

# Ueber den Zustand des Blutstroms nach Unterbindung der Pfortader.

Von

**Dr. H. Tappeiner.**

Mit 44 Holzschnitten.

---

Für die Erscheinung, dass ein Thier rasch abstirbt nachdem seine Pfortader in einem Zuge unterbunden wurde<sup>1)</sup>, fehlt eine zwingende und letzte Erklärung. Aus den Beobachtungen von *C. Ludwig* und *Thiry*<sup>2)</sup> geht allerdings hervor, dass dieser Eingriff zunächst den Blutstrom und zwar in Folge einer hydraulischen Störung zum Versiegen bringt. Denn sie fanden, dass unmittelbar nach der Unterbindung der arterielle Druck in ein Absinken geräth, das so lange fortdauert bis derselbe zu der Grenze gelangt ist bei welcher das Leben nicht mehr bestehen kann. Wird dagegen in nicht allzu ferner Zeit vom Beginn der Verschlussung die Pfortader wieder geöffnet, so steigt der arterielle Druck in wenigen Minuten wieder zu seiner normalen Höhe empor, worauf sich die im Erlöschen begriffenen Bewegungen des Herzens und des Brustkorbes wieder unverweilt beleben. Die Frage aber, wie die Unterbrechung des Pfortaderstromes den Stillstand der gesammten Blutbewegung veranlasse, beantworten die genannten Autoren auf Wahrscheinlichkeitsgründe gestützt dahin, dass sich in den Wurzeln der verschlossenen Pfortader ein Blutquantum von genügender Grösse anhäufe, um in den übrigen Gefässen eine tödtliche Blutleere zu erzeugen.

Um diese Annahme auf ihre Richtigkeit zu prüfen, unternahm Herr *Dr. F. Hofmann* auf Veranlassung des Herrn Prof.

---

1) *Oré* in *Cl. Bernard's leçons sur les propriétés physiologiques des liquides des l'organisme* 1859. Tome II. p. 494. *Mor. Schiff*, Schweizerische Zeitschrift für Heilkunde 1862. Bd. 1. p. 24.

2) Sitzungsberichte der k. Akademie d. W. in Wien. 49. Bd. II. Abl. p. 453.

C. *Ludwig* einige Bestimmungen der Blutmengen in den Darmgefässen von Kaninchen, die in Folge der Pfortaderunterbindung abgestorben waren. Durch den Ausbruch des Krieges war er jedoch verhindert die in Aussicht genommene Versuchsreihe zu vollenden. Aus seinen Aufzeichnungen, welche er mir gütigst zurückerliess, theile ich mit seiner Erlaubniss die für den gegenwärtigen Zweck wichtigen Beobachtungen mit.

Die Bestimmungen der Blutmenge geschahen nach der folgenden Methode: — 1. Da eine Lösung von 200 Cbc. gewöhnlichen Alkohols in 800 Cbc. Aq. den Blutfarbstoff sehr vollkommen und leicht aufnimmt, so werden die Organe des Kaninchen möglichst rasch nach dem Tode in dieselbe gebracht, und sofort stark ausgepresst. Nachdem so ein grosser Theil des Blutes aus den Organen erhalten ist, werden letztere und besonders die dem Drucke widerstehenden Knochen mit einem scharfen Beile zerkleinert, dann in dem vertheilten Zustande mit obiger Alkoholmischung längere Zeit bei 40° C. digerirt oder 6—8 Stunden bei etwa 20° C. stehen gelassen und wieder ausgepresst. Bei der nächsten Wiederholung erhält man bereits eine nur sehr schwach gefärbte Lösung von Hämoglobin. — 2. Die Blutbestimmung im Darm geschieht in der Weise, dass das Mesenterium möglichst nahe dem Darne abgetrennt wird. Das Blut fliesst aus allen grösseren Gefässen heraus, und wird durch Abstreifen des Darmes noch weiter herausgedrückt. Ist dann der Darm abgewaschen, so kann ohne Gefahr von Blutverlust der Darminhalt herausgestreift werden. Das in den Darmcapillaren zurückgebliebene Blut wird schliesslich auf die in 1. beschriebene Weise durch die hydraulische Presse erhalten. — 3. Die gut gemischte Blutflüssigkeit wird gemessen, und um sie von den beigemengten Fleischstückchen rein zu erhalten, filtrirt. Da das Filtriren sehr langsam vor sich geht, namentlich mit der an Eiweiss reichen Blutflüssigkeit der Muskeln, so wird die Farbe ziemlich dunkel, und ein Unterschied zwischen arteriell und venös ist wohl nicht zu erkennen. Um diesen Nachtheil zu beseitigen, wird das Filtrat der zu vergleichenden Blutsorten mit Kohlenoxyd behandelt, und so die gleiche Farbe erzeugt. — 4. Die Farbendifferenz lässt sich nach Intensität und Ton am besten unterscheiden, wenn man die beiden in die Trögenchen gebrachten Blutproben nahe vor ein Auge abwechselnd hält, und ein rundes, gut beleuchtetes Papier betrachtet. Man sieht

so nicht die Flüssigkeit, sondern die mehr oder weniger roth erscheinende Papierscheibe.

»Mit dieser Methode wurden zwei Bestimmungen ausgeführt. Die erste derselben bezog sich auf ein Kaninchen von 1530 Gr. Körpergewicht, welches 52 Minuten nach der Pfortaderunterbindung unter sehr schwachen Krämpfen gestorben war. Da es nur auf das Verhältniss zwischen den Blutmengen im Darm und in dem übrigen Körper ankommt, so ward auch nur dieses bestimmt und zwar in zwei Proben, das eine Mal vor, das andere Mal nach dem Einleiten von Kohlenoxyd. Nach der ersten Bestimmung ergab sich nun unter der Voraussetzung, dass man die gesammte Masse des Blutes zu 100 Theilen annahm, in den Pfortaderwurzeln ein Blutgehalt von 29,4%, während sich dieselbe Zahl nach dem Einleiten von Kohlenoxyd zu 28,8% stellte.

»Der zweite Versuch betraf ein Kaninchen von 1590 Gr. Gewicht, welches 35 Minuten nach der Pfortaderunterbindung unter heftigen Krampfanfällen gestorben war. In die Darmhöhle war ein sehr geringer Erguss von Blut eingetreten. Die Darmwand enthielt viele Ekchymosen; die Pfortader war so strotzend gefüllt, dass beim Anschneiden derselben das Blut in einem Bogen heraussprang. Von diesem letzteren wurde ein Antheil zur Herstellung einer Normalfärbung benutzt. Es ergaben sich nun im Ganzen 40,34 Cbc. Blut, gleich 2,53% des Körpergewichts. Hiervon waren im Darm enthalten 42,67 Cbc. und im übrigen Körper 27,64 Gr. Setzt man die Blutmenge der Leiche gleich 100 Theile, so befanden sich im Körper 68,5% und in den Darmgefässen 34,5% derselben.«

• Als ich nach der Abreise von Herrn Dr. *F. Hofmann* die Arbeit unter Anleitung des Herrn Prof. *C. Ludwig* fortführte, begann ich meine Beobachtungen ebenfalls mit einer Bestimmung der Blutvertheilung in einem Thiere, das in Folge der Pfortaderunterbindung gestorben war. Das reine Körpergewicht des Kaninchens betrug 1000 Gr. Vor der Unterbindung der Pfortader waren dem Thiere 5 Cbc. Blut aus der Carotis entzogen worden, welche ich zur Herstellung einer Normallösung benutzte. Nach dem durch die Pfortaderunterbindung herbeigeführten Tode wurden aus dem Darm und seinen Gefässen 7,4 Gr. Blut und aus dem übrigen Körper 34,7 Gr. Blut gewonnen, mithin betrug die Blutmenge, welche das Thier überhaupt ent-

hielt,  $4,68\%$  seines Körpergewichtes und die in den Pfortaderwurzeln enthaltene Blutmenge  $16,2\%$  derjenigen, welche die Leiche im Ganzen enthalten hatte.

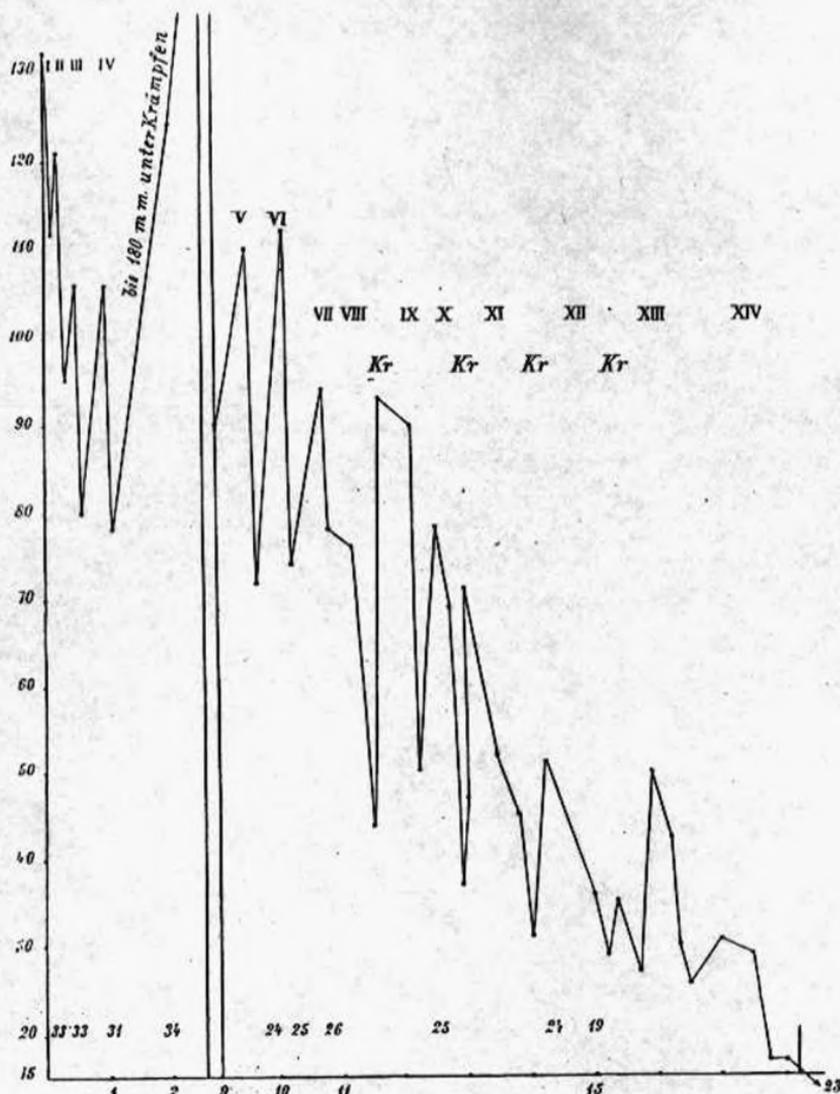
Die kleinere Verhältnisszahl, welche der in den Pfortaderwurzeln angesammelten Blutmenge nach der letzten Bestimmung im Gegensatz zu denen *Hofmann's* zukommt, liegt vielleicht darin begründet, dass dieser sein Probeblut aus der Pfortader der Leiche entnommen hatte, welches in 100 Theilen mehr rothe Körperchen enthalten dürfte, als das der Carotis. Diese Vermuthung findet ihre Stütze in der Ueberlegung, dass aus dem Darmblut eine nicht unbeträchtliche Menge von Exsudat bez. Lymphe hervorgegangen sein muss, während dasselbe viele Minuten hindurch unter einem hohen Drucke verweilte. Aber abgesehen hiervon muss auch in den Versuchen, die nach dem Muster des meinigen angestellt sind, die Blutmenge, welche in den Pfortaderwurzeln enthalten ist, im Verhältniss zu der des übrigen Körpers grösser erscheinen als es wirklich der Fall ist, weil sich das Blut aus den Unterleibseingeweiden viel vollständiger als aus dem übrigen Körper auswaschen lässt.

Durch die vorstehenden Beobachtungen ist demnach bewiesen, dass in den Wurzeln der Pfortader, nachdem durch Unterbindung derselben der Tod der Kaninchen herbeigeführt wurde, nicht mehr als  $0,8\%$  des Körpergewichtes an Blut aufgehäuft ist. Obwohl es nun von vorneherein unwahrscheinlich ist, dass dieser geringe Blutverlust genügend sei um eine tödtliche Herabsetzung des arteriellen Druckes zu veranlassen, so habe ich, um den letzten Zweifel zu heben, die Wirkungen der Blutverluste auf den arteriellen Druck einer weiteren Prüfung unterzogen.

In einer ersten Versuchsreihe sollte das Blutvolumen bestimmt werden, welches dem Kaninchen entzogen werden muss, damit dasselbe dem raschen Tode unter stetigem Absinken des arteriellen Drucks entgegen geht. Zu dem Ende wurde in die eine a. Carotis ein verschliessbares Röhrchen eingesetzt, aus welchem das Blut in einen kleinen Masseyylinder übergeführt werden konnte; die andere a. Carotis ward mit einem Hg.-Manometer verbunden, der die Veränderungen seines Standes auf einen unendlichen Papierstreifen continuirlich aufschrieb. Die Entleerung des Blutes geschah absatzweise, jedoch entweder so, dass nach je 5 Cbc. entzogenen Blutes die Arterien-

öffnung wieder für einige Zeit geschlossen wurde oder so, dass gleich anfangs eine starke Entleerung vorgenommen wurde, auf welche dann erst nach mehreren Minuten eine zweite folgte. Um das Ergebniss, welches diese Art der Verblutung herbeiführt, übersichtlich wiederzugeben, dazu soll die Fig. 1. u. 2 dienen. Sie sind aus den von den Thieren selbst notirten Curven abgeleitet, da diese letztern ihrer nach Metern zu messenden Länge wegen nicht mittheilbar sind. — Die Abscisse, über welche die Curven aufgetragen sind, geben die Zeit in Minuten, die Ordinaten dagegen den Druck in Mm. Quecksilber. Um aus der natürlichen Curve zu den hier vorliegenden zu gelangen, wurde in jeder der ersteren der im Anfang jeder Minute vorhandene Druck aufgesucht und in die letztere am gehörigen Orte aufgetragen; die einzelnen auf diese Weise erhaltenen Höhen wurden alsdann gradlinig mit einander verbunden. Wenn jedoch im Verlauf einer Minute eine auffallende Aenderung des Druckes eintrat, sei es in Folge eines willkürlich gesetzten Eingriffes oder eines natürlichen Vorkommens, so wurde auch dieser Druck über die zugehörige Zeit eingetragen.

Fig. 1.



Die lateinischen Ziffern über der Curve geben die Reihenfolge der Aderlässe. Die Zahlen über der Abscisse bedeuten die Pulse in 40 Sec. Kr bedeutet Krämpfe, | eine Pause der Beobachtung.

Der Versuch, aus welchem die Fig. 4 hergeleitet ist, wurde an einem Kaninchen von 4700 Gr. reinem Körpergewicht ausgeführt; im Verlaufe von 48 Minuten wurde demselben 44 mal Blut entzogen; und zwar jedesmal 5 Cbc., mit Ausnahme des ersten Aderlasses, dessen Volum nur 2,5 Cbc. betrug. Ausser diesem in der Messglocke gefangenen Blute ging beim Reinigen der Röhren noch mindestens 4 Cbc. verloren.

Mit Zuhilfenahme der Bemerkungen, welche auf der Curventafel selbst verzeichnet sind, wird man erkennen, dass die gleich grossen zu verschiedenen Zeiten auf einander folgenden Blutentleerungen von einer ungleichen Einwirkung auf den arteriellen Blutdruck waren. Während der ersten beiden Entleerungen sank die Hg.-Säule rasch ab, um unmittelbar nach dem Verschluss der Arterie wieder emporzusteigen, ohne dabei jedoch auf die Höhe zu gelangen, welche sie vor der jedesmaligen Entleerung eingenommen hatte. Während der 3., 4. und 5. Entleerung sinkt der Druck jedesmal sehr bedeutend, aber er steigt nach dem Schluss der Arterienmündung jedesmal wieder auf dieselbe Höhe, die er vorher besessen, und zwar gelingt ihm dieses bemerkenswertherweise ohne dass ihm krampfartige Bewegungen der Gliedmassen zu Hilfe kommen. Der Druck auf welchen die Arterie gelangte betrug 100 Mm. Hg., obwohl jetzt schon der Blutverlust 4,3 p. C. des Körpergewichtes betrug. Von der sechsten bis zur zehnten Blutentleerung stieg zwar ebenfalls nach der Verschliessung der Arterie der abgesunkene Druck wieder empor, aber nach jeder folgenden Blutentleerung war das von ihm erreichte Maximum ein geringeres. Immerhin aber konnte sich auch nach einem Blutverlust von 3 p. C. des Körpergewichtes der Druck in der Arterie noch über 50 Mm. Hg. erhöhen, ohne dass hierzu die Beihilfe krampfhafter Gliederbewegungen nothwendig gewesen wäre. Als nun aber mit der absatzweisen Blutentleerung noch weiter fortgefahren wurde, sank der Druck fort und fort bis zum Eintritte des Todes ab, so dass nur noch durch die nach jeder Entleerung eintretenden Zuckungen ein vorübergehendes Steigen bewirkt werden konnte.

