

Die Erscheinungen und Gesetze der Stromgeschwindigkeiten des Blutes / nach Versuchen von Karl Vierordt.

Contributors

Vierordt, Karl von, 1818-1884.
Francis A. Countway Library of Medicine

Publication/Creation

Frankfurt a. M. : Meidinger, 1858.

Persistent URL

<https://wellcomecollection.org/works/vfj2hf29>

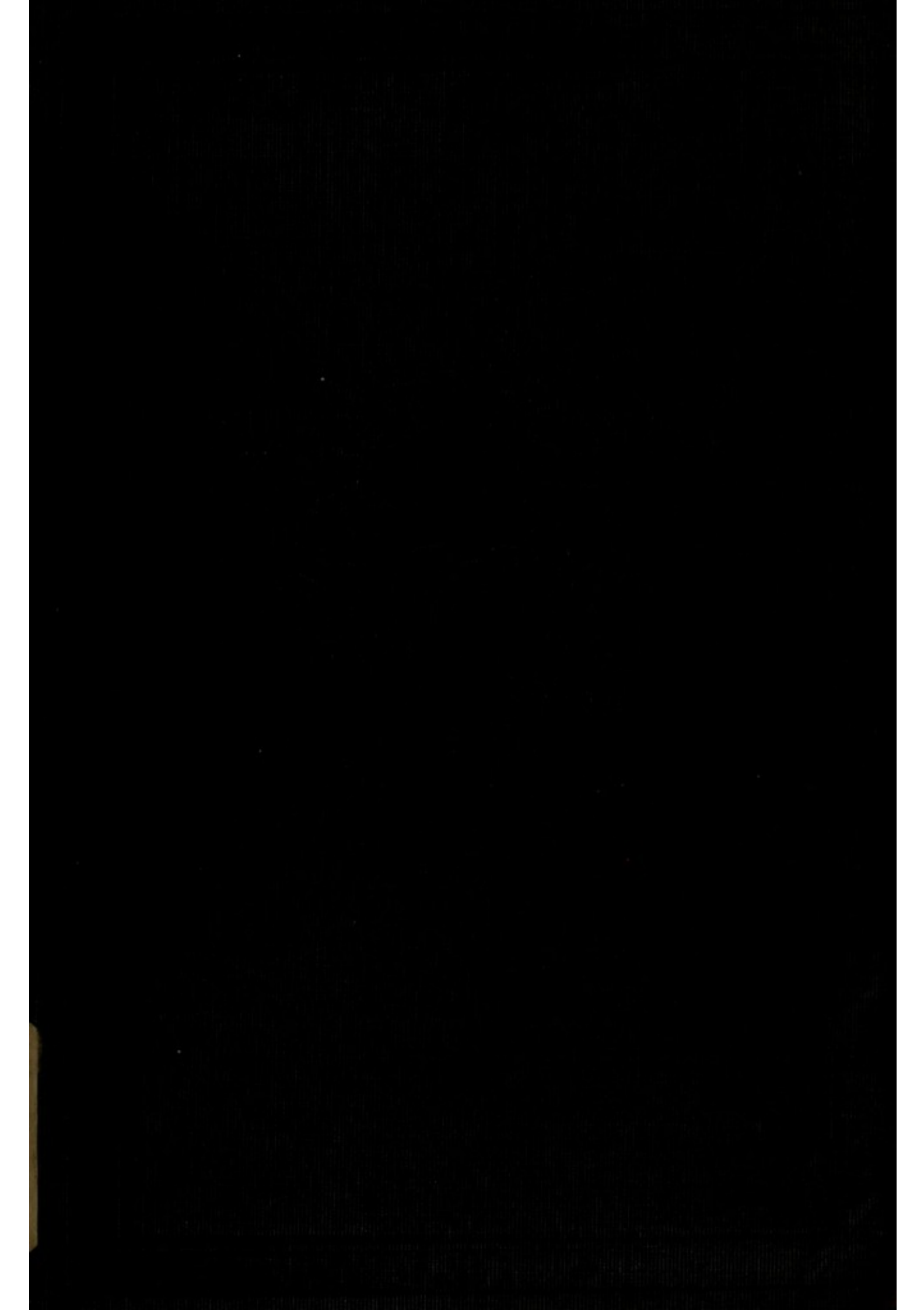
License and attribution

This material has been provided by This material has been provided by the Francis A. Countway Library of Medicine, through the Medical Heritage Library. The original may be consulted at the Francis A. Countway Library of Medicine, Harvard Medical School. where the originals may be consulted. This work has been identified as being free of known restrictions under copyright law, including all related and neighbouring rights and is being made available under the Creative Commons, Public Domain Mark.

You can copy, modify, distribute and perform the work, even for commercial purposes, without asking permission.



Wellcome Collection
183 Euston Road
London NW1 2BE UK
T +44 (0)20 7611 8722
E library@wellcomecollection.org
<https://wellcomecollection.org>



K. 2726

15.6.26.



SURGEON GENERAL'S OFFICE
LIBRARY.

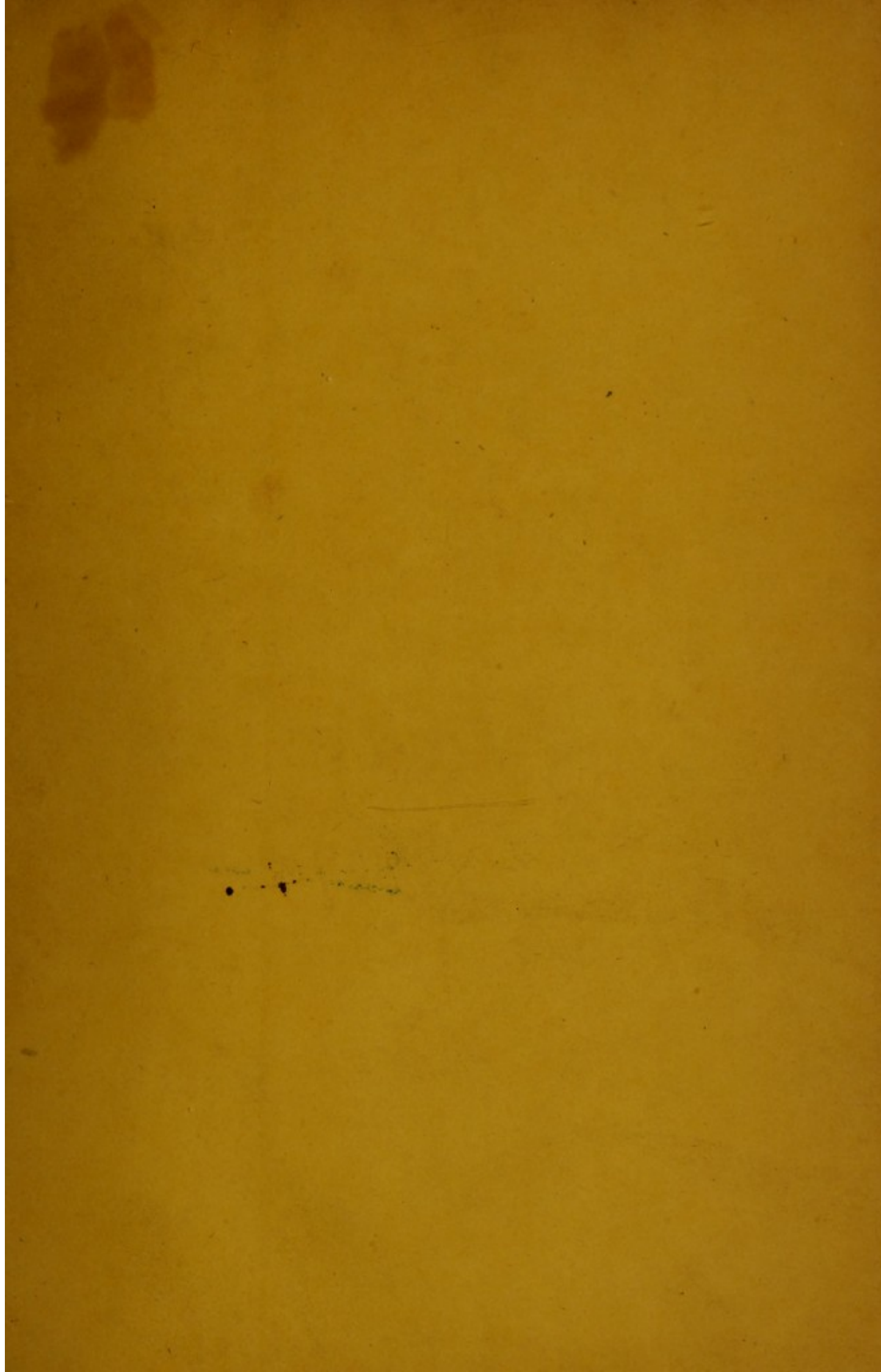
Section, *B. Prod*

32-3-4

B

No. *138994*

138994





DIE
ERSCHEINUNGEN UND GESETZE
DER
STROMGESCHWINDIGKEITEN
DES
BLUTES

NACH VERSUCHEN

VON

DR. KARL VIERORDT,
PROFESSOR DER PHYSIOLOGIE IN TÜBINGEN.

MIT HOLZSCHNITTEN UND ZWEI LITHOGRAPHIRTEN TAFELN.



FRANKFURT A. M.

VERLAG VON MEIDINGER SOHN & COMP.

1858.

PARIS.
VICTOR MASSON.
Place de l'Ecole de Médecine.

LONDON.
WILLIAMS & NORGATE.
11 Henrietta Str. Covent-Garden.

2613



V o r r e d e.

Die Benützung des Principes des hydrometrischen Pendels führte mich vor zwei Jahren auf eine, viele Vortheile bietende Methode zur Messung der Blutgeschwindigkeiten in grösseren Gefässen, welche ich unlängst, mit Beihülfe meines werthen Collegen, Professor der Physik Reusch, bis zur graphischen Darstellung der mit den Herzschlägen wechselnden arteriellen Blutgeschwindigkeiten erweiterte. Einige Zeit später entdeckte ich zufällig eine grosse Fähigkeit meiner Retina, das Strömen der Blutkörperchen ihrer eigenen Capillaren mit solcher Deutlichkeit wahrnehmen zu können, dass diese Anschauungen zur Messung der Capillarblutgeschwindigkeiten benützt werden durften. Diese beiden Methoden, deren letztere ich im Archiv für physiologische Heilkunde bereits bekannt gemacht habe, führten auf weitere und verwandte experimentelle Studien, namentlich auch auf eine Modifikation des ganz unschätzbaren und immer noch viel zu wenig gewürdigten Hering'schen Verfahrens zur Bestimmung der Dauer eines ganzen Blutumlaufes, und so entstanden nach und nach die Materialien zu dem vorliegenden Werkchen, welche als ein Ganzes und strenge Zusammengehörendes nicht mehr, wie anfänglich beabsichtigt war, in Form einzelner Journalaufsätze veröffentlicht werden konnten.

Die Hauptaufgaben dieser Arbeit sind die Beschreibung und Kritik der bereits vorhandenen haemotachometrischen Methoden; deren möglichste Erweiterung und Vervollständigung mittelst neuer technischer Hilfsmittel; sowie die Zusammenstellung des bisher gewonnenen und wie ich wohl hinzufügen darf, von den Autoren selbst nicht vollständig verwertheten Thatsächlichen über die Stromgeschwindigkeiten des Blutes; ganz besonders aber, soweit das dem Fleisse und den Kräften eines Einzelnen möglich ist, die so nothwendige Vermehrung der Erfahrungen auf diesem Gebiet der Physiologie.

Dass ich auch auf diejenigen hydraulischen Grundlehren, welche mit den Erscheinungen des Blutumlaufes mehr oder weniger zusammenhängen, eingehen musste, versteht sich von selbst, ohne mich jedoch,

da ich hier nichts Neues gebe und dieser propädeutische Theil von methodischer Seite ungleich wichtiger ist als durch die materiellen Anhaltspunkte, die er der speciellen Hydraulik des Thierkörpers zu bieten vermag, auf eine vollständigere Darstellung einzulassen. Der Physiologe vom Fach möge desshalb die betreffenden wenigen Paragraphen, die bloss dem minder Erfahrenen zu Lieb eingeschaltet wurden, überschlagen.

Ebensowenig gehört diese Schrift ausschliesslich oder auch nur vorzugsweise der anderen, auf dem Gebiete der Haemodynamik vielfach verfolgten Richtung an, deren Ziel in dem casuistisch-experimentellen Studium am Organismus selbst oder in der Aufstellung der betreffenden Mittel- und Durchschnittswerthe besteht. Ich konnte nämlich die auf dem Versuchswege ermittelten haemotachometrischen Constanten nach verschiedenen Richtungen hin verwerthen und eine Reihe von Gesetzen über den Blutlauf aufstellen, deren ausnahmslose und von vorneherein ganz unerwartete Wiederkehr in den verschiedensten Thieren die beste Bürgschaft für die Richtigkeit des Aufgefundenen geben wird.

Die bisherigen experimentellen Studien über die Blutgeschwindigkeiten, so verdienstlich und wichtig sie durch ihr Thatachenmaterial sein mögen, sind wenigstens der Menge nach merklich zurückgeblieben hinter den zahlreichen analogen Bemühungen, die sich den übrigen Erscheinungen des Blutkreislaufes in neuerer Zeit zugewendet haben. Es bleibt desshalb dem physiologischen, pathologischen und pharmakodynamischen Experiment in diesem wichtigsten und den Mittelpunkt des Ganzen bietenden Theile der Lehre vom Kreislauf noch auf lange Zeit ein weites Gebiet offen, das eine lohnende Ausbeute in Aussicht stellt nicht bloss für die Haemodynamik, sondern auch für die Physiologie und Pathologie des Stoffwechsels überhaupt, in welchen die Kenntniss der strömenden Blutmassen die nothwendige und häufig genug schmerzlich vermisste Unterlage jeder statistischen Einzeluntersuchung bildet.

Tübingen, im December 1857.

Karl Vierordt.

Inhaltsverzeichniss.

Erster Theil.

Die Methoden der Haemotachometrie.

	Seite
§. 1. Aufgaben	3

Erster Abschnitt.

Die Bestimmung der Stromgeschwindigkeiten des Blutes.

A. Grössere Gefässe.

§. 2. Haemodromometer	6
§. 3. Haemotachometer	10
§. 4. Anwendung des Haemotachometers	14
§. 5. Anwendung des Haemotachometers zur graphischen Darstellung von Blutgeschwindigkeitscurven	18
§. 6. Pitot'sche Röhre	23
§. 7. Die Abnahme des Blutdruckes im Verlauf eines Gefässes als Maass der Blutgeschwindigkeit	26
§. 8. Die Ausflussmengen aus eröffneten Blutgefässen bei abnorm ge- minderter Blutspannung in den verletzten Gefässen	29

§. 9.	Die Ausflussmengen bei unveränderter Spannung des Blutes in den angestochenen Gefässen	30
§. 10.	Bestimmung der aus dem Herzen ausfliessenden Blutmenge mittelst der Ventrikelcapacität und den Pulszahlen	31

B. Haargefässe.

§. 11.	Die Messung der von dem Blut in einer gegebenen Zeit durchlaufenen Haargefässbahn	33
§. 12.	Bestimmung der Capillarblutgeschwindigkeit mittelst des scheinbaren Stillstandes des Blutes bei kurzer Betrachtung des Objectes	35
§. 13.	Die Messung der Blutgeschwindigkeit in den Netzhautcapillaren des eigenen Auges	41

C. Längere Blutbahnen.

§. 14.	Die Bestimmung der Stromgeschwindigkeit innerhalb einer längeren Blutbahn mittelst der Infusionsmethode	48
§. 15.	Modifikation der Infusionsmethode	55

Zweiter Abschnitt.

Die Querschnittsbestimmungen der Blutbahnen.

§. 16.	Messung der Durchmesser blossgelegter Gefässe	63
§. 17.	Taxation der Arterien Durchmesser am lebenden Menschen	65
§. 18.	Die Bestimmung der Querschnitte sämtlicher Haargefässe einer Blutbahn	69

Zweiter Theil.

Die Blutgeschwindigkeiten.

Erster Abschnitt.

Physikalische Vorbemerkungen.

§. 19.	Die Strom- und Wellenbewegung des Blutes	77
§. 20.	Die Spannungsunterschiede des Arterien- und Venenblutes als nächste Ursache der Strombewegung	80

	Seite
§. 21. Die Spannung des ruhenden Blutes	82
§. 22. Das Strömen in gleich weiten geraden Röhren	85
§. 23. Das Strömen in ungleich weiten geraden Röhren	92
§. 24. Das Strömen in verzweigten Röhren	95
§. 25. Das Strömen in Haarröhrchen	97

Zweiter Abschnitt.

Die haemotachometrischen Mittelwerthe und die Grundgesetze der durchschnittlichen Stromgeschwindigkeiten.

§. 26. Die arteriellen und venösen Blutgeschwindigkeiten	99
§. 27. Die Stromgeschwindigkeiten in den Hauptprovinzen des Arterien-systemes	103
§. 28. Die Capillarblutgeschwindigkeit	108
§. 29. Die Dauer eines Kreislaufes	113
§. 30. Bestimmung der Blutmengen der Thiere aus den Kreislaufsdauern	122
§. 31. Die Grundgesetze der mittleren Kreislaufzeiten und der mittleren circulirenden Blutmassen in Säugethieren	129
§. 32. Folgerungen über den Stoffwechsel und die Schnelligkeit des Capillarblutstromes in verschiedenen Thieren	142
§. 33. Die arteriellen Blutgeschwindigkeiten während der Systole und Diastole der Herzkammer	144

Dritter Abschnitt.

Die Grundbedingungen der Variationen der Blutgeschwindigkeiten.

§. 34. Die individuellen Abweichungen von der mittleren Kreislaufzeit der Gattung	151
§. 35. Die Kreislaufgesetze bei Gleichheit der relativen Systolegrößen der Ventrikel	155
§. 36. Die Kreislaufgesetze bei Ungleichheit der relativen Systolegrößen der Ventrikel	157
§. 37. Die Variationen der strömenden Blutmassen	164

Vierter Abschnitt.

Specielle Physiologie der Blutgeschwindigkeiten.

§. 38. Alter, Geschlecht und Körpergröße	166
§. 39. Körperbewegung und Athmen	170

	Seite
§. 40. Blutverluste	173
§. 41. Durchschneidung und Reizung der herumschweifenden Nerven .	180
§. 42. Krankheiten	183
§. 43. Medicamente und Gifte	185

Fünfter Abschnitt.

Casuistik.

§. 44. Infusionsmethode . ,	190
§. 45. Haemotachometerversuche	199
§. 46. Graphische Darstellung der mit den Pulsen wechselnden arteriellen Blutgeschwindigkeiten	202
§. 47. Die arteriellen Blutgeschwindigkeiten bestimmt mittelst der aus- fliessenden Blutmengen	207

Berichtigungen.

Seite 10. Einige Theile (das Pendelchen und der Quadrant) der Fig. 1 sind nicht genau gegeben. Da die richtigen Maasse im Text bemerkt sind, so konnte die Anfertigung einer neuen Figur unterlassen bleiben.

Seite 24, Zeile 3 von oben: nach „Geschwindigkeit“ füge bei „in 1 Secunde“.

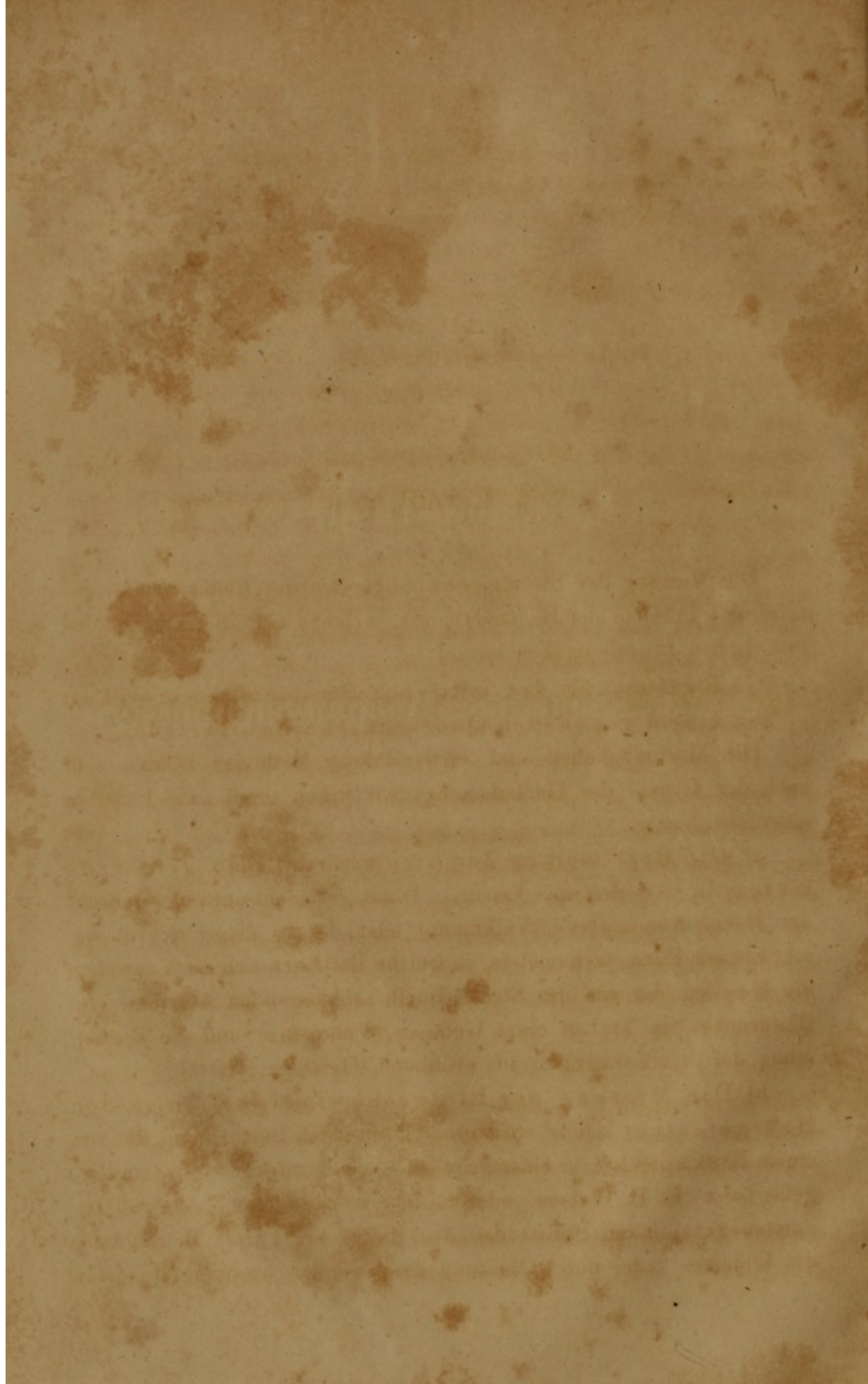
Seite 84, Zeile 4 von unten: statt „vorzugsweis in den grossen Venen“ setze „weniger in den grossen Venen der Körperblutbahn“.

Seite 84, letzte Zeile: statt „geringer“ lies „grösser“.

Seite 91, Zeile 4 und 12 von oben: statt „c“ lies „v“, statt „c^{1a}“ lies „v^{1a}“.

Erster Theil.

Die Methoden der Haemotachometrie.





§. 1. Aufgaben.

Die Messung der Stromgeschwindigkeiten des Blutes ist ein umfassendes Problem der Haemodynamik, welches sich in die folgenden technischen Einzelaufgaben spaltet:

I. Die Bestimmung der mittleren Stromgeschwindigkeit in einem gegebenen Querschnitt eines Gefässes.

Die hier möglichen und verwendbaren Methoden richten sich nach der Grösse des Gefässlumens; wir haben somit zwei Fälle zu unterscheiden:

a) Die Bestimmung der Stromschnelle in grösseren Gefässen (Arterien und Venen). Diese geschieht entweder mittelst des Haemodromometer's (Volkmann) oder des in dieser Schrift beschriebenen Haemotachometers, an welche Methoden sich noch anreihen die Messung der von der Stromschnelle abhängenden Abnahme des Blutdruckes im Verlauf eines Gefässes (Volkmann) und die Bestimmung der Ausflussmengen aus eröffneten Gefässen (Hales).

b) Die Messung der Blutgeschwindigkeiten in den Haargefässen. Diese wird ermöglicht durch Bestimmung der von einem Blutkörperchen in einer gegebenen Zeit zurückgelegten Capillargefässbahn (E. H. Weber), oder mittelst des hier zum erstenmal benutzten scheinbaren Stillstandes des Blutes bei kurzer Betrachtung des Objectes, oder durch Messung der Stromgeschwindigkeit in den

Capillaren der Netzhaut des eigenen Auges nach der von mir angegebenen Methode. Die Zählung endlich der durch eine bestimmte Capillare in einer gegebenen Zeit fließenden Blutkörperchen sammt Messung der mittleren Abstände derselben dürfte vielleicht, wie ich glaube, für gewisse Fälle geringerer Geschwindigkeiten eine Aufgabe sein, die nicht unrealisirbar wäre.

II. Die Bestimmung der Stromgeschwindigkeit in einer längeren Blutbahn.

Hierher gehört die Feststellung entweder der Dauer eines vollständigen Umlaufes oder der Zeit, welche das Blut nöthig hat, um eine gewisse Strecke des Gefäßsystemes, also einen grösseren oder kleineren Bruchtheil eines ganzen Umlaufes zu durchlaufen. Diesen Aufgaben genügt die Methode von Hering, welche ich zum Zweck schärferer Zeitmessungen modificirt habe.

Die Ergebnisse der tachometrischen Versuche sind allemal direct oder indirect ausdrückbar in zwei verschiedenen Formen: entweder als Stromgeschwindigkeiten oder als durchströmende Blutmengen. Der erste Ausdruck ist in der Regel der passendste für die Haemodynamik, während der zweite immer dann seine vorzugsweise Verwendung findet, wenn es sich um die Beziehungen des Blutes zu den Vorgängen der Ernährung und Absonderung handelt.

Die verschiedenen tachometrischen Methoden unterscheiden sich aber in Beziehung auf beide Fragen sehr wesentlich von einander. Diese Verhältnisse erheischen eine kurze Betrachtung.

Gewisse Methoden ergeben direct nur die Stromgeschwindigkeiten des Blutes; hierher gehören der Hering'sche Versuch, die Beobachtungen an den Capillargefässen und, wenn sie practisch empfehlenswerth wäre, die Pitot'sche Methode. Die Blutmenge ist nur dann zu bestimmen, wenn man den Querschnitt des Gefässes kennt. Die Hering'sche Methode z. B. bezieht sich auf die Dauer eines Kreislaufes, sagt aber nichts aus über die Menge des während dieser Zeit umgetriebenen Blutes.

Die zweite Klasse von tachometrischen Mitteln dagegen führt zunächst zur Kenntniss der fließenden Blutmengen. Man bestimmt z. B.

aus der Capacität des Ventrikels und der Zahl der Herzkontraktionen die in die Aorta überworfenen Blutvolume. Das Haemotachometer giebt, da es nach durchströmenden Flüssigkeitsmengen graduirt ist, zunächst nur Aufschluss über diese. Das Dromometer misst die Blutgeschwindigkeit in der in das Gefäss eingesetzten Glasröhre, also die in der Versuchszeit durch dieselbe strömenden Blutvolume. Die Bestimmung der Blutgeschwindigkeit setzt hier wiederum voraus die Ausmessung des Querschnittes des betreffenden Gefässes. Diese ist aber ganz tadellos nicht auszuführen, wesshalb die Angabe der strömenden Blutmengen bei den Methoden der zweiten Klasse sicherer ist, als die Angabe der Blutgeschwindigkeiten; die Gefässquerschnitte sind somit immer mitzutheilen, was z. B. Volkmann bei seinen Dromometer-Versuchen leider unterlassen hat.

Somit reiht sich an die Haemotachometrie im engeren Sinne, als weitere und wesentlich ergänzende Aufgabe, die Bestimmung der Querschnitte der einzelnen Blutbahnen, für welche uns wiederum verschiedene, in dieser Schrift zu erörternden Technicismen zu Gebot stehen.

Erster Abschnitt.

Die Bestimmung der Stromgeschwindigkeiten des Blutes.

§. 2. Das Haemodromometer.

Volkmann kommt das Verdienst zu, die ersten directen experimentellen Messungen der Blutgeschwindigkeiten in grösseren Gefässen ausgeführt zu haben (s. dessen Haemodynamik, Leipzig 1850, Seite 185). Sein Apparat, den er Haemodromometer nennt, hat im Wesentlichen folgende Einrichtung:

Eine 1½ Zoll lange Metallröhre ersetzt das ausgeschnittene Stück eines in gehöriger Ausdehnung blossgelegten Gefässes, so dass das Blut von dem einen Gefässstück zu dem anderen durch die Röhre in seiner normalen Richtung fliesst. In die Metallröhre öffnet sich seitlich mit zwei Mündungen eine haarnadelförmig gebogene, mit Wasser gefüllte Glasröhre. Die Metallröhre ist mit zwei Hähnen von andert halber Bohrung versehen, welche durch einen gemeinsamen Handgriff gedreht werden. Fallen die ganzen Bohrungen in die Längsaxe der Metallröhre, so fliesst das Blut durch die letztere in der gewöhnlichen Richtung; beim Drehen des Handgriffes werden dagegen die halben Bohrungen eingestellt, die Metallröhre ist jetzt in ihrer Mitte abgesperrt und das Blut sucht sogleich den Umweg durch die nunmehr offen gewordene Glasröhre. Die letztere hat ein Lumen von 2—3 Millimetern und eine Länge von 600—1300 M. m. Aus der beobachteten Blutgeschwindigkeit in dem Apparat, dessen nähere Beschreibung a. a. O. zu finden ist, wird die wirkliche Geschwindigkeit

in dem Blutgefäss sogleich erhalten, wenn man den Querschnitt des letzteren ausgemessen hat. Der Apparat giebt bei Controllversuchen im Allgemeinen gut übereinstimmende Resultate.

Volkman n hebt besonders zwei Fehlerquellen seiner Methode hervor, deren Grösse er zugleich zu schätzen versuchte:

1) Das Blut fliesst in aller kürzester Zeit, nämlich in wenigen Sekunden, durch die Glasröhre. Die Zeiten selbst wurden mittelst des Tiktak einer Taschenuhr gemessen. Im allernüthigsten Fall soll man sich um 1 Uhrschlag irren können, was bei einer Zeit von 8 Schlägen — dem in einigen Fällen vorkommenden Geschwindigkeitsmaximum — kein unerheblicher Irrthum wäre. Doch glaubt Volkman n, dass der Fehler in der Regel geringer sei.

Dieser Fehler ist, meiner Meinung nach, vollständig in folgender Weise zu beseitigen. Mit dem Handgriff des Hahnes des Dromometers sind zwei Stäbchen verbunden, deren jedes am freien Ende ein Bleistift trägt. Das eine Bleistift tangirt an die sich drehende Kymographiontrommel während das Mittelstück des Dromometers offen ist; es zeichnet also eine horizontale Gerade auf die rotirende Trommel. Wird der Hahn gedreht, um das Blut den Umweg durch den Apparat machen zu lassen, so entfernt sich das Bleistift sogleich von der Trommel; dagegen tangirt ein zweites, mit dem vorigen einen rechten Winkel bildendes Stift die Trommel im Moment, wo der Hahn die Drehung um 90° vollendet hat; dieses giebt also genau den Zeitpunkt an, in welchem die neue Einstellung fertig ist. Das zweite Bleistift zeichnet wiederum eine Gerade auf das Kymographion. Beide Stifte fallen, wenn sie das Kymographion tangiren, genau in die Verlängerung des einen Schenkels der Dromometerröhre; sie liegen aber, damit ihre verzeichneten Linien zu unterscheiden sind, unter einander. Wird im Moment der Beendigung des Versuches der Hahn wiederum gedreht, so wird das minime Intervall zwischen der zweiten und der neuen Linie, welche von dem das Kymographion nunmehr wieder tangirenden ersten Bleistift herrührt, die Zeit der Hahndrehung angeben.

Die Zeit des Beginns des Versuches wird offenbar auf diese Weise (wenn wir absehen von dem Zeittheilchen, welches nothwen-

dig ist, um die Trägheit der Flüssigkeitsmasse in der Glasröhre zu überwinden) absolut genau bestimmt und die Zeit der Beendigung so scharf, als es bei der gleichzeitigen Wirkung des Auges und der Hand des Beobachters irgend möglich ist. Bewegt sich die Trommel schnell genug, so wird die aufgezeichnete Linie, welche der Versuchsdauer entspricht, genügend lang. Man ist somit der unzuverlässigen und den Experimentator beunruhigenden Zählung der Uhrschräge überhoben. Für gehörige Feststellung des Dromometers kann leicht durch eine passende Vorrichtung gesorgt werden.

Ich habe diese Art der Zeitmessung vorgeschlagen, weil sich die Requisiten dazu in den Händen aller Physiologen befinden. Mittelst des trefflichen Wheatstone-Hipp'schen electromagnetischen Chronoscopes liessen sich, wie ich nicht näher auszuführen brauche, noch schärfere Resultate gewinnen.

2) Die Grenze zwischen Blut und Wasser ist keine scharfe, indem beide sich manchmal in einer Mittelschicht von selbst 100 Millimeter Länge mischen können. Dies würde einen nicht unbedeutenden Fehler setzen. Volkmann taxirt denselben, aber offenbar ganz subjectiv, durchschnittlich bloß zu $\frac{1}{25}$.

Eine Controllmethode, die wenigstens einen Durchschnittswerth des Fehlers ergäbe, würde darin bestehen, das man geschlagenes Blut durch die vorher mit Wasser gefüllte Glasröhre laufen liesse. Das Auslaufende würde in einer Anzahl von kleineren Portionen sehr schnell hinter einander aufgefangen, was mittelst der §. 15 geschilderten Technik leicht geschehen könnte. An Bestimmungsmitteln des Antheils des Blutes in den Portionen, wo die Mischung stattfindet, fehlt es nicht.

Eine andere Controllmethode wäre die, dass man in den Verlauf der Glasröhre einige möglichst nahe bei einanderstehende Hähne von derselben Bohrung wie die Röhre anbrächte. Ein gemeinsamer Handgriff würde dieselben drehen, also den Inhalt in eine Anzahl von Portionen abtheilen, deren Blutgehalt wiederum zu bestimmen wäre.

Den Gesetzen der Diffusion zufolge ist zu erwarten, dass die Mischung zwischen Blut und Wasser weniger stark werden dürfte,

wenn man statt des Wassers Serum oder eine analoge künstliche Mischung anwenden würde.

Das Einbringen endlich eines kleinen Körpers vom specifischen Gewicht des Wassers in den Anfang der Dromometerröhre wäre der Mühe eines Versuches wohl werth; seine Bewegung würde, wenn er vom Blut nicht erreicht werden könnte, das Geschwindigkeitsmaass des Blutes abgeben.

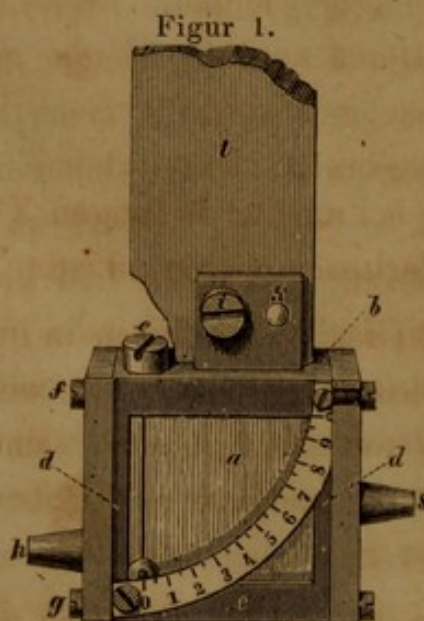
Die von Volkmann besprochenen Fehler sind somit corrigirbar oder selbst völlig zu vermeiden. Anders aber verhält es sich mit einem, von dem genannten Forscher nicht hervorgehobenen störenden Einfluss. Während der Kammersystole fliesst das Blut in den grösseren Arterien sehr erheblich schneller, als zur Zeit der Diastole. Das Haemodromometer könnte also offenbar nur dann die mittlere Stromgeschwindigkeit scharf angeben, wenn die Summe der in die Versuchszeit fallenden systolischen Zeiten zu der Summe der diastolischen Zeiten sich genau verhielte wie die Celerität des Herzschlages, oder da wir minder rigorös sein müssen, wenn die Summen der Systolezeiten des Versuches gleich wären den Summen der Diastolezeiten. Dass dieses unmöglich ist, versteht sich von selbst; wie man auch leicht sieht, dass der Fehler um so grösser zu werden droht, je seltener die Herzschläge erfolgen. Es können z. B. um ein Extrem anzuführen, 2 Systolen und 1 Diastole genau in einen Versuch fallen, während der nächste Controllversuch, der *a tempo* mit dem Anfang einer Diastole beginnt, nicht mit dem Ende der zweiten Diastole beendigt wäre.

Die Experimentalkritik hat aber nicht bloss die von der unmittelbaren Ablesung der Blutgeschwindigkeit in dem Apparat abhängigen Fehler zu bestimmen, sondern es entsteht die weitere von Volkmann umsichtig erörterte Frage, ob durch den ganzen Mechanismus nicht etwa die Geschwindigkeit wesentlich verändert werde. Die Weite der Glasröhre ist geringer als der Querschnitt des Blutgefässes; dadurch, sowie zufolge der grösseren Länge der, zudem nicht geradlinigen Bahn wird der Widerstand erhöht, die Stromgeschwindigkeit also vermindert.

Der Fehler würde beträchtlich sein, wenn der Kreislaufsapparat aus einer einzigen, in sich selbst zurücklaufenden Röhre bestände; aber die durch das Haemodromometer gesetzten Widerstände wirken, bei der Einrichtung des Gefässsystems im Körper nicht ausschliesslich auf das Blutgefäss, an welchem experimentirt wird, sondern auf alle communicirenden Röhren des Gefässsystemes. Die Folge also ist eine Minderung der Geschwindigkeit in allen Gefässen, so dass sich der durch den erhöhten Widerstand gesetzte Fehler sehr verringert. Einer weitläufigen Erörterung über die Gültigkeit der absoluten Stromgeschwindigkeiten, welche Volkmann gefunden hat, kann ich wohl mit den Erfahrungen begegnen, welchen ich an einem, nunmehr zu beschreibenden anderweitigen Apparat gemacht habe und die sich den Volkmann'schen Stromschnellen sehr gut anschliessen.

§. 3. Das Haemotachometer.

Ein zweiter, vom Haemodromometer principiell verschiedener Apparat wäre unstreitig an und für sich schon, bloss zur Controlle der nach der Volkmann'schen Methode angestellten Messungen, ein Bedürfniss, selbst dann noch, wenn derselbe sonst keine weiteren Vortheile vor dem Dromometer bieten würde. Gestützt auf das Princip



des hydrometrischen Pendels habe ich zu diesem Zweck vorstehenden Apparat konstruirt, welcher Haemotachometer genannt werden mag.

Die Hydrauliker verwenden bekanntlich das hydrometrische Pendel mit Erfolg, wenn auch nicht als bestes ihrer zuständigen Hilfsmittel, zur Messung der Geschwindigkeit eines Stromes an seiner Oberfläche und zwar in der Regel in der Art, dass eine Kugel an einem Faden aufgehängt wird, dessen oberes Ende im Mittelpunkt eines graduirten Quadranten befestigt ist. Die Besonderheiten des Blutkreislaufes, die Röhrenform der Gefässe — es ist, soviel ich weiss, bis jetzt noch niemals nöthig gewesen, das hydrometrische Pendel zur Messung der Wassergeschwindigkeit in grösseren Röhren anzuwenden — die Kleinheit der Gefässe, die Undurchsichtigkeit und Gerinnbarkeit des Blutes fordern aber für unseren Fall eine Reihe eigenenthümlicher Anordnungen des Apparates. Figur 1, Taf. 3, zeigt denselben in der Seitenansicht, Figur 2 im Querschnitt und zwar, wie auch die Figuren 3, 4 und 5 in natürlicher Grösse, sodass in der nach-

Fig. 2.



Fig. 3.



Fig. 4.



Fig. 5.



folgenden Beschreibung bei minder wichtigen Theilen die Angabe der Grössenverhältnisse unterlassen werden durfte.

Der Apparat besteht im Wesentlichen in einem kleinen Kästchen, durch welches der Blutstrom geleitet wird, welcher ein im Kästchen senkrecht aufgehängtes und von Aussen sichtbares Pendelchen, je nach der Stromschnelle stärker oder schwächer von der Senkbleilinie ablenkt.

Die Seitenwände werden gebildet durch zwei ebene Glasplatten *a*, von 2 Millimeter Dicke, 19 Mm. Länge und $14\frac{1}{2}$ Mm. Höhe. Die Glasplatten stehen genau parallel zu einander in einem Abstand im

Lichten von 3 Mm. Sie sind mit ihren oberen und unteren Rändern eingelassen in die, je 5 Mm. hohe, obere *b* und untere *c* Wand eines Messingrahmens, dessen senkrechte Seitenleisten durch vier schmale Messingleisten *d* dargestellt werden. Durch die obere Wand geht bei *e* eine fast 3 Mm. weite, senkrechte Bohrung, welche mit einem Schraubengang versehen ist und deren Centrum von der vorderen Wand 3 Mm. absteht. Diese Oeffnung wird mittelst einer kleinen Schraube (Fig. 3) verschlossen, von deren unterem Ende zwei kleine parallele Plättchen (Fig. 3, *a*) senkrecht abgehen, welche durch eine dünne, $1\frac{1}{3}$ Mm. lange, horizontale Axe *b* mit einander verbunden werden. Die Axe dient zum Aufhängen eines, 13 Mm. langen, silbernen Pendelchens, welches unten in eine Kugel endet und Fig. 4 in der Seitenansicht des Apparates gezeichnet ist. Die Axe *b* (Fig. 3) steht im rechten Winkel zu den beiden Glasplatten, an welche die Kugel des Pendelchens nicht unmittelbar, sondern mittelst zweier kleiner Spitzen tangirt, doch so, dass durchaus keine schädliche Reibung derselben an dem Glas möglich ist. Fig. 2 zeigt die Lage des Pendelchens im Querschnitt des Apparates. Das Pendelchen wird mittelst eines Häckchens aufgehängt, dessen Breite nahezu gleich ist der Länge der Aufhängungsaxe. Dadurch wird eine Drehung des Pendels um seine Längsaxe vermieden, sodass beide Spitzen der Kugel bei allen Ablenkungen von der Vertikalen immer genau an die Glaswände tangiren. Ich liess drei Pendel verfertigen von 53, 63 und 111 Milligrammen Schwere. Das schwerste Pendelchen erwies sich für die Versuche als das geeignetste.

Die vordere, gegen den Blutstrom gerichtete Wand des Apparates wird durch eine Messingplatte verschlossen (Fig. 5), welche die Höhen- und Breitendimensionen des Kästchens und eine Dicke von 2 Mm. besitzt. Die Platte wird bei *f* und *g* (Fig. 5 und 2) mittelst zweier Schraubchen befestigt und trägt ausserdem noch einen 5 Mm. langen konischen Ansatz *h*, welcher eine Bohrung von 2 Mm. Durchmesser hat für den einmündenden Blutstrom. Die innere Mündung des konischen Rohres befindet sich nur in kleinem Abstand vom Boden des Kästchens und ist so gestellt, dass ihr Centrum und das

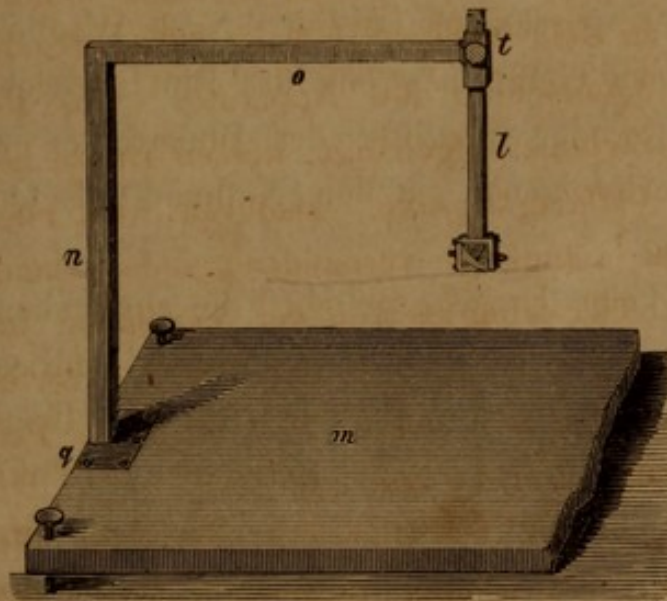
Centrum der Kugel des vertikal herabhängenden Pendels in gleicher Höhe liegt.

Für den Verschluss der hintern Wand des Apparates sorgt eine ähnlich konstruirte Messingplatte; auch diese hat einen konischen Ansatz *s* für das ausfliessende Blut, welches sich jedoch in der halben senkrechten Höhe des Kästchens befindet.

Auf beiden Glaswänden ist ein von 5 zu 5° getheilter messingener Quadrant angebracht, bei vertikal herabhängendem Pendel stehen die Kugelspitzen genau auf dem Nullpunkt der Theilung.

Von der oberen Wand des Apparates geht eine 8 M. m. hohe, 10 M. m. lange und 4 M. m. dicke Messingplatte senkrecht ab, welche bei *i* durchbohrt ist und bei *k* ein, einige M. m. langes, horizontales Stift trägt. An diese Platte wird ein 230 M. m. langer, 20 M. m. breiter und 4½ M. m. dicker Messingstab *l* (siehe auch Fig. 6) in

Fig. 6.



leicht abnehmbarer Weise befestigt und zwar bei *i* mittelst einer Schraube, während das durch ein Loch von *l* durchschobene Stift bei *k* für völlige Fixirung sorgt.

Ein grosses viereckiges, 4 Centimeter dickes, 50 C. M. breites und 130 C. M. langes, mit Stellschrauben versehenes Brett *m* (theilweis abgebildet in Fig. 6) dient als Grundlage. Die Mitte der einen

schmalen Seite trägt eine Eisenplatte q , von welcher eine starke, im rechten Winkel gebogene Eisenstange ausgeht. Der genau senkrecht gestellte Arm n ist 35 C. M. hoch, der wagerechte Arm o 34 C. M. lang und an dem freien Ende mit einer 6 C. M. langen Messinghülse t versehen, in welche der Messingstab l genau einpasst und mittelst einer Schraube festgestellt wird. Für die genaueste Einstellung des senkrecht herabhängenden Pendelchens des Haemotachometers auf den Nullpunkt des Quadranten, sowie für die richtige Lage der Glaswände des Apparates kann somit leicht gesorgt werden, wie die Controlle mit Hülfe einer Libelle ergiebt.

§. 4. Anwendung des Haemotachometers.

Das Kästchen des Tachometers wird vor dem Versuch mit ein Paar Tropfen einer Lösung von kohlsaurem Natron gefüllt. In die beiden Enden des durchschnittenen Blutgefäßes werden zwei Canülen eingesetzt, welche über die Ein- und Ausmündungsröhre h und s des Tachometers geschoben werden. Nach Wegnahme der Schlusspincetten von den Gefäßen strömt das Blut sogleich in den Apparat und bewirkt eine der Intensität des Blutstromes entsprechende Ablenkung des vorher genau auf dem Nullpunkt des Quadranten stehenden Pendelchens.

Ich habe keine Ursache gehabt, die angegebenen Dimensionen des Apparates verändern zu lassen; dieselben sind von der Art, dass an der Carotis, Cruralis und Iugularis mit aller Bequemlichkeit experimentirt werden kann. Statt der geraden und senkrechten vorderen und hinteren Wandungen hatte ich anfangs konisch sich zuspitzende Wandungen — in der Absicht, die beste Form der Ein- und Ausflussmündung zu erhalten — benutzt, was ich, schon wegen der dadurch bewirkten Verlängerung des Apparates, nicht bewährt gefunden habe.

Um jede Spannung und Knickung der nach der Durchschneidung sich zurückziehenden Arterienenden zu vermeiden, präparire ich die Arterie eine möglichst lange Strecke weit bloss, schneide kein Stück aus der Arterie aus und setze beide Canülen ganz nahe an

einander ein. Nach Durchschneidung des kurzen Arterienstückes zwischen den Canülen ziehen sich beide Gefässenden soweit zurück, dass in der Regel weder schädliche Biegungen, noch die Lumina beeinträchtigende Spannungen entstehen. Einigemal war letzteres allerdings der Fall, sodass die betreffenden Versuche missglückten. Ich habe versucht, zwischen die in die Gefässe eingebundenen Canülen und die Tachometerröhren Zwischenstücke, z. B. von Kautschuk einzuschalten, bin aber doch wieder zu der ursprünglichen, einfacheren Anordnung zurückgekehrt.

Das Versuchsthier wird in einer hölzernen Rinne, deren Seitenwände zum Durchziehen von Riemen vielfache Löcher haben, gehörig befestigt und die Rinne auf das Grundbett (*m*, Fig. 6) gebracht. Dem Thier kann leicht die richtige Lage gegeben werden, sodass die Längsaxe des Tachometers mit der Längsaxe des Blutgefässes zusammenfällt.

Die Einzelversuche dauern, je nach der Coagulationsgeschwindigkeit des Blutes, $\frac{3}{4}$ bis selbst $1\frac{1}{2}$ Minuten, während welcher Zeit die Ablenkungen des Pendels abgelesen werden können. Wenn die Coagulation beginnt, so giebt sich dieses an der Abnahme der Excursionen der mit den Herzsystolen isochronischen Pendelschwingungen zu erkennen; es schlagen sich nämlich dünne Fäden nieder an den Glaswänden des Apparates; komprimirt man nunmehr das zuführende Gefäss, so geht das Pendelchen nicht sogleich in die senkrechte Lage zurück. Der Versuch wird jetzt unterbrochen, um einige Minuten später, nach Reinigung des Kästchens wiederholt zu werden.

Man bemerkt niemals einen Stillstand des Pendels; die Schwingungen desselben fallen genau zusammen mit den Pulsschlägen, sodass man die Pulsfrequenz bequem an dem Apparat ablesen kann. Niemals erhält man, wie es bei dem Haemodynamometer so häufig der Fall ist, mehr Pendelschwingungen als gleichzeitig Pulse mittelst des Getastes gezählt werden. Ausserdem variiren während desselben Versuches die mittleren Pendelablenkungen aus anderweitigen Ursachen, unter welchen die Stärke der Athembewegungen vorzugsweis maassgebend ist.

Die Aufhängung des Pendelchens setzt, wie ich glaube, keine in Betracht kommende schädliche Reibung, ebensowenig das Tangiren der beiden Spitzen der Pendelkugel an die Glaswände. Comprimire ich das zuleitende Gefäss, so fällt im Nu das Pendelchen auf den Nullpunkt zurück und zwar ohne dabei anfangs etwas jenseits des Nullpunktes zurückzugehen. In dieser senkrechten Lage verharret das Pendel, ohne auch nur die kleinste Nachschwingung zu machen. Das Häkchen des Pendels wird vor dem Aufhängen mit einem Tröpfchen feinen Oeles bestrichen und so eingesetzt, dass bei allen Versuchen dieselbe Seite der Pendelkugel gegen die Einflussmündung des Apparates gekehrt ist.

Ich war von vornherein nicht gewiss, ob die feine Spitze der Pendelkugel durch die Glaswand sichtbar würde und desshalb auf die wenig erfreuliche Aussicht gefasst, als Pendelchen eine kleine Magnetnadel wählen und aus deren Wirkung auf eine ausserhalb des Apparates befindliche Nadel die Pendelablenkungen bestimmen zu müssen. Glücklicherweise ist dieses, ohne Zweifel sehr schwer ausführbare und höchstens nur für annähernde Mittelwerthe, nicht aber für Erforschung der Herzwirkungen auf die Blutgeschwindigkeit verwendbare Auskunftsmittel nicht nöthig geworden. Mitten in der rothen Blutschicht tritt immer ganz scharf und deutlich die Spitze der Pendelkugel als glänzend weisses Pünktchen hervor. Diese Spitze ist so fein, dass die Pendelablenkungen mit völliger Sicherheit bis zu 1° abgelesen werden können. Die Beobachtung der bekannten Parallelaxenvorschriften darf natürlich nicht unterlassen bleiben.

Bei dem gewöhnlichen Tachometerversuch auf der Oberfläche des frei fliessenden Wassers reisst der Strom die Kugel mit sich fort; der Faden der Kugel bildet einen Winkel mit dem abwärts gerichteten Quadrantenschenkel, der genau im Lothe stehen muss. Die Wurzel aus der Tangente des Winkels multiplicirt mit einem für den gegebenen Apparat am sichersten durch den Versuch in Wasser von bekannter Geschwindigkeit zu bestimmenden konstanten Coëfficienten giebt dann die absolute Stromgeschwindigkeit des Wassers.

Das Haemotachometer muss in einer Reihe von Versuchen besonders graduirt werden, indem, schon wegen der Eigenthümlichkeiten der Ein- und Ausflussmündungen, die im freien Strom vorkommenden Beziehungen zwischen Ablenkungswinkel und Geschwindigkeit hier nicht vorkommen können. Man lässt Wasser mit verschiedenen Geschwindigkeiten durchströmen und beobachtet die den einzelnen Pendelablenkungen entsprechenden Wassermengen. Das Wasser wird durch einen Zusatz von Salz und etwas Gummi auf ein dem Blute entsprechendes specifisches Gewicht und eine ungefähr analoge Viscosität gebracht. Das Pendel bleibt in der Regel ruhig bei jeder Ablenkung; manchmal jedoch bemerkt man kleine, von Wasserwirbeln herkommende Oscillationen, besonders dann, wenn ein Luftbläschen in den Apparat eingetreten ist, dessen Entfernung dann nothwendig wird.

Lässt man bei der Graduierung das Wasser direkt auslaufen aus der Ausflussmündung des Tachometers selbst, so ergeben sich manchmal ziemlich grosse Differenzen der Ausflussmengen bei gleichen Pendelablenkungen. Desshalb muss auf die Ausflussmündung des Tachometers eine 1—2 Fuss lange Kautschukröhre aufgesetzt werden, deren Ende mit einem Hahn versehen ist zur Regulirung der Stromschnellen. Jetzt befindet sich das Tachometer offenbar in analogeren Bedingungen mit seiner Einsetzung in die Blutgefässe selbst. Die Ausflussmengen bei derselben Pendelablenkung variiren auch in verschiedenen Versuchen nur sehr wenig, so dass der Apparat mittelst einiger Versuchsreihen genau graduirt werden kann. Ich fand nun, dass die Durchflussmengen den Pendelablenkungen proportional sich verhalten, doch nur innerhalb gewisser Grenzen. So waren bei demjenigen meiner 3 Tachometer, das ich am häufigsten und in der Folge immer gebrauchte und bei dem schwersten Tachometerpendelchen die Durchflussmengen proportional den Pendelablenkungen zwischen 17° und 30° ; der Ablenkung 17° entsprach eine Durchflussmenge von 1,274 C. C. M. in 1 Secunde, für je 1° weiter nahm die Abflussmenge zu um 0, 183 C. C. M. in der Secunde. Jenseits 30° (Ausflussmenge = 3, 66 C. C. M.) waren aber die Zunahmen stärker, jedoch wiederum annähernd proportional den Ablenkungen, nämlich 0, 288 C. C. M. für

1°, und unterhalb 17° betrug sie bloss 0,077 C. C. M. Ueber das Maass der durch den Tachometer gesetzten Widerstände könnten höchstens etwa zahlreiche Hämodynamometerversuche vielleicht Aufschluss geben. Die Durchmesser und Längen der Apparatstücke sind aber offenbar von der Art, dass irgendwie beträchtliche Widerstände unmöglich vorhanden sein können.

§. 5. Anwendung des Haemotachometers

zur graphischen Darstellung von Blutgeschwindigkeitscurven.

Schon bei meinen Anfangsversuchen mit dem Haemotachometer dachte ich an die Aufgabe, eine Technik zu ersinnen zur graphischen Darstellung der beständig und vorzugsweise mit den Herzschlägen wechselnden arteriellen Blutgeschwindigkeiten. Dabei war natürlich von vornherein alle Aussicht abgeschnitten, die wechselnden Pendelabweichungen auf einen selbstregistrirenden Apparat nach aussen übertragen und dieselben, ohne alles unmittelbare Zuthun des Experimentators, verzeichnen zu lassen. Die bei einer derartigen Anordnung unvermeidliche Reibung wäre, im Vergleich zu den bewegenden Kräften, viel zu gross, als dass an die Verwirklichung einer solchen Aufgabe gedacht werden könnte.

Wohl aber blieb mir ein — bei den graphischen Darstellungen von Bewegungen, so viel mir bekannt, noch nicht versuchter — Ausweg übrig, nämlich mittelst eines auf der einen Seitenwand des Tachometers angebrachten Zeigers, der um eine Axe rotiren müsste, die in der Verlängerung der Drehaxe des Tachometerpendels läge, die Pendelschwenkungen in der Art zu verzeichnen, dass zunächst die Hand des Experimentators den äusseren Zeiger, den Pendellexkursionen entsprechend, hin und her bewegen würde. Die Bewegungen des Zeigers müssten sodann durch eine passende Zwischenvorrichtung auf das Kymographion verzeichnet werden und zwar so, dass die kreisförmigen Zeigerbewegungen in horizontale, geradlinige umgesetzt und dabei zugleich beträchtlich vergrössert werden müssten.

Gelingt es, der Aufgabe völlig zu genügen, so hat man, gegenüber den blossen Ablesungen der Pendelschwankungen einen sehr wesentlichen Vortheil erreicht. Ich kann dieses Verfahren durch einen Vergleich mit der Ludwig'schen Methode der Selbstregistrirung der Blutdruckschwankungen am besten anschaulich machen. Hätten wir den Schwimmer nicht, welchen dieser Forscher als wichtiges Förderungsmittel des haemodynamometrischen Versuchs auf das Quecksilber des langen Schenkels des Dynamometers setzt und der bekanntlich die Aufgabe hat, die wechselnden Stände der Quecksilbersäule auf das Kymographion unmittelbar und ohne Zuthun des Experimentators zu verzeichnen, so würde eine, längs dem langen Schenkel verschiebbare, mit einem horizontalen Pinsel versehene Hülse, die von der Hand des Experimentirenden, den Oscillationen des Quecksilbers entsprechend, auf- und abgeschoben werden könnte, die Bewegungen des Quecksilbers auf das Kymographion verzeichnen können und zwar in einer, für das Studium der Erscheinung offenbar sehr viel förderlicheren Weise, als es, vor der Ludwig'schen Erfindung durch blosses Ablesen der Quecksilberstände möglich gewesen war.

