

# Ueber die Verzweigungen der Blutgefässe.

Eine morphologische Studie\*)

von

**Dr. W. Roux,**

approb. Arzt aus Jena.

Hierzu Tafel VIII.

---

## I. Methodik und Fehlerquellen.

§. 1. Im Laufe einer unternommenen Arbeit über die Entwicklung der Leber trat die Nöthigung an mich heran, um mit Verständniss weiter arbeiten zu können, zunächst eine allgemeinere Untersuchung über die Modi der Blutgefässverzweigungen und -Verbindungen anzustellen und zuzusehen, ob innerhalb der grossen Mannichfaltigkeit derselben nicht irgendwelche Regeln bestimmend sich aussprechen.

Im Folgenden werden die Resultate dieser Untersuchungen mitgetheilt werden, nachdem zuvor die technische Methode, mittelst deren sie gewonnen sind, und die Fehlerquellen einer kurzen, zur Beurtheilung der Zuverlässigkeit der Resultate nöthigen Darlegung gewürdigt worden sind. In einem dritten Abschnitt werden dann einige Erklärungsversuche über einen Theil der gefundenen Erscheinungen angestellt werden. —

Da es sich darum handelte, die Gestalt des Lumens und die räumlichen Lagerungsbeziehungen verzweigter, hohler Gebilde lebenswahr dem Auge darzustellen, musste zur Corrosionsmethode gegriffen werden, und es war die Aufgabe, eine Injectionsmasse ausfindig zu machen, welche geeignet ist, dieser Forderung zu entsprechen.

Von den zunächst versuchten, bekannten Corrosionsmassen zeigte sich die sonst leicht zu handhabende Hoyer'sche Schellackmasse deshalb nicht geeignet, weil sie sehr spröde und bröckelig ist, so dass die mit ihrer Hülfe hergestellten Abgüsse feinerer

---

\*) In Separatabdruck und als Diss. inaug. erschienen bei Gust. Fischer, Jena 1878.

Gefässäste die beim Messen nöthigen Manipulationen nicht unversehrt auszuhalten, geschweige denn zu überstehen pflegen.

Versuche mit Hyrtl's Masse aus eingedicktem Mastixfirniss erwiesen sie gleichfalls als für die genannten Zwecke unbrauchbar, weil sie selbst bei Siedetemperatur noch so dickflüssig ist, dass, wenn die Organe nicht bis zum Verbrühen erwärmt sind, unter relativ starkem Druck injicirt werden muss, wobei dann Dehnungen der Gefässe entstehen, welche bei der Fixirung der Gefässe auf weniger dehnbarer Unterlage zu Biegungen führen, die in ihrer Gestalt der Ausnutzung des vorhandenen Spielraumes entsprechen: Schlängelungen bis zu mäandrischen Krümmungen, bis zu einander folgenden Biegungen von  $180^\circ$  nach entgegengesetzter Richtung, und Spiralwindungen.

Es galt also, eine in der gewöhnlichen Zimmertemperatur vollkommen unbiegsame, nicht zu brüchige, der Salzsäureeinwirkung widerstehende Masse zu finden, welche schon unterhalb der Siedewärme des Wassers schmilzt und dabei dünnflüssig wie lebendes Blut ist. Die Siedetemperatur muss deshalb vermieden werden, weil in ihr die verschiedenen Gewebe ihre Cohäsion und Elasticität in verschiedener Weise ändern, so dass Verzerrungen entstehen. Zu diesem Zwecke wurde eine Reihe von Stoffen, welche in der Kälte und in der Hitze annähernd die verlangten Eigenschaften besaßen, ausgewählt und Theile von ihnen in Salzsäure, andere Theile aber in Kalilauge gethan; Letzteres, um auch eine Masse zu finden, welche zur Corrosion des Gehirns und Rückenmarkes sich eignet, da diese sowie auch die Nerven, Epidermis, Haare und Linse von Säuren nicht corrodirt werden.

§. 2. Es ergab sich, dass eine Mischung von 5 Theilen Colophonium und 1 Theil weissen Wachses den vorliegenden Bedürfnissen vollkommen entspricht, indem, bei dem Vorhandensein der sonstigen verlangten Eigenschaften, Fäden aus ihr von 0,3 Mm. Dicke noch vollkommen unbiegsam sind. Ebenso gut hielt auch eine Mischung von Colophonium und Rindstalg die Corrosion aus; da aber das Rindstalg die Masse nicht bloß elastisch, sondern auch etwas biegsam macht, wurde es nicht weiter verwandt.

Mit dieser Mischung aus Wachs und Colophonium erhielt ich nun mit steigender Uebung immer bessere Präparate, so dass zuletzt die Abgüsse der Gefässe mancher Organe keine einzige Biegung im Verlauf der Aeste zeigten.

§. 3. Die Fehlerquellen angehend, welche in der Zeit vom normalen Leben des Organes bis zur notirten Messung des Gefäss-

abgusses die Richtigkeit der Resultate beeinträchtigen können, und bezüglich ihrer Elimination ist Folgendes zu erwähnen. Organe mit macroscopisch wahrnehmbaren pathologischen Eigenschaften wurden nicht injicirt. Die alterirende Einwirkung der Todtenstarre der Gefäßmuskeln und der anderen Gewebe konnte bei den menschlichen Organen nicht umgangen werden, aber für die Untersuchungen an Thieren wurden die aus dieser Ursache entspringenden Fehler vermieden, indem die Injection sofort nach dem Tode ausgeführt wurde. Für die Untersuchungen an menschlichen Organen muss sogar eine beginnende Fäulniss als alterirend in Rechnung gebracht werden. In Bezug auf die Lebensalter wurden die Resultate an 2 Neugeborenen, 1 einjährigen Kinde, 2 Männern von etwa 30, und 4 Männern von etwa 60 Jahren gewonnen.

Ferner sind zu berücksichtigen die äusseren und inneren Gestaltveränderungen der Organe, welche stattfinden, wenn dieselben, durch Eröffnung der sie einschliessenden Höhlen oder gar durch vollkommenes Herausnehmen aus dem Körper, aus dem System allseitig einwirkender Druck- und Zugkräfte, unter welchen sie entstanden sind und gelebt haben, entfernt werden. Zur Beschränkung dieser Fehler wurde möglichst *in situ naturali* injicirt. Die Lungen wurden daher ohne Eröffnung der Brusthöhlen injicirt: zuerst die Trachea und dann vom allein eröffneten Herzbeutel aus die Lungenarterien und Lungenvenen. Die Aorta thoracica und die Herzarterien wurden ebenfalls bei geschlossenen Brusthöhlen, von der Aorta abdominalis aus, injicirt, sowie auch die Venen des Thorax und Herzens, deren Injection von der V. jug. ext. aus geschah, nachdem vorher mit einer langen, möglichst weiten und entsprechend gebogenen Glasröhre das flüssige und geronnene Blut aus dem rechten Vorhof und Ventricel durch Aspiration grösstentheils entfernt worden war. Die V. cava inf. muss dabei vorher, von der Bauchhöhle aus, oberhalb der Leber unterbunden worden sein.

Die Erwärmung geschah in nie über 45° zeigendem Wasser.

Die aus dem Körper herausgenommenen injicirten Organe zeigten viel mehr Ausnahmen von den unten aufgestellten Regeln, zumal an den Randtheilen, wo sich dann auch Biegungen der Aeste in der Continuität derselben zeigten.

Ein weiterer, zu beachtender Umstand ist der, dass die Venen, zumal die Nierenvenen, älterer Individuen in prall gefülltem Zustande so dick sind, dass sie die in ihrer Nähe verlaufenden, und



von der eben vorhergegangenen Injection noch mit weicher Masse erfüllten Arterien stark verbiegen und so Formen derselben erzeugen, welche nicht physiologisch sein können, da eine dauernd pralle Füllung der inneren Venen normal nicht besteht.

§. 4. Es ist nun zu erörtern, wie weit überhaupt die Injection mit erstarrenden Massen fähig ist, uns die Gestalt des Gefässlumens während des Lebens zu zeigen.

Wenn man erwägt, dass in der Zeit des Erstarrens der Injectionsmasse die Propulsionsbewegung derselben längst aufgehört hat, so erhellt, dass die Injection uns die Gefässe blos im ruhend gefüllten, und daher in jedem Querschnitt der Kreisform möglichst genäherten Zustande giebt, während von der Gestalt, welche der hier Strudel bildende, dort anprallende, da sich verbreiternde und dort sich zusammenziehende Blutstrom vielleicht hervorbringt, nichts zu erkennen sein wird; es sei denn dass Anpassungen der Gefässwand und ihrer Umgebung an diese Stromformen stattgefunden hätten, welche so fest wären, dass sie durch den ausgleichenden Seitendruck der Injection nicht oder wenigstens nicht ganz überwunden würden. Dies würde um so eher der Fall sein, je weniger der Injectionsdruck den physiologischen Blutdruck des Organes übersteigt.

Es folgt daraus, dass man zwar aus einem runden Querschnitt des Abgusses nicht auf die gleiche Gestalt desselben während des Lebens schliessen darf, dass aber umgekehrt eine von der Kreisform abweichende Gestalt des Querschnittes der Abgüsse auf ein physiologisches Bedingtsein und auf ein Bestehen während des Lebens hinweist, falls nämlich die Erscheinung constant ist und ihrer Natur nach nicht auf äussere Einwirkungen zurückgeführt werden kann.

Hoher Injectionsdruck wird aber nicht blos den Querschnitt abrunden, sondern auch, je nach der Festigkeit der Wandung, mehr oder weniger vergrössern. Da nun die Verzweigungsstellen der Arterien festere Wandungen haben, als der Verlauf der Gefässe, so wird letzterer vorzüglich betroffen werden; was auch die Erfahrung genugsam bestätigt hat, indem die durch Injection erhaltenen Resultate, welche eine vom Ursprung des Gefässes an allmählich immer stärker werdende Erweiterung ergaben, mit den Befunden an nicht injicirten, aufgeschnittenen entsprechenden Gefässen der anderen Körperhälfte oder anderer Individuen verglichen wurden. Diese Alterationen entstehen schon bei einem Drucke, welcher noch keine deutlichen Verlängerungen und ent-

sprechende Schlängelungen hervorzubringen vermag. So schwer es daher ist, sie zu vermeiden, so ist es bei der wasserähnlichen Dünntlüssigkeit der angewandten Masse schliesslich doch gelungen, zu hohen Injectionsdruck vollkommen auszuschliessen. Nach der Injection muss das Organ bis zur vollendeten Erstarrung vollkommen unverändert in seiner natürlichen Lage erhalten werden, wenn nicht Verbiegungen entstehen sollen. Die Erstarrung pflegt selbst bei Anwendung kalten Wassers nicht vor 6 Stunden beendet zu sein, da sie nicht durch die Abkühlung allein bedingt ist. Vom Momente der vollkommenen Erstarrung dagegen an können auf die Präparate keine Fehler bildenden, sondern nur zerstörende Kräfte eingewirkt haben, denn die genannte Masse ist bis zu einer Temperatur von  $18^{\circ}$  vollkommen unbiegsam, und das Wasser, in welchem die Präparate bis nach der Messung aufbewahrt wurden, hat die Temperatur von  $14^{\circ}$  nie überschritten.

§. 5. Messungen der Gefässe, welche, um die Genese zu studiren, an der Area vasculosa und dem Amnion des Hühnchens bis zum 9. Brüttage vorgenommen wurden, geschahen an Präparaten, welche mit  $\frac{1}{4}$  procentiger Ueberosmiumsäure gehärtet und nur möglichst kurze Zeit zur Aufhellung in gut verharztem Terpentin gelassen waren. Trotzdem aber können die Resultate dieser Messungen natürlich keinen Anspruch auf ähnliche Naturwahrheit machen, wie die an Corrosionspräparaten gewonnenen.

§. 6. Noch müssen berücksichtigt werden die Fehlerquellen und Fehlergrössen, die aus den angewandten Methoden des Messens sich ergeben.

Die Gefässe von weniger als 2,6 Mm. Durchmesser wurden microscopisch gemessen; und da dabei die Fehlergrösse durch Einstellung, Seitenverschiebung des Oculars und schräge Projection nicht wohl einen halben Theilstrich des Ocularmicrometer überschritten haben kann, das Objectiv aber stets so stark gewählt wurde, dass der schwächste Ast wenigstens 10 Theilstriche deckte, so beträgt das Maximum der aus diesem Acte des Messens hervorgehenden Fehlergrösse  $\frac{1}{20}$ , welchem im Durchschnitt aber nur etwa  $\frac{1}{35}$  entsprechen dürfte.

Die Stärke 2,6 Mm. und darüber im Durchmesser haltender Gefässe wurde mit einem gut justirten Tasterzirkel aufgenommen und unter Auflegen auf einen in halbe Millimeter getheilten Maassstab unter Loupenvergrösserung abgelesen. Das Maximum der Fehlergrösse kann hier  $\frac{1}{15}$ , das Mittel etwa  $\frac{1}{25}$  betragen.

Die Winkelmessung geschah microscopisch mit einem Gonio-



meterocular vereinfachter Construction, macroscopisch durch Anhalten eines genau gearbeiteten Winkels mit verstellbaren Branchen und Uebertragen auf einen Transporteur. Die Fehlergrösse, die sich aus dem Bau der Messinstrumente ergibt, umfasst hier einen halben Grad. Da es bei den Winkelmessungen aber darauf ankommt, dass die Verzweigungsebene der Gefässe genau parallel ist der Winkalebene des Goniometer, so ist die Genauigkeit des Resultates direct abhängig von der Uebung des Messenden. Wir glauben als Maximum der vorgekommenen Winkeldifferenz beider Ebenen  $10^\circ$  bezeichnen zu können, wobei dann das Fehlermaximum, wenn die Drehung als um einen der Schenkel des Winkels erfolgt, angenommen wird, bei Winkelgrössen von  $45^\circ$  liegt und  $-26'$  beträgt, nach der leicht zu entwickelnden Formel

$$\operatorname{tg} x = \operatorname{tg} \alpha \cos \varphi.$$

In dieser Formel bezeichnet  $\alpha$  den Astwinkel und  $x$  die Projection desselben bei der Drehung um  $\varphi$  Grad. Wenn die Drehung als um eine in der Verzweigungsebene gelegene Senkrechte zu einem der Schenkel angenommen wird, liegt das Maximum gleichfalls bei  $45^\circ$  und beträgt  $+26'$  nach der Formel

$$\operatorname{tg} x = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\cos \varphi}.$$

Von  $45^\circ$  an nimmt die Fehlergrösse nach beiden Seiten hin rasch ab, und man ersieht aus der Vorzeichnung, dass bei gleichzeitiger Drehung nach diesen beiden Richtungen die Fehler beider sich gegenseitig verringern, eventuell aufheben.

Die Fehlergrösse der Winkelmessungen wird noch beträchtlich gesteigert durch den Umstand, dass die Gefässe am Ursprung resp. an der Vereinigungsstelle nicht parallel contourirt sind, wozu noch kommt, dass viele Gefässe nicht gleich in ihrer definitiven Richtung entspringen, sondern dieselbe erst durch allmähliche Biegung erlangen. Durch diese Momente wird die Fehlergrösse von  $1^\circ$  auf  $2^\circ$ , ja manchmal noch mehr erhöht, so dass sie im Mittel  $\frac{1}{15}$ , im Maximum bei geringen Ablenkungen des Stammes  $\frac{1}{3}$ , selbst  $\frac{1}{2}$  erreichen kann. Wie in diesen Fällen verfahren wurde, um ausser durch Repetition der Messung die Fehler zu verringern, kann erst nach genauer Beschreibung der Gestalt der Gefässverzweigungen mitgetheilt werden (§. 56).

§. 7. Für die Wahl des Materials war der Zufall entscheidend; doch glaube ich dem Principe der Vollständigkeit der Untersuchungen annähernd Genüge geleistet zu haben, indem ich vom

Menschen 6 Lebern Erwachsener, 2 Kindslebern, 7 Nieren Erwachsener und 2 Kindsnieren, 2 Milzen Erwachsener und 1 Kindsmilz, 4 Aorten, 2 mal die Extremitätenarterien, 3 mal die Gehirnarterien, 2 mal die Arterien des Kopfs, 3 mal die Herzarterien und Venen, 2 mal die Thorax- und Oberarmvenen, 2 Lungen Erwachsener und 1 Kindslunge mit Corrosionsmasse injicirt und untersucht habe. Dazu kommen noch Vergleiche an vielen Organen, deren Gefässe blos mit der Scheere aufgeschnitten wurden, und an mit Wachs injicirten Hirnhäuten, Därmen und Extremitäten.

Von Thieren wurden injicirt: Die Lebern von 2 Kaninchen, 2 Katzen und 1 Meerschweinchen; 2 Kaninchen- und 1 Katzenaorta, 2 Kaninchenmilzen, die Lungen und die Extremitätenarterien eines Kaninchens und eine Krokodilleber. Auch hier stehen den Corrosionsresultaten eine grosse Anzahl von Inspectionen natürlich injicirter flächenhafter Organe und Untersuchungen mit der Scheere ergänzend und controlirend zur Seite.

## II. Morphographie der Blutgefässverzweigungen und -Verbindungen.

### A. Richtungsverhältnisse.

§. 8. Regel I: Die Axe des Ursprungstheiles jedes Arterienastes liegt in einer Ebene, welche durch die Axe des Stammgefässes und den Mittelpunkt der Ursprungsfläche des Astes bestimmt ist.

Diese Verzweigungsebene *κατ' ἐξοχήν* soll im Folgenden der leichteren Verständigung halber immer Stammachsen-Radialebene genannt werden, wobei unter Radius speciell der durch das Loth von der Mitte der Ursprungsfläche des Astes auf die Axe des Stammgefässes dargestellte verstanden ist. Bei Betrachtung in einer der Stammesaxe parallelen Richtung muss der Ast nach dieser Regel also immer die Richtung dieses Radius zeigen (s. die Tafel, Fig. 1).

Die Regel gilt fast ausnahmslos für die Arterien derjenigen Organe, welche wenn auch geringen Volumenschwankungen, so doch nicht bedeutenden Gestaltveränderungen während des Lebens

ausgesetzt sind: So für die Arterien der Nieren, der Milz, der pia und dura mater, für den Ursprung der meisten Intercostalarterien, für den Gefässhof des Hühnchens, ja im Allgemeinen selbst für die Lungenarterien; ausserdem noch für die Verzweigungen der V. port., welche auch in den folgenden für die Arterien ausgesprochenen Regeln immer mit einbegriffen sind, soweit nicht Unterschiede besonders hervorgehoben werden. Dagegen zeigen die Aeste der zwischen Muskeln verlaufenden Arterien der Extremitäten, des Halses, der Bauchwand, weniger der Gedärme, auch bei Injection in physiologischer Ruhestellung eine beträchtliche Anzahl, etwa 20 Procent, Ausnahmen: Ein Verhalten, das sich bei diesen Gefässen für die folgenden Regeln wiederholt und noch steigert. Bei flüchtiger Betrachtung scheint die Zahl der Ausnahmen an diesen Localitäten noch grösser, da ein grosser Theil der Aeste, welche seitwärts von der Stammaxen-Radialebene verlaufen, doch in ihr entspringt und nur gleich nach dem Ursprung sich seitwärts aus ihr herausbiegt.

Eine der evidentesten und, wie es scheint, ziemlich constanten Ausnahmen bilden die Arterien einer Localität, an welcher die stattfindenden Gestaltveränderungen durch Bewegung der Theile nicht eine genügende Veranlassung bieten, nämlich an der hinteren Biegung des Arcus aortae. Die daselbst entspringenden seitwärts verlaufenden feinen Arterien weichen mit ihrem Ursprunge schon an 70 ° aus der Stammaxenradialebene ab. Ein ähnliches Verhalten kommt an Aa. lumbales vor.

§. 9. Die Einmündung der Venen in einen Stamm geschieht im Allgemeinen in einer den beschriebenen Verhältnissen der Arterienverzweigungen entsprechenden Weise, indem die Axe des Einmündungsstückes des Astes in ihrer Verlängerung die Axe des Stammes schneidet. Doch sind hiervon Abweichungen, namentlich geringeren Grades, und selbst an den Drüsenvenen nicht selten.

§. 10. Regel IIa.: Bei der Abgabe eines Astes zeigt sich der Arterien-Stamm von seiner bisherigen Richtung abgelenkt.

Eine solche Ablenkung des Stammes ist blos wahrnehmbar, wenn der definitive Durchmesser des Astlumens wenigstens  $\frac{2}{5}$  dessen des Stammes beträgt.

Es ist hierbei und auch im Folgenden immer bei jeder Verzweigung das schwächere Gefäss als der Ast und das stärkere als die Fortsetzung des Stammes angesehen worden.



Diese Verhältnisszahl  $\frac{2}{5}$  hat bloß die Bedeutung eines Mittelwerthes, denn es kommt vor, dass bei  $\frac{1}{2}$  keine Ablenkung vorhanden ist, während sie bei einer Aststärke von  $\frac{1}{3}$  des Stammdurchmessers deutlich ausgesprochen sein kann, da ausser der relativen Stärke des Astes noch andere Factoren die Ablenkungsgrösse des Stammes bestimmen. Dass aber die Ablenkung des Stammes bei der Theilung eine Function der Astabgabe und nicht umgekehrt die Astabgabe eine Function der Ablenkung des Stammes ist, geht daraus hervor, dass Astabgaben ohne gleichzeitige Ablenkung des Stammes vorkommen. Wir werden daher im Folgenden immer die Ablenkung des Stammes als in Abhängigkeit von den Verhältnissen des Astes, nicht umgekehrt, darstellen und werden ausserdem in §. 32 Gelegenheit erhalten, einen noch zwingenderen Grund für diese Auffassungsweise anzuführen.