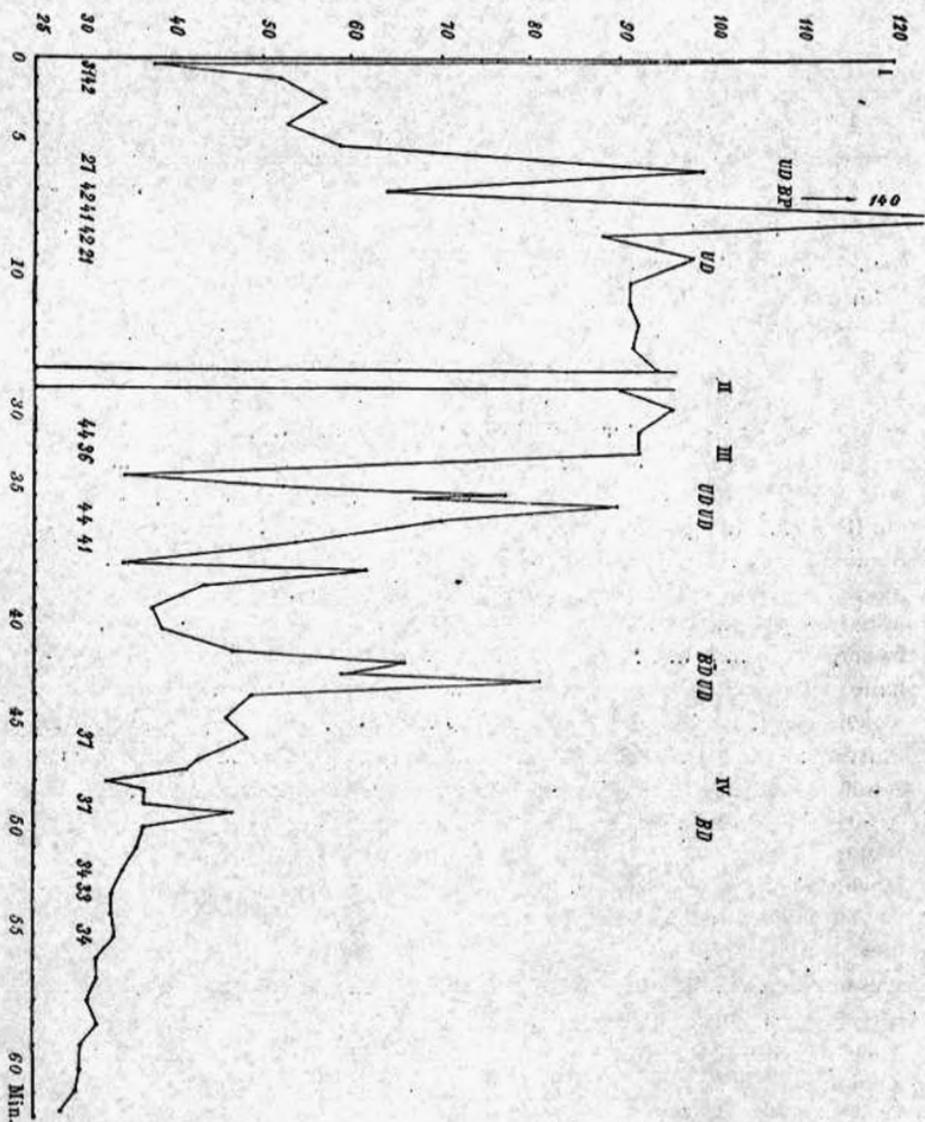


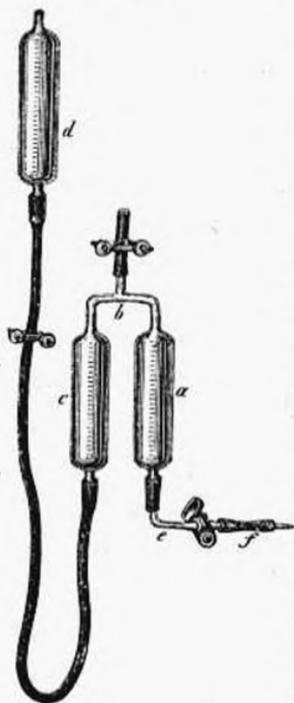
Fig. 2.

Bei I wurden 27,5 Cbc., bei II 4 Cbc., bei III 48 Cbc., bei IV 0,5 Cbc. Blut entleert. UD bedeutet Händedruck auf den Unterleib, BD Bewegung und Druck an den hintern Gliedmassen. Die Zahlen über der Abseisse geben die Pulse in 10 Sec. | bedeutet Pause der Beobachtung.

Die Curve, aus welcher Fig. 2 abgeleitet wurde, ist von einem Kaninchen geschrieben, welches 4170 Gr. rein wog. Durch sie ist ein Fall dargestellt, in welchem eine grössere Menge von Blut, nemlich 27,5 Cbc. auf einmal entleert wurden. Nach dieser ersten 2,4% des Körpergewichts betragenden Blutentleerung erhob sich die Spannung von selbst dauernd auf 53 Mm. Hg. Unter Beihilfe von Pressungen des Unterleibes und von Streck- und Beugbewegungen der hintern Gliedmassen stieg aber schliesslich die Spannung auf die Höhe von 90 Mm., auf der sie sich 30 Minuten erhielt, und erst dann in ein neues Absinken überging, als abermals 18 Cbc. Blut abgelassen waren. Nach diesem Aderlass betrug der Gesamtverlust 4% des Körpergewichts und dennoch schwankte 15 Minuten hindurch der Druck um 40 Mm. Hg. herum. Als aber nach Verfluss dieser Zeit nur noch 0,5 Cbc. Blut hinweg genommen wurde, sank der Druck wenn auch allmählig, doch stetig ab.

Nach diesen Beobachtungen wird es sehr wahrscheinlich, dass die bei der Pfortaderunterbindung im Darm angehäufte Blutmenge nicht im Stande sein kann die übrigen Gefäßprovinzen in einen Grad von Blutleere zu versetzen, welche den Tod des Thieres veranlasst. Denn nach den vorgelegten und andern ähnlichen Beobachtungen passt sich das Gefäßsystem auch einem Verluste bis zu 30% des Körpergewichts soweit an, dass der zum Leben nothwendige Druck erhalten bleibt.

Fig. 3.



Da aber den Erfahrungen, die ich bis dahin vorgeführt habe, der Einwurf gemacht werden konnte, dass die zur Pfortaderunterbindung verwendeten Individuen zufällig mit einem Gefäßsystem von andern Eigenschaften begabt gewesen seien als die, an welchen der Aderlass vorgenommen wurde, so erschien es geboten, beide Versuchsanordnungen an demselben Thiere hintereinander eintreten zu lassen. Zur Erreichung dieser Absicht entnahm ich den Versuchsthieren zuerst eine grössere Quantität von Blut und bestimmte den hienach eingetretenen Abfall des arteriellen Druckes. Nachdem dieses geschehen, wurde das entleerte Blut in das Gefäßsystem zurückgebracht und nun erst die schon vorher mit einem Faden umschlungene Pfortader zugebunden. Die Vorrichtungen, in welche das aus der Art. Carotis abgelassene Blut aufgenommen und wieder in die Arterie zurückgeführt werden konnte, ist in Fig. 3 abgebildet. Sie besitzt drei Gefäße *a*, *c*, *d*, deren weitere cylindrische Mittelstücke beiderseits in enge Röhren auslaufen. An der nach unten gekehrten Verengung des Gefäßes *a* sitzt ein knieförmig gebogenes Glasrohr *e*, das mit einem Hahne versehen ist; sein freies Ende wird bei der Anstellung des Versuches durch einen Kautschuk in die Arteriencautele *f* gesetzt. Die obern Röhrrchen der Gefäße *a* und *c* sind durch das bogenförmige Glasrohr *b* eng mit einander verbunden. Aus der Mitte dieses letzteren steigt

ein kurzer mittelst eines Kautschukröhrchens verschliessbarer Schenkel empor, durch welchen eingefangene Luftblasen auslassen werden können. Zwischen den untern Enden der Gefässe *d* und *c* läuft ein Kautschukschlauch, der ebenfalls durch eine Klemme verschliessbar ist. Vor dem Gebrauche wird vom Hahne *e* an das Gefäss *a*, das Verbindungsstück *b* und die obere Hälfte des Gefässes *c* mit gereinigtem Olivenöl gefüllt. Die untere Hälfte von *c* und ein Theil des Gefässes *d* sammt dem die beiden eben genannten Gefässe verbindenden Kautschukschlauch sind mit Hg. erfüllt.

Der Versuch, zu welchem der eben beschriebene Apparat diente, verlief folgender Massen.

Nachdem eine Schlinge um die Pfortader mit den später zu beschreibenden Vorsichtsmassregeln locker angelegt war, wurde die eine der Carotiden mit dem registrirenden Manometer in Verbindung gesetzt und in die andere eine Canüle geführt; diese letztere wurde mit Blutserum gefüllt und an den Apparat in der Weise angesetzt wie es mit *f* in Fig. 3 geschehen. Der Apparat selbst empfing seine Befestigung in der passenden Lage durch ein Statif. Waren diese Vorbereitungen beendigt, so begann die Aufzeichnung des arteriellen Blutdruckes; alsbald ward auch durch Oeffnung des Hahnes *e* das Gefäss *a* mit der Lichtung der Carotis in Verbindung gesetzt. Da auch die Klemme des Kautschukschlauches geöffnet und durch Senken des Gefässes *d* sein Hg.-Spiegel tiefer als der in *c* stand, so konnte das Blut mit Leichtigkeit in das Gefäss *a* eindringen und das dort vorhandene Oel emporheben. Wenn das Blut bis zu dem gewünschten Theilstrich in dem Gefässe *a* emporgestiegen war, so wurde der Hahn *e* geschlossen. Nach dem Verlauf von einer halben Minute oder etwas mehr wurde das Gefäss *d* so weit erhoben, bis sein Hg.-Spiegel etwa 150 Mm. über dem des Gefässes *c* stand, so dass, wenn nun der Hahn *e* geöffnet wurde, das Blut aus *a* in die Arterie zurücktreten konnte. Hierauf ward die Entziehung und die Zurückführung des Blutes in der eben beschriebenen Weise noch einmal wiederholt und dann mehrere Minuten hindurch mit der Beobachtung des Druckes fortgefahren. Alsdann wurde die Schlinge, die um die Pfortader lag, fest zugezogen und der Druck bis zum Ende des Versuches beobachtet, oder es wurde auch nach dem Ablaufe einiger Minuten die Unterbindung des zuletzt genannten Gefässes wieder gelöst.

In den beiden Tafeln 4 und 5 sind die Resultate zweier Beobachtungen mitgetheilt, die nach dem beschriebenen Plane ausgeführt worden sind. (s. S. 22 u. 24.)

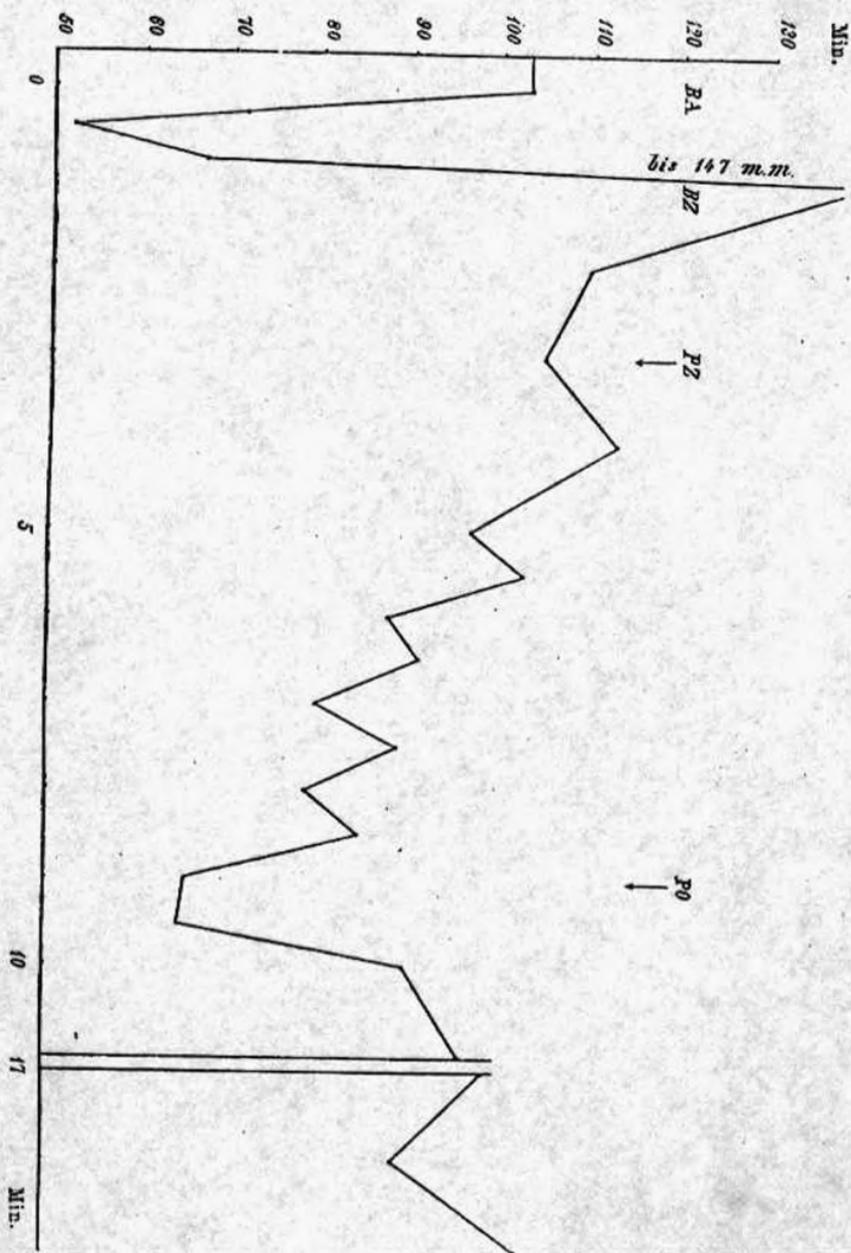
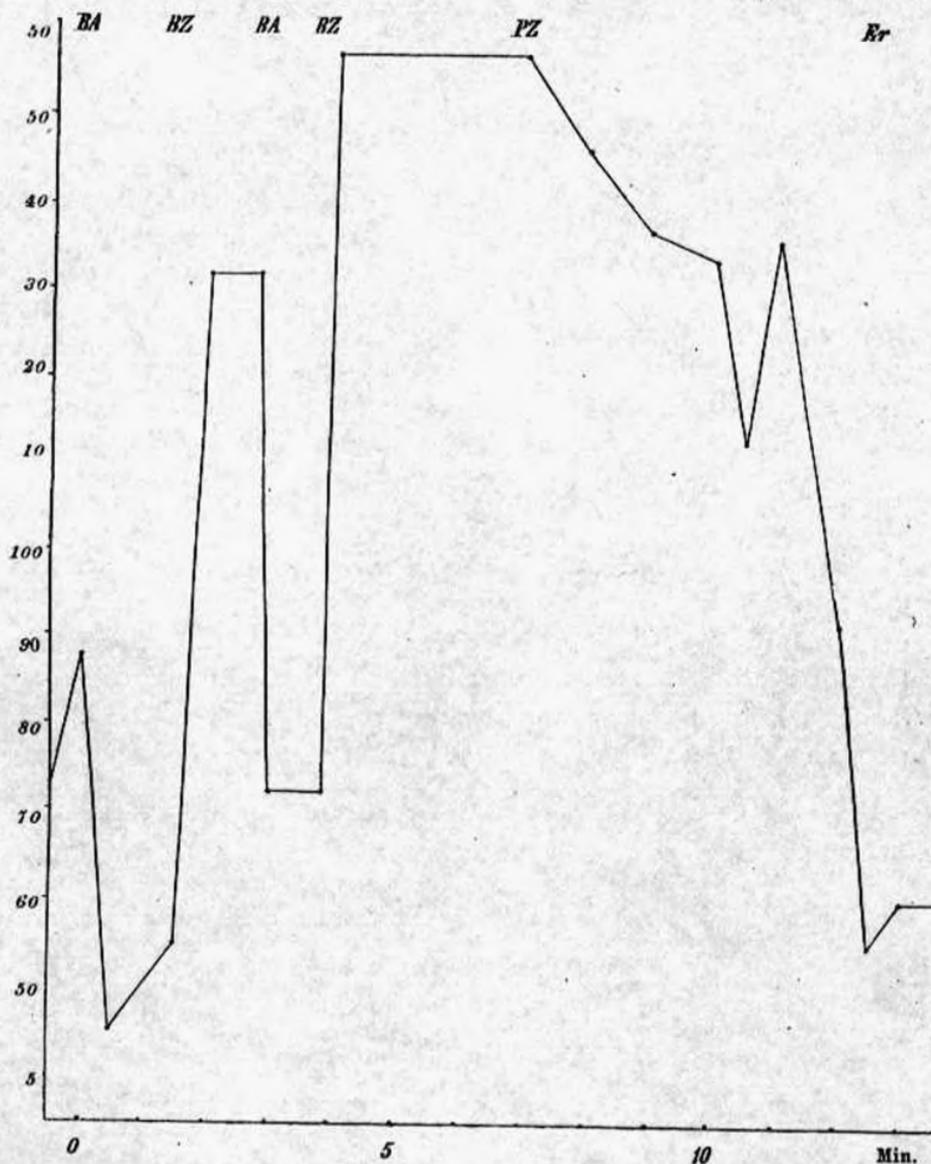


Fig. 4.

Bei PA wurden 20 Cbc. Blut entleert, bei BZ wurden sie zurückgeführt, bei PZ wurde die Pfortader geschlossen, bei PO geöffnet.