Der Apparat (s. die Abbildung, in der halben wirklichen Grösse, auf Tafel I.) hat folgende Einrichtung. In die Aussenwand des Tachometerkästchens ist an der Stelle, welche der im Innern des Kästchens befindlichen Pendelaxe entspricht, eine kleine Vertiefung eingepohrt zur Aufnahme der horizontalen stählernen Axe *a*. Diese ist die gemeinsame Drehungsaxe für den Zeiger *b* und einen Theil des übrigen Apparates. Die Axe *a* liegt genau in der Verlängerung der Aufhängungsaxe des Tachometerpendelchens, sodass der äussere Zeiger *b* den Ablenkungen des Pendelchens entsprechend hin und her bewegt werden kann. An dem unteren Ende des senkrechten Trägers *A* des Tachometerkästchens ist ein horizontaler, gehörig dicker Arm *c* leicht abnehmbar angeschraubt, der 35 M. m. von seinem Ausgangspunkt entfernt, sich knieförmig umbiegt und an seinem in der Verlängerung der Axe des Tachometerpendels liegenden freien Ende eine kleine Bohrung besitzt zur Aufnahme der Axe *a*. Letztere ist 26 M. m. lang und in ihrem Mittelstück 4 M. m. dick; sie geht an

beiden Enden in eine feine, etwa 2 M. m. lange Stahlspitze über. Ausserdem geht von dieser Axe, 2 M. m. entfernt von der in dem Tachometerkästchen ruhenden Stahlspitze der Zeiger *b* nach abwärts. Nach aufwärts entlässt die Axe *a*, nahe an ihrem äusseren Ende, je zwei, 100 M. m. lange, 3 M. m. breite und $1\frac{1}{2}$ M. m. dicke Schenkel *d* und *d'* von Messing unter dem in der Abbildung angedeuteten Winkel, mit welchen der nach oben konvexe, 90 M. m. lange Kreisbogen *e* verbunden ist, dessen Breite- und Dickedimensionen dieselben sind wie an den Schenkeln *d* und *d'*. Ausserdem gehen, 7 M. m. von dem innern Ende der Axe *a* entfernt, zwei ähnliche Schenkel *f* und *f'* nach aufwärts, an welche wiederum ein Kreisbogen *g* befestigt ist, dessen oberer konvexer Rand aber mit vielen kleinen Zähnen versehen ist. Die beiden Kreisbögen *e* und *g* sind durch zwei horizontale Stäbchen *h* mit einander verbunden.

Auf beiden Kreisbögen ruht ein horizontales, viereckiges Rähmchen mit seinen beiden langen Stangen *i* und *k*. Die Stange *i* ist eben, während *k* an ihrem unteren Rande gezähnt ist, zum Eingreifen in die Zähne des Kreisbogens. *i* und *k* sind 90 M. m. lang und druch die beiden 20 M. m. langen Rähmchenstangen *l* und *l'* mit einander verbunden. Die Höhe der Rähmchenstangen beträgt 4 M. m.; die Dicke fast 2 M. m.

Die beiden Kreisbögen *e* und *g* haben die Aufgabe, zunächst das Rähmchen *ilkl'* in horizontaler Richtung hin und herzuschieben. Zum Einhalten dieser Richtung sind die beiden, leicht beweglichen, 20 M. m. von einander abstehenden Rollen *m* und *m'* angebracht. Die Centren dieser Rollen sind durch eine 3 M. m. dicke horizontale Stahlaxe *n* mit einander verbunden. Die Axe *n* durchbohrt die Rollen und endet jederseits in eine Spitze. Die innere Axenspitze dreht sich in einer im Träger *A* des Tachometers angebrachten Vertiefung, während die äussere Axenspitze eingesenkt ist in den, von dem Träger *A* horizontal nach auswärts gehenden und später sich knieförmig umbiegenden Messingstab *p*. Die Rollen *m* und *m'* nehmen die Stangen *k* und *i* des horizontalen Rähmchens so auf, dass 1) eine seitliche Verschiebung des Rähmchens unmöglich wird, indem der Rollenumfang

am äusseren Rand, wie die Eisenbahnwagenräder, einen kleinen Vorsprung hat, sowie auch 2) eine Abweichung des Rähmens nach aufwärts verhütet ist, da die Umfänge der Rollen und die Kreisbögen e und g die langen Rähmchenstangen zwischen sich nehmen.

An den Träger A des Tachometerkästchens ist die 45 Centimeter lange, 24 M. m. hohe und 3 M. m. dicke Messingstange C befestigt. Dieselbe verläuft horizontal und parallel mit der Stange A des allgemeinen Trägers, doch so, dass sie 16 M. m. von der letzteren absteht.

Von der schmalen Seite l' des horizontalen Rähmchens gehen in horizontaler Richtung ab zwei Messingstangen q und r . Dieselben sind 333 M. m. lang, 5 M. m. hoch, 1 M. m. dick; sie verlaufen parallel zu einander in einem Abstand im Lichten von 9 M. m. In der Mitte sind sie durch ein Verbindungsstück s mit einander vereinigt. Sie enden in das horizontale Rähmchen t , das genau wie das Rähmchen $kl'il$ konstruirt ist. Die ausschliesslich horizontale Bewegung dieses zweiten Rähmchens wird wiederum ermöglicht durch die Rollen u und u' und die Kreisbögen v und v' , von denen der innere wiederum gezahnt ist zur Aufnahme der Zähne der entsprechenden Rähmchenstange. Sämmtliche Einrichtungen dieses Theiles des Apparates sind den früher beschriebenen gleich. Zur Unterstützung der horizontalen Drehungsaxe w (dem Analogon der Axe a) geht von der Messingstange C senkrecht nach abwärts der Stab D ; derselbe ist 110 M. m. lang, während dessen übrigen Dimensionen denen von C entsprechen. Um dem gesammten Apparat die gehörige Stabilität zu geben, ist an der Axe w das Gewicht x angebracht; dasselbe ist verschiebbar und wird mittelst der Schraube y festgestellt.

Von dem Vordertheil des Rähmchens t gehen zwei 192 M. m. lange Messingstangen ab, deren übrigen Dimensionen denen von r und q gleich sind. Sie werden in ihrer Mitte durch ein Verbindungsstäbchen zusammengehalten; sie convergiren nach vorn und gehen nach ihrer Vereinigung über in das runde, 36 M. m. lange, 2 M. m. dicke, ebenfalls horizontale Messingstäbchen 2. Letzteres trägt eine kleine Hülse, die sowohl längs des Messingstäbchens 2 verschiebbar, als auch um dasselbe drehbar ist und die mittelst eines Schraubchens

festgestellt werden kann. Durch die Hülse wird ein Stiel senkrecht auf dem Messingstäbchen 2 geschoben; derselbe trägt den Pinsel 13. Der Pinsel kann somit jede beliebige Neigung gegen den Horizont erhalten. In eine Bohrung des vertikalen Armes F des allgemeinen Trägers greift die Schraube 3 ein, welche die Bestimmung hat, die von C abgehende Messingplatte 4 an F zu befestigen. Von der Stange C geht nämlich eine kleine Messingplatte 5 horizontal ab in der Richtung nach F ; sie biegt sich alsdann um in die vertikale Messingplatte 4. Die letztere ist 110 M. m. lang, 24 M. m. breit und 5 M. m. dick; sie hat in ihrer ganzen Länge einen einige M. m. breiten Schlitz.

Ein Theil der Hülfsvorrichtungen des Apparates ist durch den Umstand geboten, weil das Tachometerkästchen je nach Bedarf höher oder niedriger gestellt werden muss, welche Bewegungen der schreibende Apparat mitmachen muss.

Nachdem das Tachometerkästchen mit Wasser gefüllt ist, wird der Träger A in der Hülse 7 mittelst der Schraube 8 und die geschlitzte Messingplatte 4 mittelst der Schraube 3 festgestellt. Das Tachometerpendelchen steht jetzt auf dem Nullpunkt des Quadranten und die den schreibenden Pinsel tragende Stange genau horizontal. Nun schraubt man an den Träger A den Arm c an, und bringt das Rähmchen $klil'$ mit den entsprechenden beiden Kreisbögen in Berührung. An je einem Zahn der Rähmchenstange k und des Kreisbogens g ist eine Marke angebracht, so dass die gegenseitigen richtigen Berührungspunkte sogleich gefunden werden können. Das zweite Rähmchen t braucht vor dem Versuch nicht abgenommen zu werden, so dass an diesem nichts zu richten ist. Von der Messingstange C gehen zwei horizontale Stäbchen 10 und 11 ab, welche die etwas höher liegenden Stangen r und q dann unterstützen, wenn die Kreisbögen g und e , zur Füllung des Tachometerkästchens mit Wasser, abgenommen werden müssen. Der Zeiger b geht unter einem solchen Winkel von der Axe a ab, dass, wenn er eingestellt ist auf den Nullpunkt des am Tachometerkästchen befindlichen Quadranten,

das horizontale Rähmchen seine stärkste Abweichung in der Richtung gegen den allgemeinen Träger F zeigt.

Man bringt nun eine Arterie des Versuchsthieres in der im vorigen Paragraph beschriebenen Weise in Verbindung mit dem Tachometerkästchen und lässt das Blut durch letzteres strömen. Man hat nun die Aufgabe, mittelst des Zeigers b den Oscillationen des Tachometerpendelchens nachzugehen, was mit Hülfe der an f' befestigten Handhabe 12 geschieht. Rotirt nun die Kymographiontrommel um eine horizontale Axe, die mit den beiden horizontalen Rähmchen unseres Apparates parallel verläuft, so schreibt der Pinsel Curven auf. Nach Beendigung des etwa 1 Minute dauernden Versuches hat man alsdann noch die, dem Nullpunkt des Tachometerquadranten entsprechende Abscissenlinie zu verzeichnen.

Der von dem hiesigen Mechanikus Keinath trefflich ausgeführte Apparat lässt sich ohne irgend merkliche Reibung durch die leiseste Fingerbewegung verschieben, während er zugleich so viel Festigkeit zeigt, dass der Pinsel vollkommen stetig linear sich bewegt und nicht die geringsten Abweichungen zeigt. Bei einiger Uebung gelingt es leicht, den Pendeloscillationen mittelst des Zeigers des Apparates nachzugehen. Jedenfalls sind die auf diese Art einer theilweisen Selbstregistrirung erhaltenen Versuchsergebnisse detaillirter und zuverlässiger, als es dem blossen Ablesen der Pendelschwenkungen möglich wird. Die beiden extremsten Stellungen des Pinsels zeigen einen Abstand von 90 M. m., dadurch ergibt sich eine Vergrößerung der verzeichneten Geschwindigkeitskurven um das $7\frac{1}{2}$ fache.

§. 6. Die Pitot'sche Röhre.

Pitot wandte, 1732, zur Messung der Stromgeschwindigkeit in Flüssen eine Glasröhre an, deren in das Wasser getauchtes, trichterförmig sich erweiterndes Ende gebogen war. Diese untere Mündung der Röhre wird gegen den Wasserstrom gerichtet, welcher bewirkt, dass das Wasser in der Röhre über den Spiegel des Flusses etwas sich erhebt; diese Erhebung h ist die sogenannte Geschwindigkeits-

höhe der Hydrauliker, d. h. der Fallraum, welcher der gesuchten Geschwindigkeit entspricht. Nach den Fallgesetzen ist, wenn $g=9,81$ Meter, die gesuchte Geschwindigkeit $c=\sqrt{2gh}$. Da aber nach Dubuat die Form der Röhrenmündung von Einfluss ist, so muss für jede besondere Röhre ein Coëfficient durch Versuche in Wasser mit bekannter Geschwindigkeit gefunden werden.

Der Wunsch läge nahe genug, die, übrigens schon in der hydraulischen Praxis wegen des geringen Werthes von h mit Schwierigkeiten verbundene Pitot'sche Methode auch in die Haemotachometrie einzuführen. Man müsste zwei Haemodynamometer neben einander so einsetzen, dass die Mündung des einen in der gewöhnlichen Weise einen rechten Winkel mit der Längsaxe des Blutgefässes bilden würde, während die Mündung des andern dem Blutstrom gerade entgegengesetzt wäre. Das erste Dynamometer würde also die Spannung des Blutes, das zweite die Spannung und die Geschwindigkeitshöhe angeben müssen.

Leider ist zur Erfüllung dieser experimentellen Aufgabe nicht die geringste Aussicht vorhanden. Die Geschwindigkeitshöhe ist, bei den in den grösseren Blutgefässen vorkommenden Stromschnellen, verschwindend klein gegenüber der Druckhöhe und es würde von dem Haemodynamometer verlangt, eine mittlere Differenz von etwa $\frac{1}{2}$ Millimeter Quecksilberhöhe mit Sicherheit anzugeben! Die mittleren Blutgeschwindigkeiten, geschweige denn die Variationen derselben, können also unmöglich auf diesem Wege beobachtet werden. Die Fehler des Haemodynamometers sind aber so gross, dass wir — obschon einzelne Physiologen die Blutdrücke bis auf $\frac{1}{15000}$ genau angeben — froh sein können, wenn bei irgend grösseren Herz- und Athemwirkungen unsere Messungen des mittleren Blutdruckes an einem Fehler von bloss $\frac{1}{15}$ bis $\frac{1}{10}$ laboriren. Die Oscillationen des Quecksilbers führen nämlich, wie ich in meiner Pulslehre gezeigt habe, die grössten Täuschungen ein, welche an diesem so vielfach gebrauchten Apparat kein Physiologe ausser Valentin erkannt hatte, der gleichwohl in seiner neuesten Schrift über die Vagusdurchschneidung das Dynamometer benutzte zur graphischen Aufzeichnung von Curven.

der mit den Athemzügen wechselnden Spannungen der Lungenluft. Ich habe mich a. a. O. über die Unzulänglichkeit des Haemodynamometers, gegenüber irgend etwas feineren Fragen der Kreislaufphysiologie, noch nicht einmal entschieden genug ausgesprochen und kann versichern, dass dieser Apparat nach meinen in der letzten Zeit gemachten Beobachtungen in 5 Versuchen nur ein einziges Mal die Pulszahlen richtig auf das Kymographion verzeichnet hat, indem die Zahl der graphischen Pulswellen fast immer und unter Umständen selbst nicht unerheblich grösser wird als die der durch ganz unbefangene Assistenten mittelst des Getastes sicher gezählten Pulsschläge.

Ausser den Fehlerquellen, die abhängen von den so fatalen Eigenschwankungen der im Mamometer in ihrer Weise oscillirenden Flüssigkeit greift noch störend die völlige Unmöglichkeit ein, den Nullpunkt der Pression auf dem Kymographion für jedes einzelne Zeitmoment des Versuches genau feststellen zu können, was wie bekannt von verschiedenen Ursachen abhängt. Ein Apparat, der an so grossen absoluten Fehlern leidet, kann, selbst wenn es sich bloss um die Vergleichung der Versuche handelte, in allen den Fällen kein Vertrauen verdienen, wenn irgend feinere Messungen, wie z. B. unsere Geschwindigkeitshöhen mit demselben ausgeführt werden sollen. Man hat oft gleichzeitige Versuche mit zwei Haemodynamometern an verschiedenen Gefässen desselben Thieres angestellt; ist jemals der nothwendige Controllversuch ausgeführt worden, beide Dynamometer in denselben Querschnitt eines Gefässes einzusetzen?

Man könnte ferner das Pitot'sche Princip als einfache Modifikation des gewöhnlichen Haemodynamometer Versuches benutzen. Ein seitlich in ein Blutgefäss eingesetzter Druckmesser würde sowohl den Druck des frei fliessenden Blutes graphisch verzeichnen, als auch die Druckwerthe während einer, unterhalb des Druckmessers angebrachten Compression des Gefässes. Volkmann hat dieses gethan, allerdings nicht in der Absicht, um die Blutgeschwindigkeiten zu messen. Er fand bei der Compression ein Steigen des Druckes. Es fragt sich, ob das Arterienstück von der Compressionsstelle bis zum Ursprung des Gefässes das untere Ende einer Pitot'schen Röhre dar-

stellt. Volkmann nimmt dies für die Carotis z. B. an (Müller's Archiv 1856, Heft 5), aber nicht mit vollkommenem Recht, da der Anfang der Carotis nicht die für die Mündung einer Pitot'schen Röhre geforderte Stellung, der Richtung des Aortenblutstromes gegenüber, hat. Das Dynamometer misst ausserdem unter diesen Verhältnissen, wie Volkmann richtig hervorhebt, den Blutdruck nicht in dem Gefäss, in welches es eingesetzt ist, sondern den etwas grösseren am Ursprung des Gefässes; ausserdem muss auch der durch die Compression erhöhte Widerstand den gesammten Blutdruck ein wenig steigern. Wollte man aber auch mit Volkmann annehmen, dass das in die Carotis eingesetzte Dynamometer beim Verschluss des Gefässes unterhalb der Einsetzungsstelle nur die Spannung des Aortenblutes plus der Blutgeschwindigkeitshöhe messe, so verschwindet diese letztere wieder als winzige Grösse gegenüber der Blutspannung. Volkmann fand z. B. nach comprimierter Carotis in einem Fall ein Steigen des Blutdruckes in dem centralen Theil dieses Gefässes um 14 M. m. Hg.

§. 7. Die Abnahme des Blutdruckes im Verlauf eines Gefässes als Maass der Blutgeschwindigkeit.

Volkmann (Hämodynamik, Seite 232) setzte in eine Arterie eine Dromometerröhre ein von nahe 7 □ M. m. Querschnitt, in welche in einem Abstand von 900 M. m. zwei Druckmesser mündeten. Zunächst wurde der mittlere Blutdruck durch die beiden Druckmesser kymographisch bestimmt und dabei der Druck in dem centralen Druckmesser, wie nach hydraulischen Gesetzen zu erwarten war, grösser gefunden.

Unter der Voraussetzung, dass die Druckmesser Widerstandsmesser seien, ergiebt die Druckdifferenz beider Druckmesser die Summe von Widerständen, welche dem fliessenden Blut in einer Arterie von 7 □ M. m. Querschnitt in der Strecke von 900 M. m. entgegestehen.

Der Widerstand (Druckdifferenz) ist aber, unter sonst gleichen Bedingungen, abhängig von der Geschwindigkeit des fliessenden

Blutes; die Messung der Druckdifferenz kann somit benutzt werden als tachometrisches Mittel.

Die Beziehung zwischen Widerständen w und Geschwindigkeiten v ist jedoch keine einfache, sie wird ausgedrückt durch die bekannte hydraulische Formel $w = av^2 + bv$, in welcher a und b zwei von der Beschaffenheit des Fluidums und der Röhrenwendung abhängige Coëfficienten darstellen, die durch mindestens zwei Versuche an derselben Röhre mit möglichst verschiedenen Geschwindigkeiten ermittelt werden können.

Um die Geschwindigkeiten variiren zu lassen, bediente sich Volkmann eines sehr eingreifenden Mittels, nämlich starker Aderlässe. Vielleicht dürften andere Methoden vorzuziehen sein, welche die Zusammensetzung des Blutes und die Caliber der Gefäße, also sehr wichtige Adhäsionsmomente, minder verändern z. B. gewisse Narcotica, Anästhetica, Reizung und Durchschneidung der N. n. vagi.

Die Versuche zur Gewinnung der Widerstandskoëfficienten, welche bei verschiedenen Thieren und besonders bei verschiedenen Thiergattungen und Altersklassen variabel sind, wurden in der Weise ausgeführt, dass das Dromometer nur in die centrale Mündung der Arterie eingeführt wurde, während das Blut aus der freien Dromometermündung ablief. Die Druckdifferenzen in beiden Druckmessern wurden wiederum kymographisch bestimmt und die Blutgeschwindigkeiten in der Dromometerröhre durch die ausgelaufenen Blutmengen gemessen.

Ich hebe einen Versuch Volkmann's hervor, der an einem Kalb angestellt wurde.

Der Blutdruck in beiden Druckmessern betrug 139 und 122,7 M. m. Hg.; die Differenz also 16,3 M. m.

Zur Bestimmung der Widerstandskoëfficienten wurden sodann folgende Einzelmessungen angestellt, zwischen welchen Aderlässe eingeschoben waren, um v möglichst variabel zu machen.

Blutdruck in M. m. Hg.			Beobachtete	Berechnete
Erster Druckmesser.	Zweiter Druckmesser.	Differe n z.	Secundengeschwindigkeit in M. m.	
86,9	38,1	48,8	835	911
57,3	27,4	29,9	765	611
45,8	22	23,8	576	566
40,7	19,2	21,5	524	527
25,6	12,7	12,9	344	365
21	10,5	10,5	264	312

Zur Bestimmung der Widerstandscoefficienten reichen zwei Versuche hin, stehen aber wie im vorliegenden Fall mehrere Versuche zu Gebot, so lassen sich die Coefficienten mit grösserer Schärfe berechnen mit Hülfe der Methode der kleinsten Quadratsummen.

In unserem Beispiel ist $a=0,000033249$ und $b=0,023257$.

$$\text{Da } w = av^2 + bv, \text{ so ist } v = \sqrt{\frac{\left(\frac{b}{a}\right)^2}{4} + \frac{w}{a}} - \frac{b}{a}$$

In unserem Beispiel wäre für die Druckdifferenz (w) von 16,3 M. m. die Blutgeschwindigkeit (v) = 433 M. m. in der Secunde. Man sieht in obiger Tabelle, dass beobachtete und berechnete Werthe einigermaßen leidlich mit einander stimmen.

Ein Hauptfehler bei dieser Technik besteht bei der Unzuverlässigkeit des Haemodynamometers in der geringen Sicherheit der Messung der Blutdruckdifferenzen. Volkmann, der übrigens die Irrthumsquellen des Dynamometers in seiner Haemodynamik nicht gekannt hat und auch in neuester Zeit auf diese Frage sich nicht einlässt, giebt zu, dass diese Methode in ihrer Zuverlässigkeit weit hinter dem Haemodromometer zurücksteht; setzen wir hinzu, sie ist,

so interessant sie auch sein mag von theoretischer Seite, für die praktische Ausführung so gut wie unbrauchbar.

§. 8. Die Ausflussmengen aus eröffneten Blutgefässen bei abnorm geminderter Blutspannung in den verletzten Gefässen.

Die Physiologen der älteren mechanischen Schule, z. B. Hales, Tabor, Keil, auch Haller und Andere bedienten sich des Eröffnens der Blutgefässe zur Ermittlung der relativen Blutgeschwindigkeiten.

Entweder wurde die Weite des Strahles zu bestimmen versucht, unter welchem das Blut aus durchgeschnittenen Gefässen ausströmt, — so fand z. B. Hales an der Carotis einen Strahl von 5 Fuss 5 Zoll, an der Iugularis dagegen bloss von 5 $\frac{1}{2}$ Zoll — oder man beobachtete die in gleichen Zeiten aus zwei verschiedenen Gefässen ausfliessenden Blutmengen, wie z. B. Keil, nach welchem die arterielle Ausflussmenge zu der entsprechenden venösen sich wie 15 : 6 angeblich verhalten solle.

Man kann auf diese Weise nicht einmal die relativen Blutgeschwindigkeiten in den Arterien und Venen bestimmen. Nach Anstechen einer Arterie kann neues Blut viel leichter a tergo nachrücken, als nach Verletzung einer Vene, deren Blutinhalte zwischen der Wunde und den Capillaren zwar schnell sich entleeren kann, während das Nachrücken des arteriellen Blutes durch die Capillaren langsamer erfolgt.

Versuche dieser Art geben eher noch beiläufige Ausdrücke der relativen, ja selbst — wie bei Hales — der absoluten Blutdrücke im Arterien- und Venensystem; als relative Maasse der Blutgeschwindigkeiten können sie in keiner Weise gelten. Da nämlich die Blutspannung in den Arterien viel grösser ist als in den Venen, so werden, da die Widerstände an den künstlich gemachten Ausflussmündungen sehr gering und jedenfalls in der Arterie und Vene annähernd dieselben sind, die arteriellen Ausflussmengen sehr viel grösser sein müssen als die entsprechenden venösen.

Volkman (siehe dessen Haemodynamik, Seite 197) hat ebenfalls einen Versuch angestellt, um die aus der Carotis eines sich verblutenden Kalbes successiv auslaufenden Blutmengen zu verwenden zur Bestimmung des Einflusses der Blutverluste auf die relativen Blutgeschwindigkeiten. Er erhielt eine bedeutende Abnahme der ausfliessenden Blutmengen in den späteren Stadien des Versuches. Die Ausflussmündung wurde durch eine in die Arterie eingesetzte Glasröhre von 7 M. m. Durchmesser während des Versuches gleich erhalten. In Hales Haemostatik findet sich eine Anzahl analoger Versuche.

§. 9. Die Ausflussmengen bei normaler Blutspannung in dem angestochenen Gefäss.

Um das im vorigen Paragraph erwähnte Verfahren als einfache und direkte haemotachometrische Methode verwenden zu können, verfuhr ich in folgender Weise. In das centrale Ende einer durchschnittenen Arterie wurde eine Canüle eingebunden und in diese eine kleine, mit einem Hahn versehene Messingröhre eingesetzt. Zwischen dem in der Canüle steckenden Ende und dem Hahn hatte die Röhre eine passende Seitenöffnung, welche mit dem Haemodynamometer in Verbindung gebracht wurde. An das freie Ende der Messingröhre wurde eine kurze Gummiröhre gebunden, aus welcher das ausfliessende Blut bequem aufgefangen werden konnte.

Zunächst wurde bei geschlossenem Hahn der Blutdruck bestimmt. Würde der Hahn vollständig geöffnet, so wäre die Ausflussmenge des Blutes, welches in das Widerstandslose entweichen könnte, wiederum viel zu gross, die Quecksilbersäule des Haemodynamometers würde stark sinken. Ich durfte also den Hahn nur soweit öffnen, dass der Blutdruck nicht wesentlich verringert wurde; dann sind die Widerstände kurz vor der Ausflussmündung der Röhre annähernd gleich den Widerständen, welche das Blut an dem betreffenden Querschnitt des unverletzten Gefässes vor sich hat; die ausfliessenden Blutmengen sind nunmehr nahezu dieselben, wie die durch das Gefäss unter nor-

malen Bedingungen fliessenden Blutquantitäten. Ich laufe dabei nicht Gefahr, den Hahn zu wenig zu öffnen und somit zu kleine Ausflussmengen zu erhalten, indem der Hahn anfangs stärker gedreht, dann aber sogleich so gestellt wird, dass das Quecksilber im Haemodynamometer die frühere Höhe erreicht. Die durch dieses Verfahren erhaltenen Ergebnisse stimmen ziemlich gut mit denjenigen, welche mit Hülfe der übrigen besseren tachometrischen Methoden gewonnen wurden. Da wir aber viel bessere Methoden besitzen, als die in diesem und dem vorigen Paragraph beschriebenen, so sind dieselben für die praktische Anwendung durchaus entbehrlich.

§. 10. Die Bestimmung der aus dem Herzen ausfliessenden Blutmenge mittelst der Ventrikelcapazität und den Pulszahlen.

Die hier uns entgegentretende Frage ist indirect mit Hülfe haemotachometrischer Versuche ziemlich genügend zu beantworten. Volkmann (Haemodynamik, Seite 204) bestimmte, nachdem die Arterien mit Injectionsmasse gefüllt waren, den Querschnitt (*a*) der aufsteigenden Aorta; ferner die Summa (*b*) der Querschnitte ihrer ersten Bifurcation (Anonyma und Fortsetzung der Aorta unterhalb des Abganges der Anonyma), diese ist grösser als der Querschnitt der Aorta vor der Theilung, um soviel fliesst also auch das Blut langsamer in *b*. Endlich bestimmte er die Summe der Querschnitte der Theilung der Anonyma, woraus wiederum deren Geschwindigkeitsverhältnisse zur Anonyma sich ergab. Das Geschwindigkeitsmaass der Carotis gegenüber der Aorta war somit bekannt. Ein vorhergegangener Haemodromometerversuch an demselben Thier bestimmte die absolute Blutgeschwindigkeit in der Carotis, indirect also nach Obigem die mittlere Geschwindigkeit des Aortenblutes und aus der Messung des Aortenquerschnittes die in einer gegebenen Zeit aus dem linken Ventrikel in die Aorta überströmende Blutmenge. Unter der Voraussetzung, dass der Ventrikel sich bei jeder Contraction vollständig entleere,

könnte dann weiter die Ventrikelcapazität gefunden werden; sie ist der Quotient der Zahl der Herzschläge in das in derselben Zeit aus dem Ventrikel strömende Blutvolum. Für die Haemotachometrie ist übrigens nicht sowohl die Capazität des Herzventrikels von Wichtigkeit, sondern die Kenntniss der Blutmenge, welche durch die einzelnen Systolen in die Aorta getrieben wird.

Bei unserer gegenwärtigen Untersuchung handelt es sich jedoch um die direkte Bestimmung dieser Werthe, also um die unmittelbare Messung des Inhaltes der Herzhölen. Bei der Annahme, dass der gesammte Ventrikelinhalt bei jeder Systole in die Aorta eingetrieben werde, erhält die Bestimmung der Ventrikelcapazität eine grosse Wichtigkeit; die in die Aorta in einer gegebenen Zeit überströmende Blutmenge ist dann das Product der Ventrikelcapazität in die gleichzeitige Zahl der Herzschläge. Die weiteren Ableitungen für die Blutgeschwindigkeiten ergeben sich von selbst.

Seit Harvey und den älteren Jatromechanikern ist man vielfach mit dieser Frage beschäftigt gewesen. So suchte man durch Injection der Herzhölen mit Wachsmasse, oder durch Füllung derselben mit Quecksilber (Burdach) die Räumlichkeitsverhältnisse zu messen. Die Elasticität der todten Herzmuskulatur weicht aber viel zu sehr ab von der normalen Elasticität des Herzens, als dass dieses Verfahren sichere Resultate geben könnte.

Abegg (s. Valentin's Referat in Canstatt's Jahresbericht 1848) legte lebenden Kaninchen das Herz bloss und schnürte es durch Ligaturen ab. Die Blutmenge im Herzen variirte zwischen $\frac{1}{357}$ und $\frac{1}{409}$ des Körpergewichtes. Volumbestimmungen der einzelnen Abschnitte, oder auch nur des rechten und linken Herzens scheinen von Abegg nicht ausgeführt worden zu sein. Seine Werthe sind viel zu klein.

Vergleichen wir die auf den oben geschilderten Verfahrungsweisen beruhenden Angaben, so lässt sich in den neueren Messungen eine bessere Näherung zur Wahrheit nicht verkennen. Während einige der älteren Forscher, z. B. Keil, Senac u. A. die Capazität des linken Ventrikels auf bloss $1\frac{2}{3}$, Meckel auf mehr als $2\frac{2}{3}$ schätz-

ten, führten Krause's Messungen auf 4,8 $\bar{3}$, Valentin's Bestimmungen auf nahezu 5,4 $\bar{3}$.

Wenn Volkmann (s. dessen Haemodynamik, Seite 182) die verschiedenartigsten seit Harvey gemachten Angaben über die Ventrikelcapazität und einige Messungen des Aortenlumens (worunter auch eine angeblich von mir, von der ich nichts weiss) zusammenstellt und dann zu dem Resultat kommt, dass die daraus abgeleiteten Aortenblutgeschwindigkeiten um das 20fache differiren, so könnten mit gleichem Recht, durch Hereinziehen veralteter und offenbar unrichtiger Angaben jeder Messungsmethode ohne Ausnahme die grössten Fehler nachgewiesen werden. Zu einer Zeit, als genauere haemotachometrische Methoden fehlten, erhielten gleichwohl einzelne Forscher durch die in Rede stehenden Berechnungen Geschwindigkeitswerthe, die von der Wahrheit nicht bedeutend abwichen und zwar ohne dass man die ihren Rechnungen zu Grunde liegenden Zahlen als rein zufällige und willkürliche betrachten dürfte.

Auch jetzt noch ist kein Grund vorhanden, diese Frage auf dem Wege der direkten Messung völlig zu vernachlässigen. Man experimentire in vorsichtiger Weise an dem frisch ausgeschnittenen Herzen von Thieren oder bei Hinrichtungen, und unter möglichster Berücksichtigung der normalen Blutdruckverhältnisse. Die Ergebnisse werden dann gewiss Beachtung verdienen.

§. 11. Die Messung der von dem Blut in einer gegebenen Zeit durchlaufenen Haargefässbahn.

Zur Bestimmung der Blutgeschwindigkeiten in den Haargefässen benutzt man die bekannten zahlreichen, für das Mikroskop geeigneten durchsichtigen Körpertheile von Thieren, unter welchen die Amphibien wegen der Grösse ihrer Blutkörperchen vorzugsweis verwendbar sind. Die Bewegung der Blutkörperchen dient allein als Anhaltspunkt für das Fliessen des Blutes in den Haargefässen, da das Strömen der Blutflüssigkeit direkt nicht wahrnehmbar wird.

Manche der älteren Physiologen hatten bereits annähernd richtige Vorstellungen von der Geschwindigkeit des Capillarblutes, während Andere, gestützt auf den unmittelbaren mikroskopischen Augenschein, ein sehr schnelles Fliessen annahmen, indem sie die vergrössernde Wirkung des Mikroskopes hier auffallenderweise nicht in Anschlag brachten.

Die Gebrüder Weber (Müller's Archiv 1848, S. 466) und Valentin (Lehrbuch der Physiologie) haben wohl zuerst genauere Messungen am Schwanz von Froschlarven und an der Schwimmhaut von Fröschen ausgeführt. In diesen Fällen reicht eine Vergrösserung von 60—80 vollkommen aus, die Blutkörperchen sind deutlich genug und man hat den grossen Vortheil, dass ihre scheinbare Bewegung langsamer und das Sehfeld grösser ist. Im Wesentlichen besteht die Aufgabe darin, dass man ein Blutkörperchen während seiner Bewegung durch die Capillaren verfolgt, unter gleichzeitiger, möglichst genauer Bestimmung des durchlaufenen Weges und der dazu verwandten Zeit. Um den Weg zu messen, bedient man sich mit Valentin am besten zweier parallelen Mikrometerfäden im Ocular, welche den Ein- und Austrittspunkt des Blutkörperchens bezeichnen. Zur Messung der Zeiten dient entweder ein Metronom, das etwa 3 Schläge in der Sekunde macht, oder noch viel besser das Wheatstone-Hipp'sche electromagnetische Chronoskop. Das Fliessen des Capillarblutes erfolgt in der Regel gleichmässig, so dass die Bestimmung der mittleren Geschwindigkeit, wenigstens von dieser Seite her, keinen Schwierigkeiten unterliegt.

Diese Methode giebt ziemlich brauchbare, immerhin aber nur annähernde Resultate, denn: 1) die Beobachtungszeiten sind sehr klein, 2) die Wege, wegen der Schlängelung der Gefässe, in der Regel nicht ganz scharf zu messen und 3) die Zeiten des Durchtretens des Blutkörperchens durch die Mikrometerfäden nicht scharf zu bestimmen. Valentin, der ausser den Mittelwerthen auch die Maxima und Minima mittheilt, fand in einer Beobachtung sogar Abweichungen um das Doppelte, während seine übrigen Versuche zu in der Regel viel geringeren Schwankungen führten. Letztere können

wohl auch zum kleinen Theil von den Wechselzuständen des Thieres herrühren, die Fehlergrenzen der Methode also enger sein.

Man misst hier, wie auch bei den später zu erörternden Methoden, bloss die Geschwindigkeit der inneren, Blutkörperchen führenden Schicht der Capillare; das Fliessen der farblosen Wandschicht kommt nur dann zur Anschauung, wenn zufällig ein Blutkörperchen, was bei den farblosen nicht selten ist, in die Wandschicht übergeworfen wird. Die Gebrüder Weber haben diese Erscheinung benutzt zur Bestimmung der Stromgeschwindigkeit der Wandschicht und diese sehr viel geringer gefunden. Ein sicheres Maass des Fliessens der Wandschicht erhält man jedoch dadurch nicht; die Körperchen übertreffen an Durchmesser die Dicke der Wandschicht, sie sind desshalb auch der Wirkung des peripherischen Theiles der inneren farbigen Schicht unterworfen, wie ihre von den Gebrüdern Weber beschriebene und richtig interpretirte rotirende Bewegung beweist. Andererseits zeigen die farblosen Körperchen eine gewisse Klebrigkeit und eine Neigung zur Adhäsion an die Capillarwand. Hemmende und beschleunigende Wirkungen greifen also hier ein, so dass die Geschwindigkeitsmessungen nur beiläufige sein können.

§. 12. Bestimmung der Capillarblutgeschwindigkeit mittelst des scheinbaren Stillstandes des Blutes bei kurzer Betrachtung des Objectes.

Ein Rad, welches sich schnell umdreht, erscheint bekanntlich, wenn es bloss ein Zeitminimum hindurch, also z. B. während der Dauer eines elektrischen Funkens, betrachtet wird, stillstehend. Die, auch unter bedeutenden Vergrösserungen sehr viel langsamere scheinbare Bewegung des Capillarblutes muss somit unter gleichen Verhältnissen dem Beobachter verborgen bleiben. Dass der Grenzwert dieser Zeitgrösse ein relativ sehr bedeutender ist, davon kann man sich schon durch einen ganz oberflächlichen Versuch überzeugen. Dreht man nämlich den Beleuchtungsspiegel des Mikroskopes be-

ständig in der Art, dass die Capillaren der Froschschwimmhaut abwechselnd sichtbar werden und wieder verschwinden, so scheint das Blut bei einer gewissen Drehungsgeschwindigkeit ruhig; seine Bewegung fängt erst an, wahrgenommen zu werden, wenn man das Object bei etwas langsameren Spiegeldrehungen eine gewisse kleine Zeitgrösse hindurch betrachten kann.

Um die Zeitwerthe scharf zu messen, setzte ich auf die Drehungsaxe der Kymographiontrommel, nach Wegnahme der letzteren, eine in horizontaler Ebene sich drehende Scheibe von 60 Centimeter Durchmesser und befestigte an ihrem Rand 4 Papierstücke in gleichen Abständen. Jedes der letzteren erhielt einen Ausschnitt, dessen Ränder verlängerte Radien der Scheibe darstellten; die Länge der Ausschnitte war etwas grösser als der Durchmesser des Oculars des Mikroskopes; ihre Breiten variirten aber von 1 bis 10 Millimeter. Ich benutzte eine grössere Anzahl solcher Papierstreifen mit verschiedenen, innerhalb der angegebenen Grenzwerte liegenden Breiten. Das Ocular des Mikroskopes stand unmittelbar unter dem Rande der Scheibe, so dass der Blutlauf in den Capillaren der Froschschwimmhaut während der Scheibendrehungen beständig beobachtet werden konnte, mit Ausnahme der Zeit, wo das etwa 50 M. m. breite Papier über dem Ocular sich vorbeibewegte. Während des Vorüberganges des Papierausschnittes wurden aber die Capillaren unter allen Umständen wieder sichtbar und auch der Blutlauf, vorausgesetzt dass der Ausschnitt eine gewisse Breite hatte. Man kann sich leicht auf diese Beobachtungsweise einüben und wird dann nicht allzu häufig Gefahr laufen, von einem Ausschnitt überrascht zu werden. Aus der bekannten Drehungsgeschwindigkeit der Scheibe (1 Umgang dauerte durchschnittlich 48 Secunden) und der Breite der Ausschnitte ergab sich die Zeitdauer, bei welcher das Capillarblut anfieng einerseits scheinbar stillzustehen, andererseits bereits als bewegt wahrgenommen zu werden. Diese Bestimmungen lassen sich natürlich sehr vielfach wiederholen und somit unter sich gehörig kontrolliren. Man kann leicht eine Stelle der Schwimmhaut wählen, welche Capillaren einschliesst, deren Blutgeschwindigkeiten unter sich ziemlich übereinstimmen; ist das aber

nicht der Fall, so giebt natürlich die Capillare mit grösster Geschwindigkeit den Ausschlag. Ich stellte im Ganzen bisher 12 Versuchsreihen der Art an; bei einer Vergrösserung des Mikroskopes von 71, und fand in der Majorität der Fälle, wenn die Scheibe eine ganze Drehung in 48—50 Secunden vollbrachte, noch ein scheinbares Stillstehen des Blutes bei einem Ausschnitt von 2,7 Millimeter Breite, während ich die erste Wahrnehmung einer Bewegung in der Regel erhielt bei 3 Millimeter Ausschnitt; dieses entspricht (für 48 Secunden Umlaufzeit der Scheibe) einer Beobachtungsdauer von nur 0,077 Secunden. Erhöhte ich die Zeit eines Scheibenumlaufes auf 86 Secunden, so begann in einem Vergleichsversuch der Capillarblutlauf sichtbar zu werden bei 1,5 M. m. Ausschnitt, also bei einer Beobachtungsdauer von 0,069 Sekunden. Bei noch längeren Beobachtungszeiten war natürlich der Blutlauf viel deutlicher, bei kürzeren konnte zwar keine Blutbewegung, wohl aber, und zwar bis herab zu einer Beobachtungszeit von nur 0,026 Secunden, die Schwimnhaut mit ihren Capillaren noch wahrgenommen werden.

Meine nächste Aufgabe war nunmehr, die Minimalgrösse der Beobachtungszeiten zu finden, welche erforderlich sind, damit Bewegungen der Blutkörperchen von bekannter Geschwindigkeit überhaupt noch wahrgenommen werden können. Es mussten möglichst die früheren Versuchsbedingungen eingehalten werden, also dieselbe Vergrösserung, und so weit möglich dieselbe Lichtstärke. Leider hatte ich aber nicht Frösche in genügender Zahl zur Verfügung, um mit Froschblut experimentiren zu können; ich musste mich mit Säugethierblut behelfen, wodurch das gefundene Zeitminimum vielleicht ein wenig vergrössert worden ist. Nach verschiedenen vergeblichen Versuchen, verdünntes Blut in passendem konstantem Strome unter dem Mikroskop vorbeifliessen zu lassen, erwies sich das nachfolgende Verfahren als vorläufig wenigstens ziemlich genügend. Zwei vier-eckige Glasplatten von je 22 M. m. Breite und 50 M. m. Länge wurden an ihren Längsrändern, durch dazwischengelegte Papierstreifchen, so aufeinander gekittet, dass zwischen ihnen ein kleiner Raum übrig blieb. Die mikroskopische Messung ergab an der einen Schmalseite

einen Abstand der Platten im Lichten von 0,275, an der anderen von 0,291 M. m. Die eine Schmalseite der Glasplatten (Einflussöffnung) wurde in eine kleine Blechhülse eingekittet, die sich erweiterte und in eine kurze Röhre überging, auf welche ein Kautschukrohr gebunden war, das in ein Reservoir führte. Die andere Schmalseite der Platten (Ausflussmündung) war ebenfalls in eine Blechhülse eingekittet, deren Dickendurchmesser mehrere Millimeter betrug und die in eine kurze Röhre endete, in die ein, einige Centimeter langes Glasröhrchen eingekittet war. Das Glasröhrchen war am Ende in eine feine Spitze ausgezogen und in seiner Mitte durch einen Hahn verschliessbar. Das Reservoir wurde mit Salzwasser gefüllt, welchem so viel defibrinirtes und vorher filtrirtes Blut beigemischt war, dass die Blutkörperchen zwischen den Glasplatten nicht allzu dicht aufeinander standen. Durch gehörige Drehung des Hahnes konnte die Geschwindigkeit des verdünnten Blutes innerhalb der Glasplatten beliebig variirt werden; der kleine Apparat ist somit auch brauchbar um die Phaenome der Bewegung der Körperchen im konstanten Strome mit Bequemlichkeit untersuchen zu können.

Meine Hoffnung, die Geschwindigkeiten der Blutkörperchen innerhalb der Glasplatten mittelst Wägung der Ausflussmengen scharf bestimmen zu können, war nicht realisirbar, da ein, wenn auch nur sehr wenig mächtiger Strom einzelner Blutkörperchen in entgegengesetzter Richtung des Hauptstromes bei gewissen Geschwindigkeiten des letzteren auftrat und ausserdem das Fliessen nicht so lang konstant (selbst wenn der Ausfluss unter Wasser erfolgte) war, um zu Wägungen brauchbare Ausflussquanten zu gewinnen. Vielleicht dürften andere Dimensionen der Glasplatten und übrigen Theile des Apparates zu besseren Ergebnissen führen. Ich war somit genöthigt, die Geschwindigkeiten der Blutkörperchen innerhalb der Glasplatten durch Verfolgung der Körperchen während ihres Durchganges durch das Sehfeld und mittelst Zählung der Schläge einer Taschenuhr zu messen, also meinen eigentlichen Versuchen Zeitwerthe unterzulegen, gewonnen nach einem Verfahren, das eben durch die in Rede stehende neue Methode kontrollirt oder selbst verbessert werden sollte.

Zur Rechtfertigung kann ich jedoch anführen, dass die Blutkörperchenbewegung in diesen vollkommen geradlinigen, unter sich parallelen Bahnen sehr viel leichter zu verfolgen sind, als innerhalb der Blutgefässe selbst, nach dem Weber'schen Verfahren. Ich gebe aber gerne zu, dass selbst bei aller Sorgfalt ein Fehler von $\frac{1}{8}$ bis selbst $\frac{1}{6}$ bei etwas grösseren Geschwindigkeiten eingreifen kann.

Wiederholte Versuche zeigten mir, dass bei einer Zeitdauer der Scheibendrehung von 48 Secunden die Blutkörperchen bei einer absoluten Geschwindigkeit von 0,36 M. m. in der Secunde, vorausgesetzt, dass die Vergrösserung 71 betrug, anfangen als bewegt wahrgenommen zu werden, wenn sie durch einen Ausschnitt von 3 M. m. Breite, also 0,077 Secunden lang betrachtet wurden. Bei schmalerm Ausschnitt erschienen die Körperchen immer noch deutlich, aber nicht mehr bewegt. Die Vergrösserung war, bei 20 C. M. Sehweite, wie bemerkt, eine 71malige; die scheinbare Geschwindigkeit der Körperchen also 22,7 M. m. in der Sekunde; also die scheinbare Winkelgeschwindigkeit 6° in der Sekunde und das scheinbare Fortrücken in der Beobachtungszeit von 0,077 Sekunden $= 1,7$ M. m. Meine allerdings nur vorläufigen Versuche führen somit zu einer Secundengeschwindigkeit des Capillarblutes der Froschschwimmhaut von 0,36 M. m., eine Grösse, die ziemlich bedeutend unter den Mittelwerthen Weber's und Valentin's steht.

Es sind mehrfache Angaben von Physiologen, Physikern und Astronomen vorhanden über unser Vermögen, schwache Bewegungen noch wahrnehmen zu können. Die Angaben weichen aber in hohem Grad von einander ab, wie nicht anders zu erwarten ist, da die Individualität des Beobachters und eine grosse Reihe von Nebenmomenten (Lichtstärke, Farbe und Grösse des Objectes, Hintergrund u. s. w.) von Einfluss sind, was Valentin (Lehrbuch der Physiologie, 2. Aufl. 2. Band, 2. Abthl., Seite 184) umsichtig erörtert hat. Ganz besonders aber ist von Einfluss die Zeitdauer der Beobachtung des Objectes. Alle Angaben beziehen sich auf Bewegungen, die unter möglichst günstigen Bedingungen und namentlich auch eine gewisse Zeit hindurch anhaltend verfolgt werden konnten. So z. B. ist Valentin

im Stand, unter günstigen Nebenbedingungen, die Bewegung der Spitze eines 18 M. m. langen Uhrzeigers, in einem Abstand von nahezu 11 C. M. vom Auge noch wahrnehmen zu können. Der Winkel, den die Zeigerstellungen am Anfang und am Ende einer Zeitsecunde einschlossen, betrug in diesem Fall 1 Minute. „Bei irgend flüchtiger Betrachtung“, sagt Valentin, „würde ich den Zeiger für ruhig halten“.

Ich hätte die Methode schon jetzt weiter verfolgt und namentlich auch den Zusammenhang zu ermitteln gesucht, der zwischen den Beobachtungszeiten und den Geschwindigkeiten innerhalb weiterer Grenzen besteht, falls das sich bewegende Blut schon als bewegungslos und nicht mehr als stillstehendes wahrgenommen werden soll, woran sich die weitere Aufgabe gereiht hätte, den anderen Grenzpunkt zu finden, wo die sehr schnell bewegten Blutkörperchen überhaupt noch gesehen werden können.

Da ich aber vorerst nicht dahin gelangen konnte, Blutströme von konstanter Schnelligkeit längere Zeit zu unterhalten, wodurch die Fundamental- und Ausgangswerthe für die eigentlichen Versuche an den Capillaren selbst in untadelhafter Weise festgestellt worden wären, so muss ich mich auf diese vorläufigen Mittheilungen beschränken.

Man kann auch andere Verfahrensweisen wählen, um das Object eine kurze Zeit zu betrachten, so z. B. die Drehung des Beleuchtungsspiegels des Mikroskopes, wobei Vorrichtungen zum Variiren der Umdrehungszeiten und zur Messung derselben leicht in's Werk zu setzen wären. Endlich kann man den Beleuchtungsspiegel etwas langsamer drehen, das Object also eine etwas längere Zeit betrachten, als erforderlich ist, um nur den Eindruck der Bewegung überhaupt zu erhalten; man wird dann im Stande sein, das Fortrücken der Körperchen innerhalb der kurzen Beobachtungszeit direkt bestimmen zu können. Vorversuche mit durch die Hand bewirkten Drehungen des Beleuchtungsspiegels machen mich glauben, dass auch dieses Verfahren einer scharfen Ausbildung fähig sein wird.

§. 13. Die Messung der Blutgeschwindigkeit in den Netzhautkapillaren des eigenen Auges.

Es ist mir gelungen, die Strömung des Blutes in den Capillaren der Retina an mir selbst mit grosser Deutlichkeit wahrzunehmen und dieselbe auch hinsichtlich ihrer Geschwindigkeitswerthe bestimmen zu können. Die ersten Mittheilungen hierüber habe ich im Archiv für physiologische Heilkunde, 1856, Seite 255 gegeben.

Undeutliche Fragmente der Erscheinung gehören zu den alltäglichen Beobachtungen, die Jedermann leicht machen kann; das Mückensehen und Funkenspringen ist nichts anders als eine unvollkommene Wahrnehmung des Retinalblutlaufes. Bei Kindern kommt dieses Fliegen von glänzenden hellen Pünktchen in der Luft nicht selten vor, namentlich Nachts und kann dann, wie ich aus Erfahrung weiss, Anlass geben zu Szenen sehr bedeutender Aufregung der Kleinen.

Sauvages, Steinbuch und Purkinje kannten die Erscheinung bereits, Joh. Müller bemerkt sehr richtig, dass dieselbe bei vielen Gelegenheiten „besonders beim Betrachten hell, aber keineswegs blendend erleuchteter Flächen, z. B. beim Betrachten des Himmels oder beim längeren unverwandten Ansehen einer Fläche von Schnee oder Papier“ auftritt. Sehr bezeichnend für das Phaenomen in seinen Anfangsstadien sagt Müller „die Erscheinung besteht in einem undeutlichen Wirrwarr, in einem Durcheinanderfahren, Vorüberfahren, Springen von Punkten, oder in einer unregelmässigen Bewegung wie von Dämpfen. Die Erscheinung ist so unbestimmt, dass sich die Richtung der Bewegung nicht angeben lässt.“

G. Meissner (Beiträge zur Physiologie des Sehorganes, Leipzig 1854, Seite 84) hat die Netzhautcirculation wohl deutlicher als irgend einer meiner Vorgänger gesehen. Er drückt das Auge und starrt hierauf, während das andere Auge geschlossen wird, unverwandt und ohne Auglidschlag auf eine möglichst helle Fläche, indem er z. B. durch eine Linse eine Lämpenglocke betrachtet, sodass kein Bild, sondern nur eine gleichmässige helle Fläche in der Oeffnung der Linse entsteht. Nach einiger Zeit wird das helle Sehfeld dunkelgrünlich

und „wenn es gelingt, dieses eine kleine Weile zu erhalten“, so sieht er jedesmal auf dieser halbdunklen Fläche den Kreislauf.

Das Phaenomen ist als haemotachometrisches Object deshalb so wichtig und geradezu unschätzbar, weil die Retina wahrscheinlich für alle Zeiten die einzige Stelle des menschlichen Körpers sein wird, an welcher wir directe Beobachtungen über das Strömen und die Geschwindigkeit des Blutes anstellen können. Die feinen Gefässe der Conjunctiva können leider nicht benutzt werden, indem das Strömen beim auffallenden Lichte nicht sichtbar wird.

Die Wahrnehmung des Blutlaufes in den Retinalgefässen des eigenen Auges gehört zu den prächtigsten und interessantesten physiologischen Anschauungen und ich zweifle nicht, dass noch manche Forscher dieses Phaenomen mindestens ebenso deutlich als ich zu erblicken im Stande sein werden. Die Anfangsstadien müssen einem Jeden ohne Unterschied, auch bei nur vorübergehenden Bemühungen zur Wahrnehmung kommen, zu den vollendeteren Anschauungen ist allerdings eine anhaltende Uebung erforderlich; ich selbst kann das Phaenomen nur in meinem rechten, etwas kurzsichtigen, nicht aber im linken, mit gutem Accommodationsvermögen begabten Auge herauf-fördern.

Ich betrachte anhaltend und (was wesentlich ist) unverwandten Blickes ein gleichmässig beleuchtetes Milchglas einer hellen Lampe, in einem Abstand von 110 — 160 Millimeter vom Auge. Nach 1 — 3 Minuten kommt das Auge in einen gewissen Ermüdungszustand; die vorher helle Fläche des Glases wird nach und nach graulich grün. Es ist bemerkenswerth, dass diese Verfärbung viel schneller eintritt, wenn ich eine Accommodation in die Ferne beibehalte und dass die Verfärbung öfters verschwindet, wenn ich einen auf dem Milchglas angebrachten schwarzen Punkt fixire. Meist schon einige Secunden nach Beginn der Betrachtung des Glases tritt eine anfangs sehr undeutliche allgemeine Bewegung auf dem noch weissen Sehfeld ein; bald aber erscheinen einzelne, immer zahlreicher werdende, lichte Pünktchen. Um nun das Fliessen deutlich zu machen bewege ich, möglichst nahe vor dem Auge, die gespreizten Finger sehr schnell,

etwa 100 mal in der Minute, hin und her und bin dann im Stande, den Versuch mehrere Minuten lang fortsetzen zu können. Die Fingerbewegungen können nunmehr aber verlangsamt werden, wobei ich zugleich mit Vorthail die Finger so an einander lege, dass nur eine, mehrere Linien breite Spalte übrig bleibt. Ich kann durch diese Veränderung der Fingerstellungen das Phaenomen länger fixiren.

Die Netzhaut befindet sich nunmehr in eigenthümlichen und merkwürdigen Zuständen, die mehrmals mit einander abwechseln. Einigemal wird das Sehfeld wieder ganz hell, die Blutströmchen erscheinen ausserordentlich blass, ja sie können fast ganz verschwinden. Ich will diesen Zustand als zweites Stadium bezeichnen. Dann wird das Sehfeld wieder dunkler, nämlich graulich-grün, die grössern Gefässchen erscheinen bräunlich und scharf konturirt; die feinern Gefässchen dagegen verschwinden und ich habe vom Blutlauf nur die allgemeine Empfindung. (Stadium 3). Der Mittelzustand zwischen beiden Stadien (4. Stadium) ist der günstigste; das Sehfeld, resp. die Maschenräume zwischen den Strömchen, ist mässig hell, die Strömchen sind sehr deutlich und die einzelnen Körperchen als kleine Pünktchen in der Regel wahrnehmbar. Unter Umständen kann ich dieses 4. Stadium 2 — 4 Minuten lang festhalten. Anfangs wechseln die Stadien selten, nach 10 — 15 Minuten erhält das zweite Stadium das Uebergewicht und ich sehe mich, schon wegen der jetzt vorhandenen Anstrengung des Auges genöthigt, den Versuch abubrechen.

Es ist eine sehr bemerkenswerthe Thatsache, dass die Gefässchen nicht in allen Stadien dieselbe Configuration zeigen; ick sehe offenbar in den verschiedenen Stadien des Versuches die Gefässe verschiedener Retinalschichten. Im dritten Stadium nämlich erscheinen die Gefässe bräunlich, ich erhalte bloss eine allgemeine Anschauung des Strömens; die Maschenräume zwischen den Gefässen sind graulich-grün und vieleckig, doch mit Annäherung an die runde Form; öfters habe ich dann die Täuschung, als ob die Gefässkreise sich um die Centren ihrer Maschenräume schnell drehen. Ausserdem treten noch ziemlich viele helle, deutlich vor den dunkleren Gefässen sich bewe-

genden Pünktchen auf, offenbar fragmentäre Anschauungen des Blutlaufes einer anderen Netzhautschicht.

Im vierten Stadium erscheinen zwischen den mässig hellen, weissen Maschenräumen die gelblichen Blutströmchen mit vollständiger Schärfe. Die Gefässchen sind hier sehr viel zahlreicher als im dritten Stadium und ganz anders angeordnet; viele derselben verlaufen ziemlich gerade; Anastomosen kommen nicht sehr zahlreich vor; die Theilungen stellen meistens Bifurcationen unter spitzen Winkeln dar; manche Gefässchen kreuzen sich ohne unter sich zu anastomosiren, ebenfalls unter ziemlich spitzen Winkeln. Ich unterscheide ganz schmale Strömchen, bloss mit einer Reihe von Pünktchen; nicht selten sind einzelne Pünktchen in einem ziemlichen Abstand von einander. Andererseits kommen Strömchen vor in denen mehrere Pünktchen neben einander fliessen. Was die Richtung der Strömchen betrifft, so geht die Mehrzahl derselben vom gelben Fleck in ziemlich radialer Richtung nach auswärts während eine Minderzahl in der entgegengesetzten Richtung ungefähr gegen die Mitte des gelben Fleckes gerichtet ist. Diese Angaben über die Richtungen beziehen sich auf die unmittelbare Anschauung, wie sie auf das Milchglas der Lampe projectirt werden. Diese Gefässchen sind viel feiner als die des dritten Stadiums. Ausserdem aber unterscheide ich auch im vierten Stadium einige wenige Strömchen, die in anderen Richtungen als die schmalen Strömchen verlaufen, die Geschwindigkeiten dieser, offenbar einer anderen Retinalschicht angehörenden Ströme, ist erheblich grösser.

In allen Gefässen ist das Fliessen durchaus kontinuierlich; niemals konnte ich pulsatorische Bewegungen, oder vorübergehende Stockungen, wie sie so häufig in den Capillaren der Froschschwimnhaut auftreten, wahrnehmen.

