

Die Ausmessung der strömenden Blutvolumina.

Von

Dr. J. Dogiel.

Die Fortschritte, welche in der Lehre von den Gefässnerven geschehen sind, lassen die Strömungen des Bluts in einem neuen Lichte erscheinen; somit erwecken sie den Wunsch, die Folgerungen, zu welchen die Nervenreizung geführt, unmittelbar durch die Anschauung des Blutstroms bestätigt, vielleicht auch erweitert zu sehen. — Die vervollkommeneten Methoden der Gerinnung und Zerlegung der Blutgase haben die Aussicht eröffnet, dass man die Veränderungen des Gasaustausches, welcher innerhalb der Organe geschieht, genauer als bisher werde darstellen können, wenn es gelingen sollte, entsprechend genau die Blutmengen zu messen, welche durch beschränkte Gefässabschnitte fließen.

Ein Verfahren, welches die ausgesprochenen Wünsche befriedigen sollte, musste den beiden Bedingungen genügen: auf kleine Arterien bis zu 1 Mm. Durchmesser herab anwendbar zu sein, und die durch den untersuchten Querschnitt gegangenen Volumina arteriellen Blutes mit einer Genauigkeit anzugeben, die nicht allzuweit von derjenigen anderer Methoden abstand, mit denen sie combinirt werden sollte. Beide Bedingungen werden aber, um noch von Anderm abzusehen, durch die Dromometer von *Volkmann* und den Pendel von *Vierordt* mit den Verbesserungen von *Chauveau* nicht befriedigt. Die genannten Methoden haben unzweifelhaft ihren grossen Werth; insbesondere dürfte das Strompendel, in der Form, die ihm *Lortet* *) ge-

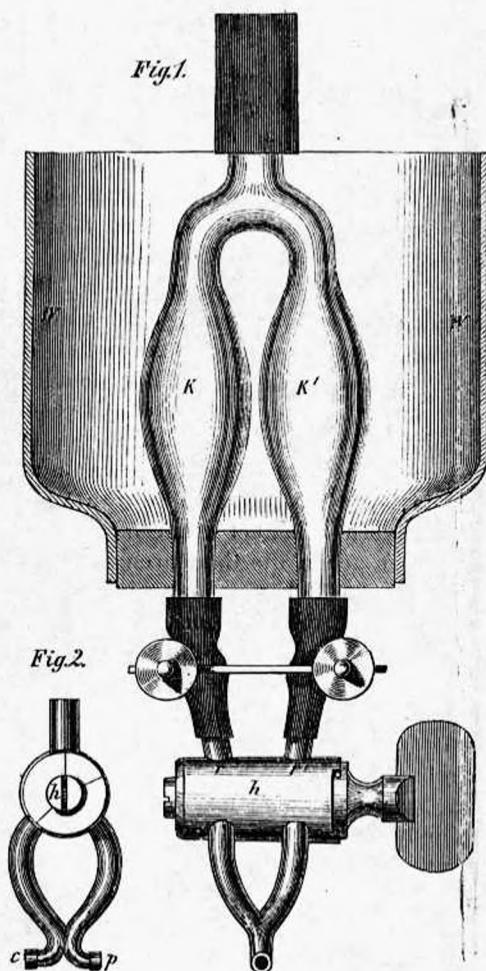
*) *Recherches sur la vitesse du cours du sang.* Paris 1867.

geben, als ein Mittel anzusehen sein, dem noch manche Entdeckung gelingen wird; aber brauchbar ist auch dieses nur für Arterien von grossem Caliber und ausgesprochenermaassen giebt es nur proportionale, keine absoluten Nachrichten über die mittlere Geschwindigkeit.

Für unsere Zwecke mehr geeignet erschien ein Instrument, welches von Professor *C. Ludwig* angegeben wurde; da dasselbe noch nicht auf seine Anwendbarkeit geprüft war, so übernahm ich nach Aufforderung diese Arbeit in dem Institut zu Leipzig.

Das Princip des neuen Verfahrens ruht, um mit den Wasserbaumeistern zu sprechen, auf der Aichung des Stromes; es misst also das gesammte Volum an Flüssigkeit, welche während der Beobachtung durch ein Gefäss gegangen ist. Um diese Absicht zu ermöglichen wird in den Verlauf einer Arterie ein kurzer aufrechtstehender Glasheber eingeschaltet, dessen beide Schenkel kugelförmig aufgeblasen sind. Der dem Herzen zugewendete Heberschenkel ist mit gereinigtem Olivenöl, der nach den Capillaren hin gerichtete mit defibrinirtem Blut gefüllt. Lässt man nach geschehener Einschaltung den Blutstrom in das Instrument treten, so wird das vom Herzen kommende Blut das Oel in den andern Schenkel drängen, der blutige Inhalt dieses letzteren aber gegen die Capillaren hin abfliessen. Da der Inhalt der Kugeln bekannt und die Zeit messbar ist, welche zur Verdrängung des Oels aus der ersten Kugel nothwendig war, so erfährt man unmittelbar die Blutmenge, welche in der Zeiteinheit durch die Arterie geht. Diese Art zu beobachten würde jedoch, schon wegen der Kürze ihrer Zeitdauer, sehr mangelhaft sein, wenn nicht diesen und andern Uebelständen dadurch abgeholfen wäre, dass die Kugeln zu einem neuen Versuche zu verwenden sind, ohne dass man dieselben aus ihrer Verbindung mit dem Blutgefäss zu lösen braucht. Durch eine Zuthat, welche der Heber empfangen hat, ist darum dafür gesorgt, dass der vom Herzen kommende Strom, nachdem er die erste Kugel gefüllt, augenblicklich in die zweite ölhaltige Kugel eindringen, und dass zu derselben Zeit das in der ersten Kugel enthaltene Blut nach den Capillaren hin ausfliessen muss. Diese alternirende Füllung jeder Kugel bald mit Blut und bald mit Oel konnte in den mir überlieferten Apparaten auf zwei verschiedene Weisen bewirkt werden; entweder durch einen Stromwender, welcher dem Gyrotop

nachgebildet ist, oder dadurch, dass die Kugeln selbst gedreht werden konnten. Da ich beide Modificationen des Instruments

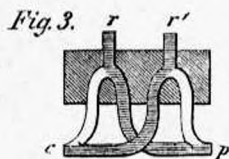


benutzt und geprüft habe, so werde ich beide beschreiben und beide dadurch unterscheiden, dass ich die Eine als Stromuhr mit Stromwender, die Andere als Stromuhr mit Kugeldrehung

bezeichne. Ich bemerke jedoch, dass ich dem Instrumente mit Kugeldrehung schliesslich den Vorzug gegeben habe, schon darum, weil die mechanischen Schwierigkeiten seiner Herstellung und seines Gebrauchs die weitaus geringeren sind.

Stromuhr mit Stromwender.

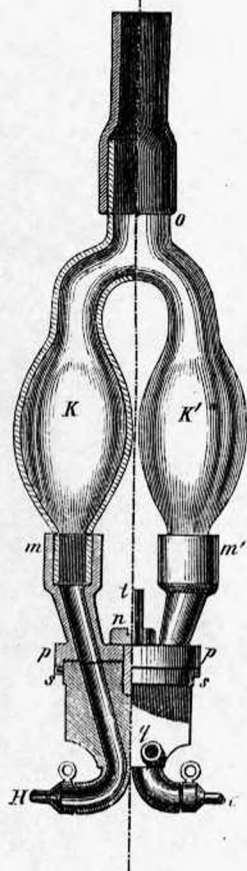
Ihre Einrichtung ist in natürlicher Grösse durch die Holzschnitte 1, 2, 3 versinnlicht. Jede der beiden Glaskugeln Fig. 1 kk' ist an ihrem freien Ende durch einen Kautschukschlauch mit den Metallröhren rr' verbunden, die aus dem stromwendenden Hahn hervorgehn. Die Anordnung der Röhren innerhalb des stromwendenden Hahns verdeutlicht die Fig. 3 schematisch, rr' stellen die metallenen Hülsen des Hahns von Fig. 1 vor; man sieht, dass innerhalb des



Hahns jeder Canal sich theilt und dass dann jenseits des Hahns je zwei dieser Röhren wieder zu einer zusammengefasst werden. — Die beiden Canäle c und p vermitteln die Verbindung der Uhr mit der Arterie, und zwar so, dass wenn c in das centrale Ende der letztern eingeschaltet ist, p mit dem peripheren Ende derselben in Verbindung steht. Die Art, wie die Verbindungsanäle zwischen Uhr und Arterie am Apparat wirklich angeordnet sind, lässt Fig. 1 in der Flächen- und Fig. 2 in der Stirnansicht des Hahns erkennen. Durch diese Art der Hahnbohrung ist also jede der beiden Kugeln mit jedem der beiden Arterienenden in Verbindung zu setzen. Die Bohrungen im Kern des Hahnes sind so gestellt, dass die Verbindungen $c r'$ und $p r$ verschlossen sind, wenn $c r$ und $p r'$ offen stehn; in der Figur ist dieses dadurch angedeutet, dass $c r'$ und $p r$ schraffirt, $c r$ und $p r'$ dagegen nicht schraffirt sind. Die Wirkung dieser Röhrenkreuzung ist leicht verständlich; gesetzt, es komme von der Herzseite c der Strom zunächst durch r in die ölhaltige Kugel k , so wird der Strom aus der Kugel k' durch das Rohr r' nach p hin abfliessen müssen. Wenn in Folge hiervon das Blut, welches die Kugel k' enthält, nach der Capillarensseite hin ausgetreten und durch Oel ersetzt ist, so dreht man den Kern des Hahns so weit, bis die Röhren $c r$ und $p r'$ verschlossen und dafür die

Röhren $c r'$ und $p r$ eröffnet sind. Das von c kommende Blut geht nun zunächst durch $c r'$ in die ölhaltige Kugel k' und drängt von hier das Oel in die Kugel k , die ihr Blut durch $p r'$ nach c hin entleert. Aus dieser Darstellung wird ersichtlich, dass man so lange, als dies durch die Blutgerinnung nicht gehindert wird, einen Strom des Bluts von c nach p führen kann, wenn man nur die Umdrehung des Hahns jedesmal zu richtiger Zeit vornimmt.

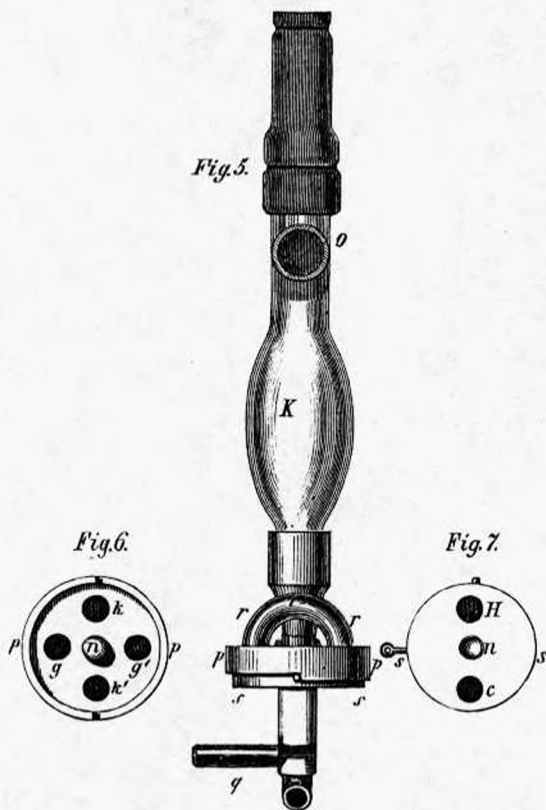
Fig. 4.



Stromuhr mit Kugeldrehung.

Die Holzschnitte 4 bis 7 versinnlichen ihren Bau. In Fig. 4 ist die eine der Kugeln (k) sammt ihren metallenen Fortsetzungen im Durchschnitt, die andere derselben (k') in der Flächenansicht gezeichnet. Jede der Kugeln ist, wie man sieht, an ihrem freien Halse von einer Metallhülse ($m m'$) umgeben, welche aus der Platte pp hervorgeht. Die Platte pp liegt auf der Scheibe ss ; in Berührung mit dieser wird sie erhalten durch eine in das Centrum beider Stücke eingesetzte Schraube; ausserdem umgreift die Platte pp auch noch den halben Umfang des freien Randes der Scheibe ss durch einen Halbring, der über die untere Fläche der Platte pp hervorragt. — Die Metallscheibe ss (siehe Fig. 7) ist zweimal durchbohrt; diese Bohrlöcher setzen sich in zwei Röhren nc fort, deren Fleisch in das der Scheibe ss übergeht. Die Röhren hc , welche die Zuflussröhren der Kugeln genannt werden sollen, können mit Hülfe von angesetzten Canülen in die beiden Enden der durchschnittenen Ar-

terie eingefügt werden. — Da die Schrauben (Fig. 4, 6, 7), welche das Centrum der beiden Kreisflächen pp und ss durchbohrt, nur sanft angezogen ist, so kann die Platte pp sammt den von ihr getragenen Kugeln auf der Scheibe ss um 180° gedreht werden, wobei in ihren Grenzstellungen entweder die Kugel k über



die Ausmündung der Röhre h oder über die Fortsetzung von c gelegen ist. Gesetzt, es sei ursprünglich k mit Oel gefüllt gewesen und k' mit defibrinirtem Blut, so wird der Strom, welcher von der Herzseite h herkommt, das Oel nach k' drängen und das Blut dieser letztern Kugel wird durch c ausweichen.

Ist die Kugel k' bis zu ihrer untern Grenze mit Oel gefüllt, so dreht man rasch die Kugel um, so dass die Mündung der Kugel k' über die Oeffnung von h auf der Platte s zu liegen kommt, wodurch natürlich die Kugel k gegenüber der Mündung von c steht. Um aber dem Blutstrom ausser dem eben beschriebenen Weg durch die Kugeln noch einen andern kürzeren zu gestatten, kann man der Platte pp noch zwei Bohrungen ertheilen, deren Mittelpunkte auf einer Linie gelegen sind, die senkrecht zu der Verbindungslinie der Centren jener Bohrlöcher gerichtet ist, welche in die Hülzen für die Glaskugeln übergehen. Der Holzschnitt 6 giebt die untere Flächenansicht der Scheibe pp ; $k'k$ sind die Bohrlöcher, welche den Kugeln entsprechen. Die Bohrlöcher gg sind die neuen, so eben beschriebenen. Diese Bohrlöcher sind auf der obern Fläche der Scheibe pp durch eine kurze gekrümmte Röhre r mit einander verbunden.

Der Holzschnitt 5 stellt unsern Apparat in der Seitenansicht dar. In ihr ist jedoch nur die Kugel k erhalten, die Kugel k' dagegen abgeschnitten, so dass man die kurze Röhre rr ihrer ganzen Länge nach sieht; man bemerkt, dass der kleine Bogen, den sie bildet, zwischen den Schenkeln des grösseren herläuft, der durch die Kugeln hergestellt wird. Hat man die Plattenmündungen der Röhre rr den Mündungen h und c gegenüber gestellt, in welche die Gefässcanülen auf der Scheibe ss sich öffnen, so nimmt natürlich der Blutstrom seinen Weg durch die kurze Röhre und der Inhalt der nun abgeschlossenen Kugel bleibt in Ruhe.

Nachdem ich hiermit im Allgemeinen den Bau des Apparats genügend erklärt zu haben glaube, gehe ich zu einer specielleren Darstellung seiner einzelnen Stücke und seines Gebrauchs über.

1. Form und Grösse der Kugeln. — An den Glasbogen, welcher die beiden Kugeln k verbindet, wird in den Zeichnungen 2 und 4 schon ein kurzes Glasröhrchen o aufgefallen sein, welches von der Mitte des Bogens senkrecht emporsteigt. Dieses Röhrchen ist nothwendig, um das Oel in die zweite Kugel einzufüllen, nachdem die erste sowohl wie die metallenen Röhrenstücken des Apparates schon von unten her mit Blut gespeist waren. Sind die Kugeln mit Oel und Blut gefüllt, so bleibt öfter noch eine kleine Luftblase in irgend einem Theil des Apparats zurück, welche jedesmal ihren Weg in das kurze senkrechte Röhrenstück sucht und somit aus der Strombahn

herauskommt. Das Kautschukröhrchen, welches auf das senkrechte Glasrohr gesetzt ist, gestattet mittelst einer Klemme oder Glasstopfens einen raschen und sichern Verschluss dieser seitlichen Oeffnung.

Die Räumlichkeit der Kugel muss man der Grösse des Thiers anpassen, an welchem der Apparat angewendet wird. Als ich meine Versuche begann, wendete ich Kugeln an, von denen je eine 42 Ccm. fasste. Schon nach einem Versuch kam ich von dem Gebrauche so grosser Kugeln zurück; ich habe von da ab mit Vortheil bei grösseren Hunden Kugeln gebraucht, von denen je eine von einer Marke des untern Halses bis zu einer andern des obern 44,7 bis 45,3 Ccm. fasste; bei Versuchen an kleineren Hunden dienten Apparate mit einem Kugelraum von 6,4 bis 6,3 Ccm., bei Versuchen an Kaninchen endlich fasste jede der Kugeln nur 2 Ccm.; bei dieser Räumlichkeit wächst die Zeit, welche zur Füllung einer Kugel verbraucht wird, so weit an, dass sie noch mit hinreichender Genauigkeit bestimmt werden kann; denn nur in sehr seltenen Fällen sinkt die Zeit, in welcher sich eine Kugel füllt, unter 8 bis 10 Secunden herab. Den Kugeln ein grösseres Volum zu geben, verbietet der Umstand, dass die Fälle gar nicht selten sind, in welchen zur Füllung der Kugeln 30, öfter sogar über 100 Secunden nothwendig sind. Hätte man bei einem so langsamen Blutstrom noch grössere Kugeln benutzt, so würde man immer Gefahr laufen, den Versuch wegen eingetretener Blutgerinnung unsicher zu machen.

Der Rauminhalt der beiden Kugeln muss immer möglichst gleich gross sein; eine Aufgabe, die ein geschickter Glasbläser bekanntlich leicht erfüllen kann. Den Inhalt meiner Kugeln von einer Marke zur andern habe ich durch Auswägen mit Wasser oder Quecksilber bestimmt und nur solche Kugelpaare in Gebrauch gezogen, die von einer Verengerung zur andern keinen grösseren Unterschied ihrer Räumlichkeit als höchstens von wenigen Zehnthellen eines Cubikcentimeters darboten. Die Kugeln von ungefähr 45 Ccm. unterschieden sich von 0,2 bis zu 0,3 Ccm. von einander, die von ohngefähr 6 Ccm. nur durch 0,4 Ccm. Die kleinste Sorte endlich hatte paarweise genau denselben Binnenraum.

Die Form, welche man den kugelartigen Gefässen giebt, ist nicht gleichgültig, weil bekanntlich beim Uebergang eines

kleinen Stromquerschnittes in einen grösseren durch ungünstige Verhältnisse der Dimensionen Wirbel entstehen, welche den fortschreitenden Strom sehr hemmen. Man sollte nun allerdings denken, dass dieses bei einer so unregelmässigen Bewegung wie der Blutstrom nicht von wesentlicher Bedeutung sei; ich habe mich jedoch vom Gegentheil überzeugt, denn ich fand einen Unterschied im Widerstand je nachdem ich den Kugeln bei gleicher Weite ihres Einflussrohrs und gleicher Entfernung der Ausflussmündungen eine mehr oder weniger bauchige Gestalt geben liess. — Der Durchmesser der gläsernen Eingangsröhren in die Kugeln betrug bei allen Kugelsorten etwas über 5 Mm. Bei der kleinsten betrug der Durchmesser der grössten Ausbuchtung der Kugel etwa 14 Mm. und die Entfernung dieses Querschnitts von der Ein-, resp. Ausflussmündung 11 Mm. Bei der mittleren Kugelsorte waren die genannten Werthe 17 und 19 Mm. Bei der grössten Kugelsorte endlich 24 und 26 Mm. Die Verhältnisse zwischen den Durchmessern des grössten und kleinsten Querschnitts und ihren Abständen von einander weichen von denjenigen beträchtlich ab, welche die praktischen Hydrauliker den conisch zulaufenden Röhren ertheilen, wenn sie das Minimum des Widerstandes herbeizuführen trachten*). Dem entsprechend habe ich nun auch bemerkt, dass in meinen Kugeln Wirbel entstanden, wenn ich dieselben in einen geradlinigen Wasserstrom einschaltete. Meine Kugeln haben also keinesfalls das Minimum des Widerstandes gegeben; trotzdem konnte ich dieselben, wie man sehen wird, noch mit Vortheil verwenden; damit soll jedoch keineswegs die Meinung ausgesprochen sein, dass eine besondere Versuchsreihe über die günstigste Gestalt der Kugel unnötig wäre; ich bin an ihr nur deshalb verhindert worden, weil Leipzig keinen geschickten Glasbläser beherbergt.

2. Metallröhren zwischen den Glasstücken und der Arterie. — Die Bedingungen, welche die Gestalt dieser Theile bestimmen, sind theils durch physiologische und theils durch physikalische Rücksichten bestimmt. Aus physiologischen Gründen wird man die Abstände der Zu- und Ausflussmündungen von einander möglichst gering zu machen haben und insbesondere

*) *Eytelwein*, Handbuch der Hydraulik. Leipzig 1842. S. 86 ff.

wird dieses bei den Apparaten der Fall sein müssen, welche man in kleinere Gefässe einsetzen will. Dieses leuchtet ohne Weiteres ein. Bei meinen kleinen Apparaten betrug der Abstand der beiden Mündungen 8 Mm. Daraus folgt nun, wie die Fig. 2 sehen lässt, dass die Röhre, um von der Arterie bis zur Kugel zu gelangen, in einem Bogen gehen muss. Diese Biegungen müssen selbstverständlich so allmählig geschehen, dass nirgends ein Knick oder ein Vorsprung entsteht.

Wenn man sich nun auch Apparate von verschiedenen Dimensionen bauen lässt, so wird dieses doch nicht in so grossem Umfang geschehen, dass man jedesmal einen auswählen könnte, dessen freie Mündung sich genau an den Durchmesser der Blutgefässenden anschliesse, welche man zum Behuf des Versuches blossgelegt hat. Man wird sich also immer entschliessen müssen, einen Apparat von derselben Dimension für Arterien von verschiedenem Durchmesser anzuwenden, wobei man sich jedoch gewisse Grenzen zwischen den Maassen des Apparates und der zu verwendenden Arterie feststecken kann und muss. Um sich aber innerhalb dieser Letzteren von dem Missverhältniss zwischen den Durchmessern der Arterien und der Röhrenmündungen frei zu machen, wird man sich eine Anzahl von Canülen erwerben müssen, welche conisch zulaufen; die weitem Enden derselben müssen sämtlich auf die Mündungsröhren des zugehörigen Apparates aufgeschliffen sein, so dass sie durch blosses Aufstecken wasserdicht schliessen. Das engere Ende der Canüle muss dagegen bei verschiedenen Exemplaren einen ungleichen Durchmesser besitzen; so wurden z. B. für den kleineren Apparat, dessen metallene Mündungen 3 Mm. betragen, eine Anzahl von Canülenpaaren hergestellt, deren Durchmesser an der Mündung, welche in der Arterie eingesetzt werden sollte, von $\frac{1}{4}$ bis zu $\frac{1}{4}$ Mm. wuchsen. Hätte also das an ihrem Arterienende engste Canülenpaar einen Durchmesser von 1 Mm. besessen, so würde das demnächst darauf folgende $1\frac{1}{4}$, das darauf folgende $1\frac{1}{2}$ Mm. Durchmesser an seiner arteriellen Mündung gehabt haben u. s. f. Wenn nun die Arterie blossgelegt ist, so misst man mit einem Tasterzirkel ihren äussern Durchmesser und sucht sich unter dem Canülenvorrath dasjenige Paar aus, dessen engste Mündung um etwas weiter als der äussere Durchmesser der Arterie ist, und setzt dieses in die letztere ein, was trotz der grösseren Weite der

Canüle immer möglich ist. Die Ausdehnung, welche die Arterie durch die so beschaffenen Canülen erfährt, verhindert zugleich, dass die Lichtung der Arterie durch das eingesetzte Röhrchen beengt wird; rührten also die Schaden der Einsetzung nur von der Beengung des Arterien durchmessers her, so würde jedem Uebelstande abgeholfen sein; dieses ist jedoch nicht der Fall, indem ja ebensowohl die plötzliche Erweiterung wie die plötzliche Verengung schädlich ist; jedenfalls wird also durch die Einsetzung starrer Röhren ein Widerstand eingeführt werden, der jedoch unter keinem Umstand vermieden werden könnte, weil ja die Arterie fortwährend mit dem wechselnden Druck ihres Inhalts den Durchmesser ändert. Hierauf komme ich später noch zurück.