Evidente Ausnahmen von dieser Regel kommen vor, und zwar besonders in muskulösen Theilen und am Rande der Leber, indem sich in diesen Theilen der Stamm zuweilen gerade fortsetzt, trotz der Abgabe eines relativ starken Astes. Es ist noch nicht eruirt, ob diese Erscheinung am Leberrande physiologisch oder artefact ist.

§. 11. Für die Venen besteht wieder eine entsprechende Regel, indem der durch die Vereinigung zweier Venen gebildete Stamm von der Richtung beider Gefässe abweicht. Diese Abweichung findet hier schon statt, wenn der Durchmesser des schwächeren Gefässes im Mittel auch nur  $\frac{1}{4}$  vom Durchmesser des stärkeren beträgt.

§. 12. Regel IIb.: Die bezüglichliche Ablenkung des Arterien-Stammes erfolgt in der Weise, dass seine Axe in der durch die Ursprungsstelle des Astes bestimmten Stammaxen - Radialebene verbleibt.

Die Lage des Mittelpunktes der Ursprungsstelle des Astes zur Axe des Stammes ist also nicht bloß bestimmend für die Ursprungsrichtung des Astes, sondern auch für die Richtung der abgelenkten Fortsetzung des Stammes. Ausnahmen von dieser Regel sind selbst an den Extremitäten nicht häufig und, wenn man sie an Drüsen findet, kann man sicher sein, dass sie durch fremde äussere Einwirkungen bedingt sind. Wenn darauf geachtet wird, wird man in diesen letzteren Fällen noch weitere Spuren solcher Einwirkungen an der Nachbarschaft dieser Stellen

bemerken, nämlich Ausnahmen von noch anderen, im Folgenden aufzuführenden Regeln, welche alle nach einer Richtung hin liegen und so auf eine gemeinsame Ursache hinweisen, an anderen, besser gelungenen Präparaten aber fehlen. Die Krümmung der Oberfläche des Körpers und der einzelnen Organe kommt für die Verzweigungen der in ihr verlaufenden Arterien nicht in Betracht, da sich, wie besonders hervorgehoben werden muss, diese und auch die noch folgenden Regeln nur auf das Anfangsstück der Gefässe nach der Theilung, nämlich blos auf eine Strecke beziehen, welche nicht viel grösser ist als der Querdurchmesser des betreffenden Gefässes.

§. 13. Für die Venen lautet die entsprechende Regel: Die Axe des aus der Vereinigung zweier Venen hervorgehenden Stammes liegt in der durch die Axen der beiden Gefässe bestimmten Ebene.

Hierbei ist natürlich die Erfüllung der Regel I, §. 9 die nothwendige Voraussetzung, da sonst keine Ebene durch die beiden Axen gelegt werden kann. Kleine Abweichungen sind auch hier wieder, wie von Regel I, ziemlich häufig.

§. 14. Regel IIc.: Die Ablenkung des Stammes erfolgt nach der dem Aste entgegengesetzten Seite.

Ausnahmen von dieser Regel sind sehr selten und kommen blos an den „Muskelarterien“ vor.

§. 15. Für die Venen hat diese Regel gleichfalls Giltigkeit und lautet hier:

Der durch die Vereinigung zweier Venen entstehende Stamm weicht von der Richtung des stärkeren beider Gefässe nach der des schwächeren hin ab.

§. 16. Regel II d.: Die Ablenkung des Arterienstammes ist stets geringer als die Abweichung des Astes von der ursprünglichen Stammes-Richtung.

Ausnahmen von dieser Regel finden sich wieder blos an den „Muskelarterien“ in dem in §. 8 angegebenen Sinne.

§. 17. Für die Venen erhält die Regel folgende Form: Der aus der Vereinigung zweier Venen hervorgehende Stamm weicht weniger von der Rich-

tung des stärkeren beider Gefässe ab, als von der des schwächeren.

§. 18. Die einzelnen Bestimmungen der Regel II zusammengefasst, lautet sie für Arterien (s. Fig. 9):

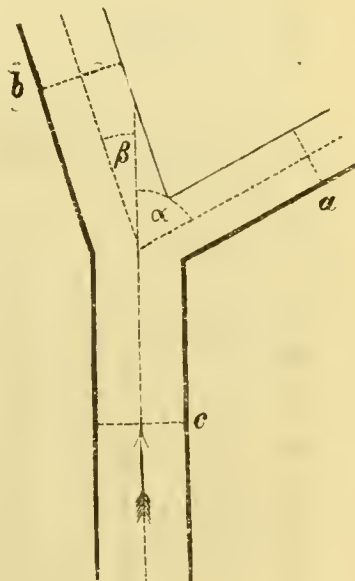
Bei der Abgabe eines Astes, dessen Durchmesser im Lichten  $\frac{2}{5}$  des Stammesdurchmessers überschreitet, zeigt sich der Arterien-Stamm von seiner ursprünglichen Richtung innerhalb der Stammaxen Radialebene abgelenkt, und zwar erfolgt diese Ablenkung nach der dem Aste entgegengesetzten Seite und ist stets geringer, als die Abweichung des Astes von der ursprünglichen Stammesrichtung.

Für Venen:

Der durch die Vereinigung zweier Venen hervorgehende Stamm weicht innerhalb der Vereinigungsebene beider Gefässe von der Richtung des stärkeren nach der des schwächeren hin ab, wofern der Durchmesser des schwächeren Gefässes  $\frac{1}{4}$  vom Durchmesser des stärkeren überschreitet. Diese Abweichung erfolgt in der Weise, dass die Richtung des Stammes der des stärkeren Gefässes näher steht als der des schwächeren.

§. 19. Regel III: Die Grösse der Ablenkung, welche der Arterien-Stamm in Regel II entsprechender Weise bei der Astabgabe erfährt, wächst mit der relativen Stärke des Astes.

Hierbei ist die Stärke des Astes auf die der Fortsetzung des Stammes bezogen. Wenn wir nun, wie in nebenstehender Fig., den Durchmesser des Astes mit  $a$ , den der Fortsetzung des Stammes mit  $b$  bezeichnen und  $\alpha$  den Ast-Winkel, das heisst den Winkel, welchen der abgehende Ast mit der ursprünglichen Stammesrichtung macht, und  $\beta$  den Winkel, welchen die Fortsetzung des Stammes nach der Astabgabe mit dieser Richtung bildet, nennen wollen, wobei dann  $\alpha + \beta$  den Verästelungs-Winkel darstellen würde, so müssen wir unsere Messungen nach  $\alpha$  ordnen, um Reihen zu erhalten, in welchen  $\alpha$  entweder ganz gleich ist oder nur innerhalb der





Fehlergrenze variirt; alsdann können wir sehen, ob innerhalb dieser Reihen der Regel entsprechend die zugehörigen  $\beta$  mit der Grösse des Quotienten  $\frac{a}{b}$  zugleich wachsen.

Es sind in den folgenden Tabellen die Grössen vom Durchmesser des Stammes vor der Verästelung und von  $a$  und  $b$  nicht mit aufgeführt, einerseits um nicht unnöthiger Weise den doppelten

Tabelle I.

| $a$ | $\frac{a}{b}$ | $\beta$ | $a$         | $\frac{a}{b}$ | $\beta$ |
|-----|---------------|---------|-------------|---------------|---------|
| 18  | 0,83          | 14      | 55          | 0,33          | 7       |
| 18  | 0,88          | 17      | 54          | 0,61          | 10      |
|     |               |         | 55          | 0,83          | 17      |
| 23  | 0,43          | 8       |             |               |         |
| 23  | 0,72          | 14      | 60          | 0,45          | 15      |
| 23  | 0,80          | 18      | 60          | 0,55          | 27      |
| 22  | 0,88          | 19      | 57          | 0,87          | 39      |
| 22  | 0,95          | 21      |             |               |         |
|     |               |         | 66          | 0,75          | 27      |
| 24  | 0,66          | 11      | 68          | 0,83          | 48      |
| 24  | 0,85          | 18      |             |               |         |
|     |               |         | 83          | 0,38          | 4       |
| 25  | 0,57          | 16      | 86          | 0,44          | 9       |
| 25  | 0,77          | 18      | 76          | 0,86          | 32      |
|     |               |         |             |               |         |
| 27  | 0,71          | 11      | Vereinzelt: |               |         |
| 27  | 0,91          | 20      | 90          | 0,43          | 34      |
| 27  | 0,91          | 21      |             |               |         |
|     |               |         | 102         | 0,43          | 4       |
|     |               |         |             |               |         |
| 36  | 0,40          | 15      | Ausnahmen:  |               |         |
| 37  | 0,71          | 22      | 26          | 0,71          | 6       |
| 39  | 0,85          | 30      | 46          | 0,83          | 6       |
|     |               |         | 48          | 0,91          | 6       |
| 40  | 0,68          | 9       | 60          | 0,50          | 12      |
| 40  | 0,83          | 25      |             |               |         |
|     |               |         |             |               |         |
| 42  | 0,81          | 28      | 17          | 0,83          | 19      |
| 42  | 0,83          | 32      | 44          | 0,74          | 0       |
|     |               |         | 15          | 0,80          | 28      |
| 43  | 0,77          | 29      | 23          | 0,98          | 14      |
| 43  | 0,81          | 33      | 16          | 0,83          | 20      |
|     |               |         | 27          | 0,87          | 33      |
|     |               |         | 20          | 0,83          | 33      |
| 49  | 0,71          | 10      | 16          | 0,94          | 23      |
| 48  | 0,88          | 11      | 62          | 0,91          | 39      |
|     |               |         | 67          | 1,00          | 30      |
| 46  | 0,69          | 14      | 76          | 1,00          | 18      |
| 44  | 0,88          | 22      | 32          | 0,87          | 8       |
|     |               |         | 15          | 0,73          | 13      |
| 50  | 0,58          | 17      | 27          | 0,91          | 36      |
| 51  | 0,86          | 29      |             |               |         |

Tabelle II.

| $a$ | $\frac{a}{b}$ | $\beta$ | $a$         | $\frac{a}{b}$ | $\beta$ |
|-----|---------------|---------|-------------|---------------|---------|
| 38  | 0,23          | 16      | Vereinzelt: |               |         |
| 38  | 0,76          | 27      | 29          | 0,45          | 18      |
|     |               |         | 32          | 0,54          | 24      |
| 45  | 0,37          | 14      | 35          | 0,47          | 28      |
| 45  | 0,66          | 19      | 40          | 0,39          | 25      |
|     |               |         |             |               |         |
| 45  | 0,43          | 21      | Ausnahmen:  |               |         |
| 46  | 0,59          | 35      | 49          | 0,43          | 22      |
| 46  | 0,87          | 37      | 53          | 0,59          | 13      |
|     |               |         | 54          | 0,51          | 19      |
|     |               |         | 62          | 0,34          | 6       |
| 50  | 0,18          | 6       | 62          | 0,34          | 8       |
| 49  | 0,90          | 23      | 62          | 0,26          | 15      |
|     |               |         | 62          | 0,23          | 16      |
| 51  | 0,37          | 6       | 63          | 0,45          | 16      |
| 51  | 0,41          | 8       | 64          | 0,47          | 20      |
|     |               |         | 65          | 0,43          | 45      |
| 60  | 0,26          | 19      | 66          | 0,50          | 32      |
| 60  | 0,41          | 37      | 74          | 0,37          | 11      |
|     |               |         | 75          | 0,29          | 10      |
|     |               |         |             |               |         |
| 63  | 0,25          | 16      |             |               |         |
| 64  | 0,31          | 20      |             |               |         |
| 66  | 0,47          | 32      |             |               |         |
|     |               |         |             |               |         |
| 70  | 0,33          | 8       |             |               |         |
| 71  | 0,66          | 22      |             |               |         |
|     |               |         |             |               |         |
| 75  | 0,31          | 10      |             |               |         |
| 74  | 0,33          | 14      |             |               |         |
|     |               |         |             |               |         |
| 77  | 0,20          | 20      |             |               |         |
| 78  | 0,38          | 25      |             |               |         |
| 76  | 0,83          | 30      |             |               |         |
|     |               |         |             |               |         |
| 80  | 0,50          | 18      |             |               |         |
| 81  | 0,52          | 20      |             |               |         |
| 80  | 0,59          | 27      |             |               |         |
| 80  | 0,77          | 39      |             |               |         |
|     |               |         |             |               |         |
| 88  | 0,36          | 20      |             |               |         |
| 82  | 0,50          | 42      |             |               |         |

Tabelle III.

| $\alpha$ | $\frac{a}{b}$ | $\beta$ | $\alpha$    | $\frac{a}{b}$ | $\beta$ |
|----------|---------------|---------|-------------|---------------|---------|
| 20       | 0,78          | 13      | 43          | 0,41          | 3       |
| 21       | 0,84          | 14      | 45          | 0,55          | 6       |
| 22       | 1,00          | 20      | 45          | 0,69          | 12      |
|          |               |         | 45          | 0,94          | 28      |
| 29       | 0,50          | 2       |             |               |         |
| 28       | 0,87          | 17      | 48          | 0,86          | 31      |
|          |               |         | 48          | 0,93          | 40      |
| 30       | 0,60          | 2       | 46          | 0,99          | 46      |
| 28       | 0,85          | 22      |             |               |         |
|          |               |         | 49          | 0,76          | 26      |
| 31       | 0,83          | 7       | 50          | 0,89          | 39      |
| 30       | 0,91          | 10      |             |               |         |
|          |               |         | 50          | 0,50          | 8       |
| 32       | 0,90          | 10      | 50          | 0,64          | 17      |
| 31       | 0,91          | 12      |             |               |         |
|          |               |         | 52          | 0,77          | 6       |
| 32       | 0,40          | 5       | 52          | 0,99          | 17      |
| 33       | 0,71          | 30      |             |               |         |
|          |               |         | 54          | 0,62          | 9       |
| 35       | 0,66          | 12      | 52          | 0,83          | 15      |
| 34       | 0,92          | 20      |             |               |         |
| 34       | 0,94          | 26      | 53          | 0,42          | 15      |
| 35       | 0,99          | 32      | 53          | 0,58          | 11      |
|          |               |         | 52          | 0,59          | 15      |
| 35       | 0,64          | 10      |             |               |         |
| 35       | 0,80          | 28      | 56          | 0,50          | 0       |
| 35       | 0,93          | 31      | 58          | 0,65          | 12      |
|          |               |         | 58          | 0,78          | 15      |
| 36       | 0,83          | 21      |             |               |         |
| 35       | 0,91          | 35      | 63          | 0,45          | 6       |
|          |               |         | 60          | 0,60          | 16      |
| 37       | 0,86          | 6       | 62          | 0,54          | 20      |
| 37       | 0,88          | 16      |             |               |         |
|          |               |         | 68          | 0,80          | 16      |
| 38       | 0,59          | 10      | 68          | 0,83          | 17      |
| 38       | 0,83          | 22      |             |               |         |
| 40       | 0,91          | 33      | 71          | 0,62          | 5       |
|          |               |         | 72          | 0,76          | 20      |
| 41       | 0,54          | 6       |             |               |         |
| 41       | 0,88          | 30      | Vereinzelt: |               |         |
|          |               |         | 82          | 0,84          | 40      |
| 42       | 0,46          | 3       | 100         | 0,83          | 25      |
| 42       | 0,60          | 15      | 67          | 0,80          | 65      |
| 43       | 0,76          | 17      | 65          | 0,66          | 17      |
| 42       | 0,96          | 37      | 24          | 1,00          | 24      |
|          |               |         | Ausnahmen:  |               |         |
|          |               |         | 61          | 0,59          | 0       |
|          |               |         | 50          | 0,77          | 15      |
|          |               |         | 36          | 0,69          | 29      |

Tabelle IV.

| $\gamma$    | $\frac{a}{b}$ | $\beta$ |
|-------------|---------------|---------|
| 34          | 0,33          | 11      |
| 31          | 0,74          | 12      |
|             |               |         |
| 41          | 0,29          | 8       |
| 42          | 0,38          | 12      |
| 40          | 0,50          | 16      |
| 37          | 1,00          | 18      |
|             |               |         |
| 53          | 0,29          | 15      |
| 50          | 0,37          | 16      |
| 56          | 0,60          | 20      |
| 53          | 0,76          | 23      |
|             |               |         |
| 66          | 0,46          | 26      |
| 68          | 0,61          | 31      |
|             |               |         |
| 74          | 0,48          | 19      |
| 71          | 0,53          | 21      |
| 73          | 0,86          | 31      |
|             |               |         |
| 66          | 0,53          | 11      |
| 65          | 0,71          | 12      |
|             |               |         |
| 78          | 0,73          | 18      |
| 76          | 0,75          | 18      |
|             |               |         |
| 85          | 0,55          | 27      |
| 85          | 0,62          | 37      |
|             |               |         |
| Vereinzelt: |               |         |
| 96          | 0,62          | 20      |
|             |               |         |
| Ausnahmen:  |               |         |
| 44          | 0,35          | 14      |
| 56          | 0,66          | 16      |
| 83          | 0,74          | 25      |

Raum in Anspruch zu nehmen und die Uebersicht nicht zu erschweren; andererseits weil diese Zahlen noch in mehrfacher anderer Hinsicht verwerthbar sind, welches zu thun ich mir selbst vorbehalten möchte; es sind daher hier blos die allein zum Beweise der vorstehenden Regel nöthigen Zahlen für  $\alpha$ ,  $\beta$  und  $\frac{a}{b}$  mitgetheilt.

Die erste Tabelle enthält vermischt die Messungen von Herz-, Lungen- und Nierenarterien und Aesten der V. port. zweier Menschen sowie von Aesten der Aorta eines Kaninchens.

Von 60 Messungen stehen 2 der Grösse ihres  $\alpha$  nach einzelt, d. h., sie haben in Bezug auf diese Grösse unter der beschränkten Zahl unserer Messungen keine Nachbarn und können daher nicht mit in Rechnung gezogen werden; von den übrigen 58 sind 18, also 31 Procent, Ausnahmen, von welchen die letzten 14 zugleich auch in irgend einer Art gegen Regel II verstossen.

Die zweite Tabelle enthält Messungen vom Dotter- und Amnionkreislauf des Hühnereiembryo bis zum 9. Tage und zeigt unter 46 Messungen 4 der Grösse des  $\alpha$  nach einzelt stehende und unter den 42 übrigen 13 Ausnahmen, also wieder 31 Procent.

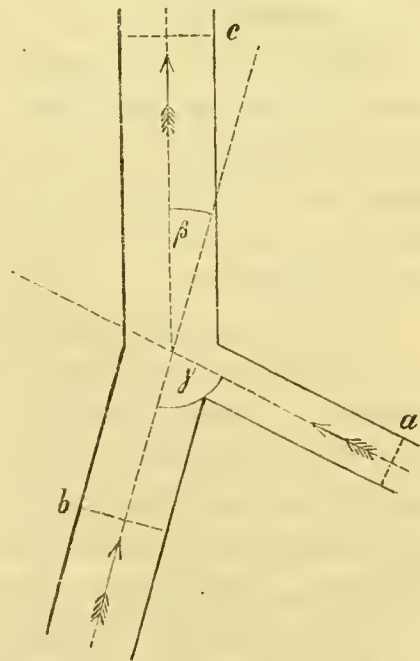
Die dritte Tabelle enthält die Messungen sämmtlicher Aeste der Nieren eines Kaninchens bis herab zur Stärke von 0,2 Mm. und ergiebt unter 69 Messungen 5 einzeltstehende und blos 3, also 5 Procent Ausnahmen. Man ersieht aus einem Vergleiche dieses Resultates mit dem der ersten Tabelle, dass die Regelmässigkeit innerhalb eines Organes viel ausgesprochener ist, als bei Zusammenstellung der Gefässe verschiedener Organe und Organismen. Dem scheint sogleich zu widersprechen ein Vergleich mit den Resultaten von Tabelle 2. Hier hat man es aber, — abgesehen von den wenigen darunter befindlichen Amnionsgefässen, deren Entstehung wir nicht weiter beobachtet haben —, in der Area vasculosa mit einem einerseits noch nicht fertigen, zweitens aber einem Organe zu thun, dessen Blutbehälter erst allmählich, bei ursprünglich unseren Regeln ganz fremder Anlage nach dem Beginne der Circulation des Blutes, in einer diesen Regeln entsprechenden Weise umgestaltet werden. Es lässt sich deutlich verfolgen, wie das regellose Netzwerk im Allgemeinen alternirend geordneter Maschen nach dem Beginn der Circulation zunächst in den centralen und dann, mit dem Wachsen des Gefässhofes auch in peripheren Theilen umgewandelt wird in der Weise, dass zuerst durch eine vorwiegende Richtung und grosse



Weite charakterisirte Hauptbahnen entstehen, welche dann an den Verästelungsstellen allmählich in den Regeln entsprechender Weise umgestaltet werden. Die den Dotter immer weiter umwachsende und bloß feine Gefäße führende periphere Zone des Gefäßhofes ist aber am 9. Brüttage noch vollkommen unregelmässig, weshalb wir sie gar nicht gemessen haben. In einer Embryonalanlage von 5 Brüttagen und 15 Mm. Durchmesser, welche aber bloß in einem Gefäßhof ohne Embryo bestand, war der reine Maschencharakter ohne Hauptbahnen in den reich entwickelten Blutgefäßen vollkommen erhalten.

§. 20. Die 3 Tabellen zeigen noch, wenn innerhalb der Reihen die Wachstumsgrößen der  $\frac{a}{b}$  mit den entsprechenden der  $\beta$  verglichen werden, dass diese beiden Größenreihen keineswegs in einem constanten, sondern in einem innerhalb der Grenzen unserer Regel sehr variablen Verhältnisse stehen; so dass die Grösse der Ablenkung des Stammes bei constantem Astwinkel nicht einfach als eine Function bloß von  $\frac{a}{b}$  angesehen werden kann, sondern von noch einem oder mehreren anderen Factoren sich abhängig zeigt.