Ich bin nicht selten im Stande, ein einzelnes Blutkörperchen als kleines gelbliches Pünktchen in seiner Projection auf das Milchglas 20 — 30 Millimeter lang verfolgen zu können. Da die Ströme meistens nahezu gerade sind, so kann der durchlaufene Weg ziemlich genau gemessen werden; zudem ist die Beobachtungszeit nicht allzu kurz, sodass mittelst des Tiktak einer Taschenuhr oder eines Metro-

noms die Zeit genügend gemessen werden kann. Der von den Blutkörperchen durchlaufene Weg wird mittelst zweier, auf das Milchglas angebrachten Striche bezeichnet. Nennen wir a den Abstand der beiden Striche auf dem Glas, b die Entfernung des Glases vom Kreuzungspunkt der Richtungslinien, c den Abstand des Kreuzungspunktes der Richtungslinien von der Netzhaut, so ist die Geschwindigkeit des Blutes für die Beobachtungszeit, d. h. für die Zeit, welche ein Blutkörperchen braucht, um im projecirten Bilde den Weg von dem einen Strich zu dem anderen zu durchlaufen $= \frac{ac}{b}$.

Auch diejenigen, welche es nicht dahin bringen, die einzelnen Blutkörperchen als kleine Pünktchen unterscheiden zu können, müssen nichts desto weniger im Stande sein, die Stromgeschwindigkeiten zu messen. Der Eindruck der allgemeinen Bewegung der Ströme ist ein so kontinuierlicher und deutlicher, dass dieselben in ihrem Fortschreiten zwischen den beiden markirten Stellen des Glases wohl verfolgt werden können, namentlich auch mittelst eines feinen Stäbchens, das man dem kontinuierlichen Bewegungseindruck entsprechend fortbewegt.

Zur schärferen Messung des Fliessens wende ich eine kleine Vorrichtung an. In der Rinne eines 2 Fuss langen horizontalen Brettes lässt sich ein Schieber hin und her bewegen; dieser trägt ein senkrechtes Stativ, auf welchem ein viereckiger Rahmen befestigt ist. In eine Rinne des Rahmens wird ein viereckiges ebenes Milchglas, 1 Quadratfuss gross, eingeschoben. Da Gläser dieser Art nicht leicht zu haben sind, so bemerke ich, dass ich das meinige von der Glaswaarenhandlung von Harsch in Berlin bezogen habe. Hinter dem Milchglas befindet sich eine helle Lampe. An dem einen Ende des horizontalen Brettes ist ein senkrechtes Brett befestigt, mit einem Ausschnitt dessen Ränder gepolstert sind, in welchen beide Augen zu liegen kommen. Der Abstand der Augen vom Milchglas ist somit genau messbar und konstant während des Versuches zu erhalten; auch kann er durch Verschieben des Milchglases variirt werden.

Hat man eine gewisse Uebung erlangt, so führen noch verschie-

dene anderweitige Verfahrensweisen zur, allerdings minder deutlichen und deshalb für die Bestimmung der Stromgeschwindigkeiten nicht anwendbaren, Wahrnehmung des Retinalblutlaufes.

1) Man braucht nur den blauen Himmel (bei Bewölkung gelingt es weit weniger) unverwandten Blickes kurze Zeit anzustarren, wobei wiederum die oben erwähnten Fingerbewegungen sehr förderlich sind. Zuerst treten einzelne hellgelbe Punkte auf, die grösser, aber minder gut conturirt sind und sich schneller bewegen, als bei dem Versuch mit dem Milchglas. Später erhält man ziemlich deutliche und regelmässige Blutströmchen. Die Bestimmung der Blutgeschwindigkeit muss aber hier auf Schwierigkeiten stossen, schon deshalb, weil die Entfernung der Projectionsfläche vom Auge in diesem Fall sehr schwer bestimmbar ist.

2) Man betrachtet das Milchglas anhaltend, ohne die Fingerbewegungen auszuführen. So verfuhr ich bei den Anfangsversuchen, ohne jedoch zu irgend befriedigenden Anschauungen gelangen zu können. Nachdem ich aber durch lange Uebung des Phaenomen in der oben beschriebenen Weise hatte heraufbefördern lernen, war ich in Stand gesetzt, auch ohne Fingerbewegungen zum Ziel zu gelangen, aber dann nur kurz und vorübergehend und niemals mit der Deutlichkeit, wie bei dem gewöhnlichen Verfahren.

3) Der in unserem Versuch Geübte muss bald dahin kommen, die Blutcirkulation im Dunkeln schon beim Druck auf das Auge oder nach dem Nachlassen des Druckes wahrzunehmen. Die Erklärung dieses Phaenomenes, das also von ganz andern Bedingungen abhängt, bei vollkommener Abwesenheit des objectiven Lichtes, ist zur Zeit eine Unmöglichkeit: wir haben es hier mit einer neuen, unbekannten Qualität der Retina zu thun. Die Anschauung gelingt mir aber nur kurze Zeit, etwa $\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{2}$ Minute, auch nehme ich bloss einige wenige Strömchen wahr. Die Blutkörperchen sind stark gelblich gefärbt, vollkommen deutlich, sie fliessen kontinuierlich und schneller als beim Milchglasversuch und sind ausgezeichnet durch ihre Grösse; die Entfernung ihrer Projectionsebene in dem dunklen Schattenfeld ist nicht genauer zu bestimmen. Neben dieser Erscheinung tauchen bei wei-

ter fortgesetztem Versuch mit der Bulbuscompression bläulich-glänzende Gefässe auf, die schon Purkinje mit Recht als Retinalgefässe beschreibt; sie zeigen dieselben Configurationen, wie bei dem bekannten Purkinje'schen Versuche mit der Lichtflamme, nur sind sie viel kleiner (da ihre Projectionsebene näher liegt) und weniger vollständig. Ausserdem sehe ich ein, von frühern Forschern nicht beschriebenes, eigenthümlich gestaltetes, schön rothes, keinen sich bewegendes Inhalt zeigendes Gefässnetz, das seiner Form nach nichts anderes sein kann, als die Druckfigur der innern Schichte der Chorioidealgefässe (s. Archiv für physiol. Heilkunde, 1856, S. 567 und die Dissertation von Dr. Laiblin „über die Wahrnehmung der Chorioidealgefässe des eigenen Auges,“ Tübingen 1856). Die Strömchen mit ihren relativ grossen gelblichen Blutkörperchen liegen dem Auge zunächst; dann folgen die bläulichen Retinalgefässe und endlich als Hintergrund die rothe Chorioidealgefässfigur. Diese Anschauung, die ich, wenigstens was die bläulichen und namentlich die rothen Gefässe betrifft, jeden Augenblick hervorrufen kann, ist überaus prächtig und überraschend.

4) Bei noch grösserer Uebung gelingt die, wenigstens fragmentäre Wahrnehmung der Retinalblutcirculation schon beim blossen Schluss der Augen ohne allen vorhergegangenen Druck. Wenn ich die Augen schliesse erhalte ich zunächst eine ganz schwache Impression einer Bewegung an einzelnen Stellen des dunkeln Schattenfeldes. Das Phaenomen nimmt zu bei gesteigerter Aufmerksamkeit, es ist, als wie wenn ich eine Accomodationsanstrengung in sehr grosse Nähe machen müsste, um dasselbe deutlicher heraufzufördern. Ein Nichtgeübter, wenn er die Augen schliesst, wird allerdings keine Spur von alle dem wahrnehmen können. In einzelnen Fällen, besonders wenn ich sehr ermüdet zu Bette gehe, oder unmittelbar nach dem Erwachen, treten spontan, aber nur ganz vorübergehend, einige wenige, ausgezeichnet schöne Blutströmchen mit deutlich konturirten, gelblichen, hinter einander fliessenden, ziemlich grossen Blutkörperchen auf; ausserdem stellt sich nicht selten die rothe Chorioidealgefässfigur sehr schön ein.

Diese Versuche sind so reizend, dass es schwer wird, ihrer weiteren Verfolgung und häufigen Wiederholung zu widerstehen; ich habe aber die Erfahrung gemacht, dass Vorsicht hier dringend geboten ist. Diese optischen Binnenphaenomene können sich öfters spontan, allerdings nur in fragmentarer Weise einstellen, gleichwohl aber lästig werden, so dass man dem Auge auf längere Zeit Ruhe gönnen muss.

§. 14. Die Bestimmung der Stromgeschwindigkeit innerhalb einer längeren Blutbahn mittelst der Infusionsmethode.

Professor Dr. Hering an der Thierarzneischule in Stuttgart hat zuerst auf experimentellem Wege die Zeit bestimmt, welche das Blut braucht, um einen ganzen Kreislauf zu vollenden. Durch die von ihm angewandte, nicht genug zu preisende Methode hat die Lehre von der Stromgeschwindigkeit des Blutes den ersten definitiven Haltpunkt gewonnen.

Hering's erste Versuche, 18 an Zahl, sind beschrieben in der Tiedemann-Treviranus'schen Zeitschrift für Physiologie, 1829, 3r Band S. 85; später folgten in derselben Zeitschrift 1831, Bd. 5, 40 weitere Erfahrungen und endlich eine letzte grosse Reihe (45 an Zahl) im Archiv für physiologische Heilkunde, 1853, S. 112.

Die Methode besteht bekanntlich darin, dass eine Lösung einer unschädlichen und im Blut durch Reagentien leicht nachweisbaren Substanz in ein Gefäss injicirt und die Zeit bestimmt wird, nach welcher der mit dem Blutstrom fortgerissene Stoff in einem entfernten Blutgefäss wahrgenommen wird. Am tauglichsten erwies sich das Ferrocyankalium und zwar für Pferde 1 Drachme in 1 Unze Wasser, was ein specifisches Gewicht von 1063 ergiebt.

Eine mit einem Hahn versehene, oben trichterförmig sich erweiternde, mit dem Eisensalz gefüllte Röhre wird z. B. in die Jugularvene der einen Seite eingeschoben. Nach Oeffnung des Hahnes fliesst die Eisenlösung „meist“ in 2–5 Sekunden vollständig ab, dann wird

der Hahn geschlossen zur Verhütung etwaigen Lufteintrittes. Vor der Injection wird ein zweites Gefäss, z. B. die Jugularis der anderen Seite eröffnet. Im Moment wo der Hahn gedreht wird, fangen Gefässen der Reihe nach das aus dem zweiten Gefäss fliessende Blut auf, und zwar von 5 zu 5 Sekunden in ein anderes Glas.

Ein Versuch dauert 50—60 Sekunden, giebt also 10—12 Blutportionen. Hering misst also in unserm Beispiel die Zeit, welche das Blut braucht, um von der äusseren Drosselader in das rechte Herz, die kleine Blutbahn, das linke Herz, einen Theil des Carotidensystems und zurück zur Jugularis der andern Seite zu fliessen, also den Weg eines vollständigen Kreislaufes zu machen. Da die Länge der dem Versuch unterworfenen Blutbahn niemals mit vollkommener Genauigkeit ermittelt werden kann, so giebt der Versuch natürlich weniger Aufschluss über die mittlere Stromgeschwindigkeit in der betreffenden Bahn. Beim Pferd, an welchem Hering fast ausschliesslich experimentirte, beträgt jede einzelne Blutportion $\frac{1}{2}$ —1 Unze. Die Blutproben bleiben 24 Stunden lang stehen, um die Serumbildung abzuwarten. Von dem Serum jeder Portion werden alsdann 1—2 Tropfen auf ein weisses Papier gebracht und denselben ein Tropfen einer schwefelsauren Eisenlösung beigemischt. Die ersten Proben werden weiss in Folge der Coagulation des Eiweisses, dann folgt eine grünlich-blaue, also schon etwas Ferrocyankalium haltende Probe (meist die 5te oder 6te), die späteren werden himmel- bis dunkelblau. Lässt man die Tropfen eintrocknen, so bekommen zwar auch die ersten Proben eine etwas grünliche Färbung, die sich aber immer noch deutlich von der wahren Reaction unterscheiden. Die Menge des injicirten Eisensalzes beträgt bei Hering 1, höchstens 2 Drachmen; grössere Dosen würden bei Pferden mehr oder minder schwere Störungen veranlassen.

In der Regel reichte Hering mit der beschriebenen Reactionsweise aus. In selteneren Fällen mussten, wenn die Anwesenheit des Eisensalzes zweifelhaft war, grössere Mengen Serum verwendet, oder die ganze Blutportion gekocht, filtrirt und dann erst zur Reaction benutzt werde.

Hering hat nicht unterlassen, auch an andern Blutbahnen, als die erwähnte, Versuche anzustellen. Eine dieser Modificationen ist eine sinnreiche Technik zur Bestimmung der Stromgeschwindigkeit in einer kleinen Wegstrecke. Hering suchte nämlich (Archiv für physiologische Heilkunde, 1853, S. 121) die Zeit zu bestimmen, welche das Blut braucht, um den Weg von einer Arterie durch die zugehörigen Capillaren in die Vene zurückzulegen. Er öffnete die Art. metatarsa eines Pferdes unmittelbar unter dem Sprunggelenk und in gleicher Höhe die entsprechende Vene des anderen Hinterfusses; die Injection der Blutlaugensalzlösung wurde in die Jugularis gemacht. Der Zeitunterschied zwischen der Reaction im Arterien- und Venenblut ergiebt die Zeit, welche das Blut braucht, um von der Arterie in die Vene überzugehen. Aus Gründen, die nahe liegen, hat Hering zu diesem Versuch nicht eine und dieselbe Extremität gewählt. Gegen seine Voraussetzung, dass in den beiden Hinterextremitäten das Blut unter normalen Verhältnissen gleich schnell fließen werde, ist natürlich nichts einzuwenden, wohl aber kann mit Bestimmtheit behauptet werden, dass wegen der stärkeren Spannung der Blutabfluss aus der Arterie, also auch die betreffende Blutgeschwindigkeit etwas mehr beschleunigt werden musste als in der Vene. Ist unsere Vermuthung richtig, so muss das Experiment zu etwas zu grossen Zeitdifferenzen führen. Hering hat allerdings nur eine kleine Differenz erhalten und zwar im Durchschnitt sogar weniger als 5 Sekunden.

Volkman hat — ohne jedoch der Methode im Allgemeinen zu nahe zu treten — den gegründeten Einwand gemacht, dass durch die Gegenöffnung in der zweiten Vene das Ausströmen des Blutes beschleunigt werde. Hering liess desshalb (Archiv für physiologische Heilkunde 1853, S. 118) in einigen Versuchen das Blut aus der zuvor geöffneten Vene erst dann ausströmen, als er erwarten durfte, dass das dem Strom beigemischte Blutlaugensalz der Ausflussöffnung nahe gekommen sei, also 20—30 Sekunden nach Beginn der Infusion. Zur Controlle wurde an andern Tagen an demselben Thier in der gewöhnlichen Weise experimentirt. Die Versuche Hering's ergaben an beiden Drosseladern folgende Zeitwerthe:

Thier.	Gewöhnliches Verfahren.		Corrigirtes Verfahren.		
		Umlaufzeit in Secunden.		Zeit der Veneneröffnung.	Umlaufzeit in Sekunden.
I.	Tag 1.	30—35	Tag 5.	20 Secunden.	35—40
			" 8.	30 "	35—40
II.	Tag 1.	30—35	Tag 5.	30 "	35—40
			" 6.	30 "	35—40
III.	—	—	Tag 1.	20 "	25—30
IV.	Tag 1.	20—25	Tag 5.	20 "	20—25

Dass die grössere Blutgeschwindigkeit beim 4. Thier in beiden Fällen keinen deutlichen Unterschied zeige, ist bei Hering's Verfahren zu erwarten; bei langsamerer Circulation ist aber der Einfluss der Gegenöffnung merklich, er beträgt zwischen $\frac{1}{6}$ — $\frac{1}{7}$ der ganzen Versuchszeit. Die Controlle kann natürlich nur eine annähernde sein, da die Blutgeschwindigkeiten desselben Thieres in verschiedenen Tagen variiren können. Bei genauen Versuchen muss somit diese Störung beseitigt werden. Man sieht übrigens leicht, dass auch die von Hering angewandte Modification den Fehler nicht vollständig beseitigen kann, da die Eröffnung der Vene, wenn der Versuch nicht fruchtlos angestellt werden soll, eine gewisse Zeit vor der Ankunft des Blutlaugensalzes geschehen muss. Das in der comprimierten Vene stauende Blut muss sich zudem schneller entleeren; wir werden desshalb (im nächsten §.) auf ein anderes Auskunftsmittel bedacht sein müssen.

Ein zweiter Einwurf, welcher Hering gemacht wurde, behauptet, man messe nicht die mittlere Zeit, welche das Blut braucht von der Infusionsstelle bis zur Ausflussmündung, sondern die Geschwindigkeit des centralen Stroms der Gefässe. Dieser Einwand ist, was die Venen und Arterien, selbst kleinen Calibers, betrifft, ganz unerheblich; für die Capillaren allerdings ergiebt sich, wegen Unbeachtetbleiben der Wandschicht, eine kleine Verkürzung, die aber absolut

nicht viel zu bedeuten hat — ich taxire sie für 2 Capillarsysteme nicht auf 1 Sekunde — und die jedenfalls die Vergleichbarkeit der einzelnen Versuche, also namentlich das Studium der auf die Stromgeschwindigkeiten influirenden Momente in keiner Weise beeinträchtigen kann.

Mit scheinbar etwas mehr Recht hat man hervorgehoben, der Hering'sche Versuch messe bloss die Zeit, welche das Blut braucht um z. B. von einer Jugularis durch die kürzeste Bahn zur Jugularis der andern Seite zu gelangen. Damit ist also ausgesprochen, dass die arteriös-venösen Einzelbahnen, welche die Jugularis speisen, eben wegen ihrer verschiedenen Längen in ungleichen Zeiten von den Blutströmen durchsetzt werden. Hering begegnete diesem Einwand mit einer schlagenden Erfahrung. Er fand nämlich, dass die langen Bahnen z. B. von der Jugularis bis zur Tarsalvene bloss wenige Sekunden mehr beanspruchen als die kurze Bahn von einer Jugularis zur andern, die verhältnissmässig sehr viel kleineren Differenzen der Bahnlängen der einzelnen Jugulariszuflüsse müssen somit in ihrer Wirkung auf die Blutgeschwindigkeit auf ein Minimum reducirt werden, d. h. für den Versuch nahezu verschwinden. Die schneller sich vermindern den Gefässlumina gleichen offenbar die Begünstigung des Fließens in den kurzen Bahnen etwas aus; diese Ausgleichung wird selbst eine vollständige sein, wenn die Differenzen der Bahnlängen nicht so gross sind.

Ein bis jetzt noch nicht zur Sprache gebrachtes, unter Umständen nicht ganz zu vernachlässigendes Moment ist Folgendes. Kommt die erste Portion der Injectionsflüssigkeit gegen Ende der Diastole in dem rechten Vorhof an, so findet sie dort bereits Blut vor, also auch ein gewisses Quantum, welches von der Injectionstelle aus, vor der Zeit der Injection, dem Herzen zugeströmt ist. (Dass das Blut in der Injectionsvene nicht fliesst vor der Injection, ändert nichts an unserer Betrachtung, ich wähle den obigen Ausdruck als den einfachsten.) Bei der nächsten Systole wird also das, was von dem injectirten Stoff im rechten Atrium vorhanden ist oder doch ein Theil desselben in den Ventrikel eindringen. Die erste Portion der Injectionsmasse eilt somit dem Blut, mit welchem sie gleichzeitig im

Vorhof ankam, etwas voraus. In der Kammer findet sich wohl immer, jedenfalls aber unter gewissen Verhältnissen, etwas älteres Blut vor, mit welchem die Injectionsmasse sich wiederum vermischt; also eine neue Ursache, welche ein Voraneilen der Injectionslösung bedingt. Diese Verhältnisse müssen sich wiederholen im linken Herzen. Die Störung wird offenbar am grössten sein 1) wenn die erste Portion der Injectionsmasse in den Atrien kurz vor deren nächsten Systole ankommt. Ist diese Portion der Injectionsmasse gering, so kann sie allerdings durch die Verdünnung unmerklich werden; ist sie aber grösser, so muss sie sich geltend machen; 2) je unvollständiger die Kammersystolen erfolgen, 3) je seltener die Herzbewegungen sind. Da die Grösse des Fehlers im speciellen Fall nicht taxirt werden kann, so muss ich es unterlassen, die Compensationsmomente, welche im 2. und 3. Fall wieder theilweis eintreten können, hervorzuheben. Man sieht, in den vier Herzabschnitten kann der Injectionsstoff unter Umständen in einer der mittleren Blutbewegung nicht proportionalen Weise fortbewegt werden. Der Fehler dürfte bei Thieren mit seltenem Puls, also namentlich beim Pferde, selbst 1—2 Sekunden betragen. Um die Versuche möglichst vergleichbar zu machen, müsste, wenigstens bei seltenem Puls, die Injection in einer konstanten Zeit beginnen, z.B. a tempo mit dem Puls. Bei kleineren Thieren mit frequentem Puls muss der Fehler absolut und auch wohl relativ viel geringer werden.

Endlich muss ich noch eines, von Poiseuille gemachten Einwandes erwähnen, auf welchen einige Physiologen mit Unrecht Werth gelegt haben. Dieser Forscher fand (*Annales d. scienc. nat.* 1843. Band 19, Seite 30), dass die chemische Beschaffenheit der Flüssigkeiten von wesentlichem Einfluss ist auf die Stromschnellen in Glas-capillaren. Er injicirte deshalb Pferden gemischte Lösungen von Ferrocyankalium und einer solchen Substanz, von welcher er gefunden hatte, dass sie auf das Fliessen in Capillaren von Einfluss sei und bestimmte nach dem Hering'schen Verfahren die Blutgeschwindigkeit. Er verglich sodann damit in einem anderen Versuchstag an demselben Thier die Blutgeschwindigkeit bei Infusion einer einfachen

Ferrocyankaliumlösung. Als Infusions- und Ausflussgefässe wurden die äusseren Drosseladern benutzt. Es liegen übrigens bloss 5 Versuche vor mit folgendem Ergebnisse:

I. Pferd. a) Infusion von Blutlaugensalz. Puls 48, Athemzüge 13. Dauer eines Umlaufes 25—30 Sekunden.

b) Blutlaugensalz und essigsaures Ammoniak. Letzteres vermehrt in Glascapillaren die Geschwindigkeiten. Dauer eines Umlaufes 18 bis 24 Sekunden.

c) Blutlaugensalz mit Alcohol. Letzterer, dem Wasser beige-mischt, mindert die Geschwindigkeit in den Glascapillaren. Umlaufszeit 40 bis 45 Sekunden.

II. Pferd. a) Blutlaugensalzlösung. Vierzig Pulse; 11 Respirationen. Umlaufszeit 30—34 Sekunden.

b) Blutlaugensalz und Salpeter. Umlaufszeit 20—25 Sekunden.

Diese etwas sparsamen Versuche beweisen nicht, was sie beweisen sollen, nämlich dass durch vorsichtige Infusion von Ferrocyankalium- oder irgend welcher sonstiger Lösung einer indifferenter Substanz die normalen Blutgeschwindigkeiten verändert werden. Die erwähnten Zusätze, namentlich der Alcohol, wirken störend auf die Herzbewegungen und erklären so einen grossen Theil der Wirkung hinlänglich. Poiseuille glaubte zwar dieser Einwendung durch gleichzeitige Haemodynamometerversuche begegnen zu können, in welchen er gefunden haben will, dass nach den Injectionen die Blutspannungen nicht verändert wurden. Dieser nicht durchdachten Versicherung begegnet schon Bergmann (Artikel Kreislauf in Wagner's Wörterbuch, Band 2, Seite 231) mit der Bemerkung, „die Drücke können sich nicht gleich bleiben, wenn irgendwie die Widerstandsmomente verändert werden, wie ja Poiseuille selbst postulirt.“

Die Menge des injicirten Ferrocyankaliums kann so nieder gegriffen werden, sehr viel niedriger als bei Hering, dass von dieser Seite her keine irgend erhebliche Störung zu befürchten ist. Poiseuille scheint bedeutende Mengen von Zusätzen gewählt zu haben.

§. 15. Modifikation der Infusionsmethode.

Der Hering'sche Versuch ist gleich ausgezeichnet durch das sinnreiche Princip, welches ihm zu Grunde liegt, als durch die Leichtigkeit, Schnelligkeit und Sicherheit der Ausführung, sodass er ohne Bedenken als die bequemste und exakteste haemotachometrische Methode gelten kann, sowie endlich durch die fundamentale Wichtigkeit seiner Ergebnisse. Die Bestimmung der Dauer eines ganzen Umlaufes des Blutes ist in der That ein Hauptproblem nicht bloss für die Haemodynamik, sondern für die Physiologie des Stoffwechsels überhaupt. In der Nachweisung einer früher nicht geahnten, sehr grossen Geschwindigkeit der Blutcirculation liegt unstreitig einer der eingreifendsten und folgereichsten Fortschritte der neueren Physiologie.

Es kann nicht anders als befremdend erscheinen, dass Hering innerhalb 30 Jahre, ausser Poiseuille, der, wie oben erwähnt, einige wenigen Versuche der Art angestellt hat, keinen Nachfolger gefunden hat. Dies rührt zum Theil daher, dass manche Forscher sowohl die älteren Ansichten einer geringeren Circulationsgeschwindigkeit, mit welcher sie allein die vermeintlich grossen Blutmengen des Körpers und viele anderen Erscheinungen des Stoffwechsels zusammenreimen konnten, nicht leicht aufzugeben geneigt waren, als auch die Methode — jedoch mit grossem Unrecht — nicht für exakt genug hielten. Ausserdem finden die wenigsten Physiologen Gelegenheit, an grossen Thieren zu experimentiren, die Hering ausdrücklich für seine Methode allein passend hält und an denen er auch ausschliesslich beobachtet hat.

Ich stellte mir desshalb die Aufgabe, den Hering'schen Versuch so zu modificiren, dass er auch an kleineren Thieren (Hunden, Kaninchen) in tadelloser Weise ausführbar wird, was, bei der hier von vornherein zu erwartenden grösseren Geschwindigkeit der Circula-

tion vor allem ein exakteres Verfahren in der Zeitmessung, der Ansammlung der einzelnen Blutproben und der Reactionsmethode auf das Blutlaugensalz nothwendig macht. Hat man es mit kleinen Zeitwerthen zu thun, so dürfen die einzelnen Blutproben nicht erst von 5 zu 5 Sekunden und durch, wenn auch noch so gut instruirte Gehülfen, aufgefangen werden. Aber auch der Versuch an Pferden macht, da derselbe meistens in 25 — 30 Secunden beendet ist, eine viel grössere Zahl von Blutproben in hohem Grade wünschenswerth. Nur dann wird man im Stande sein, die Fehler auf die allerengste Grenze einzuschränken und die vielen, die Blutgeschwindigkeit modificirenden, zum Theil nicht sehr eingreifend einwirkenden Ursachen, mit Sicherheit kennen zu lernen; mit einem Wort, den Hering'schen Versuch zu dem zu machen, was er im Princip wirklich ist, nämlich zu einem der schönsten und zuverlässigsten im ganzen Gebiet der Experimentalphysiologie.

Ich liess einen mit mehreren Speichen versehenen Ring von Messing anfertigen, welcher durch das Kymographion, dessen Trommel und Trommelaxenhalter entfernt wurden, in gleichmässig rotirende horizontale Bewegung versetzt werden konnte. Der Durchmesser des Ringes betrug 60 Centimeter. Auf denselben wurde, genau centrirt, eine Scheibe von Zinkblech gestellt, welche den gleichen Durchmesser, also eine Peripherie von 186 C. M. hat. Der Rand der Scheibe wird garnirt mit 81 kleinen, numerirten, dicht neben einander stehenden Porcellantöpfchen, wozu ich die kleinsten Salbengefässe der Apotheke verwende. Die Scheibe trägt, in einem Abstand von 30 M. m. von ihrem Rand, eine 40 M. m. hohe senkrechte Wand von demselben Material, concentrisch mit der Scheibenperipherie verlaufend. Die Aussenseite dieser Wand dient als Stützpunkt für 81 viereckige Trichterchen. Letztere sind in ihrer Mitte mit einer kurzen, nach abwärts gerichteten Ausflussröhre versehen, sämmtliche Trichter aber zu einem Stück zusammengelöthet; die ganz scharfen Ränder zwischen je 2 Trichtern bilden genau Radien der Scheibe. Jeder Trichter besteht aus vier, gegen die Ausflussröhre sich neigenden, also nach abwärts sich verschmälernden Flächen, sodass das Blut in das unterstehende, zugehö-

rige Porcellantöpfchen ablaufen kann. Alle Theile der Trichter, die mit dem Blut in Berührung kommen, sind weiss angestrichen.

Die Scheibe braucht zu einer Umdrehung 50 Secunden; da sämtliche Trichter gleich breit sind, so entspricht jede einzelne Blutprobe einer Zeit von 0,6 Secunden in runder Zahl. Ich erhalte also mehr als die 8fache Zahl Blutproben als Hering, also auch eine 8 mal grössere Genauigkeit, ganz abgesehen davon, dass die Hand des auf das Commandowort hörenden, das Blut auffangenden Gehülfen bei weitem nicht so genau sein kann, als die mit tadelloser Gleichmässigkeit rotirende Scheibe.

Die Umdrehungszeit der Scheibe variirt um 1 — 2 Secunden in aufeinanderfolgenden Tagen, unter Umständen (namentlich wenn man die Schraubengänge des Windfanges etwas eingeölt hat) selbst um 5—10 Sekunden in längeren Zeiträumen; sie muss somit für jeden Versuch besonders bestimmt werden. Ausserdem ist die Geschwindigkeit anfangs ein klein wenig verzögert, sie wird erst vom 6. Trichter an (also zu einer Zeit, in welcher der Umlauf des Blutes noch lange nicht geschehen ist) vollkommen konstant.

Wollte man noch mehr Blutproben erhalten, so müsste das nicht etwa mittelst einer viel grösseren Scheibe oder mittelst grösserer Umdrehungsgeschwindigkeit erreicht werden, indem der Apparat dann leicht Gefahr laufen könnte, in etwas stossweiser Bewegungen überzugehen. Nichts hindert jedoch, die Zahl der Trichter auf 100 oder noch darüber zu vermehren.

Das in die Trichter laufende Blut muss natürlich aus einer unverrückbaren Ausflussmündung fliessen. In das Blutgefäss, aus welchem das Blut ablaufen soll, wird eine Canüle eingebunden, in welche ein Einsatzstück gesteckt werden kann, das mit einem möglichst kurzen Kautschukröhrchen verbunden ist. Das andere Ende des letztern ist an eine kurze mit einem Hahn versehene Messingröhre gebunden, welche an das eine Ende eines 10 C. M. langen runden Stabes unbeweglich befestigt ist und zwar so, dass ihre Mündung während des Versuches bei senkrechter Stellung des Stabes tiefer liegt als die angebundene Kautschukröhre. Der in einer Hülse steckende Stab wird

mittelst Klemmschrauben an den Rand des Tisches, auf welchen das Thier zu liegen kommt, senkrecht befestigt und so gestellt, dass die Ausflussmündung des Blutes genau über dem Anfang des ersten Trichterchens steht.

Zur Infusion der Blutlaugensalzlösung bediente ich mich einer Spritze, welche mir bei kleinen Thieren geeigneter scheint als der von Hering gebrauchte Trichter. Die Lösung enthält bloss $\frac{1}{50}$ Salz; das Volum der davon injicirten Lösung beträgt je nach der Grösse des Hundes 3 — 6 Cub. C. M. sodass 60 bis 120 Milligr. des Salzes dem Kreislauf einverleibt werden. Die Zeit der Infusion nimmt 4 Secunden in Anspruch. Ich hatte namentlich in meinen Anfangsversuchen (wie auch Hering) mehre Todesfälle; diess rührt her von grösserer Concentration und etwas grösserem Volum der Injectionsflüssigkeit, ganz besonders aber davon, das ich ältere Blutlaugensalzlösungen benützte. Die Lösung muss jedesmal frisch angefertigt werden.

Wenn alles gerüstet ist, so beginnt auf ein gegebenes Zeichen die Injection, während genau gleichzeitig die Scheibe in Rotation versetzt wird. Nach einigen Secunden wird dann die Schlusspincette von dem Ausflussgefäss weggenommen, und der Hahn der Ausflussröhre etwas gedreht, wenn die ausfliessende Blutmenge zu stark wäre. Ich nehme sorgfältig Bedacht, dass annähernd nur so viel Blut in die Trichterchen ausfliessen kann, als der durchschnittlichen normalen Circulation im unverletzten Blutgefäss entspricht. Das beschleunigte Abfliessen durch die Gegenöffnung ist somit in möglichst thunlicher Weise verhütet, sowie auch einem zu langsamen Abfliessen vorgebeugt wird. Vom 40. Trichterchen an wird, bei Versuchen an Hunden, kein Blut mehr aufgefangen.

Die Reaction auf Blutlaugensalz mittelst Eisenchlorid ist bekanntlich ausserordentlich empfindlich und man kann, bei einiger Vorsicht, auch im Blute die minimste Menge des Salzes nachweisen. Der Umstand, dass etwas von dem injicirten Salz sich mit den Proteinsubstanzen des Blutes verbindet, kann gegen die Brauchbarkeit der Reaction, bei ihrer so grossen Empfindlichkeit, kein triftiger Einwand sein. Ich benutze zur Reaction das gesammte Blut einer Probe. Dasselbe wird

in einer kleinen Abdampfschale mit etwa dem gleichen Volum präparirter Thierkohle mittelst des Fingers zerrieben, und dann etwa 15 C. C. M. Wasser zugesetzt, welches man vorher auch zum Ausspülen des betreffenden Trichterchens benutzen kann. Nach etwa 2minütlichem Kochen wird durch ein dünnes Leinwandläppchen möglichst ausgepresst, das Ausgepresste unter Umständen noch etwas abgedämpft und sodann filtrirt. Das wenige C. C. M. betragende Filtrat ist vollkommen farblos; es wird mit einem Tropfen Eisenchloridlösung und etwas Salzsäure versetzt, wobei sich zunächst keine Reaction zeigt. Die Eisenchloridlösung wird durch Umrühren im Filtrat vertheilt und dann langsam abgedämpft. Es bilden sich jetzt Ringe, die gelb sind bei negativem Ergebniss, deutlich blau im positiven Fall. Die erste Bläuung wird in der Regel erst nach dem Erkalten und nachdem man den anfangs noch gelblichen oder grünlichen Ring mit Wasser vorsichtig abgespült hat, als schwachblauer, immerhin aber deutlicher Ring erkannt. Der Zusatz von etwas zuviel Eisenlösung könnte die Reaction der ersten, bereits Blutlaugensalz führenden, Probe beeinträchtigen. Die Reaction ist ganz tadellos; sie lässt niemals im Zweifel und somit ist, da jede Portion einer Ausflusszeit von $\frac{6}{10}$ Secunden durchschnittlich entspricht, indem das Mittel aus der Endzeit der letzten negativen und der Endzeit der ersten positiven Probe gezogen werden muss, die gefundene Blutgeschwindigkeit mit einem Fehler von noch nicht 18 Tertien im ungünstigsten Fall behaftet. Ein Versuch nimmt, selbst dann wenn man die richtige Blutprobe erst nach längerem Suchen findet, nicht viel mehr als eine Stunde in Anspruch.

Sehr häufig habe ich die von Hering angewandte Reactionsweise mit der meinigen verglichen. Die Porcellantöpfchen wurden unter eine, die Verdunstung abhaltende Glasglocke gebracht und etwa 2 Stunden lang die Serumbildung abgewartet. Dann wurde mittelst einer 15 Cub. Millimeter haltenden Pipette Serum abgenommen, dasselbe auf ein weisses Papier gebracht und ein Tröpfchen Eisenchloridlösung und etwas Salzsäure hinzugesetzt. Diese Reaction ist ebenfalls genau, doch muss ich Jedem, für die Anfangsversuche wenigstens,

die Vergleichung mit meinem Verfahren anempfehlen, indem man sonst Gefahr laufen könnte, den Anfang der Reaction etwa um eine Blutprobe später zu datiren. In einigen Fällen hat in der That mein Verfahren den Anfang der Reaction um eine Probe früher erkennen lassen, als es mit aller Sorgfalt bei dem Hering'schen Verfahren möglich war. Mein Verfahren hat die weiteren Vortheile, dass es sogleich oder überhaupt in einer beliebigen Zeit nach der Injection ausführbar ist, während ausserdem die Serumprobe bei röthlich gefärbtem Serum, das bei Hunden häufig vorkommt, ganz unexakt und bei den kleinen Blutmengen der Kaninchen kaum ausführbar ist. Oefters ging ich vom Hering'schen Verfahren aus, wodurch das Tatonniren bei der Kochprobe bedeutend abgekürzt und nur die Untersuchung von 2 bis 3 Blutproben nöthig wurde.

Da das ausfliessende Blut den Weg durch das kurze Kautschukröhrchen zurücklegen muss, so entsteht ein jedoch kleiner Fehler, der um so viel hinter der wirklichen Geschwindigkeit zurückbleibt, als das Blut Zeit braucht, um durch das Röhrchen zu laufen. Desshalb muss das Lumen des Röhrchens so klein als möglich sein. Man muss nun, um den Fehler zu eliminiren, von der erhaltenen Blutumlaufszeit die minime Zeit, welche das Blut nöthig hat zum Durchfliessen durch die Ausflussröhre, abziehen.

Zur Vergleichung der Stromzeiten in verschiedenen Blutbahnen kann man in zweifacher Weise verfahren: 1) Man macht die Injection in eine Vene, während man das Blut auslaufen lässt aus der entsprechenden Stelle der gleichnamigen Vere der anderen Seite; man benützt also entweder beide Jugular- oder beide Cruralvenen und erhält somit die Zeitdauer einer vollständigen Circulation in der betreffenden Bahn. Leider muss man derartige Vergleichsversuche auf auf zwei verschiedene Tage verlegen, wodurch der Werth der Vergleichung etwas beeinträchtigt wird.

2) Eine zweite Methode, die ich befolgte, bestand in der gleichzeitigen Anwendung zweier Ausflussmündungen. Ich machte die In-

jection in eine Iugularvene und wählte als Ausflussgefäße die andere Iugular- und eine Cruralvene. Die Cruralvene ergab somit nicht die Zeit eines ganzen Umlaufes in der betreffenden Bahn, sondern eine offenbar aber nur wenig kleinere Zeit; immerhin aber haben wir es auch hier mit einer viel längeren Blutbahn zu thun als bei dem correspondirenden Iugularisversuch und können somit die fundamentale Frage, ob die Bahnlängen von bedeutendem Einfluss sind auf die Umlaufszeiten sicher entscheiden. Bei dieser Versuchsweise setzte ich auf die gewöhnlich zum Auffangen des Blutes bestimmte Scheibe eine zweite von gleicher Einrichtung, so dass die Trichter beider Scheiben genau übereinander standen. Dasselbe musste natürlich der Fall sein mit den beiden messingenen Ausflussröhrchen, aus denen das Blut zunächst in den Trichter ausläuft. Die Kautschukröhren, welche die Verbindungen herstellen zwischen Ausflussröhren und den in die Blutgefäße eingebundenen Canülen mussten aber jetzt viel länger sein als bei dem gewöhnlichen einfachen Versuch; es versteht sich, dass namentlich bei dieser Modifikation des Versuches die Zeit, welche das Blut braucht, um durch die Kautschukröhren zu fließen bei der Berechnung der Umlaufszeiten berücksichtigt werden muss, was einfach geschieht durch Ausmessung der (durchschnittlich etwa $2-2\frac{1}{2}$ C. C. M. betragenden) Capazität dieser Zwischenstücke und mittelst Bestimmung des Blutvolumens in denjenigen 2—4 Trichterchen, welche dem die erste Reaction gebenden Trichterchen unmittelbar vorangehen.

Wichtig ist bei diesen Versuchen eine sorgfältige Regulirung des Blutausflusses, so dass man so viel Blut abfließen lässt, als durch das betreffende Gefäß im unversehrten Zustand (den Erfahrungen mit dem Dromometer oder Tachometer zufolge) ungefähr durchströmen würde, also z. B. beim Hunde $1\frac{1}{2}$ C. C. M. Cruralvenenblut in 1 Sekunde.

Eine Modifikation des Infusionsversuches könnte endlich darin bestehen, dass man die Salzlösung nicht injiciren, sondern mittelst

des Haemodromometers in den Kreislauf gelangen lassen würde. Man hätte dann den Vortheil 1) einer gleichzeitigen Messung der Stromschnelle in einem grossen Gefäss und 2) könnte man auch Arterien als Einverleibungsstellen wählen, die zur Injection nicht passend sind. Das anzuwendende Dromometer müsste aber geräumiger sein als das von Volkmann benützte.

Zweiter Abschnitt.

Die Querschnittsbestimmungen der Blutbahnen.

§. 16. Messung der Durchmesser blossgelegter Gefässe.

Diejenigen haemotachometrischen Methoden, welche zunächst bloss die durch die Gefässe fliessenden Blutvolumen messen, erfordern zur Bestimmung der Blutgeschwindigkeit die Kenntniss des Querschnittes des betreffenden Gefässes. Die Geschwindigkeit ist $=$ dem Blutvolumen, dividirt durch den Querschnitt.

Ebenso muss, wenn man die Versuchsergebnisse der andern Klasse haemotachometrischer Mittel, welche zunächst bloss die Geschwindigkeiten angeben, benutzen will zur Bestimmung der durch diess Gefäss circulirenden Blutvolumen, der Gefässquerschnitt bekannt sein. Das Blutvolumen ist dann das Product der Geschwindigkeit in den Querschnitt.

Die Bestimmung des letzteren bildet somit einen integrirenden Theil der Tachometrie. Leider ist der Aufgabe mit vollkommener Schärfe nicht zu genügen. Das Blosslegen der Gefässe bedingt, in Folge des Reizes auf die contractilen Elemente der Gefässwandung, mit Nothwendigkeit eine Lumenverminderung, deren Grösse nicht geschätzt werden kann. Die viel contractileren Arterien und unter diesen wiederum die kleineren Gefässe, sind solchen Veränderungen viel mehr unterworfen als die Venen.

Darin liegt jedoch nicht die einzige Fehlerquelle, denn auch die Technik der Lumenmessung an und für sich ist mit Fehlern verbunden, die nicht vollständig überwunden werden können. Man misst 1) entweder mittelst eines Tasterzirkels den Durchmesser, oder 2) weniger gut, mittelst eines um die Arterien gelegten, dieselben nicht drückenden Bandes, den Umfang wie z. B. Parry verfuhr. In beiden Fällen ist noch auf die Wanddicke Rücksicht zu nehmen.

Schärfere Resultate glaube ich zu erzielen, indem ich das Gefäss durch eine Schlusspincette vollständig komprimire. Diese hat ziemlich breite und gegen ihre freien Enden schwach sich verjüngende Branchen, deren Innenflächen eben sind. Die Wände des Gefässes berühren sich vollständig; man misst somit die halbe äussere Peripherie des Gefässes und zwar am bequemsten mittelst einer auf der einen Pincettenbranche selbst angebrachten Millimeterscala. Von der Breite des plattgedrückten Gefässes ist dann noch die doppelte Wanddicke abzuziehen, um die halbe innere Peripherie zu erhalten.

Die Wanddicke wird gewöhnlich bestimmt durch das Mikroskop an ausgeschnittenen Gefässriemen; da aber hier die normalen Spannungen nicht mehr vorhanden sind, so ergeben sich etwas zu hohe Werthe. Genauere Resultate erhält man durch folgendes Verfahren. Man bezeichne an dem blossgelegten Gefäss zwei in der Längsrichtung liegende, möglichst weit von einander abstehende Punkte, deren Entfernung gemessen wird. Nach der Durchschneidung, wobei der eine der bezeichneten Punkte in die Schnittfläche fallen muss, verkürzt sich das Gefäss, der jetzige Abstand beider Punkte wird wiederum gemessen. Hierauf schneidet man an dem zweiten bezeichneten Punkt das Gefässstück ab, bestimmt dessen Länge und nachdem es der Länge nach (genau in der Längsrichtung) aufgeschlitzt ist die Breite. Die Dicke wird entweder micrometrisch gemessen, oder durch Bestimmung des specifischen Gewichtes, wobei, um den Inhibitionsfehler zu vermeiden, das Gefässstück in Oel gebracht wird. Die mittlere Dicke ergibt sich dann, nachdem Länge und Breite auf die normalen, der Spannung des Gefässes vor der Durchschneidung entsprechenden Dimen-

sionen reducirt worden sind, aus dem absoluten Gewicht dividirt durch das Product der Gefässfläche in das specifische Gewicht.

§. 17. Taxation der Arterien Durchmesser am lebenden Menschen.

Beim lebenden Menschen stösst die Bestimmung der Durchmesser zugänglicher Gefässe allerdings auf Schwierigkeiten, die jedoch eine leidliche und die Leistungen des Getastes jedenfalls weit übertreffende Annäherung an die wahren Maassverhältnisse keineswegs unmöglich machen. Ich habe schon in meiner Lehre vom Arterienpuls (S. 164) eine derartige Technik angegeben, selbstverständlich ohne Anspruch auf Exactheit zu machen, die bei dieser Aufgabe für immer unerreichbar bleiben wird. Mittelst des Apparates habe ich eine Anzahl von Controllversuchen ausgeführt, die von Dr. Aberle, in seiner Dissertation über „die Messung der Arterien Durchmesser am lebenden Menschen“, Tübingen 1856, durch weitere Bestimmungen ergänzt worden sind (siehe auch Archiv für physiol. Heilkunde 1856. S. 573).

Die Durchmesser können natürlich nur an solchen oberflächlichen Arterien gemessen werden, welche auf einer unnachgiebigen knöchernen Unterlage ruhen, also namentlich an der Radialarterie an der Stelle, wo der Puls gewöhnlich gefühlt wird.

Im Wesentlichen beruht das Verfahren darauf, dass ein kleines Plättchen auf die geeignete Hautstelle gelegt wird, auf welche es einen schwachen Druck ausüben muss, der eben hinreicht, dass das Plättchen noch von den Pulsationen der Ader erreicht wird. Alsdann wird das Plättchen durch aufgelegte Gewichte beschwert, sodass es immer tiefer einsinkt, bis endlich das Lumen der Arterie vernichtet wird. Die Stärke dieses Einsinkens ist somit annähernd das Maass des Arterien Durchmessers im Lichten, indem die über dem Gefäss liegenden Theile keine wesentlichen Störungen, wenigstens bei Menschen die mässig fettreich sind, einführen. Da das Plättchen einen

Schraube einstellbar auf einem 200 M. m. langen, 10 M. dicken, runden Messingstab *g*, dem Träger der ganzen Vorrichtung, der auf einem viereckigen, mit Stellschrauben versehenen Brettchen *q* ruht, welches mit einem gehörigen Gewicht beschwert wird.

Der allgemeine Träger *g* trägt eine zweite Messinghülse *h*, welche ebenfalls wieder auf *g* verschoben und fixirt werden kann. Die Hülse *h* hat ausserdem eine horizontale Bohrung, in welcher ein runder, fast 200 M. m. langer, 5 M. m. dicker Stahlstab *i* verschoben und mittelst zweier Schrauben festgestellt werden kann. Der Stab *i* macht vorn ein Knie, welches sich in zwei messingene, nach abwärts gerichtete Arme *l* spaltet. Jeder dieser Arme wird ganz nahe an seinem untern Ende durchbohrt von einer kleinen, statt der Spitze mit einer konischen Vertiefung versehenen, horizontal gestellten Schraube; der senkrechte Abstand dieser Bohrung von dem horizontalen Stab *i* beträgt 40 M. m. Die Schrauben sind bestimmt zur Aufnahme der zwei spitzen Enden einer, $1\frac{1}{2}$ M. m. dicken und 25 M. m. langen, horizontalen Axe *m* von Stahl, der Drehungsaxe des Fühlhebels, dessen einer, 50 M. m. langer Arm *n* die Schale *p* trägt, während der andere, 373 M. m. lange und allmählich spitz auslaufende Arm *n* mit der Schale *o* versehen ist.

Der lange Arm des Fühlhebels wird nun herabgelassen in die Gabel *c* und durch ein auf die Schale *p* oder die Schale *o* gelegtes kleines Gewicht so entlastet oder belastet, dass die obere Grenze der Arterie genau bestimmt werden kann. Das Plättchen *a* darf nur so tief in die Haut einsinken, dass die Fühlhebelspitze einen, kaum 1 M. m. betragenden, den Pulsbewegungen entsprechenden Ausschlag giebt. Der Arm muss natürlich während des Versuchs tadellos fixirt bleiben, was ich mittelst des Arm Brettes erreiche, das ich zur graphischen Darstellung des Radialpulses des Menschen benutze.

Bei der Anfangsstellung hat der Fühlhebel eine horizontale oder schwach nach aufwärts gerichtete Lage; nunmehr wird das Plättchen *a* durch auf die Schale *o* gelegte Gewichte comprimirt bis zur vollständigen Vernichtung des Arterienlumens, was bei einiger Vorsicht gut gelingt, indem man vermeiden muss, dass die Arterie theilweis seit-

lich ausweicht. Der von der Fühlhebelspitze zurückgelegte Weg wird an einer Gradeintheilung abgelesen; er entspricht dem 20fach vergrösserten Arterien Durchmesser im Lichten.

Um die Haut über der Arterie möglichst wenig zu spannen werden Hand und Finger leicht gebeugt erhalten. Ebenso versteht es sich, dass der Apparat nicht unnöthig belastet werden darf, denn sonst würden die über der Arterie liegenden Weichtheile einen Fehler einführen. Der relative Werth der Lumenmessung geht zur Genüge hervor aus den recht leidlich übereinstimmenden Controllmessungen, aber auch die erhaltenen absoluten Werthe entsprechen recht wohl den übrigen, chirurgischen und anatomischen, Erfahrungen, welche man über das Lumen der Radialarterie gemacht hat.

Folgendes sind die Ergebnisse der bisherigen Messungen, welche, mit Ausnahme der mit * bezeichneten, bereits publicirt worden sind. Ich gebe desshalb bloss die Endmittel an und verweise wegen der Controllmessungen auf die oben angeführten Schriften. Die römischen Zahlen bedeuten die einzelnen Versuchstage.

Verfasser.

- I. Radialisdurchmesser im Lichten, in Millimet. 3, 1.
- II. 3, 1
- III. 2, 8
- IV. 2, 9
- V. Morg. 10h 2,67 — Mittag 2h 3,25.
- VI. Morg. 10h 2,22 „ 3,33
- VII. Morg. 10h 2,40 „ 3,38
- * VIII. Morg. 11h 2,05
- * IX. Mittag 4h 3,35
- * X. Morg. 9h 2,50
- * XI. Mitt. 4h 3,50.

Dr. Aberle.

- I. Morg. 10h 2,88 — Mittag 2h 3,68
- II. „ 3,03 „ 3,41
- III. „ 2,85 „ 3,22

Stud. med. Sick.

I. Morg. 11h 1,74 — Mitt. 3h 2,45

Institutsdiener Albrecht.

I. Morg. 9h — 2,50

II. Morg. 10h 2,40 — Mitt. 3h 2,63

III. Morg. 8h 1,96 — Mitt. 2h 2,71.

Der Einfluss der Hauptmahlzeit auf das Kaliber der Radialarterie ist somit ein sehr bedeutender.

§. 18. Die Bestimmung der Querschnitte sämtlicher Haargefässe einer Blutbahn.

Diese Aufgabe ist verhältnissmässig noch am Besten zu lösen hinsichtlich der Summe der Querschnitte aller Haargefässe des Aortensystems. Ich habe (Archiv für physiol. Heilkunde 1848, S. 184) einen derartigen Versuch gemacht.

Mein Versuch stützt sich auf die Annahme, dass, abgesehen von den relativ sehr kleinen Stoffabgaben des Blutes an die Organe, genau so viel Blut aus den Capillaren des Aortensystems in die Venen überfliessen muss, als gleichzeitig aus dem linken Herzen in die Aorta einströmt. Diese Annahme ist unbestritten; sie gilt strenge für alle diejenigen Verhältnisse des Organismus, in welchen ein bestimmter Beharrungszustand des Kreislaufes eingetreten ist, sie gilt aber nicht mehr, wenn der Blutlauf irgendwie, also z. B. durch Veränderung der Herzthätigkeit eine Alteration erleidet. Jede derartige Veränderung muss aber wiederum zu einem, den jetzigen Körpervershältnissen entsprechenden Beharrungszustand des Kreislaufes führen, der ohne Zweifel im normalen Körper sehr schnell erreicht und den jetzigen veränderten Bedingungen gemäss beibehalten werden kann, während gewisse gestörte Zustände sich diesen Anforderungen weniger gut accommodiren dürften.

Das in der Zeiteinheit aus dem linken Herzen in die Aorta übergehende Blutvolum V muss also gleich sein dem Produkt der

mittleren Geschwindigkeit C des Capillarblutes in den Querschnitt sämtlicher Capillaren des Aortensystems. V und C sind leidlich gekannte Grössen, von denen zudem jeder Physiologe da oder dort häufigen Gebrauch macht. Dieser Gebrauch darf in unserem Fall somit nicht in Abrede gestellt werden. Für V nahm ich an 183 C. C. M. in der Sekunde, für C , den Weber-Valentinschen Messungen gemäss, 0,56 M. m. in derselben Zeit.

Die Summe der Capillarquerschnitte der Aortenblutbahn wäre also $= \frac{V}{C}$, d. h. etwa 3200 □ C. M. wenn man bloss die mittlere, blutkörperchenführende Schicht in Rechnung brächte, dagegen etwa 5400 □ C. M. wenn, was hier natürlich unerlässlich ist, auch die Wandschicht der Capillaren berücksichtigt wird.

Meine Behauptung V und C seien annähernd gekannt, fand Widerspruch bei Ludwig (s. dessen Physiologie, Band 2, S. 132). Derselbe läugnet geradezu die Möglichkeit die verlangten Werthe zu bestimmen, citirt aber gleichwohl an anderen Stellen, ohne Einwendungen zu machen, die Weber-Valentinschen Bestimmungen der Capillarblutgeschwindigkeit und setzt kein Misstrauen in die auf hämodromometrische Messungen basirten Annahmen Volkmann's. Er giebt auch nach Volkmann die durch eine Systole des Herzens entleerte Blutmenge zu 175 C. C. M. an (ich sage 183 C. C. M. per Sekunde). Von Volkmann's Zahl sagt nun Ludwig (a. a. O. Seite 57) „sie ist begreiflich auch nur eine angenäherte und keine allgemein gültige,“ aber bei Gelegenheit der Bestimmung der Summe der Querschnitte der Körperkapillaren äussert sich derselbe Forscher, die Werthe V und C „seien gar nicht, oder sehr mangelhaft zu ermitteln.“

Donders wirft mir vor (Physiologie, Band 1, S. 132) ich gehe von „fehlerhaften Daten“ aus. Worin die Fehler liegen, sagt Donders aber nicht. Sehen wir ob die „Daten“ von Donders — er stellt nämlich eine der meinigen ähnliche Berechnung an — besser sind als die „fehlerhaften“ seines Vorgängers. Er nimmt für die Capillargeschwindigkeit 0,8 M. m. in der Sekunde an. Ich glaube, vorsichtiger gehandelt zu haben, wenn ich die damals einzigen direkten

Angaben, die Weber-Valentin'sche Zahl, nämlich 0,56 M. m. zu Grunde legte; eine Abweichung die übrigens nicht so gross ist von der Donders'schen Zahl, um, selbst wenn letztere die richtige wäre, bei Untersuchungen wie die vorliegende, als fehlerhaft charakterisirt zu werden. Für die Aortengeschwindigkeit nimmt Donders 280 M. m. per Sekunde an; diese für die Carotis richtige Zahl ist zu nieder für die aufsteigende Aorta. Man sieht, es lässt sich an Donders Werthen viel eher noch mäkeln als an den meinigen.

Einen principiellen Verstoss von Donders kann ich aber nicht übergehn. Er nimmt nämlich gar keine Rücksicht auf die Dicke der Wandschicht der Capillaren; desshalb ist es nicht zu verwundern, dass er zu einem offenbar zu niedern Endwerth gelangt. Das Lumen aller Capillaren des Aortensystems soll nach ihm bloss 500 mal grösser sein als das der Aorta.

Ich berechnete zunächst die Summe der Querschnitte der blutkörperchenführenden Schicht der Capillaren und erhielt 3268 $\square$ C. M., also einen etwa 600 mal grössern Querschnitt als bei der Aorta ascendens. Ist nun auch die Dicke der Wandschicht in den verschiedenen Capillaren sehr verschieden und kann somit von einer exacten Mittelzahl die Rede nicht sein, so wäre doch die Einführung selbst eines nur approximativen Werthes offenbar noch besser, als die Vernachlässigung der Wandschicht wie bei Donders. Ich setzte für das Verhältniss des Querschnitts derselben zu dem Querschnitt der blutkörperchenführenden Schicht 2:3 (eine Zahl, die zu hoch sein mag) und erhielt somit für den Querschnitt der gesamten Wandschicht 2178 $\square$ C. M. Die Einführung einer besondern Geschwindigkeit für die ohnediess langsam fliessende Wandschicht wäre bei Untersuchungen dieser Art eine überflüssige Künstelei; die Geschwindigkeit der Wandschicht kann somit $= 0$ gesetzt werden. Die Summe also der Querschnitte aller Capillaren des Aortensystems wäre dann 5446 $\square$ C. M. ein etwa 1000 mal grösserer Werth als der Querschnitt der Aorta ascendens.

Diese Zahl ist, wie schon erwähnt, wohl etwas zu hoch, zumal ich selbst die Geschwindigkeit des Retinalcapillarblutes etwas grösser

finde, als die Werthe, die meiner vor 10 Jahren gemachten Berechnung zu Grunde liegen. Ich glaube somit annehmen zu können, dass der Gesamtquerschnitt des Capillarsystems der grossen Blutbahn den Querschnitt der aufsteigenden Aorta um das 800- bis 850 fache übertreffe.

Diese Zahl giebt aber, wie ich ausdrücklich hervorhebe, nur den Gesamtquerschnitt der blutkörperchenführenden Capillarität an; sie muss aber zu nieder erscheinen, gegenüber den That- sachen, zu welchen uns die microscopische Untersuchung der Durchmesser und Maschenräume der Capillaritäten der Einzelorgane führt. Da es nun feststeht, dass das vom linken Herzen in der Sekunde in das Aortensystem übergeworfene Blutvolum annähernd 180 Cub. Cent. Met. beträgt, so können wir den Widerspruch nur dann lösen, wenn wir annehmen, eine gewisse Anzahl von Capillaren, in Organen die augenblicklich minder stark functioniren, führe keine Blutkörperchen und befinde sich vorübergehend unter den Verhältnissen der Vasa serosa. Dem geringeren Stoffwechsel könnten diese plasmatischen Röhren genügen und gleichwohl alsbald im Stande sein, dem stärker andringenden Blut nachzugeben und Blutkörperchen den Durchgang zu verschaffen.

Das Fliessen in diesen zeitweiligen serösen Gefässen würde ein so langsames sein, dass die durch dieselben fliessenden Blutmengen gegenüber den übrigen Capillaren so klein wären, dass dadurch die Berechnung der Querschnittssumme der blutkörperchenführenden Capillaren nicht wesentlich influirt würde.

