

II.

Beitrag zu den Kreislaufsverhältnissen der Froschlunge.

Gearbeitet im pathologisch-anatomischen Institute zu Heidelberg.

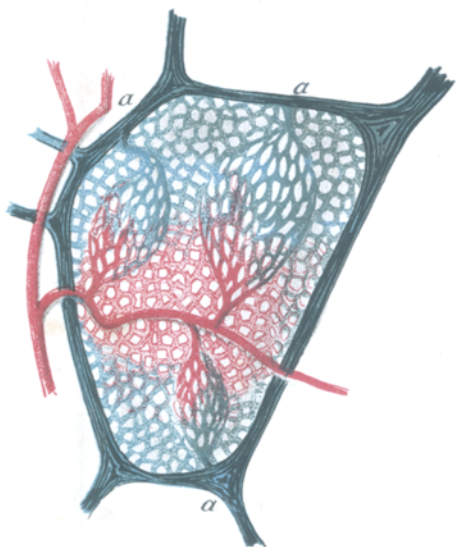
Von Dr. Küttner.

(Hierzu Taf. I.)

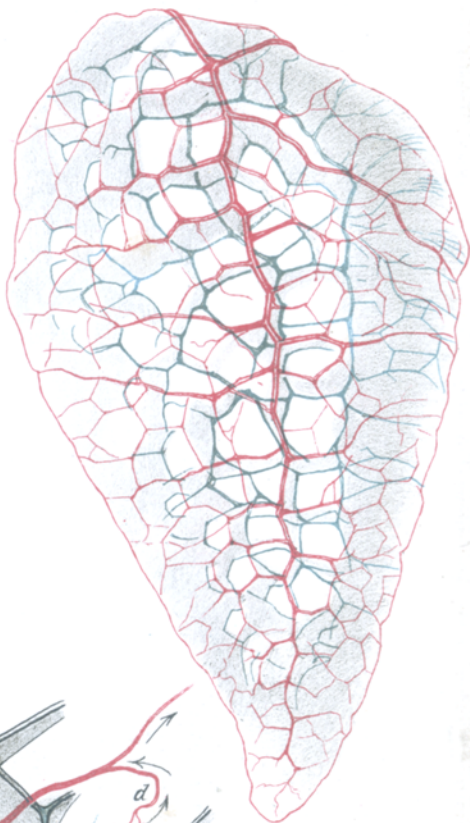
Mit Recht ist die Froschlunge in letzter Zeit als Untersuchungs-object für experimentell-physiologische und pathologische Zwecke vorgeschlagen; speciell für das Studium der Circulation giebt es wohl kaum ein geeigneteres Organ. Wie sich aus dem Verlaufe dieser Arbeit herausstellen wird habe ich anatomische und experimentell physiologische Gesichtspunkte der Circulation verfolgt.

Die Untersuchungen beziehen sich auf die *Rana esculenta*. Was den anatomischen Bau der Lunge anbetrifft, so sind es zwei durch ein kurzes Mittelstück untereinander verbundene, maulbeerförmige, membranöse Säcke, die stark mit Luft gefüllt 5—6 Cm. Länge und 3 Cm. Breite erlangen, seichte Einschnürungen an der Oberfläche und verschiedene tief einspringende Septa an der Innenfläche zeigen. Jeder dieser Lungensäcke mündet mit einem sich verjüngenden Theile in das sie verbindende Mittelstück, einem Analogon der Trachea, das eng in allen Dimensionen, nach Oben zu die straffe, geschlossene knorplige Rima glottidis hat. An der Innenwand lassen sich etwa 30—40 grössere, polygonale Alveolen zählen, die zum Hilus und zur Spitze hin seichter, in der Mitte der Lunge aber bis 5 Mm. Breite erreichen; die grösseren alveolären Abschnitte werden durch niedrigere Septa in 4—6 polygonale, nach Innen hin offene Räume getheilt; von diesen Septis entspringen wiederum seichtere Leisten, die an der inneren Lungenwand allmählich aufhören. Mehr oder weniger geschlossene Hohlräume, ähnlich denen der Säugethieralveolen, giebt es nicht, vielmehr wäre jedes Säugethierinfundibulum mit dem daranhängenden Alveolarsystem einer Froschlunge vergleichbar. Was die anatomischen Verhältnisse weiter anbetrifft, so ziehen sowohl vom Pericardium als von der Leber Ligamente

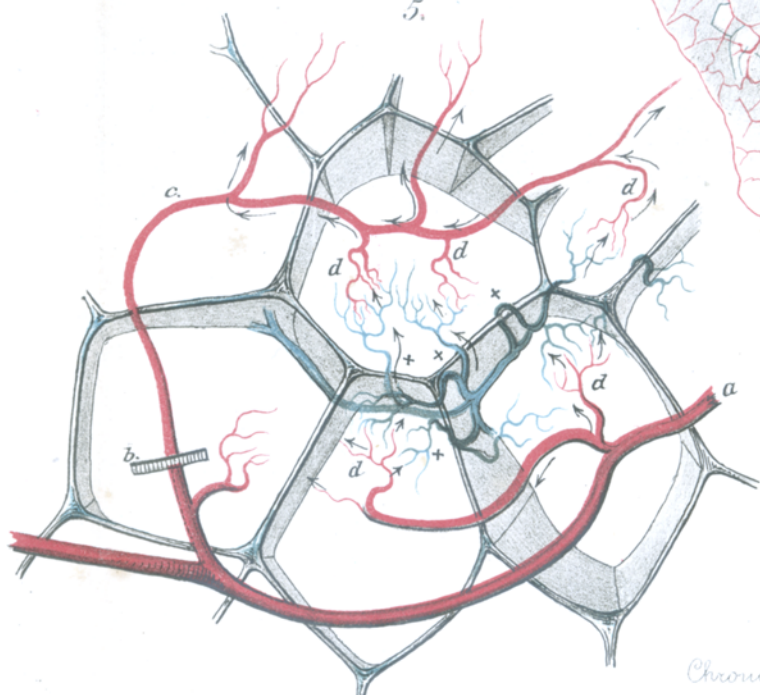
3.

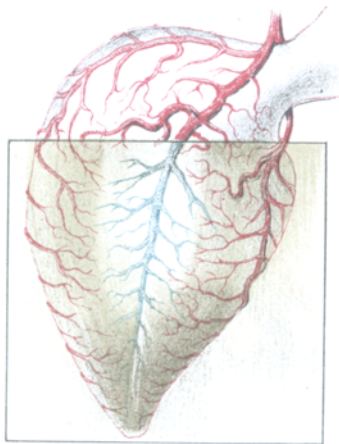
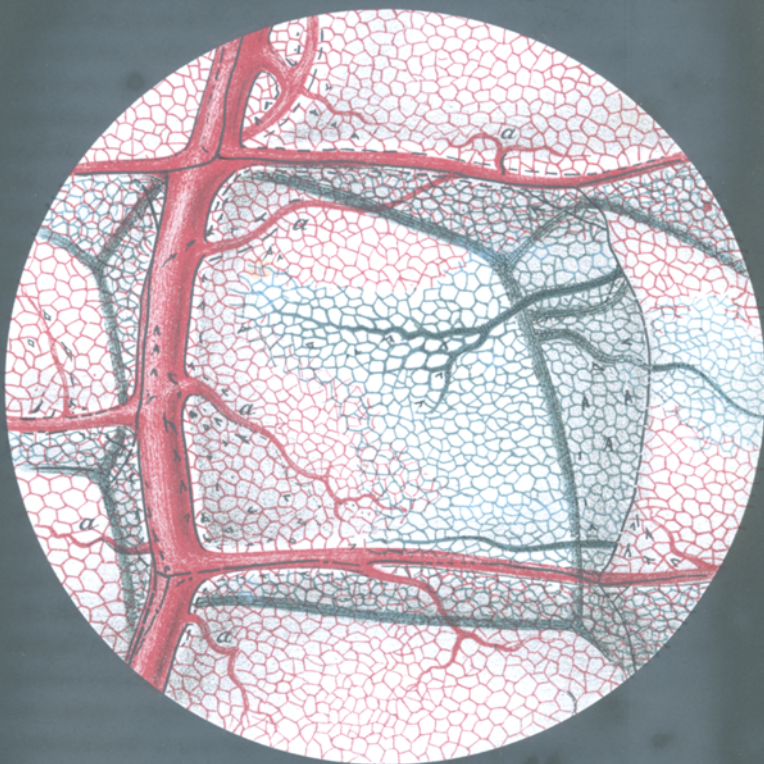


