (*e*) aus wird das Herz durch das Venenrohr *e f h* mit oxydirttem Blut gespeist. Das Blutreservoir befindet sich ebenfalls in einem zweiten Glasgefäss (*d*), um daselbst durch temperirtes Wasser auf der gewünschten Temperatur erhalten zu werden. Während die Canüle *i*

das Blut in den Sinus venosus führt, leitet die Canüle *k* dasselbe aus der linken Aorta durch das das arterielle System ersetzende Glasrohr *km*, welches bei *l* einen T-förmig durchbohrten Glashahn trägt, zurück in das Blutreservoir. Bei *l* zweigt sich von dem

Fig. 1.

arteriellen Rohre das Manometerrohr (*n*) ab, um mittelst desselben den Druck messen und die Herzschläge verzeichnen zu können. Sonst fällt das Blut bei *m* direct in das Blutreservoir *e*; durch diesen freien Fall des Blutes sieht man die Richtung, in welcher das Blut strömt; auch kann man die Menge des Blutes mit einem

untergestellten Messgefäss direct messen. — Die Ausflussöffnung *m* befinde sich 11 cm über dem Herzen, während man das Reservoir (*e*) höher oder tiefer stellen kann. Da der Theil *o e* des Zuleitungsrohres aus Kautschuk besteht, kann der Zufluss innerhalb etwas enger Grenzen verändert werden. Ich benutzte gewöhnlich 1 cm Blutdruck, konnte aber auch bei vollkommener Gleichstellung der Bluthöhe im Reservoir mit der Höhe des Herzens ganz gut Blutcirculation erhalten, im Froschherzen ist also während seiner Diastole ein geringer negativer Druck nachzuweisen. Doch muss man hierbei stets darauf achten, dass die physiologische Salzlösung im Volumrohr (*b*) nicht höher oder tiefer stehe als in dem das Herz enthaltenden Gefäss; dies könnte sonst zu grosser Täuschung führen.

Um mit verschiedenen Flüssigkeiten experimentiren zu können, liess ich mehrere Reservoirs (*e*) verfertigen. Dieselben kann man am Apparat leicht auswechseln, wie der ganze Apparat überhaupt leicht auseinandergenommen, gereinigt und wieder zusammengestellt werden kann, da alle Bestandtheile mittelst angeschmolzenen Glaszapfens einfach in entsprechenden Oeffnungen der Glasplatte befestigt werden.

Dies Kreislaufschema zeigt auch, wie das Herzventile den Kreislauf regeln, und Alles kann projectirt einem grossen Auditorium gezeigt werden. Man kann sogar die mit jeder Systole fallenden Tropfen zählen. Auch ist es möglich, sowohl die Volumänderungen des Herzens durch einen mit *c* verbundenen Polygraphen zu versinnlichen oder zu zeichnen, wie man auch das mit Quecksilber entsprechend gefüllte Manometer (*n*) zur Registrirung der Herzpulse benutzen kann. Da das Blut frei durch die Luft in das Reservoir fällt, so kann es auch etwas Oxygen aufnehmen. Ich möchte es nur diesem Umstand zuschreiben, dass die Froschherzen in dem Kreislaufschema 5—30 Stunden lang schlagen.

Natürlich kann das Kreislaufschema auch zur Demonstration mancher Einflüsse, so auch der verschiedenen Nährflüssigkeiten, auf die Herzaction benutzt werden. Von allen Nährflüssigkeiten bewährt sich am besten das defibrinirte arterielle Blut; nicht nur alle künstlichen Nährflüssigkeiten, sondern selbst das so viel benutzte Blutserum stehen dem Blut weit zurück. Dass der Sauerstoff im Blut für die Herzfunction von grösster Bedeutung ist, habe ich bereits vor vielen Jahren hervorgehoben¹⁾, indem ich sagte: „Sauerstoff-

---

1) Arch. f. Anat. u. Physiol. 1879 S. 435.

reiches Blut zeigt zweifellos eine anregende Wirkung auf das Herz, während dasselbe Blut, unter der Luftpumpe entgast, das Herz zum Stillstand bringt.“ Ich erwähne dies hier bloss, weil mir zugemuthet wurde, die Behauptung, nach welcher die Gegenwart von Sauerstoff im Blut für die Herzfunction indifferent sei, unterstützt zu haben¹⁾. Ich würde, nach meinen Erfahrungen, überhaupt bei Untersuchungen

Fig. 2.

mit dem Herzmanometer unter keinen Umständen eine andere Flüssigkeit als arteriell gemachtes Blut benutzen; Surrogate können einmal das Blut nicht ersetzen, auch die Albanese'sche oder Ringer'sche Flüssigkeit nicht, und über das Serum sagt Heffter²⁾ auch mit Recht: „Mit Serum ist das Herz nicht im Stande, die gleiche

1) Arch. f. exp. Pathol. u. Pharmacol. Bd. 32 S. 297. 1893.

2) Arch. f. exp. Pathol. u. Pharmacol. Bd. 29 S. 41. 1892.

Arbeit zu leisten wie bei Bluternährung; es sind die rothen Blutkörperchen, welche vorzugsweise das Herz zur Arbeit befähigen.“ —

3. Ausser dem soeben beschriebenen liess ich noch ein zweites Kreislaufschema verfertigen (Fig. 2); dasselbe dient vorzüglich dazu, um Aenderungen im Blutdruck innerhalb weiter Grenzen erzeugen und deren Einfluss auf die Herzaction beobachten zu können.