Ein historisches Interesse haben die Bemühungen mehrerer Forscher aus der älteren physikalischen Schule des vorigen Jahrhunderts, durch Ueberlegungen ganz anderer Art das Verhältniss der Summe der Capillarlumina zum Aortenlumen zu finden. Seit Cole auf die Eigenthümlichkeit des Arteriensystems aufmerksam gemacht hatte, dass die Summe der Querschnitte der Arterientheilungen den Querschnitt des Arterienstammes übertrifft, benutzte man diese That- sache, sowohl um die relative oder selbst die absolute Strom- geschwindigkeit des Blutes in den einzelnen Arterienprovinzen, als

auch die Querschnittsumme aller Capillaren zu bestimmen. Bei Keil, Sauvages, Bryan Robinson und Andern finden sich derartige Bemühungen. Man gieng selbst von der Ansicht aus, das Verhältniss des Stammlumens zur Summe der Astlumina sei ein konstantes, z. B. 100 : 124 nach Keil, und fügte die weitere Annahme hinzu (zum Theil auf direkte anatomische Studien und nicht immer auf bloss willkürliche Prämissen gestützt) dass die Arterien bis zur Capillarität sich in konstanten Wiederholungen theilen. Die Willkürlichkeit lag bloss darin, dass man für alle Gefässprovinzen gleiche Theilungszahlen annahm. Die Annahmen der Theilungszahlen variiren zwischen 20 — 50. Mit Hülfe dieser Grundwerthe berechnete man (nicht einmal durchgängig auf geometrisch richtige Weise!) die Summe der Capillarlumina des grossen Kreislaufs und auch die Geschwindigkeit des Capillarblutes. Eine Kritik dieser Bemühungen wäre überflüssig; das Princip verdient übrigens, wenigstens für gewisse Fragen, auch heute noch Beachtung und es ist sehr zu beklagen, dass über die Theilungen und Lumina der feineren Arterien in den einzelnen Gefässprovinzen auch heute noch die specielleren Angaben fehlen. Es ist in der That dringend geboten, die Anatomie der Circulationsorgane, neben ihren sonstigen wohlberechtigten Behandlungsweisen, auch im Sinne der Kreislaufsphysiologie eindringlicher zu bearbeiten und sie dadurch für die Haemodynamik nutzbarer zu machen, als es bisher der Fall war.

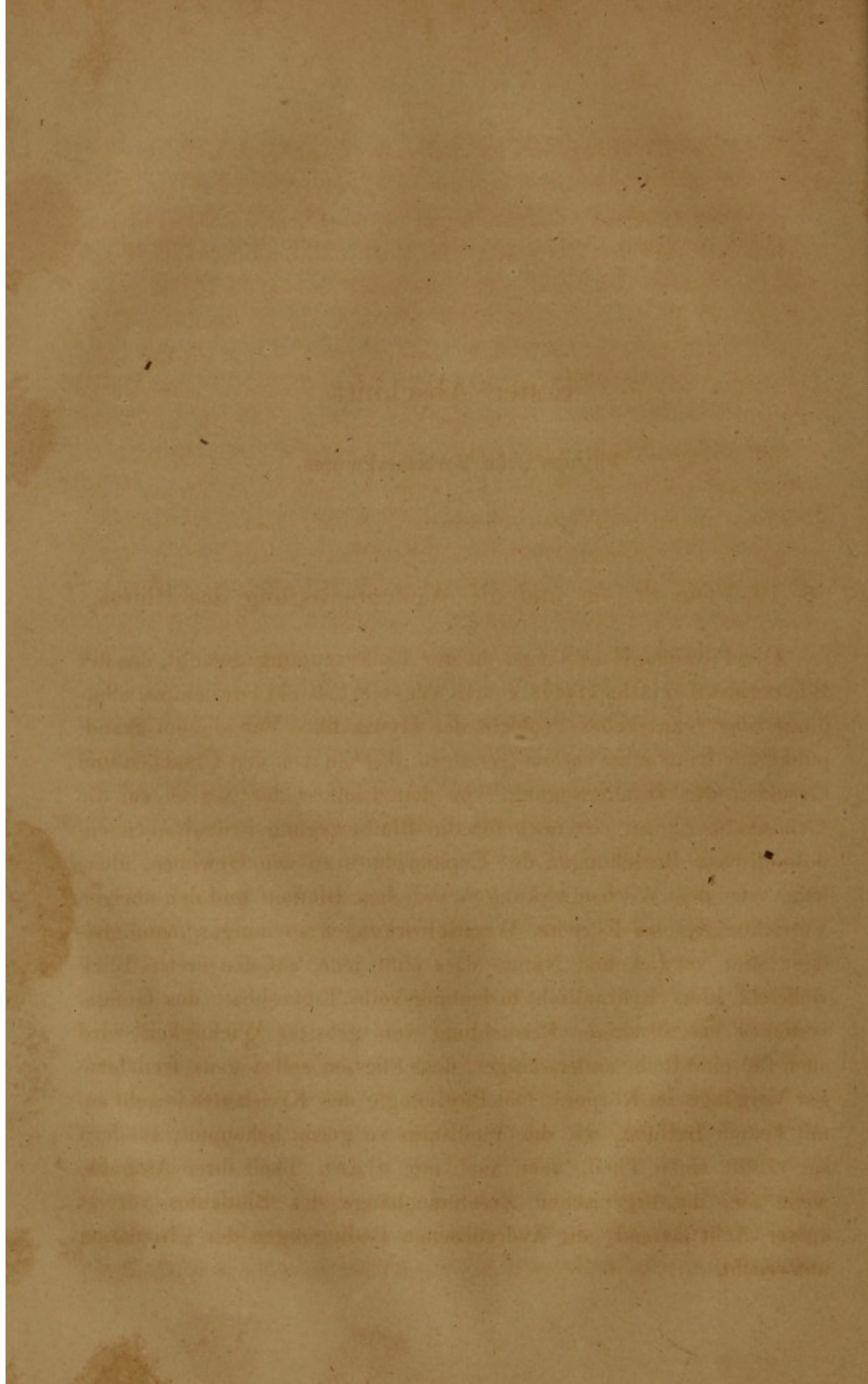
Was die Summe der Capillarlumina der einzelnen Organe betrifft, so fehlen zur Zeit leider alle specielle Angaben. Wir müssen uns desshalb auf Auskunftsmittel beschränken, die wenigstens zu ungefähren Vorstellungen führen müssen. Die mikroskopische Anatomie ist reich an Angaben über die durchschnittliche Dicke der Capillaren und die Configuration ihrer Maschenräume in den einzelnen Organen und Geweben. Es wäre geradezu ungerechtfertigt, diese sehr brauchbaren und dankenswerthen Bestimmungen unbenutzt liegen zu lassen. Für die secernirenden Drüsen wird man somit zunächst die Area der gesammten Secretionsfläche zu berechnen haben, eine Aufgabe, die schon mehrfach versucht worden ist und zwar in einer

Weise, dass diese Bemühungen auf den Werth wenigstens beiläufiger Schätzungen Anspruch machen können. Die Querschnittssumme aller Capillaren eines Secretionsorganes ergibt sich dann aus den Messungen der mittleren Durchmesser der Capillaren und der Gestalten der Capillarmaschenräume. Auch für die übrigen Organe dürfte ein derartiger vorläufiger Versuch, der freilich viel leichter zu kritisiren, als durch irgend etwas anderes Besseres zu ersetzen wäre, nicht völlig zu verwerfen sein. Als Anhaltspunkt würden hier die Volummessungen der Organe dienen. Die Querschnittssummen würden in beiden Fällen offenbar viel eher überschätzt, als zu gering taxirt werden.

Mehrere Forscher haben versucht, defibrinirtes Blut oder andere Flüssigkeiten unter, den normalen Verhältnissen möglichst nahestehenden Bedingungen (Temperatur, Druck u. s. w.) durch verschiedene Gefässprovinzen frisch getödteter Thiere durchzutreiben. Die durchlaufenden Flüssigkeitsmengen variiren aber so sehr innerhalb der einzelnen Zeiträume desselben Versuches, sie sind zudem absolut so ausserordentlich unter den normalen durchfliessenden Blutmengen, dass leider alle Auskunft fehlt, auf diesem Wege auch nur wenigstens relative Maasse für die Widerstände zu finden, welche dem Blute in den Einzelbahnen entgegenstehen.

Zweiter Theil.

Die Blutgeschwindigkeiten.



Erster Abschnitt.

Physikalische Vorbemerkungen.

§. 19. Die Strom- und die Wellenbewegung des Blutes.

Die Physiologie ist längst zu der Ueberzeugung gelangt, dass der Blutkreislauf zunächst nichts anders darstelle, als ein bestimmtes, allerdings sehr verwickeltes Problem der Hydraulik. Von diesem Standpunkt aus kann man vorerst geradezu absehen von den Ursachen und Gesetzen der Herzbewegung, von dem Einfluss der Nerven auf die Gefässkaliber, von den auch für die Blutbewegung bedeutsamen endosmotischen Beziehungen des Capillarblutes zu den Geweben, überhaupt von den Wechselwirkungen zwischen Blutlauf und den übrigen Vorrichtungen des Körpers, Wechselwirkungen so inniger, mannigfaltiger und verwickelter Natur, dass eine jede, auf den ersten Blick vielleicht bloss hydraulisch bedeutungsvolle Eigenschaft des Gefässsystemes bei allseitiger Betrachtung von grösster Wichtigkeit wird auch für eine Reihe anderweitiger, dem Fliessen selbst ganz fremdartiger Vorgänge im Körper. Die Physiologie des Kreislaufes begeht somit keinen Irrthum, wie der Vitalismus so gerne behauptet, sondern sie erfüllt einen Theil, aber auch nur einen Theil ihrer Aufgabe, wenn sie, die organischen Zusammenhänge des Blutlaufes vorerst ausser Acht lassend, die hydraulischen Bedingungen der Circulation untersucht.

Das Blut zeigt zweierlei Arten von Bewegung: die Strom- und die Wellenbewegung. Die strenge Scheidung beider Vorgänge und die richtige Würdigung der Herzthätigkeit gegenüber beiden Arten von Blutbewegung bildet eines der grössten Verdienste, die sich die Gebrüder Weber um die Physiologie überhaupt erworben haben. (S. besonders: E. H. Weber, über die Anwendung der Wellenlehre auf die Lehre vom Kreislauf des Blutes u. s. w. Berichte der sächsischen Gesellschaft der Wissenschaft, 1850, S. 164; auch abgedruckt in Müller's Archiv 1851, S. 497.)

Vermöge der Strombewegung rücken die hinteren Bluttheilchen an die Stelle der vorderen, indem die beständig vorhandene grössere Spannung hinterwärts eine entsprechende beständige Bewegung der Theilchen nach vorwärts in der Richtung des geringeren Druckes verursacht und somit das Gleichgewicht zwischen allen Theilen des Blutes gleichzeitig gestört ist. Diese Art von Bewegung kommt in sämtlichen Abschnitten des Gefässsystemes vor, jedoch so, dass die Geschwindigkeit in den verschiedenen Abschnitten des Systems ausserordentlich, nämlich ungefähr um das Sechshundertfache verschieden ist.

Die Wellenbewegung dagegen charakterisirt sich durch Gleichgewichtsstörungen anderer Art. Letztere werden an einem bestimmten Orte vorübergehend erregt und in der Blutmasse eine gewisse Strecke entlang fortgepflanzt, so zwar, dass das Gleichgewicht nicht gleichzeitig in allen Theilen in entsprechender Weise gestört ist.

Man unterscheidet zwei Arten von Blutwellen: 1) Positive oder Spannungswellen. Die Spannung des Blutes wird an einer bestimmten Stelle vermehrt entweder durch Eintreibung neuer Blutmasse (z. B. durch die Systole der linken Herzkammer in die Aorta) oder durch verstärkten Druck von Aussen auf eine gewisse Gefässstrecke (z. B. bei der Expiration auf die grossen Arterien und Venen der Brusthöhle.)

Pflanzt sich die Spannungswelle fort in der Richtung der Strombewegung, so erhalten die an und für sich schon vorwärts fliessenden Bluttheilchen, während sie Theil nehmen an der Spannungswelle, eine

verstärkte Bewegung nach vorwärts und zwar so, dass die Geschwindigkeitszunahme wächst, dann ein Maximum erreicht, hierauf wieder abnimmt und endlich Null wird, sodass nunmehr die Theilchen wieder bloss die der Strombewegung entsprechende Geschwindigkeit zeigen. Pflanzte sich aber die Spannungswelle fort, entgegen der Richtung der Strombewegung, z. B. während der Ausathmung von den grossen Venen im Brustraum gegen die ausserhalb dieses Raumes befindlichen Venen, so nimmt die Geschwindigkeit des Vorwärtsfliessens in diesen Venen allmählig ab.

2) Negative oder Erschlaffungswellen. Die Blutspannung wird an einer bestimmten Stelle vermindert, entweder durch plötzliche theilweise Entleerung eines Gefässes (z. B. der Aorta ascendens während der Diastole des linken Ventrikels bei Insufficienz der Aortensemilunaren) oder durch Abnahme des äussern Drucks auf eine gewisse Gefässstrecke (z. B. bei der Inspiration auf die im Thoraxraum befindlichen Gefässe).

Pflanzt sich die Erschlaffungswelle fort entgegen der Richtung des Blutstroms, so wird das Vorwärtsfliessen begünstigt (z. B. stärkeres Fliessen in den dem Herzen nahen Venen während der Inspiration). Das Entgegengesetzte tritt ein bei der Fortpflanzung der Abspannungswelle in der Richtung des Blutstromes; die Blutgeschwindigkeit ist z. B. bei Insufficienz der Aortensemilunaren entweder geringer als in der Norm, oder doch jedenfalls geringer als der bedeutenden durch den systolischen Ventrikel erregten positiven Welle gemäss zu erwarten wäre.

Die Strombewegung des Blutes findet ihr Maass in der Geschwindigkeit der strömenden Bluttheilchen, die Wellenbewegung dagegen 1) in der Schnelligkeit, mit welcher die örtlich erregte Spannungsänderung des Blutes sich fortpflanzt und 2) in der Geschwindigkeits- und Spannungs-Änderung, welche das in Folge der Strombewegung fliessende Blut zeigt, wenn eine Welle durch dasselbe durchgeht. Die Blutwelle ist nicht wie der Blutstrom eine sich bewegende Masse, sondern eine längs einer Gefässstrecke sich fortbewegende Form, die ihren äussern Ausdruck findet in Spannungs- und Caliberveränderun-

gen der Gefässe und deren Inhalt. Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wellenbewegung des Blutes ist, wie die Versuche der Gebrüder Weber zeigen, ausserordentlich grösser als die Stromgeschwindigkeit des Blutes.

§. 20. Die Spannungsunterschiede des Arterien- und Venenblutes als nächste Ursache der Strombewegung.

Das Herz wurde von jeher als die eigentliche Ursache des Kreislaufes betrachtet, ohne das man jedoch die richtigen Ausdrucksweisen gefunden hatte für die Beziehungen desselben zur Strom- und Wellenbewegung des Blutes.

Die Brüder Weber stellten zuerst den Satz auf: die Strombewegung hängt ab von den Spannungsunterschieden des arteriösen und venösen Blutes; die Herzthätigkeit ist die direkte Ursache der wichtigsten Arten von Wellenbewegungen des Blutes, während sie auf die Strombewegung nur indirekt einwirkt, indem durch die Herzpumpe der Druck des Arterienblutes beständig auf einer gehörigen Höhe erhalten und dadurch der zum raschen Fliessen erforderliche bedeutende Spannungsunterschied des Arterien- und Venenblutes erreicht wird. Mit dieser so klar wie bündig ausgesprochenen Grundansicht waren eine Menge unfertiger und halbwarer Detailansuungen über das Strömen und die Pulswellen einfach beseitigt.

Jede der beiden Blutbahnen, die Körper- und die Lungenblutbahn kann im Allgemeinen verglichen werden mit zwei Wasserbehältern, deren Wasserhöhen sehr ungleich sind, sodass durch eine die Böden der Behälter verbindende Röhre ein Fliessen in der Richtung des geringeren Wasserstandes erfolgt. Bleibt die Druckdifferenz in beiden Behältern gleich, so wird beständig dieselbe Wassermenge in den venösen Behälter überströmen; ein solcher Beharrungszustand findet im Organismus in der That so lange Statt, als die verschiedenen Functionen in derselben relativen Thätigkeit verharren. Die Capillaren des grossen Kreislaufes entleeren dann genau ebensoviel Blut in die Venen, als die Aorta in gleicher Zeit Blut erhält vom linken Herzen,

woraus wieder folgt, dass beide Herzkammern in gleicher Zeit gleiche Blutmassen überführen in ihre zugehörigen Gefässbahnen. Diese wichtige Grunderscheinung dient als Ausgangspunkt für verschiedene, die Blutgeschwindigkeiten betreffenden Folgerungen.

Die Strombewegung des Blutes wird also so lange vollkommen unverändert bleiben, als einerseits Zahl und Ausgiebigkeit der Herzkontraktionen und andererseits die auf das Fliessen influirenden Widerstände und Begünstigungsmomente gleich bleiben, namentlich die Weite und Elasticitäten der Gefässe, die endosmotischen Wechselbeziehungen zwischen Blut und Geweben und die verschiedenen, den Blutlauf bestimmenden accessorischen Druck- und Saugwirkungen, also besonders die Athembewegungen und die Muskelthätigkeiten.

Verändert sich mit der Herzthätigkeit die in die Arterien übergetriebene Blutmenge, so tritt ein neuer Zustand ein, der aber schnell wieder, falls das Herz in seiner nunmehrigen Thätigkeit fortfährt, zu einem neuen Beharrungszustand des Fliessens und der Blutspannungen führen muss.

Die Brüder Weber stellten die Behauptung auf, dass das Herz den mittleren Blutdruck nicht verändern, sondern nur ungleich machen könne. Der Ausdruck „mittlere Blutspannung“ kann (selbst wenn wir absehen von ganz anderen Bedeutungen, die man ihm schon beigelegt hat) in etwas verschiedener Weise definirt werden, am einfachsten als mittlere Spannung aller in sämtlichen Gefässen enthaltenen Blutmolekeln. Der erste Theil der Weber'schen Behauptung hat mit Recht Widerspruch erfahren von Volkmann, Donders und Ludwig. Der Letztere hat (bei Brunner, in Henle's und Pfeiffer's Zeitschrift, 1854, 5. Band S. 338) die Verhältnisse mittelst eindringlicher theoretischer Ueberlegungen näher untersucht. Die Capazität des Arteriensystemes ist bekanntlich viel geringer als die der Venen, also muss bei einer Verminderung der Arterienlumina der mittlere Radius der Venen absolut viel weniger wachsen als er in den Arterien abnimmt; während umgekehrt eine geringe Abnahme des mittleren Venenradius eine starke Zunahme des arteriösen Radius bedingt. Würden wir selbst den mittleren Ela-

sticitätscoëfficienten der Arterien und Venen gleich setzen, so würden die elastischen Kräfte bei Abnahme der Arterien- und Zunahme der Venencapacität offenbar viel weniger in Anspruch genommen als im umgekehrten Fall; der mittlere Blutdruck in dem oben angegebenen Sinne wird alsdann nothwendig abnehmen müssen, während er wachsen muss im umgekehrten Fall.

§. 21. Die Spannung des ruhenden Blutes.

Das Blut fährt, dem über die Strombewegung Gesagten zufolge, selbst dann noch fort, aus den Arterien in die Venen überzuströmen, wenn die Herzwirkung aufgehoben ist, so beim intermittirenden Herzschlag, bei der electrischen Reizung der N. n. vagi, beim Anlegen einer Ligatur um eine Arterie. Die Geschwindigkeit des Ueberströmens muss aber, wenn eine Anzahl Herzschläge ausbleiben, schnell abnehmen, wobei die rasch und bedeutend sinkende arterielle Blutspannung natürlich sehr viel mehr in Betracht kommt als die langsam und unbedeutend wachsende venöse Spannung.

Brunner (s. den vorigen Paragraphen) hat einige Versuche angestellt, um die Spannung des ruhenden Blutes experimentell zu bestimmen, indem er die den Blutstrom unterhaltenden Umstände so lange ausser Wirksamkeit zu setzen suchte, bis sich die arteriöse und venöse Blutspannung möglichst ausgeglichen hatte. Dieses wurde zu erreichen gesucht durch Aufhebung der Herz- und Athembewegungen mittelst Reizung der N. N. vagi und durch Vernichtung der Gliederbewegungen mittelst Chloroforminhalationen. Die Drücke wurden in der Jugularis und Carotis, oder auch nur an letzterer allein gemessen.

Ich habe vor mehreren Jahren, als ich das Haemodynamometer noch für ein exactes Instrument hielt, eine Anzahl noch nicht veröffentlichter Versuche an Hunden über die arterielle Blutspannung beim Erstickungstod ausgeführt; auch hier wäre annähernd zu erwarten, dass im Moment des Todes eine der Spannung des ruhenden Blutes entsprechende Grösse gemessen worden ist. Wie dem aber auch sein

mag, so glaube ich jedenfalls, in meinen Versuchen Anhaltspunkte zur Kritik dieser Technik überhaupt gewonnen zu haben.

Brunner fand, dass die Spannung des ruhenden Blutes variire zwischen wenigen Millimetern Hg. Druck bis selbst 29 M. m.; dass sie grösser ist bei Vagusreizung, geringer in der Chloroformnarcose und dass endlich die arteriösen Spannungen sehr bedeutend sinken, die venösen dagegen etwas, doch nur wenig wachsen. Auch ich erhielt bedeutende Abnahmen des arteriellen Blutdruckes bei meinen Erstickungsversuchen. Geringe arterielle Blutdrücke fand in manchen Fällen, besonders in den lethalen, auch Gall in seiner Dissertation: über die Spannung des Arterienblutes in der Chloroformnarcose, Tübingen 1856, von welcher ich im Archiv für physiologische Heilkunde 1856, Heft 2, einen kurzen Auszug gegeben habe.

Ich muss nach meinen Erfahrungen in Abrede stellen, dass die wahre mittlere Spannung der gesammten ruhenden Blutmasse überhaupt ein Gegenstand eines sicher messenden Experimentes werden kann und zwar aus folgenden Gründen:

1) Bei der Einsetzung des Haemodynamometers in eine Arterie fand ich bald, wenn in der Agonie des Thieres die Hgsäule bedeutend gesunken war und auf diesem Stand verharrte, dass ein schwaches Einblasen von Luft in den langen Schenkel des Dynamometers das Hg. bis auf Null herabdrückte, worauf dann entweder nur ein ganz unbedeutendes, den früheren Stand nicht erreichendes, oder selbst gar kein Steigen erfolgte. Diese Erfahrung beweist zur Genüge, dass wir es jetzt nicht mehr mit freien Communicationen des ganzen Röhrensystems des grossen Kreislaufes zu thun haben; dass man somit Gefahr läuft, bloss eine lokale und durchaus nicht die jetzige mittlere Spannung des Blutes zu messen. Theoretische Gründe unterstützen diese Ansicht; es müssen jetzt offenbar äussere Drucke an verschiedenen Stellen auf die nunmehr sehr nachgiebigen Gefässe einwirken, wodurch die ungehinderte Communication gestört und die Erzielung eines durchgreifenden hydrostatischen Gleichgewichts unmöglich gemacht wird. An den Venen kann man, nebenbei gesagt, auch unter normalen Verhältnissen, ähnliche Erfahrungen machen, dass durch

Einblasen von Luft in den langen Dynamometerschenkel die willkürlich veränderte Blutspannung eine Zeitlang auf ihrer künstlichen Höhe verharren kann. Die Messung der venösen Blutspannungen wird dadurch überhaupt sehr erschwert und manche der betreffenden Angaben sind mit grosser Vorsicht aufzunehmen.

2) Brunner selbst ist es nicht entfernt gelungen, gleichzeitig übereinstimmende Blutdrücke in den Arterien und Venen zu erhalten. Seine 4 Versuche ergaben folgende Hgdruckhöhen in M. m.

	Arterie	Vene
	13,3	3,8
	16,1	6,6
	27,5	2,8
	(später 21,8)	
(nach dem Tode)	1,9	5,3

Können, wie wir finden, schon die Arterien nicht mehr unter den erwähnten Verhältnissen als vollkommen mit einander communicirende Röhren betrachtet werden, so ist das natürlich noch viel weniger der Fall, wenn es sich um allseitige freie Communicationen der Arterie und Venen handelt. Zudem müssen die Venenklappen, besonders in den dem Herzen näher liegenden Venen, absperrend wirken, also Blutspannungen rein lokaler Natur bedingen, die mit den übrigen unmöglich ganz gleich sein können.

3) Die Organe des kleinen Kreislaufes müssen von eingreifendem Einfluss sein. Kann das rechte Herz länger oder energischer in Thätigkeit bleiben als das linke und ist auch wohl der Thoraxraum weniger verringert, so wird sich im kleinen Kreislauf mehr Blut anhäufen, die mittlere Spannung im grossen Kreislauf also abnehmen müssen. So erkläre ich mir die von Brunner gemachte Erfahrung, dass die Spannung des ruhenden Blutes bei fortgesetzter Vagusreizung grösser ist als bei der Chloroforminhalation im Augenblick des Todes; im erstem Fall wird der kleine Kreislauf weniger blutreich sein.

Nach einer bekannten Erfahrung häuft die Blutmasse sich vorzugsweise in den grossen Venen an, wenn der Tod so erfolgte, dass die Lungen voll und ausgedehnt sind, während die venöse Ueberfüllung geringer wird wenn der Thoraxraum gemindert ist.

4) Die Blutmenge selbst variirt bei diesen Versuchen. Bei abnehmender Spannung des arteriellen Blutes tritt Ernährungsflüssigkeit in das Gefässsystem zurück; die Bedingungen sind nicht mehr genau vergleichbar zwischen dem fliessenden und dem ruhenden Blut; man erhält also wohl zu grosse Spannungswerthe für das letztere. Brunner begegnet diesem Einwand durch die Erfahrung, dass der arterielle Blutdruck sogleich nach Beendigung der Vagusreizung wieder den früheren Werth zeigt. Es wäre nunmehr ein höherer arterieller Druck zu erwarten; die Venen könnten sich übrigens verhältnissmässig langsam entleeren und die stärkere Endosmose schnell ausgleichend wirken.

Aus den Versuchen Brunner's kann also bloss der auch durch theoretische Gründe gestützte Schluss gezogen werden, dass das Herz 1) die Blutdrücke in Arterien und Venen ungleich macht und 2) die mittlere Spannung des Blutes sehr bedeutend vermehrt.

§. 22. Das Strömen in gleich weiten geraden Röhren.

Das Strömen von Flüssigkeiten durch Röhren kann bekanntlich in sehr verschiedener Weise eingeleitet werden; in allen Fällen aber ist die Kraft, welche den Vorgang unterhält, ausdrückbar durch die Höhe einer Flüssigkeitssäule (von einem bestimmten specifischen Gewicht) über der Mündung der Röhre. Wir können somit auch die Kraft, welche die Strombewegung des Blutes vermittelt, ausdrücken durch die Höhe h einer Blutsäule, deren unteres Ende in freier Kommunikation steht mit dem Anfangsstück der Aorta, so dass die letztere beständig mit Blut gespeist wird. Diese Höhe beträgt für den linken Ventrikel mindestens etwa 2 bis selbst 3 Meter. Wir können diesen Werth allerdings nicht direkt bestimmen, doch ist es nicht wahrscheinlich, dass derselbe um eine sehr beträchtliche Grösse den in der Carotis gemessenen Blutdruck übertreffen werde.

Würde das Fliessen ohne jeden Widerstand erfolgen, d. h. könnte das in der Aorta enthaltene Blut dem Drucke a tergo schnell genug ausweichen, so müsste das Aortenblut eine Geschwindigkeit

erlangen, derjenigen gleich, die ein Körper besitzt, der durch den Raum von 2—3 Meter herabgefallen ist. Den Fallgesetzen zufolge ist die in Metern ausgedrückte Sekundengeschwindigkeit eines durch h Meter herabgefallenen Körpers $= \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot h}$, wobei 9,81 Meter bekanntlich die Geschwindigkeit bedeutet, welche ein auf der Oberfläche der Erde fallender Körper am Ende der ersten Sekunde des Fallens erlegt hat. Die Aortenblutgeschwindigkeit müsste somit $6\frac{1}{4}$ — $7\frac{2}{3}$ Meter in der Sekunde betragen, eine Geschwindigkeit die ausserordentlich viel, nämlich etwa um's Zwanzig- bis Dreissigfache grösser ist, als die wirkliche. Es greifen also sehr bedeutende, das Fliessen hemmende Widerstände ein; die Kraft h wird somit nicht bloss verwendet, um das Fliessen des Blutes in seiner wirklichen Geschwindigkeit zu veranlassen, sondern auch um den beim Fliessen sich geltend machenden Widerständen das Gleichgewicht zu halten. Beide Kräfte können wiederum ausgedrückt werden durch die Höhen zweier Blutsäulen: der Widerstandshöhe w und der viel geringeren Geschwindigkeitshöhe f , sodass $w + f = h$.

Der Geschwindigkeit von c Metern entspricht eine Geschwindigkeitshöhe von $= \frac{c^2}{19,62}$ Metern, nach deren Abzug von h die Widerstandshöhe zurückbleibt.

Der Bau des Blutgefässsystemes und die Beschaffenheit der in demselben strömenden Flüssigkeit ziehen bedeutende Hemmungen des Fliessens nach sich, welche sich in den peripherischen Schichten jedes Gefässquerschnittes am stärksten geltend machen. Bei der mikroskopischen Beobachtung des Fliessens in nicht zu engen Haargefässen unterscheidet man in der That zwei, mit sehr verschiedenen Geschwindigkeiten begabten Schichten des Blutstromes: die blutkörperchenführende, rasch fliessende centrale und die bloss aus Blutflüssigkeit bestehende, viel langsamer strömende peripherische Schicht. Diese Erscheinung muss sich, wenn auch mit ganz anderen Verhältnissen beider Schichten, wiederholen in den Blutgefässen jeden Calibers.

Am stärksten gehemmt sind diejenigen Bluttheilchen, welche die Gefässwandung unmittelbar berühren, in Folge der Adhaesion zwi-

schen Blut und Gefässwandung. Man kann die Vorwärtsbewegung der äussersten, unendlich dünnen Blutschichte geradezu $= 0$ setzen; der Ortswechsel wird hier bloss vermittelt durch in kleinster Ferne wirkende Kräfte, in den relativ grösseren Gefässen nämlich durch die Diffusion, die einen Austausch ermöglicht mit der nächstliegenden inneren Blutschichte, wozu in den Capillaren noch die endosmotische Wechselwirkung mit dem Parenchym der Organe hinzukommt.

Das Blut fliesst somit gewissermaassen innerhalb einer Röhre, deren Wandung von einer minim dünnen Schicht von Blutplasma gebildet wird, eine Vorstellung, welche eine weitere Stütze durch die Thatsache erhält, dass das Material der Röhrenwandung ohne Einfluss ist auf das Fliessen. Die Molekeln der zweitäussersten concentrischen Blutschicht müssen sich somit losreissen von denen der äussersten Schicht; dadurch wird ihr Fliessen gehemmt, um so mehr als die äusserste Schicht sich im Zustand der Ruhe befindet. Ebenso müssen die Molekeln der dritten concentrischen Schicht sich losreissen von der zweiten, der Kraftverlust wird aber hier etwas geringer sein, da auch die zweite Schicht in Vorwärtsbewegung begriffen ist. Die Hemmungen nehmen also gegen das Centrum des Gefässes ^{ab} und die Geschwindigkeitsdifferenzen der centraleren concentrischen Schichten sind so gering, dass sie bei irgend etwas weiteren Gefässen nicht mehr in Betracht kommen. Wir haben somit in jedem Querschnitt eines Blutgefässes zu unterscheiden die, natürlich unbestimmbaren, Partialgeschwindigkeiten der einzelnen concentrischen Blutschichten und die mittlere Geschwindigkeit in dem ganzen Querschnitt. Indem man in einen weiten Behälter seitlich und unmittelbar über dem Boden desselben eine längere Röhre einsetzt, kann der beim Strömen eingreifende Widerstand unmittelbar anschaulich gemacht werden. Will man dabei die ursprüngliche Kraft h konstant erhalten, so ist für unveränderliche Höhe des Wasserspiegels über der Mündung der Röhre zu sorgen. Ist die Röhre überall gleich weit, so müssen die Stromgeschwindigkeiten, also auch die Geschwindigkeitshöhen, in jedem Röhrenabschnitt gleich sein, sowie denn auch die Widerstände in jeder Röhrenperipherie offenbar gleich sind.

Um die Geschwindigkeitshöhe unmittelbar zu zeigen, lässt man das Wasser aus dem Röhrenende in einem senkrecht nach aufwärts gerichteten Strahl ausfliessen; die Höhe dieses Strahles ist erheblich viel geringer als h , das Wasser also in der Röhre verlor den grössten Theil seiner bewegenden Kraft; h also wurde vorzugsweis verwendet, um sich mit den Widerständen ins Gleichgewicht zu setzen. Durch Rechnung dagegen findet man die Geschwindigkeitshöhe, Obigem zufolge, aus der beobachteten Geschwindigkeit, welche letztere erhalten wird durch Division der in der Zeiteinheit ausgelaufenen Wassermenge mit dem Röhrenquerschnitt.

In der That zeigt sich, wenn man in den Verlauf der Röhre einige Glasröhren (sogen. Druckmesser) in gleichen Abständen von einander senkrecht einsetzt, dass die Wasserhöhen in den verschiedenen Druckmessern gegen die Ausflussmündung hin abnehmen und zwar in unserem Falle so, dass die Wasserstände in einer geraden, gegen den Behälter hin, aufsteigenden Linie liegen, was nicht anders sein kann, da ja den Bedingungen gemäss die ursprüngliche Kraft h in jedem Röhrenabschnitt in gleicher Weise abnehmen muss. Die Wasserhöhe in einem Druckmesser plus der (für den ganzen Verlauf der überall gleich weiten Röhre gleichen) Geschwindigkeitshöhe giebt somit die Kraft h' , welche von der ursprünglichen Kraft h noch übrig geblieben ist. Die Druckmesser sind also, bei Röhren von gleicher Weite, in der That Widerstandsmesser, d. h. der Druckmesser giebt das Maass der Widerstände an, welche dem Fliessen zwischen Druckmesser und Ausflussmündung der Röhre entgegenstehen.

Die Erfahrungen der Hydrauliker haben zu einer näheren Analyse einer Anzahl von Einzelmomenten geführt, welche den Gesamtwiderstand bedingen, der einer in einer Röhre strömenden Flüssigkeit entgegensteht. Da die nächsten molekulären Ursachen der Stromhemmungen unbekannt sind, so dürfen unsere Annahmen nichts präjudiciren über die hier in letzter Instanz allein in Betracht kommenden mechanischen Wirkungen der Flüssigkeitstheilchen unter sich und auf die Röhrenwandung.

Unsere Betrachtungen beziehen sich vorerst nur auf gerade, in ihrem ganzen Verlauf gleich weite und ausserdem nicht allzu enge Röhren. Ein Theil der hemmenden Wirkungen folgt als nothwendige Consequenz aus dem Vordersatz: dass die Hemmungen zunächst von der Röhrenwandung ausgehen. Desshalb müssen die Widerstände allemal wachsen, wenn die Berührungen zwischen Flüssigkeit und Röhrenwandung vermehrt werden, was geschehen kann durch Vergrösserung der Länge oder der Peripherie der Röhren, oder endlich der Geschwindigkeit des Strömens.

1) Röhrenlänge. Da die Stromgeschwindigkeit, den Bedingungen gemäss, in allen Röhrenquerschnitten dieselbe ist, so setzen auch sämtliche Röhrenperipherien gleiche Reibungen, die Widerstände müssen also proportional sein den Röhrenlängen. Lässt man Wasser aus einem Behälter durch verschieden lange Röhren ausfliessen, so ist die Höhe der Wassersäule eines in das Anfangsstück der Röhre eingesetzten Druckmessers das Maass des Widerstandes zwischen dem Druckmesser und der Ausflussmündung der Röhre; die Höhen der Wassersäulen in dem Druckmesser steigen mit zunehmenden Röhrenlängen. So war z. B. in einer, mit verschiedenen langen Röhren, aber gleichen Stromschnellen angestellten Versuchsreihe von Volkmann die Wasserhöhe des Druckmessers $\frac{1}{2}$ Meter bei einer Röhrenlänge von 2 Meter, während einer Röhrenlänge von 1 M. eine Widerstandshöhe von bloss $\frac{1}{4}$ M. entsprach.

2) Röhrenquerschnitt. Die Hemmungen müssen zunächst wachsen mit zunehmender Peripherie der Röhre, oder was dasselbe ist, mit zunehmendem Röhrendurchmesser. Gleichzeitig nimmt dann aber auch die freifliessende Wasserschicht zu. Wenn es sich um die mittleren Widerstände im ganzen Röhrenquerschnitt handelt, so vertheilt sich die hemmende Wirkung auf alle Flüssigkeitstheilen des Querschnittes, also auf eine im quadratischen Verhältniss der Durchmesser wachsende Wassermasse; die Wirkungen der Röhrendurchmesser d werden somit ausgedrückt durch $\frac{d}{d^2}$, d. h. die Widerstände verhalten sich umgekehrt wie die Durchmesser.

Diese Betrachtung lässt aber die Dicke der gehemmten Schicht ausser Acht, welche bei engeren Röhren von Bedeutung wird; wir hätten also, wenn m diese Dicke ausdrückt, als proportionale Hemmung den Ausdruck $\frac{md}{d^2}$, d. h. die Widerstände wuchsen rascher als die Durchmesser abnehmen. Sind d Durchmesser, w Widerstand, d^1 und w^1 die correspondirenden Werthe für eine andere Röhre, so hat man $\frac{w}{w^1} = \frac{d^1}{d}$ also $wd = w^1 d^1$, wobei sich in der That zeigt, dass beide letzteren Produkte nicht gleich sind für alle Röhrendurchmesser, sondern mit abnehmenden Durchmessern wachsen, da wegen dickerer gehemmter Schicht m^1 in der engeren Röhre $w \frac{md}{d^2}$ nicht gleich ist $w^1 \frac{m^1 d^1}{d^{12}}$.

Volkman n z. B. erhielt folgende Werthe:

d Röhrendurchmesser in M. m.	w	wd
12,87	128	1648
7,03	244	1720
4,59	415	1904
2,86	766	2191

3) Stromgeschwindigkeit. Schnelleres Fliessen vermehrt die Berührungen zwischen Wandung und Flüssigkeit und zwischen den mit verschiedenen Geschwindigkeiten begabten concentrischen Flüssigkeitsschichten. Alle Versuche, den Vorgang aus der mechanischen Wirkung der Theilchen unter sich und auf die Röhrenwand näher erklären zu wollen, sind bis jetzt erfolglos gewesen. Die Erfahrung hat gezeigt, dass bei verschieden schnellem Fliessen durch Röhren die Widerstände nicht im einfachen Verhältniss der Geschwindigkeiten wachsen, eher noch, wenigstens bei grösseren (im Organismus nicht mehr vorkommenden Geschwindigkeiten) annähernd im quadratischen Verhältniss der Stromschnellen. Es bleibt somit

nichts übrig, als die Ergebnisse der Versuche mit variirenden Geschwindigkeiten an derselben Röhre zu ordnen nach irgendwie steigenden Potenzen der veränderlichen Grösse (unserer Blutgeschwindigkeiten c), um die mit den Geschwindigkeitspotenzen verbundenen Coëfficienten ($a—b$ u. s. w.), die zumeist vom Röhrendurchmesser und der Beschaffenheit der Flüssigkeit selbst abhängen, berechnen zu können. Hergebrachter Weise wählt man die 1te und 2te Potenz der beobachteten Geschwindigkeiten, indem schon die 3te vernachlässigt werden kann. Es ist somit der Widerstand $w = b v + a v^2$.

Um a und b annähernd zu finden, kann man sich mit zwei Versuchen begnügen, in welchen die Widerstandswerthe w und w^1 für zwei verschiedene Geschwindigkeiten c und c^1 bestimmt werden.

Wenn

$$w = a v^2 + b v$$

$$w^1 = a v^1{}^2 + b v^1$$

so wird

$$a = \frac{\frac{w}{v} - \frac{w^1}{v^1}}{v - v^1}$$

und aus Gl. I, a als bekannt vorausgesetzt,

$$b = \frac{w}{v} - av.$$

Verwendet man aber eine Reihe von Beobachtungen mit variablen Geschwindigkeiten, so lassen sich die Coëfficienten a und b mittelst der Methode der kleinsten Quadratsummen schärfer bestimmen.

Die Röhren von bloss einigen Millimetern Durchmesser, die wir gewöhnlich zur Erläuterung der hydraulischen Grunderscheinungen des Kreislaufs anwenden, gestatten durchaus nicht die Einführung constanter Werthe für a und b , sodass dieselben für jede Röhre besonders gefunden werden müssen. Man kann alsdann für die gegebene Röhre und diesselbe Flüssigkeit den mit jedweder Geschwindigkeit verbundenen Widerstand annähernd genau von vornherein bestimmen.

Aus einer Versuchsreihe von Volkmann wähle ich einige Resultate aus. Die benutzte Röhre hatte einen Durchmesser von 1,6 und eine Länge von 500 M. m.

Geschwindigkeiten in M. m.	Gefundene Berechnete	
	Widerstandshöhe in M. m. einer Wassersäule	
1853	1824	1795
1406	1299	1304
1065	942	945
682	576	588

Eine ähnliche Uebereinstimmung zwischen Rechnung und Versuch dürfte unter solchen Verhältnissen selten sein. Die Coëfficienten sind in dieser Versuchsreihe

$$a = 0,00009116$$

$$b = 0,79921$$

Eine Reihe von Widerstandsursachen liegt endlich in den Verhältnissen der Flüssigkeit selbst. Die bekanntesten sind:

1) Temperatur. Die Widerstände nehmen ab mit wachsender Temperatur, eine Wirkung die besonders in engeren Röhren deutlich wird und deren Grösse variirt nach der Natur der Flüssigkeiten.

2) Natur der Flüssigkeit. In sehr bemerkenswerther Weise variiren die Widerstände bei verschiedenem Fluida und zwar, wie es scheint, viel weniger in Folge von Differenzen gewisser nächstliegenden physikalischen Charactere als ihrer chemischen Zusammensetzung. Das Nähere wird beim Fliessen in Capillarröhren angegeben.

Was sodann die mittleren Geschwindigkeiten betrifft, so müssen sie abnehmen mit zunehmender Röhrenlänge, mit abnehmendem Durchmesser, mit sinkender Temperatur, sowie sie auch in einem, jedoch keinen allgemeinen Ausdruck zulassenden, Zusammenhang stehen mit der Natur der Flüssigkeit selbst. Endlich folgt auch aus dem früher Gesagten, dass die Geschwindigkeiten wachsen müssen mit zunehmender Intensität der den Vorgang überhaupt unterhaltenden Kraft,

also unserer Druckhöhe h . Da aber die letztere gleich ist der Geschwindigkeitshöhe f plus der Widerstandshöhe w , so muss mit steigendem h nicht bloss f , sondern auch das viel grössere w wachsen. Die Zunahmen von f und w können aber nicht ganz übereinstimmend erfolgen, da f im rein quadratischen Verhältniss der Geschwindigkeit wächst ($f = \frac{v^2}{2g}$), während das Verhältniss von w zu den Geschwindigkeiten ausgedrückt wurde durch $bv + av^2$, was bei zunehmendem h ein relativ etwas geringeres Wachsthum von w verlangt. Die Werthe $\frac{h}{w}$ und $\frac{h}{f}$ sind also keine konstanten; $\frac{h}{w}$ nimmt bei steigendem h etwas zu, während $\frac{h}{f}$ etwas abnimmt. Für die Oekonomie des Butlaufes scheint dieses hydraulische Gesetz von Wichtigkeit zu sein; ein stärkerer Umtrieb des Blutes wird vermittelt durch eine Zunahme der Arbeit des Herzens, also unserer Druckkraft h . Die Geschwindigkeitshöhe wächst dann allemal relativ stärker als die Widerstandshöhe, die grössere Herzthätigkeit kommt somit dem Strömen in erhöhtem Maasse zu gut, mit anderen Worten es wird etwas Herzkraft gespart. Wir werden in der Elasticität der Arterien eine weitere Ursache kennen lernen, welche die Widerstände bei zunehmendem h einigermaassen verringert und den Umtrieb grösserer Blutmengen begünstigt.

§. 23. Das Strömen in ungleich weiten geraden Röhren.

Eine Röhre sei z. B. in 3 gleich lange Theile getheilt, deren Querschnitte sich verhalten sollen wie 2 : 4 : 1. Die in jedem der 3 Theile enthaltenen Wasservolume werden somit den Querschnitten proportional sein; der Inhalt des letzten Drittels wird sich 4 mal entleeren, bis der des mittleren 1 mal und der des ersten Röhrendrittels 2 mal sich entleert hat. Die Stromgeschwindigkeiten verhalten sich demgemäss umgekehrt wie die Querschnitte, oder, was in runden Röhren dasselbe ist, wie die Quadrate der Durchmesser. Die Geschwindigkeitshöhen verhalten sich somit in den 3 Abschnitten wie 4 : 1 : 16. Die Widerstände sind am stärksten in dem letzten engsten Drittel;

setzt man eine Anzahl Druckmesser in gleichen Abständen von einander ein, so ergiebt sich in der That, dass die Druckhöhen in zwei benachbarten Druckmessern am meisten differiren in dem engsten, am wenigsten in dem weitesten Röhrenabschnitt. Die Höhen der Wasserstände liegen somit nicht, wie das bei den in gleichen Abständen von einander in eine gleich weite Röhre eingesetzten Druckmessern der Fall war, in einer von der Ausflussmündung gegen das Reservoir hin gleichmässig aufsteigenden Geraden. Summirt man zu diesen Widerstandshöhen die zukommenden Geschwindigkeitshöhen, so erhält man für den betreffenden Röhrenquerschnitt den von der ursprünglichen Kraft h übrig gebliebenen Rest der Stromkraft h^1 ; die einzelnen h^1 können eben so wenig gegen die Ausflussmündung stetig abnehmen; die Abnahmen sind natürlich am stärksten in dem engsten Röhrentheil.

Endlich tritt noch, ausser den im Verlauf jedes Röhrenabschnittes bedingten Widerständen, ein sehr bemerkenswerther Widerstand auf an den zwei Stellen, wo das Caliber unseres Röhrensystemes sich verändert; welcher sich (gleichgültig ob die Röhre weiter oder enger wird) durch eine plötzliche Abnahme von h^1 an dieser Uebergangsstelle bemerklich macht. Kommt ein Flüssigkeitstheilchen aus dem ersten in das zweite Röhrendrittel, so wird, unserer Annahme gemäss, seine Geschwindigkeit auf die Hälfte herabgesetzt; die jezige Geschwindigkeitshöhe beträgt somit bloss $\frac{1}{4}$ der frühern. Ein an dieser Uebergangsstelle eingesetzter Druckmesser zeigt, dass der Druck am Anfang des zweiten Röhrendrittels selbst etwas grösser ist als am Ende des ersten Drittels, eine Erscheinung, die nichts Auffallendes hat, wenn man bedenkt, dass $h^1 = \text{Widerstandshöhe} + \text{Geschwindigkeitshöhe}$, sodass, wenn die Abnahme der letzteren sehr bedeutend ist, trotz der von Querschnitt zu Querschnitt, namentlich aber an dieser Uebergangsstelle, eintretenden Minderung von h^1 die Widerstandshöhe wieder etwas wachsen kann.

Man sieht endlich noch, dass in unserem Röhrensystem der an einem beliebigen Querschnitt gemessene Druck nicht gleich sein

kann dem Widerstand, der bis zur Ausflussmündung noch zu überwinden ist; der Druckmesser ist somit unter den jetzigen Verhältnissen nicht mit Genauigkeit als Widerstandsmesser anzusehen.

§. 24. Das Strömen in verzweigten Röhren.

Von den sehr mannigfaltigen Anordnungsweisen, die hier getroffen werden können, soll nur eine hervorgehoben werden, welche an die Verhältnisse des Organismus einigermaassen erinnert und zudem geeignet ist, manche anderen verwandten Anordnungen zu subsumiren. Eine Röhre A (sie mag Aorta heissen) spaltet sich in zwei Röhren O und o, welche ungleiche Stromhemmungen setzen und später sich wieder in eine gemeinsame Röhre V (Vene) vereinigen, die von gleichem Caliber wie A sein soll. Die Röhren O und o stellen somit die, zweien verschiedenen Organen angehörigen Gefässsysteme (zuführende Arterie, Capillaren und rückführende Vene) dar. Der Einfachheit wegen sollen O und o in ihrem ganzen Verlauf die Kaliber nicht ändern, dagegen soll o eine starke und plötzliche Biegung erhalten und einen geringeren Querschnitt zeigen als O, die nur allmählig und wenig gekrümmt sei und eine geringere Länge habe als o. Es wird somit O geringere Stromhemmungen setzen als o. Die Summe der Querschnitte von O und o sei endlich grösser als die Querschnitte von A.

Während wir es in den geraden, gleich weiten Röhren mit concentrischen Flüssigkeitsschichten zu thun hatten, also mit Wasserfäden, die zur Längsaxe der Röhre parallel, in gerader Richtung aber mit ungleichen Geschwindigkeiten sich an einander fortbewegen, sodass ein mässiger Kraftverlust durch die Reibungen der verschieden schnell fliessenden Theilchen gesetzt wird, muss dieser Parallelismus gestört werden zunächst an den Theilungs- und Vereinigungsstellen des Systems. Die concentrischen Flüssigkeitsschichten im früheren Sinn sind hier nicht mehr vorhanden, die Theilchen müssen andere Stromrichtungen aufsuchen und sich an diesen Stellen stärker reiben. Ausserdem müssen sich die Richtungen der strömenden Wassertheil

chen ändern an den Krümmungen und Röhrenwinkeln. Erfolgt die Krümmung plötzlich (in o), so stösst die Wassermasse gegen die konvexe Seite der Röhrenwand, wodurch ein neuer Kraftverlust gesetzt wird; dieser muss um so grösser werden 1) je kleiner die Röhrenwinkel und 2) je grösser die Strömgeschwindigkeiten sind und zwar werden die Hemmungen wachsen annähernd im quadratischen Verhältniss der Geschwindigkeiten. Erfolgt die Krümmung der Röhre aber allmählig, so ist die Richtungsveränderung der Theilchen in jedem Augenblick nur unbedeutend, die nach aussen konvexe Seite der Röhrenwand erhält somit auch minder starke Stösse, die Stromhindernisse sind demnach geringer. In allen Fällen aber muss das Wasser schneller fliessen in dem der konvexen Seite näher liegenden Theil des Röhrenquerschnittes.

Da die Summe der Querschnitte O und o grösser ist als der Querschnitt von A, so erfolgt in ersteren das Strömen langsamer; am langsamsten aber natürlich in der engsten Röhre o, in welcher die Drucke grösser sind als in correspondirenden Punkten von O. An den Enden von O und o sind die Drucke gleich. An diesen Stellen tritt die mit der Kaliberveränderung verbundene Hemmung wieder ein; zudem treffen die beiden Ströme von O und o zusammen, wodurch ein neuer Kraftverlust bedingt wird; da aber der Strom O weniger geschwächt wurde, so wird der Abfluss aus o durch den Strom O mehr gestört, als umgekehrt, ein neues Moment, welches den grösseren Druck in o bedingen hilft.

Eine bemerkenswerthe Erscheinung zeigt sich noch, wenn man die Drucke von correspondirenden Stellen von O und o mit einander vergleicht (also z. B. je im ersten, oder im zweiten u. s. w. Viertel beider Röhren). Im Anfang von O sinkt der Druck rascher als im Anfangsstück von o, während es sich in den Endstücken umgekehrt verhält. Diese durch das hydraulische Experiment gefundene Thatsache scheint einer völlig genügenden Erklärung nicht zugänglich zu sein; hinsichtlich der Erklärungsversuche verweise ich auf Ludwig's Physiologie (Band II. S. 46).

Endlich mag noch die Bemerkung nicht unterlassen bleiben, dass, den Erfahrungen der Hydrauliker zufolge, die Röhrenwinkel allemal dann nur geringen verzögernden Einfluss auf die Stromgeschwindigkeiten üben, wenn die Summe der übrigen Widerstandsur-sachen bedeutend ist. Solche Bedingungen finden sich in der That im Organismus, sodass man mit Recht annimmt, dass z. B. die Arteriencurvaturen nur in ganz geringem Grad mässigend auf den Andrang des Blutes wirken, eine Bedeutung, die ehemals bei Weitem überschätzt worden ist.

§ 25. Das Strömen in Haarröhrchen.

Die Versuche der Physiker, namentlich Poiseuille's, über das Fliessen in sehr engen Röhren sind für die Haemodynamik von Wichtigkeit, einmal weil in den Capillaren des Organismus ähnliche Bedingungen wiederkehren und andererseits, insofern der Einfluss der Natur der Flüssigkeit auf den Strömungsvorgang an solchen Gefässen am leichtesten ersichtlich ist.

Die Geschwindigkeiten verhalten sich auch hier umgekehrt proportional den Röhrenlängen, ein Resultat, das sich von selbst versteht. Hinsichtlich des Einflusses der Röhrendurchmesser und der Druckhöhen bieten aber die Capillaren bemerkenswerthe Abweichungen dar. Schon in den relativ weiten Röhren haben wir gesehen, dass die Widerstände rascher zunehmen als die Durchmesser abnehmen, eben weil mit wachsendem Abnehmen der Durchmesser die Dicken der gehemmten Schichten im Verhältniss zu den nicht gehemmten steigen. Diese Wirkung muss sich am stärksten geltend machen in Capillaren, wo die gehemmte Schicht sogar eine unmittelbar messbare Dicke hat, sodass in einem Querschnitt einer Capillare von einer bestimmten Feinheit die Area der gehemmten Schicht selbst grösser wird als die Area der fliessenden. Der Versuch hat nun in der That gezeigt, dass in feinen Capillaren die Geschwindigkeiten sich verhalten wie die zweiten Potenzen der Durchmesser, während sie in weiteren Röhren, annähernd wenigstens, den einfachen Durch-

messern proportional sind. Ausserdem zeigen noch die Capillarströme das bemerkenswerthe Ergebniss, dass ihre Geschwindigkeiten einfach proportional sind den Druckhöhen.

Endlich ist die Stromschnelle in Capillaren in hohem Grade abhängig von der Natur der Flüssigkeiten, eine Thatsache, die übrigens erst an wenigen Flüssigkeiten geprüft worden ist. Die besten Versuche verdankt man wiederum Poiseuille. Wässrige Lösungen von Salzen der Alcalien strömen etwas geschwinder durch Capillaren als destillirtes Wasser; der Einfluss des Salzes macht sich bereits geltend bei ziemlich diluirten Lösungen; die Geschwindigkeiten nehmen zu mit steigender Menge des gelösten Salzes und sind überhaupt variabel mit der Natur des angewandten Salzes. Zusätze von gewissen Säuren oder von Alcohol zum Wasser vermindern die Geschwindigkeiten. Von besonderem physiologischen Interesse ist die Thatsache, dass das Serum fast noch einmal so langsam, das defibrinirte Blut ungefähr 6 mal langsamer durch die Capillaren strömt als destillirtes Wasser. Es sei hier nochmals erinnert, dass das Material der Röhrenwandung auf den Vorgang ohne Einfluss ist.

Zweiter Abschnitt.

Die hämotachometrischen Mittelwerthe und die Grundgesetze der durchschnittlichen Stromgeschwindigkeiten.

§. 26. Die arteriellen und venösen Blutgeschwindigkeiten.

Indem wir hier bloss die mittleren normalen Geschwindigkeiten betrachten, lassen wir die von dem Puls und zahlreichen sonstigen Einflüssen abhängigen Geschwindigkeitsänderungen vorerst ganz unberücksichtigt. Es genügen übrigens die Angaben der Stromgeschwindigkeiten keineswegs, indem sich aus denselben nichts entnehmen lässt über die durch die Arterie strömenden Blutmassen, die für die Lehre vom Stoffwechsel viel wichtiger sind als die Blutgeschwindigkeiten. Aber auch die Kenntniss der strömenden Blutmassen würde noch ziemlich vereinzelt und unverwerthbar dastehen, ohne die Berücksichtigung der Gewichtsverhältnisse der Thiere.

Die zahlreichen, mittelst des Haemodromometers ausgeführten Versuche von Volkmann und Lenz, welche übrigens lediglich die Geschwindigkeiten mitgetheilt haben, muss ich in ihren Endergebnissen voranstellen. Jede der folgenden Zahlen drückt die Sekunden-
geschwindigkeit in Millimetern aus, und bezieht sich auf ein specielles Versuchsthier. Die eingeklammerten Werthe geben die Anzahl der etwaigen Controllmessungen an.

Kalb (A. carotis).

Versuche von Lenz: 127 (5) — 241 (8) — 268 (4) — 250 (2)
262 — 423 — 344 — 394 — 183 — 131 — 237 — 121 (2) —
138 (2) — 126 — 184 — 88 (??).

Versuch von Volkmann: 431.

Ziege (A. carotis).

Volkmann: 358 — und 2 junge Thiere: 280 — 240.

Schaaf (A. carotis).

Volkmann: 241 — 287 — 241 — (dasselbe Thier später: 281)
— 350 (3).

Pferd: Versuche von Volkmann.

Carotis: 306 — 431 — 220 (4) — 254 (geschwächtes Thier).

Art. metatarsi 56 M. m.

Art maxillaris 232 (Carotis 306) — 99 (Carotis 431).

Hund.

A. cruralis: 114 (Lenz).

A. carotis: Lenz: 194—173.

Volkmann: 273 — 262 — 357 — 329 (3) — 280
— 338 — 205.

Die Mittelwerthe für die Carotisgeschwindigkeiten sind demnach:

Kalb: 232 M. m.

Hund: 268 M. m.

Schaaf: 280 M. m.

(Ziege: 293 M. m.)

Pferd: 303 M. m.

Ueber die mittlere arterielle Blutgeschwindigkeit im Normalzustande habe ich 15 Versuche an Hunden angestellt.

7 Versuche ergaben für die Carotis eine Sekundengeschwindigkeit von 261 Millimetern, eine Zahl, die mit der Volkmann'schen Mittelzahl nahezu identisch ist, was um so bemerkenswerther erscheint, als die von uns angewandten Technicismen im Princip ganz verschieden sind. Die in 1 Sekunde durch die Carotis fließende Blutmenge beträgt im Endmittel 2,88 Cub. Cent. M. Das Endmittel der Körpergewichte beläuft sich auf 10,1 Kilogr., der Carotisquerschnitte auf 11,0 □ M. m. Die Geschwindigkeiten sind in den 7 Versuchen der Reihe nach: 106 — 226 — 256 — 273 — 301 — 322

342 Millimeter. Die in der Sekunde durch die Carotis strömenden Blutmassen betragen 1,31 — 1,92 — 2,57 — 2,70 (2 mal) — 2,71 — 6,40 (sehr grosses Thier) Cubikcentimeter.

