

Ueber
die Bedeutung
der Ablenkung des Arterienstammes
bei der Astabgabe.

Von

Dr. W. Roux,

Assistent am hygienischen Institut zu Leipzig.

Im vorigen Jahrgang dieser Zeitschrift habe ich Beobachtungen mitgetheilt, deren wesentlichster Inhalt sich in folgende 3 Regeln zusammenfassen lässt:

1) 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* wurde Stammaxen-Radialebene genannt (l. c. p. 211).

2) Bei Abgabe eines Astes, dessen Durchmesser mehr als $\frac{2}{5}$ des Durchmessers des Stammes beträgt, erfährt der Stamm eine Ablenkung innerhalb der Stammaxen-Radialebene nach der dem Aste entgegengesetzten Seite. Diese Ablenkung wächst mit der relativen Stärke des Astes und mit der Grösse des Astursprungswinkels (p. 212—231).

3) Die Gestalt des Astursprungs zeigt in vielen Fällen und zwar, wie ich hier hinzufügen will, besonders deutlich an den im Verhältniss zum Stamme sehr schwachen Aesten, alle die charakteristischen Merkmale eines frei aus der seitlichen runden Oeffnung eines von Wasser durchflossenen Cylinders ausspringenden Strahles, und diese Gestalt ändert sich mit den gleichen Umständen und in der gleichen Weise wie die Gestalt des frei ausspringenden Strahles (p. 258).

Eine analytische Betrachtung der hydraulischen Kräfte in verzweigten Röhren strömender Flüssigkeit liess in denselben eine mechanische Tendenz zur Umgestaltung der Wandung zu bestimmten Formen erkennen (p. 244—257) und ich gelangte zu dem Schlusse, dass die Gestalt der Gefässursprünge noch mehr als mit dem frei ausspringenden Strahle übereinstimmt mit der Gestalt der Verzweigungen von Röhren, welche aus einem für den Seitendruck vollkommen widerstandsfähigen für den Wasserstoss aber bildsamem Materiale bestehend, längere Zeit von Flüssigkeit durchströmt worden sind (p. 258).

Da diese Uebereinstimmung sich auf sehr eigenthümliche, feine und mit verschiedenen Umständen wechselnde Charaktere bezieht, so stand ich nicht an, sie für nicht zufällig durch andere gänzlich unbekannte Ursachen bedingt, sondern als Anpassungserscheinung der Gefässwandung an die vorhandenen und daher auch wirkenden hydraulischen Kräfte aufzufassen (p. 259), zumal da durch diese Uebereinstimmung der Astursprünge mit den durch hydrodynamische Selbstgestaltung gebildeten Formen der Ast oft eine Richtung erhält, aus welcher er nur durch Vorwärts- oder Rückwärtsumbiegung an den Ort seiner Verbreitung gelangen kann (p. 232 und 261).

Nachdem somit eine hohe Bildsamkeit der Gefässwandung für die hydraulischen Kräfte erwiesen war, wurde auch das in Regel 1 angegebene Verhalten, dass der Ast stets in der Stammachsen-Radialebene entspringt, als eine durch hydraulische Kräfte bewirkte Gestaltung angesehen, da auch hier wieder, wenn auch seltner, durch diese Gestaltung der Ast in seinem Ursprung eine Richtung bekommt, welche ihn nicht an den Ort seiner Verästelung führen würde. Damit waren die in Regel 1 und 3 bezeichneten Vorkommnisse zunächst erklärt.

Dagegen wurde von einer Erklärung der oben in Regel 2 zusammengefassten Erscheinungen Abstand genommen, da die zu diesem Zwecke angestellten Experimente noch zu keinem ganz sicheren Schlusse geführt hatten, und ich die Hoffnung hegte, meine morphologischen Untersuchungen fortsetzen zu können. Nachdem sich aber diese Hoffnung als ungerechtfertigt erwiesen hat, theile ich hier nachträglich meine Ansicht über diese Erscheinungen mit, wie sie auf Grund der damals angestellten Experimente sich gebildet hat.

Bei der Abgabe relativ starker unter Regel 2 fallender Aeste,

mit deren Ursprung also eine Ablenkung des Stammes verbunden ist, sind die hydrodynamischen Verhältnisse wesentlich andere, als bei den schwachen Aesten. Es ist bekannt, dass in den absolut schwächeren Arterien ein viel geringerer Druck herrscht als in den stärkeren, und dem entsprechend ist im Allgemeinen auch die Wandung der ersteren schwächer als die der letzteren ¹⁾. Dies bezogen auf Aeste eines Stammes, ergiebt sich aus der geringeren Spannung in den schwachen Aesten ein grösserer hydrodynamisch-freiwilliger Astursprungswinkel, als für stärkere Aeste, für welche er mit der Zunahme des Querschnittes immer kleiner wird, bis er schliesslich bei Theilung des Stammes in zwei gleich starke Aeste, falls auch der Druck in ihnen gleich stark ist, geradezu Null wird. Denn der hydrodynamische Ursprungswinkel ist die Resultante aus der Stromgeschwindigkeit in der Richtung des Gefässes und der senkrecht dazu wirkenden Differenz des Seitendruckes der Flüssigkeit im Stamm und der Spannung der Flüssigkeit im Aste (p. 253—255).