§. 21. Tabelle 4 enthält Herz-, Lungen- und Hodenvenen und Verzweigungen einer Vena azygos des Menschen, so wie auch einige epigastrische Venen des Krokodil und zeigt unter 25 Messungen 2 vereinzelt stehende und 3, also 13 %, Ausnahmen. Sie beweist somit, dass bei der Vereinigung zweier Venen die Regel II entsprechende Richtung des entstehenden Stammes um so mehr von der Richtung des stärkeren beider Gefäße abweicht, je stärker das schwächere Gefäß im Verhältniss zum stärkeren ist.



Es bedarf wohl nicht einer Erörterung, warum hier, an die Stelle des Astwinkels  $\alpha$  der Arterien, der ganze Vereinigungswinkel der Venen  $\gamma$  getreten ist, während  $\beta$  beibehalten ist, da

es dieselbe Richtungsbeziehung ausdrückt, hier aber natürlich die Stellung des Scheitelwinkels zu dem  $\beta$  der Arterienverzweigungen einnimmt.

Zugleich ersieht man auch hier wieder, dass  $\beta$  bei constantem  $\gamma$  nicht überall in demselben Verhältniss mit  $\frac{a}{b}$  wächst.

An den muskulösen Theilen des Körpers sind die Ausnahmen für Arterien und Venen so zahlreich, dass man bei ausschliesslicher Untersuchung dieser Theile nicht zur Auffindung einer solchen Regel hätte kommen können.

§. 22. Regel IV.: Die Grösse der Ablenkung, welche der Arterien-Stamm in Regel II entsprechender Weise bei der Astabgabe erfährt, wächst mit der absoluten Grösse der Abweichung des Astes von der ursprünglichen Stammes-Richtung.

Wenn man, um diese Regel zu erweisen, das Material der vorigen Tabellen nach dem Quotienten  $\frac{a}{b}$  ordnet, so zeigt sich, dass derselbe bloß innerhalb eines Verhältnisses von 1:2 schwankt. Da ausserdem bei einem Quotienten aus zwei Zahlen, von denen jede innerhalb einer bestimmten Fehlergrenze vom wahren Werthe abweichen kann, der Fehler ebenso wohl verdoppelt wie aufgehoben werden kann, so wird durch die Ordnung nach diesem Quotienten die Reihenfolge der wahren Werthe viel weniger genau hergestellt sein als im vorigen Paragraphen bei der Ordnung nach bloß Einer Grösse, welche innerhalb eines Verhältnisses von 1:4 wechselte. Trotzdem stellte sich die Ordnung in die Regel erweisende Reihen meist ohne Benutzung dieser weiten Fehlergrenze her.

Die Messungen von Tabelle 1 ergeben jetzt nach Tabelle 5 von 60 Messungen 4 vereinzelt stehende und 22 also 40 % Ausnahmen. Etwas günstiger, als diese Mischung aus ganz verschiedenen Organen, stellen sich hier die Zahlen der Messungen am Dotter- und Amnionkreislauf, indem nach Tabelle 6 von 46 Messungen 1 vereinzelt steht und unter den 45 übrigen 9, also 20 %, Ausnahmen sind.

Grösser ist die Regelmässigkeit innerhalb der beiden Nieren des Kaninchens, wo unter 69 Messungen nach Tabelle 7 7 vereinzelt stehen und unter den übrigen 62 bloß 7 Ausnahmen, also 11 %, sich finden.

§. 23. Tabelle 8 giebt die entsprechende Zusammen-

stellung der Venen-Messungen von Tabelle 4 und zeigt unter 25 Messungen bloß 1, also 4 % Ausnahmen, wodurch auf das evidenteste bekundet wird, dass: bei der Vereinigung zweier Venen die Richtung des entstehenden Stammes um so mehr von der Richtung des stärkeren beider Gefässe abweicht, je grösser die Richtungsdivergenz derselben ist.

Tabelle V.

| $\frac{a}{b}$ | $\alpha$ | $\beta$ | $\frac{a}{b}$   | $\alpha$ | $\beta$ |
|---------------|----------|---------|-----------------|----------|---------|
| 0,88          | 18       | 17      | 0,50            | 52       | 6       |
| 0,91          | 27       | 20      | 0,50            | 60       | 12      |
| 0,91          | 27       | 21      |                 |          |         |
|               |          |         | 0,43            | 23       | 8       |
| 0,88          | 23       | 19      | 0,43            | 90       | 34      |
| 0,88          | 44       | 22      |                 |          |         |
| 0,86          | 51       | 29      | Vereinzelt:     |          |         |
| 0,87          | 57       | 39      | 0,61            | 54       | 10      |
|               |          |         | 0,53            | 113      | 8       |
| 0,88          | 48       | 11      | 0,45            | 60       | 15      |
| 0,86          | 76       | 32      | 0,38            | 83       | 4       |
|               |          |         | Ausnahmen:      |          |         |
| 0,85          | 24       | 18      | 0,91            | 48       | 6       |
| 0,85          | 39       | 30      | 0,58            | 52       | 5       |
|               |          |         | 0,58            | 50       | 17      |
| 0,83          | 18       | 14      | 0,57            | 25       | 16      |
| 0,83          | 40       | 25      | 0,44            | 86       | 9       |
| 0,83          | 68       | 48      | 0,43            | 102      | 4       |
|               |          |         | 0,40            | 36       | 15      |
| 0,83          | 46       | 6       | 0,33            | 55       | 7       |
| 0,83          | 55       | 17      |                 |          |         |
|               |          |         | Dazu noch die   |          |         |
| 0,80          | 23       | 18      | letzten 14 Aus- |          |         |
| 0,81          | 42       | 28      | nahmen von      |          |         |
| 0,81          | 43       | 33      | Tabelle I.      |          |         |
|               |          |         |                 |          |         |
| 0,77          | 25       | 18      |                 |          |         |
| 0,75          | 31       | 22      |                 |          |         |
| 0,77          | 43       | 29      |                 |          |         |
|               |          |         |                 |          |         |
| 0,72          | 23       | 14      |                 |          |         |
| 0,75          | 66       | 27      |                 |          |         |
|               |          |         |                 |          |         |
| 0,71          | 26       | 6       |                 |          |         |
| 0,71          | 49       | 10      |                 |          |         |
|               |          |         |                 |          |         |
| 0,68          | 40       | 9       |                 |          |         |
| 0,69          | 46       | 14      |                 |          |         |
|               |          |         |                 |          |         |
| 0,66          | 24       | 11      |                 |          |         |
| 0,71          | 37       | 22      |                 |          |         |

Tabelle VI.

| $\frac{a}{b}$ | $\alpha$ | $\beta$ | $\frac{a}{b}$ | $\alpha$ | $\beta$ |
|---------------|----------|---------|---------------|----------|---------|
| 0,76          | 38       | 27      | 0,34          | 62       | 6       |
| 0,87          | 46       | 37      | 0,33          | 70       | 8       |
|               |          |         | 0,31          | 75       | 10      |
| 0,83          | 76       | 30      | 0,29          | 75       | 10      |
| 0,76          | 80       | 39      |               |          |         |
|               |          |         | 0,34          | 62       | 8       |
| 0,69          | 60       | 17      | 0,33          | 74       | 14      |
| 0,66          | 71       | 22      |               |          |         |
|               |          |         | 0,18          | 50       | 6       |
| 0,59          | 53       | 13      | 0,20          | 77       | 20      |
| 0,59          | 80       | 27      |               |          |         |
|               |          |         | Vereinzelt:   |          |         |
| 0,54          | 32       | 24      | 0,14          | 91       | 20      |
| 0,59          | 46       | 35      |               |          |         |
|               |          |         | Ausnahmen:    |          |         |
| 0,51          | 54       | 19      | 0,66          | 45       | 19      |
| 0,50          | 82       | 42      | 0,47          | 64       | 20      |
|               |          |         | 0,50          | 66       | 32      |
| 0,50          | 59       | 16      | 0,40          | 39       | 14      |
| 0,50          | 80       | 18      | 0,39          | 40       | 25      |
| 0,52          | 81       | 20      | 0,26          | 60       | 19      |
|               |          |         | 0,26          | 62       | 15      |
| 0,45          | 29       | 18      | 0,23          | 38       | 16      |
| 0,47          | 35       | 28      | 0,23          | 62       | 16      |
|               |          |         |               |          |         |
| 0,43          | 45       | 21      |               |          |         |
| 0,43          | 49       | 22      |               |          |         |
| 0,41          | 60       | 37      |               |          |         |
| 0,43          | 60       | 45      |               |          |         |
|               |          |         |               |          |         |
| 0,41          | 51       | 8       |               |          |         |
| 0,38          | 68       | 9       |               |          |         |
|               |          |         |               |          |         |
| 0,37          | 45       | 14      |               |          |         |
| 0,38          | 78       | 25      |               |          |         |
|               |          |         |               |          |         |
| 0,37          | 51       | 6       |               |          |         |
| 0,37          | 74       | 11      |               |          |         |
| 0,36          | 88       | 20      |               |          |         |



Tabelle VII.

| $\frac{a}{b}$ | $\alpha$ | $\beta$ |              |    |     |
|---------------|----------|---------|--------------|----|-----|
| 1,00          | 24       | 24      | 0,69         | 36 | 29  |
| 0,99          | 46       | 46      | 0,69         | 48 | 37  |
| 1,00          | 22       | 20      |              |    |     |
| 0,99          | 35       | 32      | 0,64         | 35 | 10  |
|               |          |         | 0,64         | 50 | 17  |
| 0,94          | 34       | 26      | 0,64         | 62 | 20  |
| 0,96          | 42       | 37      |              |    |     |
|               |          |         | 0,65         | 58 | 12  |
| 0,93          | 35       | 31      | 0,66         | 65 | 17  |
| 0,93          | 48       | 40      |              |    |     |
|               |          |         | 0,60         | 30 | 20  |
| 0,92          | 34       | 20      | 0,62         | 71 | 5   |
| 0,94          | 45       | 28      |              |    |     |
|               |          |         | 0,59         | 38 | 10  |
| 0,91          | 30       | 10      | 0,59         | 52 | 15  |
| 0,90          | 32       | 10      | 0,60         | 60 | 16  |
| 0,91          | 31       | 12      |              |    |     |
| 0,88          | 37       | 16      | 0,55         | 45 | 6   |
|               |          |         | 0,58         | 53 | 11  |
| 0,87          | 28       | 17      |              |    |     |
| 0,91          | 40       | 33      | 0,54         | 41 | 6   |
|               |          |         | 0,50         | 50 | 8   |
| 0,88          | 41       | 30      |              |    |     |
| 0,89          | 50       | 39      | 0,50         | 29 | 2   |
|               |          |         | 0,46         | 42 | 3   |
| 0,84          | 21       | 14      | 0,45         | 63 | 6   |
| 0,85          | 28       | 22      |              |    |     |
| 0,86          | 48       | 31      | Vereinzelt : |    |     |
|               |          |         | 0,69         | 45 | 12  |
| 0,83          | 36       | 21      | 0,66         | 35 | 12  |
| 0,83          | 38       | 22      | 0,62         | 54 | 9   |
| 0,84          | 82       | 40      | 0,60         | 42 | 15  |
|               |          |         | 0,42         | 53 | 1,5 |
| 0,83          | 52       | 15      | 0,41         | 43 | 3   |
| 0,83          | 68       | 17      | 0,40         | 32 | 5   |
| 0,83          | 100      | 25      | Ausnahmen :  |    |     |
|               |          |         | 0,99         | 52 | 17  |
| 0,78          | 20       | 13      | 0,90         | 35 | 35  |
| 0,80          | 30       | 23      | 0,86         | 37 | 6   |
| 0,80          | 35       | 28      | 0,83         | 31 | 7   |
|               |          |         | 0,80         | 67 | 6,5 |
| 0,77          | 50       | 15      | 0,77         | 52 | 6   |
| 0,77          | 58       | 15      | 0,71         | 33 | 30  |
| 0,80          | 68       | 16      |              |    |     |
| 0,76          | 72       | 20      |              |    |     |
|               |          |         |              |    |     |
| 0,76          | 43       | 17      |              |    |     |
| 0,76          | 49       | 26      |              |    |     |

Tabelle VIII.

| $\frac{a}{b}$ | $\gamma$ | $\beta$ |
|---------------|----------|---------|
| 1,00          | 37       | 18      |
| 0,86          | 73       | 31      |
|               |          |         |
| 0,74          | 31       | 12      |
| 0,76          | 53       | 23      |
|               |          |         |
| 0,71          | 65       | 12      |
| 0,75          | 76       | 18      |
| 0,73          | 78       | 18      |
| 0,74          | 83       | 25      |
|               |          |         |
| 0,66          | 56       | 16      |
| 0,62          | 96       | 20      |
|               |          |         |
| 0,60          | 56       | 20      |
| 0,61          | 68       | 31      |
| 0,62          | 85       | 37      |
|               |          |         |
| 0,53          | 66       | 11      |
| 0,53          | 71       | 21      |
| 0,55          | 85       | 27      |
|               |          |         |
| 0,50          | 46       | 16      |
| 0,48          | 74       | 19      |
|               |          |         |
| 0,38          | 42       | 12      |
| 0,37          | 50       | 16      |
|               |          |         |
| 0,33          | 34       | 11      |
| 0,35          | 44       | 14      |
|               |          |         |
| 0,29          | 41       | 8       |
| 0,29          | 53       | 25      |
|               |          |         |
| Ausnahme :    |          |         |
| 0,46          | 66       | 26      |

§. 24. Auch diese 4 Tabellen bekunden wieder die Mitwirkung noch unbekannter Factoren, da das Grössenverhältniss von  $\gamma$  und  $\beta$ , resp.  $\alpha$  und  $\beta$ , bei constantem  $\frac{a}{b}$  kein constantes ist, sondern innerhalb der Grenzen unserer Regel sehr variirt.

Bezüglich der Ausnahmen von dieser Regel gilt das bei Regel III über das Verhalten der Muskelgefäße Gesagte.

§. 25. Aus den vorstehenden Regeln ergibt sich, dass auch die für gerade gehaltene Aorta abdominalis bei Abgabe der grossen Aeste Ablenkungen erfahren muss, falls diese Aeste mehr als  $\frac{2}{5}$  der Stärke der Fortsetzung der Aorta an Durchmesser haben. Dies ist aber beim erwachsenen Menschen nicht der Fall nach den wenigen Präparaten, welche ich davon anfertigen konnte. Es erreichte an ihnen weder die A. coeliaca noch die mes. sup. diese Stärke vollkommen, sondern beide schwankten zwischen  $\frac{1}{3}$  und  $\frac{2}{5}$ .

Anders bei einem 1jährigen Kinde, bei welchem die A. mesent. sup. 3,0 Mm., die Fortsetzung der Aorta danach 5,1 Mm. Durchmesser zeigte; die letztere war  $7^\circ$ , die erstere  $53^\circ$  abgelenkt. Beim Ursprung der A. coeliaca betrugen die Durchmesser 2,4 Mm. für diese und 5,5 Mm. für die jedoch nicht abgelenkte Fortsetzung der Aorta, obgleich erstere unter  $70^\circ$  entsprang.

Ausgesprochener waren die Ablenkungen bei einem erwachsenen Kaninchen, welches zugleich den günstigen Umstand darbot, dass die A. renal. dextra durch zwei, auch noch Nachbartheile versorgende, Gefäße vertreten war, so dass die Nierenarterien aus von einander entfernten Querschnitten entsprangen. Die Verhältnisse waren hier die folgenden: Bei Abgang der Coeliaca mit 2,3 Mm. Durchmesser unter  $44^\circ$  ist die Fortsetzung der Aorta 2,63 Mm. stark und  $22^\circ$  abgelenkt.

Die Ren. dextr. sup. 1,2 Mm. unter  $86^\circ$ , die Aorta 2,60 Mm. stark und  $9^\circ$  abgelenkt.

Die Ren. sin. 1,4 Mm. unter  $96^\circ$ , die Aorta 2,47 Mm. und  $8^\circ$  abgelenkt.

Die Ren. dextr. inf. 1,1 Mm. unter  $102^\circ$ , Aorta 2,37 Mm.  $4^\circ$  abgelenkt.

Vom vorderen Theil des Arcus aortae kann beim Kinde ein gut Theil der Biegung mit der Abgabe der hier noch relativ stärkeren Aeste in Verbindung gebracht werden. So war bei dem erwähnten einjährigen Kinde, bei welchem zugleich die häufige Varietät bestand, dass der Truncus anonymus auch die

Carotis sin. abgiebt, beim Abgange des Truncus unter  $20^{\circ}$  und mit 7,2 Mm. Durchmesser, die Fortsetzung der Aorta, welche blos 7,0 Mm. stark war,  $23^{\circ}$  abgelenkt. Ebenso war beim Abgange der 4,0 Mm. starken Subclavia sinistra unter  $23^{\circ}$ , die Aorta bei einer Stärke von 6,1 Mm.  $10^{\circ}$  abgelenkt.

§. 26. Die Ausnahmen von unseren Regeln anlangend, wollen wir zunächst erwähnen, dass wir dieselben keineswegs unbeachtet lassen oder gar wegwünschen wollen, denn wir schätzen in ihnen gerade das nicht wegzuwerfende Caput mortuum, welches bei gehöriger Beachtung auf die Spur neuer Gesetze führt. Ausserdem führen wir an, dass sie theils am Rande der Organe oder in den tiefer gelegenen Theilen der Organe an ganz schwachen, unter 0,3 Mm. Durchmesser haltenden Gefässen sich fanden; theils unter ganz eigenthümlichen Verhältnissen auftraten, welche sich in verschiedenen Organen immer mit den gleichen Abweichungen verbunden zeigten. Es kommt nämlich an den Verzweigungen der A. meningea media, an den Venen und kleinen Arterien der Piamater des Cerebellum, an den Aa. und Vv. der Vorderfläche des Herzens, besonders des linken Ventrikels des Menschen und des Kaninchens, ferner an den 2 Hauptästen der Nierenarterie und an den Gefässen des Darmes vor, dass der bei der Astabgabe resp. Aufnahme abgelenkte Stamm gleich danach wieder in die ursprüngliche Richtung sich zurückbiegt, sei es, um wieder in eine Furche, aus welcher er durch die Ablenkung entfernt worden war, zurückzugelangen wie am Kleinhirn und Darm, oder aus einem anderen, uns unbekannten morphologischen Grunde. In all diesen Fällen zeigt sich die Ablenkung des Stammes bei der Astabgabe zu gering, geringer als unter den gleichen Astverhältnissen an anderen Verzweigungen, bei welchen der Stamm sich nach der Ablenkung nicht wieder in die ursprüngliche Richtung zurückbiegt.

Bei der Theilung der Iliaca communis in die Iliaca ext. und in die Hypogastrica ist die erstere gewöhnlich im Verhältniss zur letzteren viel zu wenig von der Richtung der Il. comm. abgelenkt, was sich vielleicht auf Zugwirkungen seitens des Schenkels, beim Strecken desselben, zurückführen liesse.

Wenn pathologische oder artificielle Schlingungen vorhanden sind, finden sich den aufgestellten, sowie auch den noch folgenden Regeln entsprechende Verhältnisse nur ausnahmsweise. Ebenso wenig darf man aus Messungen an injicirten, aber nicht ausgeschälten Gefässen bestätigende oder verneinende



Schlüsse ziehen, denn nach dem Ausschälen zeigt sich in der Regel, dass die Verhältnisse wesentlich andere sind, als sie beim Messen in der Gefässhaut gefunden wurden. Wer Winkelmessungen an Körpern ausgeführt hat, der weiss auch, wie sehr es hierbei auf genaues Erkennen der richtigen Contouren ankommt. Wer aber nicht die Genauigkeit meiner Angaben prüfen, sondern bloss eine annähernde eigene Anschauung von den in vorstehenden Regeln geschilderten Verhältnissen schildern will, der wird vielleicht schon von der einfachen Besichtigung von Herzoberflächen oder harter Hirnhäute oder gar von Gefässfurchen in der Glastafel sich befriedigt finden.

§. 27. Bei nochmaliger Besichtigung der Tabellen zu den Regeln 3 und 4 lassen sich noch einige wichtige Verhältnisse daraus erkennen. Betrachtet man zunächst die Tabellen zu Regel 4, z. B. Tabelle 7 von den Nierenarterien, welche die grösste gefundene Regelmässigkeit darbot, noch einmal aber flüchtiger und bloss unter Beachtung und Vergleichung der Wachstumsgrössen der  $\beta$  mit den zugehörigen der  $\alpha$ , so ersieht man, dass sie bei constantem  $\frac{a}{b}$ , wenn  $\alpha$  annähernd sich verdoppelt, wie z. B. in der 8., 9. oder 10. Reihe, auch  $\beta$  sich verdoppelt. Auch aus allen übrigen Reihen ist ersichtlich, dass  $\beta$  immer fast in dem gleichen Verhältniss wie  $\alpha$  wächst. Der Quotient der Wachstumsgrössen des Astwinkels und der damit verbundenen Wachstumsgrössen der Ablenkung des Stammes, bei constantem Verhältniss der Stärke von Ast und abgelenktem Stamme ist also ceteris paribus eine annähernd constante Zahl und zwar annähernd gleich 1; oder kürzer ausgedrückt:

Regel V, a: Bei constantem Verhältniss der Stärke von Ast und abgelenktem Stamme wächst die Ablenkungsgrösse des Stammes annähernd proportional der Ablenkung des Astes.

§. 28. Betrachtet man dagegen die entsprechende Tabelle 3, also das Variiren von  $\beta$  mit  $\frac{a}{b}$  bei constantem  $\alpha$ , so sieht man, um zunächst ein Beispiel zu nehmen, in der 14. Reihe bei  $\alpha$  gleich  $43^\circ$  und  $\frac{a}{b} = 0,417$  die Ablenkung des Stammes  $3^\circ$  betragen. Bei  $\frac{a}{b} = 0,943$  dagegen beträgt die Ablenkung des Stammes  $28^\circ$ . Also beim Wachsen der beiden Quotienten

$\frac{a}{b}$  um  $\frac{0,943}{0,417} = 2,26$  wächst die Ablenkung des Stammes um  $\frac{28}{3} = 9,3$ ; es wächst demnach hier  $\beta \frac{9,3}{2,26} = 4,1$  mal so rasch als der Quotient beider  $\frac{a}{b}$  gewachsen ist.