Zu dem Versuche, welcher die Fig. 4 lieferte, wurde ein Kaninchen von 1280 Gr. Gewicht verwendet. Bei Beginn der Beobachtung betrug der arterielle Blutdruck 104 Mm. Hg. Durch einen Aderlass von 20 Cbc. sank jener auf 52 Mm. und stieg darauf im Verlauf von 30 Secunden unter mehrfachen Schwankungen auf 67 Mm. Als jetzt das entleerte Blut zurückgegeben wurde, kam nach 4,5 Minute der Druck auf 105 Mm. an. In Folge der hierauf ausgeführten Umschnürung der Pfortader sank unter mehrfachen Schwankungen in Verlauf von 6 Minuten der Druck auf 65 Mm. Durch die Lösung der Pfortaderligatur wurde der Druck in Verlauf von 20 Minuten auf 96 Mm. emporgebracht.

Fig. 5.



Bei BA 26 Cbc. Blutverlust. Bei BZ wieder eingeführt. PZ Verschlussung der Pfortader. Er Erstickung des Thieres.

Das Kaninchen, welches die Fig. 5 lieferte, wog 1800 Gr. Beim Beginn des Versuchs schwankte der arterielle Druck zwischen 84 und 98 Mm.; als 25 Cbc. Blut entzogen waren, sank der Druck auf 55 Mm. Nach Beendigung des Aderlasses erhob er sich in Verlauf von 50 Sekunden auf 65 Mm.

Als jetzt das entnommene Blut zurückgegeben wurde, stieg der Druck auf 442 Mm. und hielt sich hier selbst eine Minute lang. Durch die abermalige Entleerung derselben Quantität Blut sank nun der Druck auf nur 83 Mm., eine Höhe, auf der er sich mit geringen Schwankungen während 50 Secunden erhielt. Nach Zurückführung des Blutes stieg der Druck auf 172 Mm. und hielt sich dort mit kleinen Schwankungen 3 Minuten constant, bis die Pfortader unterbunden worden war; hierauf aber sank der arterielle Druck in 5,5 Minuten auf 65 Mm., worauf das Thier durch Erstickung getödtet wurde. Mit der Unterbrechung der Athmung schliesst die Curve.

Diese Versuche lehren, dass an einem und demselben Thiere ein Blutverlust von 1,3<sup>0</sup>/<sub>0</sub> des Körpergewichts, also ein solcher, welcher den durch die Pfortaderunterbindung veranlassten weit übertrifft, ganz anders wirkt als diese Operation. Während der arterielle Druck nach dieser mit der wachsenden Zeit tiefer und tiefer herabsteigt, strebt er nach dem Aderlass aus dem Stande, auf den er durch die plötzliche Entleerung der Aorta herabgegangen, einer neueren höheren Gleichgewichtslage zu, die weit über der das Leben bedrohenden Grenze liegt. <sup>1)</sup>

Mit der Beseitigung der Hypothese, dass die Blutleere der Arterien durch die Absperrung derjenigen Blutmenge bedingt werde, welche sich in den verschlossenen Pfortaderwurzeln anhäuft, musste der Wunsch erwachsen, eine andere besser begründete an die Stelle zu setzen. — Der Weg, der hiezu führte, konnte nur durch neue Beobachtungen eröffnet werden. In diesem Sinne unternahm ich es zunächst, die Aenderungen des arteriellen Druckes genauer festzustellen, welche während der Verschliessung und nach Wiedereröffnung der Pfortader auftraten. Die verbesserten Hilfsmittel gewährten die sichere Aussicht, schon bei einer einfachen Wiederholung der älteren Versuche weiter als meine Vorgänger zu kommen.

Bei den Beobachtungen, die in der so eben ausgesprochenen Absicht unternommen wurden, ist abermals der Verlauf der Druckänderungen, die im Bereiche des arteriellen Systems

---

1) Bei einer etwaigen Wiederholung der vorstehenden Versuche dürfte es sich empfehlen, das abgelassene Blut nicht wieder zurückzuführen, sondern es durch ein gleich grosses Volum zu ersetzen, das einem zweiten Thiere entnommen wurde. Durch diese Modifikation würde es gelingen den Zeitraum der zwischen der Entleerung und der Wiedereinfüllung des Blutes liegt, beliebig zu verlängern, so dass der arterielle Druck seine neue Gleichgewichtslage wieder vollkommen zu erreichen vermöchte, was in den kurzen Zeiten nicht möglich war, die bei dem bis dahin geübten Verfahren der drohenden Gerinnung wegen gewährt werden konnten.

austraten, durch ein in a. Carotis eingesetztes Manometer auf einen unendlichen Papierstreifen aufgeschrieben. — Die Operation, welche nöthig ist, um den Stamm der Pfortader mit einem Unterbindungsfaden zu versehen, wird, weil sie schon so oft geübt und wiederholt beschrieben worden, keiner weiteren Darstellung bedürfen. Zur Beurtheilung meiner Versuche wird dagegen die Bemerkung nicht überflüssig sein, dass ich mit peinlichster Sorgfalt jeden Blutverlust zu vermeiden suchte. Um dieses zu erreichen, wurde die Unterleibshöhle durch einen ausgiebigen Schnitt in der linea alba eröffnet und die blossgelegte vena Porta dadurch fixirt, dass ein Gehilfe das Pfortnerende des Magens mit sorgfältiger Schonung des leicht blutenden Pancreas festhielt; die Pfortader selbst wurde aus ihrem Bauchfellüberzug mittelst stumpfer Nadeln erst ringsum ausgelöst, ehe der starke Faden unter dieselbe geschoben wurde. Da ich mir die Aufgabe gestellt hatte, an demselben Versuchsthiere den Strom in der Pfortader wiederholt zu unterbrechen und wieder herzustellen, ohne das Gefäss selbst wieder bloss zu legen, so wurde die Unterbindung mit Hilfe eines fingerlangen Cylinders aus polirtem Hartgummi vorgenommen, der in der Entfernung eines halben Centimeters von seiner nach der Pfortader hinzukehrenden (untern) Basis von einer Oeffnung durchbohrt war. Die beiden Enden des unter die Pfortader geschobenen Unterbindungsfadens wurden kreuzweise durch diese Oeffnung geführt und über der obern mit zwei Einkerbungen versehenen Basis des Stäbchens vereinigt, so dass der Faden eine 8förmige Schlinge umschrieb. (Ligaturstäbchen von Gräfe.) Durch leichtes Anziehen und Nachlassen der Fäden, welche über dem aus der Bauchwunde hervorragenden Ende des Stäbchens lagen, konnte also nach Belieben die Pfortader geschlossen oder geöffnet werden. War das Stäbchen angelegt, so wurde die Bauchwunde sehr sorgfältig zugenäht und dabei das Stäbchen in eine Stellung an den Bauchdecken befestigt, die jede Behinderung des Stromes in der Pfortader ausschloss. Sollte dann nach Vernähung der Bauchwunde die Pfortader geschlossen werden, so wurden die beiden Enden des Fadens so lange mit sanftem Zuge hervorgehoben, bis sich in der Umschlingung derselben, die auf dem obern Ende des Stäbchens geschah, zwei vorher angebrachte Marken berührten; sowie dieses eintrat, hatte die untere Schleife der Achtertour die Gefässhaut fest an die untere

Basis des Stäbchens angedrückt. — Während der Operation wurde der Vorfall von Darmschlingen sorgsam verhütet und nach der Anlegung der Nähte wurde die Bauchfläche des in der Rückenlage befestigten Thieres durch erwärmte wiederholt erneuerte Watte vor Abkühlung geschützt.

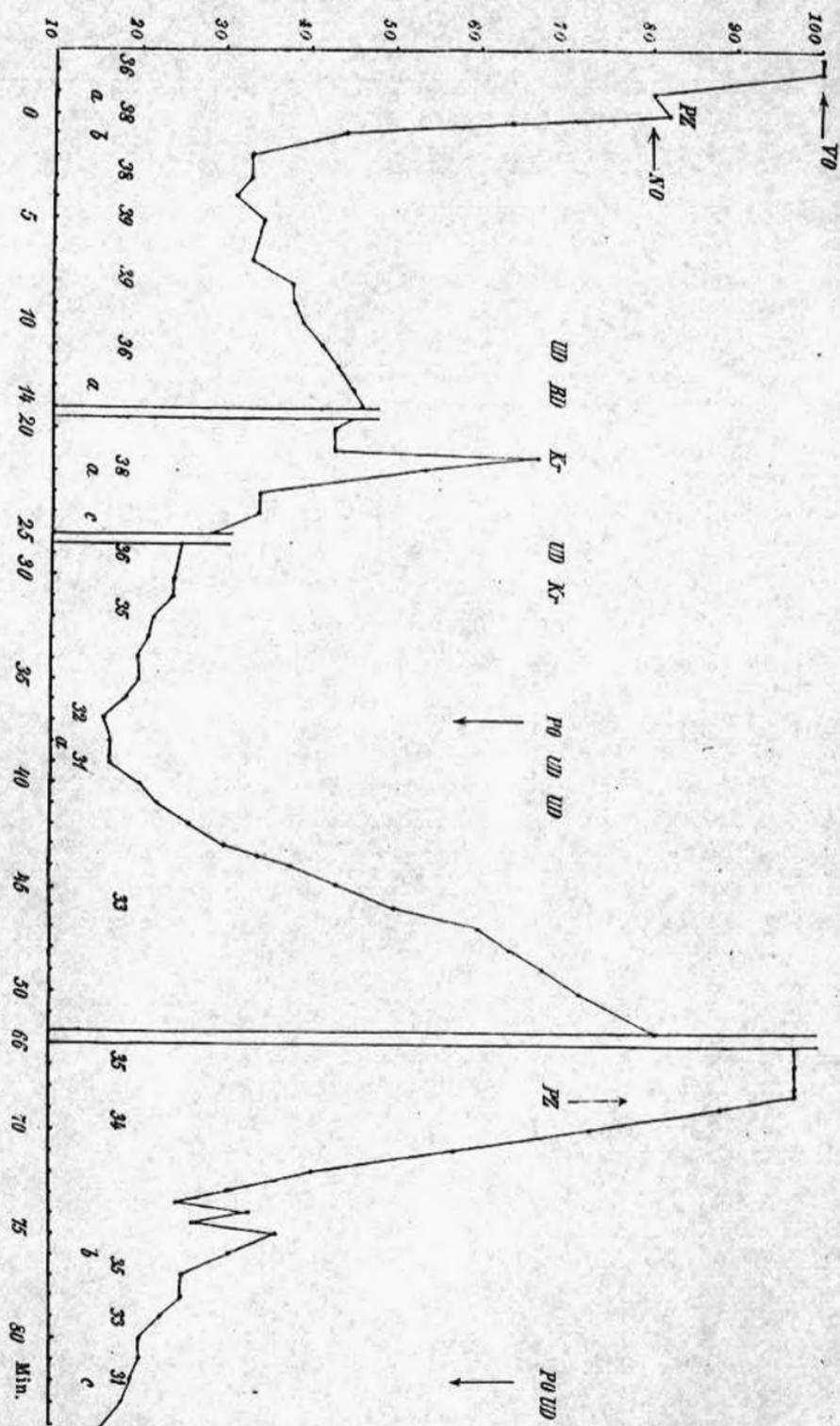
Druckbestimmungen bei unterbundener Pfortader habe ich sowohl bei unvergifteten als auch bei curarisirten Thieren unternommen. Ich beginne mit der Beschreibung der Resultate, welche unvergiftete lieferten. In einigen dieser Versuche habe ich die Messung des arteriellen Druckes schon vor der Eröffnung der Unterleibshöhle begonnen; geschah dieses, so wurde sie während der Dauer der Operation unterbrochen und erst nach Vernähung der Unterleibswunde wieder aufgenommen und dann womöglich bis zum Schluss des Versuches ununterbrochen fortgesetzt. In andern Versuchen habe ich jedoch erst nach dem Schluss der Unterleibshöhle mit der Druckmessung den Anfang gemacht.

In den zuerst genannten Versuchen hat es sich nun wiederholt herausgestellt, dass der arterielle Druck vor dem Beginn der Operation höher als nach Vollendung derselben war. Der Unterschied zwischen den beiden zu den genannten Zeiträumen gemessenen Drücken schwankte zwischen 15 bis 41 Mm. Hg. Diese Erfahrung erschien mir erwähnenswerth, weil andere Beobachter nach Eröffnung der Unterleibshöhle den Druck wachsen sahen. Da ich keine eingehenderen Untersuchungen zur Aufklärung dieses Verhaltens resp. dieses Widerspruches vorgenommen, so enthalte ich mich eines jeden, wenn auch noch so naheliegenden Deutungsversuches. —

Wenn die Schleife, welche um die Pfortader lag, zugezogen wurde, so pflegte der arterielle Blutdruck um einige Millimeter Hg. emporzugehen. Da diese Erhebung augenblicklich verschwand, wenn die zur Unterbindung nothwendigen Handgriffe vollendet waren, so dürfte sie von der mit jenen unvermeidlich verbundenen Pressung der Unterleibseingeweide abgeleitet werden.

Zur Veranschaulichung der nach dem Pfortaderverschluss eintretenden Erscheinungsreihe werde ich mich wiederum statt der schwer zu überschenden Zahlenreihen einiger Curven bedienen; zu diesen sind aus einer grossen Reihe von Beobachtungen viere ausgewählt, die ich meinen Erfahrungen gemäss als typische ansehen muss.

Fig. 6.



VO bedeutet vor NO nach Vollendung der Operation, PZ Schliessung, PO Oeffnung der Pfortader, BD Druck auf die hintern Extremitäten, Kr Krämpfe. a deutliche, b undeutliche, c fehlende Ausprägung der Athmung. Die Zahlen über der Abscisse geben die Pulse in 40 Sekunden. | bedeutet eine Unterbrechung des Versuches.

Zu Fig. 6.

Das Kaninchen, von welchem Fig. 6 herrührt, war unvergiftet. Nach der Verschlussung der Pfortader sank der mittlere Arteriendruck während 4 Minuten von 82 Mm. auf 32 Mm. Von da stieg der Druck unter Schwankungen allmählig wieder auf 38 Mm. empor; und als jetzt zu wiederholten Malen Bauch und Beine gedrückt wurden, stieg der Druck noch weiter bis zu 46 Mm. Wegen Gerinnung musste in der 44. Minute nach dem Verschluss der Pfortader die Beobachtung unterbrochen werden. Als dies Hinderniss entfernt und in der 20. Min. die Beobachtung wieder aufgenommen wurde, stand der Arteriendruck auf 43 und erhob sich unter Krämpfen der Körpermuskeln auf 68 Mm. Als die letztern nachliessen, sank auch der Arteriendruck wieder ab und gelangte im Verlaufe von 15 Minuten auf 46 Mm. herab. In diesem Abschnitt der Curve erscheint es beachtenswerth, dass mit dem Nachlass der Krämpfe der Druck zunächst in etwa 4 Minute von 68 Mm. auf 38 sank, aber nur sehr allmählig von dort auf 46 Mm. herabkam. In der Periode dieser langsamen Abfälle traten wiederum Krämpfe der Körpermuskeln auf und ebenso wurden der Unterleib und die Hinterbeine wiederholt gedrückt, ohne dass jedoch hierdurch mehr als ein nur ganz vorübergehendes Ansteigen um einige Mm. erzeugt werden konnte. In der 35. Minute nach Unterbindung wurden die Athemzüge seltener und in der 38. Min. erlosch die Reflexempfindlichkeit des Auges. — Zu dieser Zeit ward die Pfortaderlichtung wieder hergestellt; da sich der Druck nicht wieder erhob, so wurde sein Ansteigen zwischen der 39. und 45. Minute durch mehrmalige Wiederholung eines sanften Druckes auf die Bauchwand befördert. Anfänglich (bis zur 41. Minute) war dieser Handgriff nur von einem vorübergehenden Erfolg begleitet. Jenseits dieser Zeit erhob sich dagegen nach demselben der Druck dauernd und von der 45. Minute an stieg der Druck ohne weitere Hilfe zuerst rasch auf 80 Mm. und von da ab weiter auf 98 Mm., wo ersich erhielt bis eine neue Zuschnürung der Pfortader stattfand. Nach dieser senkte sich der Druck während dreier Minuten bis auf 25 Mm.; von da ab vollführte er regelmässig wiederkehrende Schwankungen, durch die derselbe nur vorübergehend emporgebracht wurde. Nach der 77. Minute verschwanden auch diese Schwankungen und nun sank der Druck stetig bis zum Tode des Thiers, der durch eine erneute Eröffnung der Pfortader auch nicht mehr aufzuhalten war.

Während dieser Versuchsdauer hielt sich die Pulszahl ziemlich gleich hoch. Unmittelbar nach der ersten Unterbindung stieg sie um wenige Schläge als der Druck rasch absank. — Als er dagegen sehr niedrig geworden und mehrere Minuten hindurch geblieben war, nahm die Zahl ab. Nachdem der Druck im Verlauf der Wiedereröffnung auf seine normale Höhe emporgegangen war, erhob sich die Pulszahl und verhielt sich dann ähnlich wie nach der ersten Unterbindung.