Es muss daher beim Abgang relativ starker Aeste ein Anprall des Flüssigkeitsstromes, ein Flüssigkeitsstoss stattfinden, welcher als ein einseitig wirkender Druck die Tendenz einer Locomotion des Hindernisses hat; und zwar erstrebt er hier eine Verkleinerung des Verästelungswinkels bis zur Grösse des freiwilligen Astursprungswinkels. Liefen nun dabei der Stamm geradeaus fort, so würde dieser Druck bloss auf die Wand des Astes und beim Nachgeben derselben auf die ihm anliegende Seite des in den Verästelungswinkel eingeschlossenen Parenchyms sich übertragen, also bestrebt sein den ganzen Astkeil so weit herumzudrehen bis auf beiden Seiten der gleiche Anprall stattfindet. Da nun die ganze Blutmasse des Astes und des Stammes, welche in der Zeiteinheit durch beide Gefässe fliesst, mit ihrer lebendigen Kraft den Anprall bedingt, so wird sich einerseits das Verhältniss des Querschnittes des Astes zu dem des Stammes in dem Grade der Drehung aussprechen, während andererseits auch die absolute Grösse des ganzen Verästelungswinkels, unserer Regel gemäss, die Grösse der Ablenkung des Stammes beeinflussen wird.

Es fände somit hier dasselbe statt, wie wenn man einen aus zwei Brettchen gefertigten und in seiner Axe um eine Nadel leicht drehbaren Winkel in einen wagrecht fliessenden Wasserstrahl hält.

¹⁾ Ueber Ausnahmen und ihre Bedeutung s. K. Bardeleben, „Ueber den Bau der Arterienwand“ im Sitzungzber. d. med.-naturw. Ges. zu Jena 1878.

Auch hierbei dreht sich der Winkel, mag man die Axe desselben mehr dem Rande des Strahles oder mehr der Mitte desselben nähern, somit einen grösseren oder kleineren Theil desselben ablenken, immer so, dass sich die lebendige Kraft beider Theilstrahlen gleich stark auf beide Schenkel des Winkels überträgt.

Die hier angewandte Vorstellung einer wirklichen Drehung der im Astwinkel gelegenen Theile und das entsprechende Beispiel können jedoch blos in Bezug auf die ursächlichen Kräfte und ihr schliessliches Resultat mit dem wirklichen Geschehen übereinstimmen, denn einmal legen auch die feinsten isolirbaren Blutgefäss-Verzweigungen beim Durchfliessen von Flüssigkeit ihre Verzweigungen nicht zusammen, wenn der Strom das Lumen des Rohres vollkommen ausfüllt, weil eine Umbiegung nur unter Verengerung des Querschnittes möglich wäre, und zweitens findet an abweichend von der obigen Regel verzweigten Gefässen ebenso wenig eine erkennbare Aenderung der Stellung der Fortsetzung des Stammes, eine Verdrehung des Verzweigungswinkels statt, wenn der Angriffspunkt des Rückstosses unterstützt ist, da auch eine solche Verdrehung nur unter Verengerung des Querschnittes diesmal des Stammes geschehen könnte, und die betreffende Kraft selber viel zu schwach sowie der Mechanismus ihrer Wirkung viel zu ungünstig ist, um eine erkennbare Verkleinerung der Ausflussmenge veranlassen zu können. Anders ist dies dagegen mit dem sogenannten Rückstoss, welcher in Folge des Ausfalles an hydraulischem Widerstand auf der Seite des Abflusses in den Ast entsteht. Er macht sich bei solchen Experimenten mit freien elastischen Gefässen durch Zurückbiegen des Stammes in sehr störender Weise geltend und kann bei geeigneten Umständen geradezu zur Umknickung und so zu vollständiger Occlusion des Stammes führen. Da mit dem Eintreten der Letzteren ihre Ursache wegfällt, löst sie sich sofort wieder, um aber sogleich wieder von Neuem erzeugt zu werden. Ueber die weitere Wirkung des Rückstosses, besonders im Falle der Fixation der Gefässe im Parenchym werde ich weiter unten ausführlicher handeln.

Der wirkliche Vorgang bei der Druckausgleichung auf beiden Seiten des Astwinkels ist an die specifischen Eigenschaften der lebenden Substanz gebunden und muss, in einer fortwährenden feinen Regulation bestehend, während der ganzen Entwicklung des Organes fortdauern.

Dabei könnten die Verhältnisse entweder derartige sein, dass der Astwinkel durch das Wachsthum des specifischen Parenchyms

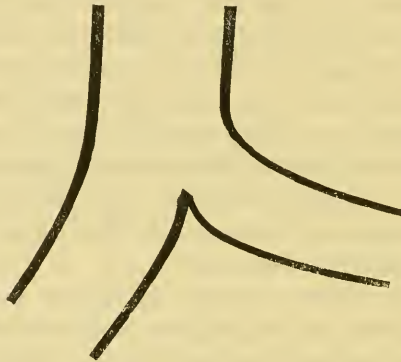
gegeben würde, wobei dann wohl dieses auch zunächst den Druck des Wasserstosses auszuhalten hätte und durch seine Widerstandsfähigkeit die Regulation des Druckes auf beiden Seiten des Astwinkels besorgte, oder dass von vorn herein die Gefässe nach selbstständigen Gesetzen die Verzweigungswinkel anlegten und daher auch, wie in späterer Zeit sicher, die Regulation des Druckes auf beiden Seiten des Astwinkels sich bloß innerhalb der Gefässwand vollzöge, während das specifische Parenchym als wirkliches *παρέργημα* sich bloß in das so gegebene Gerüst einfügte. Es scheint richtiger, so lange nicht bestimmte Erfahrungen dagegen sprechen, anzunehmen, dass das specifisch Fungirende auch die zur specifischen Funktion nöthige Gestaltung hervorbringe. Uebrigens liegen hier gewiss, wie so häufig im Organischen, primäres und secundäres Geschehen, Ursache und Folge bloß um Zeitdifferentialie auseinander, so dass sich die Frage nicht entscheiden lässt, zumal man nach der Phylognese annehmen muss, dass sich beide Prozesse gegenseitig bedingen: dass die Blutgefässe nicht ohne das Parenchym und letzteres erst recht nicht ohne die Blutgefässe sich zu entwickeln vermag.