8 Versuche ergaben mir für die Art. cruralis eine mittlere Sekundengeschwindigkeit von bloss 162 M. m.; für die in 1 Sekunde durch dieses Gefäss strömende Blutmenge 1,63 C. C. M. Das Endmittel der Cruralisquerschnitte beträgt 10,0 □ M. m., der Körpergewichte (bei 3 Thieren fehlen die Angaben) 10,9 Kilogr.; sodass wegen nicht erheblicher Differenzen der beiderseitigen Körpergewichtsmittel die Versuche an der Cruralis ganz wohl mit denen an der Carotis verglichen werden können. Die Cruralisgeschwindigkeiten sind in den 8 Versuchen: 128 — 137 — 138 — 157 — 164 (2 mal) — 173 — 237 M. m. Die in einer Sekunde durchströmenden Blutmassen betragen 0,92 — 1,13 — 1,19 — 1,22 — 1,46 — 1,47 — 1,65 — 3,79 (sehr grosses Thier) Cub. Cent. Met.

Das Endmittel der Carotisgeschwindigkeiten in den, von Volkmann, Lenz und mir benutzten 5 Säugethiergattungen beträgt 274 Millimeter in 1 Sekunde.

Die erheblich geringere Blutgeschwindigkeit in der Cruralarterie gegenüber der Carotis, wenigstens in Hunden, ist durch meine Versuche, sowie ein Experiment von Lenz sicher konstatirt. Volkmann's Versuche an kleineren Gefässen aus diesen beiden Stromgebieten scheinen auf ein gleiches Verhältniss hinzudeuten. Die Querschnitte der A. cruralis und carotis sind in meinen Versuchen nahezu dieselben (die Differenz beträgt bloss $\frac{1}{11}$ zu Gunsten der Carotis), ein Resultat, welches auch am Menschen konstatirt worden ist. Das langsamere Fliessen in den Hinterextremitäten ist um so auffallender, als letztere zusammengenommen beim Hunde schwerer sind als der Kopf, sodass, unter Erwägung der gewiss nicht unbedeutenden Blutzufuhr durch die Vertebralarterien zum Gehirn, mit Sicherheit geschlossen werden kann, dass die Organe des Kopfes eine absolut und relativ erheblich grössere Blutzufuhr erhalten als die hinteren Gliedmaassen.

Die Versuche Volkmann's an mittelgrossen, den Instrumenten noch zugänglichen Arterien zeigen, dass auch hier die Geschwindigkeiten noch ziemlich bedeutende sind (56 bis über 200 Millimeter), sodass wir mit Bestimmtheit annehmen können, dass das Blut vom linken Herzen aus in sehr wenigen Sekunden in den kleinsten Arterien ankommen muss.

Die Versuche über die durch grössere Venen strömenden Blutmassen dienen eigentlich nur als Controlle der Blutgeschwindigkeiten in den entsprechenden Arterien und werden gewissermaassen durch die an den Arterien gewonnenen Resultate überflüssig. Volkmann bestimmte mittelst des Dromometers bei einem Hunde die Sekundengeschwindigkeit des Blutes in der Jugularvene zu 225 Millimeter. Mein 11. Tachometerversuch vergleicht die durch die Carotis und äussere Jugularis derselben Seite bei einem 20 Kilogr. schweren Hunde fliessenden Blutmengen; für die Carotis ergeben sich in 1 Sekunde im Mittel 6,24, für die Jugularvene dagegen 4,3 C. C. M. Blut. Die Lumenbestimmungen in den Venen des Leichnams sind bekanntlich sehr viel ungenauer als in den Arterien, indem die Messungen an mit Injectionsmasse gefüllten Venen nothwendig viel zu hohe Werthe ergeben. Wir können Angesichts der Venenkaliber des Leichnams bloss im Allgemeinen einräumen, dass das Venenblut in einem breiteren Strombett fliesst als das entsprechende Arterienblut, dürfen aber aus der direkt ermittelten venösen Geschwindigkeit schliessen, dass das venöse Strombett in mittelgrossen Venen etwa um $\frac{1}{3}$ (bei den gewöhnlichen Füllungsgraden und den durchschnittlichen Blutvertheilungen im Arterien- und Venensystem) weiter sei als das des entsprechenden arteriellen Strombettes. Ein fernerer Beweis für ein schnelles Fliessen in den grössern Venen liegt auch in den Ergebnissen der später zu betrachtenden Infusionsversuche. Was endlich die kleinen, unmittelbar aus der Capillarität entspringenden oder doch derselben nahe liegenden Venen betrifft, so zeigt die mikroskopische Beobachtung, dass die Geschwindigkeit des Blutes hier etwas kleiner ist als in den entsprechenden kleinen Arterien; genauere vergleichende Messungen fehlen jedoch zur Zeit noch

§. 27. Die Stromgeschwindigkeiten in den Hauptprovinzen des Arteriensystemes.

Die Kenntniss der arteriellen Stromgeschwindigkeit in einem oder wenigen Gefässen gestattet eine Reihe weiterer Anwendungen auf das Fliessen im Arteriensystem überhaupt.

Vor allem ist der Versuch gerechtfertigt, die vom linken Herzen in die Aorta eingetriebenen Blutmassen zu berechnen und somit einen der nothwendigsten haemotachometrischen Grundwerthe annähernd zu bestimmen. Ist die Stromschnelle in der Carotis bekannt, so kann unter der Voraussetzung gleicher Geschwindigkeit in der Subclavia die Stromschnelle in der Anonyma und unter der weiteren Voraussetzung derselben (?) Geschwindigkeiten in der Anonyma und der Aorta unterhalb der Abgabe der Anonyma, die Geschwindigkeit des Blutes in der aufsteigenden Aorta bestimmt werden. Aus den Caliberbestimmungen der betreffenden Gefässe erhält man sodann auch die durch dieselben strömenden Blutmassen. Volkmann behauptet mit Recht von einer derartigen Betrachtung, dass dieselbe keine sehr erheblichen Fehler einführen könne. Die Carotisgeschwindigkeit ist heutzutage keine willkürliche Grösse mehr und es handelt sich somit vorzugsweise um die Caliberbestimmungen der Gefässe, welche sicherlich mit keinen grossen Fehler behaftet sein können. Der Irrthum, dem man hier ausgesetzt ist, wird für das Blutvolum einer Systole der linken Herzkammer kaum $\frac{1}{8}$ des Gesamtwertes betragen.

Volkmann berechnet in runder Zahl die Stromschnelle in der Aorta ascendens auf 400 Millimeter in der Sekunde und das mit einer Systole in die Aorta eingetriebene Blutquantum auf 188 Grammen beim Menschen.

Ich will versuchen, gestützt auf meine Experimente mit dem Haemotachometer eine ähnliche Berechnung anzustellen. Ich werde Krause's treffliche Messungen der Gefässkaliber zu Grunde legen, ausserdem aber auch einige Messungen die ich an Präparaten der hiesigen anatomischen Sammlung angestellt habe an Stellen der Ge-

fässe, von denen Krause keine Messungen angiebt. Ich muss bemerken, dass meine übrigen Messungen an den gedachten Präparaten mit denen Krause's ganz leidliche Uebereinstimmungen gezeigt haben. Krause giebt übrigens nicht an, ob seine Messungen auf injicirte oder nicht injicirte Gefässe sich beziehen. Wir werden von folgenden Querschnittswerthen, in Quadrat-Millimetern ausgedrückt, ausgehen: Carotis 63, Subclavia 99, Anonyma 144, Aorta hinter dem Abgang der Anonyma 439. Setzen wir die Geschwindigkeit des Blutes in der Carotis (meinen Versuchen gemäss) = 261 M. m. so fliessen in einer Sekunde durch die Carotis des Menschen 16,4 C. C. M. Blut; durch die Subclavia, unter Annahme gleicher Geschwindigkeit wie in der Carotis, 25,8 C. C. M.; also haben wir für die Anonyma 42,2 C. C. M. in einer Sekunde. Für den Arcus aortae unmittelbar nach Abgabe der Anonyma kann ich nicht, mit Volkmann, dieselbe Geschwindigkeit wie in der Anonyma annehmen; es würden sich unter dieser Voraussetzung zu kleine Blutmassen für die Carotis und Subclavia sinistra ergeben und wir werden viel sicherer gehen, wenn wir für beide letzteren Gefässe zusammen dieselbe Blutmasse annehmen wie für die Anonyma. Dann aber muss für den Arcus aortae unterhalb der Abgabe der Anonyma eine etwa um $\frac{1}{4}$ grössere Blutgeschwindigkeit angenommen werden. Somit würden durch dieses Gefäss strömen 171 C. C. M. Für die Aorta ascendens hätten wir dann 203 C. C. M., wozu etwa noch 4 C. C. M. zu rechnen sind für die Kranzarterien des Herzens. Die Aorta würde somit in einer Sekunde empfangen 207 C. C. M. = 219 Grammen Blut. Da auf eine Sekunde $1\frac{1}{3}$ Kammer-systolen fallen (72 Pulse in einer Minute), so kommen auf eine Kammer-systole 172 C. C. M. = 180 Grammen Blut, eine Zahl, die mit der Volkmann'schen so gut wie identisch ist. Von welchen, gegenwärtig überhaupt noch zulässigen Grundwerthen man auch ausgehen mag, man wird zu keinen Resultaten gelangen, die von den Volkmann'schen und dem meinigen sehr erheblich abweichen können.

Wir können nunmehr weiter gehen und den Versuch machen, die durch die Hauptprovinzen des Arteriensystemes fliessenden Blut-

mengen zu bestimmen. Für derartige Berechnungen glaube ich folgende Anhaltspunkte aufstellen zu können:

1) Man bestimme den Querschnitt einer grossen Arterie an ihrem Anfang und an ihrem Ende. Unter der, wenn die Arterie gross und nicht allzulang ist, annähernd gestatteten Voraussetzung, dass die Stromgeschwindigkeiten am Anfang und Ende nicht wesentlich verschieden seien, erhält man die in den Anfang der Arterie einströmende und die aus ihrem Ende ausströmende Blutmenge. Die letztere ist zufolge des hier geringern Querschnittes kleiner als das Einflussquantum, das Deficit kann somit nur durch die von der Arterie in ihrem Verlauf entspringenden Aeste abgeflossen sein. Ich glaube, dass dieses Verfahren zahlreicher und brauchbarer Anwendungen fähig ist, besonders dann, wenn die Gefässkaliber noch schärfer als gegenwärtig bestimmt sein werden.

Durch die Aorta unterhalb der Abgabe der Anonyma strömen in einer Sekunde 171,4 C. C. M. Blut; für die linke Carotis und Subclavia müssen wir offenbar gleiche Blutmengen annehmen, wie für die Anonyma, somit fliessen in den Anfang der Aorta descendens thoracica 139,2 C. C. M. Blut in einer Sekunde. Der Querschnitt dieses Gefässes beträgt an seinem Anfang 397, an seinem Ende 323 Quadrat M. m. Unter der Annahme gleicher Geschwindigkeiten am Anfang und Ende der Aorta descendens thoracica strömen in die Aorta abdominalis über 114 C. C. M., sodass 25 C. C. M. durch die Zweige der Aorta thoracica abfliessen würden. Der Anfang der Aorta abdominalis hat ein Lumen an 323, das Ende an 224 Quadrat M. m. Unter Annahme gleicher Geschwindigkeiten im ganzen Verlauf der Aorta abdominalis würden in die iliacae communes noch überfliessen 79 C. C. M. Blut in einer Sekunde; die Aorta hätte somit vom Anfang der Aorta thoracica bis zu ihrer Theilung in die iliacae abgegeben 60 C. C. M. Die Summe der Querschnitte aller Zweige der Aorta thoracica und abdominalis bis zur Sacralis media beträgt 460. Quadrat M. m., die Sekundengeschwindigkeit in den Anfängen aller dieser Zweige, die engen und weiten zusammen genommen, betrüge demnach 130 M. m., eine für viele dieser Zweige, also gerade diejenigen, welche das meiste

Blut abführen, offenbar zu niedere Zahl. Da ausserdem unsere Annahme einer gleichen Geschwindigkeit am Anfang der Aorta thoracica und am Ende der Aorta abdominalis nicht ganz richtig sein kann, so müssen wir die in die Aortazweige abströmende Blutmenge etwas erhöhen, die der iliacae etwas vermindern, etwa um $\frac{1}{5}$, sodass wir noch etwa 63 C. C. M. für die iliacae setzen können. Dann würden 76 C. C. M. auf die Aortazweige kommen, also eine mittlere Blutgeschwindigkeit von 165 M. m. in der Sekunde, eine ganz annehmbare, jedenfalls eher zu kleine, als zu hohe Grösse.

Das Lumen einer iliaca communis beträgt 103 Quadrat M. m., legen wir das von Paget gefundene Verhältniss zwischen dem Querschnitt des Endes der Aorta und beider iliacae zu Grunde, so würden wir für eine iliaca erhalten 99 Quadrat M. m., wenn wir von der Krause'schen Zahl des Querschnitts der Abdominalaorta ausgehen. In eine iliaca strömen somit ein 31,5 C. C. M., deren Geschwindigkeit 306 M. m. (ein etwas zu hoher Werth) betragen würde. Der Querschnitt der hypogastrica ist bloss $\frac{1}{3}$ des Querschnitts der iliaca externa, somit würden, bei gleichen Geschwindigkeiten in beiden Gefässen, 10,5 C. C. M. in die hypogastrica, 21 C. C. M. in die iliaca externa strömen. Der Querschnitt der iliaca ext. ist $\frac{1}{3}$ grösser als der der Cruralis an der Stelle, an welcher ich meine Tachometerversuche anstellte. Somit gehen 4,2 C. C. M. Blut über in die Zweige der femoralis oberhalb der bezeichneten Stelle, welche bloss noch 16,8 C. C. M. Blut in einer Sekunde erhält. Der Querschnitt der Cruralis ist = 63 Quadrat M. m.; die Geschwindigkeit des Blutes wäre also 266 M. m., also dieselbe, wie in der gleich weiten Carotis. Die Tachometerversuche haben ermittelt, dass durch die Cruralarterie des Hundes viel weniger Blut strömt, als durch die Carotis; es ist aber unwahrscheinlich, dass dieser Unterschied der Stromgeschwindigkeiten auch beim Menschen, wenigstens in ähnlichem Grade, vorhanden sei, dessen untere Extremitäten relativ stärkere Leistungen zu vollführen haben und relativ viel entwickelter sind als die Hinterextremitäten des Vierfüssers. Ich gebe übrigens gern zu, dass die von mir berechnete Blutgeschwindigkeit der Cruralarterie des Menschen etwas

zu hoch sein kann und kann wohl auch auf die bekannte Erfahrung verweisen, dass Aderlässe am Fuss verhältnissmässig geringe Blutmengen auch beim Menschen ergeben.

2) Die Vergleichung der Querschnitte der Venen eines Organes mit denen eines andern Organes giebt, vorausgesetzt dass beide Venen nicht allzuweit von einander in eine gemeinsame Vene münden, ebenfalls einen approximativen Anhaltspunkt zur Schätzung der beiderseitigen durchströmenden relativen Blutmassen. So zeigt z. B. die Vena hypogastrica ungefähr dasselbe Querschnittsverhältniss zur Vena iliaca externa, wie die gleichnamigen Arterien, nämlich 1 : 2, worin eine weitere Bestätigung unserer, für beide Arterien angenommenen Blutmengen liegen dürfte.

Unstatthaft wird eine solche Vergleichung der Venenquerschnitte bei solchen Gefässen, deren Stromgebiete sehr weit von einander entfernt sind. Die Querschnitte der Venae cava inferior und superior verhalten sich etwa wie 22 : 10; die durchströmenden Blutmengen können aber durchaus nicht diesen Verhältnisszahlen entsprechen, die Cava inferior muss viel weniger begünstigt sein. Sehen wir ab vom System der Azygos, so entsprechen die Stromgebiete der Carotiden und Subclaviae etwa dem Gebiete der Cava superior. Wir erhielten früher für die genannten 4 Arterien einen Zufluss von 84 C. C. M. Blut in einer Sekunde, für das System der Aorta thoracica und abdominalis dagegen von 119 C. C. M., ein Verhältniss etwa wie 2 : 3. In diesem Verhältniss mögen annähernd etwa auch die Gewichte der Körpertheile oberhalb und unterhalb des Arcus aortae zu einander stehen. Die Vergleichung der Querschnitte würde also viel zu grosse Blutmassen für die Cava inferior, gegenüber der Cava superior ergeben.

3) Gehen zwei Arterien verschiedenen Calibers ausschliesslich zu einem Körpertheil, dessen räumliche Ausbreitung sich verhältnissmässig genauer bestimmen lässt, so kann man die durch jede Arterie strömende relative Blutmenge berechnen unter der Voraussetzung, dass wiederum die räumliche Ausdehnung der von jeder Arterie versorgten Körperstelle gemessen werden kann. Die Querschnitte der

Arteria mesaraica superior und mesaraica inferior verhalten sich zu einander wie 8,8 : 1. Der Flächenraum der von der Mesaraica superior versorgten Darmstrecke beträgt nach *Krause* 1620 Quadrat-Zoll, von den unbedeutenden Ramificationen in den Kopf des Pancreas können wir absehen. Der Flächenraum des von der Mesenterica inferior versorgten Darmstückes ist dagegen = 171 Quadrat-Zoll, also haben wir ein Verhältniss wie 9,4 : 1. Es strömen somit durch beide Arterien Blutmassen, die den beiderseitigen Querschnitten nahezu proportional sind, jedoch so, dass die Mesaraica superior relativ etwas begünstigter ist. Würden die stromhemmenden Wirkungen der Gefässcaliber im Organismus in eingreifenderer Weise sich geltend machen, so wäre nicht wohl einzusehen, wie die von sehr engen Gefässen versorgten Theile die richtigen proportionalen Blutmengen zugeführt erhalten könnten; es werden also wahrscheinlich Compensationsmomente eingreifen, welche dem stromhemmenden Einfluss der Gefässcaliber in Gefässprovinzen mit enger Hauptarterie bis zu einem gewissen Grade entgegenwirken.

§. 28. Die Capillarblutgeschwindigkeit.

Die ungeheure Erweiterung des Strombettes in sämmtlichen Capillaren des Aortensystems bedingt daselbst eine bemerkenswerthe Verlangsamung des Fliessens. Die Erscheinungen der Capillarcirculation in durchsichtigen Theilen sind so häufig beschrieben worden, dass ich mich auf wenige Bemerkungen beschränke.

Ascherson hat (*Müller's Archiv*, 1837, S. 453) einige für die Capillarcirculation wichtige Eigenschaften der Blutkörperchen hervorgehoben, namentlich deren Glätte und Schlüpfrigkeit und ihre bemerkenswerthen elastischen Eigenschaften. Desshalb gleiten dieselben auch im grössten Gedränge leicht und ohne Störung an einander vorbei; sowie sie auch befähigt sind, sich als längliche, spindelförmige Körperchen durch solche Capillaren hindurchzuzwängen, welche enger sind als die Breite eines Körperchens beträgt. Ascherson hat mehrere Versuche angestellt über die oft ganz wunderlichen

Formen, welche diese Gebilde bei äusseren Drucken annehmen und über die Schnelligkeit, mit welcher sie nach aufgehörendem Drucke die frühere Gestalt wieder erlangen. Ich habe, wenn ich Blutkörperchen zwischen zwei Glasplatten brächte, ihre Formveränderungen öfters in sehr schönen Anschauungen vor mir gehabt. Es bilden sich unter Umständen Inseln von ruhenden Blutkörperchenaggregaten, welche durch engere oder breitere Blutströmchen von einander getrennt sind. Dabei kommt es dann und wann vor, dass einzelne, in den Strombetten liegende Körperchen an der Wandung des Glases festsitzen; sie nehmen dann eine vollkommen birnförmige Gestalt an, die Spitze ist fixirt, während das dicke sackförmige Ende im Blutstrome flottirt. Hört der Strom auf oder wird er sehr schwach, so gewinnt das Körperchen schnell seine frühere Gestalt. Die farblosen Körperchen zeichnen sich den farbigen gegenüber dadurch aus, dass sie viel weniger vollkommen elastisch und nicht so schlüpfrig an ihrer Oberfläche sind, weshalb sie öfters entweder an den Gefässwandungen oder unter sich vorübergehend adhären.

Die Hüllmembran der Körperchen übt einen Druck aus auf ihren Inhalt, der ohne Zweifel für den endosmotischen Austausch mit dem Blutplasma von Bedeutung ist. Wenn das Körperchen in verdünnten Solutionen aufquillt, so muss die Pression des Inhaltes stärker werden, wodurch aber gleichwohl kein Hinderniss einer weiteren Stoffaufnahme gegeben ist, indem der Endosmosenstrom bekanntlich selbst einen bedeutenden Gegendruck überwinden kann.

Das Fliessen in den Capillaren ist aus bekannten Gründen ein kontinuierliches, gleichmässiges. Niemals habe ich bei meinen sehr zahlreichen Beobachtungen meines eigenen Retinalblutlaufes auch nur die schwächsten Andeutungen von pulsatorischen Strömen oder von einer vorübergehenden Stockung oder Verlangsamung in einzelnen Capillaren gesehen. Anders verhält es sich allerdings bei der Capillarcirculation des Frosches; vorübergehende Stockungen in einzelnen Capillaren sind hier häufige Erscheinungen, was abgesehen von der Belästigung der Thiere durch den Versuch offenbar auch durch die Grösse der Körperchen zu erklären ist. Die Kleinheit der Säugethier-

blutkörperchen ist eine Garantie gegen solche Stauungen. Pulsatorisches Fliessen in den Capillaren kommt vor bei geschwächten Fröschen, besonders nach Blutverlusten, die schon J. Müller hervorhebt. Unter diesen Verhältnissen ist der Inhalt des Aortensystems im Vergleich zu dem durch eine Kammersystole eingetriebenen Blutvolum noch kleiner als normaliter geworden, sodass eine Propagation der Blutwelle bis in die Capillaren unvermeidlich wird.

Nach Poiseuille sollen die Blutkörperchen ausser ihren Bewegungen in der Richtung der Längsaxe der Gefässe öfters auch vollständige Rotationen um ihre eigene Axe ausführen, eine Behauptung, die nur von den zufällig in die Wandschicht übergeworfenen Körperchen gelten kann, also namentlich von den, hier nicht selten anzutreffenden farblosen Körperchen, deren Kugelform ausserdem solche Rotationen am leichtesten zulässt. Beobachtete ich das Fliessen der Blutkörperchen, indem ich verdünntes Blut zwischen zwei, von einander nur wenig abstehenden Glasplatten durchströmen liess (§. 12), so nahm ich niemals solche Rotationsbewegungen der Körperchen wahr.

E. H. Weber hat wohl zuerst genauere direkte Messungen der Stromgeschwindigkeiten des Capillarblutes angestellt und zwar am Schwanze von Froschlarven. Er erhielt in 3 Beobachtungsreihen Sekundengeschwindigkeiten im Mittel von 0,200—0,282 und 0,280, also im Endmittel von 0,254 par. Lin. = 0,57 Millimeter. Die in die Wandschicht zufällig übergeworfenen farblosen Körperchen zeigten Geschwindigkeiten von 0,0147 und in einem anderen Versuch von 0,027 par. Linien; daraus schliesst Weber, die Geschwindigkeit der Wandschicht sei etwa 9—17 mal geringer als die der centralen, farbige Körperchen führenden, Schicht; aber gerade die Rotationsbewegungen der Farblosen in diesem Fall sind, wie auch Weber hervorhebt, die Folge des schnelleren Fliessens der mehr central liegenden Flüssigkeitsfäden, sodass die von der Gefässwand entfernte Hälfte des farblosen Körperchens von dem schnelleren centralen Strom getroffen wird. Somit muss die farblose Wandschicht unter gewöhnlichen Verhältnissen noch langsamer fliessen, als die in dieselbe übergeworfenen farblosen Körperchen.

Valentin fand in der Schwimmhaut erwachsener Frösche folgende Werthe in par. Linien:

	Maximum.	Minimum.	Mittel.
Thier 1	0,141	0,086	0,106
Thier 2	0,491	0,324	0,345
Mittel:	<u>0,316</u>	<u>0,205</u>	<u>0,225</u>

Volkman erhielt in den Kiemen von Salamanderlarven im Mittel 0,245 M. m.; im Schwanz von Froschlarven 0,4, in der Schwanzflosse eines kleinen Fisches 0,12 M. m.

Messungen der Capillargeschwindigkeiten nach der Weber'schen Methode, wollten mir, wegen der Kürze der Beobachtungszeit und wegen der Unsicherheit in der Ausmessung der Capillarlängen niemals gehörig gelingen; ich unterlasse desshalb die von mir erhaltenen, unter sich zum Theil sehr differirenden Werthe anzugeben. Die an der Schwimmhaut erwachsener Frösche, nach meiner §. 12. beschriebenen Methode angestellten Versuche führten mich auf einen Durchschnittswerth von 0,36 M. m., der der Volkman'schen und der ersten Valentin'schen Bestimmung näher steht als den Weber'schen Zahlen. Zur Bestimmung kleinerer Variationen der Geschwindigkeiten ist meine Methode allerdings noch nicht verwendbar, wohl aber dürfte sie recht brauchbare Endmittel schon jetzt ergeben.

Die Anschauung der Capillarcirculation in der Retina meines eigenen Auges habe ich in neuerer Zeit öfters benutzt, um die entsprechendem Geschwindigkeitswerthe zu bestimmen. Ich habe dabei die §. 13. erwähnte Vorrichtung angewandt, wobei ich das Bild auf ein ebenes Milchglas projecirte. Das Bild war bei den a. a. O. angegebenen Abständen des Glases vom Auge gross genug, die Beobachtungszeit nicht zu kurz, während die Gefässe ausgezeichnet sind durch ihren ziemlich geraden, die Messungen also sehr erleichternden Verlauf. Mein neueres Verfahren erlaubte schärfere Bestimmungen als das ursprüngliche, in welchem das Bild auf ein gekrümmtes Milchglas einer Lampe projecirt wurde. Ich erhielt in diesen Versuchen etwas grössere Geschwindigkeitswerthe als früher, nämlich

0,6 bis 0,9 Millimeter in verschiedenen Versuchstagen (früher dagegen 0,5 M. m.). Was die Berechnung der Grösse des Netzhautbildchens betrifft (s. Seite 44) so bemerke ich, dass der Abstand des Kreuzungspunktes der Richtungslinien von der Retina zu 13 Millimeter angenommen wurde.

Die Resultate der mikroskopischen Untersuchungen über die Zahl der Capillaren und die Grösse der von den Capillaren eingeschlossenen Maschenräume in den verschiedenen Geweben und Organen würde in einem vollkommen unlöslichen Widerspruch stehen mit unseren Kenntnissen über die Stromgeschwindigkeiten des Capillarblutes, wenn wir an der Annahme festhalten wollten, dass alle Capillaren des Körpers ohne Ausnahme von mindestens einer Reihe hinter einander fliessenden Blutkörperchen erfüllt seien. Der Gesamtquerschnitt aller Capillaren des Aortensystemes müsste dann ausserordentlich viel grösser sein, als ich (s. §. 18.) aus der Geschwindigkeit und der Menge des in einer bestimmten Zeit durch die Capillaren fliessenden Blutes annähernd berechnen konnte, sowie anderseits die Capillargeschwindigkeit sehr viel langsamer sein müsste, als sie in den blutkörperführenden Capillaren wirklich ist. Es lässt sich somit bloss der Gesamtquerschnitt der blutkörperführenden Capillaren ziemlich leidlich bestimmen; die grosse Menge von Capillaren und die oftmals so engen Maschenräume zwischen denselben zwingen uns, wie gesagt, zu der Annahme, dass nur in den jeweils in grösserer Thätigkeit befindlichen Organen alle Capillaren Blutkörperchen enthalten können, während in denjenigen Körpertheilen, die gerade minder thätig und somit einem geringeren Blutandrang ausgesetzt sind, ein Theil der Capillaren vorübergehend enger wird und nur noch der Blutflüssigkeit den Durchgang gestattet. Die Annahme von Vasa serosa in diesem Sinne, nicht aber als konstant und unter allen Verhältnissen blutkörperchenfreien Gefässen, scheint mir eine sehr gerechtfertigte zu sein.

Der directen Beobachtung werden sich diese Verhältnisse freilich für immer entziehen. Die Endosmose zwischen dem Capillarblut und den Geweben wird zunächst vermittelt durch die peripherische,

plasmatische Schicht des Capillarblutes. Das sehr langsame Strömen dieser Schicht scheint in Beziehung zu stehn zu den endosmotischen Vorgängen. Die Blutflüssigkeit wird hier wohl eine etwas andere Zusammensetzung zeigen als in der centralen Schicht der Capillaren; die Differenz zwischen dem Plasma der peripherischen Schicht und der Gewebsflüssigkeit wird minder gross sein. Jedes Gewebe würde somit von einer, seiner Gewebsfeuchtigkeit entsprechenden, und mit dem ganz anders fliessenden centralen Capillarstrom im offenen Diffusionsaustausch stehenden Blutschichte zunächst umspült und die Grösse des endosmotischen Austausches dürfte durch diese Verhältnisse etwas beschränkt und überhaupt durch Variationen dieser Bedingungen ebenfalls variabel gemacht werden können. Wie der Kohlensäuregehalt der Lungenluft den Austritt von zu viel Kohlensäure aus dem Blute verhindert, so dürfte einem zu starken endosmotischen Austausch zwischen Blut und Parenchym durch die geringere Differenz der farblosen Capillarschicht und der Gewebsflüssigkeit vorgebeugt werden. Die Gasdiffusion zwischen dem Blute und dem Parenchym der Organe, namentlich aber zwischen dem Blut und der Lungenluft erfolgt leichter und rapider als der endosmotische Austausch, desshalb kann auch das Blut durch die Lungencapillaren ohne Beeinträchtigung des respiratorischen Gaswechsels schneller fliessen als durch die Capillaren des Aortensystemes, sowie auch die Blutkörperchen durch das letztgenannte Capillarsystem unbeschadet der hier stattfindenden Gasdiffusion schneller fliessen können als die plasmatische Wandschicht der Capillaren.

§. 29. Die Dauer eines Kreislaufes.

Die Cardinalfrage in der Lehre von den Blutgeschwindigkeiten ist die durchschnittliche Dauer eines ganzen Blutumlaufes.

Hering fasst im Archiv für physiol. Heilkunde 1853, S. 145, die Endergebnisse seiner sämtlichen an Pferden angestellten Versuche mit den Worten zusammen: dass die Dauer eines Kreislaufes

von einer Drosselader zur andern in seiner ersten Versuchsreihe zwischen 20—25 und zwischen 25—30 Sekunden liege, in seiner zweiten Reihe zwischen 20 und 30 Sekunden, während er aus seiner dritten grossen Versuchsreihe als Mittel einen Zeitwerth von 30,6 Sekunden aufstellt. Letzterer Werth wurde aber von Hering in der Art erhalten, dass er, wenn z. B. die erste Reaction des Eisensalzes in die Probe von 25—30 Sekunden fiel, nicht die Mittelzeit, also 27,5, sondern den Endtermin von 30 Sekunden annahm. Ich glaube sicherer zu gehen, wenn ich mich an die Mittelzeiten halte. Unter dieser Voraussetzung erhalte ich aus den, die Jugularisbahn betreffenden 41 Versuchen der Hering'schen dritten Reihe einen Endwerth von 28,8 Sekunden. Ich werde diese Zahl, da sie aus sehr vielen Versuchen abgeleitet ist, obschon eine Anzahl derselben pathologische Zustände der Versuchsthiere betreffen, für einen Theil unserer spätern Zusammenstellungen benutzen.

Ich verwende endlich zu folgender Zusammenstellung aus den drei Reihen Hering's bloss diejenigen Versuche, welche angestellt wurden entweder an gesunden, oder an solchen kranken Thieren, deren Puls- und Athmungszahlen nicht sehr bedeutend alterirt waren; wobei ausserdem alle mit medicamentösen Infusionen in den Kreislauf, mit Aderlässen u. s. w. des Versuches wegen behandelten Thiere ausgeschlossen wurden. Es stehen zu diesem Zwecke bloss 19 Versuche zu Gebot.

Versuchs- nummer.	Geschlecht.	Alter.	Pulse	Athemzüge	Dauer eines Kreislaufes in Sekunden.	Bemerkungen.	
			in einer Minute.				
Reihe I.	8	Stute	20 J.	60	22	22,5	
	14	Hengst	alt	48	14	22	
	18	Wallach	9	36	?	22,5	
Reihe II.	8	dito	20	32	12	27,5	klein.
	16	Stute	23	38	?	32,5	
	19	Hengst	16	48	?	27,5	
	24	Stute	10	60	13	17,5	schwach.
	27	dito	20	40	12	27,5	
	29	dito	19	64	?	22,5	sehr schwach.
	1	dito	20	40	11	32,5	klein, sehr mager.
Reihe III.	4	Hengst	24	36	10	32,5	mager.
	7	Stute	6	60	16	27,5	acuter Rotz.
	8	dito	10	44	10	22,5	sehr grosse Epi- lepsie.
	14	dito	18	38	12	27,5	schwach.
	20	dito	23	40	8	27,5	
	24	Wallach	20	34	19	32,5	
	28	dito	18	44	9	22,5	
	33	Stute	9	36	8	22,5	
	53	dito	20	38	6	27,5	

Aus dieser Tabelle, die wir Hering'sche Normalreihe nennen und zu manchen späteren Berechnungen benutzen wollen, aus welchen pathologische Zustände der Versuchsthiere ausgeschlossen werden müssen, ergibt sich als Endmittel für die Dauer eines ganzen Kreislaufes im Pferde (von einer Jugularis bis zu derjenigen der anderen Seite) ein Zeitwerth von $26\frac{1}{5}$ Sekunde.

Für den Hund erhielt ich im Endmittel aus 17 Versuchen an 16 (durchschnittlich 9,14 Kilogrammen schweren) Thieren eine Kreislaufsdauer von einer Jugularis zur anderen von 15,22 Sekunden und zwar ergaben sich in den Einzelversuchen der Reihe nach folgende

Sekundenwerthe: 19,83 — 18,92 — 18,65 — 17,98 — 16,75 — 15,51 — 15,27 — 14,95 — 14,90 — 14,67 — 14,36 — 13,46 (in 2 Thieren) — 13,18 — 12,86 — 12,58 und 10,44. Diese zum Theil bedeutenden Differenzen hängen, wie ich schon jetzt bemerken will, vorzugsweise von den Körpergewichten und Körpergrössen ab. Es sind für diese Zusammenstellung nur die Normalfälle benutzt und einige Versuche ausgeschlossen, bei welchen die Thiere unmittelbar nach Beginn der Infusion des Eisensalzes, also schon während des Versuches selbst Störungen zeigten; ganz unbedenklich aber konnten die wenigen Versuche aufgenommen werden, in welchen die Thiere erst nach Beendigung des Versuches Störungen zeigten, selbst wenn diese lethal wurden.

Ein junges Ziegenböckchen ergab 12,86 Sekunden, ein junger Fuchs 12,69 Sekunden, (in letzterem Fall fand aber ein kleines Hinderniss statt, sodass der Werth zu hoch ist); in 3 Kaninchen, von einem durchschnittlichen Körpergewicht von 1,37 Kilogr. war die Kreislaufsdauer bloss 6,91 Sekunden (nämlich 7,18 und zwei Thiere je 6,78 Sekunden.). Sämmtliche Versuche betreffen die Jugularisblutbahn. Beim Rindvieh ist endlich nach Hering die mittlere Umlaufszeit etwas kürzer als beim Pferd.

Volkmann nimmt in seiner Haemodynamik für das Kaninchen 24 Sekunden an. Dieser Werth, sowie seine Berechnung der Circulationsdauer im Hunde (40 Sekunden, also fast 3 mal zu viel) ist ausschliesslich auf theoretischem Wege gefunden, wobei er von viel zu grossen, nach dem damaligen Wissen allerdings gerechtfertigten, Blutmengen dieser Thiere ausgieng.

Blutbahnen, die bedeutend länger sind als die Wege von einer Jugularis zur andern erfordern, wie schon Hering fand, etwas mehr Zeit. Die Circulationsdauer in dem Herzen nahen und vom Herzen weit entlegenen Bahnen sind aber durchaus nicht den Bahnlängen proportional, indem das langsamere Fliessen bei jedweder Kreislaufbahn, sie mag lang oder kurz sein, in den kleinsten Gefässen stattfindet. Die Differenzen der Circulationsdauer in verschieden langen Blutbahnen rühren somit ausschliesslich oder fast ausschliesslich her

von den zum Durchströmen in den weiten und mittelweiten Gefässen erforderlichen Zeiten. Da nun das Blut hier schnell fliesst, so muss auch der Weg durch eine sehr lange Blutbahn nur etwas mehr Zeit erfordern als die Circulation durch eine kurze Bahn. Dazu kommt noch die rasche Theilung in kleinere Gefässe in den kurzen Bahnen, wodurch das Fliessen sehr bald verlangsamt wird. Beide Momente wirken also in der Art zusammen, dass die Circulationsdauer durch die verschiedensten Blutbahnen keine grossen Differenzen bieten können.

Meine Versuche über den Einfluss der Bahnlängen lassen sich in folgende 5 Rubriken vertheilen:

1) Die Circulationsdauer von einer Jugularis zur andern wurde in demselben Thier verglichen mit der Circulationsdauer von einer Cruralvene zur andern. Die Vergleichsversuche mussten an zwei verschiedenen Tagen angestellt werden, da ich keine zweite zur Infusion taugliche und zugleich in kleinsten Quantitäten im Blut nachweisbare Substanz, wie das Ferrocyankalium kenne. Die Auffindung einer oder gar mehrerer solcher Substanzen würde für die Infusionsmethode ganz unschätzbar sein. Das Jodkali ist zu derartigen Versuchen, wie mich die Erfahrung lehrte, dem Eisensalz gegenüber ganz unbrauchbar. Die Vergleichung leidet an dem Uebelstand, dass die Circulationsgeschwindigkeiten in zwei verschiedenen Tagen verschieden sein können. Man müsste mindestens 20 solcher Vergleichsversuche anstellen, um ganz zuverlässige Endwerthe zu erhalten. Ich musste mich auf 2 Versuche beschränken:

	Jugularisbahn.	Cruralisbahn.
Hund . . .	13,18	13,05 Sekunden (14 Tage später).
Fuchs . . .	12,69	14,69 "
Mittel	12,93	13,87 Differenz: $\frac{1}{13}$

2) Die Circulationsdauer von einer Jugularis zur andern wurde verglichen mit der Circulationsdauer von einer Jugularis zur Cruralvene. Beide Versuche fallen auf 2 verschiedene Tage. Ich stellte

bloss einen solchen Vergleichsversuch an einem Hunde an. Jugularisbahn = 18,65, Jugularis-Cruralisbahn 23,30 Sekunden.

3) Von einem Hunde besitze ich bloss eine Zeitbestimmung betreffend die Jugularis-Cruralvenenbahn, indem der gewöhnliche Jugularisversuch fehlschlug. Die Zeitdauer betrug 22,24 Sekunden. In einem andern Hund betrug die Zeit für dieselbe Bahn 15,28 Sekunden. Ein Vergleichsversuch fehlt.

4) Die besten und beweisendsten Zahlen sind jedenfalls die der a tempo-Versuche, bei denen das Eisensalz in die eine Jugularis injicirt wurde, während das Blut aus der anderen Jugularis und gleichzeitig einer Cruralvene, mit thunlichster Berücksichtigung, dass die normalen Blutmengen ausliefen, mittelst der Doppelscheibe aufgefangen wurde. Die Jugularis-Cruralisbahn ist freilich etwas im Vortheil gegenüber der Bahn von einer Cruralvene zur andern; so dass wohl 2—3 Sekunden hinzuzurechnen sind, um die Circulationsdauer der vollständigen Cruralvenenbahn zu erhalten. Ich habe 4 solcher Doppelversuche angestellt an Hunden.

Juguralisbahn.	Jugularis-Cruralvenenbahn.
18,92	21,76
17,98	20,45
14,95	16,65
13,46	13,46
Mittel 16,32	18,08

Dies giebt ein Verhältniss wie 100:111. Da wir es aber hier nicht mit der ganzen Cruralvenenbahn zu thun haben, so wird letztere etwa eine um $\frac{2}{3}$ längere Circulationsdauer erfordern als die Jugularvenenbahn.

5) Ein Infusionsversuch betrifft die Bahn von der Vena jugularis bis zur Arteria cruralis. Die Circulationsdauer war = 8,63 Sekunden.

Auch Hering hat einige Versuche mit Pferden an anderen Blutbahnen angestellt; die Infusion geschah immer in eine Jugularis. Er erhielt folgende Sekundenwerthe:

Ausflussgefäss.	Circulationsdauer.	Zahl der Versuche.
Vena thoracica ext. . . .	26,5	1
— saphena magna. . . .	17,5	1
Art. masseterica	$\left. \begin{matrix} 15 \\ 30 \end{matrix} \right\}$	2
— maxillaris ext. . . .	$\left. \begin{matrix} 12,5 \\ 22,5 \end{matrix} \right\}$	2
— metatarsi	$\left. \begin{matrix} 22,5 \\ 27,5 \\ \text{über 40} \end{matrix} \right\}$	3

Die Hering'sche Normalreihe ergab 26,4, die 3. Reihe dieses Forschers 28,8 Sekunden für die Jugularisbahn des Pferdes; im Mittel hätten wir 27,6 Sekunden, wobei wir einen Fehler von wohl nicht über $1-1\frac{1}{2}$ Sek. begehen werden. Für die mittlere Circulationsdauer des Menschen können wir wohl die Mittel ziehen aus den am Hunde und dem Pferde gewonnenen Endwerthen, also hätten wir $\frac{27,6 + 15,2}{2} = 21,4$ Sekunden. Dieses Zeitverhältniss wird sehr annähernd als Endmittel der grossen Mehrzahl der übrigen Blutbahnen anzunehmen sein; bloss die Bahnen durch die unteren Gliedmaassen und namentlich das Pfortadersystem müssen etwas grössere Zeiten verlangen. Somit wird etwa $\frac{1}{5}$ der Blutmasse etwas (und zwar wie wir oben fanden etwa um $\frac{2}{5}$) langsamer circuliren, also mit einer Umlaufgeschwindigkeit von 30,0 Sekunden. Die Dauer eines Blutumlaufes im Menschen, im Mittel aus allen Blutbahnen, wäre demnach auf 23,1 Sekunden festzustellen. Die angebrachte Correctur ist so unbedeutend und annähernd gerechtfertigt, dass hier wohl kaum ein Fehler von viel mehr als $\frac{1}{20}$ des Gesamtwertes unterlaufen mag.

Rekapituliren wir unsere, durch den direkten Versuch erhaltenen Kenntnisse über die Stromschnellen in den einzelnen Abschnitten des Gefässsystemes, so kommen wir auf Werthe für die Zeitdauer eines ganzen Blutumlaufes, die mit den direkten Ergebnissen der Infusionsversuche sehr gut harmoniren. Zahlreich variirte Infusionsversuche, wobei bloss Bruchtheile eines ganzen Kreislaufes zu prüfen wären,

sind übrigens noch sehr zu wünschen, um der Haemotachometrie auch die letzten und irgend denkbaren Controllen zu sichern. Nehmen wir ein Organ an, etwa $\frac{1}{2}$ — $\frac{3}{4}$ Meter entfernt vom Herzen. Der lange Weg vom linken Herzen durch die Aorta wäre zurückgelegt in höchstens 2 Sekunden, der kurze Weg durch die kleineren Arterien in $2\frac{1}{2}$ —3 Sekunden, durch die Capillaren in 3, durch die Venen zum rechten Herzen (das Doppelte der arteriellen Zeit) in 10 Sekunden, durch die Lungenblutbahn in höchstens 5 Sekunden. Gesamtzeit 23 Sekunden. Wir können, wenn wir die Geschwindigkeiten in den einzelnen Gefässabschnitten addiren, unmöglich eine grössere Kreislaufsdauer annehmen und wem die Zeit durch die kleinen Arterien und Capillaren als zu nieder gegriffen vorkommt, den verweise ich auf die directen Versuche Hering's, der (Seite 50) für die Circulationsdauer von der Art. cruralis zur gleichnamigen Vene derselben Seite bloss 5 Sekunden fand.

Die ungemein kurzen Circulationszeiten fordern sehr rasche Wirkungen wenigstens der im Körper schnell und leicht diffusibeln Gifte, z. B. des Strychnin's, Nicotins, besonders aber der Blausäure und der Pfeilgifte. Die Wirkungen erfolgen bekanntermaassen in wenigen Sekunden, sie werden selbst da und dort etwas übertrieben als blitzschnelle bezeichnet. Sie erfolgen ungemein rasch, obschon abgesehen von der Fortführung des Giftes in dem Kreislauf einerseits eine Resorption in das Blut und anderseits eine Abgabe, oder doch irgend welche Wechselwirkung mit der Substanz der Nervencentren gefordert wird. Die Schnelligkeit dieser Wirkungen ist so gross, dass auch Diejenigen, welche gegen die Ergebnisse der so beweisenden und keines Einwandes fähigen Infusionsversuche, ungläubig sich verhalten möchten, schwer einen stichhaltigen Erklärungsgrund als eben die ungemein kurze Circulationsdauer des Blutes auffinden können. Auffallend schnell finde ich, dass die Vergiftung eintritt, wenn ich Kaninchen etwas Strychninlösung durch eine Luftröhrenwunde einspritze, die Wirkung ist hier fast noch schneller als bei der Injection des Giftes in eine Jugularvene, indem das Gift bei der Infusion in die Lungen einen kleinen Vorsprung hat und daselbst eine grosse und

dünnwandige Resorptionsfläche findet. Diese Erfahrung stimmt sehr gut mit meinen Versuchen über die sehr kurzen Kreislaufsdauern in den Kaninchen. Tiedemann injicirte verschiedene stark riechenden Substanzen in die Cruralvene von Hunden und fand in wenigen Sekunden (in einzelnen Fällen selbst schon 3 (?) Sekunden) in der Athemluft den Geruch des Injicirten, so z. B. in seinen Versuchen mit Knoblauchsaft, Meerrettigsaft, Weingeist, Terpentingeist und Phosphor.

Als weitere Folge der kurzen Circulationsdauern wird gefordert, dass die innerhalb einer gewissen Zeit im Körper umgetriebenen Blutmengen höchst bedeutende sein müssen, woraus unmittelbar die Wahrscheinlichkeit eines sehr intensiven intermediären Stoffwechsels sich ergibt. Mit relativ kleinen, aber ungemein schnell circulirenden Blutmassen wird somit der grösstmögliche Contact des Blutes mit den Geweben erreicht. Alle Erfahrungen der neueren Physiologie über die inneren (intermediären) Secretionen führten auf Massen, welche von denen ganz erstaunlich abweichen, die man, zum Theil befangen in der blossen Betrachtung der zugänglicheren Excretionen, früher angenommen hatte. So haben Bidder und Schmidt, sowie Ludwig nachgewiesen, dass die Verdauungssäfte, die Galle ausgenommen, ausserordentlich copiös sind. Zur Bestimmung der Chylusmengen des Menschen habe ich (Archiv für physiol. Heilkunde 1847) die Annahme gemacht, dass alle Eiweisskörper der Nahrung ausschliesslich der Chylusresorption anheimfallen und unter Zugrundelegung des direkt ermittelten $\%$ Gehaltes des Chylus an Eiweisskörpern und der absoluten Menge der letzteren in der Nahrung die 24stündige Chylusmenge berechnet. Lehmann hat dieses getadelt, dabei aber vergessen, dass es sich nicht um die specielle Durchführung des Beispiels, sondern um ein Princip handelt, das Beachtung verdient. Setze ich den Fettgehalt des Chylus = 3 $\%$, so beläuft sich, unter der Annahme einer täglichen Fettzufuhr von 90 Grammen und der kaum anfechtbaren Annahme dass nahezu alles Fett der Nahrung durch die Chylusgefässe resorbirt werde, die tägliche Chylusmenge auf nicht weniger als 3 Kilogramme, eine Quantität, die, nach dem was wir über die intermediären Secretionen wissen, nicht mehr auffallen kann.

Die kurze Zeit eines gesammten Umlaufes des Blutes ermöglicht es endlich, dass das Blut, wenigstens hinsichtlich seiner gelösten festen Substanzen, beim parenchymatösen Stoffwechsel nur ganz geringe Veränderungen zu erleiden braucht, womit sich selbst massenhafte Abgaben von Stoffen innerhalb einer etwas längeren Zeit ganz gut vertragen. Durch die kurzen Circulationsdauern wird also der für den Organismus so wichtige Erfolg einer annähernden Constanz der Blutmischung erzielt. Nur in Bezug auf zwei Blutbestandtheile finden wir bemerkenswerthe Ausnahmen. Die specifischen Bestandtheile der Excretionen werden durch das betreffende Excretionsorgan in Mengenverhältnissen abgegeben, welche im Verhältniss zu dem Gehalt des Blutes in diesen Stoffen sehr gross sind; so z. B. differirt der Harnstoffgehalt des Nierenarterien- und Venenblutes sehr bedeutend. Die Nierengefässprovinz stellt aber nur einen kleinen Theil des gesammten Gefässsystemes dar, somit wird die starke Harnstoffminderung des Nierenvenenblutes nur von kleinem Einfluss sein auf den Harnstoffgehalt des Gesamtblutes.

Bezüglich der Blutgase stossen wir aber auf bedeutende Differenzen zwischen dem arteriellen und venösen Blut und zwar in allen Gefässbezirken; für eine konstante Gasmischung des arteriellen Blutes sorgt aber sogleich die Respiration. Das Blut enthält nur minime Gewichtsmengen Gase, schon dadurch wird, bei der absolut bedeutenden -Kohlensäurebildung, eine grosse Circulationsgeschwindigkeit gefordert, sodass der Blutlauf mit keiner Function des Körpers in innigerem, nur kurze Unterbrechungen gestattendem Wechselverhältniss steht als mit der Respiration.

§. 30. Bestimmung der Blutmengen der Thiere aus den Kreislaufsdauern.

Die Dauer eines vollständigen Blutumlaufes ist ein so wichtiges Moment in der thierischen Oekonomie, dass dessen exacte Ermittlung mit Nothwendigkeit zu einer Reihe abgeleiteter Thatsachen führen muss.

Aus der kurzen Zeitdauer eines vollständigen Blutumlaufes folgt, unter Erwägung unserer Kenntnisse von der mit jeder einzelnen Kammersystole oder der in der Zeitsekunde aus der Herzkammer ausgetriebenen Blutmenge, mit zwingender Nothwendigkeit eine viel geringere Blutmenge des Körpers als viele Physiologen und namentlich die Aerzte anzunehmen geneigt sind.

Das Blutvolum, welches in einer Sekunde aus der linken Herzkammer ausgetrieben wird, sei V und T die Dauer eines Kreislaufes, von allen einzelnen Bahnen das Mittel gesetzt. Dann wird das Blutvolum des Körpers $V T$.

Setzen wir das mit einer Systole ausgetriebene Blutvolum $= v$, die Zeitdauer einer Systole und einer Diastole der Kammer $= t$, dann wird das Blutvolum des Körpers $\frac{v T}{t}$.

Der Werth von T ist durch den direkten Versuch genau gekannt und für den Menschen sind wir wohl berechtigt, einen Mittelwerth aus den am Hund und am Pferde erhaltenen Zahlen anzunehmen, mit der sicheren Erwartung, dass der hier etwa unterlaufende Fehler unerheblich ist. Gegen den Werth von V kann man Einwendungen machen; ich gebe anfangs dieser Untersuchung zu, da ich die Beweise für seine in der That bestehende grössere Zuverlässigkeit noch nicht sogleich beibringen kann, V sei mit einem Fehler von etwa $\frac{1}{8}$ behaftet.

§. 27. erhielten wir für V 207 C. C. M. $=$ 219 Grammen und §. 29. wurde T für den Menschen zu 23,1 Sekunden bestimmt, in welcher Zeit somit das gesammte Blut des Körpers, die längeren und kürzeren Bahnen zusammengerechnet, einen vollständigen Umlauf vollendet. Also ist das Blutvolum des Körpers $207 \times 23,1 = 4782$ Cub. Cent. Meter, was einem Gewicht von 5,06 Kilogrammen entspricht. Setzen wir das mittlere Körpergewicht des Erwachsenen (Männer und Frauen zusammen genommen) $=$ 63,6 Kilogr., so beträgt die Blutmasse $\frac{1}{12,6}$ des Körpergewichts.

Ich würde diese Zahl nur als eine approximative betrachten, wenn sie nicht und zwar in auffallendster Weise bestätigt würde

durch die Ergebnisse meiner Infusionsversuche. Um den Werth von v für die einzelnen Thiere zu finden, gehe ich von der Annahme aus, dass unter den verschiedenen Säugthiergattungen eine Proportionalität bestehen muss zwischen den Körpergewichten und den durch die einzelnen Ventrikelsystolen ausgetriebenen Blutmassen. Die Annahme eines solchen Verhältnisses ist schon von vornherein ziemlich gerechtfertigt; sie erhält aber ihre Bestätigung als approximativ richtige Wahrheit, wenn die Rechnung ergibt, dass verschiedene Thiergattungen nahezu den Körpergewichten proportionale Blutmengen besitzen. Niemand wird dann gegen die sehr annähernde Gültigkeit unserer Werthe von v Einwendungen machen können, er müsste höchstens postuliren, dass es physiologisch sehr viel wahrscheinlicher sei, die Blutmengen in den verschiedenen Säugthiergattungen seien den Körpergewichten nicht im Entferntesten proportional, als dass man meiner Annahme beipflichten könne. Ich behaupte natürlich nicht, dass die Proportionalität in allen Thiergattungen eine ganz vollständige sei. Es handelt sich nur darum, ob bedeutendere, unsere Rechnung irgendwie störende, Abweichungen von dieser Proportionalität vorkommen, und dieses muss ich, namentlich wenn man kleinere und mittelgrosse Säugthiere mit einander vergleicht, unter Hinweisung auf die Resultate der folgenden Berechnungen mit Entschiedenheit verneinen. Unsere Untersuchung wird aber noch strenger geführt werden können, wenn man den Infusionsversuch verbindet mit dem Haemotachometerexperiment z. B. in der Carotis. Dann kann unser Durchschnittswerth ersetzt werden durch einen direkteren, indem man von den durch die Carotis fliessenden Blutmengen, unter Ausmessung der Gefässlumina, in früher erörterter Weise zurückrechnet auf die durch eine Herzsystole entleerte Blutmenge.

Eine Herzkammersystole des Menschen treibt nach unseren früheren Bestimmungen (§. 27.) 180 Grammen Blut aus, also $\frac{1}{3\frac{1}{3}}$ des Körpergewichtes, letzteres zu 63,6 Kilogr. angenommen.

Das mittlere Körpergewicht der Kaninchen, an denen ich Infusionsversuche anstellte, betrug 1370 Grammen; die Pulsfrequenz ist

210, die mittlere Dauer eines Kreislaufes in der Jugularisbahn war 6,91 Sekunden. Wir nehmen auch hier an, um den schwierigeren Blutbahnen Rechnung zu tragen, dass $\frac{1}{3}$ der Blutmasse mit einer um $\frac{2}{3}$ langsameren (also 9,67 Sekunden betragenden) Umlaufgeschwindigkeit flösse; die mittlere Umlaufszeit im Kaninchen ist somit 7,46 Sekunden. In dieser Zeit hätten die Herzkammern vollführt 26,1 Systolen; unter der Voraussetzung, dass eine Systole, wie beim Menschen $\frac{1}{3\frac{1}{5}3}$ des Körpergewichtes, also 3,88 Grammen, betragende Blutmenge in die Aorta eintreibt, beträgt die Blutmenge des Kaninchens von 1,37 Kilogr. Schwere $3,88 \times 26,1 = 101$ Grammen $= \frac{1}{13,7}$ des Körpergewichtes. Die absolute Blutgewichtszahl wird etwas zu hoch sein, indem das Gewicht des bei diesem Thier mehr als in anderen in Betracht kommenden Mageninhaltes nicht ausgeschlossen ist. Thun wir dieses und setzen etwa 1,27 Kilogr. Körpergewicht, so hätten wir eine Blutmenge von fast 94 Grammen.

Hunde von 9,2 Kilogr. Körpergewicht und 96 Pulsen (den Mitteln der Thiere in meinen Infusionsversuchen an der Jugularisbahn) entleeren mit einer Systole 26,1 Grammen Blut. Sie gaben mir eine Kreislaufsdauer von 15,2 Sekunden in der Jugularisbahn, also mit Einrechnung der schwierigeren Bahnen (nach oben motivirten und bereits gemachten Annahmen) von 16,7 Sekunden. Die Thiere hatten in letzterem Zeitraum vollführt 26,7 Pulse, ihre Blutmenge ist somit $26,7 \times 26,1 = 697$ Grammen $= \frac{1}{13,2}$ ihres Körpergewichtes.

Das Herz von einem jungen Ziegenböckchen (s. Infusionsversuch 36) von 3,75 Kilogr. Körpergewicht wird entleeren 10,6 Gr. Blut mit einer Systole; die Kreislaufsdauer in der Jugularisbahn war 12,86, seit der mehrerwähnten Correction wegen der schwierigeren Bahnen, 14,14 Sekunden. In dieser Zeit hatte das Thier vollführt 26 Herzschläge, also ist die Blutmenge $= 10,6 \times 26 = 275$ Grammen $= \frac{1}{13,6}$ des Körpergewichtes.

Die berechneten Blutmengen der genannten 3 zu meinen Infusionsversuchen benutzten Thiergattungen stimmen, wie man sieht, in überraschendster Weise mit einander, woraus ich mit Bestimmtheit die Behauptung ableiten darf, dass die mit einer

Ventrikelsystole von verschiedenen Thieren entleerten Blutmengen nahezu proportional sind den Körpergewichten.

Ein junger Fuchs (Infusionsversuch 37) von 1,7 Kilogr. Schwere wird mit einer Systole entleeren 4,81 Grammen Blut. Die Kreislaufsdauer ist (die Correctur mit eingerechnet) 13,95 Sekunden. Die Pulsfrequenz von 185 im Mittel aus 2 Versuchen; also wäre die Blutmenge, da auf 13,95 Sekunden 41 Pulse fallen, 197 Grammen $= \frac{1}{3}$ des Körpergewichtes. Diese Zahl bietet eine Anomalie; sie muss viel zu hoch sein und findet darin ihre vollständige Erklärung, weil (s. die Beschreibung des Versuches) in beiden mit diesem wahrscheinlich auch kranken Thier angestellten Experimenten das Blut auffallend langsam ausfloss, sodass wir auf eine Hemmniss im venösen Kreislauf schliessen müssen. Es ist offenbar ganz unwahrscheinlich, dass der junge Fuchs eine langsamere Blutcirculation zeigen werde als das viel grössere Ziegenböckchen; seine Kreislaufsdauer wird die des Kaninchens nur um sehr wenig übertreffen und dann würde auch die berechnete Blutmenge vollkommen stimmen mit den Ergebnissen an anderen Thieren.