1.



5.



*a.*

4.

*b.*

zum Lungenhilus, — ebenso inseriren sich Fasern des *Musc. obliquus internus* als breites, kreisförmiges Muskelband an ihn. Glatte Muskelfaserzüge bilden in der Lunge ein Balkengerüst für Arterien und Nerven, sie bilden die Hüllen für alle grossen Venen in den Scheiteln der Septa und scheinen zur Regelung der Spannung vorhanden zu sein. Die Innenfläche ist von einem Epithel ausgekleidet: an den septalen Scheiteln ist es ein cylindrisches Flimmerepithel, das sich von dem beide Lungen verbindenden Mittelstück ununterbrochen auf alle Scheitel fortsetzt; die Alveolenwände haben ein polygonales, continuirliches Epithel von nahezu gleichem Durchmesser in allen Richtungen.

An der nicht injicirten Froschlunge, namentlich bei *Rana temporaria*, lassen sich die Gefässe der Anordnung der Pigmentzellen nach verfolgen, ihr Verlauf approximativ bestimmen, sogar die capillare Auflösung ist nach den Epithelfeldern sowohl bei *Rana temporaria* wie *esculenta* zu unterscheiden. Eine eingehende Beurtheilung aber ist nur möglich an Injectionspräparaten, künstlichen und natürlichen: beide richtig vorbereitet geben Gefässbilder von überraschender Klarheit. Ich zog gefärbte Leimmassen den wässrigen Lösungen vor, da das krümeliche, häufig unterbrochene Wesen der letzteren die Einsicht von Zusammengehörigkeit namentlich capillärer Gefässe beeinträchtigt. Die Venen injicirte ich vom Atrium, die Arterien vom Bulbus aus, nach abgebundenem Atrium, mit verschieden gefärbten Massen und nach Verbluten des Thieres. Doch sind selbst die gelungensten Injectionen zu keiner weiteren Untersuchung zu verwerthen, wenn das Organ nicht ausgedehnt, wenn die Septa mit ihren beiden injicirten Flächen nicht in ihrer natürlichen Stellung auf den Objecttisch gebracht werden können: ein völlig verworrenes Bild mehrfach übereinander liegender feinsten Capillarnetze machen jede Untersuchung unmöglich. Es ist daher rathsam, dass das injicirte Object, bevor es in Eiswasser gebracht wird, stark aufgeblasen werde und so erkalte, — befreit von allen daran haftenden Membranen über concentrirter Schwefelsäure getrocknet werde. In dieser Weise vorbereitet, klärte ich die injicirte Lunge in Terpentinöl und schloss sie entweder zu Hälften oder zu Dritttheilen in Canadabalsam. Die weitere Untersuchung und Aufbewahrung verlangt nun freilich Kammern von 1—1½ Cm. Dicke; — ich wandte das von Gerlach und Thiersch vorgeschlagene Vor-

gehen an halbirten Kaninchen-Augen an und bekam mikroskopische, durchsichtige Bilder von seltener Pracht und Haltbarkeit. Nicht unerwähnt möchte ich lassen, dass die Herstellung dieser Injectionspräparate mit zweierlei Farben viel Zeit beansprucht und zufallsweise nur gelingt: der vielen, bereits am Lungenhilus vorkommenden, capillaren Auflösungen wegen gehört es zu den Seltenheiten, dass die Gefässbahnen mit ihren entsprechenden, getrennten Farben, wie beabsichtigt, injicirt werden; in den bestgelungenen Präparaten findet man stets ganze Arterienstrecken blau, Venen roth gefüllt. Hat man sich aber einmal mit der Gefässvertheilung bekannt gemacht, so erkennt man aus dem Verlauf, aus der Stellung, die die Gefässe zu den alveolären Räumen nehmen, sofort was Arterien — was Venen sind.

Bei der Beschreibung des Gefässsystems beginne ich mit dem Herzen; es liegt auf dem trachealen Mittelstück beider Lungen, — vom Bulbus aortae steigt jederseits der Aortenbogen auf und giebt zuerst und zumeist nach Innen die beiden Lingualarterien, dann die beiden in der Pleuroperitonealhöhle sich zur Aorta abdom. vereinigenden Aorten, schliesslich und zumeist nach Aussen einen beträchtlichen Stamm ab, der sich in eine starke Arter. axillaris und minder starke pulmonalis theilt. Diese von Oben her an den Lungenhilus herantretende Art. pulmon. spaltet sich in rascher Aufeinanderfolge in drei gleich dicke Hauptstämme, mit diesen ihn umkreisend, gehen sie in ziemlich gleich weiten Spatien von einander und leicht convergirend zur Lungenspitze. Jede von ihnen entsendet einen kürzeren ebenfalls zur Spitze hinstrebenden Ast, — als Regel könnte somit gelten, dass die Lungenoberfläche in 6 arterielle Gefässsectore getheilt wird. Ist es aber überhaupt schon misslich, die Gefässvertheilung bei einem so gefässreichen Organ eingehend beschreiben zu wollen, so wird es hier nahezu unmöglich, da von einer bestimmten Regelmässigkeit in der Theilung nichts vorkommt: an vielen Lungen finden sich 6, an anderen nur 3 Stammgefässe. Betrachtet man die injicirte Lunge im Froschkörper und zwar bei der Lagerung desselben auf dem Bauche, so findet man eine grosse Arterie, die bei mikroskopischer Untersuchung gerade ins Gesichtsfeld zu liegen kommt und ein geeignetes Untersuchungsobject abgiebt, wobei die Lunge weder gedreht noch gewendet zu werden braucht; der präciseren Besprechung wegen möchte ich

sie als *Art. pulm. posterior* bezeichnen; die beiden anderen gehen als *Arteriae externae* und *internae* zu Seiten. Hat man ein durchsichtiges Injectionspräparat vor sich, so erkennt man bereits mit blossen Auge den Verlauf der grossen Arterien nur an der Oberfläche, den der grossen Venen nur in der Tiefe und zwar in den kolbigen Kuppen der Septa (Fig. 1). Eine Ausnahme von den nur in der Tiefe verlaufenden grossen Venen macht die jederseits aus der Lunge tretende *Vena pulmonalis*: vor ihrer Vereinigung mit der der anderen Seite tritt sie, von einem schlaffen Lymphsack umgeben, frei an die einander zugekehrten inneren Lungenoberflächen und bietet den geeignetsten Ort für Ligaturen und Compressionen.