Wenn man bedenkt, dass die betreffenden hydrodynamischen Kräfte von der ersten Herzcontraction an zu wirken begonnen und somit den ganzen Verlauf der Entwicklung aller höheren Organe stetig beeinflusst haben, so wird eine sehr vollkommene Anpassung an dieselben natürlich scheinen und man wird sich sogar nicht wundern, dass an manchen Stellen die Gefässe nach den hydrodynamischen Regeln nicht bloß entspringen, sondern auch nach den so gewonnenen Richtungen verlaufen; diess bezieht sich ausser auf Verzweigungen nach Regel 2, wie ich an Herz und Leber öfter beobachtet habe, auch, und zwar für die grössern Drüsen als fast ausnahmsloses Gesetz, auf den Verlauf in der nach Regel 1 den Ursprung bestimmenden Stammachsen-Radialebene.

Die Verzweigungswinkel selbst aber müssen durch specifische Kräfte bestimmt und gegen den Wasserstoss erhalten werden, da ohne diese Kräfte Aeste bloß unter hydrodynamischem Winkel sich abzweigen könnten. Indessen ist die so bekundete Widerstandskraft der Gefässwand gegen den Wasserstoss auch keine vollkommene, denn die grösseren Gefässe zeigen in Stamm und Ast an den entsprechenden Stellen mehr oder weniger tiefe Ausbuchtungen, sodass der hintere Profilcontour erst viel weiter peripher von der Verzweigung die definitive Astrichtung erlangt als

der ihm gegenüber liegende vordere, welcher sie sofort nach seiner starken Umbiegung am Ursprung des Astes einschlägt.

Bei diesem Verhältniss ist noch eine Besonderheit zu erwähnen, darin bestehend, dass der keilförmige Vorsprung, welcher die eigentliche Stromtheilung ausführt und welchen ich daher mit dem Namen Trennungskeil¹⁾ bezeichnen will, in seinen beiden vorderen, dem Wasserstoss am directesten ausgesetzten Flächen, dem Drucke nicht mit nachgegeben hat, sondern fast die definitive Richtung des Gefässverlaufs zu haben pflegt, wie nebenstehende Figur zeigt.



Ich glaube dies auffällige Verhalten damit erklären zu können, dass dieser Trennungskeil viel widerstandsfähiger ist, als die Wandung von Stamm und Ast neben ihm, da einmal die Wandung des Stammes für ihn als Stütze gegen den Flüssigkeitsstoss dient und er selbst ausserdem noch dadurch fester ist, dass er aus einer durch straffes Bindegewebe hergestellten Vereinigung der Wandung von Ast und Stamm besteht. So mag er befähigt sein, den aus einem früheren Entwicklungsstadium überkommenen Winkel beizubehalten, während an seinen Seiten die einfache Gefässwand von Stamm und Ast trotz ihres Mitwachsens dem wachsenden Flüssigkeitsstoss nicht ohne Nachgeben zu widerstehen vermag. Uebrigens ist noch zu erwähnen, dass der Trennungskeil während des Lebens absolut etwas weniger weit gegen das Lumen vorspringen muss, als in dem in der Ruhe gefüllten Zustand, wie ihn das Corrosionspräparat zeigt, da hier der Flüssigkeitsstoss fehlt. Aus

¹⁾ Der Abdruck der vordersten scharfen Kante desselben am Corrosionspräparate bildet die in der ersten Arbeit, l. c. p. 240 „Basallinie“ benannte Furche an der Basis des Ursprungskegels des Astes.

demselben Grunde müssen dagegen die Ausbuchtungen neben ihm im Leben beträchtlicher sein.

Was nun das Verhalten betrifft, dass bei der besprochenen Ablenkung des Stammes seine Axe nur innerhalb der Stammaxen-Radialebene verschoben wird, so erklärt sich dasselbe auf dieselbe Weise wie der Ursprung des Astes innerhalb dieser Ebene, dadurch, dass bei derartiger Gestaltung allein Gleichgewicht besteht, indem zur Stammaxen-Radialebene alle Kräfte symmetrisch liegen. Aber auch zu diesem Geschehen muss wieder die erwähnte Anpassungsfähigkeit vorausgesetzt werden.

Es wurde bisher die Ansicht, dass die gegebenen Regeln in den hydraulischen Kräften ihre Ursache hätten, auf den Nachweis gestützt, dass unter gewissen Voraussetzungen diese Kräfte genau die entsprechenden besonderen Gestaltungen hervorbringen würden und dabei also ein Schluss von der Gleichheit der Folgen auf die der Ursachen gemacht in der Weise, wie der Physiker z. B. aus der Identität des Spectrum von kosmischen Nebelflecken mit dem des Wasserstoffs auf die Zusammensetzung derselben aus letzterem schliesst, ohne diese Behauptung indessen weiter beweisen zu können. Es giebt aber im hier vorliegenden Falle noch einige Vorkommnisse, welche indirect für die aufgestellte Ansicht sprechen, indem sie die andere Möglichkeit, die einer rein morphologischen Gestaltungsursache, für bestimmte Fälle als sehr unwahrscheinlich hinstellen.