Rechnet man auf gleiche Weise alle Reihen durch und berücksichtigt dabei das in §. 10 mitgetheilte Factum, dass eine Ablenkung des Stammes bei der Astabgabe überhaupt erst eintritt, wenn der Ast wenigstens  $\frac{2}{5}$  der Stärke der Fortsetzung des Stammes besitzt, so erhält man eine Einsicht in die bei verschiedenen Grössen von  $\frac{a}{b}$  ganz verschiedenen Wachstumsver-

hältnisse der  $\beta$ , und es zeigt sich einmal: dass, wenn  $\frac{a}{b}$  blos in der Nähe von 1 variirt, der Quotient der Wachstumsgrössen der  $\beta$  wenig über 1 ist, und demnach der Quotient aus der Wachstumsgrösse von  $\beta$  dividirt durch die von  $\frac{a}{b}$  auch nur wenig mehr als 1 beträgt. Je geringer die Abweichung der  $\frac{a}{b}$  von 1 ist, um so mehr nähert sich auch der Quotient der  $\beta$  dem Werthe 1. Als Beispiel diene die 5. Reihe auf Tabelle 3:

bei  $\frac{a}{b} = 0,909$  beträgt  $\beta$   $10^\circ$

bei  $\frac{a}{b} = 0,917$  beträgt  $\beta$   $12^\circ$ .

Beim Wachstum der  $\frac{a}{b}$  um  $\frac{0,917}{0,909} = 1,008$  beträgt das Wachstum der  $\beta$   $\frac{12}{10} = 1,2$ ; also der Quotient aus beiden Wachstumsgrössen  $\frac{1,2}{1,008} = 1,19$ .

Es würden nun für die Wachstumsgrösse beider  $\frac{a}{b} = 1,008$  Beispiele aus verschiedenen Gegenden der Werthe von  $\frac{a}{b}$  angeführt werden müssen, um zu zeigen, wie sich daselbst das Wachstum der zugehörigen  $\beta$  verhält. Für den kleinen Quotienten 1,008 mangelt es aber an Beispielen; wir nehmen daher einen grösseren und zwar ungefähr 1,5; zunächst aus Reihe 7 Tabelle 3:

bei  $\frac{a}{b} = 0,666$  ist  $\beta = 12^\circ$

bei  $\frac{a}{b} = 0,990$  ist  $\beta = 32^\circ$ .

Während also die  $\frac{a}{b}$  um  $\frac{0,990}{0,666} = 1,5$  wachsen, wachsen die  $\beta$  um  $\frac{32}{12} = 2,7$ . Der Quotient aus dem Wachsthum der  $\beta$  und dem der  $\frac{a}{b}$  beträgt hier in der Nähe 1 für  $\frac{a}{b}$  also  $\frac{2,7}{1,5} = 1,8$ .

In Reihe 3 ist bei  $\frac{a}{b} = 0,606$   $\beta = 2^\circ$

bei  $\frac{a}{b} = 0,855$   $\beta = 22^\circ$

für ein Wachsthum der  $\frac{a}{b}$  um  $\frac{0,855}{0,606} = 1,4$  wachsen die  $\beta$  um  $\frac{22}{2} = 11$ ; der Quotient aus beiden ist demnach hier bei grösserer Entfernung der  $\frac{a}{b}$  von 1 gleich  $\frac{11}{1,4} = 8$ .

In Reihe 21 ist für  $\frac{a}{b} = 0,5$   $\beta$  schon  $= 0^\circ$  (was zwar gewöhnlich erst bei 0,4 der Fall zu sein pflegt, für uns hier aber nicht in Betracht kommt), für  $\frac{a}{b} = 0,781$   $\beta = 15^\circ$ . Bei einem Wachsthum der  $\frac{a}{b}$  von der Grenze der Ablenkungsfähigkeit, hier 0,5, bis 0,781 also um  $\frac{0,781}{0,5} = 1,56$  wachsen die  $0^\circ - 15^\circ$  also im Verhältniss von  $\frac{15}{0} = \infty$ ; der Quotient aus den beiden Wachstumsgrössen ist demnach  $\frac{\infty}{1,56} = \infty$ .

Die daraus sich ergebende Regel lautet:

Regel V, b: Bei constantem Astwinkel und gleichmässigem Wachstumsverhältniss des Quotienten aus der Stärke des Astes dividirt durch die Stärke des Stammes während eines Wachstums dieses Quotienten von 0,4—1 findet das zugehörige Wachsthum der Ablenkung des Stammes von  $0^\circ$  bis zur Grösse des Astwinkels, ähnlich der Abnahme einer



Cotangente von  $0^\circ$ — $90^\circ$ , anfangs sehr rasch, dann immer langsamer statt.

In diesen Regeln V ist unter „Stamm“, wie leicht verständlich, die Forsetzung desselben nach der Astabgabe zu verstehen.

Diese beiden Regeln sollen und können zur Zeit bloß die fundamentale Verschiedenheit der Wirkung der Grösse des Astwinkels und der Wirkung des Verhältnisses von Ast- und Stammstärke auf die Ablenkung des Stammes zeigen; sind aber bei ihrer approximativen Bedeutung, zumal der ersteren, für weitere Schlüsse nicht verwerthbar, und werden es bleiben, so lange in Folge des Unbekanntseins der anderen mitwirkenden Factoren das Genauere innerhalb ihrer nicht festgestellt werden kann.

§. 29. Nach den mitgetheilten allgemeinen Regeln über die Ablenkung des Stammes bei der Astabgabe will ich im Folgenden kurz einige zugehörige Regeln über Specialfälle anführen, welche sich zwar theils durch Deduction aus diesen allgemeinen Regeln, theils durch Synthese mit Hülfe dieser Regeln gewinnen lassen, deren Bestehen ich aber durch Beobachtung besonders festgestellt habe, und die zugleich wegen ihres Vorkommens an bestimmten Localitäten in Zukunft besondere Beachtung verdienen und bei derselben reiche Aufschlüsse über die Wachstumsverhältnisse der betreffenden Organe zu geben versprechen.

§. 30. Regel VI. Theilt sich ein Stamm in 2 gleich starke Zweige, so stehen beide in gleichem Winkel zur Richtung des Stammes.

Dies ist eine allgemeine Regel, von welcher in fast allen Organen zahlreiche Beispiele vorkommen, während Ausnahmen, ausser bei den zwischen Muskeln verlaufenden Arterien und Differenzen von 2 bis  $3^\circ$  nicht mit gerechnet, sehr selten sind.

Diese Gleichheit der Winkel ist auch vorhanden, wenn die gleich starken Aeste in ihrem weiteren Verlauf sich ganz verschieden verhalten, also bei vollkommener morphologischer Ungleichwerthigkeit; so z. B., wenn der eine durch, gleich nach dem Ursprung erfolgende, Theilung in wiederum 2 gleich starke Zweige sich in die Breite verästelt, während der andere, bloß schwächere Aeste abgebend, längere Zeit als Hauptstamm verläuft.

§. 31. Regel VII: Gehen Aeste von ablenkungs-fähiger Stärke von einem Stamme nach einander auf verschiedenen Seiten ab, so beschreibt der Stamm im Ganzen eine Zick-zacklinie.

Von dieser Regel kann man sich am leichtesten an den Arterien und Venen des Herzens, und an den Arterien der dura mater überzeugen.

§. 32. Regel VIII: Entspringen gleich starke Aeste an demselben Querschnitt, aber auf entgegengesetzter Seite eines Stammes und unter gleichem Winkel zu ihm, so zeigt der Stamm keine Ablenkung.

Dieses Factum beweist schlagender als das im §. 10 aufgeführte, dass die Ablenkung des Stammes bei der Verzweigung bedingt ist durch die Astabgabe und nicht die Astabgabe und ihr Winkel durch die Ablenkung des Stammes.

Ist der eine dieser Aeste schwächer als der andere oder geht er unter einem erheblich geringeren Winkel ab, so ist der Stamm der Differenz entsprechend nach der Seite dieses Astes abgelenkt.

§. 33. Regel IX. Gehen mehrere Aeste nach einander auf derselben Seite eines Stammes ab, während auf der entgegengesetzten Seite keine oder nur verhältnissmässig schwache Aeste abgehen, so stellt der Stamm eine nach dieser letzteren Seite concave Bogenlinie dar.

Bekannt ist dies Verhalten an den Arcaden bildenden im Mesenterium verlaufenden Darmgefässen, an den mittleren Zwergfellsarterien und am vorderen Aste der A. meningeae media. Ich erwähne noch die Verzweigungen der V. portae und der Arterien der Area vasculosa des Hühnchens, bei welchen Organen mit dem Abwechseln dieses Verhältnisses auf verschiedenen Seiten der Stamm bald nach der einen, bald nach der anderen Seite gebogen sich zeigt. Diese Bogen setzen sich, wenn die Aeste in grösserem, etwa dem Vier- bis Fünffachen ihres Querschnittes entsprechenden Abstände sich folgen, zusammen aus lauter geraden, aber immer nach derselben Seite hin winkelig mit einander verbundenen Linien.

An den Winkelstellen aber ist (s. §. 45) der Uebergang ein etwas abgerundeter, so dass, wenn diese Stellen aneinander näher liegen, eine wirkliche Bogenbildung zu Stande kommt.

Die Fälle dieser Regel scheinen ein morphologisches Bedingtsein der Ablenkung des Stammes bei der Astabgabe nahe zu legen; da nothwendiger Weise, wenn in einer Ebene auf einer Seite einer bestimmten Linie ein stärkeres Wachsthum nach allen oder auch nur nach der dieser Linie parallelen Richtung erfolgt

(wobei dann natürlich auch der Blutbedarf auf dieser Seite ein entsprechend grösserer sein wird) eine concave Krümmung der Linie nach der anderen Seite entstehen muss.

Die Erscheinung dieser Cumulation der Wirkung ist so evident, dass sogar, wenn zwei Aeste, von denen jeder noch nicht die nöthige Stärke hat, um für sich den Stamm abzulenken, gleich nacheinander auf derselben Seite des Stammes entspringen, derselbe dann eine der Stärke und den Winkelverhältnissen beider entsprechende Ablenkung zeigt.

Ausnahmen von dieser Regel bilden die in §. 26 geschilderten Fälle, in welchen der Stamm nach der Ablenkung bei der Astabgabe sich wieder zur ursprünglichen Richtung zurückbiegt, dann, wenn sich dies mehrmals nacheinander bei Astabgabe auf derselben Seite wiederholt, was in den in §. 26 erwähnten Fällen gerade fast die Regel ist.

§. 34. Regel X: Theilt sich ein Stamm zugleich in 3 Aeste, welche nicht in einer Ebene liegen, so steht die Ablenkungsgrösse der Verbindungsebene je zweier Aeste von der Stammes-Richtung in demselben, den Regeln 3 und 4 und 5 entsprechenden Verhältniss zur Ablenkungsgrösse und Stärke des 3. Astes, als wenn die beiden Aeste zu einem in der Durchschnittslinie dieser Ebene mit der Stammaxenradialebene des 3. Astes liegenden, Aste vereinigt wären, dessen Querschnitt gleich der Summe der Querschnitte beider Aeste ist.

Da bei solcher Theilung jeder Ast einzeln den beiden anderen gegenübersteht, so bedingen alle 3 Aeste sich gegenseitig in ihrer Richtung zum Stamme.

Diese Regel ist von mir durch instrumentelle Messungen bis jetzt blos an sechs Beispielen und zwar blos an Verzweigungen der V. port. festgestellt worden. Ich habe mich aber beim Aufschneiden nicht- oder blos mit Pech injicirter Lebern mit Scheere und Messer — wie ich zu Anfang der Untersuchungen mehrfach gethan und dabei schon die meisten der aufgestellten Regeln gefunden habe, so dass sie durch die Corrosionspräparate eigentlich blos sicher gestellt, ergänzt und verallgemeinert wurden — noch öfter von der Richtigkeit dieser Regel wenigstens in annähernder Weise überzeugt. Es wirkt in der That sehr überzeugend, wenn man von den injicirten Gefässverzweigungen der Pfortader zwei blossgelegt hat, aus der Abweichung der Verzweigungsebene beider Gefässe von der Richtung des Stammes



aber auf das Vorhandensein eines dritten Astes schliessen zu müssen glaubt, und nun, da man sein Gefühl für die Ablenkungsgrössen allmählig gebildet hat, nach der muthmasslichen Richtung hin von der andern Seite des Organes her einschneidet und daselbst wirklich einen Ast und annähernd von der erwarteten Stärke vorfindet.

§. 35. Nachdem im Vorstehenden zuerst eine allgemeine Regel über die Richtung des abgehenden Astes zum Stamme, sodann 4 Regeln über die bei der Astabgabe erfolgende Ablenkung des Stammes nach Richtung und Grösse, und zuletzt noch 5 Regeln über Specialfälle und Combinationen aus den Regeln über die Ablenkung des Stammes aufgeführt worden sind, müssen jetzt noch 2 Regeln über die absoluten Grössenverhältnisse der Astwinkel und eine Regel negativen Inhaltes und schon theilweise physiologischen Charakters hinzugefügt werden, ehe zur Beschreibung der Formverhältnisse der Gefässverzweigungen übergegangen werden kann.

§. 36. Regel XI.: Diejenigen Aeste der Aorta, der A. brachialis, femoralis und der Herzarterien, welche so schwach sind, dass bei ihrer Abgabe der Stamm keine Ablenkung zeigt, entspringen meist unter grossen, über 70° betragenden Winkeln.

Um über dieses höchst eigenthümliche Verhalten Sicherheit zu gewinnen, wurden alle Aeste von der betreffenden Stärke an den von mir injicirten bezüglichen Organen, zusammen 125, gemessen und die Resultate dieser Messungen in Tabelle IX, übersichtlich nach den Winkelgrössen geordnet, zusammengestellt.

Tabelle IX.

| <i>a</i> | Zahl der<br>gemessen.<br>Aeste | Mittel<br>aller<br>$\frac{c}{a}$ | Verlauf.                                   |
|----------|--------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------------|
| 20—29°   | 1                              | 6,0                              | dann rückwärts.                            |
| 30—39°   | 2                              | 5,3                              |                                            |
| 40—49°   | 5                              | 4,0                              |                                            |
| 50—59°   | 7                              | 4,0                              |                                            |
| 60—69°   | 15                             | 5,2                              |                                            |
| 70—79°   | 23                             | 6,5                              | 4 dann rückwärts.<br>11 rückw.;<br>7 vorw. |
| 80—89°   | 41                             | 7,0                              |                                            |
| 90—99°   | 25                             | 7,5                              | 8 rückwärts.                               |
| 100—126  | 6                              | 6,2                              | 4 rückwärts.                               |

$\alpha$  bezeichnet die Grösse des Astwinkels,  $c$  den Durchmesser des Stammes,  $a$  den des Astes. Es ergiebt sich, dass von den 125 Aesten 95 unter Winkeln von über  $70^\circ$ , und 110 unter Winkeln von über  $60^\circ$  entspringen. Ursprungswinkel von über  $96^\circ$  sind mir blos 7 mal im Ganzen vorgekommen, und meist waren es Aa. lumbales und intercostales, welche sich gleich nach dem Ursprung nach rückwärts umbogen. Den grossen Ursprungs-Winkel von  $126^\circ$  zeigen blos die Aa. coron. cordis, welche ihm aber, und das ist sehr bedeutsam, gleich von vorn herein entschieden einschlagen. Die Intercostalararterien des erwachsenen Menschen habe ich nicht mit Corrosionsmasse injicirt gesehen, da ich nicht das ganze zugehörige Stück des Rumpfes in Säure legen konnte, und diese Arterien beim Herausnehmen der injicirten Aorta regelmässig abbrechen. Dagegen sind die Ursprünge der Intercostalararterien des einjährigen Kindes und des Kaninchens in diesen Untersuchungen mit eingeschlossen.

Ein gleiches Verhältniss scheint auch für die Leber und die Milz zu bestehen, doch sind hier die Verhältnisse complicirter, indem an diesen Organen, sowie auch am Herzen, Stellen vorkommen, an welchen alle Aeste auf einer Seite eines Stammes von den stärksten bis zu den schwächsten die gleiche Richtung haben, worüber ich anderen Orts genauere Mittheilungen zu machen beabsichtige.

§. 37. Regel XII.: Aeste, welche so stark sind, dass bei ihrer Abgabe der Stamm beträchtlich abgelenkt ist, entspringen meist unter Winkeln von weniger als  $70^\circ$  Grad.

Dies Verhalten ist in allen Organen nachweisbar und tritt dann besonders hervor, wenn zwischen den Ursprüngen unter spitzen Winkeln abgehender starker Gefässe Reihen ganz schwacher Aeste entsprechend der vorigen Regel unter grossem Winkel ihren Ursprung nehmen. In dieser Weise zeigt es sich auch an den Verzweigungen der V. port. und hep. sowie an denen der A. lienalis oft ganz evident.

§. 38. Regel XIII. Der Ursprung der Aeste der Arterien erfolgt häufig nicht in der Richtung, welche der nächste Weg zum Verbreitungsbezirk sein würde.

Die Regeln 11 und 12 scheinen dem Abgang der Gefässe Beschränkungen aufzuerlegen; und dass dies in der That der Fall ist, zeigt die vorliegende Regel. Die in ihrer Ursprungs-

richtung der Regel 11 folgenden schwachen Gefässe biegen sich häufig gleich nach Erreichung ihres Minimalquerschnittes (s. §. 50) rasch vorwärts (Fig. 5), oder auch rückwärts (Fig. 3) um und gelangen, die so gewonnene Richtung fortsetzend, zu ihrem Verbreitungsbezirk, den sie beim Fortgehen in der Ursprungsrichtung überhaupt gar nicht angetroffen hätten. Tabelle IX. giebt in ihrer letzten Columnne das bezügliche Verhalten der zu Regel 11 angeführten Beispiele, jedoch nicht vollständig, an. Dasselbe sieht man an den nach Regel 12 unter kleinem Winkel entspringenden starken Gefässen (s. Fig. 8), nur dass hier die Rückwärtsbiegungen nicht auf einmal, sondern ganz allmählich geschehen. Und auch bei diesen Gefässen kommen Umbiegungen nach vorwärts, somit Verkleinerungen des Astwinkels vor. Es besteht aber nicht ein bestimmtes Verhältniss zwischen der Grösse des Ursprungswinkels und der Stärke der nachfolgenden Rückwärtsbiegung, sondern es kommt vor, dass Aeste unter  $30^{\circ}$  entspringen und sich dann noch  $30^{\circ}$  zurückbiegen, während andere, relativ gleich starke oder stärkere unter  $60^{\circ}$  entspringen und in dieser Richtung fortlaufen.

Am ausgesprochensten und häufigsten zeigen sich die Vergrösserungen des Astwinkels relativ starker, unter kleinem Winkel entspringender Aeste durch allmähliche Rückwärtsbiegung an den Verzweigungen der V. port. (s. Fig. 10). Ausserdem ist die Regel allgemein gültig für die Aa. recurrentes, welche, mit Ausnahme der Coronararterien, fast stets unterhalb  $96^{\circ}$  entspringen und danach erst sich weiter rückwärts biegen. Das Weitere über den Verlauf der Gefässe nach ihrem Ursprung, die Verfolgung derselben bis zur nächsten Verzweigungsstelle gehört nicht in den Rahmen unseres Themas.

## B. Gestaltverhältnisse der Blutgefässverzweigungen.

§. 39. Regel XIV. Die Blutgefässäste entspringen nicht mit, ihrem weiteren Verlauf entsprechender cylindrischer, sondern mit konischer, nach der Grösse des Astwinkels und nach ihrer relativen und absoluten Stärke verschiedener Gestalt.

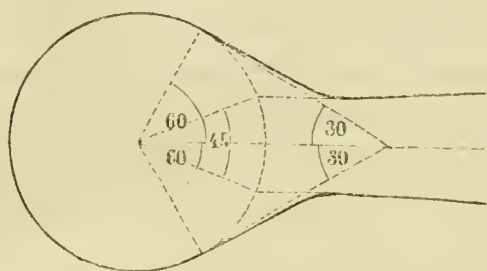
Das Profilbild dieser „Ursprungskegel“ ist sehr verschieden von dem en face Bild; und da zugleich auch jedes derselben



mit anderen Umständen variirt, so müssen sie getrennt abgehandelt werden.

§. 40. Unter **en face Bild** soll im Folgenden dasjenige verstanden werden, welches mit senkrecht zur Richtung des Astursprungs stehendem und in der Stammaxen-Radialebene befindlichem Blick gewonnen wird.

Der Astursprung zeigt sich in dieser Ansicht nicht parallel contourirt, wie eine angesetzte cylindrische Röhre, sondern er erfolgt beinahe aus der ganzen Breite des Stammquerschnittes (Fig. 1), indem die en face Seitencontouren als Tangenten von diesem Querschnitte anheben, welche bei relativ schwachen, eben unter der Grenze der Ablenkungsfähigkeit stehenden Aesten in



einem Winkel von 60 bis 70° zu einander stehen, bei der allerschwächsten, z.B. den Intercoastalarterien, sogar in 90°. Dabei ist im ersteren Falle der Centriwinkel (siehe die nebenstehende Figur), also 120°, umfasst mithin  $\frac{1}{3}$

des ganzen Raumes, im letzteren Falle 90°, also  $\frac{1}{4}$  des Raumes umfassend; während ihnen bei cylindrischem Ursprung im ersteren Falle blos  $\frac{1}{8}$ , im letzteren  $\frac{1}{20}$  zukäme. In gleicher Weise beginnt der Ursprung, auch wenn das Gefäss nicht innerhalb der Stammaxen-Radialebene entspringt (Fig. 2). Bei stärkeren, ablenkungsfähigen Aesten findet auch ein allmählicher Uebergang von der Weite des Querschnittes des Stammes zur Weite des Astes statt; aber der Winkel ist hier ein entsprechend spitzerer und daher die gewonnene Breite der Verbindung des Stammes mit dem Aste im Verhältniss zur Weite des letzteren eine viel geringere als bei schwachen Aesten.