Was die weiteren Auflösungen der Arterien 2. Ordnung anbelangt, so ist von einer dychotomischen Spaltung eigentlich nicht die Rede: federfahnenartig gehen in gleichen Intervallen jederseits 13—15 Zweige mehr oder weniger spitzwinklig ab, ohne dass der Stamm selbst sichtlich an Weite einbüsst, sie wechseln an Länge und zwar so, dass stets auf eine längere, ausgiebigere eine engere, kürzere folgt. Fasst man das gegenseitige Verhältniss dieser fast parallel nebeneinander verlaufenden 13—15 Arterien näher ins Auge, so überzeugt man sich, dass stets ein kürzerer Ast der *Art. pulm. poster.* einem längeren der *Art. pulm. interna* und *externa* und umgekehrt entspricht, die auf diese Weise sich ergänzend in einandergreifen. Erst von nun an treten baumartige Verzweigungen auf, — stets feiner werdend ziehen die Arterien in diagonalen Richtung über die Alveolen hin und ist diese Anordnung so charakteristisch, dass man an ihr allein die Arterien auf den ersten Blick zu erkennen vermag, bevor man sich davon überzeugt hat, dass grössere Venen überhaupt an der Lungenoberfläche nicht vorkommen. Die Endäste lösen sich alsdann baumartig ausstrahlend capillär auf, wobei aber stets ein stärkeres Capillargefäss gleichsam als Stamm zu verfolgen ist, sammeln sich sofort wieder zu einem capillären Venennetz, dessen Muttergefäss, eine nur sehr kurze Strecke sichtbar, an das erste nächste Septum tritt und in die Tiefe hinabsteigt. Ich setze die Kenntniss des überaus reichen Capillarnetzes der Alveolen voraus, gehe nicht weiter auf dessen Beschreibung ein, da es sich in seinem Reichthum wenig von dem der Säugethiere unterscheidet, — eins möchte ich aber vorausschicken; es differirt die capilläre Auflösung in ihrer Erscheinung

an Injectionspräparaten von der der lebenden Lunge. An letzterer sieht man je nach den Spannungsverhältnissen, verschiedene Bilder des capillären Netzes — einmal baumartige Ramificationen, ein anderes Mal ein fortlaufendes, geradliniges Capillargefäss, aus dem die übrigen Seitenäste federfahnenartig sich abzweigen. Weiter sieht man an den Injectionspräparaten ein breiteres Venen-, ein engeres Arteriennetz; an jeder oberflächlichen Alveolarwand, ebenso an den später eingehend zu beschreibenden Septis, ist die Summe des Querschnittes der venösen Capillargefässe grösser als der der capillaren Arterien; an den meisten Alveolen findet sich eine zuführende engere Arterie, zwei bis drei abführende, breitere Venenwurzeln.

Die erwähnten letzten radienartigen Arterienauflösungen sind aber die an der Lunge weitaus gering vertretenen, — ihnen liegt das für den ganzen Körper geltende Princip zu Grunde, unter allmählicher Verästelung capillär zu werden. Der Ursprung capillärer Röhren aus relativ grossen Arterien mag in drüsigen Organen häufig genug vertreten sein, kommt aber schwer zur mikroskopischen Untersuchung — die Durchsichtigkeit der Lunge ermöglicht sie. Von den 3 oder 6 Stammgefässen an bis zu den feinsten Arterien zweigen sich, an Häufigkeit stets zunehmend, seitlich und rechtwinklig Röhren von engstem Kaliber ab, die gewöhnlich als kurze Wurzelarterien von den grösseren, — von den kleineren aber sofort als capilläre Netze anheben (Fig. 2). Es können bei der Beurtheilung selbst sehr klarer mikroskopischer Bilder viel Irrthümer unterlaufen: es zweige sich z. B. ein kurzer Arterienast an der unteren, schwer sichtbaren Fläche einer grösseren Arterie ab, — trete erst an das darunter gelegene Septum, — steige wieder auf und verbreite sich capillär an der Oberfläche und zwar in unmittelbarer Nähe derselben Arterie, so wird das Capillarnetz leicht den Eindruck machen, wie wenn es aus ihr selbst stamme. Um sich hier zu orientiren, wähle man einen Arterienstamm, der eine längere Strecke hindurch verläuft, ohne irgend einen grösseren Seitenast abzugeben und solcher Stellen giebt es überaus viele, — ist das Präparat ein klares und übersieht man die in der Tiefe hinziehenden Septa, so wird man Irrthümern aus dem Wege gehen und sich vom unmittelbaren Abgange engster Röhren leicht überzeugen können. Sie

bilden zu den normalen, dendritischen capillaren Ramificationen die bedeutendere Menge und unterscheiden sich von diesen durch den rechtwinkligen Ansatz und den mehr geradlinigen Verlauf.

Fasse ich somit die arterielle Verzweigung an der Froschlunge zusammen, so wäre anzuführen, dass nur die Arterienenden sich einigermaassen dendritisch auflösen, — dass an den grossen Arterien sich neben den abwechselnd grossen, langgestreckten, diagonal über die Alveolen hinziehenden Zweigen noch kurze Stämmchen finden, die sich sofort capillär auflösen, — dass an den Gefässen 2. und 3. Ordnung es häufig die rechtwinklig ansetzenden Capillaren sind, die das der Arterie zunächst liegende Gefässgebiet bilden. Klarer und unabweislicher treten diese Verhältnisse am lebenden Object entgegen und können durch Circulationsstörungen künstlich hervorgerufen und zur deutlichen Anschauung gebracht werden, — doch davon in einem späteren Abschnitte.

So übersichtlich sich nun auch die arterielle Gefässanordnung an der Lungenoberfläche zeigt, so scharf von einander getrennt Arterien und Venen verlaufen, soviel Schwierigkeiten bietet die Untersuchung ihrer Verzweigungen an den Septis. Befürworten möchte ich, dass eine genügende Einsicht sowohl eines injicirten als lebenden Objects stereoskopische Bilder zu geben vermögen; selbst die besten Linsen geben weniger deutliche Bilder als mittelmässige stereoskopische Apparate: denn dort wo die Septa in den Lungensack hineinragen, liegen 3 Lagen capillärer Netze übereinander, von denen das erste der Oberfläche, die beiden anderen der capillären Ausbreitung der beiden Flächen des Septum angehören. Die Wichtigkeit der Untersuchung dieser Septa ist aber nicht zu unterschätzen, denn sie bilden mit ihren an beiden Flächen verlaufenden Gefässen die bei Weitem grössere Gefässausbreitung, weiter verlaufen nur in den kolbigen Scheiteln der Septa die grossen Venen, während an den Septis die grossen Venen und Arterien nur durch ein überaus kurzes Capillarnetz untereinander verbunden sind. —

Was die Anordnung der Septa und ihre Stellung zu den an der Lungenoberfläche verlaufenden Arterien anbetrifft, so möchte ich nachholen, dass die tiefsten Septa dem Verlaufe der Art. pulm. posterior entsprechen, dass die der Art. pulm. extern. und interna

zugehörigen weniger ausgiebig sind, ihr Verlauf von der Lungenwurzel bis zu deren Spitze ein ebenso geradliniger ist wie der der 3 grossen ebengenannten Stammarterien, so dass letztere in die 3 seichten Einschnürungen der Oberfläche gebettet sind, die die Insertionen der Septa an dem Lungensack bilden, und dass mit dem Beginne der dychotomischen Auflösung und der ausgesprochen diagonalen Richtung der Gefässe über die Alveolen die Septa völlig unabhängig einherziehen. Im grossen Ganzen liesse sich also sagen, je ausgiebiger, breiter das Septum von einem um so grösseren Arterienstamm beziehe es seine Gefässe und umgekehrt. Berücksichtigt man ihre unbedeutende Tiefe, die in völlig ausgedehntem Zustande höchstens 5 Mm. beträgt, so ergibt sich, dass sie ihr Blut aus relativ starken arteriellen Stämmen beziehen und es sofort in relativ weite venöse Gefässe entleeren. Wie an der Oberfläche ebenso ist auch an den Septis dasselbe Princip vertreten: Abgang capillärer Röhren sowohl aus feineren Arterienenden, als auch seitlich aus relativ grossen Gefässen.