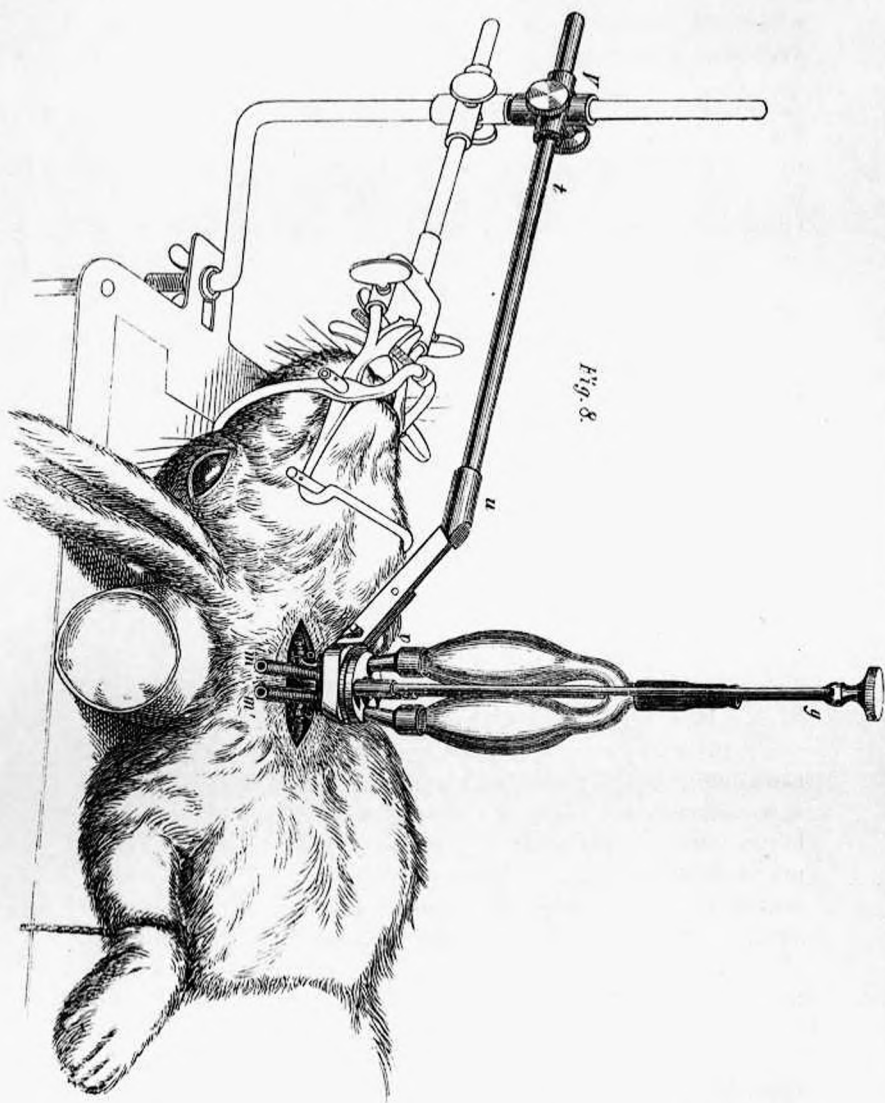
Die Metallstücke, welche sich von dem engern Durchmesser der Canülen bis zu dem weiteren der Kugel erstrecken, müssen ganz allmählig am Lichte wachsen, eine Forderung, die bei der Stromuhr mit drehbaren Kugeln ohne grosse Schwierigkeit zu erfüllen ist.

Damit bei den verschiedenen Stellungen, welche die obere Platte gegen das in den Arterien festsitzende Stück annimmt, die Mündungen der ersteren genau auf diese letztern passen, müssen beide Platten mit Vorsprüngen versehen sein, welche die Drehungen der obern Scheibe nur bis zu der verlangten Grenze auf der untern gestatten. Wenn, wie in der Regel, der Strom nur innerhalb der Kugeln seine Richtung ändern soll, so genügt es, dem untern Rand der obern Scheibe in einer Ausdehnung von 180° einen Ausschnitt, und dem freien Rand der untern Scheibe und zwar gerade einer Kugel gegenüber einen kleinen Vorsprung zu ertheilen; wenn dagegen ein Apparat benutzt werden soll, in welchem ausser den Kugeln auch noch das Röhrchen *rr* (Fig. 4) aufgesetzt ist, so muss die Stellung für dieses durch eine kleine Oeffnung markirt sein, welche den Rand der obern Scheibe durchbohrt und noch um ein Kleines in das Fleisch der untern hineinragt. In diese sich entsprechende Oeffnungen beider Scheiben passt ein Stifchen, durch dessen Einstecken die Lage der Theile zu einander fixirt werden kann. Diese letztere Art der Arretirung nimmt allerdings etwas mehr Zeit in Anspruch, was hier jedoch von keiner Bedeutung ist, da es im Gang des Versuchs niemals nöthig wird, plötzlich aus der Stellung, in welcher das Blut durch die Ku-

geln läuft, in diejenige überzugehen, bei welcher es seinen Weg durch das kurze Röhrchen nimmt.

3. Die Anlegung und Feststellung des Apparats. Die Fig. 8 giebt das Bild eines Kaninchens, in dessen a. Carotis der Apparat eingesetzt ist. Man gewahrt zunächst, dass der Kopf des Thieres bei gestreckter Lage des Halses sehr sorgfältig fixirt ist; zu dieser Feststellung dient der sehr zweckmässige und sinnreich construirte Kopfhalter von *Czermak*. Da dieses nützliche Instrument sehr rasch eine grosse Verbreitung in der physiologischen Welt gefunden hat, so glaube ich, trotzdem, dass eine Beschreibung desselben noch nicht erschienen ist, doch einer solchen überhoben zu sein. Für meinen Zweck war der Halter um so werthvoller, weil er den Blutstrom durch die Kopfhaut in keiner Weise beeinträchtigt und das Thier nicht schmerzhaft erregt, was dem früher im hiesigen Laboratorium gebrauchten und von *Loven* beschriebenen Kopfhalter nicht nachgerühmt werden kann. Der Halter von *Czermak* eignet sich nicht allein für das Kaninchen, sondern in etwas grösseren Dimensionen ausgeführt auch für kleine Hunde. Bei grösseren Hunden bedarf man seiner nicht; bei ihm reicht man mit dem bekannten an einem Eisenstab befestigten Knebel aus, bei welchem die Zange des *Czermak'schen* Kopfhalters durch eine Schnur ersetzt ist.

Ist das Thier am Kopf und den Gliedmassen auf dem Operationsbrett befestigt, so legt man die Arterie durch eine entsprechende Wunde bloss, sucht nach der vorher gegebenen Anleitung das passende Canülenpaar aus, legt 2 kleine Klemmpincetten in der entsprechenden Entfernung an der Arterie an, schneidet ein kurzes Stück aus der Arterie und bindet darauf die Canülen ein. Das freie Ende dieser letztern steckt man alsdann über die Mündung des vorher gefüllten Apparats, wobei natürlich den Mündungen der Kugel auf der oberen Scheibe eine solche Stellung gegeben werden muss, dass dieselben durch die untere Scheibe verschlossen sind. Um das Abgleiten der Canülen von den Mündungen des Apparats zu vermeiden, zieht man dieselben mittelst eines Fadens gegen einander, der durch die Ringchen der Canülen läuft. Darauf giebt man den Canülen und dem Apparat die Lage, bei welcher die Enden der durchschnittenen Arterie, ohne Zerrung zu erleiden, in gerader Fort-



setzung zu einander liegen. In dieser Stellung befestigt man den Apparat unverrücklich, wozu die Zange *tuv* dient, welche in einer Hülse *q* steckt, die auf demselben Stabe zu bewegen

und zu befestigen ist, der auch den Kopfhalter trägt. Damit die beiden Backen der Zange, die durch die Schraube *v* sicher aneinander gepresst werden kann, den Apparat fest halten können, sind die beiden Röhren, welche von der Scheibe *ss* (Fig. 2) zu den Mündungen *H* und *C* gehen, in eine starke Messingplatte eingelassen, welche in Fig. 2 von der Flächen- und Fig. 4 in der Seitenansicht dargestellt ist.

Will man mit der Geschwindigkeit zugleich den Druck messen, so setzt man das oder die Manometer mit den Röhrenchen *mm'* in Verbindung, von denen das eine diesseits der ersten Kugel, das andere jenseits der zweiten mit den metallenen Ausflussröhren der Kugeln in Verbindung steht. Beabsichtigt man keine Druckbeobachtungen, so müssen die Röhrenchen *mm'* durch Kautschuk und Klemmen verschlossen werden.

Für die rasche und sichere Drehung der Kugeln ist es nothwendig, mit der obern Scheibe noch eine Gabel *g* zu verbinden. Die unteren Enden der Gabelzinken laufen in 2 HülSEN aus, welche auf zwei kurze Stäbchen gesteckt werden, die aus der obern Fläche der Scheibe *ss* hervorragen, von denen einer in Fig. 2 bei *t* zu sehen ist. Wenn der Apparat in der Zange gut festgehalten wird, so kann man mit der Gabel die Umdrehung der Kugel fast momentan bewerkstelligen.

4. Füllung des Apparats. — Das Blut, welches ursprünglich in beide Metallröhren und in eine der Kugeln einzuführen ist, habe ich immer von einer Thiergattung genommen, die mit derjenigen gleichnamig war, an welcher ich den Versuch anstellen wollte. Es war frisch geschlagen und durch Leinwand filtrirt. — Das Oel, welches ich anwendete, war neutrales Olivenöl, das anhaltend und mit wiederholt erneuerten Quantitäten von Wasser erwärmt und geschüttelt wurde. Hierdurch entzieht man dem Oel bekanntlich seine schleimigen Bestandtheile, die Entfernung derselben ist durchaus nothwendig, weil sich ohne dieses das Oel beim Hingang an der Glaswand nicht löst, so dass alsdann die Grenze zwischen Blut und Oel keine scharfe wird. Ist dagegen das Oel schleimfrei, so verdrängt das Blut die über ihm liegende Oelschicht höchst vollständig bei ihrem Fortschreiten von der Glaswand, so dass von dieser Seite her in der engen wie in der weiten Abtheilung des Apparats der Versuch den strengsten Anforderungen entspricht. Die Einfüllung des Blutes muss der des Oeles vorausgehen; sie

geschieht mit einer Spritze, die durch ein Kautschukröhrchen an die Ein- und Ausflussmündung des Apparats gesetzt wird, von unten her. An der einen Seite füllt man die Kugel so weit, dass das Blut bis an die Marke reicht, welche oberhalb der Kugel angebracht ist; die andere Seite füllt man dagegen nur bis zu der Marke unterhalb der Kugel mit Blut. Ist die Einfüllung des Blutes geschehen, so dreht man die Scheibe, welche die Kugeln trägt, um einen rechten Winkel, mit andern Worten: man giebt ihnen eine Stellung, bei welcher ihre unteren Oeffnungen abgeschlossen sind. In dieser Lage führt man alsdann das Oel ein, und zwar durch die Oeffnung des Röhrchens, das senkrecht aus dem Verbindungsbogen der beiden Kugeln emporsteigt, mittelst einer fein ausgezogenen Glasröhre, damit das eindringende Oel der im Apparat enthaltenen Luft den Austritt nicht verwehrt. Ist der vom Blute übriggelassene Raum mit Oel erfüllt, so verschliesst man die Oeffnung des senkrechten Füllungsrohrchens.

Aus Gründen, die sogleich besprochen werden sollen, ist es immer rathsam, gleichzeitig mehrere Apparate vorzubereiten, die selbstverständlich von möglichst gleichen Dimensionen sein müssen.

5. Temperatur des Inhalts der Kugeln. — Wegen der reizenden Wirkung, welche ein Blut von niederer Temperatur auf die Gefässmuskeln und bei Versuchen an der Carotis auf das Hirn ausübt, muss man es für wünschenswerth halten, dass das Blut, welches aus dem Apparat in die Gefässbahnen eindringt, der normalen Körperwärme möglichst gleichkomme. Um dieses zu erzielen, pflegte ich die gefüllten Apparate vor ihrer Einsetzung in einen Raum zu hängen, dessen Temperatur zwischen 36 und 40° schwankte, damit der flüssige Inhalt der Kugeln sich auf die bezeichnete Höhe erwärmte. Diese Vorherbereitung genügt, vorausgesetzt, dass der Blutstrom ein rascher ist, sodass etwa binnen 10 bis 15 Secunden das Blut aus der einen Kugel entleert und durch neues in der andern ersetzt wird; wenn dagegen zur Füllung einer Kugel durch den natürlichen Blutstrom viele Secunden verbraucht werden, und wenn in Folge dessen der Inhalt des Apparats voraussichtlich Zeit hat, um sich merklich abzukühlen, so wird es gerathen sein, die Erwärmung auch noch während des Versuchs fortzusetzen. Diese Vorsichtsmaassregel empfiehlt sich vorzugsweise bei Beob-

achtungen an Kaninchen, da bei ihnen wegen der kleinen Dimensionen des Apparats die Abkühlung vorzugsweise rasch erfolgen kann; da ferner bei den genannten Thieren die Fälle sehr langsamen Blutstroms häufiger sind, und endlich, weil es den Anschein hat, als ob die Gefässe der Kaninchen viel mehr als die des Hundes durch Abweichungen, welche die Temperatur des Blutes von der normalen erleidet, zu Contractionen veranlasst würden.

Damit man auch während des Versuchs die Kugeln in einen Raum von beliebiger Temperatur bringen kann, genügt es, sie mit einem oben offenen Glasgefäss zu umgeben, welches man mit Wasser von der gewünschten Temperatur anfüllt. Diese Glashülse muss jedoch so angebracht werden, dass hierdurch die Handgriffe, welche zum Wechsel des Stromes nothwendig sind, nicht beeinträchtigt werden. Bei der Stromuhr mit stromwendendem Hahn kann man die Glashülse an den Metallstücken unmittelbar über dem Hahn befestigen, wie dieses der Holzschnitt erkennen lässt, wo *ww* den Wasserbehälter wiedergibt; bei dem Stromwender mit Kugeldrehung muss die Glashülse mit der untern Scheibe in Verbindung gebracht werden. An den Stromuhren mit der letztgenannten Einrichtung habe ich bisher das Wärmeglas nicht in Anwendung gezogen.

Bevor ich die Leistungen der Stromuhr als Aichungsmittel einer genauern Besprechung unterziehe, will ich erst noch einige Vorsichtsmaassregeln erwähnen, durch welche der Eintritt von Störungen zu vermeiden ist.

6. Gerinnung des Blutes, Luftblasen, Oeltropfen. Zu den Umständen, welche den Versuch trüben können, gehören in erster Linie Gerinnungen des Blutes, die hier um so leichter eintreten, weil man in den Kugelraum keine Flüssigkeiten bringen darf, durch welche man sonst die Ausscheidung von Fibrin zu hemmen pflegt. Trotzdem dass ich meine Apparate immer sehr sorgfältig reinigte und hierdurch die Anwesenheit von Oxyden in den Metallstücken vermied, ist mir doch der Gerinnung wegen mancher Versuch missglückt. Unter diesen Missfällen befinden sich auch solche, bei welchen der Kugelinhalt so rasch wechselte, dass man hätte glauben sollen, es sei die Zeit zu kurz gewesen, um die Ausscheidung von Fibrin zu ermöglichen. Gewarnt durch diese Fälle habe ich es, wenn der Versuch nicht ganz besonders günstig verlief, immer vermieden, die Zahl der Beobachtungen,

die ich mit demselben Kugelpaar ausführte, all zu sehr zu häufen, und da ich mir immer mehrere Apparate vorbereitet hatte, so konnte ich unbeschadet einer weiteren Fortsetzung des Versuchs nach einer beschränkten Zahl von Kugeldrehungen die Arterie oberhalb und unterhalb der Uhr schliessen, dieselbe herausnehmen und durch eine andere ersetzen.

Niemals habe ich versäumt zu prüfen, ob innerhalb des abgenommenen Apparats ein Blutgerinnsel vorhanden war. Dieses geschah dadurch, dass ich das Blut aus dem Apparat unmittelbar nach seiner Entfernung aus der Arterie in ein flaches Schälchen auslaufen liess: wurde hierbei auch nur die Andeutung einer Gerinnung bemerkt, so verwarf ich den Versuch; noch zweckmässiger dürfte es sein, den Apparat auf ein frei gespanntes Tüllfilter auszugliessen, weil hierdurch die Anwesenheit eines Gerinnsels noch sicherer nachzuweisen wäre.

Luftblasen, welche sich zwischen den aufsteigenden Blutstrom einschieben und leicht an engeren Theilen, der Röhre, hängen bleiben, müssen begreiflicherweise den Strom durch den Apparat merklich beeinträchtigen. Obwohl man in der Regel durch eine sorgfältige Füllung der Uhr die Luftblasen vermeidet, so bleibt doch zuweilen in den Metallröhren eine kleinere oder grössere Luftmenge zurück, welche in der Kugel emporsteigt, wenn der Versuch beginnt. Hat sich eine solche eingefunden, so wird sie in der Regel von dem Blute in das Oel geschleudert, und ist sie einmal in den Verbindungsbogen zwischen den beiden Kugeln gelangt, so dringt sie in das senkrechte Füllungsröhrchen, wo sie, weil sie ausserhalb des Stromes tritt, als unschädlich angesehen werden kann; störender kann eine Blase werden, wenn sie vermittelt des Stromes durch den Verbindungsbogen beider Kugeln aus der ersten in den obern Hals der zweiten Kugel übergeführt und dort durch den Strom selbst festgehalten, und an dem Aufsteigen in das senkrechte Röhrchen verhindert wird. Gelingt es nicht rasch, die Blase aus dem Strom herauszuschaffen, so muss die Beobachtung unterbrochen werden. — Das letztere muss auch dann geschehen, wenn es sich einmal ereignen sollte, dass die Umdrehung der Kugel nicht rechtzeitig vorgenommen wäre, so dass sich das Oel aus der den Capillaren zugewendeten Kugel in die Metallstücke begäbe; bei einem solchen Missfall kann der Verdacht nicht unterdrückt werden, dass ein Oeltröpfchen in die Blutgefässe des Thieres

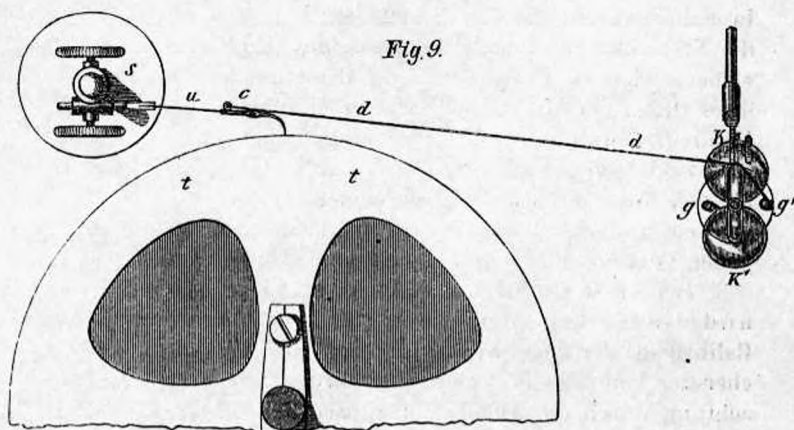
gelangt sei und später zu einem Stromhinderniss innerhalb der engern Gefässbahnen Veranlassung gegeben habe.

Ich gehe nun zu der Frage über, inwieweit die Angaben der Stromuhr Zutrauen verdienen und was dieselbe überhaupt zu leisten vermag. Wenn die Ablesungen, welche an derselben gemacht werden, nur dazu dienen sollen, um ein relatives Maass der Blutvolumina zu gewähren, welche in der Zeiteinheit durch den betreffenden Ort der untersuchten Arterie gegangen sind, so wird sich die methodische Prüfung darauf zu beschränken haben, inwieweit die Ablesungen der eingedrungenen Blutmen- gen und der hierzu verbrauchten Zeiten genau waren; sollen dage- gen die Forderungen, die man an das neue Verfahren stellt, noch weiter erhöht werden, so müssen zu den eben verlangten noch andere Prüfungen hinzutreten. Offenbar wächst die Bedeutung der Versuche, wenn sich darthun liesse, dass durch die Ein- schaltung der Stromuhr vollkommen oder annähernd genau diejenige Menge von Blut gemessen werden könnte, welche nor- malerweise durch das Gefäss ginge, d. h. also diejenige, welche das Gefäss durchsetzt hätte, wäre die Stromuhr nicht einge- bracht gewesen. Um zu beurtheilen, ob und inwieweit sich die Stromuhr zu einem Aichmaass des normalen Blutstroms eignet, wäre zu prüfen, welche Hemmung dieselbe vermöge ihrer Dimensionen in den Blutstrom einführt, wie hieraus die Vertheilung des Blutes in dem untersuchten und den übrigen Arterienstämmen beeinflusst wird, und ob in den Capillarbe- zirken, die aus der Arterie mit eingesetzter Stromuhr versorgt werden, abnorme Bedingungen eintreten. Auf diese verschiede- nen Fragen will ich nun soweit es möglich eingehen.

7. Ueber die Genauigkeit, mit der die Volumina und die Zeiten zu messen sind. — Abgesehen von der Calibrirung der Kugel hängt der Grad der Genauigkeit, mit welcher das Volum an Blut gemessen wird, das während der Beob- achtung durch die Kugel geht, wesentlich davon ab, dass die Drehung genau zu der Zeit erfolgt, in welcher das Blut die Marke erreicht, die am obern Ende der Kugeln angebracht ist. Dieses kann ohne Schwierigkeit ausgeführt werden, wenn der Strom mit einer geringen Geschwindigkeit verläuft und wenn namentlich die durch einen Herzschlag in die Kugeln geworfene Blutmenge eine mässige ist; wenn dagegen jeder Pulsschlag eine verhält- nissmässig bedeutende Blutmenge in die Kugeln fördert, so dass,

wie es zuweilen vorkommt, in 5 bis 10 Herzschlägen der ganze Raum der Kugel erfüllt ist, so ist die gespannteste Aufmerksamkeit nothwendig, um es zu verhüten, dass nicht das Blut über die Marke empordringe, bevor die Drehung ausgeführt ist. Dem Ueübten wird mancher Versuch misslingen, der von dem Geübteren noch tadelfrei ausgeführt werden wird. Selbstverständlich habe ich diejenigen Beobachtungen aus der Reihe der mitzählenden ausgeschlossen, wo die Drehung nicht auf die Zeit fiel, in welcher das Blut die Marke erreicht hatte.