Es ergiebt sich somit die Regel XV, a:

Der Ursprung eines Astes erfolgt im Verhältniss zu seiner Stärke aus einem um so grösseren Theile der Breite des Stammesquerschnittes, je schwächer der Ast im Verhältniss zum Stamme ist.

Theilt sich der Stamm in zwei gleich starke Aeste, so ist eine Convergenz der en face Contouren kaum mehr wahrnehmbar, wobei freilich der Umstand abschwächend mitwirkt, dass der Stamm bei Abgabe starker Aeste seinen en face Durchmesser

verkleinert unter gleichzeitiger entsprechender Verbreiterung im dazu senkrechten Durchmesser.

§. 41. Der Uebergang von der Richtung der Ursprungstangenten an den Stamm zum schliesslichen Parallelismus der en face Contouren erfolgt unter allmählicher Abnahme der Convergenz. Bei den relativ schwächsten Gefässen, wo die Convergenz ja von vorn herein eine viel stärkere ist, ist auch der Uebergang schroffer und nach dem Aufhören der Convergenz zeigt sich eine Divergenz, von welcher dann erst das Umbiegen zum Parallelismus stattfindet. Die Entfernung des so gebildeten en face Minimums, resp. des durch das Aufhören der Convergenz gebildeten ersten definitiven Querschnittes vom Stamme ist um so grösser, je relativ stärker der Ast ist; und zwar nimmt sie mit dem Wachsen der relativen Stärke des Astes immer rascher zu, so dass sie zuletzt bei reinen Dichotomieen fast unendlich gross sein würde, wenn sie in diesen Fällen überhaupt bestimmbar wäre. An den Intercostalarterien des Kindes und des Kaninchens dagegen, wo sie unter den von mir untersuchten Fällen am geringsten war, betrug sie etwa das Doppelte des Minimaldurchmessers.

§. 42. Die Stärke der Ausprägung der geschilderten Erscheinungen scheint abhängig zu sein von der Stärke des Blutdruckes. So glaube ich wenigstens es deuten zu müssen, dass diese Erscheinungen viel ausgesprochener sind beim Ursprunge aus der Aorta und aus den Hauptstämmen der Extremitäten als aus den Arterien niederer Ordnung und aus der Vena portarum. An den Verzweigungen der letzteren sind sie oft so schwach ausgeprägt, dass man sie leicht übersieht und meint, das Gefäss entspringe mit parallelen Contouren wie ein angeetzter Cylinder; doch wird man bei Anwendung schwacher Vergrösserung stets eine allmähliche, wenn auch nur von einem kleinen Theile des Stammesquerschnittes erfolgende und dem entsprechend niedrige Ueberführung von der Weite des Stammes zu der des Astes finden.

§. 43. Das en face Bild zeigt noch ein wichtiges, wenn auch bloss negatives, Verhalten:

Regel XV b: Die Gestalt des Astursprungs ist in ihrem en face Bilde unabhängig von der Grösse des Astwinkels.

§. 44. Wenn man nun zur Betrachtung des **Profilbildes** der Astursprünge übergeht, so sieht man auf den ersten Blick von dem Bisherigen sehr differente, im Wesen aber doch

gleiche, einen allmählichen Uebergang von der Richtung der Stammescontouren zu den einander parallelen Contouren des Astes darstellende Verhältnisse. Da hier die Stammescontouren, von welchen der Uebergang zu erfolgen hat, immer die gleiche Richtungsdivergenz von  $180^\circ$  zu einander haben, somit nicht, wie im en face Bild, von der relativen Stärke des Astes beeinflusst werden, so würde eine grosse Einförmigkeit in den Profilbildern bestehen, wenn nicht hier die Winkelstellung des Astes zum Stamme einen mächtig alterirenden Einfluss gewönne.

§. 45. Folgt man mit senkrecht zur Stammachsen-Radialebene stehendem Blick der Richtung des Blutstromes, so zeigt es sich, dass der Uebergang vom Stammescontour zum Astcontour nicht plötzlich und in einem scharfen Winkel erfolgt, sondern dass schon 1 bis 2 Astbreiten vor dem eigentlichen Ursprung des Astes der Stammcontour sich etwas erhebt und in allmählicher, an der eigentlichen Ursprungsstelle stärkerer Biegung auf den Ast übergeht, und dass der nunmehrige Astcontour in allmählicher, immer schwächer werdender Biegung zur definitiven Astrichtung übergeht. Diesen ganzen Contour von der ersten Erhebung am Stamme bis zur Erlangung der definitiven Astrichtung will ich „vorderen Profilcontour“ nennen. Wird mit der Astabgabe auch zugleich der Stamm abgelenkt, so erfolgt auf der andern Seite des Stammes ein ähnlicher, aber noch allmählicherer Uebergang von der Stammesrichtung zu der der Fortsetzung des Stammes. Der somit entstehenden Verbreiterung des Profildurchmessers des Stammes entspricht, aber nicht ganz, die vorhin erwähnte Verkleinerung seines en face Durchmessers.

§. 46. Während dieses Verhalten des vorderen Profilcontours im Wesen für alle Abgangswinkel und alle Stärke-Verhältnisse von Ast und Stamm das gleiche ist und nach diesen Verhältnissen bloß graduelle Verschiedenheiten erkennen lässt — mit Ausnahme der Fälle, in welchen, wie in Fig. 3, eine starke, häufig mit einer scharfen Einknickung des vorderen Profilcontours an der Stelle des gleich zu beschreibenden Minimums verbundene Umbiegung des Astes nach rückwärts stattfindet — zeigt der andere, der „hintere Profilcontour“ mit dem Wechsel dieser Verhältnisse sehr verschiedene Beschaffenheit. Doch stellt im Allgemeinen auch er einen allmählichen Uebergang von der Richtung des Stammcontours zur definitiven Astrichtung dar.

Um zunächst einen mittleren Zustand, etwa beim Astursprung unter einem Winkel von  $70^\circ$ , zu betrachten, so sieht man, wie in



Fig. 4, dass sich der hintere Profilecontour in viel geringerer Entfernung vom eigentlichen Astursprung, das heisst von der Stelle, an welcher der Ursprung erfolgen würde, wenn das Gefäss gleich vollkommen cylindrisch entspränge, etwa bloß einen halben Astquerschnitt davon stromabwärts zu erheben beginnt, und in anfangs ganz schwacher, dann in raseher, gegen den vorderen Profilecontour stark convergenter und convexer Biegung (die ich im Folgenden wiederholt unter dem Namen „starke Anfangsbiegung“ des hinteren Profilcontour citirt habe) sich beinahe bis zu den  $70^\circ$  der Abweichung von der Stammesrichtung umbiegt, um dann in allmählich immer schwächer werdender Convergenz zum Parallelismus mit dem vorderen Contour überzugehen.

§. 47. An der Stelle, wo die Convergenz aufhört, ist also der definitive Profildurchmesser erreicht. Wenn nun aber, wie es vorkommt, nach dem Aufhören der Convergenz, statt des Parallelismus, zunächst erst eine kurze Divergenz der Profilcontouren stattfindet, so entsteht damit ein „Profilminimum“. Die Entfernung dieses Profilminimums von der Stammesoberfläche, sowie auch in Ermangelung eines Minimum, die des ersten definitiven Profildurchmessers, sollen im Folgenden einfach mit „Abstand des Profilminimum“ bezeichnet und bloß an der Höhe des hinteren Profilecontour in seiner Haupttriichtung oder, falls wie bei kleinen Astwinkeln eine solche nicht ausgesprochen ist, in der Richtung des Astes gemessen werden; da dieser Contour durch sein Verhalten diese Höhe wesentlich bestimmt und bei Annahme einer anderen Messungslinie, etwa des vorderen Profilcontours oder der Astaxe, die Stärke und Neigung des Astes, welche die am hinteren Profilcontour gemessene Höhe bestimmen, noch einmal, geometrisch, in der Rechnung sich geltend machen würden.

Den stärksten Einfluss auf den Abstand des Profilminimum übt die Grösse des Astursprungswinkels aus, so dass sie bei dem rechten sich näherndem Winkel am grössten ist (s. Fig. 5) und etwa die Hälfte der Breite, oder gar die ganze Breite des Astdurchmessers oder noch mehr beträgt. Je spitzer dagegen der Winkel wird (s. Fig. 6), um so eher verliert der hintere Profilcontour seine Convergenz gegen den vorderen, so dass die Höhe desselben bis zum Minimum bei Winkeln von  $30^\circ$  etwa bloß  $\frac{1}{20}$  oder  $\frac{1}{30}$  des Astquerschnittes beträgt, und auf eine niedrige starke Ursprungsbiegung beschränkt ist. Es ergibt sich also die

Regel 15. c: Der Abstand des Profilminimum wächst mit der Grösse des Astwinkels.

Doch hört dies Wachsthum bei  $90^\circ$ , oft schon etwas vorher, auf.

Ausserdem gilt noch die

Regel 15. d: Bei gleichem Astursprungswinkel wächst der Abstand des Profilminimum mit der absoluten Weite des Astes.

Dies Wachsthum erfolgt jedoch nicht genau proportional der Astweite, sondern es zeigen sich, zumal bei grossem, dem rechten sich nähernden Winkel, bedeutende Variationen des Abstandes, was auf die Mitwirkung eines oder mehrerer anderer Factoren hinweist. Eine Abhängigkeit des Abstandes und der Grösse des Profilminimum von der relativen Stärke des Astes trat nicht mit Evidenz hervor.

§. 48. Diese schon complicirten Formverhältnisse des hinteren Profilcontours werden noch complicirter durch vorkommende Variationen. Einmal kommt es vor, wenn der Ursprung unter grossem Winkel und dem entsprechend zugleich mit grossem Abstand des Profilminimum erfolgt, dass der hintere Profilcontour bei seiner im Allgemeinen gegen den vorderen convergenten und entsprechend steilen Richtung nicht, wie angenommen, auch dauernd convex gegen ihn verläuft, sondern nach der kurzen starken Ursprungsbiegung mit gerader (s. Fig. 5) oder gar gegen das Lumen concave (Figg. 3 und 7) Gestalt sich fortsetzt, ein Verhalten, welches bei rechtwinkeligem Astursprung geradezu die Regel und einer Steigerung bis zum Parallelismus oder gar zur Divergenz beider Profilcontouren fähig ist. Der Parallelismus, resp. die Divergenz erfolgen jedoch immer erst nach der starken, aber niedrigen Anfangsbiegung des hinteren Profilcontours und es liegt in diesen Fällen also das Profilminimum trotz des grossen Astwinkels so tief, wie bei ganz spitzen Winkeln. Im Falle der Divergenz erscheint zugleich das Gefäss an der Stelle des hinteren Profilcontours erweitert, aufgebauht wie in Fig. 8. Von der durch diese Ausbuchtung der hinteren Wand entstandenen Erweiterung des Gefässes findet dann peripher unter allmählicher Verjüngung der Uebergang zum definitiven Astlumen statt. Der Parallelismus der Profilcontouren oder die mit Ausbuchtung verbundene Divergenz kommen, aber nicht immer, dann vor, wenn der Ast nach seinem Ursprunge sich rückwärts biegt; doch ist in letzteren Fällen auch manchmal nur, besonders bei sehr schwachen Aesten, eine Abplattung des hinteren Profilcontour vorhanden.

Die gleichen Varietäten kommen (s. Fig. 8) auch an Aesten vor, welche unter spitzem Winkel entspringen; hier jedoch mit der Modification, dass sie erst nach dem, von vorn herein sehr niedrig liegenden Minimum sich zeigen und dasselbe nicht bestimmt erkennbar erniedrigen. Der Parallelismus der Profilcontouren nach dem Minimum ist hier sehr häufig, falls keine Rückwärtsbiegung des Astes stattfindet; ist solche aber vorhanden, so zeigt sich stets, und zwar nach §. 38 am häufigsten und auch am ausgesprochensten an den Verzweigungen der V. port., eine Ausbuchtung von der eben beschriebenen Form. An den Verzweigungen der V. port. kommt diese Ausbuchtung sogar vor, wenn keine Rückwärtsbiegung des Astes stattfindet (s. Fig. 9). Aehnliche Ausbuchtungen finden sich manehmal auch an der inneren Seite des Stammes nach einer Astabgabe (Fig. 9).

§. 49. Von dieser Art der Ausbuchtung des hinteren Profilcontours ist wohl zu trennen eine andere, an Aeste mit und ohne Rückwärtsbiegung und stets zugleich auch am Stamme auf der Astseite, kurz nach dem Ursprung desselben vorkommende, von welcher peripher keine Verjüngung zum definitiven Ast- oder Stammeslumen stattfindet, sondern welche im Gegentheil eine rasche, aber dauernde Erweiterung der bei der Verästelung etwas eingeschnürten Gefässlumina darstellt (Fig. 10). Der Umstand, dass diese plötzliche Ausbiegung immer nur an den dem Astwinkel anliegenden Seiten von Stamm und Ast sich zeigt, spricht gegen eine künstliche Veranlassung derselben, etwa durch zu hohen Druck bei der Injection; es müsste denn die Gefässwand an diesen Seiten auf längere Strecken hin beträchtlich schwächer oder dehnbarer sein als an der übrigen Peripherie, worüber ich, falls sich Gelegenheit bietet, besondere Untersuchungen anstellen werde.

§. 50. Ist dadurch schon das Profilminimum, zumal bei grossen Aesten, gekennzeichnet, so ist es an den kleinen, nach Regel 11, §. 37 unter grossem Winkel entspringenden Aesten überhaupt deutlicher ausgesprochen, indem auch der vordere Profilcontour nach der Stelle des durch den hinteren bestimmten Minimaldurchmessers eine Auswärtsbiegung zeigt.

§. 51. Das Verhältniss der Lage des Profilminimum zu der des en face Minimum resp. des ersten definitiven Profildurchmessers zum ersten definitiven en face Durchmesser angehend, ist zu erwähnen, dass die bezüglich en face Durchmesser stets vom Stamme entfernter sind als die bezüglich



Profildurchmesser und überhaupt nur bei ganz schwachen Aesten von  $\frac{1}{5}$  der Stärke des Stammes und darunter, dem Profilminimum nahe kommen.

§. 52. Um nun aus den beiden dargestellten Hauptansichten der Gestalt des Astursprungs eine Vorstellung von dem ganzen Ursprungskegel zu bekommen, muss man sich einen allmählichen Uebergang von der Gestalt der einen Ansicht zu der der anderen denken, jedoch in der Weise, dass entsprechend der grösseren Entfernung des en face Minimum die Querschnitte des Ursprungskegels nicht rund, sondern eher elliptisch sind und ihren grössten Durchmesser im en face Bilde besitzen. Der Ursprung hat somit annähernd die Gestalt eines aus einer weichen Masse gefertigten Kegels, der dann aber breit- und auch noch von den Seiten her zu bogenförmiger Contourirung eingedrückt worden ist. Ich habe daher den Namen Ursprungskegel bloß der allgemeinen Aehnlichkeit wegen gewählt, welche sich aus der bestehenden allseitigen Convergenz der Seitencontouren nach einer Richtung, nicht einmal nach einem Punkte hin, wie beim wirklichen Kegel, ergibt.

Wenn man in Ermangelung von Corrosionspräparaten wenigstens ein annäherndes Bild der geschilderten Verhältnisse durch eigne Anschauung gewinnen will, kann man sich an die Gestalt der Ursprünge der Intercostalararterien halten, wie sie jede aufgeschnittene Aorta zeigt.

§. 53. Dabei sieht man zugleich noch sehr deutlich eine neue, im Folgenden zu schildernde Linie, welche die Gestalt des Ursprungskegels am hintern Umfang seiner Basis bestimmt und daher Basallinie von mir genannt werden soll. Sie ist eigentlich weiter nichts als die Summe der stärksten Biegungen aller Seitencontouren vom hinteren Profilecontour bis zu den beiden en face Contouren und zieht sich dem entsprechend beiderseits symmetrisch zur Stammmaxen-Radialebene von der stärksten Biegung des hinteren Profilecontours an der Peripherie des Stammes stromaufwärts. In der Profilansicht ist sie im Allgemeinen parallel dem Anfang des vorderen Profilecontours bis zum Beginn seiner starken Biegung (Fig. 11); sie convergirt also mit der Richtung der Axe des Stammes. Ist jedoch bei der Astabgabe der Stamm mit abgelenkt, so nähert sie sich nach dem Maasse dieser Ablenkung räumlich und in ihrer Richtung der Mittelebene des Stammes, in der Weise, dass sie bei reinen Dichotomieen, wo der Stamm in zwei gleich abgelenkte gleichstarke Aeste sich theilt, in dieser

Ebene selber liegt. Als Mittelebene des Stammes bezeichne ich dabei die in der Stammaxe senkrecht zur Stammaxen-Radialebene errichtete Ebene.

Bei en face Betrachtung erscheint die Basallinie annähernd parabolisch, und wird, wie schon erwähnt, durch die Stammaxen-Radialebene symmetrisch getheilt aber blos dann, wenn entsprechend der Regel I, der Ast in dieser Ebene entspringt. Entspringt der Ast dagegen in einer aus dieser Ebene abweichenden Richtung, so ist die Basallinie auf der andern Seite von der Stammaxen-Radialebene als auf derjenigen, nach welcher der Ursprung erfolgt, stärker gekrümmt. Ausserdem ist noch zu erwähnen, dass sie an den grösseren Arterienstämmen viel schärfer ausgeprägt ist als an den kleineren und an diesen wieder schärfer als an den Verzweigungen der Vena portarum. — Abweichungen von den geschilderten Verhältnissen kommen auch vor, und zwar in der Weise, dass einmal die Basallinie auch bei nicht abgelenktem Stamme dem vorderen Profilcontour nicht parallel ist, sondern sich mehr oder weniger der Richtung der Stammaxe nähert, oder dass sie bei echten Dichotomieen nicht der Regel entsprechend in der Mittelebene des Stammes liegt, sondern ausserhalb dieser sich befindet und schief zu ihr steht.

§. 54. Zum Schluss dieser Zeichnung der Gestalt der Arterienursprünge muss ich noch erwähnen, dass die Gestalt der Fortsetzung des Stammes nach der Astabgabe immer mehr der Gestalt des Astes selbst sich nähert, je stärker letzterer und je schwächer daher ersterer ist, so dass bei reinen Dichotomieen vollständige Gleichheit beider besteht.

§. 55. Ueber die Gestalt der Venen bei der Zusammenmündung, welche ich nur an einer geringen Anzahl untersucht habe, kann ich mittheilen, dass auch bei ihnen ein allmählicher Uebergang des Astes in die Weite des Stammes an allen Seiten vorhanden war, und dass auch hier der vordere Profilcontour weiterhin am Stamme gehoben war als der hintere; ja sogar ein ausgesprochenes Minimum habe ich einmal vor dem Beginne des Mündungskegels beobachtet; ob es aber natürlich vorgebildet war oder blos durch die Höhe des Injectionsdruckes bei vermehrter Resistenz der Gefässwand am Umfang dieses Querschnittes sich gebildet hatte, bleibt unentschieden. Der Mündungskegel der Venen hat nicht so ausgeprägte charakteristische Gestalt als der Ursprungskegel der Arterien.

§. 56. Aus den vorstehenden Schilderungen der Ursprungs-

resp. Mündungskegel der Blutgefässe ist zu ersehen, dass das Messen der Stärke und besonders der Richtung der Aeste nicht ohne Weiteres ausführbar ist, sondern nach besonderen Principien geschehen muss und in der Richtigkeit seiner Resultate sehr von der Uebung des Messenden abhängig bleibt.

Die Stärke wurde stets aus dem Mittel des Minimalprofil-durchmessers und des en face Durchmessers desselben Querschnittes berechnet.

Die notirte Richtung wurde folgendermassen gefunden: Man denkt sich in der Stammaxen-Radialebene von dem Profil-minimaldurchmesser eine Reihe von Linien nebeneinander durch den Ast gelegt, von denen die dem Profilminimaldurchmesser nächste ihm beinahe parallel ist, aber schon ein wenig nach der Richtung der Stammaxe abweicht, während jede folgende sich immer mehr dieser Richtung nähert, bis die letzte ihr vollkommen parallel ist. Denkt man sich nun noch die Mittelpunkte all dieser Linien verbunden, so wird von der äusseren Hälfte der so erhaltenen geometrischen Axe (welche zwar nicht genau mit der Axe der grössten Stromgeschwindigkeit übereinstimmt), die zu notirende Richtung entnommen. Dies hat keine Schwierigkeit, falls das Gefäss seine Ursprungsrichtung im weiteren Verlaufe annähernd fortsetzt, biegt es sich jedoch nach rückwärts um, so ist die geometrische Axe entsprechend gekrümmt und es tritt keine Hauptrichtung hervor; in diesen Fällen wurde die Richtung desjenigen Stückes dieser Axe benutzt, welches ungefähr einen Astquerdurchmesser von der Stammesoberfläche entfernt war.

---

### III. Erklärungsversuche.

---

§. 57. Nachdem im Vorstehenden ein Theil der scheinbar regellosen Mannichfaltigkeit der Gefässverzweigungsarten und ihrer Formen auf eine Reihe einfacher Gestaltungsregeln zurückgeführt worden ist, soll im Folgenden ein Anfang mit der Behandlung der dadurch erwachsenen schwierigeren Aufgabe, die betreffenden Regeln durch Erforschung ihrer Ursachen zu morphologischen Gesetzen zu erheben, gemacht werden.