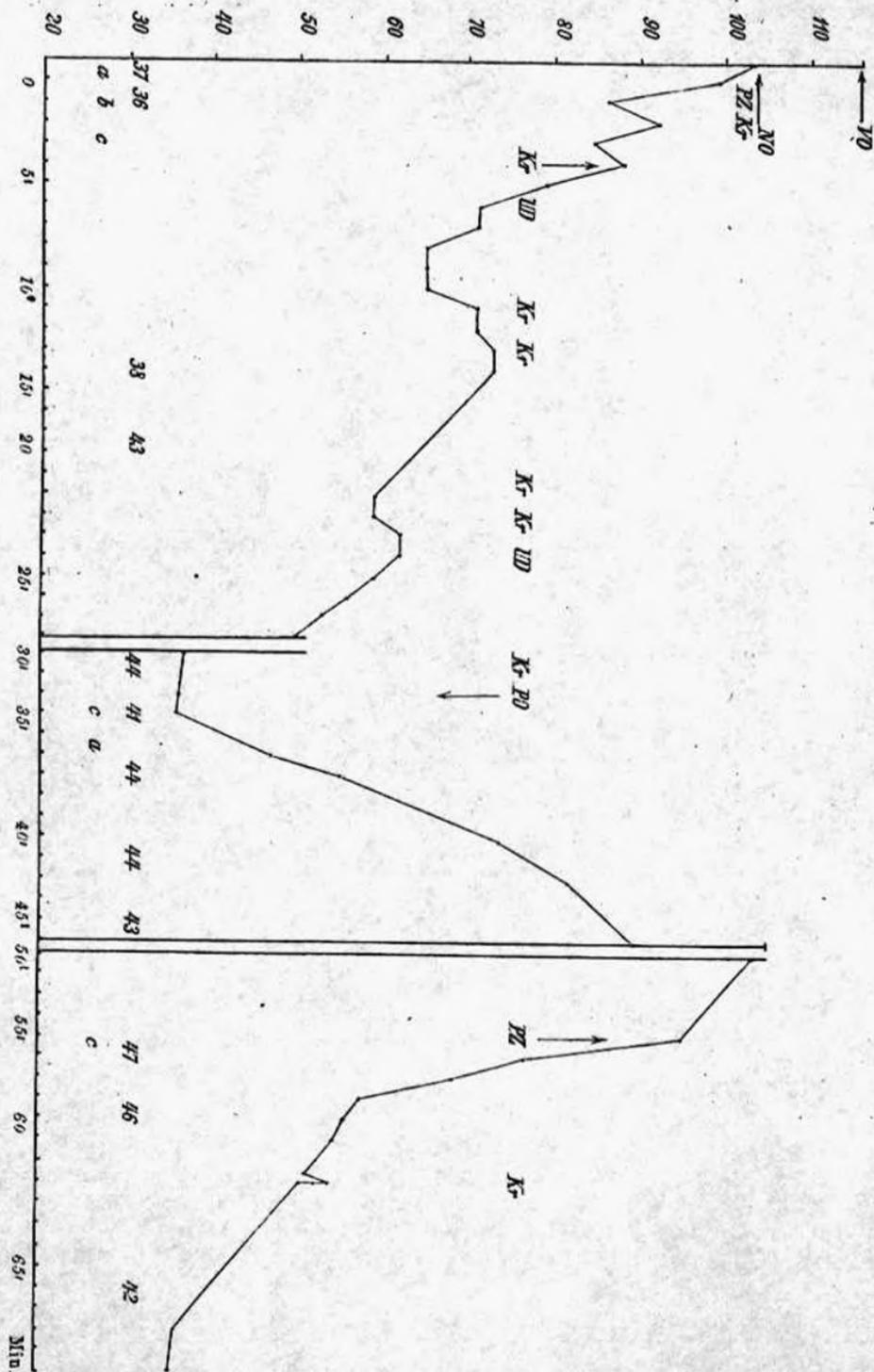


Fig. 1.

VO bedeutet vor Beginn, NO nach Vollendung der Operation, PZ Schliessung, PO Oeffnung der Pfortader, a deutliche, b undeutliche, c fehlende Ausprägung der Athmung. UD, BD Druck auf den Unterleib und die Hinterbeine, Kr Krämpfe. Die Zahlen über der Abscisse geben die Pulse in 10 Secunden.

Zu Fig. 7.

Der arterielle Mitteldruck stand vor Beginn der Operation auf 116 Mm., nach Vollendung derselben auf 104 Mm. Während der Zuznürung der Pfortader ging er auf 90 Mm. herab. Als er nach dem Schluss der Vene zu sinken begann, stellten sich alsbald Krämpfe der Sceletmuskeln ein, die sich im Verlaufe der folgenden 33 Minuten in kürzeren oder längeren Zwischenzeiten öfter wiederholten. Der Einfluss, den dieselben auf den arteriellen Druck übten, bestand bis zur 24. Minute hin, wo der Druck nahezu auf 60 Mm. gesunken war, entweder in einer vorübergehenden Erhöhung desselben oder mindestens in einer zeitweisen Hemmung des Absinkens. Aehnliches bewirkte in dieser Periode ein Druck auf den Unterleib. Jenseits der genannten Zeit waren aber die Krämpfe nicht mehr vermögend das Sinken des Druckes zu hemmen, so dass der Druck nun stetig bis auf 36 Mm. herunter stieg. Als in der 33. Minute nach dem Pfortaderschluss die Ligatur der Pfortader gelöst war, hielt sich der arterielle Druck noch eine Minute lang auf 36 Mm. und begann von da an ein stetiges Steigen, in Folge dessen er nach 16 Minuten auf 104 Mm. gelangte. Von dieser höchsten Höhe senkte er sich; als er auf 96 Mm. angelangt war, wurde die Pfortader zum zweiten Male zuzesnürt; es blieben die Krämpfe aus, und nun sank der arterielle Druck in 6 Minuten auf 54 Mm. Ein vorübergehender Krampf, der in der 7. Minute nach der zweiten Pfortaderunterbindung eintrat, bewirkte eine ganz vorübergehende Erhöhung des Druckes; nach seinem Verschwinden setzte sich das Sinken fort, bis das Thier etwa 45 Minuten nach der zweiten Pfortaderunterbindung abstarb. —

Während des Absinkens nach der ersten Unterbindung wuchsen die Pulszahlen von 36 auf 44 Schläge in 40 Sec. — so dass auf den niedersten Druck (von 36 Mm.) die höchste Pulszahl fiel. — Während des Steigens, das nach der Lösung der Ligatur eintrat, behielt der Puls diese Häufigkeit, mehrte sich dann noch, als die Zuznürung von neuem erfolgte, und nahm erst wieder eine geringere Häufigkeit an, als der Druck unter 40 Mm. herabging.

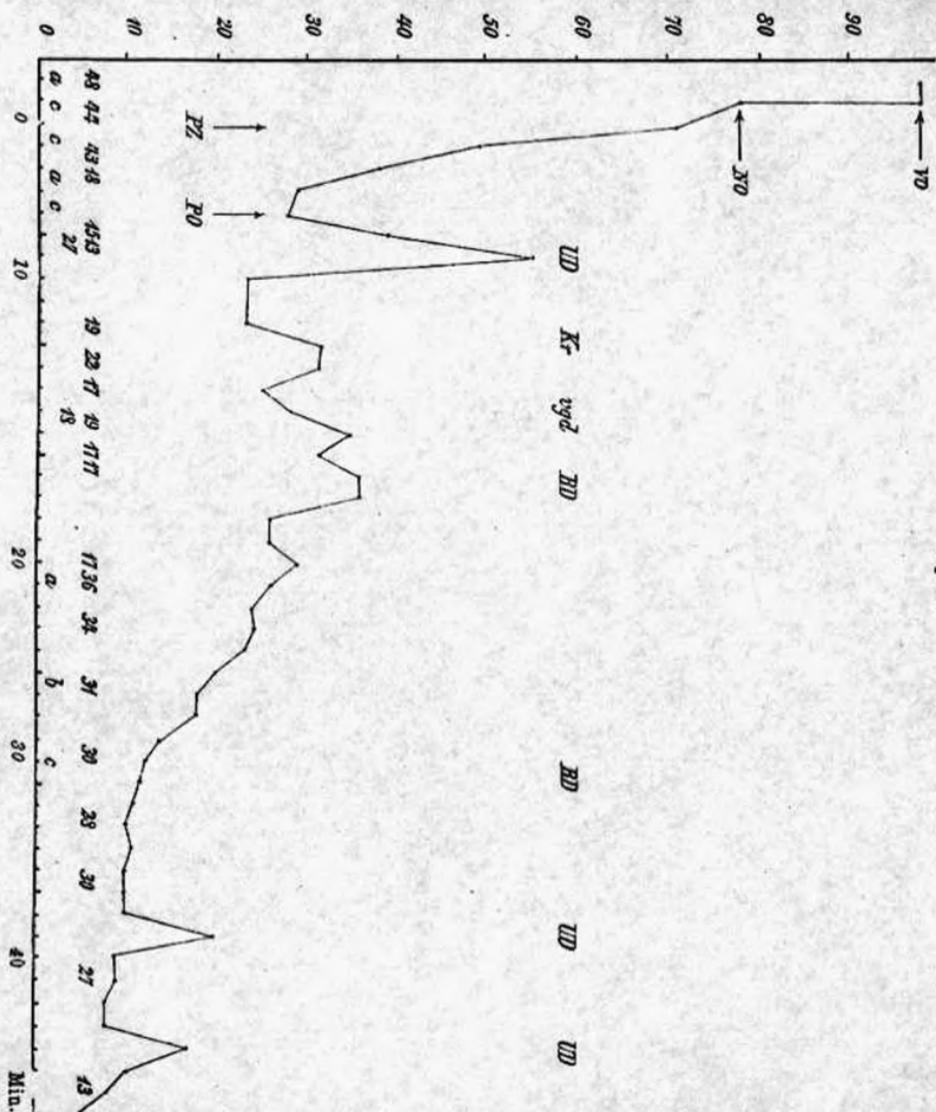


Fig. 8.

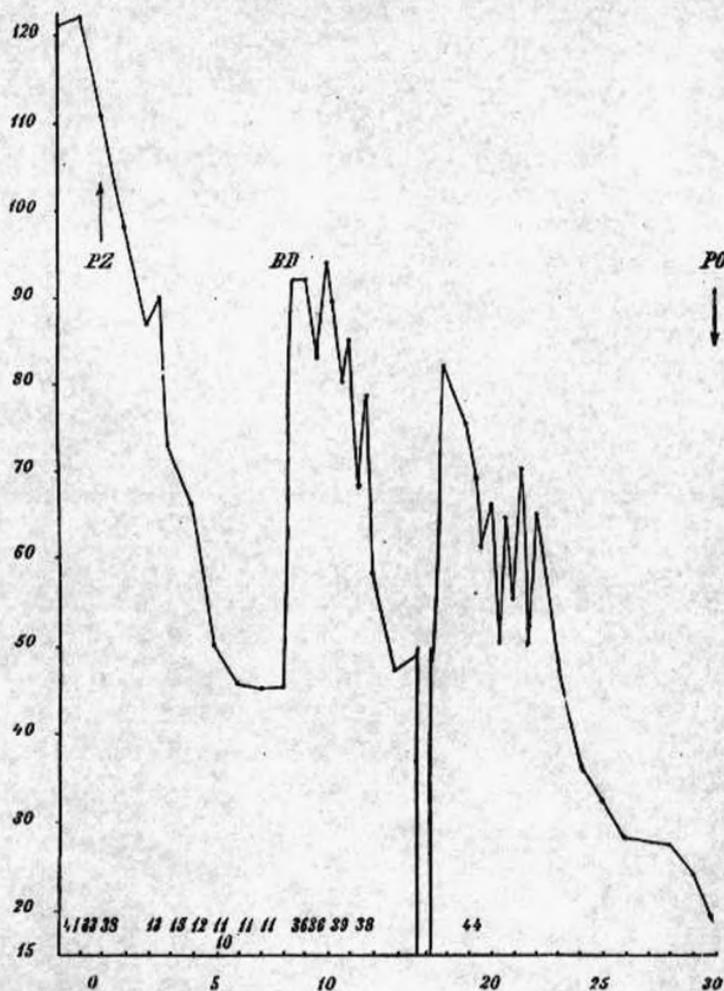
VO bedeutet vor Beginn, NO nach Vollendung der Operation,  
 UD „ Druck auf den Unterleib,  
 BD „ Druck auf die hintern Extremitäten,  
 Kr „ Krämpfe der Körpermusculation,  
 vgd „ Durchschneidung des n. vagi,  
 PZ „ Schliessung, PO Oeffnung der Pfortader,  
 a deutliche, b undeutliche, c fehlende Ausprägung der Athmung.  
 Die Zahlen über der Abscisse geben die Pulse in 40 Secunden.

Zu Fig. 8.

Dieser Versuch zeichnet sich von den vorhergehenden dadurch aus, dass der arterielle Druck, der nach der Verschliessung der Pfortader in drei Minuten von 72 Mm. bis auf 28 Mm. gesunken war, nicht wieder von selbst anstieg als zu jener Zeit die Ligatur gelöst wurde, sondern fortwährend weiter sank, ausgenommen wenn ihn vorübergehend Krämpfe oder Drücke auf den Unterleib und die Beine erhöhten. Diese erhöhende Wirkung der Unterleibspression fehlte auch nicht kurz vor dem Tode des Thieres, welcher erfolgte als der arterielle Druck auf 5 Mm. herabgekommen war.

Das Herz, welches beim Beginn des Versuchs 48 Mal in 10 Sec. geschlagen hatte, verminderte ganz plötzlich die Häufigkeit seiner Schläge vor der Lösung der Pfortaderligatur und fuhr mit diesen seltenen Schlägen fort, trotzdem dass beide n. vagi durchschnitten waren. Acht Minuten nach der Abtrennung der genannten Nerven erhob sich plötzlich die Schlagzahl wieder auf 36 in 10 Sec., dann aber sank die Häufigkeit der Pulse bis zum Absterben des Thieres.

Fig. 9.



*PZ* bedeutet Schliessung, *PO* Oeffnung der Pfortader, *BD* Druck auf die untern Gliedmassen. Die Zahlen über der Abscisse geben die Pulse in 40 Secunden.

Zu Fig. 9.

Das Thier, welches zu diesem Versuche diente, war schwach mit Curare vergiftet. Die beiden n. vagi waren gleich anfangs durchschnitten. — Noch vor der Eröffnung der Unterleibshöhle zeigten sich in der Curve des arteriellen Druckes grosse periodische Schwankungen. Diese dauerten fort als auch die Pfortader geschlossen war, ohne dass sie jedoch mehr als nur vorübergehend den Druckabfall zu hindern vermochten. Im Verlauf von 7 Minuten sank der Druck von 110 Mm. auf 45 Mm. Als zu dieser Zeit ein gelinder Druck auf die hintern Extremitäten angebracht war, stieg die Hg.-Säule ganz plötzlich empor auf 92 Mm.; auf dieser Höhe traten nun grosse Schwankungen ein, unter deren Anwesenheit der arterielle Druck allmählig bis auf 47 Mm. herabging. Als nach Beseitigung einer Gerinnung die 3 Minuten lang unterbrochene Messung des Druckes wieder aufgenommen wurde, befand sich derselbe in einer aufsteigenden Bewegung, die ihn rasch auf 82 Mm. emportrieb. Von dieser Höhe sank er unter Ausführung grösserer und kleinerer Schwankungen bis zum 28. Mm. herab; hier verschwanden die Schwankungen, und kehrten nicht mehr wieder.

Das Herz, welches im Beginn des Versuchs häufig geschlagen hatte, verlangsamte nach der Pfortaderunterbindung seine Schläge mehr und mehr, und zwar in dem Maasse in welchem der arterielle Druck abnahm. Als der Druck wieder stieg, wurden auch die Herzschläge wieder häufig und hielten sich nun trotz des sinkenden Druckes auf einer hohen Zahl.

Aus dem Bilde, das durch die nahezu ununterbrochene Aufzeichnung der arteriellen Druckänderung gewonnen ist, ergibt sich, dass zwar in allen Fällen nach der Unterbindung der Pfortader der Druck absinkt, dass sich aber die Senkungcurve wesentlich verschieden gestalten kann. Die einfachste Form nimmt die Curve an, wenn der Rumpf und die Glieder der Thiere in durchaus ruhiger Lage verharren und wenn im Bereiche der Gefässnerven keine Erregungen eintreten. Unter dieser Bedingung gestaltete sich unsere Curve ähnlich wie diejenige, welche während der Reizung des n. vagus oder eines Aderlasses aus einer Arterie gezeichnet worden, d. h. es sinkt der Druck aus dem höchsten Stande den er einnahm, anfangs rasch und dann mit der fortschreitenden Zeit langsamer und langsamer ab. Insofern besteht jedoch zwischen dem Druckabfall durch den Aderlass und durch die Vagusreizung einerseits und demjenigen nach dem Pfortaderverschluss andererseits ein wesentlicher Unterschied, als die Zeit, welche zur Erzeugung einer gleich grossen Druckveränderung nothwendig ist, in dem letztern Falle sehr viel länger dauert.

Einen weit weniger glatten Ablauf zeigt die Curve des sinkenden Druckes, wenn die Sceletmusculatur in Krämpfe verfällt, wenn Erregungen der Gefässnerven eintreten oder auch wenn die Gliedmassen und die Bauchwand während des Pfortaderverschlusses gedrückt werden. Sowie eins oder das andre dieser Ereignisse eintritt, wird das Sinken nicht bloss unterbrochen, sondern in der Regel in ein Aufsteigen umgewandelt. Die Grösse des Effectes, welchen dem Anschein nach gleich starke Krämpfe oder die in Wirklichkeit gleich starken Pressungen des Leibes und der Gliedmassen auf die Umkehr der Curve ausüben, ist zu verschiedenen Zeiten nach der Pfortaderunterbindung ungleich gross; im Anfang, wenn erst seit wenigen Minuten die Unterbindung bestand, erhöhen sie den Druck bedeutend, während sie dieses nur in sehr untergeordnetem, oft kaum sichtbarem Grade vermögen, wenn sich der arterielle Druck schon minutenlang in der Höhe von 20 Mm. Hg. bewegte. — Unter allen Umständen jedoch sind die Wirkungen der genannten Begebnisse von sehr vorübergehender Natur; die aufsteigende Bewegung schlägt alsbald wieder in die sinkende um, sowie die Krämpfe und die Berührungen aufgehört haben, so dass durch sie kein neuer Gleichgewichtszustand geschaffen werden

kann, der ihr Verschwinden überdauerte. — Dasselbe gilt auch von den Erregungen der verengenden Gefässnerven, vorausgesetzt dass von ihnen die Erhöhungen des arteriellen Druckes bedingt sind, welche ohne sichtbare Muskelkrämpfe in den sich selbst überlassenen Thieren auftreten.