Die Fälle sind die folgenden: Es ist zunächst das, l. c. p. 233 erwähnte Vorkommniss, dass Ast und Stamm sich nach der Verzweigung noch weiter auswärts biegen und dadurch erst ihre definitive Verlaufsrichtung erlangen. Für schwache, in Bezug auf den Stamm nicht ablenkungsfähige Aeste hat allerdings Schwalbe¹⁾ schon ein secundäres Entstehen im Laufe der Entwicklung durch „Wachsthumverschiebung“ nachgewiesen. Ist letzteres aber nicht nachweisbar, ist vielmehr, wie häufig in den grossen Drüsen, dieser definitive Verzweigungswinkel von vorn herein gegeben und gar noch, wie in der Leber vorkommt, das Verhältniss ein derartiges, dass Stamm und Ast schliesslich in demselben Winkel zur Richtung des Stammes vor seiner Theilung stehen, so ist der kleinere Anfangswinkel, an welchem dann die Betheiligung beider Gefässe in obigen Regeln entsprechender Weise zu erfolgen pflegt, wohl sicher als hydrodynamisch bedingt aufzufassen.

¹⁾ Jenaische Zeitschr. f. Med. u. Naturw. 1878, p. 267 u. ff.

Der zweite Fall ist der an Kleinhirn, Herz und Gedärmen häufige, l. c. pag. 224, dass der Stamm nach der Ablenkung bei der Astabgabe, sich gleich wieder im Bogen zu seiner ursprünglichen Richtung zurückbiegt und so entweder die Möglichkeit erlangt in derselben Furche der Oberfläche des Organes wie vor der Theilung weiter zu verlaufen oder wie ich hier hinzufüge der Kreuzung mit einer in seiner Nachbarschaft in gleicher Hauptrichtung verlaufenden und sich natürlich hauptsächlich nach der entgegengesetzten Seite verzweigenden Arterie zu entgehen. Letzteres ist nicht selten in sich mehrmals nacheinander wiederholender Weise an einer Hauptgabelung der A. mening. med. und auch schon an den Gefässfurchen derselben in der Glastafel zu sehen. Ausserdem auch auf der Vorderfläche des linken Ventrikels. Dies Verhalten scheint mir noch mehr als das erstere, sowohl ein primäres morphologisches Bedingtsein, wie ein secundäres Entstehen durch spätere Wachsthum-Einflüsse anzuschliessen.

Im Vorstehenden habe ich meine Auffassung der Bedeutung und Entstehung der Regeln, nach welchen die Arterienverzweigung an den im Leben nur geringen Gestaltänderungen ausgesetzten Stellen des Körpers erfolgt, in den Hauptzügen und so weit sie mir am sichersten schien, dargelegt.

Aber wenn auch als hauptsächlichstes Moment der Ablenkung des Stammes bei der Astabgabe die Druckausgleichung des Flüssigkeitsstosses auf den beiden Schenkeln des Astwinkels angesehen werden muss, so dürfte doch noch ein zweites, in gleichem Sinne wirkendes Moment für die Vertheilung des ganzen Verästelungswinkels auf den Astwinkel und die Ablenkung des Stammes von Einfluss sein. Die Erkenntniss desselben gründet sich auf ein Experiment, welches wohl den Meisten noch aus der Kindheit her in Erinnerung sein wird. Hält man nämlich eine scharfe Messerklinge in einen frei herabfallenden runden Wasserstrahl und lenkt damit einen Theil desselben seitlich ab, so geht der übrige unberührte Theil des Strahles nicht in seiner bisherigen Richtung fort, sondern erfährt gleichfalls eine Ablenkung, und zwar nach der entgegengesetzten Seite. Diese Ablenkung wächst, wie die durch Regel 2 charakterisirte, mit der Stärke des durch die Klinge abgelenkten Theiles und mit dem Winkel desselben, erreicht jedoch bald ein mit der Stromstärke wechselndes Maximum. Die Erscheinung kann als eine Wirkung des Rückstosses des durch die Klinge seitlich abgelenkten Theiles oder als Zerlegung des Wasserstrahles

in Componenten angesehen werden. Dass letztere überhaupt möglich ist, kann man aus der bekannten Fähigkeit zweier oder mehrerer sich treffender Wasserstrahlen, sich zu einer Resultante zu vereinigen, rückwärts erschliessen. Es ist noch zu erwähnen, dass bei der Theilung eines Strahles durch eine Klinge eine Verbreiterung beider Theilstrahlen in senkrecht zur Theilungsebene stehender Richtung stattfindet, welche gleichfalls mit dem Ablenkungswinkel wächst.

Man wird nun geneigt sein anzunehmen, dass, wenn schon der freie Strahl, welcher blos durch die Cohesion zu einer dynamischen Einheit verbunden ist, sich in Componenten zerlegen lässt, der gepresste in einem Rohre fließende Strahl, welcher wohl in Folge der Pressung eine noch vollkommener dynamische Einheit darstellt, auch um so vollkommener in Kraftcomponenten zerlegt werden könnte, zumal bei ihm ein Ausweichen aus der Theilungsebene unter Verbreiterung nicht möglich ist, so dass also die Mittelpartie des Strahles in der Verzweigungsebene zu bleiben gezwungen ist und durch ihre eigene Ablenkung die der seitlichen Theile unterstützt. Ein Experiment mit winkelig geknickten Röhren, welche an der Convexität der Knickung, sowie oberhalb und unterhalb derselben kleine Löcher zum Auspringen von Strahlen hatten, ergab jedoch nicht das erwartete Resultat, indem der an der Knickungsstelle hervortretende Strahl unter keinem grösseren Winkel zum Stamme stand als der nächst oberhalb hervorspringende Strahl. Ueber die Ursache dieser Erscheinung habe ich keine Aufklärung erlangen können.

Ein gleich negatives Resultat ergaben Versuche mit rechtwinkligen Verzweigungen in zwei gleich starke Aeste, von welchen der eine die Richtung des Stammes fortsetzt. Es wurden an diesen Röhren 13 Manometer an der Verästelungsstelle angebracht, um die Druckverhältnisse kennen zu lernen. Der Druck zeigte sich in ganz unerwarteter Weise vertheilt, und ich würde darüber ausführlicher berichten, wenn diese Beobachtungen nicht blos an zwei vom Klempner ziemlich roh gearbeiteten Röhren gemacht worden wären, sodass ich nicht sicher bin, ob die betreffenden Erscheinungen nicht blos durch zufällige Nebenumstände hervorgerufen worden sind.