Die zur Zeit denkbaren Ursachen will ich, vielleicht etwas willkürlich, aber den nächsten Bedürfnissen entsprechend in drei Gruppen theilen:



1) Ursprüngliche vererbte Bildungsmodi, bedingt durch die Wachsthumsgesetze und die specifische Function der Organe.

2) Aeusserer umgestaltende Einwirkungen auf die einzelnen Organe und auf den ganzen Organismus.

3) Die hydraulischen Kräfte der in den Gefässen bewegten Flüssigkeit.

Ich würde sehr zufrieden sein, wenn ich durch die folgenden Untersuchungen und Reflexionen nur so weit käme, die dargestellten Erscheinungen schon alle mit Bestimmtheit als Wirkungen auf diese 3 Gruppen von Ursachen vertheilen zu können, denn das ist es wohl, was zunächst geschehen muss; es wird sich jedoch leider zeigen, dass ich diese Zufriedenheit nicht erlangt habe. Da die Wirkungsweisen der Kräfte der ersten Gruppe zur Zeit noch unbekannt sind, und nur durch eine ungeheuer grosse Zahl von Specialuntersuchungen festgestellt werden können, und da ferner die Kräfte der zweiten Gruppe sehr mannichfaltige und für die verschiedenen Organe sehr verschiedene sind, während es sich hier um verschiedenen Organen gemeinsame Einrichtungen handelt, so wird es das Beste, sein mit der Untersuchung der eventuell möglichen Wirkungen der Kräfte der letzten Gruppe, welche ja in allen Organen in gleicher Weise thätig und dabei einer exacten Untersuchung am zugänglichsten sind, zu beginnen, um dann zuzusehen ob sie etwa in erkennbarer Weise in der Gestalt der Gefässe zum Ausdruck gekommen sind.

Indem die bezüglichlichen Untersuchungen sich nicht auf die Capillaren erstrecken, kann der Umstand, dass das Blut eine Suspension ist, vernachlässigt und von den unten mitgetheilten hydraulischen Erscheinungen wohl unbeanstandet eine Uebertragung auf die Haemodynamik vorgenommen werden, wenn dabei nur berücksichtigt wird, dass, nach Graham, die innere Reibung im Blute etwa 6 mal so gross ist, als im Wasser.

Obgleich die Hydro- und Haemodynamik in den letzten Decennien durch viele vorzügliche Untersuchungen, namentlich von Weisbach <sup>1)</sup>, Volkmann <sup>2)</sup>, Ludwig <sup>3)</sup>, Jacobson <sup>4)</sup>, Hagen <sup>5)</sup>, Darcy <sup>6)</sup>,

---

<sup>1)</sup> Experimental-Hydraulik. 1855.

<sup>2)</sup> Die Haemodynamik. 1850.

<sup>3)</sup> Lehrbuch der Physiologie, Bd. II.

<sup>4)</sup> Müller's Archiv 1860 und 1861.

<sup>5)</sup> Abhandl. d. Acad. d. Wiss. zu Berlin. 1869.

<sup>6)</sup> Recherches experim. relativ. au mouvement de l'eau dans les tuyaux. Paris 1857.

Poiseuille <sup>1)</sup>, Hagenbach <sup>2)</sup> u. A. sehr bereichert worden ist, so haben doch die morphologisch wichtigen hydraulischen Erscheinungen noch keine besondere Untersuchung und Darstellung gefunden. Ich werde daher bei dem im Folgenden gemachten Anfange für die auf die Verzweigung der Blutgefäße bezüglichen Erscheinungen genöthigt sein, der Vollständigkeit der Darstellung halber, ausser einigen Resultaten eigener Untersuchungen vieles Bekannte anzuführen und zu entwickeln.

§. 58. Bohrt man in die Wand eines cylindrischen, dünnwandigen und mit Wasser gefüllten Gefäßes, auf dessen Inhalt ein constanter Druck lastet, ein kleines Loch, so springt ein Wasserstrahl heraus in einer zur Axe des Cylinders senkrechten und rückwärts verlängert sie schneidenden Richtung. Die Axe des Strahles liegt somit in einer Ebene, welche durch die Axe des Cylinders und die Mitte der Ausflussöffnung bestimmt ist, also in der „Stammaxen-Radialebene“ (§. 8). Dies kommt auf die folgende Weise zu Stande: In der ruhenden Flüssigkeit herrscht überall und nach jeder Richtung hin ein gleicher Druck, zufolge der unbegrenzten Verschiebbarkeit der Molekel gegen einander, welche das Wesen der Flüssigkeit ausmacht. Denn würde z. B. an einem Punkte ein stärkerer Druck sein, so würden ihm die beweglichen Nachbartheile nicht Widerstand zu leisten vermögen und es würde eine Ausgleichung stattfinden; ebenso im umgekehrten Fall. Auf die Wandung macht dieser nach allen Richtungen hin wirkende Druck natürlich gleichfalls nach allen Richtungen hin sich geltend. Wird aber ein Loch in die Wand gebohrt, so muss der von allen Seiten nach dem so gegebenen *locus minoris resistentiae* gleich stark erfolgende Druck in jeder durch den Radius von der Mitte der Oeffnung legbaren Ebene eine Resultante bilden, welche natürlich die Linie sein wird, welche diese Ebene symmetrisch theilt, also die Senkrechte zur Oberfläche für den Längsschnitt und die Richtung des Radius für den Querschnitt. Da diese beiden Linien beim Cylinder zusammenfallen, so fallen auch die Resultanten aller übrigen Durchschnittsebenen in diese Linie. Es geht zugleich hervor, dass der Ausfluss auch in dieser Richtung erfolgen muss, wenn die Kräfte innerhalb jeder

---

<sup>1)</sup> Recherches expér. sur le mouv. des liquides dans les tubes de très-petits diamètres. Mémoires de divers savants. T. IX.

<sup>2)</sup> Poggendorff's Annalen 1860, Bd. 109.

solchen Ebene nicht alle einander gleich, sondern nur symmetrisch zu dieser Linie geordnet sind.

Aus dem gleichen Grunde ist die Senkrechte zur Oberfläche, abgesehen von den parallel zur Cylinderaxe wirkenden und in dieser Richtung zu dehnen versuchenden Kräften, auch die Resultante des Druckes der ruhenden Flüssigkeit auf die Wand des Cylinders.

§. 59. Die von allen Seiten convergirenden Wasserstrahlen behalten nach dem Gesetz der Trägheit ihre Richtung noch jenseits der Ausflussöffnung bei, wodurch der Anfang des Strahles Aehnlichkeit mit der Kegelform erhält. Genauer betrachtet sind die Seitencontouren dieses Ausflusskegels nicht gerade Linien, sondern Bogenlinien, welche mit der Richtung der Tangente an den Rand der Ausflussöffnung beginnen, und in anfangs stärkerem, dann allmählich immer weniger gekrümmtem Bogen gegen einander convergiren, bis sie von einer Stelle an zu divergiren beginnen. Dieser Kegel stellt auch nicht einmal einen Rotationskörper dar, da er im Profil- und en face Bild verschieden ist; aber das Bild aller Ansichten wird durch die Axe des Kegels symmetrisch getheilt. Nach dieser Stelle, welche ein Querschnittsminimum darstellt, löst sich der Wasserstrahl entsprechend seiner Zusammensetzung und ebenfalls in Folge des Beharrungsvermögens in ein divergentes Strahlenbündel auf, wenn nicht die auseinandertreibenden Kräfte schwächer sind, als die Cohäsionskraft des Wassers. Ist dies Letztere der Fall, so läuft der Wasserstrahl eine Strecke weit immer dicker werdend fort bis zu einem Maximum des Querschnittes, um nach diesem sich allmählich wieder zu einem dünneren und dünnsten Querschnitt zusammenzuziehen. Solche An- und Abschwellungen wechseln im weiteren Verlauf immer mit einander ab.

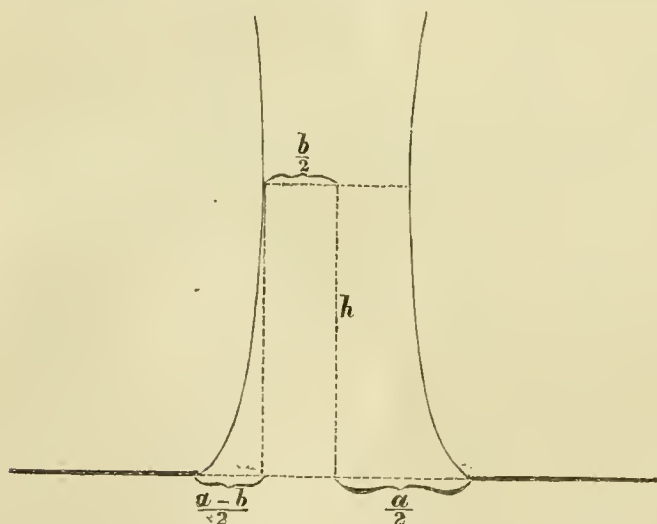
§ 60. Ueber den Abstand des ersten Minimalquerschnittes von der Ausflussöffnung und über die Grösse desselben stellte ich Versuche an, da ähnliche Versuche blos über den Ausfluss aus einem Loch in ebener Wand vorliegen, deren Resultate man nicht einfach auf cylindrisch gekrümmte Flächen übertragen kann.

Tabelle 10 enthält die Resultate einiger Versuchsreihen bei Profilmessung; und zwar zeigt sie den Einfluss, welchen die Grösse der Druckdifferenz des inneren Flüssigkeitsdruckes und des äusseren Luftdruckes, der auf der Ausflussöffnung lastet, auf Grösse und Abstand des Minimums des aus einem kreisrunden



Loche eines 9 Mm. im Durchmesser haltenden, möglichst dünnwandigen Blechcylinders ausfliessenden Strahles ausübt, für 4 verschieden weite Ausflussöffnungen. Die Grösse dieser Druckdifferenz steigt vom ersten Versuch jeder Reihe bis zum letzten. Da sie nicht gemessen, sondern bloss durch Verstellen des Hahnes an der Wasserleitung regulirt wurde, ist sie nicht mit angegeben. Der äussere Luftdruck kann für die Dauer einer Versuchsreihe als constant angenommen werden. Es bedeutet  $a$  die Weite der Ausflussöffnung,  $b$  den Minimaldurchmesser des Strahles im Profilbild und  $h$  den Abstand desselben von der Ausflussöffnung in Mm.

Die 2. und 3. Columne der Tabelle, diejenigen von  $b$  und  $h$  ergeben nun, dass das Minimum mit der Zunahme des Flüssigkeitsdruckes also der Ausflussgeschwindigkeit kleiner wird und sich weiter von der Ausflussöffnung entfernt.



Wenn man im Profilbild von einem Ende des Minimaldurchmessers ein Loth auf den Durchmesser der Ausflussöffnung fällt, so ist das ausserhalb des Fusspunktes des Lothes liegende Stück desselben  $= \frac{a-b}{2}$ . Der

Winkel  $\alpha$ , den eine vom Rande der Ausflussöffnung nach dem Rande des Minimum im Profilbild gezogene Linie mit  $a$  bildet, wird in seiner Tangente ausgedrückt

durch den Quotienten  $\frac{h}{\frac{a-b}{2}}$ . Die betreffende Columne der Ta-

belle zeigt, dass dieser Quotient, also auch der Winkel  $\alpha$ , sich mit der Zunahme des Flüssigkeitsdruckes vergrössert, woraus hervorgeht, dass der Durchmesser des Minimum in einem geringeren Verhältnisse abnimmt, als der Abstand desselben zunimmt. Die einzige Ausnahme, welche das 4. Glied der 2. Reihe bildet, ist wohl auf einen Beobachtungsfehler zurückzuführen.

Es ergibt sich demnach folgende Regel:

Das beim Ausflusse aus einer kreisrunden

seitlichen Oeffnung in der Wand eines aus dem feinsten Blech gearbeiteten Cylinders sich bildende erste Minimum des Wasserstrahles bei Profilbetrachtung entfernt sich mit der Zunahme der Ausflussgeschwindigkeit continuirlich von der Ausflussöffnung und verkleinert sich zugleich continuirlich, aber in geringerem, nicht der Zunahme des Abstandes entsprechendem Grade.

Tabelle X.

| a      | b      | h      | h               |
|--------|--------|--------|-----------------|
|        |        |        | $\frac{a-b}{2}$ |
| 0,68M. | 0,52M. | 0,57M. | 7,1             |
|        | 0,53   | 0,84   | 11,0            |
|        | 0,51   | 1,58   | 18,6            |
| 1,00M. | 0,89   | 0,26   | 4,7             |
|        | 0,83   | 0,52   | 6,1             |
|        | 0,74   | 0,84   | 6,4             |
|        | 0,68   | 0,89   | 5,6*            |
| 1,05M. | 0,84   | 0,57   | 5,4             |
|        | 0,83   | 0,62   | 5,9             |
|        | 0,79   | 0,89   | 6,9             |
|        | 0,76   | 1,00   | 7,0             |
|        | 0,57   | 2,73   | 11,4            |
| 2,12M. | 1,58   | 1,41   | 5,2             |
|        | 1,31   | 2,37   | 5,8             |

Der Ausfluss aus cylindrischer Wand folgt also anderen Gesetzen als der aus ebener Wand, bei welchem nach Weisbach <sup>1)</sup> das kleinste vorkommende Minimum 0,64 vom Durchmesser der Ausflussöffnung beträgt und seinen grössten Abstand von derselben in einer Entfernung von der Hälfte ihres Durchmessers hat, während hier beim Cylinder trotz des geringen verwendeten Druckes in der 3. Untersuchungsreihe schon ein Durchmesser des Minimums von bloß  $\frac{0,57}{1,05} = 0,54$  des Durchmessers der Ausflussöffnung, bei einem Abstände desselben vom  $\frac{2,73}{1,06} = 2,6$ -fachen des Durchmessers der Ausflussöffnung besteht. Andere, nicht in der

<sup>1)</sup> L. c., S. 58.

Tabelle enthaltene Beobachtungen zeigten noch kleinere Minima von mehrmals weiterem Abstand.

Als Ursache dieser auffallenden Verschiedenheit sind 2 Gründe denkbar: Einmal der beim Cylinder ungleiche Zufluss aus dem Quer- und Längsdurchmesser der runden Oeffnung; zweitens die Adhaesion des Wassers an der Wand, welche bewirkt, dass auch bei der grössten axialen Geschwindigkeit die Benetzungsschicht unbewegt bleibt. Letzteres Moment muss natürlich auch, aber in geringerem Grade beim Ausfluss aus ebener Wand wirken, und man wäre so im Stande, aus photographisch gewonnenen Bildern des Ausflusskegels den Grad dieses Einflusses der Wand bei verschiedener Ausflussgeschwindigkeit zu berechnen.

§. 61. Tabelle 11 enthält in 4 Beobachtungsreihen Messungen über den Abstand und die Grösse des Profilminimum bei gleichem Flüssigkeitsdruck, aber verschieden grosser Ausflussöffnung. Da hierbei Voraussetzung ist, dass der Flüssigkeitsdruck genau constant bleibt während der Dauer der Messungen der zu vergleichenden Resultate, diese Bedingung aber bei meinen Untersuchungen nicht vollkommen erfüllt werden konnte, so stimmen die Resultate dieser Messungen sehr wenig überein. Es konnte nämlich blos die städtische Wasserleitung benutzt werden, in welcher selbst während der Nacht der Druck fortwährend schwankte. Die Columnen der a, b und h ergeben, dass mit der Zunahme der Grösse der Ausflussöffnung auch der Durchmesser des Minimum grösser wird, und dass das Minimum zugleich seinen Abstand vergrössert. Column 4 zeigt mit einer Ausnahme, dass der Winkel für dieselbe Stromstärke annähernd der gleiche ist, unabhängig von der Grösse der Ausflussöffnung. Ebenso ergibt sich, dass das Verhältniss der Grösse des Profilminimaldurchmessers zum Durchmesser der Ausflussöffnung:  $\frac{a}{b}$  annähernd constant ist. Ueber

das Verhältniss des Abstandes des Profilminimum zum Durchmesser der Ausflussöffnung ist aus Column 1 und 3 nur ersichtlich, dass ersterer mit letzterem beträchtlich wächst und Column

sechs:  $\frac{a}{h}$  zeigt, dass dies Wachsthum bei den Versuchen ein sehr ungleiches war, was bei der genannten Fehlerquelle nicht zu verwundern ist. Es geht aber doch so viel aus den Messungen hervor, dass bei gleichem Druck der Durchmesser des Minimum annähernd im Verhältniss des Durchmessers der Ausflussöffnung wächst und sich dabei von der Ausflussöffnung entfernt,



so dass also hier kein principieller Unterschied von dem Ausfluss aus ebener Wand vorhanden ist; was ich auch noch durch Beobachtungen an weiteren und engeren Cylindern für Oeffnungen von sehr verschiedener Weite bestätigt gefunden habe.

Tabelle XI.

| a      | b      | h      | $\frac{h}{\frac{a-b}{2}}$ | $\frac{a}{b}$ | $\frac{a}{h}$ |
|--------|--------|--------|---------------------------|---------------|---------------|
| 0,68M. | 0,52M. | 0,57M. | 7,1                       | 1,30          | 1,19          |
| 1,00   | 0,68   | 0,89   | 5,6*                      | 1,47          | 1,24          |
| 1,05   | 0,76   | 1,00   | 7,0                       | 1,38          | 1,05*         |
| 1,05   | 0,79   | 0,89   | 6,9                       | 1,33*         | 1,18          |
| 2,12   | 1,31   | 2,37   | 5,8                       | 1,61          | 0,89*         |
| 1,05   | 0,84   | 0,57   | 5,4                       | 1,25          | 1,84          |
| 2,12   | 1,58   | 1,41   | 5,2                       | 1,34          | 1,50*         |
| 1,05   | 0,62   | 0,85   | 3,9                       | 1,69          | 1,23          |
| 1,12   | 1,31   | 1,68   | 4,1                       | 1,61          | 1,26          |

§. 62. Während so das Profilbild des Ausflusskegels hauptsächlich abhängig ist von dem inneren Flüssigkeitsdrucke und der absoluten Weite der Ausflussöffnung, zeigt sich das en face Bild ausser durch diese, auch hier entsprechend wirkenden Factoren noch in hervorragender Weise bedingt durch das Verhältniss der Weite der Ausflussöffnung zur Grösse des Cylinderdurchmessers; so dass durch gleich grosse Ausflussöffnungen in einem engen und einem weiten Cylinder der Strahl mit wesentlich anderem en face Bild ausfliesst; indem bei ersterem die Convergenz der en face Contouren von Anfang an eine viel geringere ist und das Minimum dabei viel ferner liegt, als beim weiteren Cylinder. Dies wird dadurch hervorgebracht, dass beim relativen Grösserwerden der Oeffnung die Randstrahlen, welche ja mit der Richtung der Tangente an den Rand der Ausflussöffnung beginnen, in einem viel kleineren Winkel zu einander stehen, als bei relativ kleiner Oeffnung, wo ihr Winkel sich 180° nähert.

§. 63. Wäre das Gefäss aus einer Masse gefertigt, welche neben der genügenden Festigkeit, um dem Seitendruck Widerstand zu leisten, noch die Bildsamkeit besässe, kleineren Druckrichtungsdifferenzen nachzugeben, so würde, da nach dem Durchbruch der Wand der Druck nicht mehr allseitig senkrecht und gleich stark auf die Gefässwand drückt, sondern da ein Theil der schief gerichteten Kräfte, als deren Resultante der senkrechte Druck nach aussen hauptsächlich übrig blieb, jetzt durch den Ausfluss in Wegfall gekommen ist, und somit ausser dem jetzt geringeren senkrechten Druck auf die Wand der Umgebung der Oeffnung noch eine Summe einseitig schief nach der Oeffnung gerichteter Druckkräfte hier angreift, eine Abweichung von der cylindrischen Gestalt sich bilden. Die schiefen Kräfte greifen am stärksten an dem Rande der Ausflussöffnung an und streben ihn zu erweitern und vorzuwölben, da dass Wasser hier von allen Richtungen von der Innenseite her zusammengedrängt wird und dieser Rand den Stützpunkt abgeben muss für den so entstehenden stärkeren Druck an der Stelle und die nachher erfolgende Contraction des Wasserstrahles. An Gefässen aus einer Mischung von Schweineschmalz und Olivenöl kann man diese Wirkungsweise wenigstens annähernd zur Anschauung bringen. Aber auch die übrige, die Oeffnung umgebende Wandung wird bei genügender Bildsamkeit an jeder Stelle eine der Resultante der schief und der senkrecht wirkenden Kräfte entsprechende Richtung erhalten und im Ganzen eine konische Gestalt annehmen. Die so entstandene Convergenz der Seiten-Contouren wird im en face Bild im günstigsten Falle die ganze Hälfte der Peripherie des Kreises vertreten und im Profilbilde schon in weiter, auf beiden Seiten gleicher Entfernung von der Oeffnung eine allmähliche Erhebung darstellen. Dies wird bei derselben Bildsamkeit der Wandung um so ausgeprägter sein, je grösser die gestaltende Kraft, das ist die Differenz des inneren Flüssigkeitsdruckes und des äusseren, auf Wand und Oeffnung lastenden Druckes, ist.