Die Schwankungen, durch welche sich die Herzschläge und die Athemzüge in der arteriellen Curve ausprägen, werden nach Unterbindung der Pfortader sogleich flacher und sie verschwinden vollständig, wenn der arterielle Druck schon bedeutend gesunken ist.

Wendet man sich von der Betrachtung der Druckänderungen, die während der Unterbindung der Pfortader eintreten, zu denjenigen, die sich nach der Wiederherstellung ihrer Lichtung bemerklich machen, so findet man zunächst Fälle, in welchen unmittelbar nach der Lösung der Ligatur das Aufsteigen des arteriellen Druckes wieder beginnt und so lange fortschreitet, bis die früher vorhandene Spannung erreicht ist. — In andern Fällen verharret dagegen der arterielle Druck noch Secunden, ja Minuten lang auf seiner niedern Stufe und beginnt erst dann zunächst sehr allmählig und darauf rascher emporzugehen. Treten während des Aufsteigens active oder passive Bewegungen auf, so beschleunigen diese das schon vorhandene Anwachsen des Druckes beträchtlich — andere Male ereignet es sich aber auch, dass auf die Lösung der Ligatur kein spontanes Ansteigen des arteriellen Druckes folgt; Muskelkrämpfe und passive Bewegungen können dann noch die Quecksilbersäule emportreiben, aber ebenfalls nur sehr vorübergehend. Dieser Erfolg, der nur ausnahmsweise eintritt, wenn die Ligatur nach einer kurzen Zeit ihres Bestehens entfernt ward, bildet das regelmässige Vorkommen, wenn der Wiedereröffnung der Pfortader Minuten hindurch ein sehr niedriger Druck voranging, in welchen die Reizbarkeit des Nervensystems dem Erlöschen nahe kam.

Die Zahl der Pulse wird durch die Pfortaderunterbindung insofern regelmässig beeinflusst, als dieselbe stets und selbstverständlich eine geringe wird, wenn das Thier durch den dauernden Verschluss dem Tode nahe gebracht wurde. Im Beginn des Versuches kann man sich dagegen ebenso wohl auf ein Beharren wie auf eine Vermehrung oder auch auf eine Verminderung der Pulszahl gefasst machen. — Wenn sich mit dem absinkenden Drucke die Pulszahl mehrt, so kann diese Beschleu-

nigung während der ganzen Zeitdauer vorhalten, in welcher die Reizbarkeit des Nervensystems noch unversehrt bleibt (Fig. 7). — Oder aber es schlägt diese Beschleunigung in eine Verlangsamung um wenn der arterielle Druck beträchtlich, etwa auf 40 bis 20 Mm. herabgestiegen ist. Das Auftreten dieser geringen Pulszahl ist von einer Erregung der centralen Enden der nerv. vagi unabhängig, da sie auch noch nach der Zerschneidung dieser Nerven am Halse fortbesteht. Zuweilen hebt sich der Puls wieder, wenn der niedre arterielle Druck, sei es vorübergehend oder dauernd, sich in einen höhern verwandelt; zuweilen aber ist auch die Druckänderung in den Arterien ohne Einfluss auf den Puls. In allen Fällen aber wächst die anfangs erniedrigte Frequenz mit der Dauer des Versuches wieder an, so dass, wenn durch die dauernde Verschliessung das Thier dem Tode entgegenggeht, in der Mitte zwischen der anfänglichen und der spätern durch das Absterben erzeugten Verlangsamung ein Zeitraum liegt, in welchem der Puls sich wieder beschleunigt.

Wenn man nun mit Hilfe der durch die Curve gewonnenen Thatsachen nach dem Grunde sucht, wesshalb die Pfortaderunterbindung die arterielle Spannung auf ein Minimum herabdrückt, so stellt sich Folger des heraus.

Da mit der vollendeten Umschnürung der arterielle Druck augenblicklich zu sinken beginnt, so kann der Grund, aus welchem die Pfortaderverschliessung den Kreislauf stört, kein secundärer sein, und da der Druck ganz allwählig sinkt, so dass er erst im Verlaufe von vielen Minuten zu seinen niedrigsten Werthen kommt, so kann die Kraft der wirksamen Ursache in jedem Augenblick eine nur geringe sein, aber die Effecte, welche sie zu verschiedenen Zeiten hervorgebracht, summiren sich zu einer Gesamtwirkung. — Die Betrachtung, welche auf den abfallenden Druck anwendbar war, gilt auch für den aufsteigenden nach Lösung der Unterbindung. —

Dieser allgemeinen Bemerkung gemäss kann die Ursache des absinkenden Druckes nicht in einer Lähmung der Gefässnerven liegen. Abgesehen davon, dass diese Lähmung nicht schon im Momente der Unterbindung eingetreten sein konnte, spricht gegen die Annahme, sie als die wirksame Ursache anzusehen, auch noch vieles andere, was im Verlaufe der Curve eintritt, namentlich die Erscheinung, dass die kleinern und grössern Druckschwankungen, welche von den Bewegungen des Herzens

und des Brustkorbes veranlasst werden, so bald nach der Unterbindung der Pfortader an Umfang abnehmen, was doch niemals nach der Durchschneidung des Halsmarkes, also nach der ausgiebigsten Entkräftung der Gefässnerven beobachtet wird. Noch weniger vereinbar mit dem Bestande einer Lähmung der Gefässnerven ist das Erscheinen von Druckschwankungen, die in Ermangelung jeder andern Veranlassung nur auf Erregungen der verengenden Gefässnerven zurückzuführen sind; denn sie sind ihrem zeitlichen Verlaufe gemäss ebensowohl unabhängig von der Athmung, als auch von irgend welcher andern Körperbewegung. Wenn aber die Lähmung der Gefässnerven nicht die Ursache für den Druckabfall nach dem Verschluss der Pfortader ist, so kann es umgekehrt nicht bezweifelt werden, dass schliesslich der niedre Druck die Nerven des Herzens und der Gefässe ebenso wie die aller übrigen Körpertheile zum Absterben bringt.

Die Wahrnehmung, dass die Excursionen des Pulses in der Druckcurve bald nach der Pfortaderunterbindung undeutlich und endlich vollkommen unsichtbar werden, könnte zu der Meinung veranlassen, dass die nächste Folge jener Operation in einer mit der Zeit wachsenden Herzlähmung bestehe. Aber auch diese Unterstellung wird sogleich hinfällig, wenn man erwägt, dass sich zwischen der Zahl der Herzschläge und den übrigen Folgen des Pfortaderverschlusses gar keine regelmässige Beziehung findet, und noch mehr, dass die Pulsschläge sich von dem Augenblicke an wieder deutlich ausprägen, in welchem man das Herz durch irgend welche Mittel reichlich mit Blut speist. Hieraus folgt, dass der schwache Ausdruck des Pulses in der Curve von der mangelhaften Füllung des Herzens mit Blut, keineswegs aber von der fehlenden Energie oder der veränderten Zahl der Herzcontractionen abhängt.

Endlich empfängt die Ableitung, welche aus der Bestimmung der Blutmenge in den abgesperrten Unterleibsgefässen und aus den Folgen der Blutentziehung gewonnen war, eine weitere Bestätigung durch die in der Curve aufgezeichneten Erscheinungen. Jeder sanfte Druck, welcher auf die Schenkel und auf den Unterleib geübt wurde, trieb augenblicklich die Quecksilbersäule empor. Da sich nun für diesen Zusammenhang gar kein anderer Grund als der einsehen lässt, dass das in der Vena cava und ihren Verzweigungen angehäufte Blut durch den von aussen kommenden Druck in das Herz und damit dessen Nutzeffect be-

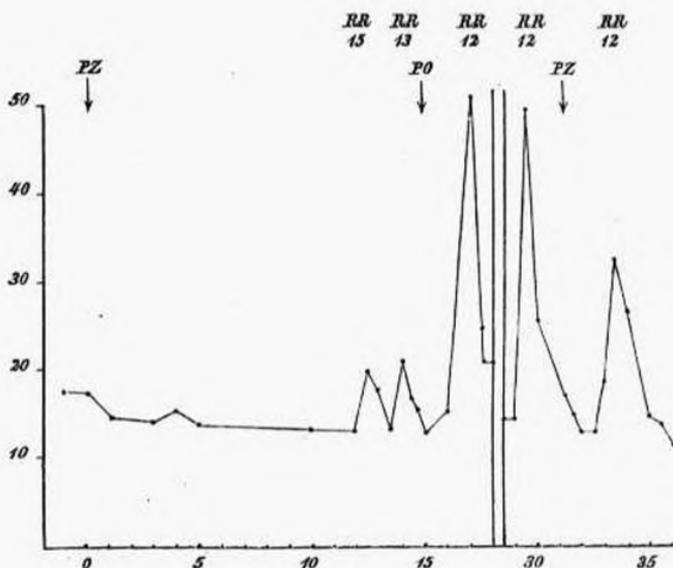
fördert werde, so liegt hierin auch der Beweis dafür, dass es den dem Kreislauf noch zugängigen Bahnen keineswegs an Blut fehle.

Durch die genauere Darlegung der arteriellen Druckänderungen ist allerdings die Zahl der möglichen Erklärungen für das Entstehen derselben eingeschränkt worden, aber es ist doch nicht gelungen, eine von ihnen als die zureichende zu bezeichnen. Dieses war, solange man sich auf die Bestimmung des Druckes allein beschränkte, vorauszusehn, weil man hierdurch nur einen Aufschluss über den Füllungsgrad der Aorta, nicht aber darüber erhält, ob sein geringer Werth durch eine Verlangsamung des Zuflusses oder durch ein beschleunigtes Ausströmen bedingt sei. Wenn nun auch mit der Entscheidung hierüber unser letztes Ziel noch keineswegs erreicht ist, so musste sie doch jedenfalls erfolgen, weil erst, nachdem dieses geschehn, eine vollständige Einsicht in den Blutstrom während der Pfortaderunterbindung gewonnen war. Zu diesem Ende unternahm ich noch zwei weitere Versuchsreihen.

In der ersten derselben wurden die Druckänderungen gemessen, welche durch den Pfortaderschluss nach Durchschneidung und bei Reizung des Halsmarkes erzeugt werden. Die Operation, welche der Messung voranging, begann mit der Durchschneidung des Markes zwischen Atlas und Hinterhaupt. Da es, wie gesagt, in der Absicht lag das Rückenmark elektrisch zu reizen, so wurden alsdann von der Schnittwunde aus zwei Platindrähte, die bis auf ihre Spitzen isolirt waren, in den Rückenmarkscanal geschoben und in der Lage, welche sie empfangen, unverrücklich festgebunden, so dass der Inductionsstrom bei verschiedenen Reizungen immer dieselben Rückenmarksstellen durchsetzte. Zur Vermeidung der Muskelkrämpfe in den Perioden der Reizungen waren die Thiere mit Curare vergiftet worden. Die Vorbereitungen, welche behufs der Pfortaderunterbindung nothwendig waren, wurden in der früher beschriebenen Weise ausgeführt. Dasselbe gilt von der Notirung des arteriellen Druckes.

Die Ergebnisse, welche die Spannung in der Carotis lieferte, sind in den Figuren 10 u. 11 übersichtlich wiedergegeben.

Fig. 10.



Bei PZ wurde die Pfortader geschlossen, bei PO geöffnet. RR bedeutet Rückenmarksreizung, die Zahl darunter den Rollenabstand in Ctm.

Bei einer Durchsicht derselben wird man erkennen, dass der ohnehin niedrige arterielle Druck noch tiefer hinabsteigt, so oft die Pfortader verschlossen wird. Dieser absteigende Theil der Curve gleicht demjenigen, welcher nach derselben Operation an den Thieren mit unversehrtem Halsmarke auftrat, insofern als die Senkung im Ganzen sehr allmählig geschieht, und auch insofern als in den ersten Minuten nach der vollendeten Unterbindung der Abfall rascher als in den darauffolgenden Zeiten vor sich geht. Die absteigenden Curvenabschnitte bei unversehrtem und zerschnittenem Halsmark unterscheiden sich jedoch dadurch, dass im letztern Falle das Sinken, wenn es bis zu einer gewissen Grenze gekommen, still zu stehn scheint. Ich sage scheint, da es möglich bleibt, dass bei einer noch weitern Fortsetzung der Beobachtung der arterielle Druck vielleicht doch noch tiefer geht. — Der absolute Werth um welchen nach durchschnittlichem Halsmark und unterbundener Pfortader der arterielle Druck sinkt, ist selbstverständlich ungemein viel kleiner

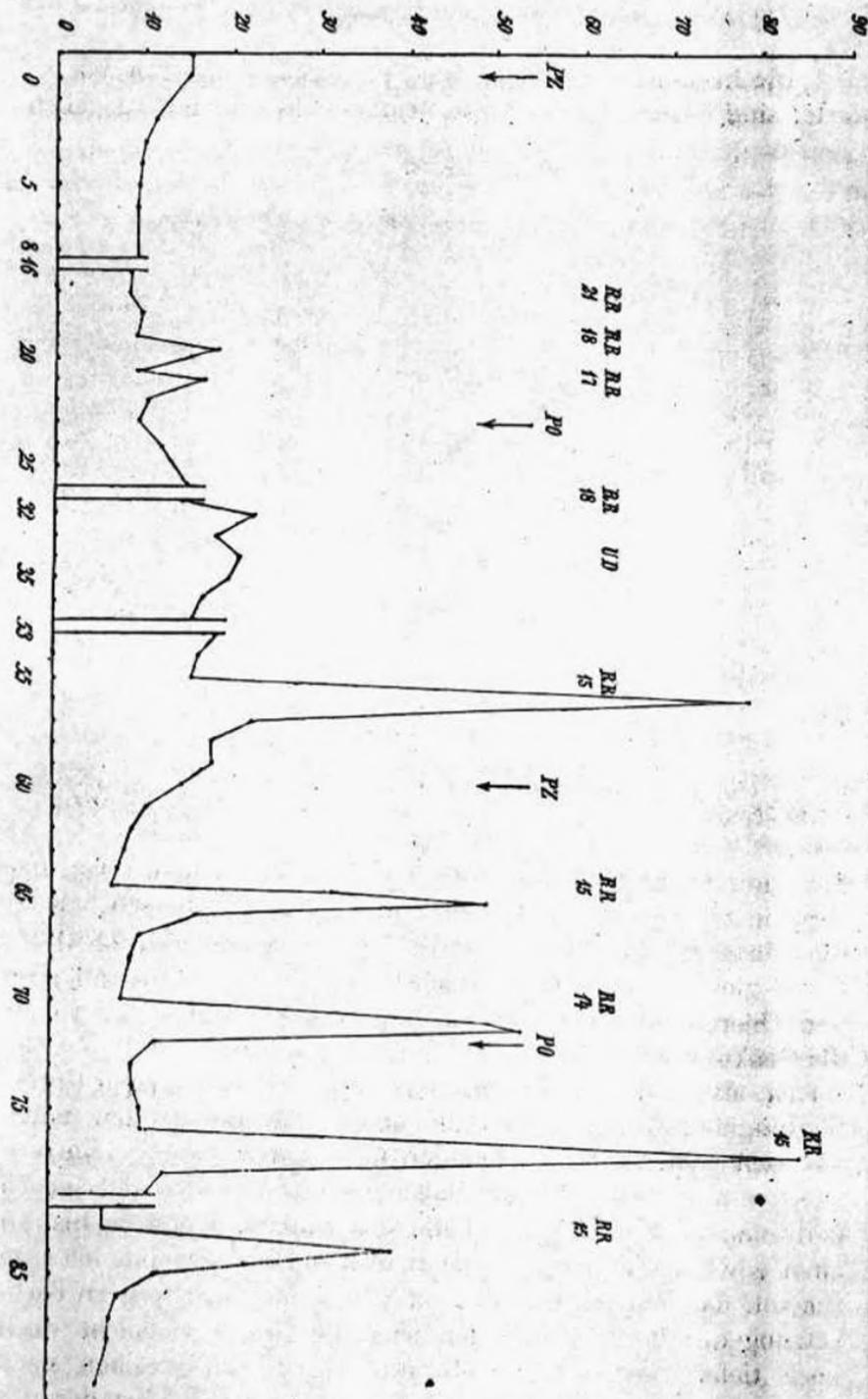


Fig. 11.

PZ bedeutet Schliessung, PO Oeffnung der Pfortader, RR Reizung des Halsmarkes, die darunter stehende Zahl den Rollenabstand, UD Druck auf den Unterleib.

als er unter gleichen Umständen bei unverletztem Halsmark ausfällt, ja man würde in einzelnen Fällen an der Bedeutung der Pfortaderunterbindung als Druck erniedrigendem Mittel zweifelhaft werden können, wenn sich nicht ebenso constant und ebenso hoch der arterielle Druck wieder emporhobe, nachdem das Unterband gelöst ist. —

Die Erscheinung, dass die Pulsschläge nach dem Pfortaderverschluss in der von der Arterie geschriebenen Curve zuerst nur undeutlich und schliesslich gar nicht mehr ausgeprägt werden, obwohl sie vorher sehr deutlich markirt sind, findet sich bei Thieren mit durchschnittenem Halsmark ebenso wieder wie bei unversehrtem Marke; ebenso wie im letztern Falle gilt es auch hier, dass mit der Wiederkehr eines höhern Drucks, der durch die Pressung der hintern Gliedmassen bewirkt wird, die Pulsschläge augenblicklich wieder hervortreten.