Die Ablesung der Zeit habe ich in dem Beginn meiner Versuche mit einem Pendel ausgeführt, das Viertel einer Sekunde schlug; später habe ich die Zeit auf der rotirenden Trommel notirt, und zwar so, dass ich eine Marke auf den Ueberzug der rotirenden Trommel einschrieb, wenn ein anderer sehr geübter Beobachter das vorher verabredete Zeichen gab, dass die Kugeldrehung ausgeführt werde. — Zu einem noch höhern Grad von Genauigkeit ist die Zeitbestimmung durch die in Fig. 9 abgebildete registrirende Einrichtung zu bringen. Diese



Registrierung der Kugeldrehung empfiehlt sich um so mehr, weil sie sich jeder Beobachter selbst herstellen kann. Der ganze Apparat ist aus der Aufsicht gezeichnet. $K K'$ sind die Kugeln in der Stellung, die sie einnehmen wenn sie vom Blute durchsetzt sind. $g g'$ sind die Zinken der drehenden Gabel, $t t$ ist die rotirende Trommel, c ist eine Feder von Glas oder Gummi, die

auf einem Halter steckt, der an eine schwache Uhrfeder u angelöthet und von dem Stativ S getragen wird. Die Feder c und der Gabelzinken g' sind durch eine Darmsaite d verbunden, die beiderseits festgeknüpft ist. Uhr, Feder und Trommel werden beim Gebrauch so gegen einander gestellt, dass die Feder sanft gegen die Trommel gedrückt wird, wenn der Zinken g' die hier dargestellte Stellung einnimmt, d. h. wenn er auf der von der Trommel abgekehrten Seite steht; wenn dagegen in Folge der Kugeldrehung der Zinken g' auf die entgegengesetzte Seite zu liegen kommt, so erschlafft die Saite, und die Uhrfeder zieht das schreibende Röhrchen von der Trommelfläche ab. Leider stand mir dieses Verfahren erst ganz am Ende der Versuche zu Gebote.

Wollte man trotz der Einfachheit der Handgriffe die hier vorzunehmen sind doch noch daran zweifeln, dass durch dieselben mit Genauigkeit das Volum gemessen würde, welches in der Zeiteinheit die Kugeln durchsetzt, so könnte man an einem künstlichen Strom die durchgeflossene Menge von Wasser gleichzeitig auf zweierlei Arten messen: einmal durch die Drehung des eingeschalteten Apparates, und ausserdem durch die Menge, welche am Ende des Rohres ausgeflossen ist. Der Grad der Uebereinstimmung, welchen diese beiden Methoden für die Ermittlung der mittlern Stromgeschwindigkeit darbieten, würde geradezu das Maass für die Richtigkeit der Angaben geben, welche durch die gedrehten Kugeln geliefert wurde. Ich muss offen bekennen, dass ich diese Prüfungen unterlassen, weil ich sie für unnöthig hielt. — Aus den vorstehenden Angaben dürfte erhellen, dass mit sehr grosser Annäherung an die Wahrheit dasjenige Flüssigkeitsvolum bestimmt werden kann, welches in der Zeiteinheit durch die Kugeln wirklich hindurch geht. Anders verhält es sich mit der Frage: ob die durch ein Gefäss gehenden Blutmengen, während die Stromuhr eingeschaltet ist, denjenigen gleichkommen, die ohne Einschaltung derselben durchgegangen wären. Von der Sicherheit, mit welcher diese Frage zu beantworten ist, wird es abhängen, inwieweit die Stromuhr als ein Maass der wahren mittleren Stromgeschwindigkeit angesehen werden könne. Die nachfolgenden Betrachtungen und Erfahrungen werden, wie ich hoffe, darthun, dass bei den Widerständen und Geschwindigkeiten, gegen die und mit denen der arterielle Strom fließt, die Angaben der Uhr

zu benutzen sind, um daraus mit grosser Annäherung an die Wahrheit die strömenden Volumina zu finden, welche unter sonst gleichen Bedingungen auch ohne ihre Anwesenheit durch das Gefäss geflossen wären.

8. Ueber die Widerstände, welche die Stromuhr in die Blutströmung einführt. — Um über dieselbe Aufschluss zu erhalten, habe ich sowohl an künstlichen Strömen, als auch am natürlichen des Bluts mehrfache Beobachtungsreihen angestellt. Ich schicke die ersteren voraus.

Der Widerstand, welchen die Uhr in den Strom hineinträgt, beziehungsweise der Ausfall an Geschwindigkeit, den sie erzeugt, lässt sich durch ein Manometer messen, das jenseits der Uhr in die Wand des Strombettes eingesetzt ist. Die Methode ist, wie bekannt, nur unter beschränkten Bedingungen anwendbar. — Allgemeiner führt das andere Verfahren zum Ziel, welches darin besteht, dass man den Druck ausmittelt, welchen man der Stromquelle zufügen muss, um den Ausfall auszugleichen, den die eingesetzte Uhr in der Stromgeschwindigkeit veranlasste.

Der gesammte Widerstand, den die Uhr einführt, ist mit verschiedenen Umständen veränderlich und setzt sich aus verschiedenen in der Einrichtung des Apparats gegebenen Bedingungen zusammen.

Im Wesentlichen, d. h. für die Praxis beachtenswerth, kommen als Widerstandselemente in Betracht das Volum von Flüssigkeit, welche in der Zeiteinheit durch den Binnenraum der Uhr fliesst, ferner die Dimensionen des Rohrs, in dem sie sitzt, zu ihren eignen, und endlich die physikalischen und chemischen Eigenschaften der strömenden Flüssigkeit.

Da die Kugeln des Instruments während der Strömung gedreht, somit die Continuität ihrer Lichtung unterbrochen wird, so sollte man erwarten, dass der Widerstand auch durch die Drehung beeinflusst würde. Unzweifelhaft ist dieses der Fall, aber man kann die Drehung so rasch vollenden, dass die Zeitdauer der Unterbrechung verschwindet gegen die des laufenden Stroms; geschieht dieses, so wird der Drehungswiderstand unmerklich werden. Dieses tritt schon ein, wenn eine möglichst rasch vollendete Drehung nicht öfter als in Zwischenräumen von 45 Sec. vorgenommen wird. Hiervon habe ich mich an künstlichen Strömen überzeugt. Aber auch am Blutstrom lässt sich ein sichtbarer Beweis für die ausgesprochene Behauptung

erbringen. Um ihn zu führen, setze man ein Hgmanometer jenseits der zweiten Kugel in den Strom der in und aus der Uhr von und zu der Arterie fliesst und lasse die Schwankungen des Manometers registriren. Wenn man nun, während der Versuch in der beschriebenen Weise im Gang ist, die Kugeln rasch dreht, so wird man an der Curve der Druckschwankungen kein Zeichen finden, durch welches die Drehung markirt wäre. Dreht man dagegen langsam, oder häuft man von Secunde zu Secunde die Drehung, so wird natürlich eine bedeutende Hemmung des Stroms eintreten. —

Durch die Uhr, welche in der Arterie sitzt, geht ein stossweise beschleunigter Strom; hierdurch entstehen in der Uhr sichtlich wirbelnde Bewegungen, also sollte man erwarten, dass auch die Art des Fliessens, ob gleichmässig oder ungleichmässig, eine besondere Widerstandsursache bildete. Diese Erwartung fand ich nicht bestätigt, als ich die Uhr in ein Rohr setzte, das an seiner Verbindungsstelle mit dem Druckbehälter einen rotirenden Hahn besass. blieb die mittlere Geschwindigkeit des Stroms dieselbe, so wurde alles übrige gleich, auch der Geschwindigkeitsverlust unverändert gefunden.

Diese Beobachtungen vereinfachen die Aufgaben, welche uns bei der Prüfung der Widerstände entgegentreten, denn sie beschränken die Untersuchung auf die Fälle, bei welchen die Uhr ruhig innerhalb eines constanten Stroms steht.

Die Versuche, die ich mit künstlichen Strömen (Blut und Wasser) zum Behufe der Widerstandsmessungen unternahm, führte ich folgendermassen aus.

Zuerst wendete ich mich zu Strömen, in denen destillirtes Wasser floss. Um dieses möglichst frei von Staub und Härchen zu erhalten, wurden die Versuche in einem sonst wenig benutzten Zimmer vorgenommen und die Gefässe, welche das Wasser enthielten, sorgfältig zugedeckt. Trotz der äussersten Sorgfalt, welche ich auf die Reinerhaltung des Wassers verwendete, sind mir manche Versuche missglückt, da in den engen Röhren schon minimale Beimengungen von fadenförmigen Staubtheilchen hinreichen, um zwei Bestimmungen der Geschwindigkeit, die unter ganz denselben Umständen vorgenommen werden, um mehr als ein Procent, worauf es hier schon ankam, von einander abweichend zu machen.

Als Druckgefäss benutzte ich eine Zinktonne von 1,5 Meter

Höhe und 0,5 Meter Durchmesser; einige Centimeter über dem Boden des Gefässes war ein Hahn mit breiter Oeffnung eingelöthet. Die Höhe des Wassers in der Tonne konnte an einem nach Millimeter getheilten, zwei Centimeter weiten Wasserstandsmesser abgelesen werden. Der Nullpunkt der Theilung dieses letztern lag in gleicher Höhe mit dem Boden der Hahn-Lichtung. Die Stromröhren, die ich verwendete, waren Messingröhren ohne Naht, die ich mir eigends über sehr sorgfältig gearbeitete Dorne hatte ziehen lassen; sie besaßen die Durchmesser von 2 und 3 Mm. Um jede der genannten Röhren in veränderlicher Länge, beziehungsweise mit veränderlichem Widerstand anwenden zu können, liess ich mir Stücke derselben von 500, 400, 200 und 100 Mm. Länge anfertigen, diese Stücke waren gut über einander geschliffen, so dass ich, wenn ich sie über einander steckte, eine Röhrenlänge von 200 bis 4000 Mm. nach jeder beliebigen Zahl von Hunderten zusammensetzen konnte, ohne dass die Verbindungsstellen merkliche Hemmungen veranlassten.

Damit eine bestimmte Röhre bald ohne und bald mit eingeschalteter Uhr vom Strom durchflossen werden konnte, brachte ich 200 Mm. oder auch weniger entfernt von dem Hahn eine Schiene an, welche aus zwei Theilen bestand, die in einer Nute gegen einander verschoben und in jeder beliebigen Lage durch eine Schraube festgestellt werden konnten. Auf jedem der Schienenstücke war eine Röhre befestigt. Man konnte nun entweder die Mündungen der beiden Röhrenstücke durch ein kurzes gerades, mit den Röhren gleichweites Verbindungsstück in einander übergehen lassen, oder man konnte, nachdem man die Röhren auseinander gezogen und das Zwischenstück entfernt, die Uhr einschalten. Da der Durchmesser, welcher den Metallröhren der Uhr zukommt, nicht durchweg demjenigen der messingenen Stromröhre gleich war, so musste jederseits noch ein kurzes Verbindungsstück zwischen die Stromröhre und die Zugänge zur Uhr eingefügt werden, welches die kleinere Lichtung der Stromröhre sehr glatt in die grössere der Uhr überführte.

In der Stromröhre sassen fünf Manometer, die aus zwei Centimeter weiten, nach Mm. getheilten Glasröhren bestanden. Das erste derselben *A* unmittelbar hinter dem Hahn, das zweite *B* in der Stromröhre unmittelbar vor der Einschaltungsstelle der Uhr, das dritte *C* in der Uhr vor dem Eingange in die erste Kugel, das vierte *D* am Ausgange der zweiten Kugel, das fünfte *E*

im Stromrohr, unmittelbar hinter seiner Einfügung an die Uhr.

Während der Beobachtung wurde der Druck im Fass durch sorgfältiges Nachgiessen von Wasser unverändert erhalten. —

Die Flüssigkeitsmasse, aus welcher die Geschwindigkeit bestimmt wurde, ward nie kürzer als während der Dauer von 300 Secunden aufgefangen. Unter diesen Bedingungen reichte die Messung der Geschwindigkeit mit Maasscylindern und der Secundenuhr für meinen Zweck gerade noch aus.

Wenn man mit dem Manometer den Widerstand, beziehungsweise die Aenderung der Geschwindigkeit messen will, welche durch die Uhr eingeführt ist, so muss man bekanntlich zweimal den Wasserstand in dem Manometer und einmal die mittlere Geschwindigkeit im Rohr ausgemittelt haben. Wäre p der Stand des Wassers im Manometer vor Einsetzung und p' derjenige während Einsetzung der Uhr, wobei das Manometer jedesmal an derselben Stelle und zwar unmittelbar hinter dem Einsatzort der Uhr steht, und wäre ferner die bekannte Geschwindigkeit c diejenige, welche am Rohr vorhanden war ehe die Uhr eingeschaltet wurde, so würde die Geschwindigkeit c' , während die Uhr eingeschaltet ist, der Stromregel *Poiseuille's* entsprechend, durch die Gleichung $\frac{p}{p'} = \frac{c}{c'}$ gefunden werden. Die Voraussetz-

ung, auf welche sich diese Ableitung von c' gründet, ist bekanntlich nur unter sehr eingeschränkten Bedingungen des Versuchs erfüllt. In meinen engen, glatten, gleichweiten Röhren waren diese allerdings nahezu hergestellt. Ganz anders am Blutstrom. Hier sind sie es in keiner Weise, schon darum nicht, weil hier eine so wenig homogene Masse wie Blut und dazu in Röhren strömt, deren Weite mit dem Druck veränderlich ist; wäre aber jene wichtige Regel auch nur annäherungsweise zur Ermittlung von proportionalen Stromänderungen brauchbar, so würde sie uns doch für den Blutstrom nichts helfen, weil wir nicht mit voller Sicherheit angeben können, wie weit sich der Druck, den der Blutstrom jenseits der eingesetzten Uhr zeigt, von dem unterscheidet, der an diesem Ort bei Abwesenheit der Uhr vorhanden gewesen sein würde.

Darum sind jedoch die Aufklärungen, welche das Manometer gewähren kann, nicht werthlos, namentlich wenn wir gleichzeitig das Verhalten des Wasserstands in mehreren hinter

und vor der Uhr angesetzten Manometern beobachten, und ihre Angaben mit den Aenderungen vergleichen, welche die Geschwindigkeit erleidet. Hierdurch erfuhr ich folgende, für meinen Zweck wichtige Thatsachen.

Der gesammte Widerstand, welcher von der Uhr ausgeht, lässt sich in drei an verschiedenen Orten veranlasste zerlegen; einer derselben ist bedingt durch den Uebergang des Stroms aus der geraden Röhre in die Uhr (Eingangswiderstand), ein zweiter durch den Verlauf des Stroms in der Uhr (Kugelwiderstand), ein dritter endlich am Uebergang des Stroms aus der Uhr in die gerade Röhre (Ausgangswiderstand). Wenn es, wie man allgemein annimmt, richtig ist, dass die Grösse des Widerstandes geschätzt werden kann durch den Unterschied der Drücke die in zwei Manometern abgelesen sind, von denen das eine unmittelbar vor, das andre unmittelbar hinter dem eingeschalteten Widerstand steht, so geben die Manometerstände uns ein Bild von den Verhältnissen, in denen sich die obengenannten drei Widerstände zu einander befinden.

Die Holzschnitte auf der folgenden Seite geben das Verhalten der Manometerstände schematisch wieder. Zum Verständniss der Linien ist zu erwähnen, dass ich bei Versuchen an künstlichen Strömen mich darauf beschränkt habe die Uhren mit der Eingangsmündung von 5 und 3 Mm. diam. in die Röhren von 2 und 3 Mm. einzuschalten, so dass durch die Einsetzung des Apparats das Strombett immer erweitert wurde. Diese Beschränkung liess ich eintreten, weil ich auch für die Prüfung des Stroms in der lebenden Arterie immer eine Uhr wählte, deren Eingangsmündung einen grösseren Durchmesser als die Arterie besass. Die Dimensionen der aneinandergefügten Stücke sind in dem Holzschnitt an die einzelnen Linien, auf welche sie sich beziehen, angeschrieben. Die geraden Linien geben den Abfall bei abwesender, die zwischen *A* bis *E* gebrochenen bei anwesender Uhr.

Betrachtet man nun die Figuren, so sieht man sogleich, dass bei den Combinationen Uhr 5 Mm. diam. und Röhre 2 Mm. diam. sowohl wie 3 Mm. diam. die grösste Steilheit des Abfalls sich zwischen *D* und *E* befindet, und zwar so überwiegend, dass dagegen die Knicke zwischen den übrigen Manometern verschwinden, also wird da wo der weitere Strom in den engern übergeht, der grösste Widerstand sein. — Ähnliches bieten die Combinationen 3 Mm. diam. Uhr und 2 Mm. diam. Röhre, doch ist hier schon

Fig. 40.

**Strom-
rohr**
3 Mm.

Durchmesser

Grosse Uhr

Mündung

5 Mm. diam.

15 Cem. Kug.

Mittl. Uhr

Mündung

3 Mm. diam.

6 Cem. Kug.

Kleine Uhr

Mündung

3 Mm. diam.

2 Cem. Kug.

**Strom-
rohr**
2 Mm.

Durchmesser

Grosse Uhr

Mündung

5 Mm. diam.

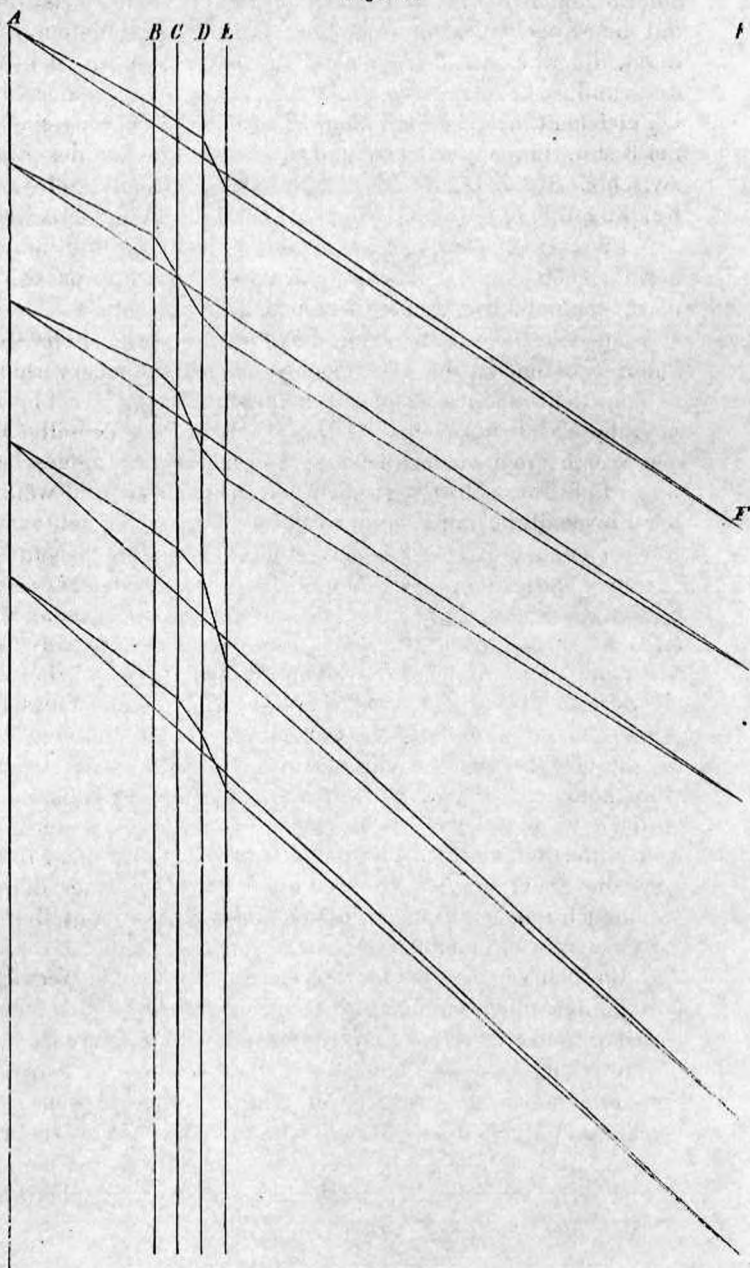
15 Cem. Kug.

Mittlere Uhr

Mündung

3 Mm. diam.

6 Cem. Kug.



ein Eingangswiderstand bemerklich und noch mehr ist dieses mit dem Kugelwiderstand der Fall. Bei der Combination 3 Mm. diam. der Uhr tritt dagegen der Kugelwiderstand in den Vordergrund. — Zugleich zeigt sich, dass die Dimensionen der Kugeln bei gleicher Eingangsmündung von geringer Bedeutung sind, da bei 3 Mm. Eingang der Uhr und des Rohrs die Art des Abfalls zwischen *B* und *E* sich ähnlich verhält, gleichgiltig ob in der Uhr Kugeln von je 6 oder von je 2 Ccm. Inhalt eingesetzt waren.

Diese Thatsachen fordern also, dass man die Durchmesser der Uhreingänge möglichst denen der Arterie anpasse, wie dieses denn auch in meinen Versuchen geschehen.

Als eine zweite Erfahrung, die für die Versuche am lebenden Thiere von Bedeutung ist, möchte ich folgende hervorheben. In der Richtung des Stroms gerechnet tritt vor der Uhr eine Stauung des Drucks ein, d. h. es erhebt sich derselbe über den Werth, den er dort besass, bevor die Uhr eingeschaltet war. Der Unterschied zwischen den Drücken vor und während der Einschaltung nimmt nun rasch ab, wenn man sich von der Uhr an nach aufwärts bewegt. Dieses Verhalten scheint mir darum wichtig, weil der Stauungsdruck in einem verzweigten Röhrensystem eine besondere Bedeutung gewinnt. Ginge unmittelbar vor der Uhr ein Zweig ab, so würde bei Anwesenheit der Uhr am Eingang desselben ein höherer Druck bestehen als vorher, und darum würde entsprechend mehr Flüssigkeit durch den Zweig abfließen. Darum würde der Stauungsdruck der Beschleunigung des Stroms durch die Uhr nicht mehr zu Gute kommen. Dieses würde, wenn auch nicht vollkommen, so doch wenigstens theilweise der Fall sein, wenn der Zweig erst entfernter von der Uhr das Stammrohr verliesse. Daraus geht die Regel hervor, dass man am lebenden Thier die Uhr womöglich immer so einsetzen soll, dass nicht unmittelbar vor ihr ein Zweig den benutzten Stamm verlässt.

Endlich verdient es der Hervorhebung, dass die Werthe des Druckunterschiedes von *B* und *C* durchaus kein Maass für den Geschwindigkeitsverlust sind, welchen die Uhr herbeiführt. Alles übrige gleich gesetzt, ändert sich nach meinen Erfahrungen der Unterschied der Drücke vor der Einfluss- und nach der Ausflussmündung mit der Steilheit, nach welcher der Druck von der Stromquelle bis zum Röhrenende abfällt. Bringt man also gleiche Geschwindigkeiten in zwei Röhren von ungleicher Länge

und gleichem Durchmesser durch Aenderung des Drucks im Wasserbehälter hervor, so sieht man den Unterschied $B-E$ abnehmen, wenn hiebei die Steilheit des Druckabfalls auf der ganzen Röhrenlänge geringer wurde. Ist dieses letztere nun an einem kürzeren Rohre eingetreten, so wird man aus bekannten und sogleich weiter zu besprechenden Gründen dann den Geschwindigkeitsverlust, welchen die Einschaltung der Uhr veranlasste, grösser werden sehn bei dem geringeren Werthe von $B-E$ in einem längern Rohr.