In den Hering'schen Infusionsversuchen an Pferden sind leider die Körpergewichte der Versuchsthiere nicht angegeben; wir müssen für dieselben ohne Zweifel, da zum Theil auch jüngere und fast durchgängig nicht ganz gesunde Thiere verwendet wurden, eine kleinere Zahl annehmen, als das Körpergewicht des kräftigen erwachsenen Pferdes beträgt, etwa 380 Kilogrammen. Die mit einer Kamersystole entleerte Blutmenge wäre dann 1076 Grammen. Die Dauer des Kreislaufes in der Jugularisbahn wurde in Hering's dritter Reihe $= 28,8$ Sekunden gefunden; mit der mehrerwähnten Correction wegen der schwierigeren Blutbahnen hätten wir 31,1 Sekunden. Die mittlere Pulsfrequenz der Versuchsthiere (es gehören hierher manche mit medicamentösen Infusionen in den Kreislauf u. s. w. behandelten Thiere) war 61; in 31,1 Sekunden hatten die Thiere vollbracht 31,6 Pulse; ihre Blutmenge wäre also $31,6 \times 1076 = 34,0$ Kilogramme $= \frac{1}{1,2}$ des Körpergewichtes.

Streichen wir in dieser 3. Versuchsreihe Hering's 5 Thiere mit Pulsfrequenzen von 100—120, so bleiben noch 36 Versuche übrig mit einer mittleren Pulsfrequenz von 55 Schlägen und einer Geschwindigkeit des Jugulariskreislaufes von 29,2, des mittleren Kreislaufes (mit Einrechnung unserer Correction) von 31,5 Sekunden. In dieser Zeit hatten die Thiere vollführt 28,8 Pulsationen; ihre Blutmenge ist also $28,8 \times 1076 = 30,9$ Kilogramme $= \frac{1}{12,3}$ des Körpergewichtes, eine Proportionalzahl, die der des Menschen nahe steht.

Berechnen wir endlich noch die Ergebnisse der Hering'schen Normalreihe. Die Dauer des Jugulariskreislaufes war 26,2 Sekunden; also die mittlere Circulationszeit in allen Blutbahnen 28,8 Sekunden; die Pulsfrequenz war 44; in 28,8 Sekunden hatten die Thiere 21,1 Systolen vollbracht, also wäre ihre Blutmenge $1076 \times 21,1 = 22,7$ Kilogr. $= \frac{1}{18,7}$ des Körpergewichtes. Was diese letztere Ausnahme betrifft, so muss ich hervorheben, dass hier nur selten an normalen Thieren experimentirt werden kann und dass die Zeitbestimmungen Hering's viel weniger scharf sein können als in meinen Versuchen. Würden wir das hauptsächlichste Gewicht auf die dritte, neueste und grösste Hering'sche Versuchsreihe legen, so stimmen die Ergebnisse ganz befriedigend mit denen anderer Thiere. Ich muss es aber der künftigen Erfahrung überlassen, ob nicht in Thieren von grossem Wuchs die relativen Ventrikelsystolen etwas abweichen von denen kleinerer Gattungen.

Ich will schliesslich unsere Zahlen zur besseren Uebersicht zusammenstellen.

		Körperge- gewicht in Kilogram- men.	Blutmenge in Grammen entleert mit einer Ven- trikelsy- stole.	Durch den Infusions- versuch be- stimmte Zeitdauer eines Blut- umlaufes in Sekunden.	Blutmengen	
					in Grammen.	in Bruch- theilen des Körperge- wichtes.
Kaninchen		1,37	3,88	7,46	101	$\frac{1}{13,7}$
Ziegenböckchen		3,75	10,6	14,14	275	$\frac{1}{13,6}$
Hund		9,2	26,1	16,7	690	$\frac{1}{13,2}$
Mensch		63,6	180,0	23,1	5060	$\frac{1}{12,6}$
Pferd	Hering's dritte Reihe .	380?	1076?	31,1	34000	$\frac{1}{11,2}$
	Dieselbe mit Ausnahme von 5 sehr gestörten Thieren	380?	1076?	31,5	30900	$\frac{1}{12,3}$
	Normalreihe	380?	1076?	28,8	22700	$\frac{1}{16,7}$

Die Blutmenge kleinerer Säugthiere beträgt somit $\frac{1}{14} - \frac{1}{13}$ ihres Körpergewichtes; die des Menschen $\frac{1}{13} - \frac{1}{12}$ und die des Pferdes wahr- scheinlich nahezu $\frac{1}{12}$ des Körpergewichtes.

Diese durch indirekte Methode erhaltenen Ergebnisse führen also auf ganz unerwartete Uebereinstimmungen, worin eine Garantie liegen wird sowohl der sehr annähernden Richtigkeit der erhaltenen Werthe, als auch der Brauchbarkeit der Infusionsmethode überhaupt und un- serer auf dem Wege der Analogie gemachten, im nächsten §. durch weitere Thatsachen bestätigten Voraussetzungen. Die von uns er- haltenen Blutmengenverhältnisse werden, wie ich hoffe, den Prüfstein der direkten Methoden nicht zu scheuen haben, wenn einmal der Weg zu dieser schweren Aufgabe vollkommen geebnet sein wird. Unsere Zahlen stehen denjenigen ziemlich nahe, welche Haiden- hain in seiner Schrift: *de sanguinis quantitate*, Halle 1857, als die proportionalen Blutgewichtszahlen angiebt. Doch mag das zum Theil ein Zufall sein; Haidenhain hat namentlich darauf keine Rücksicht genommen, dass das beim Verblutungstod ausfließende Blut bedeu- tend durch die Gewebsflüssigkeit verdünnt wird, wie meine Blutkör- perchenzählungen an verblutenden Thieren direkt und ausnahmslos nachgewiesen haben.

Ich habe schon längst vorgeschlagen, die Resultate der Blutkörperchenzählungen zu Grunde zu legen, wobei den Thieren alles Blut aus den Adern gepumpt werden müsste, sodass man sämtliche Blutkörperchen in einem Gefäss gesammelt hätte. Ich brauche nicht weiter auszuführen, wie man dann leicht die Blutmenge finden könnte. Leider ist aber der Blutkörperchengehalt in den Venen und Arterien nicht genau derselbe, wie ich in noch nicht publicirten Versuchen, die ich in Zukunft zu vernehren hoffe, gefunden habe. Haidenhain macht meinem Vorschlag folgende Einwände: 1) Die Blutkörperchen könnten nicht ohne Beimischungen anderer Flüssigkeiten angesammelt werden; dieser Einwand ist, wie man leicht sieht, ohne alles Gewicht. Es versteht sich, dass wir ein sehr verdünntes Blut erhalten werden, was aber der Berechnung nicht im Wege stehen kann. 2) Die Blutkörperchen könnten nicht alle entleert werden, mit andern Worten, das Blut könnte nicht vollständig ausgepumpt werden. Darüber wird die Erfahrung entscheiden. Haidenhain wendet ja selbst dieselbe Methode des Ablassens und Auspumpens des Blutes an.

§. 31. Die Grundgesetze der mittleren Kreislaufszeiten und der mittleren circulirenden Blutmassen in Säugthieren.

Meine Experimente über die Blutgeschwindigkeiten führen auf eine Reihe von Gesetzen, welche die wesentlichsten Erscheinungen des Blutkreislaufes in den Organismen der verschiedensten Säugthiere zu einer unerwarteten Harmonie vereinen. Mögen die Pulsfrequenzen, Kreislaufsdauern, Blutspannungen, Körper- und Blutmassen u. s. w. die grössten absoluten Differenzen bieten, sie stehen gleichwohl in konstant wiederkehrenden Wechselbeziehungen. Gelingt es mir, gemeinsame Erscheinungen nachzuweisen im Kaninchen, dem Hund, der Ziege und dem Pferd, stimmen diese Erscheinungen mit den am Menschen entweder direkt oder auf dem Wege der Analogie mit Thieren gewonnenen Grössen, dann ist die Behauptung

nicht unbegründet, dass das, was gefunden wurde in fünf so sehr differenten Organismen kein Zufall sein könne, sondern auf Naturgesetzen beruhe, die eine allgemeinere Gültigkeit haben.

Die mittleren Kreislaufzeiten in Säugethieren sind charakterisirt durch folgende 9 Gesetze, als Ergebnisse der Infusionsversuche:

I. Die mittlere Kreislaufsdauer einer Säugethierspecies ist gleich der durchschnittlichen Zeit, innerhalb welcher das Herz 26 bis 28 Schläge vollendet.

Dabei werden, wie gesagt, die für die Species durchschnittlichen Dauern und Grössen der Herzsystolen annähernd vorausgesetzt und die strenge Gültigkeit des Gesetzes (das für kleinere und mittel-grosse Gattungen sicher konstatirt ist) für Gattungen von bedeutender und von sehr geringer Körpergrösse späteren Experimentalerfahrungen anheimgestellt.

	Dauer des Kreislaufes in Sekunden.	Pulsfrequenz.	Herzschläge während ei- nes Blutum- laufes.
Kaninchen	7,46	210	26,1
Ziegenböckchen	14,14	110	26
Hund	16,7	96	26,7
Mensch	23,1	72	27,7
Pferd } Hering's dritte Reihe	31,1	61	31,6
	Dieselbe mit Ausschluss der ex- trem pathologischen Pulsfre- quenzen	31,5	55

Man sieht, mit zunehmendem Körpergewicht nimmt die Zahl der auf die Zeit eines Kreislaufes fallenden Pulse etwas zu, jedoch nur unbedeutend. Für kleinere Organismen hätten wir 26,5 Schläge im Mittel, für grössere 27—28, für sehr grosse gegen 29 Pulse.

Die etwas abweichenden Ergebnisse aus den Hering'schen Versuchen sind wohl theilweis erklärbar durch die im vorigen §. hervorgehobenen Momente. Desshalb wäre es immer möglich, dass die nicht sehr bedeutenden Ausnahmen in den Pferden auf ein Minimum sich reduciren würden bei einem strengeren Versuchsverfahren. Nehme ich das Mittel aus der Hering'schen Normal- und seiner Mittelreihe, so kommen 26,1 Pulse auf die Dauer eines ganzen Kreislaufes.

Ich muss von dem Versuch abstehe, aus den mittleren Pulszahlen anderer Säugethierspecies deren mittlere Kreislaufzeiten annähernd a priori zu bestimmen, aber bloss deshalb weil wir, sehr wenige Ausnahmen abgerechnet, leider keine zuverlässigen Durchschnittswerthe der mittleren Pulsfrequenzen besitzen. Im Rinde fand Hering eine etwas kürzere Kreislaufzeit als im Pferde; damit steht in Einklang die um 5—6 Schläge höhere Pulsfrequenz des Rindes. Den Zahlen der Pulsfrequenzen, die da und dort, z. B. bei Burdach, angegeben werden, kann ich kein Vertrauen schenken, weil ich aus Erfahrung weiss, dass z. B. die in manchen Büchern auf 120 Schläge angegebene Pulsfrequenz des Kaninchens sehr weit unter der Wahrheit steht, ebenso wenig kann die prätendirte Pulsfrequenz 74 der Ziege richtig sein. Wenn das Eichhörnchen, wie Volkmann nach Young angiebt, wirklich 500 Pulse in der Minute zeigt, so müsste seine Kreislaufsdauer nur nahe 3 Sek. betragen. Obschon die gefundenen Uebereinstimmungen der Kreislaufsbedingungen in mehreren, so differenten Thiergattungen auf ein gemeinsames Gesetz hinweisen, so gebe ich doch gerne zu, dass noch weitere Prüfungen mit anderen Thieren nothwendig sind. Ich werde es mir deshalb in der nächsten Zeit angelegen sein lassen, die Kreislaufsdauern namentlich in kleinen Säugthieren von extrem hohen Pulsfrequenzen und auch in Vögeln zu bestimmen. Die Versuchsmethode muss aber hier, was ich zu bemerken nicht unterlassen will, etwas modificirt werden hinsichtlich der Ausflussweise des Blutes; es ist nämlich eine Vorrichtung anzuwenden, dass das Venenblut fast unmittelbar und nicht durch eine, wenn auch nur kurze dazwischenliegende Canüle in die Trichter der das Blut auffangenden Scheibe abfließt.

Ist T = Dauer eines Blutumlaufes, t = Zeit zwischen den Anfängen zweier auf einander folgenden Kammersystolen, so haben wir

$$A) T = 26,5 t \text{ bis } 28 t.$$

Da nun während der Dauer eines vollständigen Blutumlaufes alles Blut des Körpers einmal durch das linke Herz geflossen ist, so folgt aus unserem ersten Gesetz als zweites:

II. Das mittlere Verhältniss der durch eine Kammersystole des Herzens ausgetriebenen Blutmenge zur gesammten Blutmenge des Körpers ist in den Säugthiergattungen annähernd konstant.

Dadurch verliert unser erstes Gesetz die bloss empirische Form, die es auf den ersten Anblick hat und wird reducirt auf ein annähernd einheitliches Verhalten der Herzthätigkeit in allen Säugthierspecies.

Wir hatten im vorigen §. $T = \frac{bt}{v}$ (wobei b = Blutmenge, v = mit einer Systole ausgetriebene Blutmenge), vorhin hatten wir $T = 26,5 t$, also ist:

$$B) 26,5 \text{ bis } 28 = \frac{b}{v}$$

d. h. jede Systole des Ventrikels treibt $\frac{1}{26,5}$ bis $\frac{1}{28}$ der Gesamtblutmenge des Körpers in die Aorta ein. Die kleinen Thiere scheinen also relativ etwas begünstigter zu sein als die grossen. Für die Blutmengen haben wir demnach:

$$C) b = 26,5 v \text{ bis } 28 v.$$

III. Die mit einer Kammersystole ausgetriebenen mittleren Blutmengen verhalten sich annähernd wie die Körpergewichte.

Die Blutmengen sind ziemlich proportional den Körpergewichten (§. 29.); die durch eine Ventrikelsystole ausgestossenen Massen sind nahe proportional den Blutmengen (II.), also ist unser approximativer Schluss gerechtfertigt, wir haben, wenn k und k' die Körpergewichte bezeichnen:

$$D) v : v' = k : k'.$$

v wird Früherem zufolge in allen Thieren ungefähr $= \frac{k}{353}$

IV. Die durchschnittlichen Kreislaufzeiten verhalten sich wie die durchschnittlichen Zeiten einer gesammten Ventrikelbewegung (Systole plus Diastole), oder umgekehrt wie die mittleren Pulsfrequenzen der Thierspecies.

	Kreislaufzeiten		Zeiten einer Systole u. Diastole Ventriculi	
	in Sekunden.	relative.	in Sekunden.	relative.
Kaninchen	7,46	1	0,286	1
Ziegenböckchen . . .	14,14	1,89	0,545	1,90
Hund	16,7	2,22	0,625	2,19
Mensch	23,1	3,09	0,833	2,91
Pferd	31,5	4,22	1,091	3,82

Wir sehen in dieser Tabelle, wie schön die Thatsachen des Versuches stimmen mit den in diesem vierten Gesetz aufgestellten Behauptungen.

Also haben wir:

$$E) \quad T : T^1 = t : t^1.$$

Bei gegebenen Kreislaufzeiten der Kaninchen, Ziegen und Hunde und gegebenen Pulsfrequenzen in beiden letzteren Thiergattungen, ist die Pulsfrequenz des Kaninchens 208 (berechnet aus der Ziegenzahl) und 213 (berechnet aus der Hundezahl) u. s. w. Also vollständige Harmonie zwischen Rechnung und Beobachtung. Sind F und F^1 die Pulsfrequenzen zweier Thiere, so wird:

$$F) \quad T : T^1 = F^1 : F.$$

Desgleichen lassen sich die Kreislaufzeiten berechnen, wie nicht specieller ausgeführt zu werden braucht.

V) Die Zeiten, innerhalb welcher in verschiedenen Thiergattungen Blutmassen circulirt haben, die proportional sind den mittleren Körpergewichten dieser Thiere, verhalten sich wie deren durchschnittlichen Kreislaufsdauern.

Berechnen wir z. B. die Zeiten, welche verstreichen, wenn die durch den Körper circulirten Blutmassen identisch sind mit den Körpergewichten, so erhalten wir:

	Zeiten in Sekunden	Verhältnisse der Kreis- laufszeiten, (die des Kaninchens = 10).
Kaninchen	101	10
Ziegenböckchen . . .	193	19,3
Hund	220	22,3
Mensch	290	30,9
Pferd	387	41,7

Dieses Gesetz folgt mit Nothwendigkeit aus den Kreislaufsbedingungen. Jede Systole treibt ein der Blutmenge des Körpers proportionales Blutquantum aus, = ungefähr $\frac{1}{353}$ des Körpergewichtes. Da nun während der Zeit t einer Herzbewegung (Systole + Diastole) $\frac{1}{353}$ des Körpergewichtes ausgetrieben wird, so muss eine dem Körpergewichte identische Blutmasse ausgetrieben sein annähernd in der Zeit $= 353 t$. Da ferner die Zeiten einer Herzbewegung sich verhalten in verschiedenen Thieren wie deren Kreislaufzeiten (Gesetz IV.), so müssen sich auch die Zeiten, in welchen den Körpergewichten proportionale Blutmassen circulirt haben, verhalten wie die Kreislaufzeiten. Unser V ist also bloss ein Corollarium von IV. und wir können dem Gesetz auch den, freilich fast selbstverständlichen Ausdruck geben: die Zeiten, innerhalb welcher den Gesamtblutmassen des Körpers proportionale Blutmengen circulirt haben, verhalten sich wie die Kreislaufzeiten.

Diese letztere Form ist exakter und tadelloser als die Ausdrucksweise, die ich dem Gesetz V. gegeben habe, weil hier nichts präjudicirt wird über das Verhältniss der Blutmasse zu dem Körpergewicht, ein Verhältniss, das nur annähernd konstant ist in allen Säugthiergattungen. Desshalb ist unser V. nicht so scharf als IV., welches als unmittelbares Ergebniss des Versuches dasteht, der bloss bedingt die direct und scharf möglichen Bestimmungen der Pulsfrequenzen und der mittleren Kreislaufzeiten.

VI) Die mittleren Kreislaufsdauern zweier Säugthier-species verhalten sich annähernd umgekehrt wie die durch gleiche Gewichtstheile der Thiere in gleichen Zeiten fliessenden Blutmassen.

Ein Kilogramm Körpermasse erhält in einer Minute folgende Blutmengen in Grammen:

Kaninchen 592,
Ziege 311,
Hund 272,
Mensch 207,
Pferd 152 .

Vergleichen wir z. B. das Kaninchen mit der Ziege, so haben wir $592 : 311 = 14,14 : x$. Die berechnete Circulationsdauer des Kaninchens ist somit 7,4. Denselben Werth gab der Infusionsversuch.

Unsere übrigen Zahlen führen auf folgende Werthe für die Circulationszeit des Kaninchens:

berechnet aus dem Hund 7,8 Sekunden,
Mensch 8,0 „
Pferd 8,0 „

Für den Hund ergibt sich, wenn wir vom Menschen ausgehen eine Kreislaufsdauer von 17,5 Sekunden, während im direkten Versuch 16,7 Sekunden gefunden wurden u. s. w.

Die nicht sehr grossen, die Gültigkeit unsers Schlusses aber nicht wesentlich beeinträchtigenden Differenzen zwischen Rechnung und

Erfahrung rühren daher, weil hier wiederum das Verhältniss der Blutmenge zu dem Körpergewicht, eine bloss sehr annähernd gültige Zahl, indirekt in Rechnung kommt.

Die vom Herzen in der Zeiteinheit ausgestossene Blutmasse sei p , das Gewicht des Thieres k , also ist die durch die Gewichtseinheit des Thieres in der Zeiteinheit fliessende Blutmasse $\frac{p}{k}$. Wir haben somit, unter analogen Bezeichnungen für ein zweites Thier:

$$G) \quad \frac{p}{k} : \frac{p'}{k'} = T' : T.$$

Die beiden Corollarien dieses Gesetzes lauten: Die durch gleiche Gewichtstheile zweier Thiere in gleichen Zeiten strömenden Blutmassen verhalten sich umgekehrt wie die Zeiten einer Herzbewegung (Systole plus Diastole) oder, was dasselbe ist, sie verhalten sich proportional den mittleren Pulsfrequenzen. Demnach haben wir:

$$H) \quad \frac{p}{k} : \frac{p'}{k'} = t' : t$$

$$\text{und I) } \frac{p}{k} : \frac{p'}{k'} = f : f'.$$

VII) Die Produkte der mittleren Kreislaufsdauern in die in gleichen Zeiten durch den Körper strömenden Blutmassen verhalten sich wie die Körpergewichte der Thiere.

Also haben wir:

$$K) \quad k : k' = T p : T' p'$$

Zum Beispiel:

	Relative Körpergewichte.	$T \propto p$
Kaninchen	10	10
Ziege	27	27
Hund	67,2	68

Die Circulationsgesetze schliessen, wie man sieht, eine durchgreifende Beziehung zwischen absoluten Körpergewichten und Kreislaufzeiten allein, oder, wie schon Hales vermuthet hat, zwischen absoluten Körpergewichten und umgetriebenen Blutmassen vollkommen aus. Es lässt sich bloss im Allgemeinen behaupten, dass die Kreislaufsdauern in verschiedenen Thiergattungen abnehmen mit abnehmenden Körpergewichten und Körpergrössen, doch so, dass sie bei weitem nicht so schnell sinken wie die Körpergewichte. Folgende Tabelle mag noch zeigen, dass zwischen den absoluten Körpergewichten und umgetriebenen Blutmengen keine allgemeine gesetzmässige Beziehung existiren kann.

	In einer Minute aus dem Herzen fliessende Blut- menge		Körpergewichte	
	in Grammen.	relative.	in Kilogramm.	relative.
Kaninchen .	812	10	1,37	10
Ziege	1166	14	3,75	27
Hund	2504	31	9,2	67
Mensch . . .	13143	160	63,6	460
Pferd	58800	720	380,0	2770

VIII) Die mittleren arteriellen Blutdrücke zweier Säugthierspecies verhalten sich nahezu umgekehrt wie die in gleichen Zeiten durch gleiche Körpergewichtstheile fließenden durchschnittlichen Blutmengen.

Die Produkte der arteriellen Blutdrücke in die durch gleiche Gewichtstheile Körpermassen in gleichen Zeiten fließenden Blutmengen sollten demnach in den verschiedenen Säugthierspecies nahezu gleich sein. Und so scheint es in der That der Fall zu sein. Wir haben:

	<i>a.</i> Blutdruck in M. m. Hg.	<i>b.</i> Blutmengen.	$a \times b.$
Pferd	280,	152,	425,
Hund	150,	272,	408,
Ziege	135,	311,	419,
Kaninchen	80,	592,	473.

Für den Menschen würde sich ergeben ein Blutdruck von 200 M. m. Hg., eine ganz annehmbare Zahl. Das Product $a \times b$ wäre dann 414.

Grösser werden die Uebereinstimmungen, wenn man die Differenzen der Blutspannungen am Anfang des Arteriensystems und in den dem rechten Herzen nahe liegenden Venen in Rechnung bringt. Es würden von den Zahlen der Rubrik *a* der vorstehenden Tabelle etwa 10 M. m. Hg. abzuziehen sein. Die Producte $a \times b$ wären dann:

Pferd	410,
Hund	381,
Ziege	388,
Kaninchen	414.

Der arterielle Blutdruck im Kaninchen ist nach zwei Bestimmungen von Blake und Volkmann 96 M. m. Diese hohe Zahl wurde in einer, allerdings auch nur vereinzelter Erfahrung von mir nicht bestätigt. Was die Angaben über die Blutdrücke in Pferden betrifft, so vergesse man nicht, dass man hier in der Regel an abge-

triebenen oder kranken Thieren experimentirt, während unsere übrigen Versuchsthiere normal sind. Ich habe einen höheren Werth gewählt, aber bei weitem noch nicht das Maximum, das in einzelnen Versuchen am Pferd gefunden worden ist. Die Werthe vom Hund und der Ziege habe ich von Volkmann entnommen. Da unsere Mittelzahlen der Blutdrücke nur ungefähr sein können, so dürften die berechneten Werthe $a \times b$ noch mehr differiren, als es wirklich der Fall ist, und immer noch wäre das hier hervorgehobene Verhalten der mittleren Blutdrücke beachtenswerth, sowie es auch nichts von seinem Interesse verliert, wenn es sich später herausstellen sollte, dass unsere Norm nur eine approximative Gültigkeit habe.

Die Richtigkeit unseres achten Gesetzes scheint mir unterstützt zu werden durch folgende Ueberlegung. Die Thatsache, dass durch gleiche Körpergewichtstheile in verschiedenen Thiergattungen in derselben Zeit sehr verschiedene Blutmassen fließen (Gesetz 6), kann nur daher rühren, dass die in dem Gefässsystem der Körpergewichtseinheit sich entwickelnden Stromhindernisse, gleichgültig wo und auf welche Weise sie sich geltend machen, annähernd umgekehrt sich verhalten wie die in gleichen Zeiten durch die Körpergewichtseinheit fließenden Blutmassen. Das Haemodynamometer ist annähernd ein Widerstandsmesser, es steht unter dem Einfluss aller stromhemmenden Momente, die vom Anfang des Aortensystemes sich geltend machen bis zur Einmündung der Hohlvenen in den rechten Vorhof. Desshalb folgt:

IX) Die mittleren arteriellen Blutdrücke verhalten sich nahezu wie die mittleren Kreislaufzeiten.

Diese Proportionalität stellt sich wiederum dann schärfer heraus, wenn man die Differenzen der mittleren Drücke am Anfang des Arterien- und am Ende des Venensystemes in Rechnung bringt.

Wir leiten aus unserm achten Gesetz (welches übrigens, wie unsere neunte Aufstellung, bloss einen Wahrscheinlichkeitsschluss darstellt aus Thatsachen, die zwar sicher, aber noch nicht gehörig verallgemeint sind), noch die weitere Folgerung ab, dass die Nutzeffekte der linken

Herzkammer in gleichen Zeiten, bezogen auf die Körpergewichtseinheit, in den verschiedenen Säugthiergattungen annähernd dieselben sind. Für ein Kilogramm Thier ist der minütliche Nutzeffekt des linken Ventrikels etwa 0,48 Kilogramm-meter. Diese Thatsache ergiebt sich aus unseren Zahlen unmittelbar und ich habe nicht nöthig, speciellere Zahlenwerthe anzugeben. Die Folgerung scheint mir besonders desshalb von Interesse zu sein, weil die auf die Körpergewichtseinheiten bezogenen circulirenden Blutmassen sehr verschieden sind und die Muskeln der Thiere, in ihren auf die Körpergewichtseinheiten bezogenen Nutzleistungen nicht minder grosse Differenzen zeigen. Das Herz aber muss eine Ausnahme machen, und in schwachen Thiergattungen, die wir zu keinen Arbeiten verwenden, für den Körper ungefähr denselben proportionalen Nutzeffekt leisten, wie in unseren grossen, kräftigen Arbeitsthieren. Dasselbe ist annähernd der Fall im erkrankten Thier; seine Muskeln sind unter Umständen nicht der allergeringsten Anstrengung fähig, das Herz aber participirt nicht und kann, wenn das Leben fortbestehen soll, nicht participiren an diesem enormen Darniederliegen der Muskelkraft, es arbeitet annähernd in gleicher Weise fort wie im gesunden Thier.

Ich beschränke mich auf die gegebenen Aufstellungen, obschon die Aufforderung nahe liegt, die gesetzmässigen Beziehungen der Kreislauferscheinungen noch etwas weiter zu verfolgen. Wir würden aber den sichern Boden der unmittelbaren Erfahrung theilweis verlieren, wenn wir weiter gehen wollten, da gar manche Werthbestimmungen der Kreislauferscheinungen noch nicht scharf genug ausführbar sind. So könnte man versucht sein, die Beziehungen zwischen Blutgeschwindigkeiten und Körperlängen, resp. den durchschnittlichen Längen sämmtlicher Blutbahnen in verschiedenen Thiergattungen zu untersuchen. Ueberschlägt man z. B. approximativ diese mittleren Längen der Blutbahnen, so zeigt sich, dass in Thieren mit sehr kurzen Kreislaufsdauern in gleichen Zeiten sehr viel kleinere Wege von dem Blut zurückgelegt werden, als in solchen mit grossen Kreislaufzeiten und dass diese Wege möglicherweise sich verhalten können wie die Zeiten eines ganzen Kreislaufes. Die Verhältniss-

zahlen der mittleren Secundengeschwindigkeiten des Blutes (Arterien, Venen und Capillaren zusammengekommen) sind nämlich im Kaninchen, der Ziege, Hund, Mensch und Pferd etwa 1 — 1,3 (?) — 1,5 (?) — 3 — 3,8.

Ueberschauen wir schliesslich noch einmal unsere Resultate, so ergeben sich zwischen Körpergewichten (k und k'), den in einer Sekunde aus dem Herzen ausgetriebenen Blutmassen (V), den durch eine Kammersystole ausgetriebenen Blutmassen (v und v'), den in gleichen Zeiten aus dem Herzen fliessenden Blutmassen (p und p'), den Zeitintervallen zwischen dem Beginn zweier auf einanderfolgenden Kammersytolen (t und t'), den Pulsfrequenzen (f und f'), den Kreislaufsdauern (T und T') und den Blutmengen (b und b') der Thiere folgende Beziehungen:

I) Blutmenge.

$$1) b = TV \quad 2) b = \frac{vT}{t} \quad 3) b = 26,5 v, \text{ für}$$

$$\text{grössere Thiere } 28-29 v. \quad 4) b = \frac{k}{14} \quad \text{bis } \frac{k}{13}, \text{ in}$$

$$\text{grossen Thieren } \frac{k}{13} \quad \text{bis } \frac{k}{12}$$

II) Mit einer Kammersystole ausgestossene Blutmasse.

$$1) v = \frac{b}{26,5} \quad \text{bis } \frac{b}{28} \quad 2) v = \frac{bt}{T} \quad 3) v = \text{ungefähr } \frac{k}{353}$$

$$4) v : v' = k : k'.$$

III) Kreislaufszeiten und circulirende Blutmassen.

$$1) T = 26,5t \quad \text{bis } 28t. \quad 2) T = \frac{bt}{v}$$

$$3) T : T' = t : t' \quad 4) T : T' = F' : F.$$

$$5) T' : T = \frac{p}{k} : \frac{p'}{k'} \quad 6) t' : t = \frac{p}{k} : \frac{p'}{k'}$$

$$7) \frac{p}{k} : \frac{p'}{k'} = F : F'. \quad 8) k : k' = T_p : T'_p.$$

§. 32. Folgerungen über den Stoffwechsel und die Schnelligkeit des Capillarblutstromes in verschiedenen Thieren.

Es ist bekannt, dass gleiche Gewichtstheile verschiedener, namentlich auch verschieden grosser Thiere nicht unbedeutende Differenzen der Kohlensäureausscheidung, der Excretionsstoffe überhaupt, der Zufuhrmengen durch die Nahrung, also allgemein ausgedrückt der Intensitäten des Stoffwechsels darbieten können. Dieser Thatsache entspricht unsere Erfahrung, dass gleiche Gewichtstheile verschieden grosser Thiere sehr verschiedene Blutmassen zugeführt erhalten, sodass in dieser Beziehung das Kaninchen etwa um das Vierfache dem Pferde gegenüber begünstigt ist. Die Aufforderung läge nun nahe, die relativen Stoffwechselintensitäten meiner Versuchsthiere zu vergleichen mit den circulirenden Blutmassen. Leider ist eine solche Vergleichung zur Zeit noch unmöglich, indem die Erfahrungen über die einzelnen Stoffwechselgrössen zu vereinzelt sind und wir nicht sicher sein können, mit den richtigen Mittelwerthen der Stoffwechselgrössen zu rechnen. Wir können somit nur schliessen, dass mit zunehmenden Blutmassen, die durch gleiche Körpergewichte in verschiedenen Thieren circuliren, die Bedingungen grösserer Stoffumsetzungen gegeben sind.

Damit will aber nicht behauptet werden, dass die Stärke des Stoffwechsels proportional sei den durch die Körpergewichtseinheiten fliessenden Blutmassen, denn es kommen noch andere Faktoren zur Wirkung, die theilweis zu ermitteln allerdings gelingen könnte, wenn wir eben zuverlässige Mittelwerthe für die Stoffwechselgrössen unserer Versuchsthiere hätten. So müssen namentlich auch die Blutspannungen in den Capillaren und die chemische Zusammensetzung des Blutes von Einfluss sein, man hätte also zu fragen, wieviel Proteinsubstanzen, Blutkörperchen u. s. w. durch die Körpergewichtseinheit in derselben Zeit fliessen.

Ausserdem muss die Geschwindigkeit des Capillarblutes von Einfluss sein. Bringen wir mit einer Salzlösung Wasser in endosmotischen Contact, so dass einmal das Wasser langsam an der Endosmosenmembran vorbeifliesst, während im andern Fall die gleiche Wassermenge schneller fliessen würde, so müsste die kürzere Berührungszeit im letztern Fall zu einem geringeren endosmotischen Austausch führen. Somit wird der Vortheil grösserer, den Organen zuströmender Blutmassen durch die grössern Geschwindigkeiten des Fliessens in den Capillaren theilweis wieder aufgehoben.

Man kann aber fragen, ist es überhaupt erlaubt anzunehmen, dass das Strömen in dem Capillarsystem in verschieden grossen Säugthieren überhaupt wesentliche Geschwindigkeitsunterschiede biete? Ich muss diese Frage entschieden bejahen und zwar aus folgenden Gründen; 1) Wir kennen keine Thatsache, dass in kleineren Thieren die Capillaren relativ sehr viel zahlreicher und die Maschenräume zwischen den Capillaren sehr viel enger seien als in grossen Thieren. Da nun das Kaninchen 4 mal mehr Blut zugeführt erhält als gleiche Gewichtstheile Pferd so muss auch die Blutgeschwindigkeit in seinen Capillaren annähernd 4 mal grösser sein. 2) Ohne die Annahme grösserer Capillarblutgeschwindigkeiten wären die enorm kleinen Circulationszeiten im Kaninchen, die bloss $7\frac{1}{2}$ Minute betragen, geradezu unerklärlich. Würde nämlich das Blut durch die Capillaren, die kleinsten Arterien und kleinsten Venen dieser Thiere so langsam fliessen als durch die gleichen Gefässstrecken des Menschen, so bliebe für die übrigen Gefässe des Thierchens keine Zeit mehr übrig. Dieser Grund scheint mir für die Annahme grosser Differenzen der Capillarblutströmungen ganz besonders beweisend zu sein.

Da wir es nun in grossen wie in kleinen Thieren mit Gesamtquerschnitten des Körpercapillarsystemes zu thun haben, die den Körpergewichten annähernd proportional sein müssen, so können wir mit Sicherheit schliessen: Die Capillarblutgeschwindigkeiten sind im Allgemeinen proportional den durch gleiche Gewichtsmassen verschiedener Thiere in gleichen Zeiten strömenden Blutmassen. Diese

Annahme entspricht offenbar den Forderungen, die wir an die Leistungen der Blutcirculation dem Stoffwechselbedürfniss der Thiere gegenüber zu stellen berechtigt sind.

§. 33. Die arteriellen Blutgeschwindigkeiten während der Systole und Diastole der Herzkammer.

Während der Systole des linken Ventrikels fließt das Blut in denjenigen Arterien, welche einen Puls zeigen, successiv schneller, während der Diastole dagegen successiv langsamer. Davon kann man sich schon überzeugen beim Anstechen einer Arterie; die Sprungweite des Strahles nimmt zu während der Systole und ab während der Diastole. Der Versuch jedoch, die Ausflussgeschwindigkeiten zu berechnen aus den gemessenen Coordinaten des Blutstrahles wäre nicht gerechtfertigt, weil das Blut hier unter abnormen Bedingungen strömt und nicht angenommen werden darf, dass die auf diese Weise gefundenen Geschwindigkeitszunahmen den wirklichen Schnelligkeitsänderungen im unverletzten Gefässe auch nur proportional sein werden.

Volkman und Lenz, die Einzigen welche bisher Haemodromometerversuche veröffentlicht haben, geben nichts an über die Wirkungen der Kammersystole auf die arteriellen Blutgeschwindigkeiten; die überaus kurze Beobachtungszeit während eines Dromometerversuches würde auch die Ermittlung der Systolewirkungen auf diesem Wege fast unmöglich machen.

Das Haemotachometerpendel dagegen ist in beständigen Oscillationen, deren Zahl genau den Pulszahlen entspricht; es kommt hier niemals vor, dass die wirklichen Pulszahlen, wie beim Haemodynamometer, andere sind als die Schwingungszahlen im Instrument. Die Ablenkungen des Pendels zu Anfang und zu Ende der Kammersystole ergeben die mit dem Puls isochronen periodischen Geschwindigkeitsextreme des arteriellen Blutstromes, oder richtiger ausgedrückt,

da wir die dem Puls entsprechenden Lumenerweiterungen nicht gleichzeitig messen können, die Zunahmen der durch den Querschnitt der Arterie in der Zeiteinheit fließenden Blutmasse.

Der Versuch zeigt, dass die einzelnen auf einander folgenden Kammersystolen dem Blut nicht nothwendig die gleichen Geschwindigkeitszunahmen ertheilen; es giebt also in dieser Hinsicht wirksamere und unwirksamere Herzsystolen. Ebenso zeigt die Erfahrung, dass die mittleren systolischen Geschwindigkeitszunahmen in derselben Arterie verschiedener normalen Thiere sehr verschieden sind und zwar etwa um das Dreifache. Ferner können wir aus der einfachen Betrachtung der Pendeloscillationen oder aus der Configuration unserer Blutgeschwindigkeitscurven schliessen, dass die Geschwindigkeitszunahme ungefähr in der Mitte der systolischen Zeit der Kammer am stärksten ist.

Was endlich die absolute Grösse der systolischen Geschwindigkeitszunahme, oder richtiger der Zunahme der Durchflussmenge während der Kammersystole betrifft, so führen meine Haemotachometerversuche zum Theil auf hohe Werthe, wie die nachfolgende Tabelle zeigt. Die Rubrik „Zunahme der Durchflussmenge“ zeigt an, um wieviel mehr Blut im letzten Zeittheilchen der Kammersystole durch den Arterienquerschnitt strömt als im letzten Zeittheilchen der Diastole. Dabei ist der letztere Werth $= 100$ gesetzt. Die absoluten Werthe sind in §. 45 und 46 verzeichnet.

Für die Arteria carotis ergeben 4 Versuche einen Mittelwerth von 24 ‰, für die Art. cruralis 5 Versuche ein Mittel von 32 ‰.

Versuchsnummer.	Mittlere Sekunden- geschwindigkeit in Millimetern.	Mittlere systolische Zunahme der Durchfluss- menge in Procenten.
1	301	22
8	273	13
11	322	25
13	256	38
6	138	20
9	128	14
12	237	24
14	137	45
15	147	60

} Art.
carotis.

} Art.
cruralis.

Gegenüber diesen zum Theil bedeutenden Werthen kann und muss man fragen, ob nicht etwa in der Construction des Tachometers eine Bedingung liege, welche die Ablenkungen des Pendelchens grösser werden lasse, als den wirklichen systolischen Geschwindigkeitszunahmen entspricht. Ich bin jedoch nicht im Stande gewesen, durch theoretische Ueberlegungen oder durch irgend eine experimentelle Erfahrung an dem Apparat selbst, diese Vermuthung bestätigen zu können. Ich habe mir die Frage vorgelegt, ob nicht etwa der schneller werdende Blutstrom am Anfang der Kammersystole der Kugel des Pendelchens, die jetzt tiefer und der Ausflussmündung des Blutes näher steht, einen Stoss gebe, der den Geschwindigkeitszunahmen des Blutes im weiteren Verlaufe der Kammersystole vaneilen könnte. Diese Vermuthung erwies sich aber als ungegründet, weil das Pendelchen während der Kammersystole eine kontinuierliche und nicht etwa 2 oder gar mehrere stossweise Bewegungen macht und weil die Zeiten der systolischen Ablenkung des Pendelchens im

normalen Zustand des Thieres ungefähr gleich sind den Zeiten des diastolischen Pendelrückganges. Die Hydrauliker haben, so viel mir bekannt, ihre hydrometrischen Pendel bloss zur Messung konstanter Geschwindigkeiten benutzt und die Theorie und Leistungen des Apparates bei kontinuierlichem, aber stossweis beschleunigtem Strömen nicht geprüft.

Die Cruralisversuche ergaben mir zum Theil grössere Werthe für die systolischen Geschwindigkeitszunahmen als die, übrigens an anderen Thieren angestellten, Carotisversuche. Ob diese Erscheinung zufällig ist, ob einzelne extrem hohe Werthe von mir unbekannt gebliebenen Versuchsfehlern abhängen, oder ob das Phaenomen in einem gewissen Zusammenhang stehe mit der in den Hunden gefundenen geringeren mittleren Stromschnelle in der Cruralarterie, das zu entscheiden muss späteren Erfahrungen überlassen bleiben.

Beachtenswerthe Gründe sprechen übrigens, wie ich glaube, für das Vorhandensein sehr bedeutender systolischer Geschwindigkeitszunahmen in den grösseren Arterien. Der linke Ventrikel treibt bei jeder Systole im Zustand der Körperruhe $\frac{1}{2\frac{1}{6}}$ der Körperblutmasse in die Aorta ein; $\frac{3}{2\frac{1}{6}}$ bis $\frac{4}{2\frac{1}{6}}$ finden sich gewiss im rechten Herzen, der kleinen Blutbahn und dem linken Vorhof. Das Venensystem der Körperblutbahn enthält entschieden sehr viel mehr Blut als das Arteriensystem, für welches wir etwa die Hälfte der venösen Blutmasse annehmen können. Dann bleiben für das Arteriensystem der grossen Blutbahn etwa noch übrig $\frac{7}{2\frac{1}{6}}$ der gesamten Blutmasse. Die arterielle Blutmasse würde während der Kammersystole somit vermehrt um $\frac{1}{4}$. Ein nicht unbeträchtlicher Theil des Arterienblutes findet sich aber in den kleineren, weniger oder gar nicht pulsirenden Arterien; die grossen Arterien vom gleichen oder höhern Rang als Carotis und Cruralis werden zusammen lange nicht die Hälfte des vorrätigen Arterienblutes enthalten. Die grossen Arterien vermehren während ihrer Expansion nach den Messungen von Poiseuille und Valentin (die ich für ziemlich genau halte, seitdem ich weiss, dass die systolische Geschwindigkeitszunahme des Arterienblutes gross ist) ihren Rauminhalt bloss um $\frac{1}{20} - \frac{1}{15}$; ihre Ausdehnung leistet für den Blutzuwachs a tergo

nicht sehr viel und wir können somit, gestützt auf diese Ueberlegungen und selbst unter der Berücksichtigung der in Folge der blossen Strombewegung des Blutes mittlerweile geschehenden theilweisen Entleerung des Arteriensystemes, die Möglichkeit ja Nothwendigkeit von Geschwindigkeitszunahmen des Arterienblutes während der Kammersystolen um 20—30 und mehr Procen te sehr wohl einsehen.

Aber auch Thatsachen der Hydraulik sprechen für bedeutende Zunahmen der Arterienblutgeschwindigkeiten während der Ventrikelsystolen. Mit Zunahme nämlich der das Strömen überhaupt unterhaltenden Kraft (repräsentirt z. B. durch die Druckhöhe des Wassers in einem Reservoir) wachsen die Geschwindigkeiten sowohl als die Spannungen in den Röhrenleitungen, aber so, dass die Geschwindigkeiten sehr viel mehr zu nehmen als die Spannungen, und mit der weiteren Beschränkung, dass das Verhältniss der Geschwindigkeits- und Druckhöhen bei verschiedenen Geschwindigkeiten kein konstantes ist. Der hydraulische Apparat des Organismus muss so eingerichtet sein, dass mit Zunahme der Herzthätigkeit die Blutgeschwindigkeiten mehr wachsen als die Widerstände. Es würden sich die grössten Inconvenienzen ergeben, wenn dem anders wäre. In denjenigen Zuständen also, wenigstens innerhalb gewisser Grenzen des normalen Organismus, welche verbunden sind mit schnellerer Blutcirculation, braucht die zur Besiegung der Widerstände nöthige Kraft nicht proportional mit der Vermehrung der Blutgeschwindigkeiten zu steigen.

Bei der so eben angestellten Betrachtung wurde vorausgesetzt, dass die Geschwindigkeitszunahme des Blutstromes einzig herrühre von Zunahme der Kraft, die das Fliessen im Gefässsystem überhaupt bewirkt, wobei die übrigen Widerstandsursachen, soweit das bei den Verhältnissen des Organismus irgend möglich ist, als unverändert gedacht wurden. Dieser Fall findet annähernd wenigstens statt, wenn man die Drucke und Geschwindigkeiten im Arteriensystem während der Systole und Diastole des linken Ventrikels mit einander vergleicht.

Ganz ausnahmslos nehmen dann, wie die Theorie verlangt, beide Werthe zu. Will man somit die Beziehungen zwischen Drucken und Geschwindigkeiten untersuchen, so wird man am sichersten verfahren, wenn man den Haemotachometerversuch combinirt mit einem gleichzeitigen Haemodynamometerexperiment, was ganz gut ausführbar sein muss, wenn anders die Pulsfrequenz klein ist.

Etwas ganz anderes aber ist es, um bei dieser Gelegenheit diese so oft erörterte Frage etwas weiter zu verfolgen, wenn man, wie Lenz verfuhr, die Geschwindigkeiten und Drucke des Arterienblutes in verschiedenen Thieren derselben Gattung mit einander vergleicht. Dieser Forscher wurde zu dem Resultat geführt, dass zwischen Spannungen und Geschwindigkeiten keine konstanten Beziehungen stattfinden. Das war auch nicht anders zu erwarten. Die Blutgeschwindigkeiten können nämlich nicht bloss dann zunehmen, wenn das Herz in einseitiger Weise durch Eintreiben grösserer Blutmassen in die Aorta die Spannungen im Arteriensystem erhöht, sondern auch — und das ist für die thierische Oekonomie und für die Ersparung von Kraft von Seiten des Herzens ungleich wichtiger — dadurch, dass die Widerstände, die dem Fliessen entgegen stehen, gemindert werden. Dieses geschieht bekanntermaassen am wirksamsten in den kleineren Gefässen durch Veränderungen ihrer Lumina. Der Blutdruck kann dann begreiflich sinken, und gleichwohl die Geschwindigkeit wachsen. Stellt man die Versuche von Lenz zusammen, so ergiebt sich in der That, dass im Endmittel bei Thieren mit höheren arteriellen Blutdrucken die Geschwindigkeiten eher etwas geringer sind als bei Thieren derselben Gattung mit niederen Blutdrucken. Ich erinnere hier an unser achttes Kreislaufgesetz, das erhalten wurde durch Vergleichung der arteriellen Blutdrücke und der strömenden Blutmassen in verschiedenen Thiergattungen.

Die hydraulisch geforderte Erscheinung, dass mit Zunahme der Blutspannung am Anfang des Aortensystemes das Fliessen ebenfalls zunehme, kann somit nur dann realisirt werden, wenn die übrigen Widerstandsursachen identisch sind oder wenn sie wenigstens nicht zu

sehr abgenommen haben. Im Organismus aber wird in der Regel durch Combination erhöhter Pulsfrequenz oder ausgiebigerer Kammer-systolen mit gleichzeitig stattfindender Herabsetzung der Stromwiderstände das schnellere Fliessen ermöglicht, sodass in demselben Thier in verschiedenen Zuständen die verschiedensten Blutgeschwindigkeiten sich verbinden können mit derselben arteriellen Blutspannung und umgekehrt.

Dritter Abschnitt.

Die Grundbedingungen der Variationen der Blutgeschwindigkeiten.

§. 34. Die individuellen Abweichungen von der mittleren Kreislaufszeit der Gattung.

Man könnte etwa die Frage stellen, ob sich jedes Einzelindividuum den im vorigen Abschnitt entwickelten mittleren Kreislaufgesetzen unter allen Umständen seines gesunden oder kranken Bestehens auch wirklich fügen müsse. Man wird dann die Antwort erhalten, dass das nicht der Fall sei, noch vermöge der Eigenthümlichkeiten des in so hohem Grade labil gebauten Organismus sein könne. Eine etwas weitere Ueberlegung muss Jeden zum Schluss führen, dass die verschiedenen Individuen derselben Gattung unmöglich scharf proportionale Kreislaufsapparate oder doch wenigstens Kreislaufsbedingungen zeigen können und dass sie sich — allem nach zu schliessen, was man weiss vom kranken Zustand — um so mehr entfernen werden von den gewöhnlichen Verhältnissen aller oder doch einiger ihrer Circulationsbedingungen, je grössere Störungen die Krankheitsprozesse in ihren Organismen gesetzt haben. Diese Erfahrung und Ueberlegung könnte dann den oberflächlichen Beobachter zum Schluss bringen, unsere Kreislaufgesetze mögen etwa Curiositäten sein, ohne aber auf inneren festen Werth oder auf practische

Verwendungen für die Analyse physiologischer oder pathologischer Kreislaufszustände Anspruch machen zu können. Dieser Schluss wäre aber falsch.

Was beweisen nun unsere Kreislaufgesetze? Zunächst zeigen sie, dass die verschiedenen Säugethiergattungen Proportionalitäten in ihren Blutgeschwindigkeiten und in den durch ihre Körper circulirenden Blutmassen bieten. Diese Proportionalitäten werden aber dann und nur dann begreiflich, wenn wir annehmen, gezwungen durch positive und keiner andern Deutung fähige Thatsachen, dass sehr nahezu ein konstantes Verhältniss als Durchschnittsregel in der Säugethierreihe (über die anderen Wirbelthierklassen kann ich noch nichts aussagen) bestehe zwischen der durch eine Kammersystole ausgestossenen Blutmasse und dem gesammten Blutvorrath des Körpers. Niemand wird bestreiten wollen, dass es für jede Thiergattung bestimmte Durchschnittszahlen der Blutmasse überhaupt und der Ausgiebigkeit der Kammersystolen geben müsse, obschon die Einzelindividuen von diesen Durchschnittszahlen Abweichungen zeigen können und zwar entweder konstant oder doch in gewissen pathologischen oder physiologischen Zuständen.

Als ich vor zwölf Jahren in meiner Physiologie des Athmens auf dem Wege der Induction den Beweis lieferte, dass die Kohlensäureausscheidung aus dem Blut eine Funktion sei des Druckes der Kohlensäureatmosphäre in der Lungenluft und des Kohlensäuregehaltes des Blutes, konnte ich nicht umhin, zu bemerken, dass die von mir aufgestellte Theorie a priori, gestützt auf die Absorptions- und Diffusionsgesetze der Gase, wenigstens in ihren allgemeineren Grundzügen und ihrem wesentlichen Inhalt nach hätte gefunden werden können. Ich habe meine damaligen Versuche nicht von dem Standpunkt jener Lehren der Physik aus begonnen und wurde erst durch die Versuchsergebnisse selbst, indem ich Frequenzen und Grössen der Athmungsbewegungen vielfach variirte oder die Respiration selbst vorübergehend anhielt, auf die physikalische Erklärung, d. h. die Theorie des respiratorischen Gaswechsels geführt.

Dasselbe muss ich hier wiederholen. Ich hatte während der ganzen Zeit, als ich Experimente über die Blutgeschwindigkeiten anstellte, nicht eine Ahnung von der bewunderungswürdigen Harmonie, welche diese Seite der Organismen bietet, wozu mir auch in der That die bloss äusserliche Betrachtung der Versuchsergebnisse keinen Anlass gab, noch andern Forschern bisher gegeben hat; ich bin erst nach Abschluss der Versuche bei der Berechnung der Resultate auf die Kreislaufgesetze gestossen. Aber diese Gesetze hätten offenbar gefunden werden können mittelst einfacher, a priori einladender, jedenfalls einer Berücksichtigung werther Annahmen: dass nämlich die verschiedenen Säugthiergattungen ihrem durchschnittlichen Körpergewicht proportionale Blutmengen besitzen, namentlich aber dass jede Kammersystole ein der Blutmenge, resp. also auch dem Körpergewichte proportionales Blutquantum in die Aorta austreibe. Die relativen mittleren Kreislaufzeiten der verschiedenen Thiergattungen wären dann sogleich und viel leichter gefunden gewesen als es mir auf dem Wege des Experimentes gelang. Nicht minder wäre es möglich gewesen, annähernd wenigstens die absoluten Zeiten der Kreislaufsdauern, gestützt z. B. auf die Angaben der Autoren über die Ventrikelcapazitäten zu finden. Der direkte Versuch hat uns allerdings viel sicherere Garantien geboten für die Richtigkeit der aufgestellten Kreislaufgesetze.

Unsere Kreislaufgesetze, ihren Grundbedingungen nach betrachtet, stellen dem Gesagten zufolge nichts anderes dar als die nothwendigen Ausdrücke der indirect ermittelten Thatsache einerseits, dass zwischen dem Körpergewicht, der Gesamtblutmenge und der mit einer Ventrikelsystole ausgetriebenen Blutmenge ein mittleres solidarisches Verhältniss besteht und der direkt ermittelbaren Thatsache andererseits, dass die mittleren Pulsfrequenzen in verschiedenen Thiergattungen sehr verschieden sind; sie sind somit die Ausdrücke eines ganz speciellen, merkwürdiger Weise aber in einer grossen Thierreihe sich wiederholenden harmonischen Einrichtung der Kreislaufbedingungen.

Kleine Abweichungen zwischen Rechnung und Erfahrung haben wir in einigen unserer Gesetze allerdings gefunden, aber in so geringem Grade, das die Gültigkeit der eben ausgesprochenen Praemissen und somit die Gültigkeit der Ableitungen keiner Einwendungen fähig sind.

Woher kommen nun, müssen wir weiter fragen, jene kleinen Abweichungen? Offenbar daher, weil das durchschnittliche Verhältniss der Blutmengen zu den Körpergewichten, sowie das mittlere Verhältniss der mit einer Systole aus der Herzkammer ausgetriebenen Blutmenge zur Gesamtblutmenge des Körpers in verschiedenen Thiergattungen kleine, gegenüber der Constanz der durchgreifenden Proportionalität jedoch sehr geringe, Abweichungen zeigt.

Diese Abweichungen aber müssen der labilen Natur des Organismus gemäss grösser werden, wenn man eine Anzahl gesunder Individuen derselben Gattung mit einander vergleicht, ja selbst unter Umständen sehr gross in verschiedenen, intensiv erkrankten Individuen derselben Gattung. Wir werden also geführt auf die Analyse dieser Abweichungen, eine Betrachtung, die für manchen Leser etwas ermüdend sein mag, die aber unerlässlich ist, indem ohne sie ein richtiges Verständniss des Thatsächlichen unmöglich würde. Wir haben es demnach mit der Frage zu thun: wie können die Beziehungen zwischen Stromgeschwindigkeiten, circulirenden Blutmassen, Pulsfrequenzen u. s. w. überhaupt sich variabel gestalten. Diese Untersuchungen hätte ich der Entwicklung der Gesetze der mittleren Stromgeschwindigkeiten voranstellen, oder eigentlich die früheren Kreislaufgesetze als einen speciellen Fall in die Gesamtdarstellung einreihen können, zog es aber vor, der Darstellung den Gang zu geben, den ich selbst bei meinen Forschungen eingeschlagen habe. Erst jetzt wird es möglich, dass wir die Bedeutung unserer früher aufgestellten Gesetze, indem wir sie in Zusammenhang mit allen übrigen Formen und Bedingungen der Stromgeschwindigkeiten bringen, vollkommen würdigen können. Wir haben also die Fälle zu erledigen, was geschehen wird und muss, wenn die mit einer Systole ausgetriebenen Blutmengen den Gesamtblutmassen der Thiere pro-

portional sind, oder wenn eine solche Proportionalität nicht besteht. Diese Untersuchung wird den Gegenstand der beiden folgenden Paragraphen bilden.

§. 35. Die Kreislaufgesetze bei Gleichheit der relativen Systolegrößen der Ventrikel.

Wir sehen vorerst ganz ab von den absoluten Systolegrößen der Ventrikel, d. h. den Blutmassen, die durch eine Systole ausgetrieben werden, sowie von der absoluten Blutmenge des Körpers. Unsere Untersuchung ist nach keiner Seite hin gehemmt, wenn wir die Kreislaufgesetze näher analysiren, denen die Thiere, welche gleiche relativen Systolegrößen der Ventrikel zeigen, gehorchen müssen.

Jede Systole treibt ein gewisses Blutquantum in die Aorta; nach einer bestimmten Anzahl von Contractionen hat eine Blutmasse das linke Herz passirt, welche gleich ist der Gesamtblutmasse des Körpers. Die Kreislaufzeit ist demnach das Product der zu diesem Endzweck nöthigen Zahl der Herzschläge in die Dauer einer Ventrikelbewegung (Systole + Diastole) und die Blutmasse des Körpers das Product der auf einen Kreislauf fallenden Zahl der Herzschläge in die mit einer Kammersystole ausgetriebene Blutmenge.

Die relative Systolegröße des Ventrikels ist somit dargestellt durch das Verhältniss der mit einer Ventrikelsystole ausgetriebenen Blutmasse zur Gesamtblutmasse des Körpers; über dieses wichtige Verhältniss belehrt uns der Infusionsversuch; die relativen Ventrikelsystolen sind nämlich $=$ Blutmasse des Körpers dividirt durch die auf einen Kreislauf fallenden Pulszahlen. Die relativen Größen der Ventrikelsystole sind immer dann einander gleich, wenn die Zahl der Pulse, die auf einen Kreislauf fallen, gleich ist, vollkommen gleichgültig ob die absoluten Pulsfrequenzen keine oder enorme Differenzen zeigen.

Nennen wir h und h^1 die Zahlen der Herzschläge, die auf einen Kreislauf fallen und v und v^1 die relativen Ventrikelsystolegrößen

zweier Thiere so wird $v = v'$ wenn $h = h'$. Dieser Fall tritt ein unter folgenden 2 Hauptbedingungen:

I) Es besteht Gleichheit sowohl der Pulsfrequenzen (F und F') als auch der Kreislaufzeiten (T und T') und zwar:

a) In verschiedenen Thieren mit gleichen oder ungleichen Körpergewichten. Hierher gehören z. B. Nr. 4 und 33 meiner Infusionsversuche an Hunden und zwar so nahezu, dass wir von den kleinen Differenzen der beiderseitigen Zahlenwerthe ganz absehen können.