Das Herz wird auch hier wie in dem ersten Kreislaufschema montirt (Gefäss *a*) und dessen Volumänderungen plethysomgraphisch gemessen (Rohr *b c*). In den Sinus venosus gelangt das Blut aus dem Reservoir *f*, welches sich auf einem verschiebbaren Halter befindet, auf welchem dasselbe beliebig hoch befestigt werden kann. *d e* ist ein gerades Glasrohr von 60 cm Länge. An der einen Seite dieses Rohres befinden sich in je 5 cm Entfernung von einander Zweigrohre, welche sich, wie bei *g*, in Kautschukrohre fortsetzen. Die letzteren können durch Klemmen je nach Bedarf geschlossen werden. *g* befindet sich 10 cm über dem Herzen; *o* ist demnach 45 cm über demselben. Will man das ausfliessende Blut messen, dann wird das freie Ende des entsprechenden Seitenrohres mit einem gleich hoch gestellten Wassergefäss verbunden, während alle übrigen Seitenrohre abgesperrt sind. Um die Herzschläge zu verzeichnen, ist es genügend, wenn man *b c* mit einem Polygraphen verbindet. Der Apparat ist auch mit einem Quecksilbermanometer versehen (*p*); doch dieses benutzte ich bei den unten zu beschreibenden Versuchen nicht.

Der ganze Froschherz-Manometer ist so gross, dass man damit den Kreislauf und den Einfluss des veränderten Blutdruckes auf denselben einem Auditorium versinnlichen kann.

II. Einfluss des Blutdruckes auf die Herzarbeit.

Das soeben beschriebene zweite Kreislaufschema benutzte ich, um den Einfluss des Blutdruckes auf das Herz zu beobachten, und zwar sowohl bei Aenderung des venösen Zuflusses als auch bei der des arteriellen Widerstandes.

Diese Verhältnisse wurden zuerst und vielleicht auch am eingehendsten von Blasius¹⁾ untersucht. Blasius fand bei seinen Serumversuchen, dass die Arbeitsgrösse mit steigendem arteriellem

---

1) l. c.

Druck, von 0 Arbeitsleistung an, wächst, und dass die Intensität dieses Wachstums dann, mit wenigen Ausnahmen, allmählich abnimmt, woraus sich die Annäherung an ein Maximum der Arbeitsleistung deutlich ergibt. Nur bei sehr niedrigem Füllungsdruck (3—4 mm) gelingt es, ein Sinken der Arbeitsgrösse mit zunehmendem arteriellem Druck zu beobachten. Das Maximum der Arbeitsleistung eines Froschherzens bei bestimmtem Füllungsdruck tritt nach Blasius bei um so höheren Werthen des arteriellen Druckes ein, je höher der angewandte Füllungsdruck war.

Das Maximum der Arbeitsleistung eines Froschherzens bei einem bestimmten arteriellen Druck besteht nach Blasius bei um so höheren Werthen des Füllungsdruckes, je höher der arterielle Druck ist. Mit der Zunahme des Füllungsdruckes wächst die Arbeitsleistung des Herzens bis zu einem Grenzwert des Füllungsdruckes, jenseits dessen dieselbe wieder abnimmt.

Dreser fand, dass, „wenn die Ueberlastungen (h) (Hubhöhen) geradlinig ansteigen, die ausgeworfenen Mengen (p) geradlinig abnehmen“. Zwischen den Grenzen $h = 0$ und $p = 0$ liegen, nach einem Optimum hin, zu- und dann abnehmende Werthe der Herzarbeit. Das Optimum der Belastung (Füllungsdruck) liegt für die meisten Froschherzen zwischen 20—30 cm; d. h. dies ist das Niveau des Zuflussgefässes, wo jeder Puls das grösstmögliche Blutvolumen liefert.

Jakoby fand in zwei Versuchen mit Albanese'scher Flüssigkeit, dass die Veränderung des venösen Zuflusses das Pulsvolum und die Pulszahl in sehr hohem Maasse beeinflusst. Stets wurde durch Steigerung des venösen Druckes eine ausgesprochene Verlangsamung der Schlagfolge unter Volumzunahme bedingt, die zur Herabsetzung der Arbeitsleistung führten.

Während demnach Blasius die Arbeitsleistung des Herzens mit Zunahme des Füllungsdruckes bis zu einem Grenzwert desselben steigen sah, fand Jakoby Herabsetzung der Arbeitsleistung durch Steigerung des venösen Druckes; es schien daher der Mühe werth, diese Verhältnisse von Neuem zu untersuchen.

Die Ergebnisse meiner sechs Versuche sind in der folgenden Versuchstabelle Nr. 1 verzeichnet. In Colonne 1 ist der jeweilige venöse Druck (Füllungsdruck), in Colonne 2 der arterielle Druck angegeben, während Colonne 3 die Zahl der Herzschläge, 4 und 5 die beförderten Blutmengen in Gramm angeben. In Colonne 5 und 6

(Fortsetzung von Versuchstabelle Nr. 1.)