An der Stelle des Angriffspunktes des Rückstosses zeigte sich keine Erhöhung des Druckes über den der nächsten Umgebung, was indessen nicht auffallen kann, da der Rückstoss eben nicht durch eine Erhöhung des Druckes, sondern blos durch den Mangel

des Gegendruckes gegen die andere Seite des Gefässes, an welcher der Ausfluss erfolgt, bedingt ist. Der Rückstoss ist daher gleich der Bewegungsgrösse der seitlich ausfliessenden Wassermenge. Sind die Verhältnisse wie bei den Blutgefässen der Art, dass die elastischen Röhren in ihrer Continuität befestigt sind, so kann in Folge der Unbeweglichkeit des Astes auch der Stamm nicht durch den Rückstoss rückwärts umgebogen werden, wie es oben, als an freien elastischen Röhren geschehend, beschrieben worden ist, sondern der rückwärtsgehende Zug in der Flüssigkeit kann sich bloss als eine Ablenkung des Flüssigkeitsstromes der Fortsetzung des Stammes nach der dem Aste gegenüberliegenden Seite geltend machen, bis die Bewegungsgrösse der Flüssigkeit in der Fortsetzung des Stammes multiplicirt mit dem Sinus des Ablenkungswinkels gleich ist der Bewegungsgrösse der Flüssigkeit des Astes mal dem Sinus des Astwinkels, wonach keine Veranlassung mehr zu weiterer Ablenkung vorhanden ist, indem jetzt der Rückstoss aus dem Aste gleich dem aus dem Stamme ist, und da sie beide entgegengesetzte Richtung haben, sich einander aufheben. Der Eintritt dieses Gleichgewichtes beider Rückstösse lässt sich auch an freien elastischen Röhren sehr gut zeigen. Der Rückstoss würde somit ganz dieselben Relationen für die Betheiligung von Ast und Stamm am morphologisch gegebenen Astwinkel zur Folge haben, als der Wasserstoss, wenn letzterer nicht erst vom Ueberschreiten des freiwilligen Astwinkels an begönne.

Man muss daher den Rückstoss als eine Ursache, welche das Verhältniss des Winkels von Stamm und Ast beeinflusst im Auge behalten und neue Messungen der Gefäss-Verzweigungen, welche speciell auf die hydrodynamische Ursache Rücksicht nehmen, statt, wie ich gethan, um vorurtheilslos zu verfahren, bloss die geometrische Mittellinie zu berücksichtigen, werden vielleicht den Antheil jeder der beiden Ursachen erkennen lassen, da sich die Winkelverhältnisse, welche aus der Wirkung des Wasserstosses sich ergeben, berechnen lassen, sobald nur die Reibungscoefficienten für die Ablenkung des Strahles für Blutplasma in gleicher Weise bestimmt sein werden, wie es Jacobson¹⁾ für Wasser gethan hat. Wenn der Wasserstoss auf beiden Schenkeln des Verästelungswinkels der gleiche ist, dann ist

$$\frac{m v^2}{2} \sin \alpha = \frac{M v^2}{2} \sin \beta$$

wenn v die Stromgeschwindigkeit im noch ungetheilten Stamm,

¹⁾ Müller's Archiv, 1860.

m die Blutmenge, welche in den Ast, M die, welche in die Fortsetzung des Stammes eintritt und α den Abgangswinkel des Astes, β den der Fortsetzung des Stammes bezeichnet.

Da die Massen m und M sich einmal verhalten wie die Querschnitte a des Astes, b der Fortsetzung des Stammes, dabei aber noch von dem für die verschiedenen Ablenkungswinkel verschiedenen Reibungscoefficienten γ abhängen, so ändert sich die Formel um in:

$$\frac{a^2 v^2}{2} \gamma_\alpha \sin \alpha = \frac{b^2 v^2}{2} \gamma_\beta \sin \beta$$

Um eine Vorstellung der grossen Bedeutung der Coefficienten zu geben, führe ich hier die von Jacobson für Wasser bestimmten Zahlen an;

$\alpha = 30^\circ$	45°	90°	135°	150°
$\gamma = 0,782$	$0,719$	$0,625$	$0,573$	$0,564$

Dieselben wurden in der Weise gewonnen, dass er ein gerades Rohr in zwei einander gleich weite Aeste sich theilen liess, von welchen immer der eine Ast die Richtung des Stammes fortsetzte, während der andere in dem mit α bezeichneten Winkel zu ihm stand. Die Verzweigungsebene wurde während des Versuches vollkommen horizontal gestellt und die Ausflussmenge aus jedem Ast getrennt aufgefangen. Die Zahlen geben nun das Verhältniss an, in welchem die Ausflussmenge aus dem abgelenkten Rohr zu der aus dem in der Richtung des Stammes fortlaufenden steht, letztere als 1 angenommen, und man sieht daraus, wie erheblich der Einfluss des Winkels ist, indem bei 30° Ablenkung schon fast nur $\frac{3}{4}$ soviel ausgeflossen ist als ohne Ablenkung. Beim Blut wird dieser Einfluss ein noch viel grösserer sein, weil es, nach Graham, einen 6 mal so grossen Reibungscoefficienten hat als Wasser ¹⁾.