		Körpergewicht in Kilogr.	Pulsfrequenz.	Kreislaufsdauer in der Jugularisbahn.	Zahl der Pulse während eines Umlaufes in der Jugularisbahn.
Versuch	4	8,2	104	14,90 Sek.	23
„	33	8,1	104	14,67 „	23

Jede Kammersystole in beiden Thieren treibt somit Blutvolumen aus, die im Verhältniss zur Gesamtblutmenge der Thiere gleich sind; die relativen Systolegrössen v und v' der Thiere sind also gleich; über die absoluten Systolegrössen können wir auf diese Erfahrung hin vorerst nichts Sicheres aussagen, da uns die Blutmengen dieser Thiere unbekannt sind. Die Annahme liegt freilich nahe, dass die Blutmengen fast identisch sein werden, obschon die Möglichkeit, dass das eine Thier plethorisch sein könne, nicht widerlegt werden kann.

b) In demselben Thier zu verschiedenen Zeiten, mit identischem oder nicht identischem Körpergewicht. Dies ist der Fall z. B. im 5. und 6. Versuch der dritten Hering'schen Abhandlung.

		Pulsfrequenz.	Umlaufszeit in der Jugularisbahn.	Zahl der Pulse die auf einen Kreis- lauf in der Jugularisbahn fallen.
Versuch	5	32	37,5 Sek.	20
„	6	32	37,5 „	20

Die Versuche sind unter solchen Verhältnissen angestellt, dass nicht wohl zu zweifeln ist, dass auch die absoluten Systolegrössen

dieselben sein werden, mit andern Worten, dass die Blutmassen des Thieres in beiden Versuchen sich nicht wesentlich geändert haben werden.

II) Die Kreislaufszeiten verhalten sich umgekehrt wie die Pulsfrequenzen, mit andern Worten: die Kreislaufszeiten verhalten sich wie die Dauer einer Gesamtbewegung (Systole + Diastole) der Ventrikel also wird:

$$L) \quad T : T' = F' : F$$

und die Producte der Kreislaufszeiten in die Pulsfrequenzen sind gleich.

Man sieht sogleich, dieser specielle Fall subsumirt unsere früheren Kreislaufgesetze.

	Pulsfrequenz.	Kreislaufszeiten.	Pulszahlen auf eine Kreislaufszeit.
Kaninchen . . .	210	7,46 Sek.	26,1
Ziegenböckchen .	110	14,14 „	26

Die Systolen beider Thiergattungen treiben also wiederum gleiche relative Blutmengen aus, d. h. je $\frac{1}{26}$ der Gesamtblutmenge.

§. 36. Die Kreislaufgesetze bei Ungleichheit der relativen Systolegrößen der Ventrikel.

Dass dieser Fall, wenn man bloss Einzelindividuen, oder bestimmte physiologische oder pathologische Zustände als Durchschnittswerthe aus je einer Anzahl von Individuen, mit einander vergleicht, sehr viel häufiger eintreten muss als die im vorigen Paragraphen betrachteten Fälle versteht sich schon a priori. Die Erfahrung bestätigt das vollkommen.

Dass eine Ungleichheit der relativen Ventrikelsystolegrößen bestehe ist sogleich zu erkennen: 1) in negativer Weise, indem die Zahlen der auf einen Kreislauf fallenden Pulse ungleich sind und in positiver Weise, dass 2) die auf die Kreislaufszeiten fallenden Pulszahlen sich verhalten wie die Producte der Kreislaufszeiten in die Pulsfrequenzen. Also haben wir

$$M) \quad h : h' = Tf : T'f'.$$

Die Fälle von Ungleichheiten der relativen Systolegrößen sind, so mannigfaltig sie auch sein mögen, in folgende drei Hauptklassen (I., II., III.) einzureihen; eine vierte giebt es nicht.

I. Die relativen Systolegrößen sowie die Pulsfrequenzen und die Kreislaufszeiten sind ungleich.

Dieses ist weitaus der häufigste Fall; er wird seinen Grundbeziehungen nach dargestellt durch die obige Formel M.

Als Beispiel mag dienen Nr. 6 und 7 meiner Infusionsversuche, in welchen die Pulsfrequenzen desselben Thieres (Hund) sehr bedeutende, durch keine bekannte Veranlassung bedingten Differenzen zeigten.

	Kreislaufszeit in der Jugularbahn.	Pulsfrequenzen.	Pulszahlen auf die Kreislaufszeit.
1ter Tag	13,46 Sec.	109,	24,4,
2ter Tag	15,51 „	62,	16,0.

Also haben wir, nach M,

$$24,4 : 16 = 13,46 \times 109 : 15,51 \times 62$$

$$\begin{array}{ccc} \parallel & & \parallel \\ 1,52 : 1 = & 1467 & : \quad 962 \\ & = & 1,52 \quad : \quad 1 \end{array}$$

Ferner gilt hier noch folgendes Gesetz sammt seinen Corollarien: Die relativen Systolegrößen verhalten sich umgekehrt wie die Producte der Kreislaufszeiten in die Pulsfrequenzen. Also wird:

$$N) \quad v : v' = f' T' : f T$$

in unserem Beispiel

$$\begin{array}{l} 1,52 : 1 = 1467 : 962 \\ \quad \quad = 1,52 : 1 \end{array}$$

Die sehr viel seltenern Herzschläge im zweiten Versuch waren also um 50 % ausgiebiger als die frequenten Systolen im ersten Versuch.

Die Kreislaufszeiten verhalten sich umgekehrt wie die Produkte der Pulsfrequenzen in die relativen Systolegrößen. Demnach wird:

$$O) \quad T : T' = f' v' : f v.$$

In unserem Beispiel

$$13,46 : 15,52 = 62 \times 1,52 : 109 \times 1$$

$$\begin{array}{ccc} \parallel & & \parallel \\ 1 : 1,15 = & 94,24 & : 109 \\ & = 1 & : 1,15 \end{array}$$

Die Pulsfrequenzen verhalten sich umgekehrt wie die Produkte der Kreislaufzeiten in die relativen Systolegrößen. Wir haben:

$$P) f : f' = T'v' : Tv.$$

In unserem Beispiel:

$$62 : 109 = 13,46 \times 1 : 15,51 \times 1,5$$

$$\begin{array}{ccc} \parallel & & \parallel \\ 1 : 1,7 = & 13,47 & : 23,26 \\ & = 1 & : 1,7 \end{array}$$

Dass solche Fälle unserer ersten Classe von Ungleichheit der relativen Systolegrößen sowohl bei verschiedenen Thieren mit gleichen oder verschiedenen Körpergewichten, als auch in demselben Individuum unter verschiedenen physiologischen oder pathologischen Verhältnissen, vorkommen können und müssen, bedarf keiner weiteren Auseinandersetzung oder weiterer Beispiele aus unserem Versuchsmaterial. Hervorzuheben ist bloss noch, dass ein Compensationsverhältniss in sehr vielen Fällen in der Art bis zu einem gewissen Grade sich geltend macht, dem zu Folge bei selteneren Pulsen der Ausfall an strömender Blutmasse durch kräftigere Ventrikelsystolen theilweise gedeckt wird, was z. B. in obigem Beispiel stattfand.

Diese theilweise Compensation kann aber auch fehlen, sodass mit zunehmenden Pulsfrequenzen auch die proportionalen Ventrikelsystolegrößen wachsen.

II. Die relativen Systolegrößen und die Pulsfrequenzen sind ungleich, die Kreislaufzeiten aber identisch. Mit andern Worten: entweder bei zunehmenden Pulsfrequenzen nehmen die Systolegrößen so ab, oder andererseits mit abnehmenden Pulsfrequenzen nehmen die Systolegrößen so zu, dass in beiden Fällen die Kreisläufe in gleichen Zeiten vollbracht werden:

Anders ausgedrückt: bei gleichen Blutmengen sind alsdann die Arbeitsgrössen des Herzens in gleichen Zeiten dieselben, oder bei ungleichen Blutmengen sind die relativen (d. h. auf die vorhandenen Gesamtblutmengen bezogenen) Nuzeffekte des Herzens gleich. Es würde mich zu weit führen, wenn ich beweisen wollte, aus Gründen der allgemeinen Muskelphysiologie, dass trotz gleicher Nuzeffekte des Herzens die Ermüdungsgrade desselben nach einer bestimmten Zeit doch sehr verschieden sein können. Ich bin auf diese Verhältnisse in meiner Lehre vom Arterienpuls speciell eingegangen bei der Analyse der Ursachen der Verschiedenheiten der Pulsfrequenzen. Wir haben es somit hier (im Gegensatz zu I.) mit einer totalen Compensation zu thun.

Da in dieser zweiten Classe von Verschiedenheiten der relativen Systolegrössen allemal $T = T'$ ist, so wird unsere frühere Formel M verwandelt in

$$Q) h : h' = f : f'$$

d. h. die Zahlen der auf einen Kreislauf fallenden Pulse verhalten sich wie die Pulsfrequenzen.

Nr. 24 und 25 der dritten Hering'schen Abhandlung fallen z. B. in die gegenwärtige Categorie. Beide Versuche wurden angestellt an demselben Thier; die hohe Pulsfrequenz wurde erreicht durch Infusion von weisser Niesswurtztinktur.

	Kreislaufsdauer in der Jugularisbahn.	Pulsfrequenz.	Pulse auf einen Kreislauf.
1)	32,5,	32,	17,3,
2)	32,5,	90,	48,8.

Also haben wir, nach Q:

$$17,3 : 48,8 = 32 : 90$$

$$\parallel \qquad \parallel$$

$$10 : 28 = 10 : 28$$

Ich brauche kaum zu bemerken, dass wegen der den einzelnen Blutproben entsprechenden verhältnissmässig grossen Zeiten die Hering'sche Versuchsweise zur Lösung solcher feineren Fragen nur

approximativen Werth haben, ja oftmals selbst gar keine Anwendung finden kann.

Ausserdem gelten hier noch folgende Gesetze: Die relativen Systolegrössen verhalten sich umgekehrt wie die Pulsfrequenzen. Da $T = T'$, so nimmt unsere frühere Formel N nunmehr den Ausdruck an:

$$R) v : v' = f' : f.$$

Also war in dem in Rede stehenden Hering'schen Versuch die ums $2\frac{8}{10}$ fache gesteigerte Pulsfrequenz verbunden mit einer relativen (hier offenbar auch absoluten) Systolegrösse, die um dieselbe Grösse, also nahezu ums Dreifache geringer war, als die Systolegrösse beim seltenern Puls.

Die relativen Systolegrössen verhalten sich umgekehrt wie die Zahlen der auf einen Kreislauf fallenden Pulse. Also wird

$$S) v : v' = h' : h$$

$$\begin{aligned} \text{in unserem Beispiel: } 28 : 10 &= 48,8 : 17,3 \\ &= 28 : 10. \end{aligned}$$

III. Die Pulsfrequenzen sind gleich, die relativen Systolegrössen aber ungleich. Die Kreislaufzeiten können hier unter keiner Bedingung identisch sein. Da $f = f'$, so nimmt unser M den Ausdruck an:

$$T) h : h' = T : T'$$

d. h. die auf einen Kreislauf fallenden Pulszahlen verhalten sich wie die Kreislaufzeiten.

In diese Kategorie gehören z. B. meine Infusionsversuche 12 und 13, angestellt an demselben Thier, wenn man von der minimalen Differenz der Pulsfrequenzen absehen will.

	Pulsfrequenz.	Kreislaufzeit in der Jugularisbahn.	Pulse auf die Zeit eines Kreislaufes.
Nr. 12) Normalzustand	122	19,83	40,3
Nr. 13) Chloroform-			
narcose.	120	24,63	49,2

Vierordt, Stromgeschwindigkeiten des Blutes.

Also haben wir, nach T ,

$$40,3 : 49,2 = 19,83 : 24,63$$

$$\parallel \qquad \parallel$$

$$10,0 : 12,2 = 100 : 124.$$

Ausserdem gelten für diese Zustände des Kreislaufsapparates noch folgende Gesetze:

Die relativen Systolegrössen verhalten sich umgekehrt wie die Kreislaufszeiten. Das frühere N verwandelt sich in:

$$U) v : v' = T' : T.$$

In unserem Beispiele verhalten sich die relativen (gewiss auch die absoluten) Systolegrössen im Normal- und im Chloroformzustand wie 124 : 100.

Die relativen Systolegrössen verhalten sich umgekehrt wie die auf einen Kreislauf fallenden Pulszahlen. Also haben wir:

$$V) v : v' = h' : h.$$

Unsere Versuchsergebnisse entsprechen, wie man oben sieht, dieser Norm ebenfalls.

Es ist hier nicht der Ort, weitläufig zu diskutieren, unter welchen physiologischen und pathologischen Zuständen die von uns betrachteten und mit einzelnen Beispielen belegten Kreislaufsbedingungen vorhanden sind. Dieses ist die Aufgabe der speciellen Physiologie der Blutgeschwindigkeiten. Ich glaube, in diesem und dem voranstehenden Paragraphen alle Möglichkeiten erschöpft und die Grundnormen festgestellt zu haben, nach welchen die Beziehungen zwischen Pulsfrequenzen, relativen Systolegrössen und Kreislaufsdauern sich überhaupt abändern können, sodass bei aller unendlichen Variabilität im Einzelnen kein Fall vorkommen wird, der nicht in die eine oder andere unserer Categorien wird eingereiht werden müssen.

Den Auseinandersetzungen in diesem und dem vorhergehenden Paragraphen zufolge kann von durchgreifenden gesetzmässigen Beziehungen zwischen Pulsfrequenzen und Blutgeschwindigkeit die Rede nicht sein, indem der zweite, hier noch in Betracht kommende Factor,

die relative Systolegrösse die verschiedensten Werthe annehmen kann. Das gegenwärtige Versuchsmaterial reicht aber lange noch nicht aus, um speciellere Regeln aufzustellen.

Nicht unwahrscheinlich ist es, dass mässige Beschleunigung der Pulsfrequenz, wie schon Volkmann hervorhebt, die Circulation etwas beschleunige. Vergleicht man diejenigen Versuche von Lenz, in denen eine Anzahl von Einzelbestimmungen an demselben Thier und zwar im Normalzustand gemacht wurden (dazu können die Versuchsthiere 1, 2, 3, 4 und 17 dieses Forschers benutzt werden) so er giebt sich für eine Pulsfrequenz von 114 Schlägen eine arterielle Geschwindigkeit von 193 M. m., für die höhere Pulsfrequenz von 131 Schlägen eine Geschwindigkeit von 216 M. m. in der Sekunde. Die Zahl meiner Infusionsversuche an Thieren im Normalzustand ist zu klein, um für vorliegende Frage verwendet zu werden. Aus Herring's Versuchen dagegen geht hervor, dass der Kreislauf, relative Körperruhe der Thiere vorausgesetzt, am schnellsten ist bei der normalen Zahl von Pulsen, während er langsamer wird einerseits bei selteneren und andererseits bei frequenteren Pulsen. Wir erhalten folgende Mittelwerthe:

Pulsfrequenz.	Mittlere Pulsfrequenz.	Kreislaufszeit.	Pulse auf die Kreislaufszeit in der Jugularisbahn.
28 — 38	35	33,8	19,7
40 — 56	51	27,9	23,7
60 — 80	67	29,9	33,5
90 — 120	101	33,9	57,0

Mit zunehmenden Pulsfrequenzen nehmen, wie man sieht, die relativen Systolegrössen ab, indem immer mehr Pulse auf die Kreislaufsdauern kommen. Je nach dem Verhältniss der Abnahme der Pulsfrequenzen zu den compensirenden Wirkungen der Erhöhung der Systolegrössen müssen somit die Kreislaufsdauern bald ab- bald zunehmen, bald gleich bleiben.

§. 37. Die Variationen der strömenden Blutmassen.

Die relativen Systolegrößen der Ventrikel gehören, wenn es sich um Vergleichung verschiedener physiologischer oder pathologischer Zustände handelt, zu den werthvollsten Ergebnissen des Infusionsversuches, sie sagen aber selbstverständlich nichts aus über die absoluten Blutmengen, welche durch eine Systole in die Aorta eingetrieben werden. Ebenso wenig sind wir, auf diese Prämissen hin, in der Regel im Stande, die Systolegrößen einfach unter sich vergleichen zu können, da bei grosser Blutmenge des Körpers auch kleinere relativen Systolegrößen grössere Blutmassen austreiben müssen als andererseits bei kleinem Blutvorrath des Körpers grössere relative Systolegrößen leisten werden. Ausnahmen sind nur gestattet, wenn an demselben Thiere, in zwei einander naheliegenden Tagen, Infusionsversuche angestellt werden, vorausgesetzt dass das Thier zwischen dem ersten und zweiten Versuch unter denselben Bedingungen gelebt hat. Niemand wird dann zur Annahme geneigt sein, dass die Blutmenge des Thieres mittlerweile wesentlich sich geändert habe. Die relativen Systolegrößen führen dann offenbar auf das Verhältniss der, während beider Versuche durch je eine Kammersystole ausgetriebenen Blutmenge, sodass unmittelbar auch die Vergleichung der in gleichen Zeiten durch den Körper des Thieres unter verschiedenen Zuständen circulirenden Blutmassen ermöglicht ist.

Unter allen andern Verhältnissen aber ist die Vergleichung der strömenden Blutmassen nur ausführbar auf den Grund vorangegangener Dromometer- oder Tachometerexperimente. Setzen wir nämlich das Tachometer in die Carotis ein, so erhalten wir die Blutmasse, die in der Zeiteinheit durch dieses Gefäss strömt, also auch, in zwei Vergleichsversuchen z. B. an zweien Thieren (namentlich derselben Species) die relativen Blutmassen, welche überhaupt in der Zeiteinheit umgetrieben werden, indem nicht bestritten werden kann, dass die durch die Carotiden beider Thiere fliessenden Blutmassen den überhaupt circulirenden Blutmengen proportional sein müssen. Will man weiter

die absoluten circulirenden Blutmengen wenigstens annähernd kennen lernen, so könnte das nur, wie schon früher auseinander gesetzt wurde, auf Grund der Calibermessungen der Carotiden, Subclaviae, Anonymae und Aortae geschehen.

Indem nun der Tachometerversuch an derselben Arterie in verschiedenen Thieren uns indirekt belehrt über die proportionalen Blutmassen, die in der Zeiteinheit durch deren Körper geströmt sind, führen uns diese Versuche, im Verein mit den Infusionsexperimenten, auf die, für die Physiologie so wichtige Kenntniss der proportionalen Blutmengen, denn: die Blutmengen der Thiere (besonders derselben Species) verhalten sich zu einander wie die Blutmengen, welche durch die gleichnamigen Arterien fliessen in Zeiten, die den Kreislaufsdauern der Thiere gleich sind.

Der Haemotachometerversuch bildet somit auch von dieser Seite eine sehr wesentliche Ergänzung der Infusionsmethode. Entweder kann man beide Versuche gleichzeitig an demselben Thier anstellen, ein Verfahren, welches freilich seine Schwierigkeiten hat und das ich praktisch noch nicht kenne; oder man kann die Mittelwerthe der Kreislaufsdauern und der strömenden Blutmassen, die sich in einer grössern Versuchsreihe ergeben haben, mit einander kombiniren und dadurch zu werthvollen Thatsachen gelangen, die jeder dieser Methoden, allein angewandt, unzugänglich sein müssen.

Statt allgemeiner Auseinandersetzungen, welche erst dann werthvoll sind, wenn die Zahl der Haemotachometerversuche grösser sein wird, verweise ich auf die specielle Durchführung dieser Grundsätze in dem vierten Abschnitt und erinnere bloss noch, dass einige unserer Kreislaufgesetze Bezug haben auf die strömenden Blutmassen und die gesetzmässigen Beziehungen der letzteren ausdrücken unter der, wie wir erfahren haben, speciellen Bedingung, dass die Blutmengen des Körpers und die Systolegrössen der Ventrikel annähernd proportional sind den Körpergewichten.

Vierter Abschnitt.

Specielle Physiologie der Blutgeschwindigkeiten.

§. 38. Alter, Geschlecht und Körpergrösse.

Ueber den Einfluss des Alters auf die Blutgeschwindigkeit können bloss die Versuche an Pferden sichere Aufschlüsse geben, indem an den übrigen Versuchsthieren das Alter in der Regel viel schwieriger zu ermitteln ist. Ich beschränke mich auf die Hering'sche Normalreihe.

Tabelle I.

Alter in Jahren.			Pulsfrequenz.	Circulationsdauer in der Jugularisbahn.	Pulse auf einen Jugulariskreislauf.	Zahl der Versuche.
Mittel.	Min.	Max.				
a) 8,8	6	10	47	22,5 Sek.	17,6	5
b) 17,7	16	19	48,5	25,0 "	20,5	4
c) 21,1	20	24	39	29,2 "	18,9	9

Die Kreislaufzeiten sind demnach in jüngeren Thieren sehr erheblich, nämlich nicht weniger als etwa um $\frac{1}{4}$ kürzer als in alten.

Die relativen Systolegrößen verhalten sich in den 3 Rubriken *a*, *b*, *c* wie $1\frac{1}{7,6} : 2\frac{1}{0,5} : 1\frac{1}{8,9}$ d. h. wie 1 : 0,86 : 0,92. Jüngere Thiere zeigen somit Systolen, die im Verhältniss zu ihrer Blutmenge ausgiebiger sind als dies in älteren Thieren der Fall ist.

Was die Einflüsse des Geschlechtes betrifft, so ergibt Hering's Normalreihe folgende Mittelwerthe:

Tabelle II.

	Alter in Jahren.	Pulsfrequenz.	Kreislaufsdauer.	Zahl der Versuche.
Stute	16,5	46,5	25,4 Sek.	12
Wallach	16,7	36,5	25,8 „	4
Hengst	18	44,0	27,3 „	3

Weitere Erfahrungen müssen zeigen, ob aus diesen wenigen Versuchen der Schluss wirklich erlaubt ist, dass die Kreislaufszeit im weiblichen Thier etwas kürzer sei. Meine Infusions- und Tachometerversuche an Hunden schliessen so wenige weibliche Thiere ein, dass sie für die vorliegende Frage unverwendbar sind.

Das Körpergewicht in seinen Beziehungen zu den Blutgeschwindigkeiten verdient eine ausführlichere Betrachtung. Zunächst betrachten wir meine Infusionsversuche an Hunden.

Tabelle III. Jugularisbahn.

Körpergewicht in Kilogramm.	Körperlänge in Centimetern.	Dauer eines Blutumlaufes in Sekunden.	Pulsfrequenz.	Pulse auf einen Kreislauf in der Jugularisbahn.	Zahl der Versuche.
a) 1,8	42	10,44	140	24,3	1
b) 6,8	55	14,28	85	20,2	7
c) 8,8	60	15,66	105	27,4	6
d) 22,5	73	19,37	114	36,6	2

Tabelle IV. Jugularis-Cruralvenenbahn.

Körpergewicht.	Dauer des Umlaufes.	Pulsfre- quenz.	Pulse auf einen Umlauf.	Zahl der Versuche.
7,3	17,45	87	25,3	3
16,7	20,10	93	32,7	2

Die Kreislaufsdauern nehmen, wie man sieht, in Thieren derselben Gattung auffallend zu mit zunehmenden Körpergewichten und Körperlängen.

Sehen wir ab von der ersten Reihe der dritten Tabelle (wobin bloss ein einziges, sehr furchtsames Thierchen mit sehr frequentem Puls gehört) so stellt sich als fernerer Resultat heraus, dass die relativen Systolegrößen des Ventrikel sehr bedeutend abnehmen bei zunehmenden Körpergewichten. In den Körpergewichten von 6 — 8 — 22 Kilogrammen verhalten sich die relativen Systolegrößen wie $20,2 : 27,4 : 36,6$, d. h. wie 100 : 74 : 55.

Da (§. 36 M) die auf einen Umlauf fallenden Pulszahlen sich verhalten müssen wie die Produkte der Kreislaufzeiten in die Pulsfrequenzen, so haben wir z. B. für die Rubriken *b* und *d* der Tabelle III.:

$$\begin{array}{ccccccc}
 20,2 & : & 36,6 & = & 85 & \times & 14,28 : 19,37 \times 114 \\
 || & & & & & & || \\
 10 & : & 18 & = & 10 & : & 18
 \end{array}$$

Tabelle III und IV bieten sehr bemerkenswerthe Uebereinstimmungen hinsichtlich der Wechselbeziehungen zwischen Kreislaufsdauern und Körpergewichten. In Tab. III verhalten sich die Körpergewichte 8,8 und 22,5 Kilogramm wie 1 : 2,5, die Kreislaufzeiten dagegen wie 1 : 1,24, während in Tab. IV die Körpergewichte 7,3 und 16,7 Kilogramm sich verhalten wie 1 : 2,3, die Kreislaufzeiten aber wie 1 : 1,21.

Meine Haemotachometerversuche geben Aufschluss über die Abhängigkeit der arteriellen Stromgeschwindigkeiten und der circulirenden Blutmassen von den Körpergewichten. In einigen Versuchen sind die Körpergewichte nicht notirt, sodass sie, wie leider auch die Versuche von Volkmann und von Lenz, für gegenwärtige Frage unverwendbar sind.

Tab. V. Arteria carotis des Hundes.

Körpergewicht in Kilogr.	Körperlänge in Centimetern.	Pulsfrequenz.	Sekundengeschwindigkeit des Blutstromes in Millimetern.	Durchflussmenge in Grammen während einer Sekunde		Zahl der Versuche.
				absolute.	für 1 Kilogramm Körpergewicht.	
17,6	86	91	241	3,51	0,20	4
8,0	66	100	274	2,47	0,31	4

Tab. VI. Arteria cruralis des Hundes.

10,2	63	119	137	1,07	0,10	2
6,9	61	93	164	1,30	0,18	2

Wir schliessen aus vorstehenden Tabellen:

1) Die arteriellen Stromgeschwindigkeiten sind erheblich grösser in kleineren Thieren, als in grösseren derselben Gattung. Ich bemerke noch, dass die Altersverschiedenheiten in je beiden Rubriken nicht bedeutend sein können.

2) In kleinen Thieren circuliren viel grössere Blutmassen als in gleichen Gewichtstheilen grösserer Thiere in derselben Zeit.

Wir können die voranstehenden Thatsachen noch benutzen zur Vergleichung der Blutmengen in kleinen und grossen Individuen derselben Gattung.

In der Carotistabelle V verhalten sich die mittleren Körpergewichte 17,6 und 8 Kilogr. wie 2,2 zu 1, während die Rubriken *d* und *c* der Jugularistabelle III Körpergewichte von 22,5 und 8,8 Kilogr. also ein Verhältniss von 2,5 : 1 ergeben. Diese nahezu analogen Beziehungen gestatten unbedenklich die Combination der beiderseitigen Versuchsergebnisse.

Der Kreislauf in der Jugularisbahn (Tab. III) ist vollendet in den leichtern Thieren in 15,66, in den schwerern in 19,37 Sekunden. Da es sich bloss um die relativen Blutmengen handelt, so können wir bei der Vergleichung der Jugularisbahnen stehen bleiben. Nach Tab. V strömen in einer Sekunde durch die Carotis der leichteren Thiere 2,47 Gr. der schwereren aber 3,51 Gr. Blut. Diese Blutmengen sind den überhaupt aus den Herzen beider Thiere in gleichen Zeiten ausströmenden Blutmengen proportional, also erhalten wir (§. 37) die relativen Blutmengen durch Multiplication der Kreislaufzeiten mit den in einer Sekunde durch die Carotis strömenden Blutmassen. Die beiderseitigen Blutmengen werden sich also verhalten müssen wie $2,47 \times 15,66$ zu $3,51 \times 19,37$, also wie 386 : 680; d.h. Thiere derselben Gattung, deren Körpergewichte sich verhalten wie 23 (22 bis 25) zu 10, enthalten Blutmengen die sich verhalten wie 17,7 zu 10, mit andern Worten: Die kleineren erwachsenen Thiere sind relativ zu ihren Körpergewichten blutreicher als die grösseren derselben Species.

§. 39. Körperbewegung und Athmen.

Einen schätzbaren Versuch über den Einfluss der Körperbewegung auf die Kreislaufzeit hat Hering angestellt (s. dessen dritte Abhandlung, Nr. 33 — 35), mit folgenden Ergebnissen.

Tabelle I.

	Pulsfrequenz.	Athemzüge in 1 Minute.	Kreislaufszeit in der Jugularisbahn.	Zahl der Pulse auf einen Umlauf in der Jugularisbahn.
Normalzustand . .	36	8	22,5 Sek.	13,5
Vorher Herumtreiben im Trab	100	28	17,5 „	29,2
Ebenso	100	20	17,5 „	29,2

Stärkere Körperbewegungen setzten somit in beiden Versuchen folgende Wirkungen:

1) Die Umlaufszeit des Blutes ist bedeutend verkürzt, sie verhält sich zur normalen wie 78 : 100.

2) Die relativen und gewiss auch die absoluten Systolegrössen der Ventrikel sind 2,1 mal kleiner.

3) Die Pulsfrequenzen sind sehr bedeutend, um das $2\frac{8}{10}$ fache, vermehrt, wodurch der Einfluss der Verminderung der Systolegrössen derartig compensirt wird, dass die Circulationsdauer um die angegebene Grösse abnimmt.

Die Untersuchung des etwaigen Einflusses der Athembewegungen auf die Stromgeschwindigkeiten des Blutes ist mit den grössten Schwierigkeiten verknüpft. Die blosser Zählung nämlich der Athemzüge, ohne gleichzeitige Messung der Tiefen der Inspirationen, hat nur einen bedingten Werth; doch können wir im Allgemeinen wohl annehmen, dass bei bedeutenderer Steigerung der Respirationsfrequenz die Volumina der Athemluft wachsen müssen, sodass in diesen Fällen keine vollständige Compensation durch die kleiner werdenden Athembewegungen eintreten wird. Die grösste Schwierigkeit liegt aber darin, dass die Zahl der Fälle sehr klein sein muss, in welchen wir allen Grund haben, möglichste Gleichheit der übrigen Circulationsbedingungen, bei bloss vorhandenen Ungleichheiten der Respirationsfrequenzen, annehmen zu dürfen.

Wir wollen, mit Umgehung aller sonstigen, z. B. auf die Haemodynamometerversuche an Arterien und Venen basirten, bekannten Erörterungen den Einfluss der Athembewegungen bloss mittelst des direkten Versuchsmateriales prüfen.

Am sichersten wird man verfahren, wenn man die an demselben Thier bei verschiedenen Athemfrequenzen gemachten Versuche vergleicht. Dabei muss aber vorausgesetzt werden, dass die sonstigen Zustände des Thieres, sei es gesund oder krank, in den Vergleichungsversuchen möglichst dieselben sind; dadurch wird freilich die Zahl der zu Gebot stehenden Versuche ausserordentlich beschränkt. Aus Hering's Versuchen sind bloss folgende Fälle der dritten Abhandlung zu benützen.

Tabelle II.

Versuchsnummern.	Athemzüge.	Pulsfrequenz.	Circulationszeit.	Athemzüge.	Pulsfrequenz.	Circulationszeit.
1. 2. 3.	11	37,5	35	9	36	37,5
4. 5. 6.	10	34	35	9	32	37,5
24. 26.	20	36	32,5	9	28	37,5
40. 41.	56	56	22,5	40	44	22,5
Mittel:	24,2	40,9	31,2	16,7	35	33,7

Die Interpretation der Endmittel der vorstehenden Tabelle ist leider kaum möglich. Bei zunehmender Respirationsfrequenz finden wir zwar eine kleine Abnahme der Kreislaufzeiten, aber die Pulsfrequenz ist gleichzeitig hier die normale des Pferdes, während bei den selteneren Athemzügen die Pulsfrequenz um etwa 5 Schläge unter dem normalen Mittel steht. Wir haben aber früher gesehen, dass bei selteneren Pulsen die Kreislaufzeiten etwas länger sind, als bei der normalen Pulsfrequenz; somit kann die grössere Circulationsdauer in den, von seltenern Athemzügen begleiteten Versuchen recht wohl auf die genannte Ursache zurückgeführt werden.

Stelle ich ferner je gleichschwere, aber verschiedene Respirationsfrequenzen zeigenden Thiere aus meinen Infusionsversuchen einander gegenüber, gleichgültig welche sonstigen Körperzustände dieselben bieten mögen, so würde sich für eine mittlere Respirationsfrequenz von 31 per Minute und 106 Pulsen eine Kreislaufsdauer von 16,63 Sekunden ergeben, für die Respirationsfrequenz dagegen von 11,3 und ein Puls mittel von 85 in einer Minute einer Kreislaufsdauer von 15,65. Aber auch hier sind die Pulsfrequenzen erheblich verschieden. Streiche ich nun die Vergleichsversuche mit stark differirenden Pulsfrequenzen, so bekommen wir noch 8 Versuche, deren je 2 annähernd gleiche Körpergewichte und Pulszahlen; aber verschiedene Respirationsfrequenzen zeigen. Die Endmittel stimmen wiederum mit dem eben erhaltenen Ergebniss; wir erhalten nämlich folgende Werthe:

Athemzüge in 1 Minute.	Pulse	Körpergewicht in Kilogr.	Kreislaufszeiten.
24	96	10,9	16,93 Sek.
11,2	93	11,1	14,60 „

Sichere Schlüsse über den Einfluss der Athmungsfrequenz auf die Cirkulationsdauer können erst auf Grund zahlreicher Erfahrungen gezogen werden.

§. 40. Blutverluste.

Die Wirkungen der Aderlässe auf die Kreislaufszeiten hat schon Hering in einer Reihe von Versuchen geprüft. Jeder Versuch fällt, wie es bei Infusionsexperimenten nicht anders sein kann, auf einen besondern Tag.

Tabelle I.

		Blut- verlust in g.	Pulse in 1 Minute.	Athem- züge	Kreislaufs- zeit in der Jugularis- bahn.
Thier I.	Norm	0	38	12	27,5
	1. Blutverlust . . .	8	40	12	27,5
	2. „ . . .	8	41	12	27,5
	3. „ . . .	8	44	10	27,5
	4. „ . . .	16	64—84	16	noch nicht 45
Thier II.	Norm	0	44	10	22,5
	Blutverlust	25	84—100	38	22,5
Thier III.	Norm	0	40	8	27,5
	1. Blutverlust . . .	8	44	10	27,5
	2. „ . . .	8	60	9	27,5
	3. „ . . .	16	108	16	17,5
Thier IV.	Norm	0	36	8	22,5
	Blutverlust bis zur Ohnmacht	24	84	24	37,5
Thier V.	Norm	0	40	12	27,5
	Blutverlust	14	80	—	27,5

Ausserdem hat Hering zwei weitere Versuche angestellt, die, obschon ihnen keine Bestimmungen der Normalgeschwindigkeiten gegenüberstehen, doch Beweiskraft haben, da die Blutverluste sehr gross sind. Nach einem Verlust von 15 Pf. war die Kreislaufsdauer 47,5, und in einem andern Thier wurde, nach einer Aderlässe von 20 Pf., welche eine Steigerung der Pulsfrequenz von 36 auf 72 Schläge bewirkte, die Kreislaufszeit zu 42,5 Sekunden bestimmt.

Meine Infusionsversuche ergeben an Hunden folgende Werthe:

Tabelle II.

	Körpergewicht in Kilogramm.	Aderlässe in Cub. Centim.	Pulsfre- quenz.	Kreislaufszeit in der Jugularisbahn.	
a) {	22,86	—	106	18,92	Norm
	"	110	?	17,48	
b) {	7,65	—	72	14,95	Norm
	"	100	84	13,82	
c) {	8,1	—	104	14,67	Norm
	"	100	159	21,16	

Der Einfluss des Blutverlustes auf die arteriellen Stromgeschwindigkeiten ist schon von Volkmann geprüft worden. Ich übergehe diejenigen Versuche, in welchen er das Blut mittelst einer, wenn auch ziemlich langen, in die Arterie eingesetzten Glasröhre ausfliessen liess, indem die Ausflussmengen hier grösser werden müssen als die Blutmassen, die durch die unversehrte Arterie geflossen wären und man ebensowenig berechtigt ist, mit Volkmann anzunehmen, dass die Ausflussmengen den Durchflussmengen und Stromschnellen bei solchen Versuchsbedingungen proportional sein können. Zwei andere Versuche Volkmann's sind jedoch mit dem Haemodromometer angestellt; sie führen auf folgende Werthe:

Tabelle III. Hund.

Blutverlust im Ganzen in Grammen.	Sekundengeschwindigkeit des Blutes in Millim.
Norm	280
54	259
133	186
219	88
295	48

Tabelle IV. Pferd.

Grösse des Blutverlustes im Ganzen in Grammen.	Geschwindigkeit in Millimetern.	Pulsfrequenz.
Norm	431	56
680	383	68
2040	345	64
3400	383	74
5440	431	76
6800	287	100
8160	287	110
9740	287	120
11780	157	160
13820	150	152

Hinsichtlich meiner Ausflussversuche verweise ich auf §. 47. Meine Haemotachometerversuche ergeben folgende Werthe:

Tabelle V.

Grösse des Blutverlustes in C. C. Met.	Arterielle Blutge- schwindigkeit in Millimetern.	In 1 Sekunde durch die Arterie strömende Blut- menge in C. C. M.	Pulsfre- quenz.
Thier I. { Norm . .	226	1,92	—
80	150	1,28	60
38	86	0,73	89
60	61	0,52	—
Thier II. { Norm . .	237	3,79	35
180	—	1,37	101

In Tab. V. sind die Geschwindigkeiten auf das Normalcaliber der Arterie, gemessen vor der Aderlässe, berechnet, also für die Venensectionsversuche zu gering, sodass nur die Angaben der Durchflussmengen zuverlässig sind.

Das vorstehende Versuchsmaterial führt zu folgenden Schlüssen:

1) Die Zahlen der auf einen Kreislauf fallenden Pulse nehmen unter allen Verhältnissen, die Stromgeschwindigkeiten mögen sein, welche sie wollen, in Folge der Blutverluste zu, mit andern Worten, die relativen Systolegrößen der Ventrikel nehmen ab. Die Zahlen der folgenden Tabelle geben die auf einen Kreislauf in der Jugularisbahn fallenden Pulse an.

Tabelle VI.

Versuche an Pferden.

Thier 1.	Norm: 17,4.	Aderlässe: 18,3 — 18,8 — 20,3 — 55,6.
" 2.	" 16,5.	" 34,5.
" 3.	" 18,3.	" 20,3 — 27,5 — 31,5.
" 4.	" 13,5.	" 52,5.
" 5.	" 18,3.	" 36,6.

Hunde

" b.	" 17,9.	" 18,3.
" c.	" 25,4.	" 56,1.

2) Aus 1 folgt, dass wegen der Verminderung der Blutmasse die absoluten Systolegrößen der Ventrikel, d. h. die Blutmengen, die ausgetrieben werden ohne Rücksicht auf die vorhandene Blutmenge des Körpers, noch mehr sinken müssen, als die relativen. Darüber geben die Haemotachometerversuche Aufschluss, indem man die Durchflussmengen dividirt mit den Pulsfrequenzen; die Werthe sind dann den absoluten Systolegrößen proportional. In Thier I (Tab. V) verhalten sich die absoluten Systolegrößen nach dem Blutverlust von 80 und einem weiteren von 38 Grammen wie 210 : 82. In Thier I verhält sich die normale Systolegrösse zu der, nach dem Blutverlust von 180 Grammen, wie 44 : 13.

3) Die Kreislaufsdauern zeigen, wie schon Hering angiebt, keine konstanten Veränderungen.

Die Wirkung der regelmässig geminderten relativen Systolegrössen wird öfters kompensirt durch eine verhältnissmässige Zunahme der Pulsfrequenz. Der Kreislauf kann dann selbst um eine sehr kleine Zeitgrösse verkürzt sein (s. Tab. II a. und b), oder er kann ungefähr die frühere Dauer zeigen (s. 7 solche Fälle in Tab. I der Hering'schen Versuche). Diese Gleichheit der Kreislaufzeiten bei Hering lässt übrigens, wegen der von ihm angewandten Zeitbestimmungen, die Annahme einer kleinen Verkürzung der Kreislaufszeit in einzelnen Fällen ganz wohl zu. Diese geringen oder gar nicht erfolgenden Aenderungen der Kreislaufsdauern treten in der Regel ein, wenn die Aderlässe nicht allzu stark sind, die Systolegrössen sind dann mässig gemindert, die Pulsfrequenzen mässig vermehrt, sodass wesentliche Aenderungen der Kreislaufzeiten nicht eintreten können.

Sehr starke Aderlässe können aber in einzelnen seltenen Fällen (s. Tab. I. Thier 3) in Folge der sehr gesteigerten Pulsfrequenz das Deficit der Systolegrössen nicht bloss vollständig decken, sondern auch die Kreislaufszeit bedeutend abkürzen.

In der Regel jedoch tritt nach excessiven Blutverlusten diese durch die erhöhte Pulsfrequenz bedingte Compensation nicht vollständig ein, die Verminderung der relativen Systolegrössen schlägt durch, die Kreislaufzeiten nehmen nicht unbedeutend zu, doch scheint das Maximum sich nicht leicht über die doppelte normale Kreislaufdauer erheben zu können, selbst dann, wenn durch den Blutverlust Ohnmacht gesetzt wird. Würden die Kreislaufzeiten sehr bedeutend zunehmen, so könnte dem Stoffwechselbedürfniss, zumal auch die Blutmassen sehr abgenommen haben, nicht mehr entsprochen werden und die Blutverluste müssten noch viel gefährlicher werden, als sie wirklich sind.

Das gesammte Versuchsmaterial ist noch viel zu wenig umfassend, um irgend Anhaltspunkte bieten zu können zur Erklärung der Kreislaufzeiten in speciellen Fällen von Blutverlusten. Man wird vorerst —

abgesehen von den erwähnten, nicht ganz konstanten Einflüssen der Grösse des Blutverlustes — nicht im Stande sein, die gewiss vorhandenen Einflüsse des Körpergewichtes, der vorhergegangenen normalen Pulsfrequenz, der Systolegrösse und der normalen Kreislaufsdauer u. s. w. auf die Kreislaufzeiten nach Blutverlusten nachweisen zu können.

4) Die in der Zeiteinheit durch den Körper circulirenden Blutmassen nehmen ab und zwar um so stärker, je grösser der Blutverlust war. Doch kommen auch einzelne Ausnahmen vor, indem im Verlaufe des Blutverlustes vorübergehend wieder etwas grössere Blutmassen circuliren können (s. z. B. den Ausflussversuch II, §. 47 und Tab. IV dieses Paragraphen). Dieses rührt her von der wechselnden Häufigkeit und Stärke der Herzsystemen, die zum Theil wiederum dadurch bedingt sind, dass wahrscheinlich stagnirende oder doch langsamer fliessende Blutmassen einzelner Gefässprovinzen wiederum in den allgemeinen Kreislauf hereingezogen werden. Desshalb können auch die während der Dauer eines Kreislaufes durch eine Arterie fliessenden Blutmengen unter diesen Verhältnissen nicht mehr den Gesamtblutmassen des Körpers (s. §. 37) proportional sein.

Die durch einen bestimmten Arterienquerschnitt in der Zeiteinheit circulirenden Blutmassen können bei starken Blutverlusten auf $\frac{1}{3}$ selbst $\frac{1}{4}$ des Normalwerthes gesunken sein.

5) Die arteriellen Stromgeschwindigkeiten werden verlangsamt, sichere Zahlenwerthe lassen sich aber nicht angeben. Misst man den sich verengernden Querschnitt der zu dem Versuch dienenden, freipräparirten Arterie, so hat man natürlich nicht im Geringsten eine Garantie, dass der hier gefundenen Caliberveränderung die Lumenabnahmen der übrigen Arterien proportional sein werden. Beschränken wir uns auf die Calibermessung der Versuchsarterie, so erhalten wir etwas grössere Abnahmen der arteriellen Stromschnellen als, den hier sicher beweisenden Infusionsversuchen gemäss, angenommen werden darf.

6) Die arterielle Stromgeschwindigkeit nimmt während der Kamersystole im Verhältniss zu der mittleren Geschwindigkeit mehr zu, als unter normalen Bedingungen. (Siehe auch §. 45, Versuch 12.)

Schon beim gewöhnlichen Verblutenlassen der Thiere kann man sich davon überzeugen; die sehr geringe Sprungweite des aus der Arterie fliessenden Strahles nimmt während der Kammersystole relativ stark zu; gegen Ende der Verblutung fliesst sogar fast gar nichts ab während der Kammerdiastole und der kleine Strahl ist ein mit den Herzpulsen isochroner, stossweiser und unterbrochener. Darin liegt kein Widerspruch mit der, oben unter 1) aufgestellten Behauptung, dass die relativen Systolegrössen der Ventrikel bei Blutverlusten abnehmen, da die relativen Systolegrössen das Verhältniss der mit einer Kammersystole ausgetriebenen Blutmenge zur Gesamtblutmasse des Körpers ausdrücken. Es ist möglich, dass stärkere Blutverluste die Vertheilung des noch vorhandenen Blutes in der Art abändern, dass die Arterien relativ noch weniger Blut führen als die Venen; ausserdem wäre es auch möglich, dass nach starken Blutverlusten die Arterienwandungen, den geringen Blutspannungen gegenüber, mehr in die Verhältnisse starrer Gefässe versetzt werden. Irre ich nicht, so braucht nach dem, was ich öfter gesehen habe, die Blutwelle, bis sie in einer peripherischen Arterie eines sich verblutenden Thieres anlangt etwas weniger Zeit als unter normalen Verhältnissen. Meine Behauptung, dass die relative Geschwindigkeitszunahme des arteriellen Blutstromes während der Systole cordis grösser ist bei starken Blutverlusten als in normalen Zuständen, wird auch durch die Thatsache konstatirt, dass die Capillarcirculation nach starken Blutverlusten unter Umständen pulsatorisch werden kann.

§. 41. Durchschneidung und Reizung der herumschweifenden Nerven.

Lenz hat eine grosse Reihe von Versuchen an Kälbern angestellt über die Stromschnellen in der Carotis nach Durchschneidung der Vagi oder während der Reizung dieser Nerven durch Inductionsströme, zunächst um die Frage zu beantworten, ob durchgreifende und konstante Beziehungen zwischen Geschwindigkeiten und Spannungen des Blutes im Arteriensystem stattfinden. Für die nachfol-

gende Tabelle habe ich die Endmittel aus den zahlreichen Einzelbestimmungen von Lenz berechnet, in den Fällen aber, wo die Differenzen sehr gross sind, sollen bloss die beiden Grenzwerte angegeben werden.

Versuchsthier.	Zustand der N. n. vagi.	Pulsfrequenz.	Sekundengeschwindigkeit des Arterienstromes in Millimetern.
III.	Norm	132	268
	Durchschneidung	148	85
IV.	Norm	113	250
	Reizung	62	211—64
	Durchschneidung	151	85
V.	Norm	146	262
	Reizung	33	47
	Durchschneidung	163	223
VI.	Norm	152	423
	Reizung	56	84
VII.	Norm	165	344
	Reizung	81	289
VIII.	Norm	124	394
	Reizung	32	58
IX.	Norm	100	183
	Durchschneidung	126	423—72
X.	Norm	98	131
	Durchschneidung	157	215—60
XI.	Norm	137	237
	Durchschneidung	200	483—61
XII.	Norm	103	121
	Durchschneidung	168	250—83

Ueber den Einfluss der Durchschneidung der Vagi auf die Kreislaufzeiten habe ich 3 Versuche angestellt. Zwei Kaninchen zeigten Kreislaufsdauern in der Jugularisbahn von 6,40 und 7,32 Sekunden. Ein kleiner Hund ergab ebenfalls für die Jugularisbahn folgende Werthe:

Norm: Kreislaufszeit 10,44 Secunden, Puls 140, Pulse auf einen Kreislauf in der Jugularisbahn 24,3.

Durchschneidung: Kreislaufszeit 14,57, Puls 205, Pulse auf die Kreislaufsdauer: 49,7.

Das vorliegende Versuchsmaterial führt zu folgenden Schlüssen:

Durchschneidung der Nervi vagi.

- 1) Die Pulsfrequenz ist bedeutend vermehrt.
- 2) Die relativen und absoluten Systolegrößen sind erheblich vermindert; so z. B. die relativen Systolegrößen in dem so eben angegebenen Versuch an dem Hund um die Hälfte.
- 3) Die arterielle Stromgeschwindigkeit ist durchschnittlich herabgesetzt. Es scheint übrigens viel auf die Zeit des Versuches anzukommen; Lenz giebt an, die Geschwindigkeiten seien anfangs meistens sehr gemehrt, um aber später unter die Norm zu sinken. Auch Volkmann beobachtete nach Durchschneidung der Vagi Verlangsamung, in einzelnen Fällen aber auch Beschleunigung der Arterienströmung.
- 4) die Kreislaufsdauer ist in einem Versuch an dem Hund erheblich (um $\frac{1}{3}$ nahezu) vergrößert. In zwei Kaninchen erhielt ich aber keine merklichen Abweichungen von der normalen Mittelzahl. Allerdings sind Thierchen von so kurzen Kreislaufsdauern nicht recht geeignet zur Untersuchung der vorliegenden Frage, um so mehr, als man an ihnen nicht wohl Parallelversuche über die normalen Kreislaufzeiten anstellen kann, indem an einem und demselben Individuum nicht leicht zwei sichere Infusionsversuche an derselben Blutbahn ausführbar sein möchten.

Reizung der Nervi vagi.

Die Pulsfrequenz nimmt, wie wir durch Eduard Weber wis-

sen, sehr bedeutend ab; die arteriellen Stromgeschwindigkeiten sind ohne Ausnahme vermindert und zwar, wie Lenz hervorhebt so, dass bei jedem neuen Reizversuch die Stromschnelle noch mehr sinkt.

§. 42. Krankheiten.

Der experimentellen Pathologie steht hier ein weites unbetretenes Feld offen. Es können vorerst bloss einige wenige dürftige That-sachen beigebracht werden.

Während der Agonie nimmt die Dauer des Kreislaufes zu, jedoch nicht so bedeutend, als man wohl erwarten möchte. Hierher gehören diejenigen lethal gewordenen meiner Infusionsversuche, bei welchen sogleich nach der Infusion, also während des Versuches selbst, Symptome auftraten (Nr. 3 und 23 an Hunden); die Kreislaufzeiten in der Jugularisbahn waren hier 26,0 und 21,78 Secunden, also eine erhebliche Verzögerung, namentlich auch wenn man die Körpergewichte beider Thiere beachtet. Ferner der unmittelbar lethalgewordene Infusionsversuch 39 an einem Kaninchen, mit einer um $\frac{1}{3}$ längeren, Kreislaufzeit von 10,44 Secunden. Endlich noch Versuch 20 an einem Hunde, wo die Infusion erst 1 Minute nach dem letzten Athemzug gemacht wurde; die Kreislaufsdauer betrug 35,9 Secunden, während die Normaldauer in demselben Thier zu 16,75 früher bestimmt wurde. Ein hierher gehörender Versuch findet sich auch bei Hering; die Infusion wurde schnell nach dem Genickstich gemacht und die Kreislaufsdauer in der Jugularisbahn des Pferdes zu $47\frac{1}{2}$ Sekunden bestimmt.

Ausserdem bietet das Versuchsmaterial Hering's einige Anhaltspunkte über das Verhalten der Kreislaufzeiten in Krankheiten. Allgemeine Schwäche und Kraftlosigkeit machen, wie auch Hering hervorhebt, den Kreislauf in der Regel träger. Fieber mit mässig erhöhter Pulsfrequenz bedingen keine auffallenden Aenderungen der Kreislaufzeiten, während in fieberhaften Krankheiten mit hohen Pulsfrequenzen Verlangsamung des Kreislaufes um $\frac{1}{4}$ bis selbst fast das

Doppelte der Normalzeit fast durchgreifende Regel ist. Nichts ist falscher, als die ärztlicherseits so häufig zu hörende Behauptung, der Blutlauf sei im Fieber beschleunigt. Dieser Zustand des Organismus ist somit von bedeutender Abnahme der Systolegrößen der Ventrikel begleitet. Die sogenannte Dämpfigkeit der Pferde (wohin freilich sehr verschiedene Zustände: Herzvergrößerungen, Klappenfehler, Bronchiectasien u. s. w. zu gehören scheinen), die verbunden ist mit sehr erhöhter Respirationsfrequenz bei in der Regel ziemlich normalen Pulszahlen, scheint die Kreislaufszeiten merklich abzukürzen.

Die folgende Tabelle enthält einige Versuche Hering's über die Kreislaufszeiten in der Jugularisbahn des Pferdes bei spontanen oder experimentell gesetzten Krankheiten.

No.	K r a n k h e i t.	Alter in Jahren.	Pulse in 1 Minute.	Athemzüge	Kreislaufs- dauer in Sekunden.
a	Sog. Asthma	18	44	42	22,5
	"		56	56	22,5
b	Dieselbe Krankheit	25	36	24	17,5
c	Tetanus	15	40	70	22,5
d	Ebenso. Das Thier ist durch viele Blutverluste herabge- kommen		60	68	32,5
e	Chronische Hirnhautentzündung	4½	104		32,5
f	Peritonitis—innere Incarce- ration mit Brand der Darm- schlinge	5	80		32,5
g	N o r m	20	36	20	32,5
	Durch Infusion von Cantha- ridentinctur in das Cavum pleurae entstandenen Pleu- ritis		50	16	32,5
h	N o r m	18	44	9	22,5
	Pleuritis in Folge von Infu- sion von Salmiakgeist in das Cavum pleurae		50	8	22,5

No.	K r a n k h e i t.	Alter in Jahren.	Pulse in 1 Minute.	Athemzüge	Kreislaufs- dauer in Sekunden.
i	Pleuritis in Folge von Infusion von Salmiakgeist in das Cavum pleurae	20	72	14	22,5
	"		90	20	37,5
	"		100	14	42,5
	N o r m		38	6	27,5
	Lungenaffection durch Injection von Salmiakgeist in die Trachea		72	38	32,5
k	"	23	72	36	27,5
	N o r m		36		32,5
	Pleuritis nach Infusion von Salmiakgeist und Alkohol in das Cavum pleurae		72	20	27,5

§. 43. Medicamente und Gifte.

I. Chloroform. Die Kreislaufzeiten während der Chloroformnarcose habe ich in 3 Thieren untersucht.

Versuchs- nummer.	Körpergewicht in Kilogram m.	Körperzustand.	Pulsfrequenz.	Kreislaufzeiten in der Jugularisbahn.
10	5,4	Norm	85	14,36 Sek.
11	—	Schwache Narcose	?	15,27 "
12	22,2	Norm	122	19,83 "
13	—	Tiefe Narcose	120	24,63 "
16	5,9	Norm	87	13,18 "
17	—	Tiefe Narcose	103	15,55 "

Die Pulsfrequenzen zeigen während der Chloroformnarcose, wie bekannt ist und wie ich auch in vielen anderen Versuchen an Hunden ge-

funden habe, kein regelmässiges Verhalten. Die Kreislaufszeiten nehmen zu und zwar bei stärkerer Narcose in höherem Grad; sie betragen, wenn die normalen Zeiten = 100 gesetzt werden, in den 3 obigen Versuchen 106 (schwache Narcose) bis 124 und 118. Die relativen und absoluten Systolegrössen der Ventrikel nehmen ziemlich ab; sie betragen in den beiden letzten Versuchen 80 und 71 $\frac{1}{10}$ der Normalwerthe.

Ueber den Einfluss der Chloroformnarcose auf die Blutgeschwindigkeit in der Carotis hat Lenz an zwei Kälbern experimentirt. Das Mittel wurde dem Magen einverleibt. Anfangs waren die Geschwindigkeiten normal, später aber sanken sie und zwar so bedeutend, dass die einzelnen Bestimmungen bloss noch $\frac{1}{7}$ des Normalwerthes betrugen. Eine so grosse Herabsetzung der Kreislaufgeschwindigkeiten verträgt sich nicht mit den Resultaten des Infusionsexperimentes, das exacter und beweisender ist als der Dromometer- oder der Tachometerversuch; auch ist sie aus allgemeinen physiologischen Gründen nicht sehr wahrscheinlich. Entweder sind die Arterienquerschnitte im Verlauf der Versuche nicht bestimmt worden, oder, was mir viel wahrscheinlicher ist, es haben sich nach und nach Verstopfungen im Carotidenstromgebiet gebildet. Da Lenz in einem Thier ziemlich über 1 Stunde experimentirte, indem er 15 Einzelbestimmungen mit dem Dromometer machte, so ist meine Vermuthung gewiss gerechtfertigt. Die Tachometer- und Dromometerversuche dürfen nicht so lange Zeit fortgesetzt werden.

II. Ferrocyankalium. Das gelbe Blutlaugensalz, wenn es in grösserer Menge in den Kreislauf injicirt wird, kann Athembeschwerden, pochenden Herzschlag, Convulsionen und den Tod ziemlich schnell herbeiführen, namentlich wenn die Injection in eine dem Herzen sehr nahe liegende Vene geschieht. Nicht nur bei diesem Stoff, sondern bei allen Injectionen ist es bemerkenswerth, dass die Jugularis eine sehr viel gefährlichere Injectionsstelle ist, als z. B. die Cruralvene, wo die eingespritzte Masse, ehe sie zum Herzen gelangt, mit grösseren Blutmengen sich vermischen kann. Das injicirte Blutlaugensalz braucht zur Wirkung eine gewisse Zeit, die, wenn auch kurz, doch in der Regel grösser ist als die Dauer eines

Kreislaufes. Aus diesem Grund konnte ich unbedenklich mehrere lethal gewordene Fälle solcher Injectionen in die Zahl der normalen Kreislaufszeiten aufnehmen. In Versuch 3 und 4 traten jedoch so gleich schwere Störungen auf, die in Nr. 3 lethal wurden. Die Kreislaufszeiten in der Jugularisbahn waren in beiden Fällen sehr vergrössert, nämlich auf 26 und 22,9 Secunden. Dem letzteren Versuch steht, 3 Tage später, ein Parallelversuch gegenüber, in welchem das Thier in keiner Weise gestört wurde bei einer Kreislaufsdauer von 14,9 Sekunden. In Nr. 23 treten ebenfalls sehr schnell Symptome auf, die Kreislaufszeit war wiederum abnorm verlängert, nämlich auf 21,7 Secunden. Ohne Zweifel werden noch viele Stoffe, wenn sie plötzlich eintretende Störungen setzen, bei ihrer Infusion in den Kreislauf retardirend wirken.