Genauere und in weiterem Umfang anwendbare Aufschlüsse über den Widerstand der Stromuhr giebt die andere der oben genannten Methoden. — Diese geht von der bekannten Stromgleichung aus, dass die Geschwindigkeit $c = \frac{h}{w}$ sei, wobei h den Druck der Stromquelle*) und w den von der Geschwindigkeit abhängenden Widerstand in den Röhren bedeutet. Nehmen wir an, es sei zu dem Widerstand w der Röhren noch derjenige der Uhr gefügt, und es sei dann die verminderte Geschwindigkeit c durch Erhöhung von h wieder auf den alten Werth gebracht, so hätte man, wenn h' den neuen Druck bedeutet, die beiden Gleichungen $c = \frac{h}{w}$ und $c = \frac{h'}{w+u}$. Hieraus lässt sich w und u finden, da c , h , h' bekannt sind.

Für zwei der von mir gebrauchten Uhren habe ich die Auswerthung von u ausgeführt. Das Stromrohr hatte im erstern Fall einen Durchmesser von 2 Mm., die Zuflussmündungen der Uhr betragen 3 Mm., der Inhalt jeder Kugel 6 Ccm. — Die folgende Zusammenstellung giebt die Daten der Beobachtung und die Ergebnisse der Rechnung.

Durch die Uhr flossen in der Secunde	Geschwindigkeit im Strom- rohr Mm. in 1 Secunde	h'	h	$h'-h$	u	w
		in Mm. HO.	in Mm. Ho.	Mm.		
1.22	388	1375	1360	15	0.039	3.505
1.39	442	1350	1322	18	0.044	2.994
1.54	484	1375	1350	25	0.052	2.806
2.36	754	1400	1360	40	0.053	4.814
3.45	1098	1378	1325	53	0.048	4.207
4.27	1360	1380	1310	70	0.054	0.963

*) beziehungsweise den Druck im Manometer vor der Einflussmündung in die Uhr.

Man bemerkt, dass der Werth von u zwar ein geringerer, aber keineswegs ein verschwindender ist, und ferner, dass er mit der Grösse der Durchflussmenge in der Zeiteinheit anwächst. Dass die Zahlen keinen schärfern Ausdruck für die Gesetzmässigkeit geben, dürfte weniger an dem Mangel von Sorgfalt bei der Ausführung der Versuche, als vielmehr darin liegen, dass für diese feinen Aufgaben meine Beobachtungsmittel ihre Grenze fanden. Um zu erfahren, in wie weit die aufgefundenen Werthe von u auf die Berechnung des Geschwindigkeitsverlustes anwendbar sind, den ein Röhrenstrom durch den Einsatz der Uhr erleidet, habe ich noch die folgenden Versuche angestellt. Für die Berechnung wählte ich mir natürlich Geschwindigkeiten aus, die je durch die Uhr Flüssigkeitsmengen schickten, für welche ihr Widerstand bestimmt war. Den Widerstand der Röhre und demgemäss den Druck der Stromquelle liess ich in weiten Grenzen schwanken.

Druck in der Zinktonne Mm. HO.	Ausflussmenge in 1 Secunde beobachtet		Ausflussmenge, berechnet für den Strom mit Uhr
	Ohne Uhr. Cbm.	Mit Uhr.	
175	1.59	1.36	1.38
330	1.61	1.48	1.49
830	1.57	1.53	1.52
1250	1.44	1.39	1.39
1360	2.36	2.30	2.29

Diese Uebereinstimmung zwischen Beobachtung und Rechnung (3. und 4. Zahlenreihe) ist wie mir scheint gross genug, um zu beweisen, dass der Widerstand der Uhr unabhängig von den absoluten Werthen des Stromdruckes und dem Widerstande des Stroms ausserhalb der Uhr ist.

Eine zweite Reihe von Bestimmungen für den Werth von u habe ich mit einem Rohre von 3 Mm. diam. und der Uhr mit 5 Mm. Zuflussmündung ausgeführt. Mir scheint es nach der ausführlichen Mittheilung der ersten Reihe genügend, wenn ich erwähne, dass in den Grenzen der Durchflussmenge für die Secunde von 2.82 Ccm. bis 4.56 Ccm., bez. für die Secunden Geschwindigkeiten im Stromrohr von 400 bis 650 Mm. die Werthe des u von 0.030 bis 0.054 anwuchsen, so dass die Widerstände dieser Combination nicht grösser als die der vorigen sind.

Die vorstehenden Versuche waren, wie man sich erinnern wird, in der Absicht angestellt, um ein Urtheil darüber zu gewinnen, in wie weit die in einem Strom vorhandene Geschwindigkeit durch die Einschaltung der Uhr vermindert würde. Sie liefern wie mir scheint den Beweis, dass der Widerstand der passend eingesetzten Uhr sehr klein sei gegen denjenigen, welchen normalerweise das arterielle Blut auf seinem Weg von den grossen Aortenzweigen zu den Venen zu überwinden hat. Diese letztere Behauptung stützt sich auf die folgende Betrachtung. In den später zu erwähnenden Versuchen mit Hunden findet sich unter den Zahlen für die Geschwindigkeit, bei welchen zugleich der Blutdruck bestimmt ist, als maximaler Werth 500 Mm. in der Secunde mit einem Druck von 114.4 Mm. Hg. = 1500 Mm. Wasser. Dieser ist zur Ueberwindung der natürlichen Widerstände verbraucht, da das Blut der vena jugularis mit geringer Geschwindigkeit und ohne nennenswerthen Druck an der Brusthöhle anlangt. Dabei gingen durch die Uhr in der Secunde 3.59 Blut. Wir fanden nun bei jener Durchflussmenge den Widerstand der Uhr = 0.05; setzen wir diese Werthe in die obige Gleichung, so ist $500 = \frac{w + 0.05}{1500}$ also $w = 2.999$.

Nähme man an, dass der Widerstand in dem Stromrohr vor Einsetzung der Uhr ebenso gross gewesen wäre, obwohl er in der That etwas grösser gewesen sein muss, so würde sich der Widerstand des Stromrohrs zu dem der Uhr wie 1 : 0.017 verhalten und sich hieraus ein durch die Uhr veranlasster Geschwindigkeitsverlust von höchstens 2 Procent berechnen, mit andern Worten ein Werth, der schwerlich weit ausserhalb der Fehlergrenze bei schon genau ausgeführten hydraulischen Versuchen fallen dürfte.

Dieses war nun aber für den Strom in den Arterien der ungünstigste Fall, also wäre eine Unterschätzung von 2 Procent als das Maximum des Fehlers anzusehn. Freilich nur wenn Wasser in unverzweigten, steifen Röhren strömt; wenn diese Bedingungen nicht erfüllt sind, so muss sich der Fehler anders gestalten. Wenn Blut strömt, so wird voraussichtlich die Reibung innerhalb der Uhr wachsen, und damit wird das Verhältniss ihres Widerstands zu demjenigen der Röhren über den Werth hinausgehen, welcher in der eben angestellten Rechnung angenommen wurde.

Um hierüber Auskunft zu erhalten schritt ich nun natürlich zu ähnlichen Versuchen, bei denen Blut durch die Röhren strömte. Die Anordnung des Versuchs war ganz dieselbe, wie bei denjenigen mit Wasser; das Blut war beim Schlachten eines Ochsen aufgefangen, defibrinirt, durch dichtes Leinen sorgfältig von seinen Faserstofflocken befreit. Eine Stunde nachdem das Blut die Gefässe des Thieres verlassen, stand dasselbe schon in einem hohen, weiten Glascylinder zum Versuche bereit. Zu meinem Leidwesen musste ich jedoch alsbald erfahren, dass das, was mit Wasser ausführbar gewesen, mit dem Blute nicht mehr gelang. Bevor noch die am Ende der Rohre aufgefangenen Blutmengen den strengen Beweis dafür lieferten, zeigten schon die Schwankungen der Blutstände in den Manometern, dass das Blut nicht mit constanter Geschwindigkeit durch ein glattes, geradliniges Messingrohr fliesst, selbst wenn der Druck in der Stromquelle mit äusserster Sorgfalt auf gleicher Höhe erhalten wurde. Dabei war es gleichgültig, ob ich ein Rohr von 2 oder 3 Mm. diam. anwendete, immer schwankten die Manometer und nicht minder die jedesmal in 300 Secunden ausgeflossenen Volumina. Als ich dann eine grössere Reihe von Bestimmungen ohne Uhr, und eine gleiche mit Einschaltung der letztern ausführte, überzeugte ich mich dass in beiden Fällen die einzelnen Ausflussmengen Unterschiede zeigten, welche grösser waren, als die Unterschiede der Mittelwerthe beider Reihen. Somit musste ich von einer Bestimmung des Uhrenwiderstandes unter Anwendung von Blut abstehn. Die Unterschiede der Blutstände in den Manometern *B* und *C* waren allerdings grösser als bei Wasser, aber dafür fiel auch wegen der grössern Reibung des Bluts der Druck von der Stromquelle bis zum Röhrenende steiler ab, so dass demnach auch hierdurch nicht einmal Annäherungen an das Verhältniss von dem Blut- zu dem Wasserwiderstand in der Uhr zu finden waren. In wie weit also durch den grössern Widerstand des Blutes in der Uhr das Resultat der soeben ausgeführten Berechnung über das Verhältniss der Widerstände in ihr und im Carotidenlauf alterirt wird, weiss ich nicht zu sagen.

Zu dieser Unzulänglichkeit kommen aber noch andere. Zunächst diejenige, dass die Uhr am lebenden Thier nicht in ein System eingeschaltet ist, welches von der Quelle bis zum Ende des Stroms unverzweigt fliesst, sondern dass sie in einem Ast des Aortenbaums sitzt.

Die Vertheilung des Blutes aus der Aorta in ihre Aeste geschieht, bekannten Grundsätzen gemäss, nach dem Verhältniss der Widerstände in jenen Aesten, so dass mit dem Steigen des Widerstandes in einem Zweig der Abfluss durch ihn ab- und dafür in andern Zweigen zunimmt, vorausgesetzt, dass in ihnen die Widerstandsursachen nicht verändert wurden. Nun zeigte uns die manometrische Beobachtung, dass der Strom vor der Uhr die in ihn gesetzt wurde gestaut wird; wäre also vor der Uhr ein Zweig abgegangen, so würde in diesen die Flüssigkeit unter höherem Druck als vorher eingeflossen sein, und damit wäre der Druck vor der Uhr gesunken und der Stauungsdruck, der im unverzweigten Rohr noch das Fliessen durch die Uhr beförderte, käme nun der letztern nicht mehr zu Statten. — Die Grösse der Stauung ist selbstverständlich von dem eingeführten Widerstand, beziehungsweise der Geschwindigkeit abhängig und die Beschleunigung des Stroms in dem Nebenzweige wird abhängen von dem Verhältniss der Widerstände in ihnen zu dem Druckzuwachs vor ihren Mündungen. Bei so complicirten Abhängigkeiten scheint es mir unthunlich, den hievon bedingten Fehler der Uhr durch Versuche an Strömen aufklären zu wollen, die sich unter ganz andern Bedingungen befinden, als der Strom in der Aorta und ihren Zweigen. Noch weniger dürfte es am Platze sein, den hieraus entstehenden Fehler durch die Ueberschlagsbetrachtung bemänteln zu wollen, dass ja die Widerstände in den Collateralzweigen auch sehr gross seien, so dass der Stauungsdruck dagegen verschwinde.

Ich komme nun noch zu einer andern Schwierigkeit. Die Versuche mit starren Stromröhren lehrten, dass an dem zunächst hinter der Uhr gelegenen Stromort der Druck niedriger geworden war, als er es gewesen, bevor die Uhr eingeschaltet wurde. Hierdurch trat am starren Rohr mit dieser Minderung des Drucks eine entsprechende in der Geschwindigkeit ein. Die Geschwindigkeitsminderung wird am elastischen Rohr nicht nur nicht ausbleiben, sondern es wird sich noch eine andere Folge hinzugesellen. Der Durchmesser des elastischen Rohrs ist durch den Druck seines Inhalts bestimmt, und darum muss auch hinter der Uhr der Querschnitt des Gefässes kleiner werden, als er es unter sonst gleichen Umständen ohne die eingesetzte Uhr sein würde. Allerdings handelt es sich, wie wir sehn werden,

nur um kleine Druckänderungen; aber sie bestehen. Nimmt man an, dass innerhalb dieser engen Grenzen die Ausdehnung der Wand proportional dem Druck wachse, so würde also die Aenderung des Querschnitts proportional dem Quadrate des Druckes gehen. Nun ist die Ausflussmenge, welche in der Uhr gemessen wird, das Product aus der mittleren Geschwindigkeit in den Querschnitt, also würde, wenn der Druck an der bezeichneten Stelle vor dem Einsatz der Uhr p und der während ihres Einsatzes p' genannt wird, das Verhältniss der Durchflussmengen annähernd durch $\frac{p'^3}{p^3}$ ausgedrückt werden. Um durch ein Beispiel zu zeigen, in wie weit sich die Geschwindigkeitsverluste bei gleicher Druckänderung ganz anders gestalten am elastischen als am steifen Rohr, wollen wir $p=100$ und p' der Reihe nach 99, 98, 97, 96 setzen. Dann würde am steifen Rohr die Geschwindigkeit sich zu 100 wie jene Zahlen, am elastischen Rohr aber wie 100 : 97 : 94 : 91 : 88 verhalten, d. h. der procentische Verlust an Geschwindigkeit würde bei gleicher Druckänderung für den Strom im elastischen Rohr dreimal so gross sein als am steifen. Hiebei ist jedoch in Betracht zu ziehen, dass mit der steigenden Elastizität, also mit der Annäherung des elastischen Rohrs an das steife die absolute Aenderung des Durchmessers eine sehr geringe werden wird.

Bei dieser Häufung von Verwicklungen muss man, wie es scheint, auf weitere theoretische Betrachtungen verzichten. Statt dessen dürfte es gerathener sein nach einem Mittel zu suchen, das auch dann noch zur Schätzung der durch die Uhr veranlassten Geschwindigkeitsänderung verhilft, wenn sie in der lebenden Arterie sitzt. Bevor ich mich hiezu anschicke sei mir jedoch die Bemerkung gestattet, dass der Fehler, den hier das neue Verfahren begeht, keineswegs sein spezifisches Eigenthum ist, sondern dass derselbe mindestens in gleichem Grade allen übrigen bisher gebrauchten Methoden der Geschwindigkeitsmessung anhaftet.

Um am lebenden Thiere zu prüfen, in wie weit die Geschwindigkeit des ursprünglichen Stromes durch die eingeschaltete Uhr beeinträchtigt wird, giebt es, soweit meine Einsicht reicht, nur ein Mittel, das Manometer. Obwohl nicht daran zu denken ist, dass im arteriellen Strom die Beziehung zwischen dem Gefälle und der Geschwindigkeit besteht, welche das Gesetz

Poiseuille's verlangt, so ist doch auch nicht zu verkennen, dass eine Beziehung zwischen beiden Werthen bestehn müsse. — So wird man namentlich als sicher annehmen dürfen, dass auch die Geschwindigkeit in einem bestimmten Ausschnitt immer dieselbe sei, wenn bei sonst unveränderten Widerstandsur-sachen der Druck an dieser Stelle zu verschiedenen Zeiten gleich gefunden wird, und im Anschluss hieran wird man mit Recht behaupten können, dass wenn, alles übrige gleichgesetzt, der Druck in einem bestimmten Arterienort zu verschiedenen Zeiten nur wenig von einander verschieden sei, dieses auch mit den dort vorhandenen Geschwindigkeiten der Fall gewesen. Auf diese einfachen Grundlagen baute ich, als ich zu dem gleichzeitigen Gebrauch der Uhr und des Manometers am lebenden Thiere schritt.

Die Anwendung die man von den Manometern an dem lebenden Thiere machen kann ist offenbar eine viel beschränktere, als die welche ein steifes Stromrohr erlaubt. So leuchtet zunächst gleich ein, dass die Anwendung von Manometern diesseits und jenseits der Canülen, welche in die Uhr einmünden, unthunlich ist, denn wenn man dieses ausführen wollte, so würde man zu den Ein- und Ausgangswiderständen der Uhr auch noch diejenigen der Einsetzstücke für die Manometer fügen, und somit etwas Neues in den Versuch hineinbringen. — Daraus folgt, dass man sich auf die Anwendung von nur zweien der genannten Apparate beschränken muss, die beide mit den metallwandigen Zuflussröhren der Kugeln in Verbindung stehen. Das erste dieser Manometer wird dann wie früher vor dem Eingang in die erste, der zweite hinter dem Ausgang aus der zweiten Kugel anzubringen sein. Hierdurch verzichtet man also von vorneherein auf die Aenderungen des Drucks, welche durch den Ein- und Ausgangswiderstand hervorgerufen werden. Da dieser, wie wir früher sahen, zwar nicht verschwindet, aber doch sehr gering war, wenn die Durchmesser der Uhreingänge und der Arterien nicht wesentlich von einander abweichen, so ist jetzt aus Gründen der Methode von Neuem darauf zu dringen, dass man sich Stromuhren von mehreren Calibern halte, so dass man diese der Normalweite der Arterie möglichst anpassend auswählen kann. Schon jetzt bin ich überzeugt, dass es zur Vervollkommnung der Versuche am Hunde zweck-

mässiger gewesen sein würde, statt zweier Uhrensorten deren mindestens vier zu besitzen.

Ein anderer Umstand, durch den sich die Messung des Drucks an der Arterie unvorthailhaft vor der an dem steifen Stromrohr hervorhebt, liegt in den raschen und periodischen Aenderungen des Blutdrucks. Ihretwegen muss man ihn registriren lassen, worauf man ihn dann nur planimetrisch bestimmen kann. Die sorgfältigste Arbeit vorausgesetzt werden Fehler von 1 bis 2 Millimeter nicht vermieden werden können; bei der Vergleichung von zwei Druckcurven, was im gegenwärtigen Fall nöthig wurde, werden also Fehler von 2 bis 4 Mm. Quecksilberdruck leicht vorkommen können, mit andern Worten die Fehlergrenze steigt unter Umständen weit über den Werth der Druckunterschiede selbst hinaus, die man zu beobachten beabsichtigt.

Endlich aber kommt die grösste Schwierigkeit. Am constanten Strom konnte man die Uhr beliebig aus- und einschalten und somit den Druck an irgend welcher Stelle vor oder hinter der Uhr für beide Fälle vergleichen. Zu diesem einfachen und sichern Verfahren können wir beim Blutstrom nicht greifen, da wir in keinem Falle wissen, ob die zu den verschiedenen Zeiten vorhandenen Bedingungen des Stroms auch noch unter einander vergleichbar sind. Offenbar dürfen darum nur die Drücke verglichen werden, welche gleichzeitig gemessen worden waren.

Gleichzeitige Messungen liessen sich aber auf zwei verschiedene Weisen gewinnen, entweder durch Einsetzung der Manometer an der Uhr, wie vorhin beschrieben, oder durch gleichzeitige Einsetzung zweier Manometer in die beiden Carotiden.

Auf diesen letztern Versuch setzte ich anfangs grosse Hoffnung. Wenn, so dachte ich, der Strom in beiden Carotiden zu derselben Zeit gleichmässig läuft, so wird man für das Manometer hinter und vor den Kugeln immer einen Vergleichungspunkt durch Messung des gleichzeitigen Drucks auf der andern Seite erlangen können. Zuerst griff ich zur Anwendung des *Bernard'schen* Differentialmanometers. Mit diesem Instrument führte ich drei Versuche aus, die mich jedoch belehrten, dass die Messung mit demselben mindestens nicht zu genauern Resultaten führt als sie durch die Anwendung von zwei registriren-

den Manometern erlangt werden können; ich habe desshalb auch noch zwei Versuche mit diesen zu den ersteren hinzugefügt.

Aus allen diesen Versuchen sah ich, dass die Drücke, die in entsprechenden Stellen der beiden Carotiden vorhanden sind, gleiche Weite der Einsatzstücke beiderseits vorausgesetzt, ebensowohl dieselben als auch verschiedene sein können. Damit war also die allgemeine Anwendbarkeit der gleichzeitigen Messungen beider Carotiden als beseitigt anzusehen. Immerhin leistete mir dieselbe einen Dienst, der bei fortgesetzter und noch weiter modifizierter Anwendung vielleicht ein noch grösserer hätte werden können. In einem der beobachteten Fälle zeigte sich nämlich deutlich, dass vor der ersten Kugel eine Stauung des Drucks bestand, ähnlich wie sie bei den Strömen in steifen unverzweigten Röhren eingetreten war.

Die genauere Anordnung des Versuchs war folgende. Der Durchmesser der Carotis des verwendeten Hundes betrug jederzeit 2 Mm. Links war ein T-rohr von 3 Mm. diam. eingesetzt, rechts die Uhr mit 3 Mm. Einflussmündung, die ausser den Kugeln auch noch das kurze Verbindungsstück *rr* Fig. 4 trug. Vor Beginn der Messung waren beiderseits die Stämme des Vago-sympathicus am Halse durchschnitten und in die Trachea eine Athmungscanüle eingeführt. — Als mit der Aufzeichnung der Drücke begonnen wurde, liess ich den Strom zuerst rechts statt durch die Kugeln durch das kurze Rohr laufen. Die Vergleichung der zu dieser Zeit aufgeschriebenen Drücke ergab als Resultat einen Unterschied von Null. Als nun der Strom rechts durch die Kugeln gelassen wurde, wobei sich in drei auf einander folgenden Messungen der Geschwindigkeit diese letztere zu 439, 493, 449 (Secunde und Mm.) ergab, erhob sich rechts der Druck von 1,8 Mm. über den links vorhandenen. Die Plötzlichkeit der Aenderung und ihre Constanz in gleichem Sinne giebt mir die Hoffnung, dass die Deutung, welche ich der Erscheinung so eben gegeben, keine irrige ist. Zudem ist ja auch anderweit schon bekannt, dass eine Verschlussung der Carotis, die zwischen einem eingesetzten Manometer und dem Kopfe geschieht, den Druck plötzlich bis zu 20 Mm. emportreiben kann*), sonach ist es auch wahrschein-

*) C. Ludwig, Physiologie des Menschen, 2. Aufl. 2. Bd. S. 167.

lich, dass eine in die Carotis eingeführte Hemmung vor sich eine Stauung veranlasst. — Diese Thatsache würde insofern beachtenswerth sein als sie bewiese, dass der Stauungsdruck, der, wie wir sahen, im unverzweigten Rohre das Fliessen durch die Uhr beförderte, auch im thierischen Kreislauf diesen Nutzen leistete.

Wenn nun der ganze Druckunterschied, der diess- und jenseits der Uhr besteht, nicht zu finden, wenn derjenige, welcher hinter den Kugeln ist, nicht mit dem Normaldruck verglichen werden kann, der ohne Einsetzung der Uhr vorhanden gewesen, und wenn endlich wegen der Unsicherheit der Ausmessung das was aufgeschrieben wurde nicht mit voller Sicherheit dargestellt werden kann, wozu, wird man fragen, soll dann die Vergleichung der Drücke dienen die an der vordern und hintern Grenze der Kugeln gemessen werden? Sie sind allerdings nicht dazu zu verwenden um aus ihnen den Verlust an Geschwindigkeit in Procenten der ursprünglichen anzugeben, der vor der Einsetzung der Uhr vorhanden war, aber trotzdem sind sie nicht ohne allen Werth für die kritische Beleuchtung des neuen Verfahrens. Aus diesem Grunde setze ich die Resultate zweier Versuche hierher.