¹⁾ Ich will hier Veranlassung nehmen, einen, wie ich glaube, unberechtigten Schluss Jacobson's zu moniren, welcher durch die Lehrbücher weitere Verbreitung gefunden hat; letzteres wohl in Folge des Umstandes, dass J. seinen Apparat in einer fast unverständlichen Weise beschrieben und so den Einblick sehr erschwert hat, die Arbeit selber aber durch grosse Exactheit das Vertrauen des Lesers gewinnt. Da er nämlich in seinen erwähnten Versuchen die Summe der aus beiden Rohren ausgeflossenen Flüssigkeit trotz der Variation der Verzweigungswinkel constant fand, so sprach er das allgemeine Gesetz aus: „Die Summe der mittleren Ausfluss-Geschwindigkeit der beiden Partialströme ist unabhängig von dem Theilungswinkel.“

Er hat dieses höchst auffällige Verhalten aber blos für den einen Fall experimentell festgestellt, dass das Hauptrohr, welches sich ver-

Wenn man mit obiger Formel, nach Bestimmung der Coefficienten, die durch den Wasserstoss bedingten Winkelverhältnisse berechnet hat, kann man sie mit den durch Messung der Verzweigungen gefundenen am besten in die Reihen passenden Zahlen vergleichen und so den Grad der Uebereinstimmung constatiren. Für die Abweichungen ist zu berücksichtigen, dass der Rückstoss vielleicht die Winkel etwas alteriren kann und, dass dasselbe durch die ungleiche Blutspannung im Ast und in der Fortsetzung des Stammes bewirkt wird. Der letztere Umstand wird vielleicht die Einführung eines zweiten, mit der relativen Stärke des Astes wechselnden Coefficienten nöthig machen, dessen Grösse dann durch Parallelreihen gefunden werden kann.

Es würde ferner nützlich sein, von den Corrosionspräparaten gut in die Reihen passender Verzweigungen grösserer Gefässe Abgüsse zu nehmen und an eingefügten Manometern beim Durchfliessen die Druckverhältnisse zu beiden Seiten des Trennungskeiles direct zu beobachten; um zu erkennen, ob der Druck in der That auf beiden Seiten der gleiche ist.

Ausserdem empfiehlt es sich, zwischen zwei Glasplatten verzweigte Kanäle theils in obigen Regeln entsprechender, theils widersprechender Weise zu modelliren und beim Durchfliessen einer groben Suspension den Verlauf der Strömung an der Verzweigungsstelle zu beobachten, zuzusehen wie der Wasserstoss erfolgt und ob bei den Regeln entsprechender Verästelung weniger Strudelbildung stattfindet, als bei widersprechendem Verhalten.

Auch kann ein Versuch mit den Regeln widersprechend verzweigten Gummirohren fruchtbar werden, wenn er Monate lang fortgesetzt wird, da die Elasticität des Gummi keine vollkommene ist, dasselbe somit durch anhaltende Einwirkung eine dauernde Umgestaltung erfahren kann, welche sich äussern könnte durch eine leichte Drehung des Trennungskeiles, durch Ausbuchtungen an

zweigt, nicht stärker ist als jedes der beiden Zweigrohre und dass ausserdem noch eines der Zweigrohre in der Richtung des Stammes weiter lief. Vielleicht wäre schon bei Variation nur des letzteren Umstandes die Abweichung durch Vergrösserung der Reibung in das Bereich des Bestimmbaren gefallen, sicher aber, wenn sein Hauptrohr stärker gewesen wäre als jeder der Zweige. Da in seinem Falle aber die beiden sehr kurzen Abfuhrwege zusammen noch ein Mal so weit waren als die der Zufuhr, so wurde die Ausflussmenge fast allein durch die Weite des Zuflussrohres bestimmt, wie ihm eine Bestimmung der Ausflussmenge aus dem Stammrohr allein jeden Falls gezeit haben würde.

den Stellen des Wasserstosses und durch Anfänge zur Ausbildung von Ursprungskegeln. Natürlich wird aber diese Reaction immer sehr weit hinter der vollkommenen Anpassung der Blutgefässe zurückbleiben, da hier fertige von vorn herein anders construirte Gefässe umzugestalten sind, während bei den Blutgefässen diese gestaltenden Kräfte von deren Entstehung an mitgewirkt haben. Es scheint nun aus der Anpassungsfähigkeit des Gummi hervorzugehen, dass der Unterschied von der Blutgefässwandung blos ein gradueller und kein qualitativer sei, wie ich vorstehend behauptet habe; ich werde indess am Schlusse meine Behauptung noch näher begründen.

Experimente durch Unterbindung von Arterien-Aesten an wachsenden sowie an ausgewachsenen Thieren versprechen auch Aufklärung zu gewähren, wenn vorher das normale Verhalten der Gefässe an der betreffenden Stelle durch Injectionspräparate von anderen Thierindividuen gleicher Species festgestellt und bei der Präparation des Versuchsthieres das Verhalten der Gefässe bei äusserlicher Betrachtung als mit jenem identisch gefunden worden ist.

Ich will noch erwähnen, dass vielleicht der Umstand, dass das Blut eine Suspension ist, nicht ohne Bedeutung für die hydrodynamische Ausgestaltung der Gefässe ist, indem die Blutkörperchen durch ihren Anprall an den von der hydrodynamischen Gestaltung abweichenden Stellen noch eher durch ihre grössere Consistenz ein Nachgeben der lebenden Zellen bewirken als der weiche Wasserstoss. Dabei drängt sich freilich wie eine *Contradictio in adjecto* gleich der Gedanke auf, warum die rothen Blutkörperchen nicht selber die den mechanischen Verhältnissen entsprechende Gestalt erlangen, das heisst, kugelrund werden, da doch die letzteren dies sehr energisch zu bewirken streben.