Wir waren, wie man sich erinnern wird, auf Seite 40 dabei stehn geblieben, dass der niedre Füllungsgrad der Aorta entweder durch eine Erleichterung des Abflusses aus derselben, oder durch eine Verminderung des Zuflusses in das Herz hinein zu erklären sei. Wollte man nun annehmen, dass die Verschlussung der Pfortader in der ersteren Richtung dadurch wirke, dass sie auf reflectorischem oder irgend welchem andern Wege die verengenden Gefässnerven lähme und desshalb Widerstände wegschaffe, welche in den kleinen Arterien bestehen, so würde diese Unterstellung auf das Sinken bei zerschnittenem Halsmarke sicherlich nicht passen; denn hier bewerkstelligt der Verschluss der Aorta noch das Sinken, obwohl schon vorher die Gefässnerven gelähmt waren.

Diese Erfahrung würde für die Aufhellung des Mechanismus, durch welchen der Pfortaderschluss zur Blutarmuth der Aorta führt, von allgemeiner Bedeutung werden können, wenn sich nicht das gelähmte von dem ungelähmten Thiere durch eine hier belangreiche Besonderheit unterschiede. Mit der Durchschneidung des Halsmarkes verliert nemlich das Gefässsystem die ihm vorher eigenthümliche Accommodationsfähigkeit gegen den variablen Blutgehalt, so dass z. B. ein Blutverlust von 40 bis 15 Cbc. genügt, um ein durch die Zerschneidung des Halsmarks gelähmtes Kaninchen zu tödten. In Hinblick auf dieses Verhalten wird man eine selbst geringe Blutmenge, die sich in den

Darmgefäßen aufstaut, nicht mehr für so gleichgiltig halten wie man dieses beim ungelähmten Thiere thun durfte.

Wenn das Rückenmark der Thiere tetanisirt wurde, so erhob sich (siehe Fig. 10 u. 11), vorausgesetzt dass der Inductionsstrom von hinreichender Stärke war, der arterielle Druck ebensowohl während offener als auch während verschlossener Pfortader sehr beträchtlich, zum Zeichen, dass auch im letztern Fall die Gefässnerven vom Rückenmark an bis zu ihrem Ende durchaus reizbar waren. Nur in einem Punkte zeigt sich etwas Auffälliges. Vergleicht man nemlich die Geschwindigkeit, mit welcher die Reizung den arteriellen Blutdruck bei offener und bei verschlossener Pfortader erhebt, so ist ausnahmslos zu sehn, dass dieses Ansteigen bedeutend langsamer nach Unterbindung der Pfortader geschieht. Könnte man nun voraussetzen, dass jedesmal die kleinen Arterien gleich rasch, in gleicher Zahl und in demselben Umfange zusammengezogen seien, so würde aus diesem Verhalten folgen, dass in gleicher Zeit während verschlossener Pfortader weniger Blut aus dem Herzen in die Aorta gelangte als bei offener. Diese Voraussetzung gewinnt aber an Halt, wenn während der Pfortaderunterbindung, trotzdem dass stärkere Ströme zur Reizung des Rückenmarks benutzt wurden, dennoch das Aufwachsen des Druckes langsamer erfolgte als dieses bei Anwendung schwächerer Inductionsströme während des Offenstehens der Pfortader geschah. Wie weit dieses eintritt, zeigt die folgende Tabelle, deren Zahlen durch die Ueberschriften der Stäbe verständlich sein werden.

Zustand der Pfortader	Druck in der Carotis		Dauer des Aufsteigens in Sec.	Rollenabstand
	vor der Reizung	im Maxim. während d. Reizung		
	Mm.	Mm.		
offen . . .	28	142	10	21
geschlossen .	17	30	15	18
geschlossen .	20	28	27	17
offen . . .	25	34	30	?
offen . . .	25	89	20	15
geschlossen .	17	59	40	15
geschlossen .	19	61	50	14
offen . . .	20	95	32	15
geschlossen .	16	49	50	14

Die Auslegung, welche vorhin für die eben mitgetheilte Erfahrung gegeben ward, lässt sich, wie es scheint, mit noch grösserer Berechtigung auf das entsprechende Verhalten anwenden, welches sich bei der Unterbindung der Aorta unmittelbar unterhalb des Zwerchfells einstellt. Durch ein Manometer, welches in einer der Carotiden sitzt, zeigt es sich, dass das Anwachsen des Drucks beziehungsweise die Füllung der Gefässe oberhalb des unterbundenen Ortes viel rascher fortschreitet bei offener als bei verschlossener Pfortader. Wie sollte sich dieses nun anders als durch einen ungleich raschen Zufluss des Blutes erklären lassen? — Somit fehlte es nicht an Anzeichen, wohl aber an einem unwiderleglichen Beweise dafür, dass durch den Verschluss der Pfortader die zum Herzen strömende Blutmenge vermindert werde. Indem wir unser Bestreben auf die Gewinnung eines solchen richteten, schien es uns zunächst nicht ohne Belang, durch einige Versuche zu ermitteln, wie gross die Blutmenge sei, die man unter verschiedenen Bedingungen vom Kaninchen bei einem tödtlichen Aderlass erhalten könne. Durch eine Reihe von Erwägungen war es nemlich nicht unwahrscheinlich geworden, dass das Verhältniss zwischen dem tödtlichen Aderlassvolum und dem Körpergewicht der Thiere sehr veränderlich werden könne.

Gehen wir von der Voraussetzung aus, dass die Thiere, welche rücksichtlich des Tod bringenden Aderlasses verglichen werden sollen, bezüglich ihrer Blutmengen und der Dimensionen ihrer Gefässe sich durchaus gleich verhalten, so kann das Volum der bis zur vollkommenen Verblutung entleerten Flüssigkeit nur noch abhängen von der Verschiedenheit der Drücke, welche in der Ausflussmündung den in der Richtung des Ausfliessens wirksamen Antrieben entgegentreten, ferner von der Grösse der Kräfte, welche innerhalb oder jenseits der Gefässwände den Durchmesser des von den letztern umschlossenen Raumes bestimmen, und endlich von der Vertheilung der Blutmasse auf die verschieden gebauten Abtheilungen des Gefässsystems.

Da die Bedeutung der zuerst genannten Bedingungen an und für sich klar ist, und da die Wirkung, welche der zweiten zukommt, schon sehr gründlich von Goltz<sup>1)</sup> behandelt ist, so bedarf nur die dritte einer weitern Besprechung. — In den ein-

1) *Virchows Archiv* 29. Bd. p. 394.

zelen Abtheilungen des Gefässsystems steht, wie bekannt, das Lumen zu den Kräften, die auf die Wand wirken, in einem sehr wechsellvollen Verhältniss. Im Allgemeinen wird man jedoch folgende Schemata aufstellen können. — a. Der Durchmesser der immer offenen Gefässhöhle ist in weiten Grenzen unabhängig von den Drücken, welche von innen oder von aussen her auf die starre Wand wirken. — b. Die Höhlung des Gefässes ist noch offen, wenn auch der Druck seines Inhaltes Null geworden ist. Aber es lässt sich der elastischen Wand wegen durch ein Wachsthum der auf die äussere Fläche wirksamen Kräfte die Höhlung zum Verschwinden oder diesem näher bringen. — c. Die Lichtung der Gefässe ist verschwunden, wenn der Druck ihres Inhaltes auf Null herabging, und zugleich ist in weiten Grenzen die Wand so leicht dehnbar, dass mit der wachsenden Füllung die Spannung derselben nur sehr allmählig zunimmt. — d. Die Höhlung der Gefässe ist schon früher geschlossen, bevor noch der Druck des Inhaltes auf Null herabgegangen. Demnach muss, wenn in ihnen eine Lichtung erzeugt werden soll, der Druck des Inhaltes einen positiven Werth annehmen; und es wächst mit der steigenden Füllung die Spannung der Wand rasch empor. —

Wenn man weiter in Betracht zieht, dass die Blutmenge, welche das Thier enthält, nicht ausreicht, um alle Abtheilungen des Gefässsystemes gleichmässig zu füllen, so leuchtet es ein, dass durch die so eben aufgezeichneten Eigenschaften der Gefässe auch das Volum der Verblutung beeinflusst werden muss, vorausgesetzt dass der Druck, welcher zu Ende der letztern an den Gefässen vorhanden, nicht bis auf Null herabsank. Ist diese Bedingung erfüllt, so wird, wenn das Blut vorzugsweise in den Gefässen mit nachgiebigen Wandungen angehäuft ist, weniger aus der geöffneten Ader fliessen als in jedem andern Falle. —

Wenn hierüber kein Zweifel bestehn kann, so bleibt nur noch die Möglichkeit für die geforderte Vertheilung des Blutes fraglich. Aber auch diese wird im ausgedehnten Maasse herzustellen sein durch den Erregungsgrad der Nerven, welche die Muskeln jener Arterien beherrschen, die ihr Blut in die Abtheilungen grösster Nachgiebigkeit entleeren. Sind sie gelähmt, so fliesst das Blut aus den Arterien zu rasch ab, als dass es zu Erzeugung eines höhern Druckes kommen könnte, also muss unter dieser Bedingung die widerstandreichere Abtheilung relativ blutleer

werden, während das gerade Gegentheil eintritt, wenn die Nerven der Arterien erregt sind, welche ihr Blut in die Abtheilungen grösserer Nachgiebigkeit entleeren, weil nun dem unter höherem Drucke stehenden Blute kein anderer Ausweg als der in die schwieriger erweiterbaren Gefässe übrig bleibt.

Als diese Betrachtungen durch den Versuch geprüft werden sollten, ergab sich, dass die erste der aufgestellten Bedingungen, die vollkommene Uebereinstimmung in der Blutmenge und in den Dimensionen der Gefässe der zu entblutenden Thiere nicht ausführbar war, da das Verfahren, die durch eine erste Verblutung gefangene Menge wieder zurückzuführen und darauf eine wiederholte Verblutung vorzunehmen, in der Regel an der Gerinnbarkeit der gegen Ende des Aderlasses ausfliessenden Flüssigkeitsmassen scheiterte. Unter diesen Umständen blieb nichts anderes als die Beschränkung auf nur eine Verblutung an demselben Thiere übrig; um die Beobachtung an verschiedenen Individuen unter einander vergleichbar zu machen, war man demnach darauf angewiesen, die ausgeflossene Blutmenge in Procenten des Körpergewichts auszudrücken, ein Verfahren, wodurch zum mindesten bedeutende Unterschiede noch sichtbar werden konnten.

Bei der Wahl des Gefässes, aus welchem die Verblutung geschehen sollte, bestimmte ich mich für die arteria Carotis. Statt dessen hätte man auch durch die rechte v. jugularis ein möglichst weites Rohr in den Vorhof bringen und von hier aus die Verblutung vornehmen können. Da aber einerseits der Druck in dem Vorhof ein negativer ist, wesshalb die Verblutung nur unter Beihilfe einer Ansaugung möglich war, und da anderseits der Abfluss in den von den Lungen ausgespannten Ventrikel jedenfalls mit geringerem Widerstand stattfinden konnte, als durch das lange Saugrohr, so schien es mir für die Beschleunigung der Verblutung vortheilbafter, bei der art. Carotis stehen zu bleiben. Damit will ich nicht sagen, dass der Vorhof als Verblutungsort nicht seine besonderen Vorzüge habe.

Behufs des Aderlasses aus der a. Carotis führte ich rechterseits in dieselbe möglichst nahe an dem Austritt aus der Brusthöhle eine Canüle ein. Die linke a. Carotis ward mit einem Hg.-Manometer verbunden. Für die Beurtheilung dieser Verblutungsmethode hat man zu berücksichtigen, dass die erhaltene Blutmenge ebensowohl abhängig ist von der Grösse des Stromes,

der aus den Venen in das Herz hinein stattfindet, als auch von dem Verhältniss zwischen den Widerständen, die sich einerseits an den künstlichen und andererseits an den natürlichen Ausflussmündungen des Aortenrohres vorfinden. Bezüglich der ersteren dieser beiden Bedingungen ist zu beachten, dass die venöse Mündung der Herzkammer immer annähernd unter demselben Drucke liegt, so dass die Geschwindigkeit, mit welcher das Blut dem Brustkasten bez. dem Herzen zufliesst, nur abhängig von der Spannung in den grossen Venenstämmen ist. Und da andererseits sich die Herzkammer in rascher und regelmässiger Folge zusammenzieht und dieses zwar jedesmal bis zum Verschwinden ihrer Lichtung, so wird aus der Aortenmündung das Blut in dem Maasse ausströmen, in welchem es ihm durch die Venen zuflöss.

Das Blut, welches aus dem Herzen in die Aorta übergeht, würde allein aus der Arterienwunde ausströmen, wenn die Widerstände im Verlaufe durch den Carotidenstumpf gegen diejenigen verschwänden, welche ihm beim Ausfliessen aus allen übrigen Arterienzweigen entgegenstehen. Wie wenig dieses jedoch der Fall, darüber belehrt uns das in die linke a. Carotis eingesetzte Manometer durch den Druck, welchen es nachweist. In einzelnen Fällen ereignete es sich allerdings, dass die Blutung nicht eher stille stand als bis der Druck auf wenige Mm. herabgesunken war, in andern aber, und dieses sind weitaus die häufigsten, stand die Blutung schon still, wenn sich der Druck in den Grenzen von 15 bis zu 20 Mm. Hg. bewegte. Die Ursache hierfür mag zum Theil in der Zusammenziehung der Arterienwand, zum Theil in der Bildung kleiner Gerinnsel liegen, welche ebenso rasch als sie entfernt werden auch wieder von Neuem entstehen.

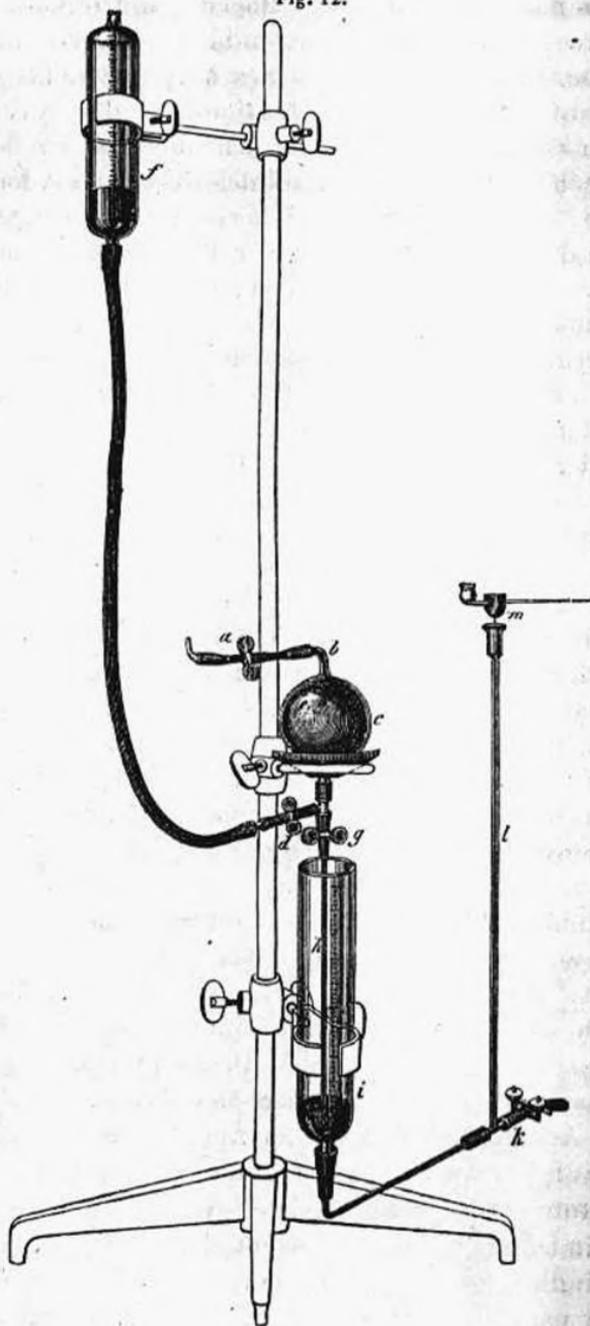
Bei der Ausführung dieser Verblutungsversuche stellte sich nun heraus, dass das Verhältniss der zu gewinnenden Blutvolumina zum Körpergewicht je nach den Umständen des Thieres ein ausserordentlich variables war. Die grössten Quantitäten gewinnt man, wenn man unvergiftete und sonst unverletzte Thiere unter kräftigen passiven Bewegungen der Gliedmassen oder solchen der Bauch- und der Brustwand verbluten lässt. Mit Hilfe dieser Mittel ist es gelungen 4,9% vom Körpergewicht des Thieres an Blut zu gewinnen, also nahezu die Menge, welche nach den gegenwärtigen Annahmen in dem Kaninchen enthalten ist. In einem Falle, in welchem die abgelassene Blutmenge noch nicht

einmal die ebengenannte Procentzahl des Körpergewichts erreichte, fand ich denn auch die restirende sehr niedrig. Diesem Thiere, das nach Entfernung des Magen- und Blinddarminhalts 1170 Gr. wog, wurden unter Anwendung der genannten Handgriffe 48 Cbc. Blut, also  $4,3\%$  seines Körpergewichts entzogen. Als ich darauf an der Leiche die Bestimmung der zurückgebliebenen Blutmasse unternahm, fand ich dieselbe zu 5 Cbc., so dass demnach  $90\%$  des Gesamtblutes durch den Aderlass entfernt waren. — Eine beträchtlich geringere Blutmenge gewinnt man, wenn das Thier keinen passiven Bewegungen unterworfen wird, sie geht dann in der Regel nicht über  $3\%$  des Körpergewichts hinaus.