Reihenfolge der Kugeln	Mitteldruck in Mm. Hg.		Unterschied beider	Volum des Bluts in 1 Sec. drgeg.	Mittlere Ge- schwindig- keit in d. Sec. u. in Mm.	Bemerkungen
	vor der ersten Kugel	nach der zweiten Kugel				
1	98,0	94,0	4,0	c. c. 0,942	Mm. 186	Hund von 2,59 Kilo Körpergewicht. Durchmesser der Ca- rotis im Lichten 2,5 Mm. Das Thier mit Mor- phium vergiftet.
2	99,2	94,4	4,8	0,955	195	
3	103,4	98,4	5,0	0,747	152	
4	—	—	—	0,875	178	
5	109,6	105,4	4,2	0,730	149	
6	103,8	99,8	4,0	0,760	155	
7	105,0	100,4	4,6	0,697	142	
8	103,0	100,8	2,2	0,725	148	
9	103,6	99,8	3,8	0,628	128	
10	102,2	99,0	3,2	0,513	104	
11	106,8	102,6	4,2	0,505	103	
1	133,2	130,8	2,4	1,402	146	Hund von 11,67 Kilo Körpergewicht. Durchmesser der A. carotis 3,5 Mm. (im Lichten).
2	132,0	129,2	2,8	1,777	185	
3	139,0	135,6	3,4	2,055	214	
4	140,8	137,6	3,2	2,206	129	
5	143,2	140,2	3,0	1,808	188	

Diese Beobachtungen lassen wenn auch nichts Anderes, so doch jedenfalls das erkennen, dass jenseits der zweiten Kugel der Druck nur um wenige Millimeter von dem verschiedenen war, der vor der ersten vorhanden, ein Unterschied, der namentlich in der zweiten Beobachtung nicht über 2 Procent empor geht. Aus diesen Erfahrungen folgt also der Schluss, dass der Widerstand der Uhr, auch wenn sie in dem Blutstrom sitzt, keineswegs so gross ist, dass er die quantitativen Erscheinungen des wahren Stroms wesentlich zu trüben vermöchte.

Da es mir aber nicht gelungen ist mit Sicherheit die Fehlergrenzen zu ermitteln, so halte ich es zunächst für gerathen, in den später mitzutheilenden Versuchen nur auf grössere Abweichungen und namentlich nur auf solche, die über 10 Procent hinausgehn, Werth zu legen. Den Erfahrungen gemäss, die ich an den künstlichen Strömen gesammelt und oben mitgetheilt habe, glaube ich, dass die wahre Fehlergrenze viel enger zu ziehen ist, namentlich wenn die Geschwindigkeiten des Blutstroms gering ausfallen. Jedenfalls darf das neue Verfahren, namentlich in Anbetracht der geringen Zahl genauerer Methoden zur Messung physiologischer Vorgänge hoffen, dass auch die durch dasselbe gewonnenen Resultate nicht unbeachtet bleiben.

Ich gehe nun zu den Erfahrungen über, welche ich bei der Aichung des lebendigen Blutstroms gewonnen.

9. Benutzung der Angaben der Stromuhr. — Aus den Angaben, welche die Versuche am lebenden Thiere liefern, können abgeleitet werden die mittleren Volumina von Blut, welche in der Secunde durch den beobachteten Querschnitt der Arterie hindurchgehen. Dieser Werth wird gefunden, wenn man die Zahl der Secunden, die zur Füllung einer Kugel verstreichen mussten, in den bekannten Rauminhalt der Kugel dividirt; ich werde ihn unter dem Namen des Strom- oder Secundenvolums einführen. Er giebt nicht allein den Beobachtungen ihren unverfänglichsten Ausdruck, sondern man erfährt durch ihn auch dasjenige, was am wissenschaftlichsten ist; ich werde desshalb bei der Aufzählung meiner Beobachtungen das Stromvolum jedesmal in erster Linie anführen.

Ausserdem lassen sich die Bruttoangaben der Versuche dazu benutzen, um aus ihnen herzuleiten das Mittel der nach der Zeit veränderlichen Geschwindigkeit in dem beobachteten Arterienquerschnitt. Zur Auswerthung dieses mittleren Wer-

thes ist es nothwendig den Ergebnissen, welche die Stromuhr liefert, noch den Durchmesser beizufügen, welchen die Arterie besitzt, deren Stromaichung vorgenommen wurde. Zur Herstellung des wahren Mittelwerthes würde es natürlich nothwendig sein den mittlern Durchmesser der Arterie in die Rechnung einzuführen, da mit den Phasen des Herzschlages und der Athmung der Umfang der Arterie, insbesondere beim Hund, sehr merklich differirt. Nun liegt es auf der Hand, dass der mittlere Durchmesser der Arterie in diesem Sinn genommen nicht anzugeben ist; man ist desshalb, will man auf die Angabe der mittlern Geschwindigkeit nicht verzichten, gezwungen, statt des wahren einen nur ungefähr richtigen mittlern Durchmesser der Arterie einzuführen. Einen solchen habe ich mir dadurch verschafft, dass ich mit einem feinen Tasterzirkel den Durchmesser der Arterie, bevor ich die Uhr in dieselbe einsetzte, ausmass und von der gefundenen Grösse die doppelte Dicke der Arterienwand abzog, die genau an derselben Stelle gemessen wurde, an welcher ich den äussern Umfang des Gefässes abgetastet hatte. Mit Hülfe des auf diese Weise gefundenen Radius wurde die Quadratsfläche der Arterienlichtung berechnet, und dieser auf bekannte Weise zur Ermittlung der mittlern Secundengeschwindigkeit des Stromes benutzt. Wenn auch, wie erwähnt, die gefundene Zahl von der wahren merklich abweicht, so ist sie immerhin dazu brauchbar, schätzungsweise den Strom in zwei verschiedenen Arterien zu vergleichen; ich habe desshalb in der Regel auch diesen Werth zur Darstellung der Beobachtungsergebnisse benutzt.

Fernerhin kann man aus dem, was die Beobachtung ergiebt, auch noch das Blutvolum berechnen, was ein mittlerer Herzschlag durch den beobachteten Querschnitt der Arterie hindurchgetrieben hat. Zu dem Ende hat man nur mit der Zahl der Herzschläge, welche während der Füllung einer Kugel ausgeführt wurden, in das bekannte Volum der letzteren zu dividiren. Kaum wird zu erwähnen sein, dass diese mittlere Quote des Herzvolums sich um so weiter von den wirklich vorhanden gewesenenen entfernt, je unregelmässiger das Herz während der Beobachtungszeit geschlagen. Aus diesem Grunde wird der mittlere Antheil, der dem betrachteten Gefässe von der gesammten durch das Herz ausgestossenen Blutmasse zugetheilt

wurde, sich beim Hunde mehr von der Wahrheit entfernen, als beim Kaninchen.

10. Stromaichungen am lebenden Thier. — A. Im Beginn meiner Beobachtung enthielt ich mich begreiflicherweise einer jeden künstlichen Veränderung in den Zuständen des Thiers; ich beschränkte mich einfach darauf, die Stromvolumina zu ermitteln, während das Thier ruhig dalag. Eine Reihe von Versuchen, die auf diese Weise ausgeführt wurden, ergaben am Kaninchen und am Hund die Zahlen, welche ich sogleich mittheilen will. — Dem Verständniss wird genügt sein, wenn ich hinzufüge, dass unter dem ersten Stabe die Zeit eingeschrieben ist, welche seit dem Beginn des Versuches verflossen war. Je zwei Angaben, die in derselben Reihe neben einander stehen, drücken die Zeitdauer aus, welche zur Füllung der einen oder der mehreren Kugeln nothwendig war, aus welcher die mittlern Stromvolumina und Geschwindigkeiten abgeleitet sind, welche unter den beiden folgenden Ueberschriften und zwar in der gleichen Reihe verzeichnet stehen.

Beobachtung an der Arteria carotis communis.

Fortlaufende Zeit in Secunden	Stromvolum in 4 Secunde in Cbc.	Mittlere Ge- schwindigk. in der Sec. und in Mm.	Bemerkungen
0—30	0,40	226	Kaninchen, Körpergewicht 1700 Gr. Durchmesser der Carotis = 1,4 Mm.
30—36	0,33	188	
36—54	0,22	125	
54—70	0,25	144	
70—84	0,28	164	
84—90	0,33	188	
90—98	0,25	144	
98—110	0,16	94	
0—15	2,8	489	Hund, Körpergew. 23,28 Kilo, mit Morphinum ver- giftet, Durchm. der Art. carotis = 2,7 Mm.
15—25	4,2	733	
25—44	2,2	386	
44—65	2,0	349	
65—80	2,8	489	

Fortlaufende Zeit in Secunden	Stromvolum in 1 Secunde in Cbc.	Mittlere Ge- schwindigk. in der Sec. und in Mm.	Bemerkungen
0—14	3,2	520	Hund, Körpergew. 12,13
14—32	2,5	405	Kilo, Durchm. der Art.
32—52	2,3	365	carotis = 2,8 Mm.
52—73	2,0	447	
73—97	1,9	304	
97—127	1,5	243	
0—9	1,7	339	Hund, Körpergew. 3,57
9—21	1,3	255	Kilo, n. vago-symph.
21—36	1,0	204	durchschnitten.
36—45	1,7	339	
0—22	0,69	444	Hund, Körpergew. 3,17
22—42	0,77	458	Kilo, mit Morph. vergif-
42—63	0,72	430	tet, Durchm. der Carotis = 1,50 Mm.

Die Zahlen gewähren den Aufschluss, dass die mittlern Stromvolumina auch am ruhigen, in scheinbarem Gleichgewichte verharrenden Thiere fortwährenden Schwankungen ausgesetzt sind. Mit wenigen Ausnahmen ändert sich von einer Kugel zur andern die strömende Masse, und dieses so bedeutend, dass sie im Verlauf von einer Minute auf die Hälfte ihres ursprünglichen Werthes herabsinken und dann auch wieder auf diesen und höher emporsteigen kann. Eine solche Schwankung war für den ruhigen Ablauf des Lebens zu auffallend um nicht den Verdacht zu erregen, dass hier wider den Willen des Beobachters künstliche Störungen in den Blutlauf eingeführt worden seien. Als solche wären, so könnte man denken, vielleicht die Temperaturänderung anzusehen gewesen, welche das Blut während seines Aufenthaltes in den Kugeln erlitten hätte. Es giebt einen directen Weg sich hierüber zu vergewissern; dieser besteht darin, dass man die beiden Kugeln der Uhr, wie es in Fig. 1 zu sehn, mit einem Gefäss umgiebt, das mit Wasser von beliebiger Temperatur gefüllt und auf dieser erhalten werden kann. Nach dieser Anweisung stellte ich alsbald einige Versuche mit Hunden an, wobei ich das Wasser in der Umgebung der

Kugeln entweder auf 40° C. oder auf 0° C. temperirt erhielt. Das Resultat derselben war das folgende:

Nr. der Kugeln v. Beginn des Versuchs	Kugeln mit Wasser von 40° C. umgeben				Kugeln m. Wasser v. nahezu 0° C. umgeb.				Bemerkungen
	Stromvolum in der Sec. Cbc.	Mittlere Geschwindigkeit in 1 Sec. u. Mm.	Zahl d. Pulse in 100 Sec.		Stromvolum in 1 Secunde	Mittlere Geschwindigkeit in 1 Secunde	Zahl d. Pulse in 100 Sec.		
1	1,68	584	110	—	—	—	—		Hund, Körpergewicht 3,66 Kilo, Durchmesser der Carotis = 2 Mm. Während der Dauer d. ganzen Versuchs (warm u. kalt) heftige Athembewegungen.
2	1,53	484	110	—	—	—	—		
3	—	—	—	1,70	544	188	—		
4	—	—	—	1,00	315	47	—		
5	—	—	—	1,53	487	90	—		
6	—	—	—	1,88	597	112	—		
7	—	—	—	1,91	609	112	—		
8	1,47	468	110	—	—	—	—		
9	1,36	434	127	—	—	—	—		
10	1,47	468	140	—	—	—	—		
11	1,50	478	140	—	—	—	—		
1	0,28	58	104	—	—	—	—		Hund, Körpergewicht 4,46 Kilo, Durchmesser der Carotis = 3,5 Mm.
2	0,77	157	127	—	—	—	—		
3	0,72	146	?	—	—	—	—		
4	—	—	—	0,52	105	155	—		
5	—	—	—	0,82	173	161	—		
6	—	—	—	1,15	235	177	—		
7	0,43	88	150	—	—	—	—		
8	0,83	169	?	—	—	—	—		
9	—	—	—	0,82	166	177	—		
10	—	—	—	0,75	153	?	—		
11	—	—	—	0,70	143	124	—		
13	—	—	—	0,74	150	135	—		Der letzte Aufenthalt der Kugel in Eiswasser (von 9 bis 26) dauerte 382 Sekunden.
15	—	—	—	0,70	143	124	—		
17	—	—	—	0,74	150	130	—		
19	—	—	—	0,71	143	124	—		
21	—	—	—	0,64	130	113	—		
23	—	—	—	0,64	139	116	—		
26	—	—	—	0,49	100	100	—		

Die Versuche gewähren die Ueberzeugung, dass die Aenderungen der Temperatur, welche das Blut während seines Aufenthalts in den Kugeln erfährt, weder an dem Auftreten der Schwankungen betheiligt sind, oder etwa gar die Geschwindigkeit nach einer bestimmten Richtung hin beeinflussen. — Von vorn herein hätte man etwa erwarten können, dass das

Blut, welches in den freistehenden von der Zimmerluft umgebenen Kugeln verweilte, so weit abgekühlt worden wäre, dass dasselbe nach seinem Rücktritt in die Blutgefäße die Muskeln der kleinen Arterien zur Contraction veranlasst hätte; hieraus würden die etwa eingetretenen Verminderungen der Geschwindigkeit zu erklären gewesen sein. Nun zeigt sich aber, dass Erscheinungen, die auf eine Contraction in Folge der Abkühlung hindeuten, nicht einmal eintreten, wenn das Blut in den von Eiswasser umgebenen Kugeln verweilte; was also die stärkere Abkühlung nicht vermag darf doch sicher nicht der geringeren zugemuthet werden. — Um anderseits die Vermehrung der Geschwindigkeit, welche häufig auf ihre Verminderung folgt, aus der Temperaturerniedrigung zu erklären, müsste man zu reflectorischen Reizungen, welche das kühlere Blut einleitete, seine Zuflucht nehmen. Hiezu liegt jedoch kein Grund vor, sobald wir sehn, dass die Schwankungen der Stromgeschwindigkeit auch nicht ausbleiben, wenn das Blut aus den Kugeln kommt, die nahezu auf die Eigenwärme des Thiers temperirt sind. Mit einem Wort die Schwankungen sind unabhängig von der geringen Erniedrigung der Temperatur, welche das Blut während seines Aufenthaltes von etwa 30 bis 40 Secunden in den Kugeln erfahren kann.

Damit möchte ich jedoch nicht gesagt haben, dass das abgekühlte Blut gar keinen Einfluss auf die reizbaren Theile des Gebietes übe, welche von ihm durchströmt werden. Bei der Durchsicht der Pulszahlen, welche in den vorstehenden Beobachtungen verzeichnet sind, fällt es auf, dass während der Abkühlungszeit die Zahl der Herzschläge zuweilen eine auffallend niedrige wird, z. B. nur 47 in 100 Secunden, während etwas ähnliches in den Wärmezeiten nicht beobachtet wird. Allerdings steigt, wie z. B. in der ersten der beiden Beobachtungen, die Pulszahl trotz fortdauernder Abkühlung auch wieder an; im zweiten Fall dagegen, in welchem zuletzt das Blut 382 Secunden in Eiswasser stand, nahm sie fort und fort von 177 zu 100 in 100 Secunden ab. Man kann danach vermuthen, dass das kühlere Blut die Wurzeln des Vagus reize. Hievon habe ich mich wiederholt auf die Weise überzeugt dass ich absichtlich das Vorwärmen des in der ersten Kugel enthaltenen defibrinirten Blutes unterliess, so dass ein Blut von 18 bis 20° C. in das Hirn ablief; die Thiere athmeten sogleich einigemal tief ein

oder schriehen sogar laut auf, und ihr Puls ward um einige Schläge seltener. Immer aber war dieser Erfolg ein ganz vorübergehender; nach der zweiten oder dritten Kugel kehrte die häufigere Schlagzahl wieder, und der Gang des Stroms wurde überhaupt nicht weiter beeinflusst.

Da beim Hund schon in den ersten Versuchen mit freistehenden Kugeln die Geschwindigkeit auf und ab schwankte, so war es von vornherein unwahrscheinlich, dass die nach einer Richtung hingehende Temperaturänderung den variablen Gang der Geschwindigkeit veranlasst haben sollte. Anders verhielt es sich beim Kaninchen. In der auf Seite 239 vorgeführten Beobachtung an diesem Thier sieht man die Geschwindigkeit zwar auch mit Schwankungen behaftet, aber sie nimmt im Allgemeinen doch vom Beginn gegen das Ende der Beobachtung ab; diese Erfahrung habe ich nun oft gemacht. Setzt man bei einem Kaninchen das erste, warmes Blut enthaltende Kugelpaar ein, so bemerkt man, dass der Strom anfangs während einiger Kugeldrehungen in engen Grenzen schwankt, dann aber mit der wachsenden Zahl der Kugeldrehungen stetig an Geschwindigkeit verliert, so dass der Verdacht entsteht, es möchte eine Blutgerinnung eingetreten sein. Entfernt man nun den Apparat, so kann man sich leicht überzeugen, dass in vielen Fällen trotz des langsamen Stromes der Inhalt der Uhr vollkommen frei von jedem Gerinnsel ist. Setzt man alsdann ein neues Kugelpaar mit warmem Blut in die Arterie, so wiederholt sich öfter die Reihenfolge der Erscheinungen, die man am ersten Kugelpaar gesehen, auch am zweiten; vertauscht man darnach das zweite Kugelpaar mit dem dritten, so sieht man anfänglich wiederum eine grössere, der im Beginn des ersten Versuchs beobachteten gleiche Geschwindigkeit eintreten, woraus zur Genüge erhellt, dass in dem Gefässbaum nirgends Blutgerinnsel vorhanden waren. Werden, wenn die Geschwindigkeit abgenommen, die Öhrlöffel der Betrachtung unterzogen, so findet man dieselben kalt und blass, demnach könnte der Verlauf der vorgeführten Erscheinungen so zu deuten sein, dass sich der Kopf des Thiers durch das den Kugeln entströmende Blut allmählig abkühlte, während es sich in der Pause, die zwischen zwei Kugeleinsetzungen verstreicht, allmählig wieder erwärmt hätte. Diese Deutung des Vorgangs ist jedoch mit Vorsicht aufzunehmen weil ich wiederholt mit der wachsenden Zahl der Kugeldrehungen die Geschwindigkeit

der Kugeln sich mindern und die Blässe des Ohres eintreten sah, wenn auch die Kugeln von aussen mit warmem Wasser umgehen waren. Hierfür liefert der nachstehende Versuch ein schlagendes Beispiel:

Nummer der Kugel	Stromvolum in 1 Secunde.	Mittlere Geschwindigkeit. p. Sec. in Mm.	Pulse in 100 Secunden.	Bemerkungen.	
	Ccm.				Kaninchen.
1	0,29	174	—	} Kugel mit Wasser von 35° C. umgeben.	Kp.-G. 1610 Gr. Durchm. d.
2	0,16	94	221		Carotis 1,5 Mm. Ohröffel
3	0,10	60	—		bleich und kalt, Wunde mit Watte bedeckt.

Woher nun aber auch die Minderung der Geschwindigkeit unter den besprochenen Umständen rühren mag, keinen Falls ist das Bedenken abzuweisen, dass beim Kaninchen der Versuch selbst störend in den Blutlauf eingreifen könne. Dabei darf ich jedoch die Bemerkung nicht unterlassen, dass das eben beschriebene Verhalten keineswegs immer beim Kaninchen eintritt. Beim Hunde habe ich niemals etwas ähnliches bemerkt. Aus diesem Grunde habe ich mich vorzugsweise an den Hund gehalten.

Nachdem mich die Erfahrung belehrt hatte, dass keinesfalls beim Hunde die etwa eintretenden Temperaturänderungen Schuld trugen an dem Wechsel in den Geschwindigkeiten des Blutstroms, so musste ich nach anderen Ursachen für sie suchen. Natürlich richtete sich mein Augenmerk zunächst auf die häufig vorkommenden Aenderungen in der Schlagfolge des Herzens und die Unregelmässigkeiten des mittleren Blutdrucks.

Ueber die Beziehungen, welche zwischen der Zahl der Pulse und dem Stromvolum bestehen, oder nicht bestehen, giebt die folgende Reihe Aufschluss. In den Versuchen, die derselben zu Grunde liegen, wurden die Pulse während der Zeitdauer der Kugelfüllung gezählt. Die Pulszahlen, welche während je einer derselben notirt waren, wurden auf die Zeit von 100 Secunden berechnet, und diese Werthe sind mit dem mittlern Stromvolum der zugehörigen Kugel für die Secunde zusammengestellt worden. Um dem Leser die Vergleichung zu erleichtern, habe ich an

jedem der beobachteten Thiere die Zahlen nach der Grösse der Stromvolumina und zwar in absteigender Richtung geordnet. Ausserdem ist an dem dritten Stabe das Schlagvolum aufgeführt, d. h. die Blutmenge, welche während eines Herzschlages durch die A. carotis ging. Die Zahlen im ersten Stabe geben an, auf die wievielte Kugel seit Beginn der Beobachtung sich die Stromvolumina etc. beziehen.