§. 64. Ist dabei an die Ausflussöffnung eine cylindrische Röhre, von gleichem Querdurchmesser und gleicher Bildsamkeit, in der Richtung des Strahles angefügt, so wird sie in ihrem Anfangstheil durch den konischen Ausflussstrom an sich nicht vollkommen ausgefüllt, sondern blos durch wirbelartige Nebenströme; sie wird aber an dieser Stelle durch einen bestehenden, piézometrisch nachweisbaren, negativen Druck zur konischen

Form des Wasserstrahles eingezogen werden. Nach einer Stelle des Minimum wird dann die Erweiterung zum definitiven Lumen erfolgen. Dieselbe Gestalt muss entstehen, wenn auch die Strömung so schwach ist, dass kein negativer, sondern blos ein schwächerer positiver Druck vorhanden ist. Es wird alsdann zwar keine Einziehung stattfinden, aber, freilich bedeutend langsamer, durch die schiefen Wasserstrahlen eine Ausbiegung der anderen Stellen sich bilden, bis vollkommen die Kegelgestalt des contrahirten Strahles erreicht ist.

Die Bildsamkeit des Wandungsmaterials muss aber eine sehr hohe sein, denn die Richtungskraft der einzelnen Wasserstrahlen wird schon durch die Adhaesion stark gemindert.

§. 65. Wird das ganze bildsame Gefäss mit seinem Inhalt in comprimirt Luft gebracht, so muss der Ausfluss in ganz derselben Weise stattfinden als vorher, da überall der gleiche Druck sich addirt, die zur Wirkung gelangende Differenz also dieselbe bleibt. Lässt man jedoch den verstärkten Luftdruck blos auf die Ausflussmündung wirken, indem man den Rand derselben an den einer entsprechenden Oeffnung in der Wand der Kammer löthet, so wird eventuell, wenn der Luftdruck gleich dem inneren Flüssigkeitsdruck ist, gar kein Ausfluss stattfinden. Ist der Luftdruck aber geringer, so erfolgt der Ausfluss mit einer der Druckdifferenz entsprechenden Geschwindigkeit und Gestalt.

§. 66. Gehen wir nun zur Betrachtung und Untersuchung der Erscheinungen und Wirkungen in Röhren fliessenden Wassers über.

Haben wir eine gerade, cylindrische, dünnwandige, innen ganz glatte Röhre, welche aus einem Material gefertigt ist, das vom Wasser benetzt wird, so steht beim Durchfliessen des Wassers die Benetzungsschicht desselben an der Wand still und erst die nächst entfernte wird durch das Fliessen mit bewegt. Die Geschwindigkeit der Bewegung des Wassers ist in demselben Querschnitt innerhalb jedes axialcentrischen Kreises die gleiche und nimmt von der Axengeschwindigkeit, welche am grössten ist, continuirlich nach aussen ab, so dass sie in der Benetzungsschicht eben gleich Null ist. Dabei muss sich natürlich jeder rascher bewegte Flüssigkeitscylinder an dem langsamer bewegten nächst äusseren reiben, wodurch ein erheblicher Widerstand für die Fortbewegung des Wassers entsteht, der um so grösser ist, je weiter noch die untersuchte Stelle von der Ausflussöffnung entfernt ist, denn um so länger sind die Flüssigkeits-



cylinder, deren Reibung an einander überwunden werden muss. Diese innere Reibung bei der Fortbewegung oder der Widerstand gegen die Fortbewegung wächst, ausser proportional der Länge des Rohres, noch annähernd umgekehrt proportional dem Durchmesser desselben, Hagen <sup>1)</sup> und bei engen Rohren, bis etwa 4 Mm. Durchmesser, proportional der Stromgeschwindigkeit, Poiseuille l. c., Hagenbach l. c., Hagen Pogg. Annal. Bd. 46; bei weiten Rohren dagegen wächst er rascher, annähernd proportional dem Quadrat der Stromgeschwindigkeit, Weisbach <sup>2)</sup>, Darcy <sup>3)</sup>, Gauchler <sup>4)</sup>, Hagen. <sup>5)</sup> Nach der Formel des Letzteren ist für einen Meter Rohrlänge die Widerstandshöhe

$$B_1 = a \frac{u^2}{d} + b \frac{u}{d^2},$$

worin  $u$  die Geschwindigkeit,  $d$  den Durchmesser des Rohres,  $a$  und  $b$  Coefficienten bezeichnen. Die äussere Reibung durch eventuelle Unebenheit der Röhrenwandung ist dabei mit im Coefficienten  $a$ , die Widerstandsänderung durch Temperaturwechsel mit in  $b$  enthalten (Grashof <sup>6)</sup>). Ausserdem ist die Widerstandshöhe unabhängig von der Grösse des in der Flüssigkeit bestehenden Druckes Coulomb <sup>7)</sup>, Darcy l. c.

Der Druck in der Flüssigkeit macht sich auf die Wandung wieder nach allen Richtungen hin geltend; aber wenn auch natürlich die Resultante dieses Seitendruckes noch in der Stamm-axen-Radialebene liegt, so steht sie doch nicht mehr senkrecht zur Wand, sondern ist an jedem Querschnitt, entsprechend der Differenz zwischen dem Drucke in dem vorhergehenden Querschnitte und dem nachfolgenden, da letzterer geringer ist, gegen die Richtung des Stromes hin geneigt. Dabei ist aber die Grösse des in dem betreffenden Querschnitt selbst vorhandenen und auf die Wandung in einer nach aussen senkrechten Richtung angreifenden Druckes Widerstand leistend wirksam, so dass also bloss eine Neigung von der Richtung der Resultante dieser Kräfte entsteht. Diese Neigung ist demnach um so geringer, je stärker der Widerstand für die Fortbewegung des Wassers ist, z. B. je länger

<sup>1)</sup> Abhandl. der Acad. d. Wissensch. zu Berlin 1869.

<sup>2)</sup> l. c., S. 92.

<sup>3)</sup> l. c.

<sup>4)</sup> Comptes rendus. April 1867.

<sup>5)</sup> l. c.

<sup>6)</sup> Theoret. Maschinenlehre, Bd. I. S. 487—491.

<sup>7)</sup> Mém. de l'Institut. T. III, p. 287.

das Rohr, und um so grösser, je grösser *ceteris paribus* die Stromgeschwindigkeit ist.

Obgleich nun die Druckdifferenz zweier nebeneinander liegender Querschnitte in Folge der geringen Differenz des Abstandes von der Ausflussöffnung eine sehr geringe ist, so ist sie doch die wesentliche Veranlassung des Weiterfliessens des Wassers.

§. 67. Dazu kommt dann noch das Beharrungsvermögen des bewegten Wassers, zufolge dessen es, wenn die Röhre gebogen ist, an der entgegenstehenden Wand anprallt, und sich an die gegenüber liegende Wand nicht anschliesst. Damit ist der Seitendruck nicht mehr an allen Seiten desselben Querschnittes gleich, sondern er ist, wie unsere Messungen mit 11 Piëzometern an der Biegungsstelle ergaben, an der Anprallstelle selbst und auch noch, aber weniger, in den zur Biegungsebene senkrechten Durchmessern, je nach der Stärke der Biegung mehr oder weniger über den Druck an den nächsten, weiter stromaufwärts gelegenen Stellen erhöht, an dem der Anprallstelle gegenüberliegenden Theile der Wandung aber bedeutend erniedrigt. Eine Ausgleichung dieser Druckdifferenzen kann nicht zu Stande kommen, da sie fortwährend neu erzeugt werden. Es besteht somit ein Bestreben, das gebogene Rohr zu strecken, welches gleich ist der Differenz des Druckes an der Anprallstelle und an dem entgegengesetzten Theile desselben Querschnittes. Ist die gebogene Röhre aus bildsamem Material im obigen Sinne, so wird ihre Wand an der Anprallstelle, unter gleichzeitig erfolgender Streckung des Rohres, ausgebuchtet werden.

§. 68. Ist das Ende einer biegsamen Röhre in einem bestimmten Winkel zum gleichfalls befestigten Anfangsstück fixirt, das zwischenliegende Stück aber sich selbst überlassen, so wird dieses letztere beim Durchströmen des Wassers, wenn nicht ganz bestimmte ungünstige Verhältnisse mitwirken, in der Weise gebogen, dass der Uebergang von der einen Richtung zur gegebenen anderen nicht in einem scharfen Winkel, sondern in ganz allmählicher Biegung erfolgt.

§. 69. Schneidet man in die Wandung eines von Wasser durchströmten Blecheylinders ein Loch, so springt der Strahl aus demselben zwar noch wie bei ruhender Flüssigkeit innerhalb der Stammaxen-Radialebene heraus, aber nicht mehr senkrecht zur Cylinderaxe, sondern mit der Neigung der Resultante aus senkrechtem Seitendruck und Stromgeschwindigkeit, und man erhält hier wieder Gelegenheit, die Entstehung der Re-



sultante unmittelbar zu beobachten, da nicht jedes einzelne Wassertheilchen schon die ihr entsprechende Richtung hat, sondern diese erst durch das Zusammenwirken der von allen Seiten her, zum Theil mit ungleicher Kraft, zuströmenden Wasserstrahlen fortwährend von neuem gebildet wird. Betrachtet man bei runder Ausflussöffnung die Gestalt des Strahles an seinem Ursprunge genauer, so zeigt sich zunächst, dass das en face Bild in allen Zügen und auch in den Bedingungen seiner Variationen vollkommen den in §. 59—62 beschriebenen Verhältnissen entspricht, was ohne weitere Erklärung verständlich ist, da sich blos die Stellung des betreffenden Querschnittes, nicht aber die Anordnung der Kräfte in ihm, noch diese selber, verändert haben.

Das Profilbild dagegen zeigt mit der Neigung des Strahles wichtige Veränderungen, indem es mit der Zunahme der Neigung immer schmäler wird, wobei der vordere Profilcontour immer länger am freien Strahl seine ursprüngliche, der Stromrichtung entsprechende, Richtung behält, also erst später und allmählicher sich umbiegt, während der hintere Profilcontour immer rascher sich umbiegt und daher immer niedriger wird. Damit ist auch das Minimum weniger ausgeprägt und rückt näher an die Ausflussöffnung heran. Dies erklärt sich auf folgende Weise: Die Bewegungsgrösse der zufolge des inneren Flüssigkeitsdruckes von allen Seiten nach der Oeffnung, als einem *locus minoris resistentiae*, hinströmenden Flüssigkeitsstrahlen wird in deren stromaufwärts von der Mitte der Oeffnung gelegenen Theile durch die Stromgeschwindigkeit verstärkt und nach der Richtung derselben abgelenkt, wogegen die von unterhalb der Mitte der Oeffnung herkommenden Strahlen gegen die Stromkraft sich bewegen müssen und dabei um so mehr von ihr überwunden werden, je grösser die Stromkraft im Verhältniss zum Seitendruck ist, je stärker also auch die Neigung des ausfliessenden Strahles ist. Die Nothwendigkeit der Abnahme des Profildurchmessers eines aus einer kreisrunden Oeffnung ausfliessenden Strahles bei Zunahme der Neigung desselben zur Ebene des Kreises ergiebt sich aus der Projectionslehre. In den übrigen Verhältnissen variirt auch das Profilbild des Strahles nach den in §. 60—62 angegebenen Principien.

§. 70. Hat die Wandung des Cylinders wieder die gehörige Bildsamkeit, so wird sie auch wieder entsprechend den Kraftverhältnissen der von allen Seiten zufließenden Wasserstrahlen umgebildet werden, so dass sie hier also zu einem breit



gedrückten geneigten Ursprungskegel sich formt, dessen vorderer Theil viel ausgedehnter und ausgebildeter ist als der hintere. Ist wieder ein gleich bildsames Rohr an die Oeffnung angefügt, so wird dasselbe in seinem Anfangstheile nach der Richtung und Form des Strahles umgestaltet, selbst wenn es eine abweichende Richtung haben sollte; zu dieser wird dann der Uebergang durch allmähliche Biegung unter gleichzeitiger Ausbuchtung an der Anprallstelle hergestellt, falls sie im weiteren Verlaufe fixirt ist.

§. 71. Durch die Auflösung der Richtung des frei ausspringenden Strahles in Componenten, in die Stromgeschwindigkeit und den senkrecht nach aussen wirkenden, durch den Widerstand für die Fortbewegung bedingten inneren Flüssigkeitsdruck ist zugleich eine, wie ich glaube, neue und sehr einfache Methode gefunden, die Zunahme des Widerstandes bei Zunahme der Stromgeschwindigkeit zu bestimmen; eine Methode, welche darin besteht, dass man bei Gleichhaltung aller übrigen Umstände die Stromgeschwindigkeit ändert und die entstehende Aenderung des Neigungswinkels des frei ausspringenden Strahles misst. Es fand sich diese Methode in der erwähnten älteren Literatur und auch in dem neuen, citirten Werk von Grasshof weder angeführt noch verwerthet. Bei ihrer Anwendung ist aber wohl zu berücksichtigen, dass zum freien Ausspringen des Strahles ein messerscharfer Rand der Ausflussöffnung nöthig ist. Beobachtungen mit dieser Methode an 9 und 14 Mm. weiten cylindrischen Röhren ergaben, indem bei einem Wechsel der Stromgeschwindigkeit um etwa das Sechsfache *ceteris paribus* der frei ausspringende Strahl, blos seine Sprungweite entsprechend ändernd, ganz dieselbe Richtung behielt, während er bei den geringsten Aenderungen der Endausflussöffnung oder der Neigung des Rohres entsprechend variirte, dass die Hagen'sche Formel für Röhren von dieser Weite innerhalb des von mir verwendeten Druckes von 5 Fuss Druckhöhe noch nicht anwendbar ist, sondern dass hierbei der Widerstand noch genau proportional der Stromgeschwindigkeit wächst.

Denn das Verhältniss zwischen dem Winkel des frei ausfliessenden Strahles und der Resultante aus Stromgeschwindigkeit und innerem Flüssigkeitsdruck mag ursprünglich sein, welches es wolle, es mag an lebendiger Kraft und an Richtung beliebig viel verloren gehen: wenn bei der Veränderung zweier Componenten von constanter Richtung die Resultante dieselbe Richtung behält, müssen die Componenten in gleichem Verhältnisse sich verändert

haben. Ebenso kann dieselbe Methode auch zur Prüfung des Gesetzes, dass der Widerstand proportional dem Abstand von der Ausflussöffnung ist, verwendet werden.

§. 72. Aus verschiedenen grossen seitlichen Oeffnungen desselben Cylinders springt *ceteris paribus* der Strahl unter derselben Richtung zur Cylinderoberfläche aus, was verständlich ist, wenn man bedenkt, dass Stromkraft und Seitendruck dabei immer in gleichem Verhältniss an Wirkungsfeld gewinnen.

Ferner zeigte sich, dass aus seitlichen Löchern im Cylinder der Strahl um so steiler ausspringt, je näher sie der Endausflussöffnung des Cylinders liegen, falls dieselbe kleiner ist als der Querschnitt des Cylinders.

§. 73. Setzt man eine Kammer mit comprimierter Luft an die seitliche Ausflussöffnung des Rohres an, so kann der Seitendruck blos mit der Differenz des Luftdruckes in der Camera und dem inneren Flüssigkeitsdruck wirken; die Richtung und Kraft der Strömung im Rohre werden daher die Resultante mehr beeinflussen; der Strahl also unter spitzerem Winkel und mit entsprechend niedrigerem und weniger verjüngtem Ursprungskegel entspringen. Dabei wird die Gestalt des Ursprungskegels nochmals im gleichem Sinne durch die erwähnte Abnahme der Druckdifferenz verändert, so dass der Abstand seines Minimaldurchmessers von der Ausflussöffnung sehr gering, und der Minimaldurchmesser selber relativ gross, das Minimum also wenig ausgeprägt ist.

§. 74. Dasselbe muss stattfinden, wenn statt der Camera mit comprimierter Luft ein im oben erörterten Sinne bildsames Rohr von solcher Länge angesetzt wird, dass der Widerstand in ihm an seiner Ursprungsstelle gerade so gross ist, als der der comprimierten Luft war; es wird dann die Umgestaltung am Anfangstheile desselben eine zwar die charakteristischen Contouren zeigende, aber doch nur wenig ausgeprägte und nur an einem sehr niedrigen Theil erfolgende sein, falls nicht etwa noch das Bestehen einer Differenz zwischen der Richtung der Röhre und der des unter gleichem Widerstande frei ausspringenden Strahls eine Anfangsbiegung der Röhre mit Ausbuchtung verursacht.

Ist dies Letztere wirklich der Fall, dabei die Röhre aber aus einem für die im Wasserstrahl wirkenden Kräfte vollkommen bildsamen Material, so wird die Gestalt des Ursprungskegels



durch die Biegung und Ausbuchtung nicht alterirt, denn die letzteren werden alsdann erst jenseit des Ursprungskegels stattfinden.

§. 75. Wenn dagegen die Bildsamkeit des Wandungsmaterials eine weniger vollkommene ist, so wird der seitlich ausfliessende Strahl nicht im Stande sein, das Anfangsstück der Röhre vollkommen in seine Richtung zu bringen; es muss demnach der Anprall an dem hinteren Theile der Wand schon des Ursprungskegels stattfinden, wodurch die sonst gegen das Lumen des Astes convexe Biegung des hinteren Profilcontours in ihrem äusseren Theile bis zur geraden Linie abgeschwächt oder gar in eine Concavität umgewandelt wird. Die Convergenz des hinteren Profilcontours in seinem äusseren Theile gegen den vorderen kann dabei auch aufgehoben werden, so dass Parallelismus beider Contouren gleich nach der starken Ursprungsbiegung des ersteren, oder gar Divergenz entstehen kann. Der Grad dieser Veränderung ist natürlich abhängig, ausser von der Bildsamkeit des Wandungsmaterials, von der Stromstärke des Seitenstrahls von der Differenz der Richtung des Rohres mit der des frei ausfliessenden Strahles, und von der absoluten Grösse des wirklichen Ursprungswinkels. Letzteres deshalb, weil bei grossem Ursprungswinkel nach §. 69 der Abstand des Profilminimum ein viel beträchtlicherer ist, als bei spitzem Winkel, wo er so niedrig ist, dass kaum Gelegenheit zum Anprall vorhanden ist, so dass die Ausbuchtung hier fast allein erkennbar den folgenden Theil des Rohres betrifft.

§. 76. Ich breche hier die Mittheilung hydraulischer Untersuchungen und Betrachtungen ab, da ich über die weiterhin, zum Verständniss der Ablenkung des Stammes bei der Astabgabe zu behandelnden, theilweise zum ersten Mal aufgeworfenen Fragen über das Wesen des Rückstosses der Flüssigkeiten und über seine Wirkung nicht blos beim Ausfluss, sondern auch beim Durchfluss durch Röhren, über die Grösse des Wasserstosses innerhalb gebogener Röhren und über die eventuelle Zerlegbarkeit eines gepressten Wasserstrahles in Componenten, bei der Schwierigkeit derselben und beim Mangel des Vorhandenseins von Vorarbeiten, noch nicht zu festen, auf unzweideutige Experimente gegründeten Ansichten gekommen bin.

§. 77. Wenn wir nun untersuchen, ob und wie weit die entwickelten hydrodynamischen Erscheinungen mit den oben geschilderten Gestalt- und Richtungsverhältnissen der Blutgefäss-



verzweigungen übereinstimmen, und wenn dies der Fall ist, unter welchen Bedingungen ein sich Geltendmachen der hydrodynamischen Kräfte bei der Gestaltung der Blutgefässe denkbar ist, so tritt zunächst das auffällige Verhalten hervor, dass die Gestalt der Astursprünge in vielen Fällen alle die charakteristischen Merkmale des frei aus der seitlichen runden Oeffnung eines von Wasser durchflossenen Cylinders ausspringenden Strahles zeigt und dass diese Gestalt der Astursprünge mit der Aenderung der gleichen Umstände und in der gleichen Weise variirt, wie die Gestalt solches frei ausfliessenden Strahles: nämlich für das Profilbild mit dem Neigungswinkel gegen die Stammesaxe und mit der absoluten Grösse der Oeffnung und für das en face Bild noch mit der relativen Weite des Loches resp. Astes zur Weite des Stammes; während das en face Bild beider unabhängig ist von der Neigung des Astes zum Stamme, und das Profilbild unabhängig von der relativen Weite des Astes (§. 39—54, §. 59—62 und §. 69).

Ausserdem war noch wahrscheinlich, dass die Druckdifferenz, wie beim freien Strahl (§. 60), auch bei den Arterienästen auf die Gestalt einwirke, da nach §. 42 die bezüglichlichen Erscheinungen nicht blos an den grösseren Arterien ausgesprochener sich finden als an den Verzweigungen der V. portae, sondern auch caeteris paribus Verschiedenheiten in ihren relativen Dimensionen erkennen liessen.

Ferner zeigt sich auch noch eine Uebereinstimmung in den Richtungsverhältnissen, indem der Astursprung in beiden Fällen immer innerhalb der Stammachsen-Radialebene erfolgt (§. 8, §. 58 und 69).

Die Gestalt der Gefässursprünge stimmt noch mehr überein mit der Gestalt der Verzweigungen von Röhren, welche, aus einem für die hydrodynamischen Kräfte bildsamem Materiale bestehend, längere Zeit von Flüssigkeit durchströmt worden sind, indem in diesem Falle auch die Basis der Astursprünge vollkommen die beschriebenen charakteristischen Formen der Basis der Gefässursprünge annehmen würde (§. 63, 64, 70 u. 74).

§. 78. Diese evidente Uebereinstimmung wird wohl Niemand als Wirkung der specifischen Function der Organe oder des Organismus, welchem die Blutgefässe zugehören, oder gar als durch äussere Einwirkungen auf die Organe bedingt hinstellen

mögen; schon deshalb nicht, weil diese beiden Momente, bei den verschiedenen Organen ganz verschieden, die bezüglichlichen Erscheinungen aber den Gefäßen dieser verschiedenen Organe gemeinsam sind.