Die geringsten Blutmengen gewinnt man an solchen Thieren, deren arterieller Druck aus irgend welchen Gründen schon vor der beginnenden Verblutung sehr niedrig war, wie dieses z. B. nach der Durchschneidung des Halsmarkes, derjenigen des n. splanchnicus und nach Unterbindung der Pfortader der Fall ist. Bei diesem Zustande des Arteriendrucks erreicht der Blutverlust im günstigsten Falle  $1,5\%$  des Körpergewichts, gewöhnlich aber nur Bruchtheile eines Procentes. — Eine grössere Menge als die eben erwähnte fliesst jedoch bei den Thieren mit ursprünglich niederem arteriellen Drucke dann aus, wenn man vor dem Beginn der Verblutung die Aorta unmittelbar unterhalb des Zwerchfells zugeschnürt hatte. War der arterielle Druck in Folge der Durchschneidung des Rückenmarks oder derjenigen des n. splanchnicus herabgesetzt, so stieg die durch Verblutung erhaltene Menge günstigen Falls auf  $2,5\%$  des Körpergewichts; sie näherte sich also derjenigen, welche man auch bei sonst unverletzten Thieren erhalten konnte, vorausgesetzt dass sie keinen passiven Bewegungen ausgesetzt gewesen waren. Dieser Erfahrung gemäss erklärt sich die Geringfügigkeit der Blutmenge, welche man ohne vorgängige Unterbindung der Brustaaorta bei ursprünglich niederem arteriellen Druck gewinnt, zum Theil daraus, dass der Widerstand, den der Arterieninhalt an den natürlichen Ausflussmündungen der Aorta zu überwinden hat, geringer ist als der an der Arterienwunde vorhandene. — Einer der Verblutungsmenge so günstigen Wirkung des Aortenverschlusses bin ich nicht begegnet, wenn der arterielle Druck durch die Unterbindung der Pfortader herabgesetzt war. Allerdings mehrte sich nach der Verschliessung der Aorta auch in diesem

Falle das durch Verblutung erhaltene Volum, aber es erhob sich doch kaum auf 1,5% des Körpergewichts, so dass nach

Fig. 12.



meinen Beobachtungen ein wesentlicher Unterschied darin besteht, ob der arterielle Druck durch Verletzung nervöser Gebilde, oder durch die Unterbindung der Pfortader herabgesetzt ist.

Bei den Verblutungsversuchen an Kaninchen mit ursprünglich niedrigem materiellen Drucke bin ich noch auf eine andere Erscheinung gestossen, die der besonderen Erwähnung werth ist. Nach sehr kleinen Blutverlusten, welche kaum 1% des Körpergewichts betragen, pflegen die Thiere abzusterben, rascher, z. B. schon nach wenigen Minuten, wenn das Rückenmark durchschnitten war, langsamer, etwa nach 20 Minuten, wenn man die n. splanchnici durchtrennt hatte.

Das Resultat dieser Versuche war also dem Ergebniss unserer Betrachtungen nicht ungünstig. Zugleich aber entsprangen aus ihnen neue charakteristische Merkmale für das Verhalten des Blutstroms nach Unterbindung der Pfortader. — Diese letztern müssten aber noch viel deutlicher hervortreten, wenn man statt des absoluten Volums der Verblutung die Geschwindigkeit derselben zu ermitteln vermöchte. Dieses glaube ich nun folgendermassen erreicht zu haben. Der Apparat, durch welchen die Ausflussgeschwindigkeit bestimmt werden sollte, siehe Fig. 12, setzt sich im Wesentlichen aus dem registrirenden auf seinen Hohlraum calibrierten Manometer *ilm* und aus der 100 Cbc. fassenden Kugel *c* zusammen; von dieser letztern gehen drei Fortsätze ab, *ba* zur Arterie, *gh* in den weiten Schenkel des Manometer, *df* in ein cylindrisches oben offenes Quecksilbergefass. In die Kugel *c* soll das Blut dringen, und zu einer andern Zeit aus ihr auch wieder in die Arterie zurückgeführt werden. Um diesen Wechsel des Weges zu ermöglichen, sind die beiden Klemmen *d* u. *g* angebracht; die Kommunikation der Arteriencañule mit der Kugel ist durch die Klemme *a* zu schliessen. Vor dem Gebrauch ist der Fortsatz *ab* bis zur Einmündung in die Kugel mit frischem Kaninchenserum, die letztere selbst und ihre Fortsätze *fd* und *gh* mit Quecksilber gefüllt; in dem registrirenden Manometer steht das Quecksilber so hoch, dass von ihm die untere Mündung des Rohres *h* abgeschlossen wird. Der Apparat ist in einem an den Tisch geschraubten Träger festgestellt. Soll zum Versuch geschritten werden, so sind durch die Klemmen *a* und *d* die Röhren *ab* und *df* verschlossen, *g* dagegen geöffnet; hierauf wird das se-

rühaltige Stück jenseits *a* in die mit Serum gefüllte Arterien-  
 cantüle gebunden. Wenn nun die Klemme bei *a* plötzlich geöffnet  
 wurde, so strömte das Blut in die Kugel *c*, während das in ihr  
 enthaltene Hg. durch die Röhre *h* in den weiten Manometer-  
 schenkel übertrat und sich von da aus auch in den engen Schen-  
 kel *l* verbreitete, wo es den Schwimmer *m* emporhob, dessen  
 mit Tinte gefüllte Feder seinen veränderlichen Stand auf einen  
 vorüberrollenden Papierstreifen aufschrieb. Gesetzt, es war die  
 Blutmenge eine gewünschte Zeit hindurch in die Kugel *c* abge-  
 laufen, so wurde die Klemme bei *g* plötzlich geschlossen und die  
 bei *d* geöffnet. Da das Hg. in dem Gefässe *f* etwa 150 Mm. hoch  
 über der Mündung der Arterie stand, so floss das in der Kugel *c*  
 enthaltene Blut unter diesem Drucke in die Arterie zurück, in-  
 dem das in *c* enthaltene Blut durch das aus *f* nachströmende Hg.  
 verdrängt wurde. Wenn dieses letztere bis zur oberen Kugel-  
 mündung *b* emporgestiegen war, so wurde die Klemme *a* rasch  
 geschlossen. Durch den soeben beschriebenen Versuch erhielt  
 man also eine Curve, deren Abscisse die Zeit und deren Ordina-  
 ten die in dieser Zeit abgeflossenen Blutmengen darstellen.  
 Um aus den letzteren die ihnen entsprechenden Volumina ab-  
 leiten zu können, genügte es, wie erwähnt, die Räumlichkei-  
 ten *h* und *l* des Manometers zu calibriren. In meinem Gefässe  
 entsprach je ein Millimeter der Ordinate 0,75 Cbc.

Bevor ich in der Beschreibung des Gebrauchs weiter  
 gehe, der von dem vorstehenden Apparate gemacht werden  
 soll, muss ich erst angeben, in wie weit aus den durch die  
 Arterienwunde hervorgegangenen Blutmengen auf diejenigen  
 geschlossen werden kann, welche von den Venen her in das  
 Herz übertreten. Die Blutmenge, die aus der *a. carotis* in die  
 Kugel überfließt, setzt sich zusammen aus einem Antheil, welcher  
 beim Beginn der Blutung schon in der Aorta enthalten war, bez.  
 dieser entzogen wird, wenn ihr Füllungsgrad abnimmt, und aus  
 einem andern Antheil, welcher während der Dauer der Blutung  
 aus dem Herzen in die Aorta übergeht. Da nun aber, wie wir  
 früher sahen, der Widerstand, welchen das aus der Arterien-  
 wunde strömende Blut zu überwinden hat, keineswegs gegen  
 den verschwindet, welcher der genannten Flüssigkeit beim Ueber-  
 gang in die natürlichen Ausflussmündungen der Aorta entgegen-  
 tritt, so ist die in die Kugel *c* übergeführte Flüssigkeitsmenge  
 auch keineswegs derjenigen gleich, welche die Aorta beim

Uebergang aus der höheren in die niedere Spannung verloren und welche sie während der Dauer der Blutung aus dem Herzen empfangen hat. Aus diesem Grunde lässt uns unser Verfahren darüber vollkommen im Unklaren, wie gross die Gesammtmengen der Flüssigkeit gewesen sind, die vor der Blutung in der Aorta enthalten war und die während jenes Vorganges aus dem Herzen hervorströmte. Es ist dagegen dasselbe im Stande, darüber Aufschluss zu geben, ob in zwei verschiedenen Versuchen die aus dem Herzen hervorgekommenen Blutmengen gleich oder ungleich gross waren. Die erste der Bedingungen, unter welchen die eben gestellte Aufgabe lösbar wird, besteht darin, dass die beiden Beobachtungen an demselben Thiere angestellt werden, weil hierdurch der Widerstand an der natürlichen und an der künstlichen Ausflussmündung derselbe bleibt, vorausgesetzt dass keine Veränderungen im Erregungszustand der Gefässnerven auftreten. Die zweite der zu erfüllenden Bedingungen besteht darin, dass die Aorta vor dem Beginn eines jeden der beiden mit einander zu vergleichenden Versuche sich auf dem gleichen Füllungsgrade befindet. Um dieser Forderung zu genügen, ist es nöthig, die Aorta unterhalb des Zwerchfells und oberhalb der a. coeliaca vorübergehend zu unterbinden. Da jedoch die Vermuthung nicht abzuweisen ist, dass während des Aortenschlusses eine andere Vertheilung des Blutes in den Venen eintritt als sie vorher vorhanden, so muss die genannte Unterbindung erst unmittelbar vor dem Beginn der Verblutung stattfinden. Durch die Einführung dieses Kunstgriffes gewinnt man nebenher noch den Vortheil, dass die Zahl der natürlichen Ausflussmündungen und somit der durch sie veranlasste Fehler bedeutend verringert wird. Um die Gewissheit zu erlangen, dass die Füllung der Aorta auf den gewünschten Grad gediehen sei, wird ein gewöhnliches registrirendes Manometer in die a. carotis gesetzt, welche nicht schon von der zum Blutablassen bestimmten Canüle in Beschlag genommen war.

Die Reihenfolge der Operationen, die zur Ausführung des Versuches nothwendig sind, gestaltet sich folgendermassen. Die Luftröhre des Thieres wird behufs der künstlichen Athmung mit einem regelmässig arbeitenden Blasbalg verbunden, darauf wird von einer kleinen Hautvene aus das Thier mit Curare vergiftet, alsdann wird ein Faden um die Aorta an der bezeichneten Stelle und ein anderer um die Pfortader gelegt, beide Fäden werden

durch je ein Ligaturstäbchen geschlungen, so dass zu jeder beliebigen Zeit die Gefässe geschlossen und wieder geöffnet werden können. Hierauf werden, nachdem vorgängig die Unterleibswunde sorgfältig vernäht und die hervorstehenden Unterbindungsstäbchen in passender Lage befestigt sind, die Canülen in die beiden Carotiden eingesetzt, wobei die beiden *n. vagi* durchschnitten werden. Ist Alles dieses geschehen und hat man die Absicht, den ersten der beiden Versuche bei bestehender Pfortaderunterbindung vorzunehmen, so lässt man durch das registrirende Manometer zuerst den arteriellen Druck notiren, dann zieht man die Schlinge um die Pfortader zu. Nachdem diese Unterbindung je nach der Geschwindigkeit, mit welcher der arterielle Druck absinkt, eine halbe bis zwei Minuten gedauert hat, wird auch der um die Aorta gelegte Faden zugeschnürt; sowie in Folge hiervon der arterielle Druck sein Maximum erreicht hat, setzt man plötzlich die *a. carotis*, aus welcher die Blutung geschehen soll, mit der Kugel *c* in Verbindung. Nachdem die Verblutung die gewünschte Zeit hindurch gedauert, wird rasch die Klemme *g* geschlossen, die Ligatur um jedes der beiden Gefässe gelöst und nun in der früher beschriebenen Weise das Blut aus der Kugel allmählig wieder in die Arterie zurückgeführt. Nach Beendigung dieses ersten Theiles der Beobachtung werden die beiden Carotiden mit je einem federnenden Pincettchen zugeklemmt und die Kugel sammt ihrem Fortsatz *ba* durch eingesaugtes und wieder ausgestossenes Wasser unter Zuhilfenahme des Gefässes *f* sorgfältig gereinigt und das Verblutungsmanometer wieder auf die frühere Abscisse gebracht, indem man das Hg. aus der Oeffnung bei *k* ablässt. Wenn hierauf der Apparat wieder genau in den Stand gebracht ist, in welchem er sich vor Beginn des Versuchs befand, so kann nun der zweite Theil der Beobachtung seinen Anfang nehmen, bei welchem nur die Aorta verschlossen wird, die Pfortader aber offen bleibt.

Der Zeitraum, während dessen die Verblutung stattfindet, kann entweder so lang gewählt werden, bis überhaupt kein Blut mehr hervordringt, oder, was für die meisten Fälle günstig ist, nur bis zu einer Dauer von 25 bis zu 30 Secunden. Da in dieser kürzeren Zeit der grösste Theil des Blutes, der auf diesem Wege gewonnen werden kann, ausfliesst, so ist mit ihr der gestellten Aufgabe genügt. Zugleich aber gewährt sie noch die

weitem Vortheile, dass einerseits die Gerinnung sicherer vermieden und andererseits das Thier nicht gezwungen wird, allzulange unter dem blutleeren Zustande zu leiden, wodurch meistens schädliche Störungen, wie z. B. Gefässkrämpfe, in die Beobachtung eingeführt werden. — Eine Störung, durch welche der Erfolg des Versuches noch getrübt werden könnte, besteht in der Ansaugung, welche die Arterienwand durch die von der Kugel absteigende Hg.-Säule erfährt. Um sie unschädlich zu machen, muss ein Gehilfe die Arterie, bez. die bedeckenden Weichtheile sorgfältig überwachen.

Damit das Resultat, welches durch diese Versuche gewonnen wird, in anschaulichster Weise zu Tage tritt, führe ich sogleich einige der Curven vor, welche durch dasselbe gewonnen sind.