Ich wende mich zu den venösen Gefässen; beginne ich mit den an der Lungenoberfläche zunächst verlaufenden, so gilt hier als Regel, dass in allen gegeneinander stossenden Flächen der Alveolen vertical in die Tiefe steigende, als auch kurze an der Oberfläche verlaufende Venen vorkommen, die ihr Blut den grossen venösen Sammelgefässen in der Tiefe zuführen. Selten verlaufen die Venen, die man an den Flächen der Septa bemerkt, in diagonalen Richtung, in der Regel nehmen sie den kürzesten Weg und inseriren sich rechtwinklig an ein grosses Sammelgefäss. Die capillaren Venen bedürfen, ähnlich den capillaren Arterien, keiner allmählich stärker werdenden Gefässe: wie die grösseren Arterien sofort capilläre Gefässe abgeben, in derselben Weise treten enge venöse Röhren rechtwinklig und direct in die grossen Venen.

Bevor ich mit der Gefässvertheilung, wie sie das injicirte Object zeigt, abschliesse, möchte ich der Anastomosen gedenken. Bei der Injection fliesst häufig, lange bevor irgend ein anderer Theil des Froschkörpers sich färbt, die Injectionsmasse bereits aus dem Atrium aus, manchmal findet man wohl die Lunge bis in die feinsten Details hinein gefüllt, ebenso häufig aber sind es nur sehr minimale Theile derselben, meist der Hilus, die injicirt wurden.

Vergegenwärtigt man sich die weiten Capillaren zwischen den grossen Arterien und Venen bereits am Hilus, also das überaus ergiebige, weitmaschige entsprechende Capillarnetz, so braucht man nicht nach Anastomosen, die in der That auch nicht vorkommen, zwischen Arterien und Venen zu suchen: die Injectionsmasse fliesst, ohne dass sich die ganze Lunge füllt, bereits aus den Venen am Hilus aus. Was die Anastomosen zwischen Arterien anbetrifft, so habe ich sie an den bestinjcirten Präparaten nicht finden können; ist dasselbe Präparat aber nicht gut ausgebreitet, in seiner natürlichen Wölbung nicht erhalten, so scheinen sich Anastomosen auf Schritt und Tritt zu finden. Denn die von den 3—6 Hauptstämmen federfahnenähnlich abgehenden 13—15 Arterien greifen mit ihren Enden so dicht in einander, dass Anastomosen nur zu leicht vorgespiegelt werden. Wie aus den Untersuchungen am lebenden Object sich herausstellen wird, sind die so äusserst nahgerückten Capillaren und Gefässe verschiedener Hauptstämmen bei allen dynamischen und mechanischen Kreislaufstörungen von äusserster Wichtigkeit und beeinflussen ihrerseits die Rapidität des Stromes sowohl als auch den Mangel an Widerständen, den das Blut auf seinen Wegen findet. Eine Anastomose aber glaube ich mit ziemlicher Regelmässigkeit angetroffen zu haben und zwar in der Nähe der Lungenspitze, sie verbindet die Art. pulm. poster. mit der externa. So äusserst interessant und für das physiologische Experiment verwerthbar sonst dergleichen Arterien-Anastomosen sind, zumal wenn sie so oberflächlich, so leicht zugänglich sind, so wenig bedeuten sie an der Lunge des Frosches.

Um mit den Venen-anastomosen zu schliessen, will ich hinzufügen: wie die Capillaren im Kleinen, so repräsentiren die in den Kuppen der Septa verlaufenden Venen im Grossen ein untereinander zusammenhängendes anastomosirendes Netz; von der Höhle des Lungensackes aus betrachtet mit den venösen Sinus der harten Hirnhaut vergleichbar. Präcisire ich den Begriff der Anastomose dahin, es sei das gegenseitige Ineinandergreifen von Zweigen eines oder verschiedener Stämme, so möchte ich mich dahin aussprechen: die ganze Venenvertheilung an den Scheiteln der Septa bilde einen venösen Plexus.

Ich wende mich zum Kreislauf am lebenden Object: obschon dessen Betrachtung um ein Bedeutendes instructiver ist, so glaubte ich doch mit dem Injectionspräparat anfangen zu müssen, da nur die Kenntniss des Gefässverlaufs die Erklärung für die vielen Phänomene des Kreislaufs abgiebt. Ich habe die *Rana esculenta* zur Injection verwandt, weil sie mir für das Experiment geeigneter schien: die Lunge ist voluminöser, die Septa sind breiter, die Gefässmaschen grösser; ausserdem ist sie freier, lässt sich auf grössere Strecken aus der Pleuroperitonealhöhle nehmen und deshalb von der Wurzel bis zur Spitze übersehen.

Die Anforderungen, die an eine Technik gestellt werden müssen, sind: 1) vor allen Dingen das Erhalten der Lunge in einem ausgedehnten Zustande, so dass deren Oberfläche und die Septa in der natürlichen Stellung verbleiben; 2) die aufgeblähte Lunge, mit Schonung der Gefässe untersuchungsfähig auf den Objecttisch zu bringen; 3) eine so viel möglich solide, unblutige Fixirung des Frosches. Was 1) anbetrifft, so benutzte ich einen von Herrn Dr. Thoma für künstliche Respiration construirten Apparat; er besteht aus zwei Glasflaschen von etwa 5 Liter Wassergehalt, — beide haben dicht schliessende Kautschukpfropfen, in denen je zwei Glasröhren stecken. Die längeren reichen bis auf den Boden der Flaschen, die kürzeren überragen nach Innen hin kaum den Pfropfen, die längeren Röhren beider Flaschen sind mittelst Kautschukschläuche untereinander verbunden. Wird die eine dieser Flaschen mit Wasser gefüllt, etwa $2\frac{1}{2}$ —3 Fuss höher placirt als die leere auf dem Fussboden stehende, so fliesst das Wasser aus ersterer in letztere, aus dieser entweicht die Luft durch das kürzere Glasrohr in einen Schlauch, der, mit einer feinen Glascanüle versehen, in die Froschlunge eingeführt wird. Ist das Wasser aus der hochgestellten Flasche in die auf dem Fussboden stehende ausgelaufen, so versetzt man die Flaschen und den Kautschukschlauch und hat einen ad infinitum brauchbaren constanten, genau zu regelnden Luftdruck, zumal wenn das zur Froschlunge gehende Rohr mit einer Klemmschraube versehen wird: der Luftzutritt kann je nach Bedürfniss gemässigt und gesteigert werden. Die Glascanüle führte ich durch die Rima glottidis und das tracheale Mittelstück in den Lungensack, der ohne zu reissen oder dass die Circulation beeinflusst wurde, einen ganz bedeutenden Grad von