Nummer der Kugel.	Stromvolum in d. Secunde Ccm.	Stromvolum für 4 Herzschlag.	Mittlere Geschwindigkeit in Sec. u. Mm.	Zahl der Pulsschläge in 100 Sekunden.	Bemerkungen.	
6	1,15	0,65	235	147	Hund. Kpg. 4,45 Kilo. M. Morphium vergiftet. Durchm. d. A. Car. 2,5 Mm.	
5	0,85	0,53	173	161		
2	0,82	—	166	177		
2	0,77	0,68	158	127		
17	0,74	0,56	150	130		
18	0,71	0,56	143	124		
19						
20						
21	0,64	0,56	130	113		
23	0,64	0,50	130	116		
24	0,64	0,47	130	135		
26	0,49	0,49	100	100		
7	0,43	0,29	88	150		
1	0,28	0,27	58	104		
2	1,18	0,90	166	120	Hund. Kpg. 5,5 Kilo. Durchm. d. A. Carotis 3,0 Mm.	
3	1,08	0,84	152	130		
4	1,01	0,66	142	150		
10	1,63	0,74	333	222	Hund. Kpg. 5,75 Kilo. Durchm. d. A. Carotis 2,5 Mm. M. Morphium vergiftet.	
11	1,63	0,79	333	211		
12	1,63	0,74	333	122		
13	1,63	0,82	333	200		
14	1,63	0,82	333	200		
15	1,63	0,88	333	188		
17	1,63	0,75	333	222		
9	1,50	0,75	305	210		
16	1,47	0,70	299	210		
8	1,37	1,16	280	133		
2	1,28	0,85	260	150		
1	0,94	0,52	192	180		
2	0,77	0,54	458	140		Hund. Kpg. 3,17 Kilo. Durchm. d. A. Car. 1,5 Mm. M. Morphium vergiftet.
3	0,72	0,54	430	133		
1	0,69	0,50	411	136		

Nummer der Kugel.	Stromvolumen in d. Secunde Ccm.	Stromvolumen in 4 Herzschlag.	Mittlere Geschwindigkeit in ec. u. Mm.	Zahl der Pulse in 100 Sekunden.	Bemerkungen.
4	0,67	0,64	398	104	Fortsetzung des Versuches von voriger Seite.
5	0,60	0,60	159	100	
6	0,48	0,49	286	97	
7	0,37	0,25	219	150	
8	0,35	0,26	210	133	
7	1,91	1,70	609	112	Hund. Kpg. 3,66 Kilo. Durchm. d. A. Car. 2,5 Mm.
6	1,88	1,66	597	112	
3	1,70	0,90	541	188	
1	1,68	1,51	534	110	
5	1,53	1,70	487	90	
2	1,53	1,39	481	110	
11	1,50	1,07	478	140	
8	1,47	1,33	468	110	
10	1,47	1,03	468	140	
9	1,36	1,07	434	127	
4	1,00	2,14	315	46	

Nummer der Kugeln.	Stromvolumen in 4 Secunde in Ccm.	Stromvolumen in 4 Herzschl. Ccm.	Zahl der Herzschläge in 100 Sekunden.	Bemerkungen.
12	1,21	1,50	81	Hund. Kpg. 4,76 Kilo. Durchm. d. A. Car. zwischen 2 u. 3 Mm. M. Morphinum vergiftet.
15		1,50	96	
13	1,01	1,50	107	
5	1,07	0,45	90	
6		1,18	107	
7		1,00	107	
8		1,00	107	
23	0,96	1,09	88	
10	0,96	0,92	104	
14	0,96	1,04	92	
17 bis 20	0,92	1,09	85	
11	0,82	1,18	86	
21	0,80	1,00	80	
22		0,92	90	
3	0,68	0,71	96	
4		0,75	91	
9	0,62	0,71	88	
2	0,41	0,48	80	

Nummer der Kugeln.	Stromvolum in 1 Secunde in Ccm.	Stromvolum in 1 Herzschl. Ccm.	Mittlere Ge- schwindigkeit. Sec. u. Mm.	Zahl der Herz- schläge in 100 Secunden.	Bemerkungen.
2	0,96	0,39	196	242	Hund. Kpg. 2,59 Kilo. Durchm. d. A. Car. 2,5 Mm. M. Mor- phium vergiftet.
1	0,91	0,52	186	177	
4	0,88	0,35	168	250	
8	0,75	0,39	152	193	
6	0,76	0,32	155	241	
5	0,73	0,34	149	212	
8	0,73	0,32	148	230	
7	0,70	0,30	142	236	
9	0,63	0,31	128	202	
10	0,51	0,27	104	187	
11					

Hier zeigt sich nun auch nicht die entfernteste Andeutung für ein festes Verhältniss zwischen der Pulszahl und dem Stromvolum in der A. carotis, denn die beiden Werthe schwanken ganz unabhängig von einander auf und ab. Das Stromvolum kann längere Zeit hindurch ganz oder nahezu unverändert bleiben, während die Pulszahlen um mehr als 40 Procent variiren, und umgekehrt bei ganz derselben Pulszahl kann ein sehr ungleiches Stromvolum durch die A. carotis fliessen. — Zu ähnlichen Resultaten ist schon *Lenz**) gelangt.

Dasselbe was für das Stromvolum in der Secunde gefunden wurde, gilt auch für das Schlag- oder Pulsvolum der A. carotis. Als Quotient aus der Zahl der Herzschläge in das während einer Secunde strömende Blut wächst es selbstverständlich proportional mit dem Stromvolum und nimmt mit der steigenden Pulsfrequenz ab; demnach erreicht es seine grössten Werthe, wenn die strömende Masse gross und die Zahl der Pulse klein ist. — Die physiologische Unabhängigkeit des Quotienten von den ihn erzeugenden Factoren ergibt sich aber sogleich daraus, dass es bei kleinen Werthen des Stromvolums und grossen der Schlagzahlen des Herzens grösser sein kann, als wenn die beiden genannten Werthe sich im umgekehrten Sinne geändert haben.

*) C. Ludwig, Physiologie des Menschen, 2. Aufl. II. S. 193.

Wenn auch zunächst nichts anderes, so geht doch aus diesen Erfahrungen hervor, dass einige Unterstellungen nicht ohne weiteres als gültige anzusehen sind, die man von verschiedenen Seiten her gemacht und als Grundlagen weiterer Schlüsse benutzt hat. Die erste von diesen lautet dahin, dass ein jeder Herzschlag gleich viel Blut entleere, so dass die gesammte der linken Kammer entströmende Flüssigkeitsmasse geradezu wie die Zahl der Pulse wachse; diesen Satz brachte man in Verbindung mit dem andern, dass die in der A. aorta fließende Blutmasse sich nach ganz bestimmten Proportionen in die primären Arterienzweige vertheile. Da die obige Zusammenstellung zeigt, dass das carotische Stromvolum keineswegs mit der Zahl der Herzschläge zunimmt, so ist jedenfalls, wenn nicht beide, so doch eine der angeführten Annahmen unrichtig.

Zu demselben Urtheil kommt man über eine andere, wiederholt ausgesprochene Hypothese. Nach ihr soll die Blutmenge, welche in der Zeiteinheit aus dem Herzen hervorgeht, nur von dem Zufluss abhängen, welcher von Seiten der Venen her stattfindet. Dann würde allerdings die in der Zeiteinheit von dem Ventrikel in Bewegung gesetzte Blutmasse unabhängig von der Zahl seiner Zusammenziehungen sein, es müsste aber die mit jedem einzelnen Herzschlage entleerte Blutmenge um so kleiner werden, je grösser die Zahl der Herzschläge in der Zeiteinheit ausfiele. Da wir diese Folgerung an dem Strom in der A. carotis nicht bestätigt sehn, so muss also entweder die Unterstellung, welche über die Gesammtmasse des strömenden Blutes gemacht wurde nicht richtig sein, oder es muss der Antheil, welchen die Carotis vom Aorteninhalt empfängt, im Verlaufe der Zeit beträchtlich variiren. *)

Da sich gar keine feste Beziehung zwischen der Zahl der

*) Da ich wiederholt das Gewicht der beiden und den Inhalt des linken Ventrikels ausgewerthet, so kann man, wo dieses geschehen, die grössten Stromvolumina in der Carotis während 4 Herzschlags und 4 Secunde mit der Räumlichkeit des linken Ventrikels vergleichen. Bevor ich die Zahlen, welche die Grundlagen und die Resultate der Vergleichung, anführe, bemerke ich über die genannten Maasswerthe des Herzens Folgendes. — Das Gewicht wurde an den feuchten Ventrikeln, die von Klappen und Vorhöfen sorgfältig befreit waren, genommen. Zur Ausmessung der Kammerhöhle zerstörte ich die Semilunarklappen und band eine nach

Herzschläge und dem carotischen Stromvolum vorgefunden hatte, so war nun zu versuchen, ob vielleicht eine solche zwischen dem mittlern Blutdruck in der Carotis und dem Stromvolum dieser Arterie besteht. Die Annahme, dass zwischen der Masse des Bluts, welche aus der Aorta abfließt und dem Druck, unter dem es dort liegt, eine directe Proportion bestehe, ist allerdings schon durch die Erfahrungen der neuern

Mm. getheilte, kalibrierte Glasröhre an die Aorta. Das dem Herzen zugewendete Ende dieser Röhren wurde genau bis an die Grenze zwischen der Aorta und Herz vorgeschoben; darauf unterband ich die Kranzarterien und knüpfte ein stehengelassenes Stück des linken Vorhofs an der Aorta fest; ohne diese Vorsichtsmassregel würde sich bei der Füllung des Herzens die an der Aortenseite liegende Zipfelklappe zu weit von der gegenüberliegenden entfernen, als dass dann noch der Klappenschluss an der Vorhofsmündung zu Stande kommen könnte. Alsdann stellte ich das Herz mittelst der Röhre in einem Stativ fest, tauchte die Kammern bis an den Vorhofrand in Wasser und füllte nun von der Glasröhre her die linke Kammer mit Wasser an, wobei der Eintritt und das Zurückbleiben von Luftblasen sorgfältig vermieden wurde. Bei dieser Füllung stellten sich in der Regel die Vorhofsklappen alsbald fest ein und ich konnte nun durch die Röhre so lange Wasser nachfüllen, bis der Inhalt der Kammer unter dem gewünschten an der Theilung der Röhre abzulesenden Druck stand; darauf hob ich mit einer feinen Pipette das Wasser ab, welches über den Vorhofsklappen stand, nahm dann das Herz aus dem Stativ, trocknete es von aussen ab und entleerte seinen Inhalt in eine Schale. Zieht man von dem gefundenen Wasservolum dasjenige des Inhalts des angefüllten Röhrenstückes ab, so erhält man den Rauminhalt des linken Ventrikels unter dem angewendeten Druck.

Diese Messungen nahm ich in der Regel zweimal vor, das erste Mal unmittelbar nach dem Tode des Thieres, bevor die Herzmuskeln starr geworden waren, das andere Mal zwei Tage später, nachdem sich die Starre wieder gelöst hatte. Beide Bestimmungen gaben mir in der Regel bei gleichem Druck gleiche Werthe für den Inhalt des Ventrikels. Die letztern werden dagegen beträchtlich kleiner, wenn man die Messung bei noch vorhandener Starre vornimmt.

Die hier beschriebenen Messungen sind natürlich nicht in der Absicht angestellt, um das wahre Volum zu finden, welches die linke Kammer bei ihrer lebendigen Zusammenziehung in die Arterien entleert; sie können auch nicht einmal dazu dienen, um das Maximum des Rauminhalts anzugeben, welches die lebende Kammer zu umspannen vermag, weil uns der Druck unbekannt ist, unter welchem die Füllung im Leben geschieht. Wenn diese Messungen überhaupt einen Sinn haben, so kann dieser nur darin bestehen, dass man Rauminhalte des linken Ventrikels findet, welche den maximalen Füllungen des lebendigen Herzens proportional sind; man

Zeit sehr erschüttert worden. Solange man keine Rücksicht nahm auf die wechselvolle Weite der Abflusswege, beziehungsweise auf den veränderlichen Contractionsgrad der Muskeln an den kleinen Arterien, musste man den Regeln der Hydraulik entsprechend annehmen, dass der Abfluss des aortischen Inhaltes proportional seinem mittlern Druck statfinde. Seitdem wir aber wissen, dass die höchsten Werthe des arteriellen Blutdruckes zusammenfallen mit den grössten Werthen der Contraction in den kleinen Arterien, so ist es auch klar, dass mindestens in zahlreichen Fällen statt einer directen eine umgekehrte Proportion zwischen den Grössen des mittlern Blutdruckes in den Arterien und der Ausfluss-Menge aus denselben eintreten müsse. In andern Fällen kann freilich auch eine directe Proportion zwischen den genannten Grössen auftreten. Diese Voraussicht ist im Allgemeinen durch die folgenden Zahlen bestätigt worden.

In dem ersten Stab der folgenden Tabelle ist die Nummer

erhält somit Unterlagen für die Vergleichung der relativen Capacitäten zweier verschiedener Herzen. Ich lasse nun die Zahlen folgen.

Grösstes Stromvolum in		Inhalt der linken Kammer.	Füllungsdruck in Mm. Hg.	Verhältnisszahlen zwisch. Kammerinhlt. in		Gewicht bel. der Ventrikel.	Bemerkungen.
1 Secunde.	1 Herzschlag.			Secd.-volum	Schlagvolum		
Cbc.	Cbc.	Cbc.				Gr.	
4.17	2.56	61	480	0.068	0.04	60	Körpergr. 21.91 Kilo.
		50	425	0.083	0.05		diam. art. car. 4.5 Mm.
2.24	1.40	50	302	0.014	0.02	98	Krprgew. 11.67 Kilo.
		46	204	0.048	0.03		diam. art. car. 3.5 Mm.
1.51	0.86	51	302	0.030	0.01	85	Krprgew. 10.11 Kilo.
		40	105	0.038	0.02		diam. art. car. 3.5 Mm.
2.00	2.00	26	439	0.077	0.08	40	Krprgew. 3.40 Kilo.
		19	152	0.105	0.15		diam. art. car. 2.5 Mm.
1.13	0.62	27	439	0.042	0.02	40	Krprgew. 3.69 Kilo.
		20	152	0.057	0.03		diam. art. car. 2.0 Mm.
0.60	0.14	17	439	0.035	0.08	25	Krprgew. 2.42 Kilo.
		12	152	0.049	0.01		diam. art. car. 2.0 Mm.
0.84	0.45	16	439	0.053	0.03	30	Krprgew. 2.80 Kilo.
		13	152	0.065	0.03		diam. art. car. 2.0 Mm.

Es dürfte gewagt sein, auf diese geringe Zahl von Beobachtungen schon jetzt Schlüsse bauen zu wollen.

der vom Beginn der Beobachtung fortlaufend gezählten Kugel eingetragen; im zweiten Stabe steht das Stromvolum der Carotis; die verschiedenen Werthe desselben, die bei je einem Thier gefunden wurden, sind nicht nach der zeitlichen Reihenfolge, sondern nach ihrer Grösse und zwar in absteigender Weise angeordnet; darauf folgt die aus dem Stromvolum und dem Arterien-Durchmesser berechnete mittlere Geschwindigkeit, dann der mittlere Blutdruck in Mm. Hg.

Nummer der Kugeln.	Stromvolum in 4 Secunde in Ccm.	Mittlere Ge- schwindigk. in 4 Secunde und in Mm.	Mittlerer Blutdruck in der A. carotis.	Bemerkungen.
I				
5	3,40	357	87,0	Hund. Kpg. 10,64 Kilo. Durchm. d. Carotis 3,5 Mm.
4	3,10	323	89,2	
7	3,08	320	88,0	
3	2,96	308	89,6	
6	2,82	293	90,2	
9	2,29	238	83,4	
8	2,17	226	85,0	
10	2,17	226	84,4	
2	2,08	217	90,6	
1	2,07	215	90,6	
13	2,01	209	85,0	
12	1,90	198	84,2	
11	1,78	185	82,8	
14	1,75	181	84,6	
II				
4	2,21	129	140,8	Hund. Kpg. 11,67 Kilo. Durchm. d. Aorta 3,5 Mm.
3	2,06	214	139,0	
5	1,84	188	143,2	
2	1,78	185	132,0	
1	1,40	146	132,2	
6	1,34	139	114,4	
7	1,08	111	117,2	
9	0,81	84	119,2	
8	0,76	79	118,4	
10	0,72	74	119,8	
III				
2	0,96	195	99,2	Hund. Kpg. 2,59 Kilo.
1	0,91	186	98	
6	0,76	155	103,8	
3	0,75	152	103,4	

Nr. der Kugel n.	Stromvolum in 1 Secunde in Ccm.	Geschwindigkeit.	Mittlerer Blutdruck.	Bemerkungen.
5	0,73	149	109,6	
8	0,73	148	103,0	
9	0,68	128	103,6	
10	0,51	104	102,2	
11	0,51	103	106,8	
IV				
2	4,17	262	109,4	Hund. Kpg. 21,94 Kilo. Durchm. d. Arteria carotis 4,5 Mm. M. Morphium ver- giftet.
4	3,12	196	114,2	
6	3,12	196	117,2	
1	3,08	194	108,6	
8	2,85	179	115,6	
11	2,76	174	114,4	
5	2,70	170	123,0	
7	2,52	158	117,6	
12	2,33	147	115,2	
3	2,29	144	116,4	
13	2,29	144	113,0	
9	2,16	136	114,8	
10	2,07	130	113,4	
14	1,98	124	115,0	

Bei einer Durchsicht dieser Zahlen wird man bemerken, dass allerdings zuweilen mit dem sinkenden Druck auch das Stromvolum abnimmt, eben so oft aber gewahrt man auch das Umgekehrte. Um die Einsicht in diese Unregelmässigkeit noch weiter zu erleichtern, habe ich aus jeder der vier Beobachtungsreihen die grössten und kleinsten Stromvolumina und ihre zugehörigen Drücke ausgezogen und sie mit einander verglichen.

$$\text{I} \quad \begin{array}{l} \text{Kleinstes Stromvol. } \frac{1,75}{3,40} = 0,51 \quad \text{mittl. Druck } \frac{84,6}{87,0} = 0,97. \\ \text{Grösstes Stromvol. } \end{array}$$

II Ohne Morphium.

$$\begin{array}{l} \text{Kleinstes Stromvol. } \frac{1,40}{2,24} = 0,64 \quad \text{mittl. Druck } \frac{133,2}{140,8} = 0,95. \\ \text{Grösstes Stromvol. } \end{array}$$

Mit Morphium.

$$\begin{array}{l} \text{Kleinstes Stromvol. } \frac{0,72}{1,34} = 0,55 \quad \text{mittl. Druck } \frac{119,8}{114,4} = 1,04. \\ \text{Grösstes Stromvol. } \end{array}$$

$$\text{III} \quad \begin{array}{l} \text{Kleinstes Stromvol. } \frac{0,51}{0,96} = 0,52 \quad \text{mittl. Druck } \frac{106,8}{99,2} = 1,08. \\ \text{Grösstes Stromvol. } \end{array}$$

IV Kleinstes Stromvol. $\frac{4,98}{4,17} = 0,47$ mittl. Druck 115,0
 Grösstes Stromvol. $\frac{4,17}{109,4} = 1,08$ „ „ 109,4 = 1,08.

Nachdem ich auf diesen Punkt gelangt war, schien es mir, bevor ich mich auf weitergehende Schlüsse einliess, vorerst nothwendig, mit Sicherheit festzustellen, ob die Blutmassen, welche die Aorta ihren verschiedenen Zweigen zutheilt, in einem unveränderlichen Verhältniss zu einander stehen. Diese Frage liess sich nur dadurch erledigen, dass man gleichzeitig zwei Arterien mit je einer Stromuhr versah. Hierzu wurde die Arteria carotis comm. und die A. cruralis des Hundes gewählt. Diese Versuche sind schwierig, weil sie zwei geübte Beobachter verlangen und aus diesem Grund ist die Zahl meiner gelungenen Beobachtungen nicht über 3 angewachsen, die ich aber auch als vollkommen sicher bezeichnen kann.

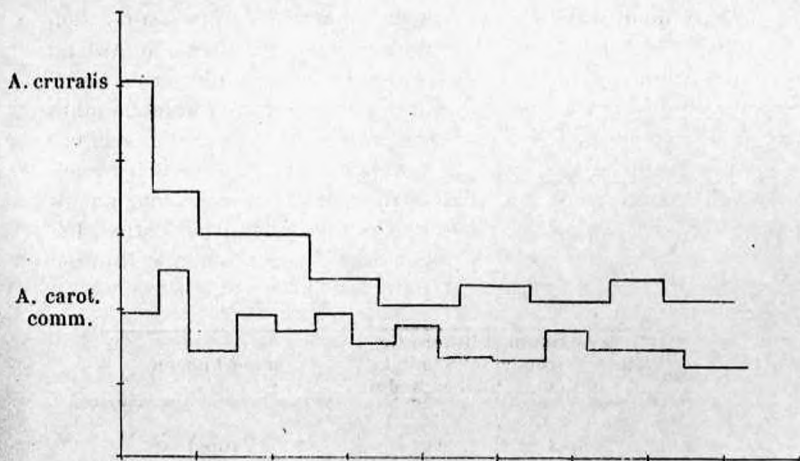
Nr. d. Kugeln.	Arteria Carotis.			Arteria Cruralis.			Bemerkungen.
	Stromvolum in der Sec.	Mittlere Ge- schwindigkeit in der Sec.	Blutdruck in Mm. Hg. vor der Uhr.	Stromvolum in d. Secunde.	Mittlere Ge- schwindigkeit in d. Secunde.	Druck in Mm. Hg. vord. Uhr.	
	Ccm.	Mm.					
1	0,74	151	—	0,16	33	—	Hund mit Morphinum vergiftet. Kpg. 6,0 Kilo. Durchm. d. A. Carotis 3,0 Mm., d. A. cruralis 2,5 Mm.
2	0,63	129	—				
3	0,63	128	—				
4	0,66	134	—				
1	3,08	194	108,6	3,59	508	111,4	Hund mit Morphinum vergiftet, Kpg. 21,9 Kilo. Durchm. d. A. carotis 4,5 Mm., A. cruralis 3,0 Mm.
2	4,17	262	109,4	2,55	361	119,8	
3	2,29	144	116,4	2,17	306	120,2	
4	3,12	196	114,0	1,84	261	122,6	
5	2,70	170	123,0	1,72	243	120,2	
6	3,12	196	117,2	1,46	206	119,4	
7	2,58	158	117,6	1,63	230	118,2	
8	2,85	179	115,6	1,50	212	118,4	
9	2,16	136	114,8	1,72	243	119,8	
10	2,07	130	113,4	1,60	226	120,8	
11	2,76	174	114,0				
12	2,33	147	115,2				
13	2,29	144	113,0				
14	1,98	124	115,0				

Nummer der Kugeln.	Arteria Carotis.			Arteria Cruralis.			Bemerkungen.
	Stromvolum in 4 Secunde.	Mittlere Ge- schwindigkeit. in 4 Secunde.	Blutdruck in Mm. Hg. vor der Uhr.	Stromvolum in 4 Secunde.	Mittlere Ge- schwindigkeit in 4 Secunde.	Blutdruck in Mm. Hg. vor der Uhr.	
1	2,07	215	90,6	0,43	44	98,8	Hund. Kpg. 10,64 Kilo. Durch- messer der Arteria Carotis 3,5 Mm., d. Cruralis 2,5 Mm. Diese Zahlen für die Art. Cruralis etwas zu gross, da die Kugel nicht ganz gefüllt war.
2	2,08	217	90,6				
3	2,96	308	89,6				
4	3,10	323	89,2				
5	3,43	357	87,0				
6	2,82	293	90,2	0,73	76	94,0	
7	3,08	320	88,0				
8	2,17	326	87,0				
9	2,29	238	83,4				
10	2,17	226	84,8				
11	1,78	185	82,8	0,48	98	—	
12	1,90	198	85,2				
13	2,01	209	85				
14	1,75	181	84,6				

Aus diesen Beobachtungen geht zur Genüge hervor, dass weder bei verschiedenen Thieren, noch auch bei einem und demselben eine feste Proportion zwischen den Blutmengen besteht, welche durch die beiden Gefässe abfliessen; dieses leuchtet ein eben sowohl wenn man die Stromvolumina oder die mittleren Geschwindigkeiten beider Gefässe mit einander vergleicht. So ist im ersten und dritten der Versuche die mittlere Geschwindigkeit in der Carotis um das 4—5fache grösser als in der Arteria Cruralis; im zweiten Versuche ist umgekehrt die Geschwindigkeit in der Cruralis um das 2—4fache grösser als in der Carotis. Was aber besonders wichtig: es steigen und fallen in ein und demselben Versuch die Zahlen ganz unabhängig von einander. Um dieses Verhalten noch deutlicher zu versinnlichen, habe ich aus dem 2. Versuch die beistehenden Curven Fig. 41 construirt, in welchen die mittleren, aus je einer Kugel abgeleiteten Geschwindigkeiten als Ordinaten über die Abscisse der Zeit aufgetragen wurden.