Versuchsnummer	1	2	3	4		5	6		7	8
	Venöser Druck in Centim. Höhe der Blutsaule	Arterieller Druck in Centim. Höhe der Blutsaule	Zahl der Herz- schläge in einer Minute	Beforderte Blut- menge in g		in einer Minute	Herzarbeit in gcm		binnen einer Minute	Volumänderung des Herzens in ccn
				durch einen Herzschl.			bei einer Systole			
4	1	10	32	0,21	6,72	1,89	60,48	0,08		
	1	15	42	0,21	8,82	2,94	123,48	0,07		
	1	20	42	0,187	7,854	3,753	157,626	0,08		
	1	25	44	0,156	6,864	3,744	164,736	0,08		
	1	30	48	0,146	7,008	4,234	203,232	0,11		
	1	35	46	0,125	5,750	4,250	195,500	0,12		
	1	40	48	0,063	3,024	2,457	117,986	0,12		
5	10	10	47	0,52	24,44	0	—	0,26		
	10	15	48	0,427	20,50	2,135	102,480	0,18		
	10	20	50	0,406	20,30	4,06	203,00	0,16		
	10	25	52	0,365	18,98	5,475	284,70	0,16		
	10	30	54	0,333	17,98	6,660	359,64	0,16		
	10	35	50	0,25	12,50	6,25	312,50	0,14		
	10	40	52	0,208	10,816	6,24	324,48	0,12		
	1	10	40	0,052	2,080	0,468	18,720	0,04		
	2	10	39	0,073	2,418	0,584	22,776	0,05		
	3	10	40	0,115	4,600	0,805	32,200	0,05		
	4	10	36	0,281	10,116	1,686	60,696	0,12		
	5	10	36	0,291	10,476	1,455	52,880	0,12		
	7	10	40	0,323	12,920	0,969	38,760	0,19		
	9	10	38	0,365	13,870	0,365	13,870	0,24		
6	12	10	42	0,448	18,816	—	—	0,27		
	15	10	42	0,708	29,436	—	—	0,30		
	17	10	37	—	—	—	—	0,31		
	1	10	32	0,250	8,000	2,250	73,000	0,08		
	1	15	48	0,177	8,496	2,470	118,56	0,07		
	1	20	48	0,146	7,008	2,565	123,12	0,10		
	1	25	48	0,135	6,480	3,240	155,52	0,12		
	1	30	47	0,115	5,405	3,335	156,745	0,14		
	5	10	48	0,333	15,984	1,665	79,92	0,12		
	5	15	48	0,302	14,496	3,02	144,96	0,12		
	5	20	48	0,271	13,008	4,065	195,12	0,14		
	5	25	48	0,240	11,520	4,800	230,40	0,15		
	5	30	48	0,167	8,016	4,175	200,40	0,17		
	5	35	48	0,156	7,488	4,680	224,74	0,18		

Ein auffallender Einfluss der Blutdruckänderung auf den Puls findet sich in dieser Tabelle nirgends ausgesprochen. — Ist der venöse Druck constant und der arterielle veränderlich, wie in Versuch 2 und 4, in welchen der Füllungsdruck 1 cm beträgt und der arterielle Druck zwischen 10—40 cm schwankt, so finden wir wohl meistens mit der Aenderung des arteriellen Druckes auch einen Wechsel in der Zahl der Herzschläge; dieser ist aber eben nicht charakteristisch für die Druckänderung. Denn nach den Daten des 2. Versuches nimmt die Zahl der Herzschläge mit

dem Steigen des arteriellen Druckes anfangs zu, dann wieder ab, während im 4. Versuch die Zahl der Herzschläge mit dem arteriellen Druck von 32 Schlägen bei 10 cm arteriellen Druckes auf 40 Pulse bei 40 cm steigt. Und auch in den übrigen Versuchen trifft weder die Abnahme noch die Zunahme der Pulszahl ein jedes Mal mit dem Steigen des arteriellen Druckes zusammen. In dem 2. Versuch ist die geringste Pulszahl wohl bei 10 cm arteriellen Druckes (28 in der Minute), aber ich erhielt bei demselben Versuch und demselben arteriellen Druck auch 30 und 42 Pulse, während bei 25 cm arteriellen Druckes 48, bei 30 cm Druck 40 und ein anderes Mal 29 Herzschläge erfolgten.

Bei constantem höherem venösem Druck scheint mit der Zunahme des arteriellen Druckes auch die Zahl der Pulsschläge zu wachsen. So findet man in Versuch 5, dass bei 10 cm venösen Druckes die Pulszahl von 47 auf 52 stieg; Aehnliches beobachtet man auch in dem 3. Versuch, in welchen bei 1, 5, 10 und 15 cm venösen Druckes experimentirt worden war. Allein, es gibt auch hier Ausnahmen. So war die Zahl der Herzschläge bei 5 cm venösen und 30 cm arteriellen Druckes 34 pro Minute, fiel aber bei 40 cm arteriellen Druckes auf 26, also tiefer, als die Pulszahl bei 10 cm arteriellen Druckes betrug (28). Man wäre geneigt, zu glauben, dass die Pulszahl bis zu einer gewissen Höhe des arteriellen Drucks mit demselben ansteigt und darüber hinaus wieder abnimmt; allein, auch dies ist nicht der Fall. In Versuch 1 ändert sich bei 2 cm venösen Druckes und Zunahme des arteriellen Drucks von 10—25 cm die Pulszahl gar nicht; ebenso blieb die Pulszahl unverändert in Versuch 6 bei 5 cm venösen und 10—35 cm arteriellen Druckes.

Man findet auch dann keine charakteristische Aenderung der Pulszahl, wenn der arterielle Druck constant ist und der venöse verändert wird. In Versuch 6 befindet sich eine Versuchsreihe, bei welcher der arterielle Druck 10 cm beträgt, während der venöse von 1—17 cm ansteigt; die Aenderungen in der Pulszahl sind gering und eben nicht proportional dem Blutdruck; ich erhielt 40 Pulsschläge in der Minute bei 1, 3 und 7 cm Blutdruck.