Ausdehnung verträgt. Da das Experiment häufig längere Zeit dauert, so ist es gut, die aus dem Luftbehälter tretende Luft durch Wasser streichen zu lassen: die auf diese Weise feucht gehaltene Luft lässt die Innenfläche der Lungen nicht trocknen. Ist die Canüle eingeführt, so ist es gut das Froschmaul künstlich geschlossen zu halten (*Serre fine*), — thut man es nicht, so gleitet die Canüle leicht aus der Lunge und verwundet, weil sie sich im Lungensack frei bewegt, die Schleimhaut trotz ihres glatt gepfeilten oder geglähten Endes. Mit diesem Schluss ist eine Unbeweglichkeit der Canüle nicht nur, sondern auch eine Unbeweglichkeit des Kopfes und Froschrumpfes erzielt. — Das Einbringen der Canüle ist nur bei einem curarisirten Frosch möglich, die beste Fixation ist nicht im Stande, hier etwas zu leisten, da die Schlingbewegungen, mit denen der Frosch die Luft schluckt, den ganzen Schlundkopf auf- und abbewegen, nicht zu meistern sind, das Curare allein die Stimmbänder erschlafft. Ich brauchte minimale Gaben von $\frac{1}{2}$ pCt., das Thier kam bald zu sich und blieb bei sonst guter Fixirung immobil: langandauernde Contractionen und Dilatationen der Gefässe, Blutverlangsamungen habe ich bei diesen geringen Dosen, namentlich bei in der Pleuroperitonealhöhle untersuchten Froschlungen nicht eintreten sehen.

Das zweite Postulat, was an die Technik wird gesetzt werden müssen, ist die so aufgeblähte Lunge mit Schonung der Gefässe und untersuchungsfähig auf den Objecttisch zu bringen. Will man die Circulation unter soviel wie möglich normalen Verhältnissen verfolgen, so ist es rathsam die Lunge in situ, d. h. im pleuroperitonealen Sacke zu lassen. Denn es ist nicht zu leugnen, dass eine frei zu Tage liegende Lunge unter ganz besonderem Druck und Reizmomenten wird stehen müssen. Zu dem Ende führt man, nach Eröffnung des Hautsackes und Unterbindung einiger starker Hautarterien, einen Längsschnitt entsprechend der Insertion des *Musc. obliq. extern.* an die Rückenaponeurose, trennt die Musculatur schichtweise ab und kommt bald auf die von der Pleura parietalis gedeckte Lunge. Weil aber die Leber rel. gross ist, den bei weitem grössten Theil der vorderen Bauchwand einnimmt, die respirirende oder künstlich aufgeblähte Lunge hinter der Leber herabsteigt, so ist nur bei auffallendem Lichte zu arbeiten; trotz Pleura und des in ihren Gefässen circulirenden

Blutes lassen sich alle Gefässe, selbst die Capillaren der Lunge, mit voller Klarheit übersehen. Complicirter wird die Untersuchungsmethode so experimentell vorgegangen werden soll; die Eröffnung der Pleuroperitonealhöhle, das Blosslegen der ganzen Lunge wird zur Nothwendigkeit, weil künstliche Eingriffe und Circulationsstörungen sich selten auf kleinere Gefässbezirke beschränken, es von Interesse ist, die Grenzen der compensirenden Circulationsphänomene so weit möglich vor sich zu haben. Scheut man sich auch nicht vor der Blosslegung der ganzen pleuroperitonealen Haut, die zeitraubend und mit Blutverlust verbunden ist, so bleibt ein experimentelles Eingreifen, weil die Pleura parietalis erhalten, doch unmöglich.

Bei Blosslegung der Lunge wählte ich die linke Seite, da die linke Lunge weniger fixirt ist, führte an der Bauchwand einen Tschnitt in der Weise, dass dessen horizontaler Balken parallel und etwa 2 — 3 Mm. vor der Proc. transversus der Wirbelsäule zu liegen kam, den verticalen Hautschnitt führte ich mit Schonung der Gefässe, nachdem ich die Haut weit von der Muscularis abgezogen und völlige Einsicht in den Verlauf der Gefässe hatte; entsprechend dem Hautschnitte trennte ich die Muskellage, eröffnete die Pleurahöhle, wobei die Lunge sofort collabirte. Blähte ich nun die Lunge schwach auf, so konnte ich sie mit leichtem Druck und Streichen des Bauches nach Aufwärts zu Tage fördern, ohne mich irgend welcher Instrumente zu bedienen, durch die Hämorrhagien, capilläre Stasen etc. etc. leicht entstehen; die nunmehr blossgelegte, ausgeweitete Lunge placirte ich in eine Kammer. Nach langem Hin- und Herconstruiren schnitt ich sie mir aus einem soliden $1\frac{1}{2}$ — 2 Cm. dicken Korkstück, indem ich die Oeffnung sowohl der Grösse als auch der Höhe und Form der Lunge nachbildete; dieses Korkstück durchschnitt ich in horizontaler Richtung, bekam somit zwei völlig gleiche, sich deckende Hälften, schnitt eine 1 Cm. im Durchmesser haltende Seitenöffnung (für den Lungenhilus), befestigte die eine Hälfte auf eine Glasplatte, gross genug, um das ganze Thier zu placiren. Somit hatte ich eine nach Unten zu durchsichtige Kammer und konnte bei durchfallendem Lichte mit und ohne Deckglas arbeiten.

Was die Fixirung des Frosches anbetrifft, so habe ich bereits erwähnt, dass die durch die Rima glottidis und das tracheale Mittel-

stück geführte, in der Lunge steckende Canüle den Frosch hinreichend fixirt, ist er zu mobil, so deckt man ihn mit einem Korkstück, das an der oberen Fläche der Kammer befestigt wird.

Bevor ich mich zur Beschreibung des Kreislaufs wende, komme ich noch einmal auf die in den Injectionspräparaten bereits gedachte Abzweigung feinsten Röhren aus rel. grossen Stämmen zurück. Ich hatte gesagt, diese eigenthümliche Ramification lasse sich deutlicher an der lebenden Froschlunge beobachten, bis zur Evidenz aber bei künstlich hervorgerufenen Circulationsstörungen beweisen. Wählt man sich ein nicht zu starkes Arterienrohr, dessen durch grosse Geschwindigkeit durchsichtig erscheinende Blutsäule seine Innenwände beurtheilen lässt, so sieht man zahlreiche Häufchen wandständiger, rother Blutkörperchen; sie sitzen zu Haufen von 3—4 zusammen, werden mit ihren freien Enden im Blutstrom hin- und herbewegt und schiessen einzeln in die capillaren Bahnen: es sind das die auf den Abgangswinkeln reitenden und in die Oeffnungen eingezwängten rothen Blutkörperchen. An diesen Stellen gehen enge, und zwar so enge Blutbahnen ab, dass mehrere Blutkörperchen dieselben nicht gleichzeitig passiren können. Diejenigen rothen Blutkörper, die ohne an den Theilungswinkeln aufgehalten zu werden durchtreten, entziehen sich durch die Grösse der Geschwindigkeit der Beobachtung ebenso wie die Lumina selbst.