Wenn es mir im Vorstehenden gelungen ist, die Regel über die Ablenkung des Stammes bei der Astabgabe auf hydrodynamische Ursachen zurückzuführen, so haben damit die Astursprungswinkel an sich in den einzelnen Organen sehr an morphologischem Interesse verloren. Dagegen ist zugleich eine neue Aufgabe für die Corrosionsanatomie entstanden, welche darin besteht für jedes Organ die definitiven Verzweigungswinkel, welche durch die Richtungen der Gefässe im Verlaufe gebildet werden, festzustellen. Es ist dadurch aber nicht, wie es scheinen möchte, eine unendliche Complication der Aufgaben, sondern im Gegentheil eine grosse Vereinfachung derselben entstanden, wenn man hinzunimmt, dass diese Winkel, wie ich zunächst allerdings blos an

Leber und Herz beobachtet habe, an ganzen Regionen eines Organes für ungleich starke und unter ungleichen Ursprungswinkeln abgehende Gefässe dieselben sind, indem die letzteren an solchen Stellen alle bloß nach zwei oder drei bestimmten Richtungen verlaufen. Diese Richtungen scheinen, so viel ich mich erinnere, manchmal durch die Verlaufsrichtungen eines Hauptastes und des bei Abgabe desselben abgelenkten Stammes gegeben zu sein. Wer sich herbeilassen wollte, das Wachstum der Organe von den frühesten Stadien an, welche sich schon mit der Hoyer'schen Schellakauflösung in Alkohol behandeln lassen, an den Ausgüssen der Blutgefässe, als einem innern Gerüste zu studiren und bei der Betrachtung der Präparate statt der Principien der einfachen Formbeschreibung die der analytischen Mechanik zu Grunde zu legen, der würde die überraschendsten Gesetze auffinden und es würde ihm gelingen das Wachstum, wenigstens zunächst der grösseren Drüsen durch unerwartet einfache Formeln auszudrücken. Ich bedaure sehr, dass mir die Verhältnisse nicht gestatten, an der Hebung dieser Schätze mit zu arbeiten.

Nachdem im Vorstehenden der Versuch gemacht ist, die durch drei Regeln bestimmten Gestaltungen der Blutgefässverzweigungen als Anpassungserscheinungen der Gefässwandung an die Kräfte des Blutstromes nachzuweisen, erübrigt noch, die hypothetische Anpassungsfähigkeit selber einer Untersuchung zu unterziehen, um sie entweder wirklich physikalisch-chemisch zu begründen oder, wenn dies nicht möglich ist, wenigstens in ihrem Wesen etwas näher zu bezeichnen und als im Einklang stehend mit anderen Principien des organischen Geschehens aufzuweisen.

Die supponirte Anpassungsfähigkeit der Gefässwandung würde zunächst zu ihrer Erklärung eine Erkenntniss der Ursachen der Gefässbildung überhaupt voraussetzen, also der Gründe, aus welchen die Gewebe beim phylo- und ontogenetischen Beginn der Blutcirculation mit einer qualitativen Veränderung, mit Bildung einer festen Wandung, welche die Flüssigkeit zusammen zu halten vermag, reagirt haben und dann, warum mit dem stärker werden des Flüssigkeitsdruckes die entsprechende quantitative Aenderung nachgefolgt ist. Während nun das letztere Verhalten bei Voraussetzung des ersteren einfach als eine Folge der Zunahme der Ursache sich ergibt, denn eine stärkere Action muss auch eine entsprechend stärkere Reaction verursachen, so muss die qualitative Gefässbildung selber als gegebene Thatsache, in ihrem Wesen aber als zur Zeit gerade so unverständliche An-

passung oder besser specifische Reaction hingenommen werden, wie alle anderen specifischen Reactionen der lebenden Substanz, wie die vorübergehende Zunahme der Cohäsion des Protoplasma, welche bei mechanischer, chemischer, thermischer oder electricischer Einwirkung die Contraction veranlasst, wie die Fortpflanzung der Erregung im Nerven oder die Empfindung der sensiblen Ganglienzelle, oder die Reaction auf wechselnden Druck und Zug mit Knorpel- oder Knochenbildung oder mit Bildung von Binde- oder elastischem Gewebe etc.

Aus der Annahme einer derartigen specifischen Reaction der Gewebe, dass im Allgemeinen blos der Blutspannung Widerstand geleistet wird, folgt aber ohne Weiteres die hydrodynamische Gestaltung der Gefässe, da allein bei dieser der Druck an allen Stellen desselben Querschnittes der gleiche ist und die Theile blos die Spannung der Flüssigkeit auszuhalten haben; es ergibt sich daraus, dass der Querschnitt bei geradem Verlaufe der Gefässe rund ist, dass der Ursprung in der Stammachsen-Radialebene erfolgt und die Gestalt des freiwilligen Astursprungs hat. Nach dieser Annahme bedarf dann nicht mehr die hydrodynamische Gestaltung sondern im Gegentheil jede Abweichung von derselben einer besonderen Erklärung, denn jede Abweichung giebt einen neuen Druck, gegen welchen durch besondere Kräfte fortwährend Widerstand geleistet werden muss. Solche besonderen Ursachen müssen also vorhanden sein und gesucht werden, für die Biegung der Gefässe und für den Abgang von Aesten unter nicht hydrodynamischem Ursprungswinkel, also unter anderem für sämtliche Verästelungen, bei denen der Stamm eine Ablenkung erfährt. In diesen Fällen dürfen wir wohl mit Recht die besonderen Ursachen in den gestaltenden Kräften des Parenchyms der Organe und in der phylo- und ontogenetischen Vorgeschichte der Organismen suchen. Dass aber selbst bei diesen Abweichungen einerseits noch ein Gleichgewicht sich herstellt, wie die Ablenkung des Stammes bei der Astabgabe bekundet, andererseits die Reibung bei den Richtungsänderungen der Gefässe in der Continuität durch allmähliges Umbiegen möglichst gering wird, beweist nur wieder, dass kein besonderer Widerstand geleistet wird ohne besondere locale ihn erzeugende und die nöthige Kraft liefernde Ursachen.