Man kann also nicht sagen, dass die Veränderung des venösen Zuflusses die Pulszahl in hohem Maasse beeinflusst, wenigstens nicht innerhalb der Grenzen, in welchen ich bei meinen Versuchen den Blutdruck änderte, und diese Grenzen haben hoch genug gereicht,

denn das Herz konnte bei 17 cm venösen Druckes überhaupt kein Blut mehr weiterfördern.

Was die durch das Herz beförderte Blutmenge betrifft, so stellt sich heraus, dass dieselbe direct vom Blutdruck abhängig ist. Bei constantem venösem Druck sieht man, dass die sowohl durch einen Herzschlag wie auch die binnen einer Minute beförderte Blutmenge, mit der Zunahme des arteriellen Blutdruckes, abnimmt, dass also, wie Jakoby sagt, die arterielle Blutdrucksteigerung eine Verminderung des Pulsvolums zur Folge hat, oder nach Dreser: wenn die Ueberlastungen ansteigen, nehmen die ausgeworfenen Mengen ab. Dies beweisen beinahe alle Daten der 4. und 5. Colonne. Man findet kaum eine Ausnahme in den langen Versuchsreihen. So sinkt zum Beispiel im 1. Versuch die mittelst eines Herzschlages beförderte Blutmenge von 0,114 g bei 10 cm, auf 0,020 g bei 25 cm arteriellen Druckes.

Umgekehrt ist das Verhältniss bei constantem arteriellem und steigendem venösem Blutdruck, denn mit der Zunahme des venösen Blutdruckes steigt die beförderte Blutmenge. Deutlich sieht man dies im sechsten Versuch, in welchem der arterielle Druck beständig auf 10 cm erhalten worden war, während der venöse Blutdruck von 1 auf 15 cm stieg; es zeigt sich, dass mit dieser Zunahme des venösen Druckes die geförderte Blutmenge von 0,052 auf 0,708 g wuchs.

Dies alles hat aber seine Grenzen. Wie man mit der Zunahme des arteriellen Drucks eine solche Höhe desselben erreichen kann, bei welcher das Herz kein Blut mehr weiterfördert, so steigt auch mit der Zunahme des venösen Drucks die beförderte Blutmenge nicht über eine Grenze hinaus, sondern dieselbe nimmt dann, bei weiterer Zunahme des venösen Druckes, ab, und schliesslich fördert das Herz kein Blut mehr. So findet man im dritten Versuch bei 10 cm constanten arteriellen und 1 cm venösen Druckes die beförderte Blutmenge 0,28 g gross, bei 5 cm venösen Druckes 0,33, bei 10 cm venösen Druckes 0,417, bei 15 cm venösen Druckes wieder 0,333 g, bei 20 cm venösen Druckes beförderte das Herz gar kein Blut mehr, daher dies in der Versuchstabelle auch nicht mehr verzeichnet ist. Ebenso war das Herz im sechsten Versuch, bei 17 cm venösem Druck, nicht mehr im Stande Blut auszutreiben.

Wir können also sagen, dass die durch das Herz beförderte

Blutmenge mit der Zunahme des arteriellen Druckes stetig abnimmt und schliesslich überhaupt kein Blut weiterbefördert wird; diese oberste Grenze erreichen wir beim maximalen Druck, bei der „absoluten Kraft“ des Herzens. Den venösen Druck betreffend fanden wir, dass die beförderte Blutmenge mit der Zunahme desselben bis zu einer optimalen Grenze steigt; diese liegt bei 5—10 cm venösen Druckes; über diese Grenze hinaus nimmt die beförderte Blutmenge wieder ab, bis schliesslich das Herz mit Blut angefüllt bleibt und dasselbe weiterzubefördern nicht im Stande ist.

Was das Verhältniss des arteriellen und venösen Druckes zu einander betrifft, für welches Blasius angibt, dass das Maximum der Arbeitsleistung bei um so höheren Werthen des Füllungsdruckes eintritt, je höher der arterielle Druck ist, so scheint das Herz bei hohem arteriellen Druck (30—40 cm) mehr Blut zu fördern, wenn der Zuflussdruck mittelgross, als wenn derselbe klein oder zu gross ist. So finden wir im dritten Versuch bei 1 cm venösen und 25 cm arteriellen Druckes die beförderte Blutmenge 0,114 g gross, während dieselbe bei 5 cm venösen Druckes 0,33 g beträgt. Sobald wir aber den venösen Druck noch weiter heben, dann tritt Abnahme der beförderten Blutmenge ein. So betrug in demselben Versuch, wenn wir den venösem Druck auf 10 cm steigerten, die bei 25 cm arteriellen Druckes beförderte Blutmenge 0,31 und bei 15 cm venösen Druckes nur mehr 0,135 g. Hieraus folgt, dass das Optimum zwischen 5—10 cm venösen Druckes liegt.

Wenn wir die die Herzarbeit in Grammcentimetern ausdrückende sechste und siebente Colonne betrachten, so finden wir bei constantem venösem und zunehmendem arteriellem Druck, dass die Herzarbeit bis zu einem Optimum ansteigt und dann wieder abnimmt. So steigt die Herzarbeit in Versuch 2 bei 1 cm venösem Druck und einem arteriellen Druck, der von 10 cm auf 25 cm ansteigt, von 98,08—179,792 gcm, während bei weiterem Ansteigen des arteriellen Druckes bis 35 cm die Herzarbeit wieder auf 136,0 gcm fällt. In den Versuchen 1 u. 3 befindet sich das Optimum bei 20, im Versuch 4 bei 30 cm arteriellen Druckes. Bei höherem venösem Druck als 1 cm sind die Verhältnisse den soeben beschriebenen ähnlich. In Versuch 1 befindet sich das Optimum der Herzarbeit bei 2 cm venösen Druckes bei 20, im dritten Versuch bei 5, 10, 15 cm venösen Druckes bei 30 cm arteriellen Druckes.