Was die Circulationsverhältnisse anbetrifft, so gestalten sie sich verschieden je nachdem man sie an Lungen untersucht, die in der Pleuroperitonealhöhle verbleiben oder die frei zu Tage liegen. Bleibe ich bei ersteren, so fällt vor allen Dingen die Form und Gestaltung der Capillaren auf, die wesentlich verschieden sind von denen der Injectionspräparate: während an den Injectionspräparaten das Netz der Capillaren nach allen Dimensionen in ziemlich gleicher Weise ausgedehnt ist, so dass es annähernd kreisrunde Gewebsabschnitte einschloss, ist das Netz hier mehr nach einer Richtung gedehnt und erscheinen die Gewebsabschnitte als annähernd elliptische, parallel der Hauptrichtung des Blutstroms gestreckte Felder¹⁾ In den so gestalteten Capillarbahnen sucht das Blut den

¹⁾ Wenn diese Anordnung an Injectionspräparaten nicht zur Anschauung kam, so mag die Erklärung darin liegen, dass die Injectionsmasse, die bei unter-

kürzesten Weg zwischen Arterien und Venen zurückzulegen; ein relativ beträchtlicher Theil strömt in ziemlich gestreckter Richtung durch die auf den geraden Linien zwischen Arterien und Venen liegenden Capillaren, der andere Theil strömt seitlich abweichend in allmählich höher ansteigenden elliptoiden Bahnen vom Ende der Arterie zum Anfange der Vene. Die Blutbewegung selbst scheint einigermaassen die Gestaltung, Form der Capillaren zu beeinflussen: je ungestümer, rascher sie ist, um so deutlicher ordnen sich die elliptischen Felder und die zwischen ihnen liegenden Capillaren parallel den Curven des Blutstroms; die vom Blutstrom wenig in Anspruch genommenen Capillaren leiten nur langsame, unregelmässige Ströme (Fig. 3).

Weiter ist die ausserordentliche Geschwindigkeit, mit der das Blut in den Gefässbahnen strömt, hervortretend. Da ich sie nicht gemessen habe, so will ich mich nur auf die Unterscheidung von 3 hervorstechenden Momenten der Geschwindigkeit beschränken: entweder ist der Blutstrom so rasch, dass die Blutsäule als rother, homogen durchscheinender Cylinder sich darstellt, oder sie erscheint undurchsichtig und gestreift, oder endlich gelingt es, die einzelnen Blutkörperchen zu erkennen. In den Capillaren ist der Blutstrom zwar viel rascher wie in anderen Gefässbezirken des Frosches, indessen gelingt es noch, die einzelnen Blutkörperchen deutlich zu unterscheiden, etwas was in den Venen nicht mehr gelingt; die einzelnen Blutkörperchen manifestiren sich nur in Form kurzer, schwarzer Linien. Am grössten ist die Geschwindigkeit in den Arterien, hier schiesst es als durchscheinende, hellrothe Blutsäule dahin, selbst die Pulsation ist bei dieser Geschwindigkeit kaum zu unterscheiden, tritt dagegen in Form einer bald deutlicher, bald weniger deutlich rhythmischen Bewegung im Capillargebiet auf. Ich reservire mich von Hause aus vor der Annahme, es pulsire in der Regel das Blut in den Capillaren der Froschlunge; ich gebe

bundenen Venen in die Arterien eingespritzt wird, ein Netz todtler, elastischer Röhren mit einem nach allen Richtungen hin gleichen Druck füllt, während im lebenden Thier der Blutstrom die Form des capillaren Netzes beeinflusst und vorzugsweise nach einer Richtung hin dehnt. Es gilt dieser Einfluss des strömenden Blutes auf die Gestaltung der Gefässbahnen nicht nur für capilläre Bahnen, sondern auch für die Seitenäste der 3 grossen Arterien, indem es die Abgangswinkel verkleinert.

zu, es können mir unbekannte Factoren vorhanden sein, die den Rhythmus zu Wege bringen und bescheide mich einfach, das Factum mit der Bemerkung anzuführen, dass ich alle möglichen Fehlerquellen ausgeschlossen zu haben meinte, indem ich die Lunge innerhalb der uneröffneten Pleuroperitonealhöhle und bei verschiedenen Zuständen der Ausdehnung untersucht habe. Hinzufügen möchte ich aber, dass eine gewisse Uebung dazu gehört, um den Rhythmus zu sehen, und dass das beste Uebungsobject die frei zu Tage liegenden Lungen eines lebenden Frosches geben, an denen dieser Rhythmus ausserordentlich klar zu Tage tritt. Der Umstand, dass die Pulsation in den Capillaren bald deutlicher, bald weniger deutlich hervortritt, dass sie einmal in der arteriellen Strecke der Capillaren, ein anderes Mal an der venösen klarer wird, lässt sich nach dem Stande unserer Kenntnisse nicht genügend erklären, es sei denn, dass wechselnde Zustände der Contraction der Arterien darauf einen Einfluss haben.

Wende ich mich zur Beschreibung der Erscheinungen, wie sie sich an der herausgenommenen, frei zu Tage liegenden Lunge äussern, so muss ich mich dahin aussprechen, dass die meisten der eben beschriebenen Phänomene sich nur graduell verschieden gestalten und um so deutlicher hervortreten, je länger die Lunge äusseren Einwirkungen ausgesetzt bleibt. Deutlich verfolgen lässt es sich, wie die Form der Capillaren von der Geschwindigkeit und der Pulsation des Blutstroms beeinflusst wird. Untersucht man die Lunge sofort nach ihrer Herausnahme, so trifft es sich wohl, dass man sie zuweilen in toto, doch nur für kurze Zeit, ischämisch findet, die Blutgefässe sind eng, blass, blutleer. Bald beginnt wieder die Circulation und zwar mit hochgradiger Beschleunigung der Stromgeschwindigkeit: sowohl in den Arterien, Venen, wie Capillaren sieht man eine durchsichtige, homogen dahinschiessende Blutmasse, an der die Pulsation vielleicht nur an den Venen zu bemerken ist, die elliptoiden Stromgebiete treten deutlich hervor. Allmählich wird die Geschwindigkeit eine langsamere, schliesslich erkennt man die Blutkörperchen in den Arterien, Venen und Capillaren, nach einiger Zeit folgt Stase. Diesen Erscheinungen parallel ändert sich auch der Puls: nachdem er sichtbar geworden, wird er allmählich deutlicher, wird dann intermittirend, bis er schliesslich aussetzt, zu gleicher Zeit hat auch die Blutbewegung aufgehört. In derselben

Weise ändert sich aber auch die Form der Capillaren: aus der mehr oder weniger deutlichen elliptoiden Form der Capillarmaschen entwickelt sich mit der Verlangsamung des Blutstromes und dem Eintritt der Stase die nach allen Dimensionen hin in ziemlich gleicher Weise ausgedehnte Form derselben und gleicht dann auffallend derjenigen der Capillaren an Injectionspräparaten. Alle angegebenen Erscheinungen treten bei verschiedenen Fröschen verschieden bald auf und sind theils individuell, theils hängen sie von Bedingungen ab, die eine mehr oder weniger vorsichtige, unter bestimmten Cautelen eingeleitete Untersuchung mit sich bringt. Ist die Kammer, in der die Lunge liegt, gut geschlossen, behält die Lunge an ihren beiden Flächen einen bestimmten Grad von Feuchtigkeit, streicht die Luft in ihnen frei ein und aus, d. h. wird die respirirte verdorbene stets neu ersetzt, so gelingt es wohl die Circulation wie in der von der Pleura parietalis gedeckten Lunge annähernd normal zu erhalten, sie kann bis 24 Stunden unverändert bleiben. Sind diese Bedingungen mit oder ohne Willen des Experimentators nicht erfüllt, so ist die Aufeinanderfolge dieser Erscheinungen, von der Ischämie an bis zur allgemeinen Stase schon in 1—2 Stunden abgespielt. Bringt man alsdann die Lunge unter günstigere Bedingungen, so entwickelt sich bald wieder die Strömung und Pulsation und mit ihnen die gestreckte Form der Capillaren. Da die Contraction des Herzens nach wie vor unbeschadet blieb, so ist anzunehmen, dass die Gewebe der Lungen, die Gefässe, die Capillaren unter dem Einfluss äusserer Schädlichkeiten primär litten und dadurch die Circulation beeinflussten.