Diese Erfahrungen werden im Allgemeinen den nicht überraschen, welcher sich öfters mit dem Verhalten der Gefässnerven beschäftigt hat. In der That bieten sich so viele Ursachen, aus denen bald hier bald dort sich die Gefässe verengern oder erweitern, dass es schon darum längst gewiss war, es könne unmöglich für längere Zeit ein unveränderliches Verhält-

Fig. 11.



niss der Stromgeschwindigkeit in den verschiedenen Arterien bestehen. Trotz dieser Voraussicht sind die neuen Erfahrungen in ihren Einzelheiten merkwürdig, da man nach den bisherigen Erfahrungen über die Wirkungen der Gefässnerven einen so raschen und beträchtlichen Wechsel des Stroms in den vollkommen ruhigen Gliedmassen nicht erwarten konnte.

Den Aufschlüssen gemäss, welche uns bis hierher die Stromuhr gegeben, können die Schwankungen der Geschwindigkeit nicht abhängen von der Schlagfolge des Herzens und dem Blutdruck; und ferner, die Blutmengen, welche gleichzeitig aus der Aorta durch verschiedene ihrer Zweige abfliessen, müssen nicht nothwendig in einem bestimmten Verhältniss zu einander stehn. Daraus folgt, wie mir scheint, unwiderleglich, dass mindestens in zahlreichen Fällen die Schwankungen der Geschwindigkeit in den Aortenzweigen unabhängig sind von einer gleichzeitigen und gleichgerichteten Veränderung der Kräfte, welche an der Wurzel der Aorta für die Einleitung und Unterhaltung des Blutstroms verfügbar sind. Sind nun aber die treibenden Kräfte für die veränderliche Geschwindigkeit im Theilstrom nicht verantwortlich, so können es nur die Widerstände sein, welche in den Verzweigungen bestehn.

Bei der Aufmerksamkeit, welche gegenwärtig die Gefässnerven und insbesondere die n. sympathici erregt haben, war es begreiflich, dass ich beim Suchen nach Widerstandsursachen mit der Bestimmung des Einflusses jener Nerven den Anfang machte; um so mehr als durch die Untersuchungen von *Schiff* längst bekannt war, dass durch die Arterien des Kaninchenohrs in Folge einer un stetigen automatischen Erregung die sympathischen Nerven an- und abschwollen. Darum schritt ich auch sogleich dazu, die Stromuhr in die Carotis einzusetzen, nachdem ich den Grenzstrang des Halses durchschnitten hatte. Ich gebe zunächst die Beobachtungen von 4 verschiedenen Hunden wieder.

Nr. der Kugeln.	Stromvolum in 1 Secunde in Ccm.	Mittlere Geschwindigkeit. in 1 Sec. u. Mm.	Bemerkungen.
1	0,48	402	Hund.
2	0,44	62	Kpg. 2,6 Kilo. Mit Morphinum
4	0,44	62	vergiftet. Durchm. d. Car.
5	0,09	49	1,5 Mm.
1	1,36	359	Hund.
2	1,36	359	Kpg. 3,33 Kilo. Durchm. d.
4	1,14	303	Car. 2,2 Mm.
5	1,14	303	
6	1,07	282	
7	0,57	152	
9	0,43	143	
10	1,00	263	
12	0,48	131	
13	0,83	219	
1	1,00	205	Hund.
3	1,88	382	Kpg. 3,53 Kilo. Durchm. d.
4	1,36	177	A. Car. 2,5 Mm.
5	0,48	98	
1	1,67	339	Hund.
2	1,25	255	Kpg. 3,57 Kilo. Durchm. d.
3	1,00	204	Car. 2,5 Mm.
4	1,67	240	

Gestützt auf diese Beobachtungen darf man behaupten, dass auch nach Durchschneidung des gleichseitigen Sympathicus die Strömung in der A. carotis keine Gleichmässigkeit erlangt.

In jedem der Beobachtungsthiere zeigt sich das Stromvolum noch veränderlich, und in einzelnen Fällen so bedeutend, dass man zweifelhaft sein kann, ob die Schwankungen bei unverändertem *n. sympathicus* grösser hätten ausfallen können.

Aehnliche Versuche, wie an der Carotis des Hundes, habe ich an der des Kaninchens, wenn auch weniger zahlreich, angestellt; ich beschränke mich darauf die gelungenste Reihe von Kugeldrehungen vorzulegen. Bevor die *n. sympathici* durchschnitten waren, gaben drei aufeinanderfolgende Kugeldrehungen Stromvolumina von 0,25, 0,28, 0,022 Cbc. in der Secunde. — Darauf wurde der Nerv durchschnitten und gereizt. Nachdem die Reizung beendet und einige Zeit verstrichen war, wurden nun an dem nicht weiter veränderten Thier die Stromvolumina aufgesucht. Sie ergaben sich aus drei Kugeln hintereinander zu 0,66, dann in fünfundzwanzig Kugeln hintereinander zu hierauf aus zwei Kugeln zu 0,40 und darauf aus drei Kugeln 0,50, wieder zu 0,50. An diesem Thier zeigte also der Strom eine ungewöhnliche Gleichmässigkeit, die man, wie ich glaube, ohne Bedenken der Durchschneidung des Nerven wird zuschreiben dürfen.

Aber auch der carotische Strom des Hundes empfängt nach der Durchschneidung des sympathischen Halsstammes ein anderes Gepräge, insofern als er seine Geschwindigkeit nun in niger als vor derselben dem mittlern Blutdruck anpasst. Dieses tritt deutlich hervor in den beiden nachstehend mitgetheilten Fällen. In beiden war auf der untersuchten Seite der *n. vago-sympathicus* durchschnitten und in beiden wurde vorübergehend der mittlere Blutdruck durch Compression der Aorta abdominalis oberhalb der Nieren erhöht. Die Pressung der Aorta geschah mit dem Zeigefinger, der durch eine für ihn gerade passende Oeffnung in den Bauchdecken hindurchgeführt wurde, und während der ganzen Beobachtung in der Unterleibshöhle und zwar in der Nähe der Aorta liegen blieb. Bemerkenswerther Weise prägten sich nun in der Curve der Geschwindigkeit die Bewegungen, welche der Finger ausführte ohne die Aorta zu comprimiren, lebhafter aus als in der des Drucks; so dass während der mechanischen Reizung der Unterleibseingeweide die Geschwindigkeit in der Carotis viel bedeutender anwuchs als der Druck.

Nummer der Kugeln.	Stromvolumen in 4 Secunde in Cbc.	Mittlere Geschwindigkeit in Mm. u. Sec.	Mittlerer Blutdruck in Mm. Hg.	Bemerkungen.
1	0,78	247	127	Hund, Körpergewicht 3,69 Kilo, diam. art. carot. 2 Mm., nerv. vago-sympathicus durchschnitten.
2	1,00	318	128	
3	1,07	340	125	
4	1,02	324	132	

Pause, in welcher das Thier durch Einspritzung von R. opii narkotisiert wird.

5	0,26	82	83
6	0,20	63	74
7	0,19	64	82

Kleine Oeffnung in die Bauchwand.

8	0,79	250	85	Bewegungen des eingeführten Fingers behufs der Aufsuchung der passenden Aortenstelle.
9	1,13	355	86	
10	1,00	318	77	
11	0,65	207	78	
12	0,63	200	82	
13	0,56	179	81	Zusammenpressen der Aorta.
14	0,49	157	80	
15	0,53	170	88	
16	0,80	253	109	
17	0,86	275	115	
18	0,91	291	117	Plötzlicher Nachlass der Compression.
19	1,13	359	120	
20	1,13	359	132	
21	0,52	166	76	
22	0,81	257	91	
23	0,86	275	95	
24	0,90	286	103	
25	0,75	238	104	
26	0,73	231	109	
27	0,65	212	101	

1	0,50	103	93	Hund, Kpg. von 3,40 Kilo, n. vago-sympathic. durchschn., Durchm. d. A. car. 2,5 Mm. Mit R. opii narkotisiert.
2	0,44	89	98	

Ein Schlitz in die Bauchhöhle, der Finger eingeführt.

3	1,24	253	144	Aorta comprimirt.
4	1,66	338	155	
5	1,13	230	174	
6	0,74	151	145	
7	0,78	158	156	Bewegungen des eingeführten Fingers.
8	0,86	176	160	
9	0,61	124	160	
10	0,52	105	154	
11	0,48	97	156	

Nummer der Kugeln.	Stromvolumen in 4 Secunde in Cbc.	Mittlere Geschwindigkeit in Mm. u. Sec.	Mittlerer Blutdruck in Mm. Hg.	Bemerkungen.
--------------------	-----------------------------------	---	--------------------------------	--------------

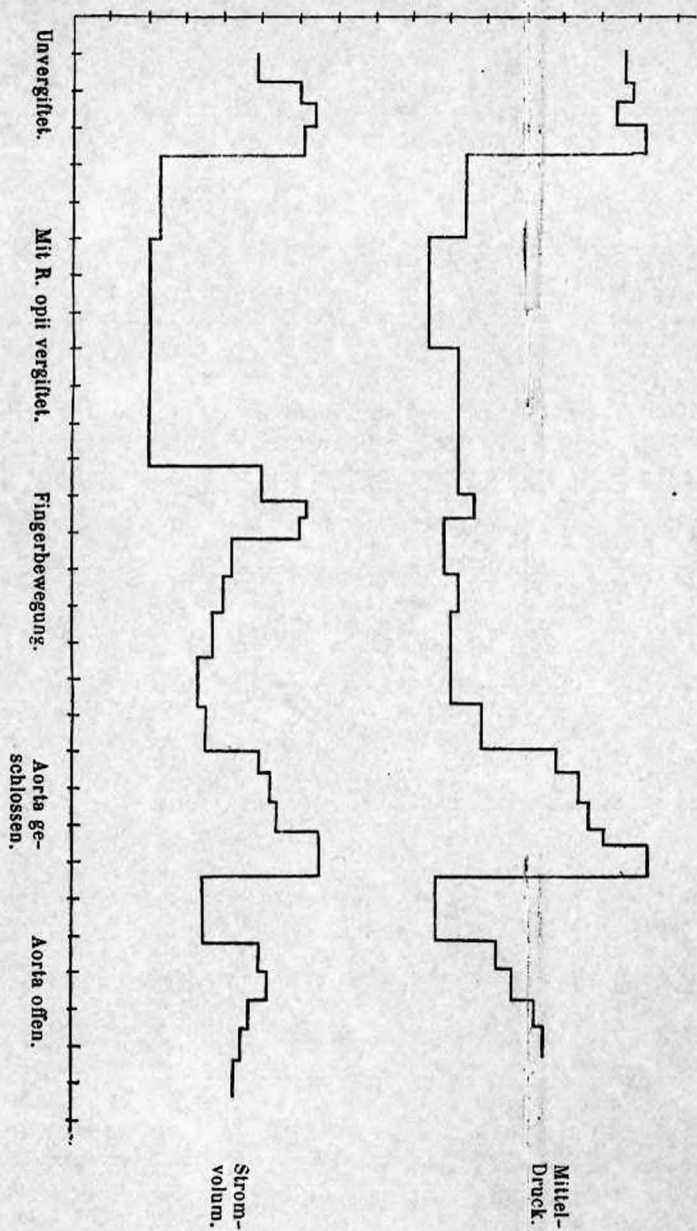
Pause, in welcher noch eine neue Quantität Opiumtinctur eingespritzt ward.

12	0,86	175	111	} Bewegung des Fingers zur Aufsuchung der Aorta.
13	1,24	253	115	
14	0,95	195	115	
15	1,09	222	118	
16	1,09	222	132	} Compression der Aorta.
17	1,77	361	157	
18	2,00	407	133	} Nachlass der Compression.
19	0,71	144	131	

Nach Anleitung der Zahlen ist von der erstern der beiden zuletzt vorgeführten Beobachtungen die Curve des Drucks und der Stromvolumina construirt worden (Fig. 12 umstehend).

Die Strömung in der A. carotis bewahrte also trotz der Durchschneidung des n. sympathicus noch einen grossen Theil der Unregelmässigkeiten, welche sich unabhängig von dem variablen Blutdrucke einstellen.

Dieses beweist noch nicht, dass die Ungleichheiten der Geschwindigkeit ohne Zuthun nervöser Einflüsse zu Stande kommen. Für die Mitwirkung der Nerven kann man vor Allem die Thatsache anrufen, dass in der Bahn des Grenzstrangs nicht einmal die sämmtlichen Verengerungsnerven der Kopfarterien laufen. Alle Beobachter die sich mit dem Gegenstand beschäftigt haben stimmen darin überein. Einen weiteren Beweis für die Richtigkeit dieser Behauptung liefert die Aichung des Blutstroms in der Carotis während einer bestehenden Reizung des sympathischen Grenzstrangs. Wären die Muskeln aller Carotidenzweige dem Sympathicus unterthan, so müsste während einer energischen Reizung desselben der Abfluss des Blutes aus der Carotis in die Capillaren vollkommen aufhören. Dieses ist, wie die nachstehenden Versuche zeigen, durchaus nicht der Fall. Während der Reizung des Sympathicus vermindert sich zwar die Strömung, aber sie hört nicht auf.



Nummer der Kugeln.	Stromvolum in 4 Secunde in Cbc.	Mittlere Ge- schwindigk. in 1 Sec. u. Mm.	Reizungszustand des sympath. Nerven.	Bemerkungen.	
1	0,08	46	während	Kaninchen, Kpg. 4,58 Kilo, Durchm. d. A. car. 4,5 Mm.	
2	0,10	56	{ ohne		
3	0,17	94			
1	0,25	144	ohne	Kaninchen, Kpg. 4,53 Kilo, Durchm. d. A. car. 4,5 Mm.	
2	0,11	63	während		
3	0,12	94	{ ohne		
4	0,25	144			
5	0,09	49	während		
6	0,17	94	{ ohne		
7	0,66	376			
1	0,66	376	ohne	Kaninchen, Kpg. 4,39 Kilo, Durchm. d. A. car. 4,5 Mm.	
2	0,33	188	Zerrung d. Nerven?		
3	0,12	66	während		
4	0,11	63	ohne		
1	1,00	566	{ ohne	Kaninchen, Kpg. 4,57 Kilo, Durchm. d. A. car. 4,5 Mm.	
2	1,00	566			
3	0,66	376	während		
4	0,13	75	{ ohne		
5	0,15	86			
6	0,22	125			

Die Erscheinungen, welche hier die Aichung des Blutstroms darbietet, spiegeln sehr schön das wieder was man bei der Betrachtung der Gefäße von aussen während der Nervenreizung sieht. Insbesondere tritt die längere Nachwirkung des Reizes sehr deutlich hervor und eben so auch einmal der Umstand, dass der Strom einige Zeit nach der Beendigung des Reizes mächtiger wird als er vor ihm gewesen.

Ausser den Nerven welche die Gefäße verengern kennen wir auch andere, bei deren Erregung die Arterien sich über den Umfang hinaus erweitern, der ihnen nach der Zerschneidung des Nervus sympathicus zukommt. Da diese Nerven aber niemals in der Bahn des Sympathicus laufen, so kann ihre Erregung ganz unabhängig von der Durchschneidung des letzten Nerven eintreten.

Also ist von Seite der Gefässnerven noch mannigfache Gelegenheit zur Veränderlichkeit des Stromes gegeben; dazu kommen nun noch möglicher Weise die Bewegungen, welche

von *Gunning* an Gefässen beobachtet wurden, deren Nerven längere Zeit vorher durchschnitten waren, Bewegungen, die möglicher Weise von irgend welchen Eigenschaften des durchströmenden Blutes angeregt werden.

Ausser diesen von erregbaren Elementen der Blutbahn abhängigen Widerstandsänderungen giebt es aber offenbar auch noch andere die in dem durchströmenden Gebiete selbst eintreten. Hierher zählen zunächst diejenigen, welche von den Eigenschaften des strömenden Blutes, insbesondere aber seiner Körperchen abhängen. Ohne eine solche Annahme würde es unmöglich sein die Erscheinung zu erklären, welche ich, wie früher erwähnt, in steifen Röhren, noch ausgeprägter aber an dem mit künstlichen Mitteln durch die Nieren geleiteten Blutstrom gesehen habe. Das Blut, welches ich zu diesen Versuchen benutzte, wurde durch einen grossen bis zur Verblutung führenden Aderlass dem Hunde entzogen, defibrinirt, durch dichtes Leinen filtrirt und zur Seite gestellt. Indess nahm ich aus dem todten Hunde eine der sehr blassen also nahezu blutleeren Nieren sorgfältig heraus und hob sie unter einer Glasglocke mindestens 12 Stunden lang auf, so dass ich mit Sicherheit auf das vollkommene Erlöschen der Reizbarkeit in den Gefässen rechnen konnte. In die Arterie und Vene der Niere setzte ich je eine entsprechend weite Glascanüle, und unterband aufs sorgfältigste alle die Gefässe in der Nierenumgebung, welche zu einer Blutung Veranlassung hätten geben können. Dieses war, wie sich später zeigte, mit dem besten Erfolge geschehen. Darauf setzte ich mit Ausschluss aller Luftblasen das defibrinirte Blut vor die Arterie und leitete es unter einem genau constant erhaltenen Quecksilberdruck durch dieselbe, während ich das Blut öfter umschüttelte. Das Blut welches aus der Vene hervor kam fing ich während einer durch die Secundenuhr bestimmten Zeit auf, so dass die während einer Secunde ausgeflossene Blutmasse genau zu ermitteln war; bei 2 auf gleiche Weise angestellten Versuchen ergaben sich die mitgetheilten Werthe.

Hundeniere 43 Gr. schwer. Unter einem Quecksilberdruck von 90 Mm. flossen als Mittel aus je 3 Minuten der Reihe nach für die Minute ab in Cbc. = 6,0 — 14,3 — 11,0 — 9,6 — 8,3. — Und als der Druck auf 200 Mm. erhöht wurde der Reihe nach 70 und 54 Cbc.

Grosse Hundeniere; wegen Blutung aus dem ersten Theilungswinkel der Arterie nur 1 Ast eingehunden. Bei einem Druck von 200 Mm. Hg. flossen wie oben der Reihe nach für die Minute berechnet ab = 8,00 — 4,75 — 3,50 — 2,75 — 3,00 — 3,25 — 4,00 Cbc.

Sichtlich tritt nun aber bei der künstlichen Strömung durch die Niere ausser den Hindernissen, die nach den Angaben der glatten Messingröhren durch die Ungleichartigkeit des strömenden Blutes bedingt sind, noch etwas anderes hinzu, woraus sich die Veränderlichkeit der fliessenden Masse erklärt. Die Niere schwillt wenn der Druck und somit der Strom vermehrt wird an, und nach Beendigung des Versuchs findet man öfter die Kapsel ödematös und die Lymphgefässe welche aus dem Hilus treten prall angefüllt. Diese Transsudationen müssen offenbar innerhalb des von der Kapsel umschlossenen Raumes eine Rückwirkung auf den Durchmesser der Capillaren üben, der sich deutlich darin ausspricht, dass bei Anwendung eines hohen Drucks die ursprünglich rasche Strömung alsbald sich bedeutend mindert. — Demnächst zu veröffentlichende, im hiesigen Laboratorium angestellte Versuche werden über die Aenderungen der Geschwindigkeit künstlicher Ströme noch weiteren Aufschluss gewähren.

Bis dahin war nur von den Ursachen der veränderlichen Geschwindigkeit die Rede, welche innerhalb der untersuchten Strombahn selbst gelegen sind. Offenbar macht sich aber auch der Widerstand, der in andern Bahnen eintritt, in der untersuchten geltend. Hierfür sahen wir schon ein Beispiel in den Fällen, in welchen die Unterleibseingeweide mechanisch gereizt oder gar die Aorta zugehalten wurde. Andere gedenke ich nun vorzuführen.

Ich beginne mit der Besprechung der Veränderungen, welche in dem Strom der geachteten Carotis eintreten, wenn die der andern Seite verschlossen ist. Diesen Versuch hat schon *Lortet* mit dem Strompendel am Pferd ausgeführt und dabei das Resultat erhalten, dass die Geschwindigkeit in einer Carotis während der Unterbindung der anderseitigen beträchtlich erhöht werde. Mit diesen an dem Pferd gewonnenen Erfahrungen stimmt dasjenige nicht was ich an Hunden und Kaninchen gefunden.

Nummer d. Kugeln.	Während die A. carot. d. andern Seite offen war.		Währ. d. A. car. der andern Seite verschloss. war.		Bemerkungen.
	Stromvolum in 4 Secunde in Cbc.	Mittlere Geschwindigkeit in 4 Sec. u. Mm.	Stromvolum in 4 Secunde u. Cbc.	Mittlere Geschwindigkeit in 4 Sec. u. Mm.	
1	0,11	62	—	—	Hund, Kpg. 2,6 Kilo, Durchm. d. A. car. 1,5 Mm., mit Morphinum vergiftet, N. vago-sympathicus durchschnitten.
2	—	—	0,17	97	
3	0,11	62	—	—	
4	0,09	49	—	—	
5	—	—	0,06	36	
6	0,05	27	—	—	
1	1,36	359	—	—	Hund, Kpg. 3,53 Kilo, Durchm. d. A. car. 2,2 Mm., N. vago-sympathicus durchschn. Mit Morphinum narkotisiert.
2	—	—	1,0	263	
3	1,14	303	—	—	
4	1,07	282	—	—	
5	0,57	152	—	—	
6	—	—	0,48	128	
7	0,43	113	—	—	
8	1,00	263	—	—	
9	—	—	0,94	247	
10	0,48	131	—	—	
11	0,83	219	—	—	
1	1,00	205	—	—	Hund, Kpg. 3,53 Kilo, Durchm. d. A. carot. 2,5 Mm., N. vago-sympathicus durchschnitten.
2	—	—	1,50	305	
3	1,88	382	—	—	
4	1,36	277	—	—	
5	0,48	98	—	—	
6	—	—	0,31	64	
7	0,29	59	—	—	
1	1,67	339	—	—	Hund, Kpg. 3,57 Kilo, Durchm. d. A. car. 2,5 Mm. Starke Athembewegungen.
2	1,25	255	—	—	
3	1,00	204	—	—	
4	1,67	340	—	—	
5	—	—	1,07	218	
6	—	—	0,63	127	
7	—	—	0,47	97	
1	0,69	411	—	—	Hund, Kpg. 3,17 Kilo, Durchm. d. A. car. 1,5 Mm., mit Morphinum vergiftet. Unregelmässige Pulse.
2	0,77	458	—	—	
3	0,72	430	—	—	
4	—	—	0,67	398	
5	—	—	0,60	359	
6	—	—	0,48	386	
7	0,37	219	—	—	
8	0,35	210	—	—	

Nummer d. Kugeln.	Während die A. carot. d. andern Seite offen war.		Währ. d. A. car. der andern Seite verschloss. war.		Bemerkungen.
	Stromvolum in 4 Secunde in Cbc.	Mittlere Geschwindigkeit in 4 Sec. u. Mm.	Stromvolum in 4 Secunde in Cbc.	Mittlere Geschwindigkeit in 4 Sec. u. Mm.	
1	0,5	284	—	—	Kaninchen, Körperg. 1530 Gr. Durchm. d. A. car. 4,5 Mm.
2	0,2	113	—	—	
3	0,4	56	—	—	
4	—	—	0,50	284	} Apparat gewechselt.
5	—	—	0,29	161	
6	—	—	0,08	45	
7	—	—	0,06	35	} Apparat gewechselt.
8	0,40	227	—	—	
9	0,13	75	—	—	
10	0,09	53	—	—	

Danach scheint es als ob die Stromgebiete der beiden Carotiden wesentlich von einander unabhängig seien. Diese Unabhängigkeit braucht jedoch nicht immer vorhanden zu sein entsprechend den zahlreichen Abweichungen in dem Bau der Gefässe. — Eine ähnliche Auskunft, wie die welche die Geschwindigkeitsbeobachtungen geben, lieferten bekanntlich auch die Versuche über den mittleren Blutdruck in der A. carotis, wenn dieselben entsprechend angeordnet wurden.