In dem sechsten Versuch, in welchem der arterielle Druck constant 10 cm betrug, während der venöse Druck von 1—17 cm anstieg, findet man, dass das Herz die grösste Arbeit bei 4—5 cm venösen Druckes verrichtet; bei weiterem Ansteigen des venösen Druckes nahm die Herzarbeit stark ab.

Nach Allem, insbesondere nach den Daten des 3. und 5. Versuches zu urtheilen, verrichtet das Froschherz das Maximum der Arbeit bei etwa 5—10 cm venösen und 30 cm arteriellen Druckes.

Die Behauptung, dass bei einem bestimmten arteriellen Druck das Maximum der Arbeitsleistung sich bei um so höheren Werthen des Füllungsdruckes befindet, je höher der arterielle Druck ist, können meine Erfahrungen nicht bestätigen. Bereits bei 1 cm Füllungsdruck wechselt das Maximum der Arbeitsleistung zwischen 20 bis 35 cm arteriellen Druckes und befindet sich auch bei 5 und 10 cm Füllungsdruck bei 30 cm arteriellen Druckes. Dagegen stimmen die Daten des sechsten Versuches genau mit der Angabe von Blasius überein, nach welcher die Arbeitsleistung des Herzens mit Zunahme des Füllungsdruckes bis zu einem Grenzwert desselben wächst und dann wieder abnimmt. In dem sechsten Versuch nimmt nämlich die Arbeitsleistung des Herzens bei constantem arteriellem Druck bis 4—5 cm Füllungsdruck zu und jenseits desselben wieder ab.

Die Volumänderungen des Herzens (Colonne 8) schliesslich wechseln im Grossen und Ganzen mit den durch die einzelnen Pulsschläge beförderten Blutmengen, stimmen also mit denselben nicht vollkommen überein; wohl, weil dieselben dem Unterschied in der Füllung der Vorhöfe und des Ventrikels und nicht der Füllung des Ventrikels allein entsprechen.

III. Einfluss der Temperatur auf die Herzarbeit.

Das erste der im Cap. I beschriebenen Kreislaufschema benutzte ich dazu, um den Einfluss der Temperatur auf das Froschherz zu untersuchen. Diesbezüglich hat Cyon¹⁾ sehr eingehende Untersuchungen mit Serum gemacht. Nach denselben hören einige Herzen bei 0°, andere bei 4° C. auf, zu schlagen; die obere Grenze soll

---

1) Arbeiten aus der physiologischen Anstalt zu Leipzig 1866 S. 77.

zwischen 30—40 ° variiren. Von der unteren Grenztemperatur an wächst die Schlagzahl erst sehr langsam, dann aber um so rascher für gleiche Temperaturintervalle. Hat das Herz das Maximum erreicht, so sinkt, bei noch weiterem Steigen der Temperatur, die Schlagzahl einige Grade hindurch erst allmählich, dann aber so rasch, dass das Herz, wenn noch weiter erwärmt, stillsteht. In den 2—3 Graden, die den Stillstand vorausgehen, schlägt das Herz nicht nur langsamer, sondern auch unregelmässiger; zum Schluss wird die Bewegung peristaltisch.

Blasius¹⁾, der seine Untersuchungen ebenfalls mit Blutserum machte, bestätigt die Angaben von Cyon vollständig und gibt an, dass die Arbeitsfähigkeit des Herzens mit abnehmender Temperatur sinkt. Ein Herz leistet in zehn Zeiteinheiten bei 20 ° C. etwa einen drei Mal so grossen Nutzeffect als bei 3 ° und einen doppelt so grossen als bei 8,5 ° C.

Da beide Forscher das Herz mit Blutserum speisten, bei welcher Ernährung dasselbe sehr rasch ermüdet und die Pulsvolumina sich vermindern, schien es der Mühe werth, mit defibrinirtem, oxygenreichem Blut den Einfluss der Temperatur auf die Herzarbeit zu untersuchen.

Die erhaltenen Resultate zeigt nachstehende Tabelle (Nr. 2), in welcher folgende gemessene und berechnete Daten verzeichnet sind: 1. Die Temperatur des das Herz- und Blutgefäss umgebenden Wassers, 2. die Schlagzahl des Herzens per Minute, 3. die durch einen Herzschlag, sowie 4. die binnen einer Minute beförderte Blutmenge in Grammen, 5. die während einer Systole und 6. die binnen einer Minute durch das Herz verrichtete Arbeit in Grammcentimetern, 7. der aus dem Stand des Quecksilbermanometers in Blutdruckhöhe berechnete Maximaldruck des Herzens in Centimetern, 8. die Volumänderungen des Herzens in Centimeter und schliesslich 9. die Höhen der Pulscurven in Quecksilbercentimetern.