Ich gehe nunmehr zu den theils spontan zu Stande kommenden, theils künstlich hervorgerufenen Kreislaufsstörungen über. An Lungen, die von der Pleura parietalis überzogen waren, konnte ich die spontanen nicht wahrnehmen und stelle, da sie bei den zu Tage liegenden Lungen auf spontane Contractionen und Dilatationen der Gefässe zurückzuführen sind, deshalb die einschlägige Einwirkung des Curare in Frage. Dagegen finden sie sich, wie gesagt, häufig an den, wenn auch in gut schliessenden Kammern, so doch immerhin frei zu Tage liegenden Lungen. Diese vermuthlich durch Luftreiz spontan zu Stande kommenden Circulationsstörungen machen meiner Ansicht nach die Lungen zu einem äusserst geeigneten

ten Untersuchungsobject: wenn auch die ursächlichen Beziehungen oft weniger deutlich zu Tage treten, so vermeidet man den instrumentellen Eingriff, die theilweise Verdeckung wesentlicher Stellen des Gesichtsfeldes und übersieht ausserdem die Rückbildung dieser Störungen in äusserst kleinen Gefässbezirken.

Nicht zu den Seltenheiten gehören die auf kurze Strecken beschränkten Arterienzusammenziehungen. In einem capillaren Gebiet oder einer feinen Arterie sieht man alsdann das Blut plötzlich rückläufig strömen; sucht man die Nachbarschaft dieses abnormen Stromes ab, so findet man in der Regel die contrahierte, blutarme Arterie, gegen deren capilläres Gebiet hin sich der rückläufige Strom gewandt hat. Der nächste vor dieser contrahierten Stelle sich abzweigende Seitenast ist geschwellt, pulsirt stärker und speist durch sein Capillarsystem hindurch das Capillarsystem der contrahierten Arterie. Die collaterale Bahn tritt ein im Momente, wo die erstgenannte Arterie sich contrahiert; hört die Contraction auf, so füllt sich die kurz vorhin kaum sichtbare Arterie wieder. Die collaterale Fluxion, die starke Pulsation schwindet und mit ihnen der in das Capillargebiet der ischämisch gewesenen Arterie gerichtete Fluxionsstrom: ebenso schnell wie die ganze Circulationsstörung entstand, ebenso schnell schwindet sie. Ein anderes Mal entwickelt sich unter denselben Bedingungen in einem capillären Netz ein auf wenige Maschen beschränkter Blutstrom und geht, die Function einer Anastomose zwischen zwei Arterien übernehmend, continuirlich in eine wirkliche Arterie über. Dergleichen Varianten giebt es viele und beruhen sie auf den Ausgleich von Druckdifferenzen in nachbarlichen Gefässgebieten: capilläre Bahnen stellen, nach Art von Collateralen, eine gleichmässige Vertheilung der Blutmasse wieder her.

Wende ich mich zu den künstlich hervorgebrachten Kreislaufstörungen, so muss bereits das Schliessen der Kammer mit dem Deckglase dahin gerechnet werden. Die bis dahin beschriebenen Erscheinungen hatte ich zum grossen Theil ohne Deckglas beobachten können, indem ich die Lunge fortwährend mit $\frac{3}{4}$ pCt. Kochsalzlösung befeuchtete. Obschon künstliches Aufblähen der Lunge den Kreislauf im Grossen und Ganzen unverändert vor sich gehen liess, so brachte das Schliessen der Kammer doch Störungen hervor. Die stark convexe, an das Deckglas sich anlehnende, aus der Kammer tretende Lungenoberfläche wird durch das Deckglas zu

einer planen verwandelt, nicht unwesentlich gedrückt resp. gespannt; dieser Druck aber trifft ein zumeist prominirendes Gefäss, gewöhnlich eine der 3 grossen Pulmonalarterien. Ist der Druck ein unbedeutender, so geht der Blutstrom unbeschadet vor sich, ist er stärker, mehren sich die Widerstände, so verändert die Pulsation sich in Form und Intensität, lässt man noch mehr Luft in die Lunge einstreichen, so tritt für einen Moment Stillstand in den Arterien ein, dem alsbald eine rückläufige Strömung selbst in einer Art. pulm. posterior folgt. Wie die an den kleinen Arterien spontan zu Stande gekommenen Circulationsstörungen sich, durch den Ausgleich der Druckdifferenzen, durch die Capillaren hindurch compensiren, in ähnlicher Weise wird auch hier, trotz fortdauernden Verschlusses der grossen Arterie, die Störung allmählich auf ganz circumscribte Partien eingeschränkt und annähernd compensirt (vgl. Fig. 4 a u. b).

Untersucht man den Vorgang genauer, so findet man die Circulationsstörung an dem, dem Lungenhilus zunächst liegenden, die Art. pulm. poster. comprimirenden Rande des Deckglases. Bei Anwendung schwacher Vergrösserung, welche grosse Gesichtsfelder gestattet, überblickt man zwei in ihrem Aussehen deutlich unterscheidbare Gefässbezirke: der eine, vor der Compressionsstelle anhebende, ist geschwellt, stark pulsirend und rahmt einen anderen, hinter ihr beginnenden, blutleeren, pulslosen ein (Fig. 4 a). Je länger das Hinderniss andauert, um so vollständiger umgreift der fluxionirte Bezirk den blutleeren von allen Seiten, rückt allmählich gegen ihn vor und schränkt ihn schliesslich auf ein relativ kleines Gebiet ein. Auch dieses schwindet, ein Ausgleich in der Blutvertheilung ist schliesslich zu Stande gekommen und die Trennung der Anfangs hervortretenden, fluxionirten und ischämischen Gefässbezirke ist verschwunden (Fig. 4 b). Das ist im Grossen das Bild, das sich in bald kürzerer, bald längerer Zeit abspielt: es kommt eine annähernd gleichmässige Blutvertheilung durch den Ausgleich von Druckdifferenzen zu Stande.