Der Versuch an der Kaninchencarotis auf der vorstehenden Seite verdient darum einige Aufmerksamkeit, weil sich an ihm eine früher erwähnte Erscheinung sehr auffallend ausprägt, die nämlich, dass nach dem jedesmaligen Einsatz eines frischen Apparates die Geschwindigkeit eine grosse ist und mit den folgenden Kugeln rasch abnimmt. Dieses trat hier in ganz gleicher Weise ein, mochte die anderseitige Carotis offen oder unterbunden sein.

Nach den Angaben des Manometers wirkt viel eingreifender als die Unterbindung einer A. carotis die Reizung des n. splanchnicus und des n. depressor auf die Vertheilung des Blutes. Die Stromuhr bestätigt und erweitert die manometrischen Erfahrungen.

Nr. der Kugeln.	Ohne Reizung des N. depressor			Während Reizung des N. depressor.			Bemerkungen.
	Stromvolum in 4 Secunde in Cbc.	Mittlere Ge- schwindigk. Sec. u. Mm.	Mittlerer Blutdruck in Mm. Hg.	Stromvolum in 4 Secunde in Cbc.	Mittlere Ge- schwindigk. Sec. u. Mm.	Mittlerer Blutdruck in Mm. Hg.	
1	0,054	29	92	—	—	—	Kaninchen, Kpg. 4,53 Kilo, Durchm. der A. car. 4,5 Mm., mit Curare vergift.
2	—	—	—	0,003	2	35	
4	0,23	129	89	—	—	—	Kaninchen, Kpg. 4,54 Kilo, Durchmesser d. A. carot. 4,5 Mm.
2	—	—	—	0,08	46	73	
3	0,04	21	82—94	—	—	—	
4	0,07	42	119	—	—	—	
5	0,09	53	98	—	—	—	Schwache Reizung. Stärkere Reizung.
6	—	—	—	0,06	35	?	
7	—	—	—	0,03	16	63	

Ohne Reizung des N. splanchnicus.			Während Reizung des N. splanchnicus.			
1	0,63	202	64	—	—	Hund, Körperg. 2,80 Kilo, Durchmesser der A. car. 2 Mm., mit Curare ver- giftet, N. vago-sympa- theticus durchschnitten.
2	0,36	113	54	—	—	
3	0,42	132	56	—	—	
4	—	—	—	0,84	268	
5	—	—	—	0,97	309	
6	—	—	—	0,77	245	
7	0,38	121	99	—	—	
8	0,43	137	98	—	—	

Die Reizung dieser beiden Nerven bringt also eben so rasche als ausserordentliche Wirkungen auf den carotischen Strom hervor. Da nicht einzusehen ist, warum und wie diese Reizungen das eben genannte Strombett ausweiten oder beengen sollten, so können die Schwankungen der Stromvolumina nur durch die Ein- oder Ausschaltung von Hindernissen in die intestinalen Gefässbahnen erklärt werden. Die Bedeutung, welche diese letztern für die Vertheilung des Blutes gewinnen, tritt durch diese Versuche so sehr in das Licht, dass man wohl ungescheut aussprechen darf es liege in der Hand der Unterleibsgefässe wieviel Blut den übrigen Organen und Körpertheilen zufließen solle. Danach ist vorauszusehn, dass der Strom in den Kopfgefässen ein unregelmässiger sein kann, wenn auch die irritabeln und nicht irritabeln Widerstandsursachen in

diesen Bahnen selbst unverändert bleiben, dagegen aber der Erregungsgrad der Gefässmuskeln im Unterleibe stärker und schwächer wird.

Wenn wir schliesslich die Resultate der vorliegenden Untersuchung zusammenfassen, so kommen wir, wie es scheint, nicht bloss zu Anschauungen über den Blutstrom welche die bisherigen berichtigen oder ergänzen, sondern es eröffnen sich uns auch ganz neue Aussichten.

Die Werke, welche sich ausführlicher über die mittlere Geschwindigkeit des arteriellen Stroms verbreiten, gehen durchweg von dem Grundsatz aus, dass proportional mit dem mittleren Blutdruck die mittlere Geschwindigkeit in der Aorta und ihren Zweigen wachse, was anerkanntermassen zu der Folgerung führt, dass das Verhältniss zwischen der Mächtigkeit der verschiedenen Stromarme, die aus der Aorta hervorgehen, für jeden gegebenen Druck ein unveränderliches sei. Diese Vordersätze schienen durch bekannte hydraulische Regeln so gut begründet zu sein, dass man keinen Anstand nahm, ganz bestimmte Verhältnisszahlen für die Stromgeschwindigkeit in den einzelnen Hauptästen aufzustellen, und hieraus umgekehrt wieder auf die Masse des Blutes zurück zu schliessen, welche aus dem Herzen hervorging. Streit bestand nur über den wahren Werth dieser Constanten.

Der Glaube an die Richtigkeit dieser Annahmen ward zuerst erschüttert durch die grössere Reihe von Versuchen mit Reizung und Durchschneidung der Gefässnerven, welche in dem letzten Jahrzehnt von *Cl. Bernard*, *Schiff*, *Snellen*, *C. Ludwig*, *Eckhard*, *Thiry*, *Lövén* u. A. ausgeführt wurden. Diese Arbeiten legten dar, dass die Muskeln der kleinen Arterien nicht bloss eine bedeutungsvollere Rolle bei der Vertheilung des Blutes übernehmen können, als man bis dahin vorgesehen, sondern dass sie dieses auch viel häufiger thun, als man jemals vorher glaubte, wie dieses denn namentlich der Fall sei bei der Temperaturänderung des Blutes, bei der Reizung sensibler Nerven, insbesondere des Herzens, bei der Erregung der Muskeln und der Drüsen, bei der Erection des Schwellgewebes u. s. w.

Aus diesen Erfahrungen musste, was denn auch geschah, geschlossen werden, dass die Werthe der Stromgeschwindig-

keit in den verschiedenen Aortenzweigen keinesfalls in unveränderlichen Verhältnissen zu einander stehn könnten, und damit war schon die Gültigkeit der gangbaren Annahmen über den Blutstrom auf ganz bestimmte Zustände des Körpers, wie z. B. den des Schlafes eingeschränkt, in welchen die Temperatur unveränderlich bleibt und zugleich die Erregung der reizbaren Gebilde ausgeschlossen ist, die oben aufgezählt wurden. — Wenn ich nicht irre, so zeigt die vorliegende Untersuchung, dass auch noch hierüber hinaus die ältere Ansicht eingeschränkt werden müsse. —

Die von mir mitgetheilten Beobachtungen thaten nämlich dar, dass die Geschwindigkeit des Blutes in einem und demselben Arterienstamm grossen und rasch wechselnden Veränderungen unterworfen ist, trotzdem dass die Schlagfolge des Herzens und der mittlere Blutdruck immer gleich geblieben waren. Weiterhin ergab sich, dass die Stromgeschwindigkeiten, welche in zwei gleichzeitig beobachteten Arterien bestanden, ganz unabhängig sowohl von einander, als auch unabhängig von dem gerade vorhandenen Blutdruck auf und ab schwankten, so dass bei ein und demselben Blutdruck die Geschwindigkeit in beiden Bahnen sowohl nach derselben, als auch nach entgegengesetzten Richtungen wachsen konnte.

Zur Erklärung dieses Verhaltens hätte nun vielleicht das dienen können, was wir bis jetzt aus den Versuchen über die Functionen der Gefässnerven erfahren hatten. Durch sie war dargethan, dass die Widerstände in den einzelnen Organen unabhängig von einander wachsen und fallen, so dass ein Zweigstrom nicht bloss durch Erniedrigung der Hemmungen auf seiner eignen Bahn, sondern auch durch die Erhöhung der Widerstände anderer näher oder ferner liegender Stromarme der Aorta an Geschwindigkeit zunehmen konnte.

Damit jedoch diese Prinzipien zur Erklärung des lebendigen Blutstroms ausreichten, musste man von ihnen in viel weiterem Umfang Gebrauch machen, als es nach unsern gegenwärtigen Erfahrungen über die Erregungen der Vasomotoren zulässig erscheint. Meine Beobachtungen zeigen nämlich, dass auch in einer A. carotis, deren zugehörige sympathische Zweige gelähmt sind, und selbst in den Gefässen eines Thieres, das im Opiumschlaf liegt, die Veränderlichkeit der Stromgeschwindig-

keit nicht ausbleibt. Man hätte sich demnach vorzustellen, dass neben den bekannten noch viele bis dahin unbekannte fort und fort wirkende Ursachen den Erregungsgrad der Gefässnerven veränderlich machen.

Aber wie weit man auch die zeitlichen Aenderungen der Reizbarkeit zur Erklärung herbeiziehen will, so wird man doch nicht damit ausreichen. Denn es fand sich, dass selbst durch ein todttes, seiner Reizbarkeit vollkommen beraubtes Organ der Strom in Schwankungen gerieth, der durch einen constanten Druck eingeleitet wurde. Die veränderlichen Geschwindigkeiten, die unter diesen Umständen auftraten, konnten der Natur der Sache nach entweder nur durch die ungleiche Beschaffenheit der strömenden Scheiben und Zellen, oder in dem variablen Spannungsgrad der Gewebelemente begründet sein, zwischen denen die Capillaren verlaufen. — Damit ist denn ausgedrückt, dass es weder dem Blutdruck allein, noch ihm in seiner Verbindung mit den Gefässnerven überlassen bleibt, wie sich der Aorteninhalt auf die einzelnen Bahnen vertheilen soll, sondern dass sich in diesen Act noch viele andere, durch keinen innern Zusammenhang verknüpfte Vorkommnisse innerhalb der einzelnen Bahnen einmengen.

Wenn an die Stelle eines einheitlichen Regulators, wie die des Blutdrucks, die unregelmässig veränderlichen Zustände vieler einzelner gegenseitig unabhängiger Bahnen treten, so sollte man erwarten, dass in dem Aortenstrom die Unregelmässigkeiten an der Tagesordnung wären. Dieses widerspricht aber bekannten, seit lange über den Blutdruck und seine Constanz gesammelten Erfahrungen. Der mittlere Blutdruck kann aber natürlich nur dann constant bleiben, wenn dieses auch mit dem Zu- und dem Abfluss zu und von der Aorta der Fall ist. Da ich von Neuem die alte Beobachtung bestätigte, dass der Blutdruck oft lange constant bleibt, und da ich diese Eigenschaft an ihm bemerkte, trotzdem dass indess die Ströme in der Carotis und der Cruralis bedeutende Schwankungen ihrer Geschwindigkeiten darbieten, so bleibt nur die Annahme übrig, dass der Ausfall oder der Zuwachs in diesen Gefässen durch das gerade Entgegengesetzte in andern ausgeglichen worden sei. Und da kein Grund vorliegt, den untersuchten Arterien einen Vorzug vor allen übrigen einzuräumen, so wird man gezwungen sein, das gleiche Verhalten auch auf die übrigen Gefässbahnen zu

übertragen. Dieses würde heissen, dass zwar fort und fort in jeder Zweigbahn der Aorta die Geschwindigkeit schwankt, dass aber in dem Augenblick, wo in einer Summe von Bahnen die Geschwindigkeit abnimmt, sie in einer andern Summe derselben entsprechend zunähme, damit, wie es der constante Blutdruck verlangt, das Gleichgewicht zwischen Zu- und Abfluss erhalten bliebe. Statt dass wir also, wie bisher, dem Blutdruck die Regulation des Stroms überwiesen, müssten wir diese durch eine höchst künstliche Steuerung zwischen vielen einzelnen Stücken geschehen lassen. —

Diese Aussicht, die sich hiemit eröffnet, ist zu fremdartig, als dass sie uns nicht veranlassen sollte, noch nach weiteren Beweisen für den unterstellten Vorgang zu suchen, als die, welche uns durch ein Verfahren geliefert werden, das doch im besten Falle den Strom nur auf die Dauer von wenigen Minuten mit Sicherheit misst.

Indem man sich nach solchen umsieht, bietet sich zunächst die Thatsache dar, dass innerhalb des Organismus jedem einzelnen Körpertheil ein gewissermaassen selbstständiges, in bestimmten Grenzen von andern unabhängiges Leben gesichert ist. Dieses gilt bekanntlich vorzugsweise für ihren Blutreichthum; die Thatsache, dass bald dieses und bald jenes Organ vorzugsweise blutreich ist, ist zu bekannt, als dass es nothwendig wäre, Beispiele vorzuführen. Diese Erscheinung würde unerklärlich sein, wenn die einzelnen Gefässbahnen nur in Folge des erhöhten Drucks in der Aorta reichlicher gespeist werden könnten; sie ist dagegen leicht begreiflich unter der Voraussetzung, dass die verschiedenen Zweige aus dem Vorrath des Aortenblutes in dem Maasse mehr schöpfen, als der Widerstand, den sie dem Strom entgegensetzen, verringert wird.

Was hier durch die Erfahrung unmittelbar bewiesen wird, stellt sich von andern Gesichtspunkten aus auch als eine Nothwendigkeit dar. Die Blutmenge, welche das Gefässsystem beherbergt, ist bekanntlich weitaus nicht hinreichend, um den gesamten Binnenraum der Gefässe so weit zu erfüllen, dass ihre Wand auch einen nur mässigen Spannungsgrad erreichen könnte. Hierfür spricht in erster Linie, dass ein grosser Theil der Gefässe, insbesondere aber der Capillaren aller Organe, solange ganz oder nahezu leer ist, als das betreffende Organ nicht von

Congestionen befallen wurde. Diese partielle Füllung wird nicht allein durch die mikroskopische Untersuchung, soweit sie ausführbar, dargethan, sondern noch mehr und allgemeiner durch die Vergleichung der Körperstücke bei normaler und vollkommen gelungener künstlicher Füllung. — Das Missverhältniss zwischen der Blutmenge und dem Umfang des Binnenraums der Gefässe wird ferner in unverfänglichster Weise dargethan durch die Folgen, welche die Unterbindung der Pfortader am lebenden Thier herbeiführt. Nach dieser Operation tritt bekanntlich alles Blut, soweit dieses der Nachgiebigkeit der Umgebung gemäss möglich ist, aus sämtlichen übrigen Körpertheilen in die Darmgefässe über, und der Blutstrom erlischt aus Mangel an verfügbarer Flüssigkeit. Demnach kann durch die Füllung eines einzigen, freilich sehr grossen und nachgiebigen Gefässbezirks eine allgemeine Anaemie eintreten.

Vermag nun aber die Blutmenge bei einer gleichmässigen Vertheilung derselben durch den Gefässraum den Wandungen nicht einmal eine mässige Spannung zu ertheilen, so würde sie noch viel weniger hinreichen, um unter dieser Bedingung irgendwo dem Blutdruck die Höhe zu ertheilen, die er in der Regel besitzt. Dieses wäre thatsächlich schon dann unmöglich, wenn den Wandungen überall nur der Grad von Widerstandsfähigkeit eigen wäre, den sie vermöge ihrer Elastizität besitzen. Dieses letztere ist annähernd verwirklicht, wenn die n. splanchnici durchschnitten oder die n. depressores gereizt sind. Sowie dieses geschieht, sinkt der mittlere Blutdruck in den grossen Arterien beträchtlich ab, weil nun ein gleichmässiges Fliessen des Bluts durch die Abflusswege hindurch Platz greift.

Damit sehen wir, wie mehrfache und, wie ich glaube, unwiderlegliche Gründe dafür eintreten, dass der Blutstrom mit seinem hohen Aortendruck nur so lange möglich ist, als entweder allgemein, oder mindestens alternirend das Abfliessen des Blutes aus der Aorta beschränkt wird. Und hierdurch wird auf den Mechanismus ein neues Licht geworfen, durch welchen es bei höchster Sparsamkeit mit dem Blut möglich wurde, den Blutdruck auf eine Höhe zu heben, durch die er zu seinen vielfachen Leistungen in den verschiedensten Organen befähigt wird.

Daraus dürfte nun auch erhellen, dass die Erfahrungen, welche die Stromuhr gewinnen liess, keinen ausnahmsweisen,

sondern einen allgemein giltigen Fall darlegen. Nun aber erhebt sich die Frage: wodurch werden in jedem einzelnen Gefässabschnitt die Perioden des raschern und des langsamern Stromes geregelt? Hierauf weiss ich nun allerdings keine erschöpfende Antwort zu geben; und in Ermangelung einer solchen verzichte ich darauf, die Angabe der mir vorschwebenden möglichen Erklärungsgründe zu besprechen. Einstweilen schien es mir schon wichtig genug, eine der Richtungen bezeichnet zu haben, nach der sich künftig die Untersuchungen über die Geschwindigkeit des Blutstroms bewegen müssen, wenn sie fruchtbar werden sollen. Glücklicherweise besitzen wir nun in der Stromuhr ein Mittel, um den Veränderlichkeiten des Stroms weiter nachzugehen, soweit diese von den räumlichen und zeitlichen Gleichgewichtsstörungen vieler Gefässwege abhängig sind.

Diese Aussicht ist hoffentlich geeignet, um uns über einen Verlust zu trösten, den wir durch die hier mitgetheilten Erfahrungen, wenn ich nicht irre, insofern erlitten haben, als hierdurch der Boden für die Betrachtungen erschüttert wird, welche man bis dahin an die Kenntniss der partiellen Blutströme geknüpft hat. Für meinen Theil wenigstens wüsste ich keinen Rath, wenn man von mir auf Grundlage meiner Beobachtungen Aufschluss darüber erhalten wollte, wie viel Blut in der Zeiteinheit durch die Aorta fliesst. —

Anhang.

Bevor ich für diessmal meine Mittheilungen über die Stromuhr schliesse, will ich noch einige Beobachtungen mittheilen. Die erste ist für die Methodik nicht unwichtig, denn sie bezieht sich auf das Verhalten des Blutstroms bevor und nachdem die Thiere mit Morphinum oder Curare vergiftet waren. —

Die Versuche mit Morphinum waren so geordnet, dass erst vor und dann nach der Injection der Morphinum-Lösung in die Vene die Geschwindigkeit in der Art. carotis genommen wurde. Die Dosis des Giftes war jedesmal gross genug, um

eine tiefe Narkose herbeizuführen, der bekanntlich öfter ein Stadium der Aufregung vorangeht.

Vor und während Opium- (Morphium-) Vergiftung.

Nr. d. Kugeln.	Vor der Vergiftung.			Während d. Vergiftg.			Bemerkungen.
	Stromvolum in 1 Secunde u. Cbm.	Geschwindig- keit in Sec. u. Cbm.	Blutdruck in Mm. Hg. vor der Uhr.	Stromvolum in 1 Secunde.	Geschwindig- keit in 1 Sec. u. Cbm.	Blutdruck in Mm. Hg. vor der Uhr.	
1	1,36	259					Hund. Kpg. 3,33 Kilo. Durchm. d. Arter. carotis 2,4 Mm. N.vag.-sympath. durchschnitten.
2	1,36	259					
3	1,34	303					
4	1,34						
5	—	—		1,07	282		
6	—	—		0,57	151		
7	—	—		1,00	263		
1	1,40	146	133,2				Hund. Kpg. 11,67 Kilo. Durch- messer d. Art. carotis 3,5 Mm.
2	1,78	185	122,0				
3	2,06	214	139,0				
4	2,21	229	140,8				
5	1,81	188	143,2				
6	—	—	—	1,34	139	114,0	
7	—	—	—	1,08	111	117,2	
8	—	—	—	0,76	79	118,4	
9	—	—	—	0,81	84	119,2	
10	—	—	—	0,72	74	119,8	
1	0,87	123	108,4				Hund. Kpg. 10,11 Kilo. Durch- messer d. A. carotis 3,0 Mm.
2	0,61	86	109,8				
3	—	—	—	1,52	214	97	
4	—	—	—	1,38	195	102,4	
5	—	—	—	0,75	107	101,6	
6	—	—	—	0,46	65	104,8	
1	0,78	247	127,0				Hund. Kpg. 3,69 Kilo. Durchm. d. Art. carotis 2 Mm.
2	1,00	318	128,4				
3	1,07	340	127				
4	1,02	324	132,2				
5	—	—	—	0,26	82	83,6	
6	—	—	—	0,29	63	74,4	
7	—	—	—	0,19	61	82,0	

Während der Narkose ist also das strömende Volum kleiner, als vor ihr. Eine scheinbare Ausnahme macht nur der 3te der hier verzeichneten Versuche. Doch auch an ihm sinkt nach vorübergehender Steigerung die Grösse des Stromvolums bald

ab, wobei bemerkenswertherweise der Druck in umgekehrter Richtung sich ändert.

Da sich in allen übrigen Beziehungen der Strom während und vor der Vergiftung mit Morphin gleich erhält, so würde gegen seine Anwendung kein Bedenken zu erheben sein, wenn man nicht auf die Gewinnung der höchsten Werthe lossteuert.

Der Gebrauch des Curare ist, nach meinen Erfahrungen, bei Stromversuchen an Kaninchen zu meiden, wegen der Verengerung der Arterien, welche dieses Gift, wie schon vor mir von einigen Beobachtern bemerkt wurde, herbeiführt. Diese ist zuweilen so gross, dass der Strom, wenn auch nicht vollständig unterbrochen, aber doch auf ein Minimum herabgedrückt wird. Hieraus erklärt sich die bekannte Beobachtung, dass an curarisirten Kaninchen die tiefsten Operationswunden sehr wenig zu bluten pflegen. — Ich habe desshalb den Gebrauch dieses für Druckbeobachtungen so bequemen Giftes bei Kaninchen verlassen.

Auch bei Hunden habe ich es nur dann, wenn es mir unentbehrlich erschien, angewendet. Unter den in dieser Abhandlung aufgeführten Beobachtungen ist nur ein einziger mit Curare vergifteter Hund enthalten (p. 266 Reizung des n. splanchnicus).

Ausserdem setze ich noch einige Versuche her, welche zeigen, wie gering der Antheil an Blut ist, der von der gesammten in die A. carotis commun. strömenden Masse durch die A. carotis interna des Hundes abfliesst. — In den beiden ersten der mitzutheilenden Beobachtungen war die Carotis externa, in der dritten die A. carotis interna vorübergehend geschlossen worden.

Nummer d. Kugeln.	Stromvolum in 4 Secunde in Ccm.	Bemerkungen.
1	1,00	Kpg. 5,51 Kilo. diam. Art. car. com. 3,0 Mm. Carot. interna zu.
2	1,18	
3	1,08	
4	0,29	

Nummer d. Kugeln.	Stromvolum in 1 Secunde in Ccm.	Bemerkungen.
1	1,26	Kpg. 4,79 Kilo. diam. A. carot. comm. 2 Mm. Morphinum- vergiftung.
2	1,28	
3	1,26	
4	0,09	
5	0,53	} alles offen.
6	0,66	
7	0,64	
8	0,65	
9	0,64	
1	0,94	Kpg. 5,75 Kilo. diam. A. carot. comm. 2,5 Mm. Morphinum- narkose.
2	1,28	
3	1,38	
4	0,94	
5	1,23	} A. carot. interna zu.
6	1,25	
7	1,28	
8	0,98	
9	1,5	
10	1,63	} alles offen.
11	1,67	
12	1,63	