Von diesen Daten wurden 1, 2, 3, 4 direct gemessen bzw. gezählt. Die Arbeit je eines Herzschlages ergibt die durch je einen Herzschlag geförderte Blutmenge mit der Höhe der Blutsäule, welch' letztere bei diesen Versuchen 10 cm betrug, da sich das Blutreservoir 1 cm und die Ausflussöffnung des arteriellen Rohres 11 cm über

---

1) Arbeiten aus dem physiologischen Laboratorium der Würzburger Hochschule 1872 S. 35.

dem Herzen befindet. Natürlich war hiermit auch die binnen einer Minute verrichtete Herzarbeit (Colonne 6) gegeben. Der maximale Blutdruck wurde aus dem Stand des Quecksilbermanometers berechnet; ich öffnete den Kreislauf gegen das Manometer und schloss ihn nach oben; die hierbei erhaltenen Niveaudifferenzen des Quecksilbers in den beiden Schenkeln des Manometers, 13,2 Mal genommen, geben den maximalen Blutdruck in Centimetern der Blutsäule. Die Volumänderungen des Herzens wurden auf dem entsprechenden Steigrohr direct abgelesen, da dasselbe volumetrisch graduirt war, und konnten auch mit dem Polygraphen verzeichnet werden. Die Höhen der Pulscurven wurden von dem Kymographionpapier, auf welches dieselben verzeichnet worden waren, abgemessen.

Bei dieser Anordnung der Versuche wurden das Herz und das Blut zuerst auf die erwünschte Temperatur gebracht und auf derselben $\frac{1}{4}$ Stunde lang ruhig belassen; hierauf wurden die Blut- und Volummessungen vorgenommen, dann das Blut mit dem Manometer in Verbindung gesetzt und die Pulscurven, Blutdruck und Volumänderung des Herzens auf das Kymographion verzeichnet. — Wenn auch bei einem solchen Verfahren, bei welchem die Beobachtungen nach einander erfolgen, der absolute Werth der erhaltenen Daten nicht streng erwiesen ist, so sind dieselben dennoch mit einander vergleichbar, da sie gewiss relativ genau sind.

(Siehe Versuchstabelle Nr. 2 auf S. 614.)

Ein Vergleich der Daten der hier mitgetheilten vier Versuche führt vor Allem zu dem Schlusse, dass die Schlagzahl der Herzen im Ganzen mit der Temperatur steigt. Besonders rasch ist diese Zunahme der Schlagzahl bei den niederen Temperaturgraden, bis etwa 20° C. Von da aufwärts nimmt die Schlagzahl entweder wieder weiter zu, wie in dem 1. und 3. Versuch, oder aber es erfolgt über 20 oder 25° C. eine Abnahme der Herzschläge, die aber dann in den höheren Temperaturen nicht constant weilersinkt (Versuch 2 und 4). Dementsprechend fällt das Maximum der Schlagzahl nicht immer auf dieselbe Temperatur: im ersten Versuch befindet sich dasselbe bei 38, im dritten bei 40, im zweiten bei 20 und im vierten bei 25° C., also in den Versuchen 1 und 3 in den hohen, bei Versuch 2 und 4 in den mittleren Temperaturgraden. Es sind dies individuelle Unterschiede. Herzen von Thieren desselben Fanges, die total gleich behandelt worden waren, die gleiches Gewicht haben und mit demselben Blut gefüllt wurden,

Versuchstabelle Nr. 2.

Versuchsnummer	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Temperatur ° C.	Zahl der Herz- schläge in 1 Minute	Die durch einen Herzschl. beförderte Blutmenge in g	Die binnen 1 Min. beförderte Blut- menge in g	Herzarbeit bei einer Systole in gcm	Herzarbeit binnen 1 Minute in gcm	Maximaler Blut- druck in cm der Blutsäule	Volumänderung in cc	Höhe einer Puls- curve in Hg-cm
1	5	28	0,26	7,28	2,6	72,8	37,8	—	0,7
	10	38	0,21	7,98	2,1	79,8	45,9	—	0,8
	15	37	0,22	8,14	2,2	81,4	45,9	—	0,8
	20	40	0,28	11,20	2,8	112,0	45,9	—	0,9
	25	40	0,25	10,00	2,5	100,0	45,2	—	0,9
	30	40	0,26	10,40	2,6	104,0	45,9	—	0,9
	35	54	0,17	9,18	1,7	91,8	40,5	—	0,7
	38	66	0,093	6,138	0,93	61,38	27,0	—	0,4
2	5	27	0,31	0,837	3,1	8,37	32,4	0,2	0,9
	10	5	0,24	1,20	2,4	12,0	27,0	0,1	0,9
	15	22	0,396	7,752	3,96	77,52	40,5	0,1	1,0
	20	30	0,323	9,69	3,33	96,9	37,5	0,1	1,0
	25	18	0,323	5,814	3,23	58,14	40,5	0,1	1,1
	30	18	0,27	4,86	2,7	48,6	32,4	0,1	0,8
	35	18	0,187	3,366	1,87	33,66	29,7	0,05	0,3
	40	18	0,115	2,070	1,15	20,70	10,8	0,04	0,2
3	10	15	0,135	2,025	1,35	20,25	27,0	0,05	0,4
	15	15	0,135	2,025	1,35	20,25	30,0	0,07	0,5
	20	19	0,094	1,786	0,94	17,86	24,3	0,06	0,3
	25	26	0,063	1,638	0,63	16,38	21,6	0,05	0,2
	30	40	0,063	2,520	0,63	25,20	18,6	0,02	0,1
	35	40	0,047	1,88	0,47	18,8	16,6	0,018	0,05
	10	3	0,354	1,062	3,54	10,62	53,0	0,30	1,8
	15	3	0,344	1,032	3,44	10,32	60,0	0,32	1,8
4	20	6	0,344	2,064	3,44	20,64	60,4	0,28	1,6
	25	11	0,344	3,784	3,44	37,84	56,7	0,28	1,6
	30	8	0,198	1,584	1,98	15,84	56,7	0,27	1,5
	35	6	0,192	1,152	1,92	11,52	54,0	0,13	1,3
	40	8	0,139	1,112	1,39	11,12	42,2	0,12	0,9