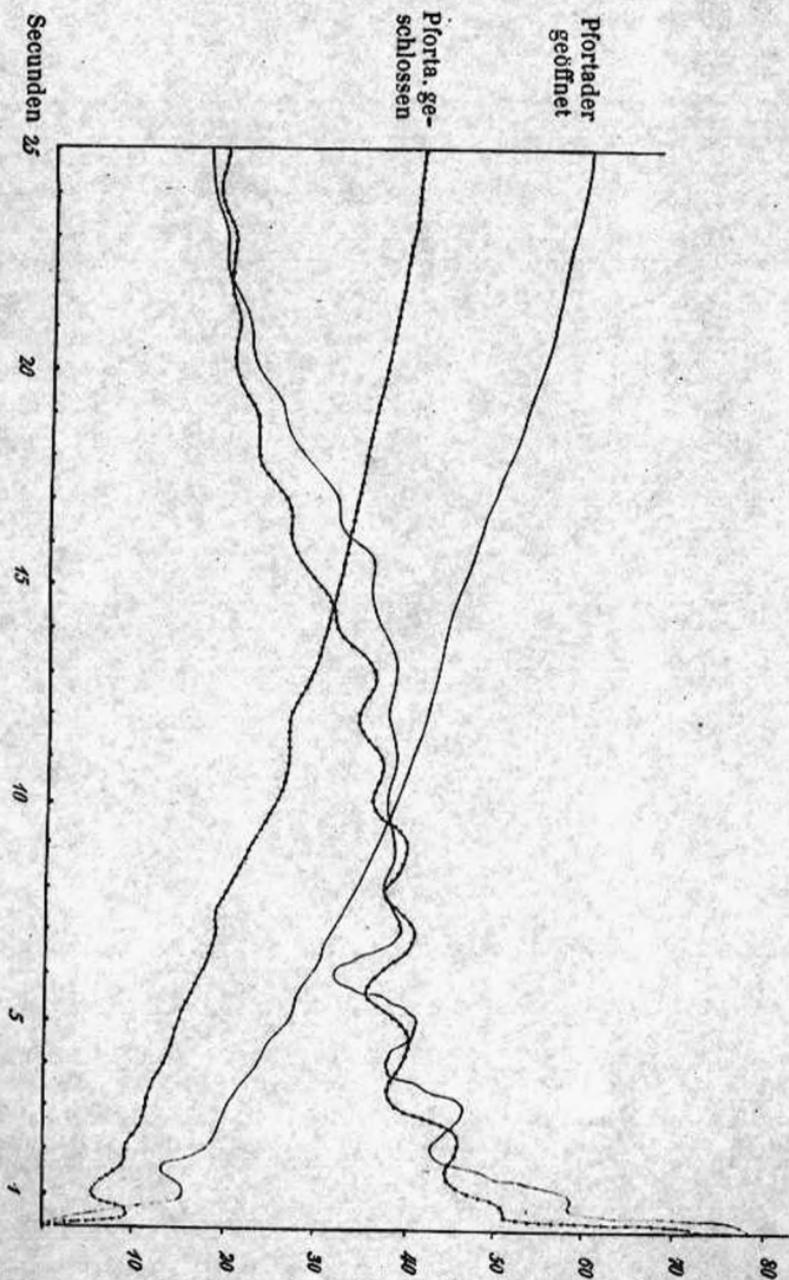
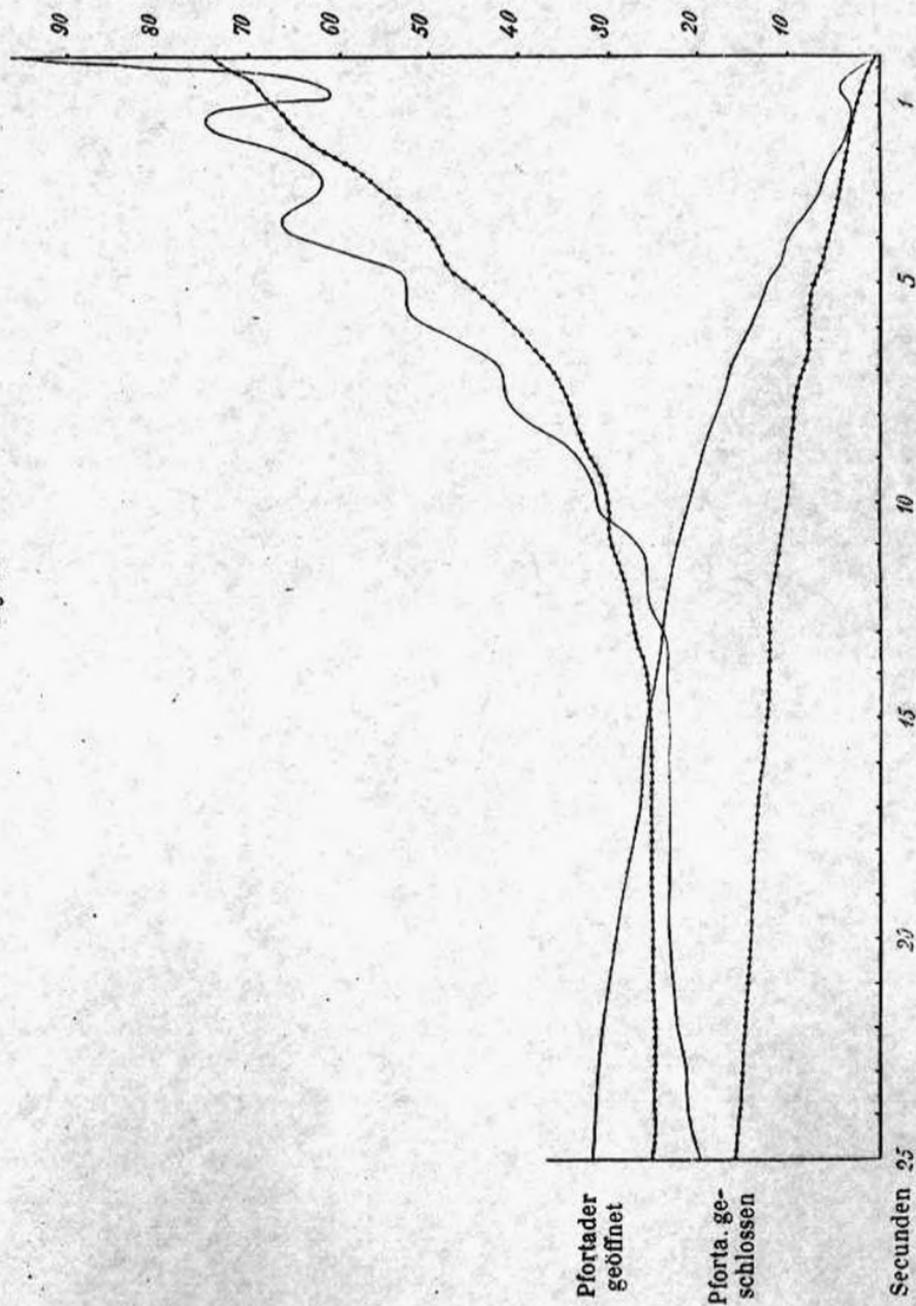


Fig. 13.

Fig. 14.



Bevor wir die unter ungleichen Bedingungen gewonnenen Ergebnisse vergleichen, mag es dienlich sein, an dem Verlauf einer einzigen Beobachtung die überall wiederkehrenden Erscheinungen zu durchmustern. Jede derselben ist durch eine Curve der Verblutung und durch eine solche des arteriellen Druckes repräsentirt. Die Ordinaten der Druckcurve, ebenso die der Verblutungcurve sind an Höhe denen gleich, die von den Manometern aufgezeichnet sind. Um aus den ersteren die wahren Höhen des arteriellen Druckes zu finden, muss man nach den bekannten Regeln verfahren. Um aber aus den Ordinaten der Verblutungcurve die ausgeflossenen Blutvolumina zu finden, müssen ihre in Mm. ausgedrückten Höhen mit 0,75 multiplicirt werden. Die gemeinschaftliche Abscisse beider Curven giebt die Zeit in Secunden. Verfolgt man die Verblutungcurve von ihrem Anfang an, so gewahrt man in der ersten Secunde ein rasches Aufsteigen, auf welches alsbald wieder ein Absinken folgt. Diese Welle beruht auf einer Eigenschwingung des Quecksilbers, welche in dem Verblutungsmanometer durch den raschen Zufluss aus der Kugel *c* hervorgerufen wurde. Da jenseits dieses ersten Stosses die Verblutung allmählig an Geschwindigkeit abnimmt, so fehlt auch von nun an die Eigenschwingung. Verfolgt man dagegen die Curve des arteriellen Druckes, so sieht man in ihr zweierlei Abweichungen vom glatten Ablauf. Diejenige, welche in der Gestalt regelmässiger Wellen erscheint, ist durch die künstlichen Athembewegungen bewirkt, die zweite aperiodische Abweichung hängt dagegen wahrscheinlich von Ansauerungen der Arterienwand ab, welche die an der Ausflussmündung der Verblutungscarotis vorhandene Hg.-Säule bedingte. Hierfür spricht, dass die Abweichungen zumeist vorkommen, wenn schon der Druck in der Arterie geringer und somit die Nachgiebigkeit der Gefässwand eine grössere geworden war, und dann der weitere Umstand, dass mit der Verlangsamung des Absinkens in der Druckcurve auch gleichzeitig ein vermindertes Ansteigen in der Verblutungcurve sichtbar wurde.

Das in Fig. 43 vorgelegte Curvenpaar ist so gewonnen, dass zuerst bei geschlossener und später bei offener Pfortader entblutet wurde, während bei dem in Fig. 44 abgebildeten Versuche die Curven in umgekehrter Ordnung erhalten sind.

Aus der Vergleichung je zweier Entblutungscurven desselben Thieres, von welchen die eine bei offener und die andere

bei geschlossener Pfortader aufgeschrieben wurde, ergibt sich, dass die Geschwindigkeit der Blutentleerung bei geschlossener Pfortader beträchtlich geringer als bei offener ist. Dieser Unterschied spricht sich allerdings in den ersten Secunden der Entblutung in der Regel stärker aus als in den spätern, aber er fehlt auch in diesen nicht, ein Verhalten, welches besonders beachtenswerth scheint, weil man erwarten muss, dass der grössere Verlust an Blut, den das Thier während offener Pfortader im Gegensatz zu dem mit geschlossener schon erlitten hat, auch seine Befähigung zu weitem Blutverlusten bedeutend beeinträchtigt.

Die genauen Zahlenwerthe für das durch die Curven versinnlichte Verhältniss der Ausflussgeschwindigkeit sind in den folgenden Tabellen niedergelegt.

Kaninchen. Körpergewicht rein 2370 Gr. Curarevergiftung. Beide nerv. vagi durchschnitten.

Zu Fig. 13.

Pfortader und Aorta geschlossen			Pfortader offen, Aorta geschlossen		
Zeit vom Beginn der Verblutung	ausgeflossen in Cbc. vom Beginn der Verblutung	Arterien- druck			Arterien- druck
		Mm.			
0	0	444	0	0	173 u. spät. 163
5	41,3	74	5	20,2	70
10	18,0	68	10	28,5	72
15	24,0	57	15	34,5	66
20	28,1	38	20	39,8	40
25	30,5	36	25	44,3	34

Vor der Pfortaderunterbindung Carotidendruck = 108 Mm. — Nach 2,5 Minuten dauerndem Pfortaderverschluss stand der Carotidendruck auf 55 Mm. — Nach Schluss der Aorta erreichte er in 23 Sec. sein Maximum mit 444 Mm.

Vor der Aortenunterbindung stand der Carotidendruck auf 444 Mm. Nachdem die Aorta unterbunden war, erreichte er in 5 Sec. die Höhe von 173 Mm. und sank im Verlaufe von 43 Secunden auf die Höhe von 163 Mm.

Kaninchen. Reines Körpergewicht 4490 Gr. — Cu-rarevergiftung. Beide nerv. vagi durchschnitten.

Zu Fig. 44.

Pfortader offen, Aorta geschlossen			Pfortader und Aorta geschlossen		
Zeit vom Beginn der Verblutung	ausgeflossen in Cbc. vom Beginn der Verblutung	Arterien- druck im Beginn der Zeit	Zeit vom Beginn der Verblutung	ausgeflossen in Cbc.	Arterien- druck im Beginn der Zeit
		Mm.			Mm.
0	0	186	0	0	146
5	11,0	99	5	5,6	85
10	17,6	70	10	8,3	59
15	20,9	46	15	9,8	49
20	23,3	44	20	10,9	49
25	25,2	38	25	11,6	47
30	26,6	?	30	12,8	38

Vor Schluss der Aorta war der Carotidendruck = 144 Mm., nach Schluss der Aorta erreichte er in 3—5 Secunden das Maximum mit 186 Mm.

Vor dem Schluss der Pfortader stand der Carotidendruck auf 105 Mm., 20 Secunden nach Schluss der Pfortader stand er auf 95. Nach Schluss der Aorta erreichte er sein Maximum mit 146 Mm.

Mit den Ergebnissen der mitgetheilten sind nun die aller andern von mir angestellten Versuche in Uebereinstimmung. — Um aber zu zeigen, wie deutlich der Unterschied der Entblutungsgeschwindigkeiten hervortritt, dazu können sogar die Zahlen aus scheinbar verunglückten Versuchen dienen. — Bei meinen hier einschlagenden Beobachtungen war ich des Eintritts der Gerinnung wegen öfter gezwungen, den Versuch nach der ersten Entblutung abubrechen. Somit gewann ich eine grössere Reihe von Beobachtungen, in denen an demselben Thier die Entblutungsgeschwindigkeit nur einmal bestimmt ward. Um die an verschiedenen Thieren erhaltenen Werthe des in 30 Sec. ausgeflossenen Blutvolums untereinander vergleichbar zu machen,

habe ich für jeden Fall sein Verhältniss zum reinen Körpergewicht ermittelt. Hierdurch kam ich zu dem Resultate, dass in 8 Entblutungsversuchen mit offener Pfortader der Mittelwerth des ausgeflossenen Volums 2,4 Procent des mittleren Körpergewichts betrug (Minimum 1,7, Maximum 3,0), während in drei Versuchen mit unterbundener Pfortader die Procentzahl nur zu 1,4 ausfiel (Minimum 0,9, Maximum 1,4).

Bis dahin sind nur die Geschwindigkeiten der Entblutung aus den Gefässen mit dem normalen Tonus denjenigen während der Pfortaderunterbindung gegenüber gestellt worden. In meinen Versuchen sind jedoch auch Fälle vorhanden, in welchen dieser Tonus, sei es absichtlich oder zufällig, herabgesetzt war. Da sie ein weiteres Licht auf die Bedeutung der Pfortader im Blutkreislauf werfen, so wird ihre Mittheilung am Platze sein. Ich beginne mit der Darstellung eines Falles, bei welchem sich die Lähmung des Gefässstonsus während der Dauer des Versuchs einfand. Die Entblutung ward zuerst bei geschlossener und dann wiederholt bei offener Pfortader vorgenommen.

Kaninchen. — Reines Körpergewicht = 4350 Gr.  
Curarevergiftung. Beide n. vagi durch-  
schnitten.

1. Entblutung. Pfortader und a. Aorta geschlossen.

Der arterielle Druck, der vor der Pfortaderunterbindung auf 163 Mm. Hg. stand, fällt nach Vollendung derselben in 63 Secunden auf 84 Mm. Hg. Nach der Aortenunterbindung erreicht er in 11 Secunden 123 Mm., sinkt aber dann ohne nachweisliche Ursache auf 80 Mm. Hg.

Zeit vom Beginn der Entblutung	0	5	10	15	20	25	Sec.
Ausgeflossen in Cbc. seit Be-							
ginn der Verblutung . . .	0,0	3,0	4,5	5,6	6,8	7,1	
Arter. Druck in Mm. Hg. . .	80	36	30	27	32	34	

Nach der Zurückführung des Blutes und der Wiedereröffnung der v. portarum erhielt sich der arter. Mitteldruck constant auf der Höhe von 29 Mm. Hg. Nach Verschluss der Aorta stieg er sehr allmählig auf 442 Mm.

2. Entblutung, Pfortader offen, Aorta geschlossen.

Zeit vom Beginn der Entblutung	0	5	10	15	20	25 Sec.
Ausgeflossen in Cbc. . . . .	0,0	4,1	6,4	7,9	9,4	10,5
Arter. Druck in Mm. Hg. . . .	442	66	63	53	47	54

Nach Zurückführung des Blutes erhielt sich der art. Druck auf 38 Mm. Hg. Nach Unterbindung der Aorta stieg er in 45 Sec. auf 86 Mm. Hg.

3. Entblutung, Pfortader offen, Aorta geschlossen.

Zeit vom Beginn der Entblutung	0	5	10	15	20	25 Sec.
Ausgeflossen in Cbc. . . . .	0,0	3,2	5,6	7,1	7,9	8,6
Arter. Druck in Mm. Hg. . . .	86	59	40	35	33	33

Nach der Rückführung des Blutes stellte sich der art. Druck auf 33 Mm., 20 Sec. nach Aortenschluss auf 140 Mm.

4. Entblutung, Pfortader offen, Aorta zu.

Zeit seit Beginn d. Entblutung	0	5	10	15	20	25 Sec.
Ausgeflossen in Cbc. . . . .	0,0	6,0	9,4	11,4	12,0	12,9
Arter. Druck in Mm. Hg. . . .	140	63	35	31	27	27

Die Geschwindigkeit, mit welcher sich in dem vorliegenden Versuche das Blut zu verschiedenenmalen entleerte, zeigt ähnliche Verhältnisse wie der arterielle Druck bei herabgestimmtem Tonus der Gefäßwand. — Denn wie unter dieser Bedingung der Druck absinkt, so ist auch die Ausflussgeschwindigkeit im Vergleiche mit der des Aderlasses bei dem normalen Tonus sehr verlangsamt, beziehungsweise die Stromgeschwindigkeit in den Ge-

fassen eine geringere geworden. — Für diesen Satz berufe ich mich nicht bloss auf den einen so eben mitgetheilten, sondern auch auf andere Versuche, die allerdings insofern unvollkommener sind, als die zum Beweise herbeigezogenen Beobachtungen nicht an demselben Thiere gewonnen, sondern dadurch vergleichbar gemacht sind, dass die ausgeflossene Menge auf das Körpergewicht des Thieres reduziert ist. — Bei 8 Thieren, die einen normalen Tonus der Gefässe aufwiesen, flossen nach Compression der Aorta in 30 Secunden an Blut im Mittel  $2,4\%$  des Körpergewichts aus, während nach Durchschneidung des Halsmarkes bez. der n. splanchnici unter gleichen Bedingungen bei 3 Thieren nur  $1,5\%$  des Körpergewichts an Blut gewonnen wurden.

Ausser dieser Analogie besteht dem vorstehenden Versuche gemäss zwischen dem arteriellen Drucke und der Stromgeschwindigkeit in einem Gefässwerk, dessen Tonus gelähmt ist, noch die andere, dass beide nach der Unterbindung der Pfortader noch um ein merkliches abnehmen.

Diese Versuche, welche als eine genauere Ausführung der Beobachtungen anzusehn sind, die schon früher *L. Brunton*<sup>1)</sup> erwähnt hat, erweitern den Beweis, welchen *Heidenhain*<sup>2)</sup> für einzelne Abschnitte des Säugethierkreislaufes erbracht hat, auf den Gesamtstrom, so dass nun der Zusammenhang zwischen Tonus und Geschwindigkeit, auf welchen *Goltz* in seiner wichtigen schon oben erwähnten Abhandlung hingewiesen, nicht bloss für den Frosch, sondern auch für das Säugethier als gültig anzusehn ist.

Für weniger richtig würde ich es halten, wenn man die Verlangsamung des Blutstroms, die auf die Verschliessung der Pfortader folgt, auf die Herabsetzung des Tonus der Gefässwand schieben wollte. Dieses geht darum nicht an, weil die Wirkung des Pfortaderverschlusses über die der Rückenmarksdurchschneidung hinausgeht, und weil sich in den ersten Minuten nach der vollendeten Unterbindung die Geschwindigkeit des Stroms schon sehr bedeutend vermindert hat, obwohl zu jener

1) Diese Berichte Jahrgang 1869. p. 294.

2) *Pflügers Archiv für Physiologie* III. Bd. p. 505 u. f. — *ibid.* V. Bd. p. 77 u. f.

Zeit von einer Lähmung der Gefäßwand noch nicht die Rede sein kann.

Immerhin wird es räthlich sein, die volle Entscheidung dieser Frage zukünftigen Versuchen zu überlassen, die uns darüber Auskunft zu geben haben, warum nach dem Pfortaderverschluss das reichlich zu Gebote stehende Blut in eine Lage versetzt wird, welche es ihm unmöglich macht, wirksam in den Strom einzugreifen.

---