Um nun noch einen Schritt weiter zu gelangen und so vielleicht die specifische Reaction, welche sich in der Gefässbildung überhaupt äussert oder die partielle blos gegen die Blutspannung sich richtende Natur derselben zu erklären, könnte man das ge-

genwärtig so gebräuchliche Verfahren der Appellation an die ultima ratio, an den Kampf der Individuen, an den Kampf, zunächst der Zellenstaaten unter einander einschlagen, allein dies würde hier wie übrigens in vielen Fällen, erscheinen, als wollte man sämtliche gute Einrichtungen eines Staates in Regierung, Gesetzgebung, Verwaltung, Wissenschaften, Handel, Gewerbe etc. allein auf den Kampf mit den übrigen Staaten zurückführen.

Noch eher ginge schon die Ableitung unter zu Hülfenahme des Kampfes der gleich fungirenden Theile eines Organes, hier vom Kampf der Zellen der Gefässwand, um Nahrung und Raum, wobei dann aber zugleich ein Princip des Sieges des in der specifischen Weise stärker fungirenden eingeführt werden müsste in der Art, dass z. B. Vorsprünge gegen das Lumen über die Grenzen der hydrodynamischen Gestaltung hinaus zu Grunde gingen, weil sie bloß dem Anprall der Flüssigkeit, nicht aber dem Druck der Blutspannung, welchen allein die weiter draussen innerhalb der Ringverbindung liegenden Theile überwinden können, activ zu widerstehen haben. Dabei müsste dann auch noch für den Sieg des specifisch fungirenden innerhalb der einzelnen Zelle der Kampf der letzten Zelltheilchen verwendet werden, durch welchen im Stoffwechsel bloß die die specifische Function bildenden Prozesse, welche durch das fortwährende Fungiren immer neu erregt und also gekräftigt werden, sich dauernd mit Materie neu zu regeneriren vermöchten, auf Kosten der weniger angeregten, weniger specifischen Prozesse. Bei diesem zu Grunde Gehen der weniger stark und specifisch fungirenden Theile muss alsdann die Zelle diejenige Gestalt erhalten, welche die Gesamtheit der am stärksten fungirenden Theile besitzt.

Auf diese Weise würde die Entstehung aller in ihrer functionellen Bedeutung erkannten und als höchst zweckmässig befundenen organischen Gestaltungen, z. B. des Gesichtsapparates oder der Knochenspongiosa, unserem Verständniss erheblich genähert werden, wenn nicht der Begriff der alleinigen Erhaltung der specifischen Prozesse durch immer neue Insubstantiirung bei weiterem Verfolgen auf eine ganze Kette von Problemen führte, von denen ich indessen glaube, dass sie einer eingehenderen Untersuchung werth sind.

Schliesslich halte ich es auch für lohnend, in ähnlicher Weise, wie man die physiologischen und die pathologisch-anatomischen und -chemischen Reactionen des Organismus untersucht, so auch das rein morphologische Geschehen als Ausdruck specifischer Re-

actionsweisen aufzufassen, um alsdann die Vielheit des Geschehens auf eine Minderheit von Ursachen und von Reactionsweisen zurückzuführen.

Durch die vorliegende Abhandlung in Verbindung mit der früheren wurde der Beweis zu führen gesucht, dass die drei am Anfang citirten Regeln durch Anpassung an die hydrodynamischen Kräfte des Blutstromes bedingt seien: Die erste und dritte Regel dadurch, dass der Blutgefäßwandung im Allgemeinen bloß die Fähigkeit des Widerstandes gegen die Blutspannung eigen ist, woraus sich dann von selbst die betreffenden Gestaltungen ergeben, während dagegen die Fähigkeit, auch dem Flüssigkeitsstoss zu widerstehen eine bloß locale und durch besondere Ursachen bedingte ist. Die zweite Regel, über die Ablenkung des Stammes bei der Astabgabe sei bedingt, durch eine Druckausgleichung des Flüssigkeitsstosses auf beiden Schenkeln des Verästelungswinkels (für Venen auf den beiden Seiten des aus der Verbindung resultirenden Stammes) und vielleicht auch durch eine zu demselben Resultate führende Ausgleichung der Rückstöße aus dem Ast und der Fortsetzung des Stammes.

In Folge des mehr oder weniger hydrodynamischen Bedingtheits verlieren die Astursprungswinkel an speciell morphologischen Interesse. Dieses Interesse wird übertragen auf die definitiven Verästelungswinkel, da sie allein durch die specifische Gestaltung der Organe bedingt sind. Dabei tritt zugleich eine Vereinfachung der anatomischen Aufgabe ein, durch den Umstand, dass in den einzelnen Regionen mancher Organe die Gefäße trotz ganz verschiedenen Ursprungswinkels alle nach wenigen festen Richtungen verlaufen.

Die vorhandene Anpassungsfähigkeit selber wurde als eine weiterer Erklärung bedürftige, specifische Reaction der betreffenden Gewebe des Organismus gegen den Blutdruck aufgefasst.

Der Nutzen der Einrichtungen besteht in der Verbreitung des Blutes unter der geringsten Reibung, also im Betriebe der Circulation mit dem Minimum von lebendiger Kraft und von Wandungsmaterial.

Leipzig, April 1879.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

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

Jahr/Year: 1879

Band/Volume: [NF_6](#)

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

Artikel/Article: [Bedeutung der Ablenkung des Arterienstammes bei der Astabgabe. 321-337](#)