zeigen solche Differenzen. Der Ursache dieser individuellen Unterschiede nachzugehen, ist eine starke Geduldprobe. Steigt doch auch bei den einzelnen Menschen die Pulszahl bei der gleichen Temperatur nicht immer auf gleiche Weise. Wenn man aber sieht, dass die Herzen im 1. und 3. Versuch bei den niederen Temperaturen bedeutend rascher schlugen, bei 10° C. 38 bezüglich 15 Mal in der Minute, während im 2. und 4. Versuch bei der gleichen Temperatur und in derselben Zeit nur 5 bezüglich 3 Herzschläge erfolgten, so folgt, dass die Schlagzahl bei erregbareren Herzen in den höheren Temperaturen (30—40°) ansteigt und bei weniger reizbareren ihr Maximum bereits früher erreicht und dann abnimmt; diese Abnahme

bleibt constant und ändert sich in den hohen Temperaturen (bis 40°) nicht.

Aus allem dem folgt, dass erhöhte Temperatur im Allgemeinen die Herzschläge beschleunigt; nur erreicht diese Beschleunigung ihr Maximum, je nach dem Herzen, bei verschiedenen Temperaturgraden: bei reizbareren Herzen in den hohen, bei weniger reizbaren bereits in den mittleren Temperaturen, und steigt bei reizbaren Herzen bedeutend höher an als bei weniger reizbaren.

Bei hohen Temperaturen, $40-42^{\circ}$ C., werden die Herzschläge unregelmässig, die Pulse oft in Gruppen geteilt, die Pulscurven niedriger; bei 40° C. nach längerer Zeit, bei 42° C. nur bald hört das Herz auf, zu schlagen.

Die Blutmenge, welche das Herz mit je einem Schlag weiterbefördert, wechselt gleichfalls mit der Temperatur. Im Allgemeinen ist die ausgeworfene Blutmenge bei niederen ($5-10^{\circ}$ C.) bis mittleren ($20-30^{\circ}$ C.) Temperaturgraden bedeutend grösser als bei hohen Temperaturen. Ueber 30° C. nimmt die weiterbewegte Blutmenge oft sehr rasch ab. Wenn wir die binnen einer Minute geförderten Blutmengen berücksichtigen, so finden wir, dass dieselben von den niedrigen Temperaturgraden (5° C.) aus zunehmen. Diese Zunahme erreicht in dem 1., 2., 3. Versuch ihr Maximum bei 30° , im 4. bei 25° C., woraus folgt, dass das Herz das meiste Blut bei einer Temperatur von $20-30^{\circ}$ C. weiterfördert. Noch schärfer erscheint die Temperatur von $20-30^{\circ}$ C. als das Optimum für die Arbeit des Froschherzens, wenn man die Herzarbeit selbst, wie sie aus der 5. und 6. Colonne der 2. Tabelle ersichtlich ist, berücksichtigt. In dem Versuch 1 und 2 finden wir das Optimum der Herzarbeit bei 20° C. (112,0 und 96,9 gcm), in dem 4. Versuch bei 25° (37,84 gcm) und in dem 3. Versuch bei 30° (25,20 gcm). Die Beschleunigung, welche die Herzschläge über 30° C. erleiden, mehrt also nicht nur die Herzarbeit nicht, sondern die letztere nimmt bei hohen Temperaturen in auffallender Weise ab, so in dem 1. Versuch, wo dieselbe von 112 auf 61,38 gcm, in dem 3. von 25,2 auf 18,8 gcm sinkt. Selbst wenn die Herzschläge durch die hohe Temperatur nicht beschleunigt werden, wie in Versuch 2 und 4, so sinkt die Herzarbeit bei den hohen Temperaturgraden; in Versuch 2 und 4 geht dies

Sinken von 96,9 auf 20,70 bezüglich von 37,84 auf 11,12 gcm herab.

Während wir also fanden, dass bei reizbareren Herzen die Zahl der Herzschläge mit Zunahme der Temperatur bis 40° C. immer häufiger wird, stellt sich nun heraus, dass die Herzarbeit auf alle Fälle bei einer Temperatur über 30° C. abnimmt.

Es geht also die Herzarbeit nicht immer Hand in Hand mit der Pulszahl. So betrug im ersten Versuche die Herzarbeit per Herzschlag bei 5° C. 2,6 und bei 38° C. 0,93 gcm, in einer Minute im ersten Fall 72,8, im zweiten 61,38 gcm.

Auch der maximale Blutdruck des Herzens ändert sich mit der Temperatur (Colonne 7). Derselbe ist in den niederen und mittleren Temperaturen am grössten und sinkt bei Temperaturgraden von 35° C. und darüber.

In Colonne 8 sind die Volumänderungen des Herzens verzeichnet. Da sich hier sowohl die Vorhöfe als auch die Ventrikel in dem mit physiologischer Kochsalzlösung gefüllten Gefäss befanden, so ist auch hier natürlicher Weise nicht die Volumänderung des Herzventrikels, sondern die Differenz zwischen der Volumänderung des Ventrikels und des Vorhofes gegeben. Auch diese Differenz zeigt charakteristische Aenderungen. Bei den drei Herzen, an welchen diese Volumänderungen verzeichnet wurden, zeigen sich dieselben am grössten in den niederen und mittleren Temperaturen (5—30° C.); von da an sinkt die Volumänderung (Versuch 2).