III. Digitalis. Die Kreislaufszeiten nach Injection einer toxischen Dosis von Digitalisinfus habe ich in 2 Versuchen bestimmt. Der eine derselben (Nr. 20) konnte aber erst während des Sterbens angestellt werden und gehört somit nicht hierher. In dem andern (Nr. 21 und 22) waren die Normalwerthe für die Pulsfrequenz: (102 Schläge, für die Kreislaufszeit 15,27 Secunden; nach Injection des Mittels sank der Puls auf 45 Schläge bei einer Kreislaufszeit von 22,12 Secunden; der Umlauf des Blutes war somit um 50 % der Normalzeit verzögert. Auf die Kreislaufsdauer in der Jugularisbahn kommen demnach in der Norm 25,9 bei der Digitalisvergiftung 16,6 Pulse; also haben im letztern Fall die relativen und absoluten Systolegrössen zugenommen und zwar etwa um $\frac{1}{3}$. Die Herabsetzung der Pulsfrequenz ist aber so bedeutend, dass gleichwohl die Kreislaufszeit wachsen musste. Eine so beträchtliche Erhöhung der relativen Systolegrössen der Ventrikel ist natürlich nur dann möglich, wenn entweder die Herzsystolen im gewöhnlichen normalen Zustand nicht alles Ventrikelblut austreiben, oder, was mir viel wahrscheinlicher ist, dadurch dass bei sehr seltenem Puls die Herzcavitäten besser a tergo sich füllen und somit bei ihren Systolen grössere Blutmengen austossen können.

Lenz hat in 3 Versuchen an Hunden die Blutgeschwindigkeiten in der Carotis nach Injection von Digitalinlösung in den Kreislauf bestimmt. In seinem 14. Experiment konnte er keine erheblichen Veränderungen der Pulsfrequenz erzielen, die Geschwindigkeit des Blutes war bald etwas vermindert, bald etwas vermehrt. In Versuch 15 sank der Puls von der Normalzahl 192 auf 75 bis 46 Schläge; 5 Bestimmungen zeigten eine Abnahme der Blutgeschwindigkeiten um $\frac{1}{6}$ bis $\frac{1}{3}$; bloss einmal wurde eine und zwar bedeutende ($\frac{1}{3}$ des Normalwerthes betragende) Zunahme gefunden. Versuch 16 führte dagegen zu ganz widersprechenden Resultaten, die Pulsfrequenz war von 127 auf 19 herabgesetzt und trotzdem die Blutgeschwindigkeit etwas vermehrt, ein Resultat, das geradezu unbegreiflich erscheint, wenn nicht die Arterienlumina, wovon Lenz aber nichts angiebt, sehr bedeutend abgenommen haben. Im weiteren Verlauf des Versuches nahm die Pulsfrequenz bedeutend und die Blutgeschwindigkeit etwas zu. Lenz selbst kommt zu dem Schluss, dass die Digitaliswirkungen auf die arterielle Stromgeschwindigkeit inkonstant seien.

IV. *Tartarus stibiatus*. Die Versuche von Lenz über die Wirkung der Infusion von Brechweinsteinlösung auf die arteriellen Stromgeschwindigkeiten führen gleichfalls theilweis auf Ergebnisse, die wir vorerst als undeutbar bezeichnen müssen. In seinem 19. Versuch war die normale Geschwindigkeit des Carotisblutes 184 M. m. in der Secunde; nach der Injection sanken die Werthe auf 144—110 M. m. bei ungefähr gleichen Pulszahlen; nach einer zweiten Injection, bei ebenfalls nicht sehr veränderter Pulsfrequenz dagegen auf 38, ja selbst in einer Bestimmung auf 10 Millim. in der Secunde. Eine Herabsetzung der arteriellen Stromschnellen bis auf $\frac{1}{18}$ — $\frac{1}{19}$ des Normalwerthes scheint mir unter den angegebenen Verhältnissen im höchsten Grade zweifelhaft zu sein; wahrscheinlich haben hier lokale Störungen in der Gefässprovinz der Carotis stattgefunden. In seinem 20. Versuch war die normale Pulsfrequenz 136, die arterielle Blutgeschwindigkeit bloss 88 M. m., nach Infusion von *Tartarus emeticus* wurden, bei nicht allzu grossen Schwankungen der Pulsfrequenz, die verschiedensten Geschwindigkeitswerthe erhalten von 140 bis herab

9, ja 6 Millim. in der Secunde. So lange, bei der gewöhnlichen Blutmenge des Körpers, das Herz die vorhin angegebenen Pulszahlen zeigt, wird eine derartige minime Stromgeschwindigkeit in einem Gefäss wie die Carotis kaum stattfinden können.

Auch Hering hat eine Reihe von Versuchen über die Kreislaufszeiten nach Infusion von Medicamenten in das Blut von Pferden angestellt. 3 Thiere erhielten Infusionen mit Tinct. Veratri albi, allerdings kein reiner Versuch, wegen der Weingeistwirkung; Hering's Absicht war übrigens nicht das Studium von Wirkungen von Medicamenten, sondern die Untersuchung des Einflusses der erhöhten Pulsfrequenz auf die Kreislaufszeiten. Die Pulse in den genannten Versuchen waren um das 2—3fache vermehrt, die Kreislaufszeiten zeigten dieselben Werthe wie in der Norm, einen Versuch ausgenommen, wo sie kürzer war. Also auch hier ist die vermehrte Pulsfrequenz mit einer compensirenden Verminderung der Systolegrössen verbunden.

Nach Infusion von Ammoniakliquor war der Puls 120, die Kreislaufszeit $22\frac{1}{2}$ Secunden, während in einem Parallelversuch ohne solche Infusion 60 Schläge bei einer Kreislaufszeit (in der Jugularisbahn) von $17\frac{1}{2}$ Secunden gefunden wurden.

Eine Infusion von Weingeist erhöhte den Puls von 34 auf 64, die Kreislaufszeit war $37\frac{1}{2}$ Secunden; also wohl eine Verlangsamung, obschon ein Normalversuch an demselben Thier fehlt, welches ausserdem benutzt wurde zu einer Infusion von verdünntem Camphorgeist, wobei die Kreislaufszeit zu 52,5 Secunden bestimmt wurde.

Ein Versuch endlich mit einem Morphiumpsalz ergab dieselbe Kreislaufszeit wie in dem normalen Vergleichsversuch.

Fortgesetzte Experimente über die Wirkung der wichtigsten Medicamente auf die Kreislaufsdauer sind in hohem Grad wünschenswerth, besonders dann, wenn mit solchen experimentirt wird, welche die Herzthätigkeit, nach Zahl, Ausgiebigkeit u. s. w. der Systolen in möglichst extremen Bedingungen versetzen.

Fünfter Abschnitt.

Casuistik.

§. 44. Infusionsmethode.

Bei jedem Einzelyersuch ist unter anderem immer angegeben die Zeit einer ganzen Umdrehung der das ausfliessende Blut auffangenden Scheibe, woraus sich (s. §. 15) die bezüglichen Zeitwerthe sogleich berechnen lassen. Die Drehungsgeschwindigkeit der Scheibe ist anfangs etwas langsamer; vom sechsten Trichter an ist sie konstant und etwas schneller. Bei einer Umdrehungszeit von 48 und 49 Sekunden ergab sich für die 5 ersten Trichter ein Zeitwerth von 4 Sekunden; für 50 und 51 Secunden Umdrehungszeit von 4,1 Secunden, für 52 und 53 Secunden von 4,2 Secunden für die 5 ersten Trichter. Jeder spätere Trichter, vom sechsten an, entspricht somit einem Zeitwerth von 0,592 Secunden bei 49 Secunden Umdrehungszeit der Scheibe u. s. w. Es versteht sich, dass die Zeit, welche das Blut brauchte, um durch die kleine elastische Ausflussröhre zu fliessen, bei den Angaben abgerechnet werden musste. Die lethal gewordenen Infusionen, sind ebenfalls aufgezählt; zur Berechnung der normalen Endmittel dürfen sie aber nur dann verwendet werden, wenn die Symptome erst nach Beendigung des Versuchs auftraten.

I. Weiblicher Spizerhund 9,18 Kilogr. schwer; Höhe (an der Schulter gemessen) 44 Centimeter, Länge: (Stirn bis After) 60 C. M.

Puls? Infusion: in Venajugul. ext. dextr. Ausfluss: Arteria cruralis dextra. Scheibendrehung: 50 Sekunden. Erste Reaction in Trichter 13, also brauchte das Blut von der Drosselader durch die kleine Blutbahn bis zur Cruralarterie nur 8,33 bis 8,93; im Mittel 8,63 Sekunden. Das Thier war während des Versuchs ganz ruhig; eine halbe Minute etwa nach Beginn des Versuches traten Symptome auf; das Thier starb schnell.

II. Männlicher Jagdhund, 7,7 Kilogr.; Infusion in Vena jugul. dextr. Ausfluss: Vena cruralis dextra. Scheibendrehung 50 Sekunden. Erste Reaction in Trichter 24, also zwischen 14,97 und 15,48, im Mittel 15,28 Sekunden. Das Thier krepirte einige Minuten nach dem Versuch, während dessen Verlauf es ganz ungestört schien.

III. Weiblicher Spizer, 4,6 Kilogr. Infusion und Ausfluss aus beiden Jugularvenen. Scheibendrehung absichtlich verlangsamt auf 79 Sekunden. Erste Reaction in Trichter 20, also zwischen 25,57 und 26,48, im Mittel 26,0 Sekunden. Sogleich nach der Injection grosse Unruhe, starkes Keuchen; das Thier gieng schnell zu Grunde. Der Versuch zeigt somit unmittelbar die störenden Wirkungen der Agonie.

IV. Männlicher Rattenfänger, alt, 8,2 Kilogr. schwer, 62 C. M. lang, 47 C. M. hoch. Puls 66. Beide Jugularvenen. Scheibendrehung 51 Sekunden. Erste Reaction in Trichter 36, also zwischen 22,61 und 23,22, im Mittel 22,91 Sekunden. Wiederum sogleich nach der Infusion starke Athemnoth und Unruhe; doch baldige Erholung.

V. Dasselbe Thier, 3 Tage später. Puls auf 104 gestiegen, Athmungen 28. Wiederum beide Jugularen. 1 Umlauf = 51 Sekunden. Es wird weniger Lösung als im vorigen Fall injicirt und das Thier dadurch nicht gestört. Erste Reaction in Trichter 23, also zwischen 14,59 und 15,21, im Mittel 14,90 Sekunden.

VI. Männlicher Pudel, 8,34 Kilogr. 60 C. M. lang, 43 C. M. hoch; Puls 109, Respiration 13. 1 Umgang der Scheibe = 50 Sekunden. Beide Jugularen. Erste Reaction in Trichter 21, also zwischen 13,16 und 13,76, im Mittel 13,46 Sekunden.

VII. Dasselbe Thier, 6 Tage später. Puls 62, Athem 12. Beide Jugularen. 1 Umlauf der Scheibe 51 Sekunden. Erste Reaction in Trichter 23; also zwischen 15,21 und 15,82, im Mittel 15,51 Sekunden.

VIII. Männlicher Spizer, 7,61 Kilogr. Höhe 43, Länge 54 C. M. Puls 70. Respirationen 11. 1 Scheibenumgang: 50 Sekunden. Beide Jugularen. Erste Reaction in Trichter 20, also zwischen 12,56 und 13,16, im Mittel 12,86 Sekunden.

IX. Weiblicher Spizer, 6,25 Kilogr., 56 C. M. lang, 40 C. M. hoch. Puls? Scheibendrehung = 49 Sekunden. Beide Jugularen. Erste Reaction in Trichter 20, also zwischen 12,29 und 12,88, im Mittel 12,58 Sekunden. Das Thier krepirte zwei Minuten nach Beginn des Versuches, während dessen Verlaufes es sich ungestört verhielt.

X. Weiblicher Fuchshund, 5,4 Kilogr. 36 C. M. hoch, 50 C. M. lang. 85 Pulse, 16 Athemzüge. 1 Scheibendrehung 49 Sekunden. Beide Jugularen. Erste Reaction in Trichter 23, also zwischen 14,06 und 14,66, im Mittel 14,36 Sekunden.

XI. Dasselbe Thier, 2 Tage später. Beide Jugularvenen. 1 Scheibendrehung 50 Sekunden. Narcosis durch Inhalation einer Mischung von Aether und Chloroform. Die Narcosis ist mässig und verschwindet bald nach Beendigung des Versuches. Puls wegen starken Zitterns nicht gut bestimmbar. Erste Reaction in Trichter 24, also zwischen 14,97 und 15,57, im Mittel 15,27 Sekunden.

XII. Sehr starker männlicher Metzgerhund, 22,19 Kilogr., 109 C. M. lang, 63 C. M. hoch. Das Thier ist sehr aufgeregt, schwer zu bändigen; 122 Pulse, 12 Athemzüge. 1 Scheibendrehung = 51 Sekunden. Beide Jugularvenen. Erste Reaction in Trichter 31, also zwischen 19,52 und 20,14, im Mittel 19,83 Sekunden.

XIII. Dasselbe Thier, 2 Tage später. 1 Drehung 55 Sekunden. Beide Jugularen. Vollkommene und tiefe Chloroformnarcosis, von der sich das Thier erst 10 Minuten nach dem Versuch erholt. Puls 120, Athmung 16—17. Erste Reaction in Trichter 36, also zwischen 24,30 und 24,97, im Mittel 24,63 Sekunden.

XIV. Männlicher Spizer, 7,78 Kilogr., 58 C. M. lang, 40 C. M. hoch. Puls 75, Athemzüge (das Thier ist sehr erregt) 40, oberflächlich; 1 Scheibenumgang 53 Secunden. Beide Jugularen. Erste Reaction in Trichter 28, also zwischen 18,33 und 18,97, im Mittel 18,65 Secunden.

XV. Dasselbe Thier, 3 Tage später. 1 Drehung 51 Secunden. Infusion in Jugularis sinistra, Ausfluss aus Vena cruralis dextr. Puls? Erste Reaction in Trichter 35, also zwischen 21,99 und 22,61, im Mittel 23,30 Secunden. Das Thier wird 1 Minute nach dem Versuch unruhig und stirbt.

XVI. Männlicher Rattenfänger; 5,9 Kilogr., 53 C. M. lang, 40 C. M. hoch. Puls 87, Athem 13. 1 Scheibenumgang 49 Secunden. Beide Jugularen. Erste Reaction in Trichter 21, also zwischen 12,88 und 13,47, im Mittel 13,18 Secunden.

XVII. Dasselbe Thier, 2 Tage später. Beide Jugularvenen. Starke andauernde Chloroformnarcosis. Puls 103, 35 sehr kleine Athemzüge. 1 Drehung 49 Secunden. Erste Reaction in Trichter 25, also zwischen 15,25 und 15,84, im Mittel 15,55 Secunden.

XVIII. Dasselbe Thier, 14 Tage nach dem zweiten Versuch. Respirationen und Pulse wegen starken Zitterns unbestimmbar. 1 Umgang der Scheibe = 51 Secunden. Infusion in Vena cruralis dextra, Ausfluss aus Vena cruralis sinistra. Erste Reaction in Trichter 20, also zwischen 12,74 und 13,36, im Mittel 13,05 Secunden.

XIX. Männlicher Rattenfänger, 9,03 Kilogr. 65 C. M. lang, 44 C. M. hoch. 150 Pulse, 60 kleine Respirationen. Starke Aufregung des schwer zu bändigenden Thieres. 1 Umgang 51 Secunden. Beide Jugularen. Erste Reaction in Trichter 26, also zwischen 16,44 und 17,06, im Mittel 16,75 Secunden.

XX. Dasselbe Thier, 2 Tage später. Beide Jugularen. Von einer Digitalisinfusion von 1 $\frac{3}{4}$ auf 6 $\frac{3}{4}$ Colatur wurden innerhalb 4 Minuten in kleinen Portionen 3 Drachmen in die Vene injicirt. Einige Minuten später noch 1 Drachme. Der Puls vor der Injection war 102, einige Minuten später 200, mit stark pochendem Herzschlag. Mittlerweil wird die andere Jugulare blossgelegt, das Thier liegt in

Agonie; die Infusion des Eisensalzes konnte erst 1 Minute nach dem letzten Athemzug gemacht werden. Die Scheibendrehung wurde absichtlich auf 94 Secunden verlangsamt. Erste Reaction in Trichter 31, also Geschwindigkeit 35,9 Secunden.

XXI. Männlicher Spizer, 8,45 Kilogr. 60 C. M. lang, 38 C. M. hoch. Puls 102, Respiration 30. Beide Jugularen. 1 Umgang = 50 Secunden. Erste Reaction in Trichter 24, also zwischen 14,97 und 15,58, im Mittel 15,27 Secunden.

XXII. Dasselbe Thier, 2 Tage später. Beide Jugularen. Innerhalb 3 Minuten werden nicht ganz 3 Drachmen des oben (Versuch XX.) erwähnten Digitalisinfuses in die Vene injicirt. Puls vor der Injection 112. Das Thier scheint anfangs wenig gestört, athmet etwas tiefer; der Puls bleibt mehrere Minuten lang auf der frühern Frequenz. Einige Minuten später noch eine Injection von $\frac{1}{2}$ Drachme des Infuses. Der Puls wird sehr unregelmässig, schwach, 45. Etwas später Brechen. Nach einigem Zuwarten: Infusion des Eisensalzes. 1 Scheibendrehung = 52 Secunden. Erste Reaction in Trichter 34, also zwischen 21,81 und 22,44, im Mittel 22,12 Secunden. Dieser Versuch zeigt somit sehr gut den Effect einer intensiven Digitaliswirkung auf die Blutgeschwindigkeit. 6 Minuten nach der Infusion des Eisensalzes plötzliche Unruhe, einige tiefe Athemzüge, sehr weite Pupille, Tod. Der Herzschlag war dabei weder pochend, wie in XX., noch frequent. Der Versuch beweist, dass übermässige Digitalisdosen nicht konstant erhöhte Pulsfrequenz bewirken.

XXIII. Männlicher Spizer, 8,28 Kilogr. 55 C. M. lang, 40 C. M. hoch. Beide Jugularen. 1 Umlauf der Scheibe 60 Secunden. Das Thier wird durch die Infusion erregt und stirbt schnell nach beendetem Versuch. Erste Reaction in Trichter 29, also zwischen 21,42 und 22,15, im Mittel 21,78 Secunden. Puls und Respirationen konnten nicht mehr gemessen werden.

XXIV. Männlicher Pinscher, 7,17 Kilogr. 54 C. M. lang, 37 C. M. hoch. Puls 69, Athmen 12. Eine Scheibendrehung 48 Secunden. Vor zwei Tagen zu einem Jugularisversuch gebraucht, es floss aber erst

30 Secunden nach Beginn der Infusion Blut aus der Vene, sodass der Versuch verunglückte.

Heute der erste Versuch mit der Doppelscheibe und mit 2 Ausflüssen. Infusion in V. jugularis sin.

1) Vena jugularis dextr; ergab wiederum so wenig Blut, dass die Reaction auf das Blut dieser in Stockung gerathenen Gefäßprovinz werthlos geworden wäre.

2) Vena cruralis dextra. Erste Reaction in 37, also zwischen 21,95 und 22,53, im Mittel 22,24 Secunden.

XXV. Männlicher Metzgerhund, sehr kräftig und blutreich. 22,86 Kilogr., 83 C. M. lang, 58 C. M. hoch. 106 Pulse (durch die Operation ziemlich accelerirt) 8 Respirationen; 1 Umlauf der Scheibe = 47 Secunden. Infusion in die linke Jugulare. Zwei Ausflüsse:

1) Vena cruralis dextra. Erste Reaction in Trichter 37, also zwischen 21,48 und 22,04, im Mittel 21,76 Secunden.

2) Vena jugularis dextra. Erste Reaction in Trichter 32, also zwischen 18,64 und 19,22, im Mittel 18,92 Secunden.

XXVI. Dasselbe Thier, 2 Tage später. Während der Blosslegung der Jugularen starke capillare Blutungen, etwa 25 Grammen betragend. Infusion in V. jugularis sin. Aus der 2 Tage vorher unterbundenen Cruralvene konnte kein Tropfen Blut erhalten werden. Die andere Cruralvene wurde deshalb nicht gewählt, weil die Cruralarterie dieser Seite zu einem anderweitigen Versuch benutzt werden sollte. 1 Scheibendrehung 49½ Secunden. Nach einer Aderlässe von 110 Cub. Cent. Met. wurde die Infusion des Eisensalzes in die linke Jugulare gemacht. Erste Reaction auf das Blut der rechten Jugulare in Trichter 28, also zwischen 17,18 und 17,79, im Mittel 17,48 Secunden. Wegen starken Zitterns des Thieres ist die Zählung des Pulses nicht möglich.

XXVII. Alter männlicher glatthäriger Spitzer, 10,76 Kilogr. 54 C. M. lang, 40 C. M. hoch. 1 Umgang 51. Puls 80, Athmen 11. Infusion in die linke Jugulare. Zwei Ausflüsse. 1) Rechte Jugulare. Erste Reaction in Trichter 28, also zwischen 17,67 und 18,29, im Mittel 17,98 Secunden. 2) Rechte Cruralvene; erste Reaction in Trichter 32, also zwischen 20,14 und 20,76, im Mittel 20,45 Secunden.

Ein zweiter Versuch mit Venaesection, 2 Tage später, ergab kein Blut aus der Jugularis, wegen Coagulationen in dem Gefäss.

XXVIII. Weiblicher Pinscher, 2,84 Kilogr. 40 C. M. lang, 27 C. M. hoch. 1 Umgang der Scheibe 48 Secunden. Beide Jugularen. Erste Reaction in Trichter 23, also zwischen 13,84 und 14,42, im Mittel 14,13 Secunden. Vor dem Versuch ein Blutverlust von etwa 15 Grammen. Während des Versuches war das Thier ruhig, stirbt aber 1 Minute nachher plötzlich.

XXIX. Männlicher Dachshund. 7,65 Kilogr. 54 C. M. lang, 31 C. M. hoch. 72 Pulse. 1 Scheibendrehung 47 Secunden. Infusion in die linke Jugulare. Zwei Ausflüsse: 1) Rechte Jugulare. Erste Reaction in Trichter 25, also zwischen 14,67 und 15,24, im Mittel 14,95 Secunden. 2) Rechte Cruralvene. Erste Reaction in 28, also zwischen 16,37 und 16,94, im Mittel 16,65 Secunden.

XXX. Dasselbe Thier, 28 Stunden später. Beide Jugularen. Vor dem Versuch Aderlässe von 100 Cub. Cent. Met. Puls 84; das Thier scheint wenig angegriffen. 1 Scheibendrehung 47 Secunden. Erste Reaction in Trichter 33, also zwischen 13,54 und 14,11, im Mittel 13,82 Secunden.

XXXI. Weiblicher Pinscherbastard. 1,84 Kilogr. 42 C. M. lang, 30 C. M. hoch. Beide Jugularen. 140 Pulse, 12 Respirationen. 1 Umlauf der Scheibe = 50 Secunden. Erste Reaction in Trichter 16; also zwischen 10,14 und 10,74, im Mittel 10,44 Secunden.

XXXII. Dasselbe Thier, 2 Tage später. Puls 155. Beide N. n. vagi werden durchschnitten, der Puls hebt sich auf 205, 1 Umlauf 52 Secunden. Erste Reaction in Trichter 22, also zwischen 14,26 und 14,89, im Mittel 14,57 Secunden.

XXXIII. Männlicher Dachshund, 8,1 Kilogr. 61 C. M. lang, 29 C. M. hoch. Beide Jugularen. 104 Pulse. 1 Scheibendrehung 50 Secunden. Erste Reaction in Trichter 23, also zwischen 14,37 und 14,97 im Mittel 14,67 Secunden.

XXXIV. Dasselbe Thier, 2 Tage später. Beide Jugularen. Ven. Sectio von 100 Cub. Cent. Met. Gegen Ende der V. S. Blutabfluss sehr schwach und das Blut coagulirt sogleich. Puls nach der V. S.

159, Respiration 12. 1 Drehung = 49 Secunden. Sehr geringe Blutmengen in den einzelnen Proben; das Ausflussrohr enthält einige Coagula, sodass das Volum des Ausflussrohres nicht genau berechnet werden kann. Erste Reaction in Trichter 34, also Geschwindigkeit etwa 21,16 Secunden.

XXXV. Männlicher Spizerhund. 7,0 Kilogr. 61 C. M. lang, 35 C. M. hoch. Puls 120. 1 Umgang = 50 Secunden. Infusion in die linke Jugulare. 2 Ausflüsse.

1) V. jugularis dextra; erste Reaction in 21, also zwischen 13,16 und 13,76, Mittel 13,46 Secunden.

2) Vena cruralis dextra, ergab genau dieselbe Zeitdauer wie die Jugularvene, also 13,46 Secunden.

XXXVI. Ziegenböckchen, etwa 12 Tage alt, 3,75 Kilogr. 47 C. M. lang, 31 C. M. hoch. Beide Jugularen. Puls 110. Scheibendrehung 50 Secunden. Erste Reaction in Trichter 20, also zwischen 12,56 und 13,16, im Mittel 12,86 Secunden. Das Thier wird unruhig, jedoch erst einige Secunden nach beendetem Versuch und stirbt schnell.

XXXVII. Männlicher Fuchs, 1,70 Kilogr. schwer, 36 C. M. lang, 24 C. M. hoch. Puls 190, Athmen 71. 1 Umgang der Scheibe 47 Secunden. Beide Jugularen. Erste Reaction in Trichter 21, also zwischen 12,41 und 12,97, im Mittel 12,69 Secunden.

XXXVIII. Dasselbe Thier, 2 Tage später. Puls 180. Beide Cruvalvenen. 1 Umgang der Scheibe 46 Secunden. Erste Reaction in Trichter 25, also zwischen 14,42 und 14,97, im Mittel 14,69 Secunden. Das Thierchen starb einige Wochen später während meiner Abwesenheit, nach Angabe des Institutsdieners, der die Section machte, an „Lungenvereiterung“. In beiden Versuchen erhielt ich geringe Ausflussmengen, was auf Erschwerungen des venösen Blutlaufes schliessen lässt, sodass die Dauer des Kreislaufes hier eine zu hohe ist.

XXXIX. Männliches Albinokaninchen. 1,44 Kilogr. schwer. Beide Jugularen. Vor der Injection ein Blutverlust von 7—9 Grammen. 1 Umlauf = 50 Secunden. Erste Reaction in 16, also zwischen 10,14 und 10,74 im Mittel 10,44 Secunden. Das Thier zeigt Symp-

tome unmittelbar nach der Injection und stirbt schnell. Blutverlust und Vergiftung wirken also hier störend.

XXXX. Männliches Kaninchen, 1,5 Kilogr. Beide Jugularen. 1 Umgang 48 Secunden. Erste Reaction in 11, also zwischen 6,89 und 7,47, Mittel 7,18 Secunden. Das Thier zeigt jedoch erst 1 Minute nach Vollendung des Versuchs Symptome und stirbt bald.

XXXXI. Männliches Kaninchen, 1,62 Kilogr. Beide Jugularen. 1 Umlauf 45 Secunden. Erste Reaction in 11, also zwischen 6,51 und 7,05, Mittel 6,78 Secunden. Das Thier zeigt keine Symptome durch die Infusion und geht erst einige Minuten später an einem zufälligen Blutverlust zu Grunde.

XXXXII. Männliches Albinokaninchen, 0,99 Kilogr. 1 Umlauf 45 Secunden. Beide Jugularen. Erste Reaction in Trichter 11, also zwischen 6,51 und 7,05, im Mittel 6,78 Secunden. Das Thierchen bekam, jedoch erst einige Minuten nach dem Versuch Zuckungen, verbunden mit Dyspnoe, nach etwa $\frac{1}{4}$ Stunde hatte es sich wieder erholt.

XXXXIII. Weibliches Kaninchen, 1,94 Kilogr. schwer. 1 Umgang = 46 Secunden. Beide Vagi werden durchschnitten und der Versuch 6—8 Minuten nach der Operation angestellt. Die Notiz über die Pulsfrequenz vor und nach der Operation ging verloren; die Operation erhöhte übrigens die Pulsfrequenz ziemlich. Beide Jugularen. Erste Reaction in 10, also Umlaufzeit zwischen 6,12 und 6,67, im Mittel 6,40 Secunden. Ich nahm viele Blutproben, das Thierchen ging am Blutverlust zu Grunde.

XXXXIV. Männliches Albinokaninchen, 1,57 Kilogr. schwer. Beide Jugularen. Puls 214, nach Durchschneidung der Vagi 273. Der Versuch beginnt 12 Minuten nach der Nervendurchschneidung. 1 Umgang = 45 Secunden. Erste Reaction in Trichter 12, also zwischen 7,05 und 7,59, im Mittel 7,32 Secunden.

§. 45. Haemotachometerversuche.

Die Ablenkungen des Tachometerpendels sind bloss in denjenigen Versuchen angegeben, in welchen ich den gewöhnlich gebrauchten meiner drei Apparate angewandt habe. Bei der Unmöglichkeit, die Arterienquerschnitte ganz exakt zu bestimmen, haben die Angaben über die durch die Arterie strömenden Blutmengen einen viel grösseren Werth als die berechneten Blutgeschwindigkeiten.

I) Männlicher, Metzgerhund, alt, 13,5 Kilogr. schwer, 69 C. M. lang, 37 C. M. hoch. Puls 104. Carotisquerschnitt 8,96 □ M. m. Sekundengeschwindigkeit in mehreren Versuchen im Mittel 301 M. m. Durchflussmengen per Sekunde 2,11 bis 3,30 im Mittel 2,70 Cub. Cent. Meter; Herzwirkung 0,6 C. C. M. = 22 %.

II) Männlicher Spitzer, 8,8 Kilogr. schwer, 43 C. M. hoch, 68 C. M. lang. Puls? Carotisquerschnitt 8,5 □ M. m. Pendelablenkungen in zwei Versuchen zwischen 15° — 25° = 1,11 bis 2,74, im Mittel 1,92 C. C. M. Durchflussmenge per Secunde; also Secundengeschwindigkeit des Carotisblutes 226 M. m.

1. Blutverlust von 80 C. C. M. Pulsfrequenz 60. Pendelablenkungen in zwei Versuchen 10° bis 20° , also 0,73 bis 1,82, im Mittel 1,28 C. C. M. Durchflussmenge; Blutgeschwindigkeit 150 M. m. (unter Voraussetzung des früheren Arterienquerschnittes, welche natürlich nicht richtige Annahme auch für die Fortsetzung des Versuches gilt).

2. Blutverlust von 38 C. C. M. 25 Minuten später. Anfangs bei 67 Pulsen Pendelablenkungen 10° — 20° , wie oben; später in drei Versuchen bei 89 Pulsen Ablenkungen von 5° — 15° , d. h. 0,35 bis 1,11 C. C. M. Durchflussmenge per Secunde, im Mittel 0,73 C. C. M. Mittlere Geschwindigkeit 86 M. m.

3. Blutverlust von 60 C. C. Puls 180. 5° — 10° , Durchflussmengen 0,35 bis 0,73, im Mittel 0,52 C. C. M. per Secunde. Mittlere Geschwindigkeit 61 M. m.

Weitere Versuche mit erneuerten Blutverlusten gelingen nicht mehr, wegen schneller Gerinnung des Blutes. Dem Thier werden bis zum Tod noch 150 C. C. M. entzogen.

III) Weiblicher Hühnerhund, 16 Kilogr. schwer, 85 C. M. lang, 58 C. M. hoch. Puls 80, sehr unregelmässig. Carotisquerschnitt 12,4 □ M. m. Durchflussmengen per Secunde: Versuch 1) 1,06 — 1,53 C. C. M. 2) 1,06 — 1,53 C. C. M. 3) 0,99 — 1,06 C. C. M. 4) 1,06 — 1,53 C. C. M. Im Mittel 1,31 C. C. M., also Secundengeschwindigkeit 106 M. m.

IV) Männlicher Spizer, gross, mit einer Magenfistel. Querschnitt der Art. cruralis dextra 9,49 □ M. m. Puls 89. Gewicht? Durchflussmengen 1,50 — 1,80, im Mittel 1,65 C. C. M. Bloss ein Versuch gelingt wegen schnellen Coagulationen des Blutes. Secundengeschwindigkeit 173 M. m.

V) Männlicher Spizer, 6,8 Kilogr. schwer. Puls 78. Querschnitt der Art. cruralis dextra 6,9 □ M. m. Durchflussmengen in 4 Versuchen: 1) 0,76 — 1,20. 2) 0,86 — 1,45. 3) 1,20 — 1,65. 4) 0,76 — 1,20 C. C. M. im Mittel 1,13 C. C. M. Geschwindigkeit 164 M. m.

VI) Männlicher Schäferhund, 11,9 Kilogr. schwer, 68 C. M. lang, 44 C. M. hoch. Puls 108. Querschnitt der Art. cruralis dextra 6,6 □ M. m. 10° — 15° Ablenkung in 2 Versuchen, 0,73 — 1,11 C. C. M. m. Durchflussmengen, im Mittel 0,92 C. C. M. Pulszunahme der Durchflussmenge 0,2 C. C. M., also 20%. Geschwindigkeit 138 M. m.

VII) Männlicher Spizer, Querschnitt der Art. cruralis sinistra 9,3 □ M. m. Ablenkung in 2 Versuchen 15° — 20°, Durchflussmengen 1,11 — 1,82, im Mittel 1,46 C. C. M. Geschwindigkeit 157 M. m.

VIII) Alter männlicher Spizer, 7,5 Kilogr. schwer, 65 C. M. lang, 38 C. M. hoch. Carotis sinistra 9,9 □ M. m. Puls 104. Durchflussmengen in 2 Versuchen: 1) 1,85 — 2,60. 2) 2,80 — 3,60 C. C. M., im 2. Versuche Pulszunahme der Durchflussmenge 0,4 C. C. M. also um 13%. Mittlere Durchflussmenge 2,71 C. C. M. Geschwindigkeit 273 M. m.

IX) Jagdhund; Art. cruralis 9,3 □ M. m. Puls 80. 15° — 17°, Durchflussmengen 1,11 — 1,27, im Mittel 1,19 C. C. M. Pulszunahme der Durchflussmenge 0,16 C. C. M. = 14 %. Geschwindigkeit 128 M. m. Bloss ein Versuch gelang wegen Neigung des Blutes zum Coaguliren.

X) Männlicher Schäferhund, 7,7 Kilogr. schwer, 70 C. M. lang, 38 C. M. hoch. Puls 105. Carotis = 7,9 □ M. m. Durchflussmengen 2,50 — 2,90, im Mittel 2,7 C. C. M. Geschwindigkeit 342 M. m.

XI) Männlicher Bulle, 20,1 Kilogr. schwer, 99 C. M. lang, 58 C. M. hoch. Puls 90 — 100.

1) Vena jugularis dextra. Durchflussmenge 3,0 bis 4,3 C. C. M.

2) Art. carotis dextra. 19,4 □ M. m. 5 Versuche:

1. Durchflussmenge 5,5 — 6,4 C. C. M. 2. Ebenso. 3. 4,3 — 6,4., 4. 6,4 bis 7,4. 5. Ebenso. Mittel der Durchflussmengen: 6,24 C. C. M. Pulsbeschleunigung der Durchflussmengen im Mittel 1,6 C. C. M. = 25 %. Mittlere Geschwindigkeit 322 M. m.

XII) Männlicher Bulle, 20,7 Kilogr. schwer, 90 C. M. lang, 58 C. M. hoch. Puls 85. Querschnitt der Art. cruralis dextra 16 □ M. m. nicht scharf bestimmt. Die andere Cruralarterie wurde früher zu einem Haemodynamometerversuch benutzt.

a) 2 Versuche: 1. Ablenkungen 25° — 30°, mit Pulsoscillationen von 3° — 4°. Durchflussmengen 2,74 — 3,66 C. C. M. Pulsbeschleunigung der Durchflussmengen 0,65 C. C. M. = 24 %. 2. Ablenkungen 30° — 35°, Durchflussmengen 3,66 — 5,10 C. C. M. Endmittel der Durchflussmengen 3,79 C. C. M. Geschwindigkeit 237 M. m.

b) Blutverlust von 180 C. C. M. Puls 101. Ablenkungen in 2 Versuchen 15° — 20° und 10° — 20°, also Durchflussmengen 1,11 — 1,82 und 0,73 — 1,82. Im Mittel 1,37 C. C. M. Die Pulsbeschleunigungen der Durchflussmengen sind sehr stark, wenigstens bei einzelnen Herzschlägen, sie betragen einigemal 0,6 — 0,8 C. C. M., also circa 50 %.

c) Ein weiterer Blutverlust von 90 C. C. M. gab keine Ablenkungen mehr.

§. 46. Graphische Darstellung der mit den Pulsen wechselnden arteriellen Blutgeschwindigkeiten.

Die nachfolgenden Tabellen ergeben die Resultate der Ausmessung der graphisch verzeichneten arteriellen Blutgeschwindigkeitscurven. Die ziemlich bedeutende Vergrößerung der letztern erlaubt an sich ganz gut eine Ausmessung der Tachometergrade bis zu $\frac{1}{10}$ Grad, was mir nicht zum Vorwurf gereichen wird, indem die Versuchsfehlergrenze bekannt ist. Die mit den Arterienpulsen wechselnden Ablenkungen des Tachometerpendelchens können nämlich bloss bis auf 1° genau abgelesen werden. Zur Gewinnung von Endmitteln aus vielen Curven ist jedoch die Bestimmung auch der Zehntelsgrade gerechtfertigt.

XIII) Männlicher Dachshund, schon gebraucht zu Nr. 33 und 34 der Infusionsversuche. Arteria Carotis sinistra. Pulsfrequenz 92. Die Abbildung dieser Blutgeschwindigkeitcurven siehe Tafel 2, Figur 1.

Pulse.	Winkelablenkungen des Tachometerpendels in Graden und Zehntelsgraden.		Auf die Zeitsekunde reducirt durch die Arterie fließende Blutmenge in Cub. Cent. Met.		Pulse.	Winkelablenkungen des Tachometerpendels in Graden und Zehntelsgraden.		Auf die Zeitsekunde reducirt durch die Arterie fließende Blutmenge in Cub. Cent. Met.	
	Anfang	Ende	Anfang	Ende		Anfang	Ende	Anfang	Ende
	d. Systole ventric.		der Systole ventric.			d. Systole ventric.		der Systole ventric.	
1	19,8	24,6	1,60	2,67	25	22,3	28,4	2,24	3,36
	21,3	26,0	2,05	2,92		23,3	27,4	2,24	3,17
	20,8	25,3	1,96	2,79		22,5	27,6	2,27	3,21
	20,8	26,3	1,96	2,97		23,5	28,6	2,46	3,29
5	21,3	25,7	2,05	2,86	30	23,3	28,0	2,24	3,29
	21,3	25,5	2,05	2,83		22,5	27,7	2,27	3,22
	21,6	25,8	2,11	2,88		23,8	27,4	2,51	3,17
	22,8	26,3	2,33	2,97		22,3	26,0	2,24	2,92
10	23,3	27,4	2,42	3,17	35	22,3	27,4	2,24	3,17
	23,3	26,3	2,42	2,97		21,5	26,3	2,16	2,97
	23,6	26,3	2,48	2,97		22,3	26,0	2,24	2,92
	22,8	25,1	2,33	2,75		20,8	25,3	1,96	2,79
15	22,3	26,3	2,24	2,97	40	21,9	27,0	2,16	3,10
	21,8	26,3	2,14	2,97		21,8	25,5	2,14	2,83
	20,8	27,1	1,96	3,11		21,3	25,8	2,05	2,88
	21,5	26,1	2,09	2,93		21,5	25,6	2,09	2,85
20	21,5	26,3	2,09	2,97	45	20,8	25,1	1,96	2,75
	22,3	26,0	2,24	2,92		22,3	26,6	2,24	3,03
	21,5	25,1	2,09	2,75		21,1	26,1	2,01	2,93
	22,3	26,4	2,24	2,99		21,1	26,3	2,01	2,97
	22,3	27,5	2,24	3,19		21,0	25,5	2,00	2,83
	21,9	27,4	2,16	3,17		21,3	26,3	2,05	2,97
	22,3	25,8	2,24	2,88					

Mittel: 2,16 2,98

Querschnitt der Carotis = 10,04 □ Millimeter; also Blutgeschwindigkeit zu Ende der Diastole cordis = 215 M. m., zu Ende der Systole cordis = 297 M. m. in der Secunde; mittlere Geschwindigkeit = 256; mittlere durch die Arterie in 1 Secunde fließende Blutmenge 25,7 Cub. Cent. Met.

XIV. Männlicher Spizerhund, Art. cruralis sinistra. Pulsfrequenz 130. Gewicht 8,5 Kilogr. Länge 59 C. M. Höhe 40 C. M.

Pulse	Winkelablenkungen des Tachometerpendels in Graden und Zehntelsgraden.		Auf die Zeitsekunde reducirte durchfließende Blutmenge in Cub. Cent. Met.		Pulse.	Winkelablenkungen des Tachometerpendels in Graden und Zehntelsgraden.		Auf die Zeitsekunde reducirte durchfließende Blutmenge in Cub. Cent. Met.	
	Anfang	Ende	Anfang.	Ende		Anfang	Ende	Anfang	Ende
	der Systole cordis.		der Systole cordis.			der Systole cordis.		der Systole cordis.	
1	14,0	18,2	1,04	1,49	20	13,2	17,2	0,97	1,30
	14,5	18,2	1,08	1,49		13,2	17,7	0,97	1,39
	15,2	18,7	1,12	1,59		13,2	18,2	0,97	1,49
	15,2	18,1	1,12	1,47		14,2	18,2	1,05	1,49
5	15,2	18,7	1,12	1,59		14,8	17,7	1,09	1,39
	15,2	18,7	1,12	1,59		15,2	18,2	1,12	1,49
	15,2	19,3	1,12	1,69		15,2	18,2	1,12	1,49
	14,7	17,2	1,09	1,30		15,2	18,2	1,12	1,49
10	13,7	18,2	1,01	1,49		15,2	18,2	1,12	1,49
	13,6	18,2	1,00	1,49		15,7	18,2	1,16	1,49
	13,6	17,7	1,00	1,39		15,2	17,7	1,12	1,39
	13,2	16,2	0,97	1,20		15,2	18,2	1,12	1,49
15	12,7	17,2	0,93	1,30		14,2	18,2	1,05	1,49
	12,7	17,7	0,93	1,39		13,2	16,8	0,97	1,25
	13,2	18,2	0,97	1,49					
Mittel: 1,02 1,45									

Mittlere Blutmenge in 1 Secunde = 1,22 Cub. Cent. Met. Querschnitt des Gefäßes 8,9 □ M. m. Mittlere Secundengeschwindigkeit des Blutes 137 M. m.

Zweite Versuchsreihe. (S. die Abbildung Taf. II. Fig. 2.)

Pulse.	Winkelablenkungen des Tachometerpendels in Graden und Zehntelsgraden.		Auf die Zeitsekunde reducirte durch die Arterie fließende Blutmenge in Cub. Cent. Met.		Pulse.	Winkelablenkungen des Tachometerpendels in Graden und Zehntelsgraden.		Auf die Zeitsekunde reducirte durch die Arterie fließende Blutmenge in Cub. Cent. Met.	
	Anfang	Ende	Anfang	Ende		Anfang	Ende	Anfang	Ende
	der Systole cordis.		der Systole cordis.			der Systole cordis.		der Systole cordis.	
1	15,2	21,3	1,12	2,05	20	13,4	18,3	0,99	1,51
	15,2	19,3	1,12	1,69		13,0	16,2	0,96	1,20
	16,2	20,2	1,20	1,85		13,0	17,5	0,96	1,36
	16,2	18,9	1,20	1,62		13,2	18,2	0,97	1,49
5	15,7	18,9	1,17	1,62	25	12,9	18,2	0,95	1,49
	15,2	18,9	1,12	1,62		12,4	17,2	0,91	1,30
	15,2	18,5	1,12	1,54		12,4	17,2	0,91	1,30
	14,2	19,3	1,05	1,69		12,4	18,2	0,91	1,49
10	15,2	18,9	1,12	1,62	30	13,4	18,2	0,99	1,49
	15,2	18,9	1,12	1,62		13,4	18,6	0,99	1,57
	13,7	18,5	1,01	1,54		13,4	18,4	0,99	1,53
	14,2	18,3	1,05	1,51		13,2	16,7	0,97	1,24
15	14,2	18,5	1,05	1,54	35	13,2	16,7	0,89	1,24
	13,5	18,3	1,00	1,51		12,7	17,2	0,93	1,30
	13,5	18,3	1,00	1,51		13,2	18,3	0,97	1,51
	12,9	18,3	0,95	1,51		14,2	18,3	1,05	1,51
	12,9	18,3	0,95	1,51		13,2	19,3	0,97	1,69
	12,9	18,3	0,95	1,51					
Mittel:								1,02	1,49

Querschnitt der Arterie = 8,9 □ M. m.

	1. Reihe.	2. Reihe.	Mittel aus beiden Reihen.
Mittlere Secundengeschwindigkeit des Blutes	189	140	164 M. m.
Mittlere Blutmenge in 1 Secunde	1,69	1,25	1,47 C. C. M.
Geschwindigkeit zu Ende der Diastole cordis	140	114	127 M. m.
Geschwindigkeit zu Ende der Systole cordis	239	167	203 M. m.

§. 47. Die arteriellen Blutgeschwindigkeiten bestimmt
mittelst der ausfliessenden Blutmengen.

Nach dem §. 9 geschilderten Verfahren stellte ich zwei Versuche an über die aus den Arterien ausfliessenden Blutmengen. Die jeweiligen Blutspannungen in den eröffneten Gefässen wurden dabei, so gut als es anging, auf derjenigen Höhe erhalten, welche dem Blutdruck bei geschlossenem Gefäss entsprach. Versuche an Venen nach analoger Methode angestellt, dürften schärfere Resulte geben als an den Arterien.

I) Männlicher Metzgerhund, 14 Kilogramme schwer. Ausflussgefäss: Art. crurâlis. Die Blutspannung wurde vor dem Versuch auch nach einer, für Vorlesungen recht passenden, modificirten Hales'schen Methode bestimmt, welche ich schon in meiner Pulslehre angedeutet habe. Ich versehe eine lange, enge Glasröhre, die zum Reinigen in drei Theile zerlegt werden kann, mit einem Hahn, fülle sie mit Natronlösung und öffne alsdann den Hahn. Es ergaben sich in diesem Versuch Blutdrücke, schwankend zwischen 7 und 8 pariser Fuss Bluthöhe.

Nach Eröffnung des Gefässes wurden in je 10 Secunden folgende Blutvolumen erhalten, wobei bemerkt wird, dass zwischen jeder Einzelbestimmung je 1—2 Minuten liegen, in welcher Zeit der Ausfluss sistirt wurde.

1) 40,2 Cub. Centimet.

2) 32,4 " "

3) 27,0 " "

4) 22,4 " "

5) 18,3 " "

Der Querschnitt der Arterie betrug vor dem Blutverlust 18,9 □M. m. Diess ergibt eine Secundengeschwindigkeit des Blutes von 213 M. m. in dem ersten Versuch. Nach einem Ausfluss von 140 C. C. M. Blut war somit die Geschwindigkeit (vorausgesetzt dass das Gefässkaliber unverändert geblieben, was nicht der Fall sein kann) auf mehr als die Hälfte der normalen gesunken.

II) Männlicher Rattenfänger, fast 8 Kilogramm schwer. Arteria

cruralis. Blutdruck während der ersten Bestimmung der Ausflussmenge 160 M. m. Hg. Vor dem Versuch ein Blutverlust von etwa 15 Grammen. Die in je 10 Secunden ausgeflossenen Blutvolumen waren:

1) 25,9 Cub. Centimet.

2) 22,1 " "

3) 26,7 " "

Nun folgt ein absichtlicher, langsamer Blutverlust von 45 Cub. Centim.

4) 12,2 Cub. Centim.

5) 11,8 " "

6) 12,2 " "

7) 11,4 " "

8) 10,2 " "

Nach einem kleinen weiteren Verlust tritt Agonie ein. Der Querschnitt der Arterie war = 15,1 □ M. m. Daraus ergibt sich eine Secundengeschwindigkeit des Blutes im ersten, den normalen Verhältnissen entsprechenden Versuch von 173 M. m.

Mechanikus Keinath in Tübingen verfertigt die nachfolgenden zur Haemotachometrie erforderlichen Apparate:

1) Haemodromometer 17 fl. 24 kr.

2) Haemotachometer 33 fl.

3) Schreibapparat zum Haemotachometer 48 fl.

4) Kymographion 88 fl. Die Trommel hat eine Peripherie von 52 Centimeter, die Dauer einer Umdrehung lässt sich variiren zwischen 40 bis über 200 Sekunden.

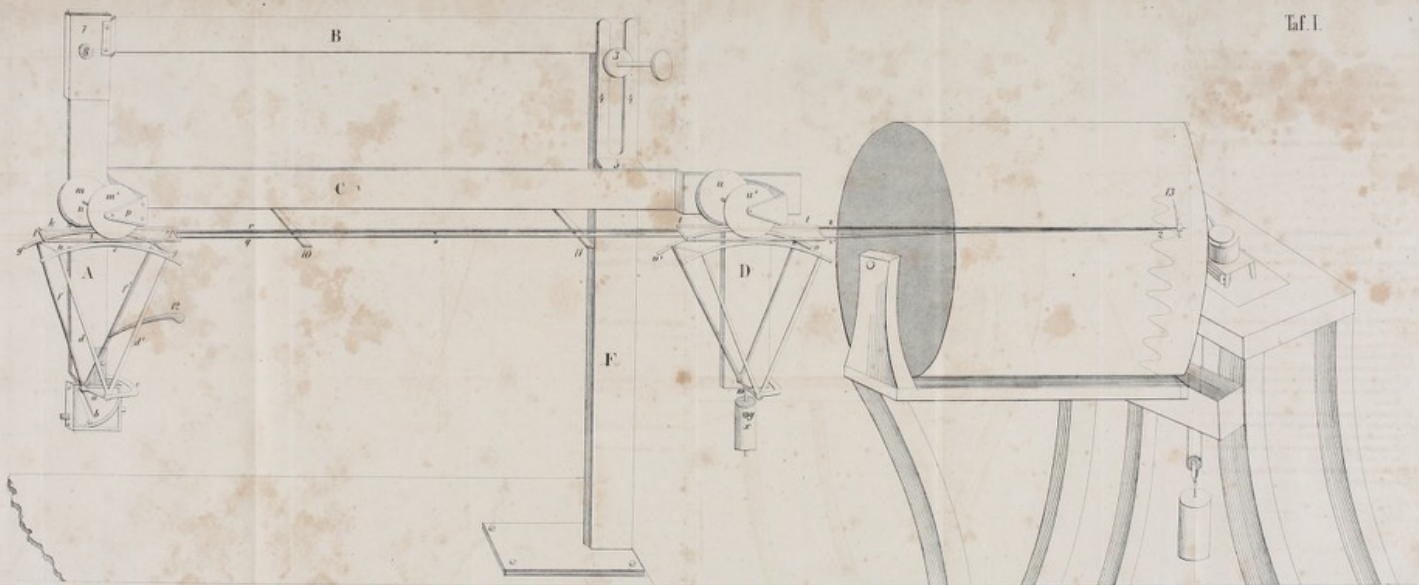
5) Dasselbe sammt Haemodynamometer und Schwimmer 100 fl.

6) Dasselbe mit Einrichtung zur wagrechten Stellung der Trommel und mit Haemodynamometer 120 fl.

7) Messingring zum Aufsetzen auf das Kymographion für den Infusionsversuch 11 fl. 24 kr.

8) Scheibe mit Trichtern für den Infusionsversuch 8 fl.

9) Doppelscheibe 16 fl.



Haemolachometer sammt Schreibapparat für die Blutgeschwindigkeitscurven.

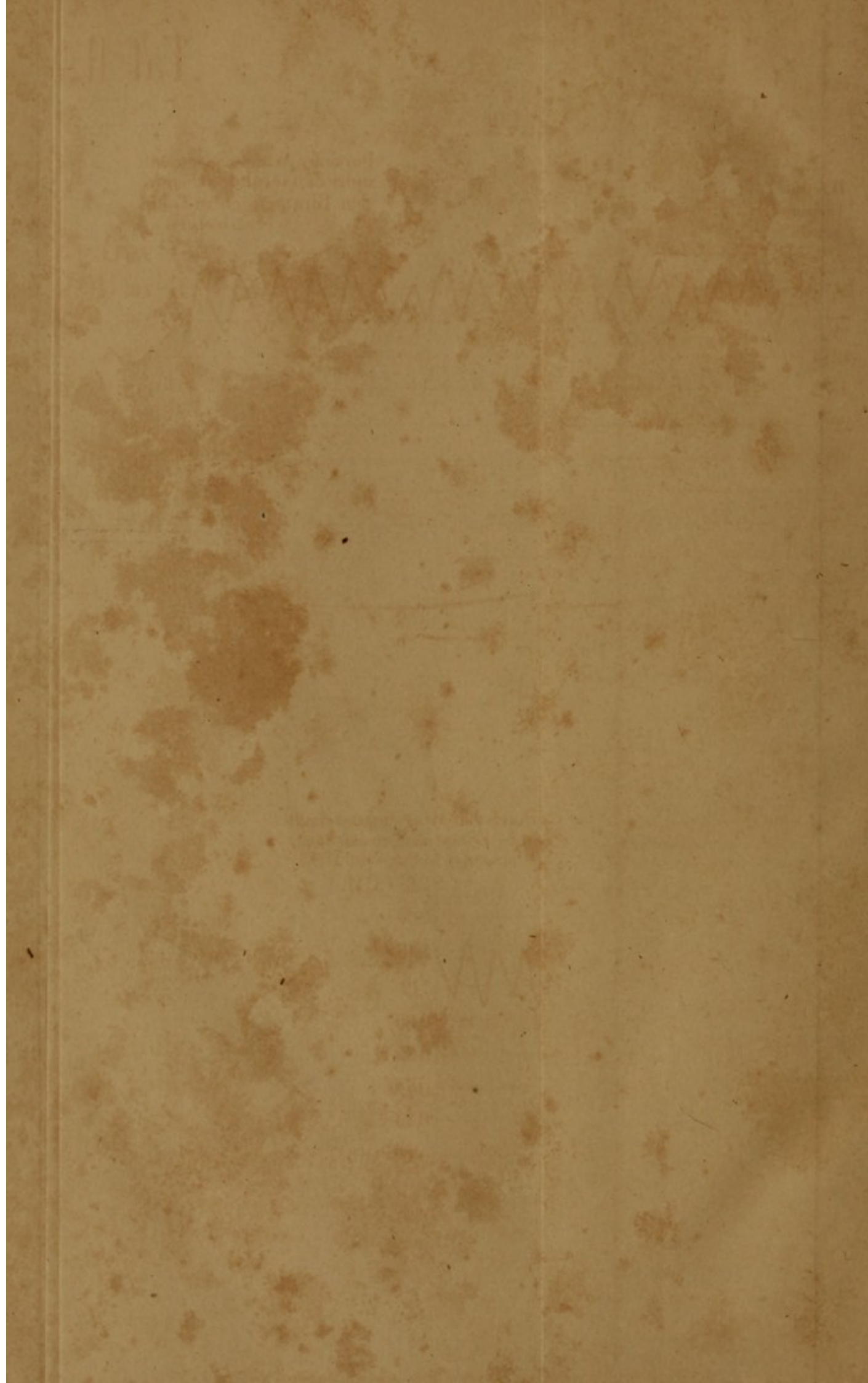


Fig. I. Carotis. Versuch 13.

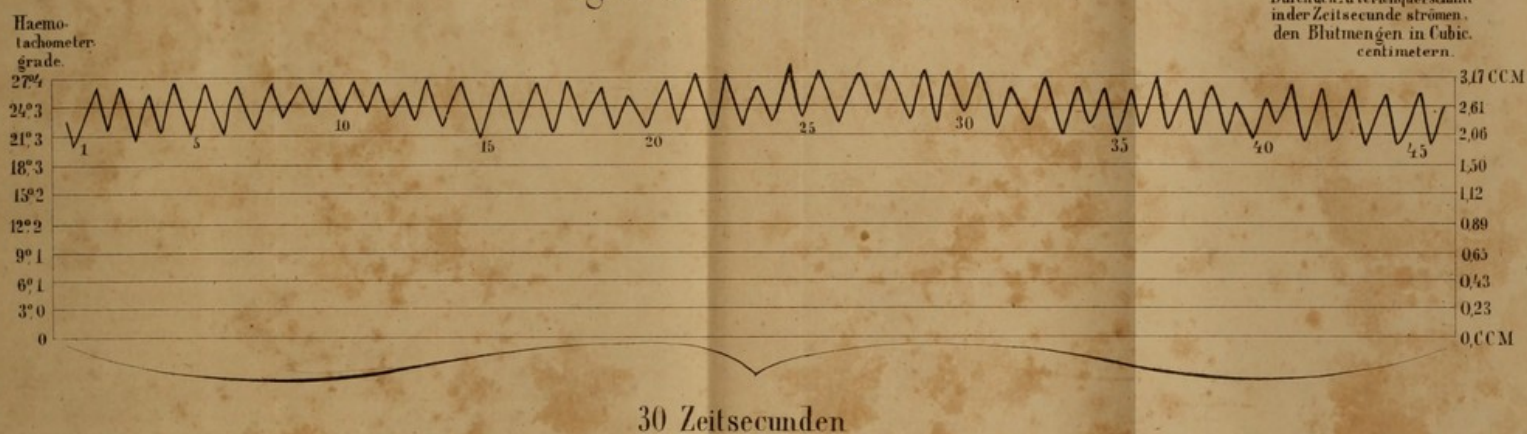
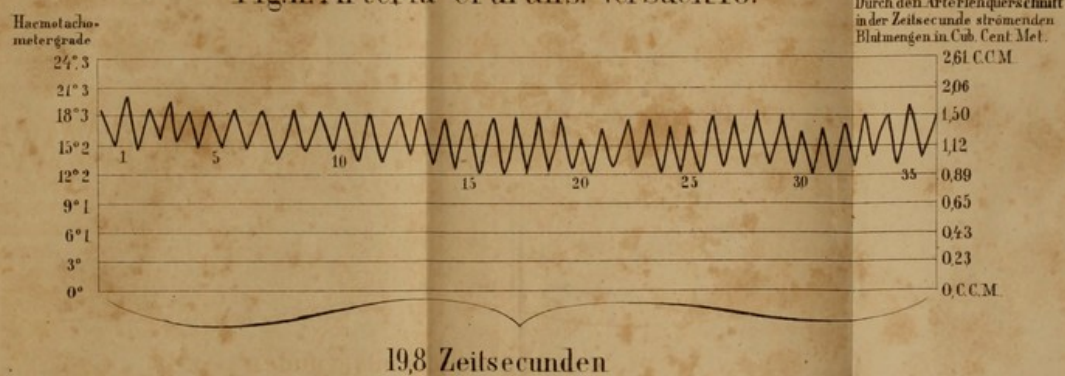


Fig. II. Arteria cruralis. Versuch 15.



Arterielle Blutgeschwindigkeitscurven,
gezeichnet mittelst des Haemotachometers.

Zu Herward's Stromgeschwindigkeiten des Blutes