Es bleibt somit bloß die Alternative, daß hier eine Anpassung an die vorhandenen und daher auch wirkenden Kräfte des Blutstromes stattgefunden habe, oder, daß die Anlage und das Wachsthum der Gefäße durch zwar den verschiedenen Organen gemeinsame, aber von der specifischen Function der Gefäße und dem gestaltenden Einflusse derselben unabhängige morphologische Gesetze bestimmt würden, welche selbständigen Gesetze aber zufälliger Weise genau das hergestellt hätten, was bei Geltendmachung dieser nicht zu erkennbarer Wirkung gelangten specifischen Kräfte entstanden sein würde.

Indem ich mich für die erstere Auffassung dieser Alternative entscheide, und die zweite nicht für der Discussion werth erachte, bin ich genöthigt, zu untersuchen, welche Eigenschaften eine so eminent anpassungs- und zugleich widerstandsfähige Masse eigentlich haben müsse.

Die Besonderheit dieser Eigenschaften zeigt sich am deutlichsten bei einem Vergleich mit den Eigenschaften und dem daraus hervorgehenden Verhalten gewöhnlicher elastischer Membranen. Wenn eine solche Membran durch eine Kraft gespannt ist, so kann eine noch hinzukommende spannende Kraft höchstens in dem Verhältniss ihrer Stärke zu der schon spannenden Kraft, im Falle sie nämlich in derselben Richtung wirkt als diese, eine weitere Gestaltveränderung hervorbringen, so daß beispielweise eine Zuwachskraft von  $\frac{1}{100}$  die vorhandene Gestalt bloß um  $\frac{1}{100}$  weiter von der Gestalt, welche die Membran, wenn sie ganz sich selbst überlassen ist, einnimmt, zu entfernen vermag. Dem entsprechend sieht man durch die Wirkung der relativ sehr schwachen schief angreifenden Kräfte beim Ausfluss eines Strahles durch ein Loch in einer solchen elastischen Haut keinen erkennbaren Ausflusskegel in derselben sich bilden.<sup>1)</sup>

Das Gefäßbildungsmaterial dagegen zeigt die Fähigkeit

<sup>1)</sup> Dass dies aber nicht die Folge einer etwa in elastischen Häuten stattfindenden Druckausgleichung sein kann, ergaben von mir angestellte Versuche an dünnwandigen, rechtwinkelig verzweigten und an der Verästelungsstelle mit vielen Piezometern versehenen Gummiröhren, indem sich hier an den entgegengesetzten Stellen der betreffenden Querschnitte dieselben Druckdifferenzen zeigten als an gleich geformten Blechrohren.



auch bei sehr grosser Spannung in einer Richtung noch vollkommen ganz geringen Druckwirkungen in anderer Richtung nachzugeben: eine Eigenschaft, welche blos lebendige Substanz haben kann.

Um noch einige Beispiele wahrscheinlicher Anpassung an die Kräfte des Blutstromes anzuführen, erwähne ich die Glätte der Innenwandung der Blutgefässe, die, falls nicht starke Biegungen erfolgen, runde Beschaffenheit des Querschnittes der Gefässe in ihrer Continuität, die grössere Stärke der Wandung der Arterien als der Venen (Descartes, diss. de meth. V.) und besonders die Bildung von Hauptbahnen, welche, wie wir in §. 19 sahen, im Gefässhof des Hühnchens rasch aus einer unregelmässig netzförmigen Anlage sowohl im arteriellen wie venösen Abschnitt entstehen, nachdem die Bewegung des Blutes begonnen hat; und ferner noch die radienförmige Anordnung dieser Stämme im Gefässhof von dem Ursprungspunkt aus, resp. nach dem Vereinigungspunkte hin.

Ich will hier noch ein biologisch interessantes Factum erwähnen, welches darauf hinweist, dass aus ganz verschiedenen Ursachen Aehnliches hervorgehen kann; nämlich die Thatsache, dass der Ursprung der Blattstiele und besonders der Aeste der Bäume häufig im allgemeinen ähnliche Formen zeigt, wie wir sie hier beim Ursprung der Blutgefässe gesehen haben.

Die Wiedergabe der Gestalt des frei ausspringenden Strahles ist blos möglich, wenn er wirklich ungehemmt in der Richtung entspringen kann, welche ihm, zufolge des Verhältnisses von Stromgeschwindigkeit und Seitendruck, hydrodynamisch zukommt, denn, wenn man ihn von dieser Richtung abzulenken versucht, erfährt er Aenderungen dieser Gestalt; daraus ergibt sich die Regel:

Wo der Astursprung vollkommen die charakteristische Gestalt des frei ausspringenden Strahles hat, erfolgt der Ursprung in der haemodynamisch bedingten Richtung zum Stamme.

§. 80. Da aber die Richtung kurz nach einander aus demselben Stamme entspringender und an ihrem Ursprung die Gestalt frei ausspringender Strahlen zeigender Aeste oft nicht die gleiche ist, so beweist dies, dass in diesen Aesten die hydrodynamischen Verhältnisse nicht die gleichen sein können, dass der Druck und dem entsprechend, im umgekehrten Verhältniss, auch die Ge-



schwindigkeit in ihnen ungleich sein muss; denn im Stamme selber kann eine so erhebliche Verschiedenheit der hydrodynamischen Verhältnisse, falls nicht gleichzeitig starke Aeste auf der anderen Seite abgehen, an einander so nahen Querschnitten nicht bestehen. Es dünkt mich auch nicht unwahrscheinlich, dass an vielen Stellen des Körpers die relative Grösse der Capillarbezirke und die Weite und Länge der Capillaren nebeneinander entspringender Arterien und somit auch die Widerstände in ihnen nicht die gleichen sind.

Die Regeln 11 und 12, §. 36 und 37 besagen, dass die grösseren Arterien im Allgemeinen unter spitzeren Winkeln abgehen, als die relativ schwächeren; es muss daher, so weit ihr Ursprung die Gestalt frei unter diesem Winkel ausspringender Wasserstrahlen zeigt, der Flüssigkeitsdruck in ihnen schwächer sein, als in neben ihnen, aus dem selben Stamme unter grossem Winkel entspringenden kleineren Gefässen, falls der Ursprung derselben, wie vorkommt, in seiner Gestalt derselben Bedingung entspricht.

§. 81. Wenn aber an einer Stelle der meist befolgten Regel, dass der Ursprung der Aeste unter dem, den hydrodynamischen Verhältnissen entsprechenden Winkel erfolgt und danach erst das Gefäss die functionell nöthige Richtung durch Umbiegung erlangt, nicht zur Geltung gekommen ist, so wird, falls der Ursprungswinkel ein für die hydrodynamischen Verhältnisse zu grosser ist, abgesehen von Strudelbildungen im Stamme, an der hinteren Wand des Astes ein Anprall des in denselben einfliessenden Blutstromes stattfinden.

Ist in diesen Fällen die sonst vorhandene Bildsamkeit der Gefässwandung nicht ganz aufgehoben, so muss der sonst bis zur Stelle des definitiven, resp. des Minimalquerschnittes hin gegen das Lumen des Astes convex gebogene hintere Profilcontour in dieser Biegung abgeschwächt werden, sei es bis zur geraden oder gar concaven Gestalt; und im letzteren Falle kann die Biegung geringer sein als die des vorderen Profilcontours, wobei dann also eine Convergenz beider Contouren noch fort dauert; oder sie kann ihr gleich sein, so dass Parallelismus beider Contouren gleich nach der starken Ursprungsbiegung des hinteren Profilcontours stattfindet; oder sie kann noch stärker sein, so dass der hintere Profilcontour eine Ausbuchtung bezeichnet. Durch Annahme einer solchen Entstehungsweise glaube ich, die im §. 48 geschilderten, entsprechenden Abweichungen des hinteren

Profilcontours von der gewöhnlichen Gestalt einem Verständniss näher rücken zu können.

Da an einem durchflossenen Rohre allein aus hydrodynamischen Kräften ein vollkommen rechtwinkliger Astursprung auch beim stärksten Drucke nicht vorkommen kann (§. 69), so ist es danach auch verständlich, dass an, trotzdem rechtwinkelig abgehenden Arterienästen der hintere Profilcontour in seinem äusseren, jenseits der starken Anfangsbiegung liegendem Theile stets gestreckt, oder, wie an absolut stärkeren Aesten, concav ist, nie aber die bei hydrodynamisch-freiwillig rechtwinkeligem Ursprunge, der nach §. 58 bloss erfolgt, wenn das Ende des Cylinders vollkommen geschlossen ist, vorhandene Gleichheit mit dem vorderen Ursprungscontour zeigt.

Dieselben Gestaltverhältnisse müssten demnach auch zeigen, und zeigen in der That die rückläufigen Gefässe, mit Ausnahme der Coronararterien, welche ich selbst unter  $126^{\circ}$  direct entspringen sah, ohne dass eine Ausbuchtung an dem hier überhaupt nicht formal charakterisirten, hinteren Profilcontour zu erkennen war. Seine Gestalt ist aber verschieden und scheint mit der Höhe des Ursprungs der Coronararterien im Verhältniss zu den Semilunarklappen zu wechseln, worüber ich mir genauere Untersuchungen und Mittheilungen vorbehalte. Einige rückläufige Gefässe entspringen unter spitzen Winkeln und biegen sich dann zurück; an ihnen hat der hintere Profilcontour manchmal die freiwilligem Ursprung entsprechende Gestalt.

§. 82. Nach diesen Ausführungen bleiben von den aufgestellten Regeln bloss die auf die Ablenkung des Stammes bei der Astabgabe, resp. die auf die Richtung des bei der Zusammenmündung zweier Venen sich bildenden Stammes bezüglichen Regeln, so wie die häufige Ausbuchtung des Stammes kurz nach der Astabgabe auf der Seite derselben (§. 49) ganz ohne Vermittelung.

Wenn es vergönnt ist, für den Fall, dass ich nicht in die Lage kommen sollte, morphologisch weiter arbeiten und die bezüglichen Fragen selbst behandeln zu können, meine gegenwärtige Ansicht über die Ursachen dieser Erscheinungen auszusprechen, um vielleicht anderen Bearbeitern sei es als Ausgangspunkt der Untersuchungen oder der Kritik zu dienen, so muss ich sagen, dass ich auch sie für hydrodynamisch bedingt halte, obwohl für die Ablenkungsregeln auch rein morphologische Entstehungsweisen sehr wohl denkbar sind, wozu noch kommt, dass man an den Pflanzen ähnliche Erscheinungen sehr verbreitet findet. Welche



hydraulischen Kräfte ich nach bis jetzt angestellten Versuchen als dabei wirksam vermuthe, geht aus den in §. 76 aufgeworfenen Fragen hervor.

Von der Richtung des Venenstammes glaube ich, dass sie die Resultante der sich vereinigenden Ströme ist und in ähnlicher Weise gebildet wird, nur vielleicht mit anderem Verlust an Richtung und lebendiger Kraft, als bei freien, unter einem Winkel sich treffenden und danach vereinigt, in einer dem Parallelogramm der Kräfte entsprechenden Richtung, weitergehenden Strahlen. Nur bei solcher Richtung des Venenstammes wird der Anprall der Blutströme der sich vereinigenden Venen an der Wand des Stammes auf beiden Seiten der gleiche, und somit hydrodynamisch keine Veranlassung zu einer Aenderung gegeben sein.

§. 83. Um noch die Ursachen der Ausnahmen von unseren Regeln einer kurzen Besprechung zu unterziehen, so ist es zunächst wohl selbstverständlich, dass an Organen, welche durch fortwährende äussere Einwirkung in ihrer Gestalt verändert werden, und noch mehr an den muskulösen, in ihrer ganzen inneren Anordnung der Theile den bedeutendsten Aenderungen ausgesetzten Organen Abweichungen sich finden müssen. Die bei dieser Regellosigkeit auffällige Erscheinung ist aber, dass nach §. 36 gerade an den Arterien der Extremitäten die feinen Aeste unter, einer Regel folgenden, grossen Winkeln entspringen und auch sonst regelmässige Gestalt der fast stets in der Stammachsen-Radialebene erfolgenden Ursprünge zeigen, obgleich sie doch nicht minder bei der Muskelcontraction verzerrt werden, als die grösseren. Dies Verhalten erklärt sich sehr einfach, wenn man bedenkt, dass die Höhe des Ursprungskegels dieser feinen Aeste nicht die Dicke der Gefässwand des Stammes erreicht.

Ausserem umgestaltenden Druck und Zug sind ausser den oberflächlich gelegenen Körpertheilen auch alle Organe der Bauch- und Brusthöhle in höherem oder geringerem Grade ausgesetzt und von jeher ausgesetzt gewesen, wodurch denn eine vollkommene Anpassung an die hydrodynamischen Kräfte unmöglich wurde. Ich glaube auch an der Leber die meisten Ausnahmen von den Ablenkungsregeln an den Verzweigungen gesehen zu haben, deren Verzweigungsebene in der Längsrichtung des Körpers oder schief zu dieser Richtung stand; dagegen fand sich die vollkommenste Uebereinstimmung an den grossen, in der Querschnittsebene des Körpers gelegenen Verzweigungen des rechten



Leberlappens des Menschen. Noch evidenter war dieser Unterschied an der Krokodilleber, welche zugleich als Centrum tendineum dient, und an welcher sogar die Gefässe nicht rund, sondern entsprechend der Richtung des Zuges stark abgeplattet waren.

Die Unregelmässigkeiten an Verzweigungen von weniger als 0,3 Mm. Aststärke können leicht durch physiologischen oder unphysiologischen Druck auf die Organe entstehen, ebenso wie die Unregelmässigkeiten an dünnen Rändern der Organe.

Wenn ferner, wie in §. 26 beschrieben ist, eine morphologische Nöthigung vorhanden ist, die bei der Astabgabe veränderte Richtung des Stammes nicht beizubehalten, sondern wieder zur ursprünglichen Richtung zurückzukehren, so ist es nicht zu verwundern, dass in diesen Fällen auch die Ablenkung des Stammes von vornherein verhältnissmässig etwas zu gering ist. Dieses Vorkommniss spricht gerade für ein nicht morphologisches Bedingtsein der Ablenkungsregeln.

In diese Gruppe gehören auch noch die anderen morphologisch bedingten Abweichungen von der hydrodynamischen Selbstgestaltung, nämlich einmal das Vorkommen grösserer oder kleinerer Astwinkel, als den hydrodynamischen Verhältnissen entspricht, und zweitens alle Biegungen, von welchen letzteren ein Theil das Bedingtsein durch die specifische Function recht deutlich erkennen lässt. Was in diesen Fällen die Gefässwand trotz ihrer sonstigen Bildungsfähigkeit an Widerstand zu leisten vermag, das zeigt am drastischsten der vordere Theil des Arcus aortae, dessen Wand an einer Stelle das ganze Leben hindurch bis zum beginnenden Greisenalter dem Anprall des mächtigsten Stromes des Körpers widersteht, nur in der kleinen Ausbuchtung des sinus quartus ein Nachgeben bekundend, während sie gleich daneben beim Ursprung der Aeste an die Richtungen der feinsten Strömungen sich angepasst zeigt.

Diese Momente haben natürlich nicht erst im extrauterinen Leben des Individuums, sondern auch schon in der phylo- und ontogenetischen Vorgeschichte des Organismus und der Organe ihre alterirende Einwirkung geltend gemacht. Aus letzterer Periode liefert eine Anzahl Beispiele derjenige Theil der Leber, in welchem mit dem Aufhören des Foetalkreislaufs eine Umkehr der Stromrichtung des Blutes stattfindet. Die Astursprünge aus dem linken vorderen Hauptast der V. port., welcher ursprünglich die Fortsetzung der V. umbil. war, bilden Ausnahmen, die während des

ganzen Lebens nicht vollkommen ausgeglichen werden. Der linke Leberlappen zeigt ausserdem mit der Zunahme seiner von Toldt und Zuckerkandl <sup>1)</sup> nachgewiesenen Atrophie im Vorschreiten des Alters immer häufigere Ausnahmen. Die grossen Veränderungen, welche pathologische, mit Blutstauung verbundene Processe an der Gestalt der Gefässverzweigungen hervorbringen, können hier natürlich nicht Gegenstand der Erörterung sein.

§. 84. Wenn zum Schlusse noch die übliche Frage nach dem Nutzen der gefundenen Einrichtungen wenigstens für diejenigen derselben aufgeworfen und beantwortet werden soll, deren Ursache ich erkannt zu haben glaube, und deren Wesen ich als möglichst vollkommene Anpassung an die hydrodynamischen Kräfte, soweit es die specifischen Functionen und die Vorgeschichte der Organe und äussere Einwirkungen irgend gestatten, bezeichnen möchte, so ist zu sagen, dass der Nutzen dieser Einrichtungen in der Vertheilung des Blutes unter dem geringsten Verlust an lebendiger Kraft besteht. Denn es entsteht dabei nur das geringste Mass an Strudel- und Wirbelbildungen im Blute, welche bei der sechsfachen Grösse des Reibungscoefficienten des Blutes von dem des Wassers und bei den Millionen von Verzweigungen einen ungeheuren Verlust an, vom Herzen zu liefernder, lebendiger Kraft unter Umsetzung in Wärme verursachen würden, wenn sie an jeder Verzweigungsstelle vorkämen. Und es wird heut zu Tage wohl Niemand mehr, gleich Descartes l. c, die Wärme-Bildung als eine specifische Function des Herzens bezeichnen wollen, wenngleich alle Herzkraft in Wärme umgesetzt wird.

Die vorliegenden Einrichtungen zeigen also den Charakter, den alle Einrichtungen haben müssen, welche durch die in ihnen fungirenden mechanischen Kräfte selber und aus einem vollkommen bildungsfähigen Material gestaltet werden: den Charakter der höchsten Vollkommenheit oder der „Zweckmässigkeit“, wie man heut zu Tage noch sagt.

Schliesslich sei es mir noch gestattet, eine angenehme Pflicht zu erfüllen, indem ich meinem verehrten Lehrer, dem Herrn Professor Schwalbe, für mannichfache Unterstützung bei dieser Arbeit, sowie auch den Herren Proff. W. Preyer und W. Müller

---

<sup>1)</sup> Wiener Sitzungsber. 1875.

für Ueberlassung von Material und Literatur meinen herzlichsten Dank ausspreche.

Jena, December 1877.

### Erklärung der Abbildungen auf Tafel VIII.

- Fig. 1. En face Umriss des Ursprungs eines schwachen in der Stamm-  
axen-Radialebene entspringenden Astes. § 8, S. 9. § 40, S. 32.
- Fig. 2. Desgl. eines nicht in der Stamm-axen-Radialebene entspringenden  
Astes. § 40, S. 32.
- Fig. 3. Profil-Umriss des Ursprungs eines 0,68 Mm. starken, rückläufigen  
Astes der A. brach. des erwachsenen Menschen. § 46, S. 34. § 48, S. 36.
- Fig. 4. Desgl. eines 1,58 Mm. starken Astes der 7,5 Mm. Durchmesser  
haltenden A. brach. des Erwachsenen. § 46, S. 34.
- Fig. 5. Desgl. einer vorwärts sich umbiegenden A. intercost. von 0,29 Mm.  
Durchmesser des Kaninchen, bei einer Stärke der Aorta von 3,5 Mm.  
Durchmesser. § 47, S. 35. § 48, S. 36.
- Fig. 6. Desgl. einer A. renal. sin. eines einjähr. Kindes, von 2,2 Mm. Durch-  
messer bei 5,6 Mm. Durchmesser der Aorta. § 47, S. 35.
- Fig. 7. Desgl. der A. meseraic sup. eines einjährigen Kindes, von 2,47 Mm.  
Durchmesser, bei 6,3 Mm. Durchmesser der Aorta. § 48, S. 36.
- Fig. 8. Desgl. eines Astes von 2,94 Mm. Durchmesser der A. brachial des  
Erwachsenen von 7,5 Mm. Durchmesser. § 48, S. 36.
- Fig. 9. Desgl. der Verzweigung einer V. port. des Erwachsenen, von 1,2 Mm.  
Durchmesser. § 48, S. 37.
- Fig. 10. Desgl. einer V. port. des Erwachsenen, von 5,6 Mm. Durchmesser.  
§ 49, S. 37.
- Fig. 11. Profilbild des Ursprungs eines 2,6 Mm. starken Astes der A. brach.,  
von 7,7 Mm. Durchmesser, vom Erwachsenen. § 53, S. 38.





*Fig. 1.*



*Fig. 2.*



*Fig. 3.*



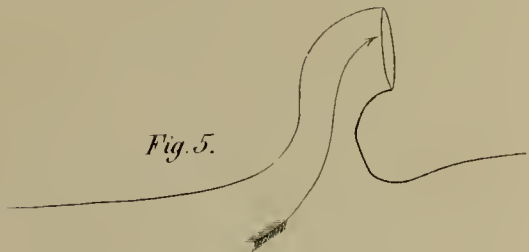
*Fig. 9.*



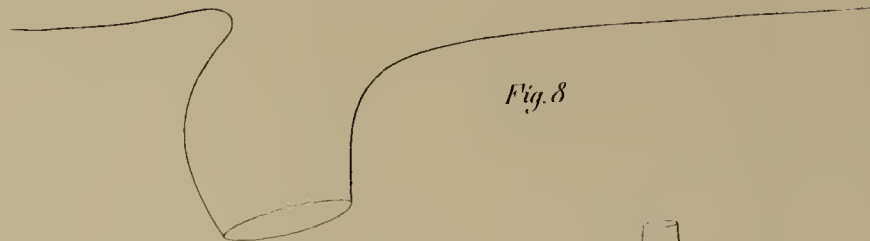
*Fig. 10.*



*Fig. 4.*



*Fig. 5.*



*Fig. 8.*



*Fig. 11.*



*Fig. 6.*



*Fig. 7.*

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Jenaische Zeitschrift für Naturwissenschaft](#)

Jahr/Year: 1878

Band/Volume: [NF\\_5](#)

Autor(en)/Author(s): Roux Wilhelm

Artikel/Article: [Ueber die Verzweigungen der Blutgefäße. 205-266](#)