Die durch die Herzschläge verzeichneten kymographischen Curven weisen entsprechende Veränderungen ihrer Höhe auf. Dieselben sind zwischen 5—30° C. entweder gleich gross (siehe Colonne 9 Versuch 1 und 2), oder sie sind bei den niederen Temperaturgraden (10—15° C.) am grössten und sinken von da an mit der Zunahme der Temperatur (siehe Versuch 3 und 4).

Bei hohen Temperaturen (40° C.) treten zugleich Störungen im Rhythmus der Herzcontractionen auf. Die Contractionen erscheinen oft in Gruppen geordnet, in welchen dieselben einander eventuell so rasch folgen, dass man die Erscheinung mit Recht als Herztetanus bezeichnen kann.

Wie bekannt ist die Frage, ob es einen Tetanus des Herzens gibt, bereits vielseitig discutirt und untersucht worden. Wenn man unter Tetanus eine solche dauernde Verkürzung des Muskels ver-

steht, welche durch Verschmelzung vieler einander rasch folgender Einzelcontractionen entstanden ist, dann muss man auch die in den Figuren 3—5 verzeichneten Herzcontractionen als Tetanus bezeichnen. Dieselben entsprechen genau den von Walther¹⁾ mitgetheilten Abbildungen der tetanischen Herzcontractionen. In Fig. 3 sieht man, wie sich eine überzählige Contraction auf den absteigenden Theil der Curve aufsetzt; in Fig. 4 sind bereits sechs und in Fig. 5 etwa 14 Contractionen einander superponirt. Es entsprechen diese Curven

Fig. 3.

Fig. 4.

Fig. 5.

einem unvollkommenen Tetanus, den man am quergestreiften Muskel erhält, wenn der folgende Reiz denselben bereits während seiner Erschlaffung, seiner Streckung trifft. Walther erhielt bei seinen Versuchen Superpositionen am spontan schlagenden Herzen nur ein Mal bei Muscarinvergiftung, konnte aber solche durch künstliche Reizung der mit Muscarin vergifteten Herzkammer erhalten, sowie auch bei Anwendung genügend starker und frequenter Reize Tetanus erzeugen. Meine Abbildungen zeichneter Herzen, welche sonst regelmässig schlugen, bei Erwärmung auf 40 ° C. Wie das künstlich gereizte Muscarinherz so summirt seine spontanen Contractionen das auf 40 ° C. erwärmte Froschherz. Walther gelang es, die durch Muscarin erzeugte Fähigkeit des Ventrikels zu Superposition und Tetanus durch Atropin aufzuheben; mir gelang dies durch Abkühlen des Herzens und des Blutes.

Da die Superposition bei meinen Versuchen nur bei jener Temperatur auftrat, bei welcher die Herzarbeit am geringsten ist, und welche bei längerer Dauer das Herz zum Stillstand bringt, so folgt, dass geschwächte Herzkraft eine Bedingung dieser Erscheinung ist. Hohe Temperaturgrade wirken reizend, zugleich aber auch schwächend auf die Herzmuskulatur, und diese beiden Einflüsse zusammen sind die Ursachen der beobachteten Superposition der Herzcontraction.

Als Gad und Heymans²⁾ den Einfluss der Wärme auf die

1) Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. 78 S. 597. 1900.

2) Arch. f. Physiol. 1890 Suppl. S. 59.

Contractionen der mit Curare vergifteten Froschmuskeln untersucht, stellte sich heraus, dass die Hubhöhe derselben bei 30 ° C. ihr absolutes Maximum erreicht. Von 30 ° C. aufwärts nimmt die Höhe der Zuckung mehr und mehr ab; die Erregbarkeit gegen den elektrischen Reiz verschwindet fast vollständig. Auch die Tetanushöhe steigt von 0 ° C. langsam an bis zu einem etwa bei 30 ° C. gelegenen Maximum, um von da an, mit Zunahme der Temperatur, abzunehmen. — Mit diesen stimmen meine Ergebnisse am Froschherzen insoweit überein, als auch hier das Maximum der Arbeitsleistung zwischen 20—30 ° C. liegt. Von hier an nimmt dieselbe ab, rascher bei Zunahme als bei Abnahme der Temperatur.

Die Nerven betreffend wurde eben am Froschnerven nachgewiesen, dass deren Erregbarkeit bei 40—50 ° C. am grössten ist. Der Einfluss, welchen die Temperatur auf die Herzarbeit ausübt, ist demnach eine Folge der Einwirkung derselben auf den Herzmuskel. Dieser Einfluss kann die Schlagzahl des Herzens von 28 auf 66, von 15 auf 40 Schläge per Minute steigern und kann die Herzarbeit zum Beispiel von 8,37 auf 96,9 gcm heben. Wenn dem aber so ist, dann kann nur der Einfluss der Temperatur auf die Muskelzellen die Ursache der beobachteten Erscheinungen sein; mit der Temperaturänderung treten also Aenderungen im Ablauf der Erregungsprocesse im Muskelement des Herzens auf. Hierin liegt demnach ein weiterer Beweis für die von Engelmann begründete Anschauung, nach welcher die motorischen Reize im Herzen vor Allem in den Muskelzellen selbst entstehen.