Interessant ist es, diesen Ausgleich, der nur an den Grenzen beider Bezirke vor sich zu gehen scheint, weiter zu verfolgen. Hier treiben die Ströme des fluxionirten Stammes der Art. pulmon. poster. und die beiden Art. pulm. externa und interna das Blut durch ihre eigenen Capillärstämme hindurch in das unmittelbar angrenzende und communicirende Capillarsystem der blutleeren Strecke

der Art. pulm. poster.; das nahe Ineinandergreifen der Endarterien der drei Hauptstämme begünstigt die Bildung von collateralen Fluxionen durch die zwischen den fluxionirten und blutleeren Arterien gelegenen Capillaren hindurch. Dabei kommt es vor, dass, wie schon beschrieben, der collaterale Strom der seitlich gelegenen Partien die Capillarbezirke vermeidet und nur die auf den kürzesten Wegen zwischen zwei Endarterien gelegenen Capillaren benutzt, indem er dieselben stark ausdehnt und gerade streckt. Ausserdem geht ein Theil des in die zugehörigen Venen abfliessenden Blutes in rückläufige Venenästchen hinein, welche das Blut wieder in die Capillaren des anämischen Bezirks und durch diese hindurch in Aestchen der Art. pulm. post. führen (vergl. Fig. 5.). Der andere Theil des in die Venen abfliessenden Blutes geht zum Herzen zurück. An diesen Grenzstellen lässt sich also nachweisen, wie erstens die Capillaren die Functionen von Anastomosen zwischen zwei Arterien und Arteriensystemen übernehmen, wie sich zweitens durch Ausschaltung der seitlichen Bahnen in den Capillarnetzen grössere Arterienanastomosen vor-täuschende Stämme ausbilden, wie drittens zwei capilläre Bahnen, nach Einschlebung von Venen, als Anastomosen zwischen zwei Arterien functioniren.

Durch die beschriebenen Vorgänge sind die Capillaren und kleinen Gefässe an den Grenzen des fluxionirten und ischämischen Gebietes gefüllt; ein Theil des in ihnen enthaltenen Blutes fliesst in die zugehörigen Venen in centripetaler Richtung ab, ein anderer Theil strömt in den kleinen Arterienästchen rückwärts gegen die grossen zu. Von dort aus füllt derselbe, zunächst in Seitenzweige mit normaler Stromesrichtung eintretend, die Capillaren des mittleren Theiles des ischämischen Bezirks. Successive wird durch diese erst rückläufig, dann vorläufig gerichteten Ströme der ganze, früher ischämische Bezirk gefüllt und beginnt in seiner ganzen Ausdehnung die ihm zugehörigen Venen zu speisen. Erst von diesem Zeitpunkt an wird, durch zunehmende Ausdehnung der um das Hinderniss (Rand des Deckglases) gelegenen Capillarbahnen, allmählich die ursprüngliche Stromesrichtung in dem grösseren Theil des afficirt gewesenen Bezirks wiederhergestellt. Zuerst sind es die am weitesten von dem Hinderniss an der Spitze der Lunge gelegenen Arterienzweige, welche normal gerichtete Strömung darbieten. Indem auf diese Weise stets mehrere Arterien ihre ursprüng-

liche Stromesrichtung wieder erhalten, reducirt sich die ganze Störung auf die die Collateralströmung übernehmenden Capillaren und kleinen Gefässe in der nächsten Nähe des Hindernisses. Es werden dabei die aus dem Hauptrohr abgehenden Arterienzweige stark ausgedehnt und vorzugsweise vom Blutstrom benutzt, so dass in günstigen Fällen fast unmittelbar hinter dem Hinderniss das Blut in die ischämisch gewesene Art. pulm. poster. seine normale Stromesrichtung einschlägt, hier einen Knäuel scheinbar verworrener, nichtsdestoweniger aber unterscheidbarer Gefässe darstellend (vergl. Fig. 4 b). Alle diese Erscheinungen beruhen wiederum auf den Ausgleich von Druckdifferenzen in nachbarlichen Gefässgebieten: die Differenz erstreckt sich ursprünglich auf das ganze Stromgebiet der Art. pulm. poster., am grössten ist sie in den unmittelbar vor und hinter dem Hinderniss gelegenen kleinen Arterienzweigen: diese werden stärker ausgedehnt, ihre Strömungswiderstände werden dadurch geringer, der Blutdruck steigt in ihnen und dieses hat eine zunehmende Erweiterung so lange zur Folge, bis der Druck in den übrigen Theilen des afficirten Gebietes annähernd wieder seine normale Höhe erreicht hat.

Ich habe diese Abnormitäten des Kreislaufs erwähnen wollen, weil sie häufig die Untersuchung selbst mit sich bringt, ich habe sie gleich Eingangs weitläufig beschrieben, weil sie bei allen künstlich hervorgerufenen Circulationsstörungen und zustandekommendem Ausgleich in ähnlicher Weise wiederkehrt. Weil aber das Untersuchungsfeld in dem eben beschriebenen Falle ein sehr ausgedehntes, schwer zu übersehendes ist, so hatte ich ein Verfahren eingeschlagen, das nur kleine Gefässe traf, an denen die Kreislaufstörungen auf relativ beschränkten Gebieten verblieb. Ich versuchte es mit den von Cohnheim künstlich eingebrachten Emboli, mit Ligaturen und Compressionen. Was erstere anbetrifft, so ist es mir nicht gelungen, sie mit Erfolg zu verwerthen: hatte ich auch schliesslich die nicht eben leichte Technik überwunden (ich injicirte von der Vena abd. mediana), so kam es äusserst selten vor, dass die Wachskügelchen in den Gefässen der Lungenoberfläche stecken blieben, die in die Gefässe der Septa einfahrenden Emboli liessen sich mit den daraus resultirenden Störungen nicht weiter verfolgen; die Gefässligaturen sind an einem so dünnhäutigen, mit Luft gefüllten Sack schwer anzubringen: wenn er sich auch, angestochen wie er dabei

wird, auf einige Zeit in mässiger Ausdehnung erhalten lässt, so bringt doch jeder Einstich Hämorrhagien an Stellen zu Wege, die gerade für die Untersuchung die wesentlichsten sind; die Ligatur ist meiner Ansicht nach nur zu verwerthen für die Unterbindung des frei zu Tage liegenden Stammes der Vena pulmonalis. — Ich versuchte es mit äusserst feinen Metallklammern — doch diese legen wiederum die wichtigsten Gefässbezirke in Falten, auch sie passen nur für die Compression des Stammes der Vena pulmon. Schliesslich benutzte ich Schrotkörner feinsten Kalibers (Dunst), die ich mir je nach Bedürfniss zuschnitt. Beschwerte ich mit ihnen die gerade im Gesichtsfelde liegenden Gefässe und dehnte die Lunge zweckentsprechend aus, so drückte das Deckglas zumeist die Bleikugel nieder. Die ganze Procedur dauert nicht lange, die Stelle der Compression lässt sich genau präcisiren, der ganze Prozess der Circulationsstörung und ihrer Compensation je nach der Menge der in die Lungen streichenden Luft genau regeln, von Anfang bis zu Ende verfolgen, es lassen sich auf ziemlich kleinem Raume mehrere Gefässe gleichzeitig comprimiren und ausschalten. Ich glaube diese Art des Vorgehens als einfach, unblutig, wenig zeitraubend empfehlen zu können.

Ich gebe hier in aller Kürze die Resultate der von mir ausgeübten Compressionen, deren detaillirte Darstellung mich zu weit führen würde — beschränke mich hier nur auf Circulationsphänomene, abstrahire ganz von den Erscheinungen der Entzündung, Exsudation, Emigration und Diapedesis, — behalte mir eine weitere Auseinandersetzung dieser Erscheinungen vor. Da der Verengerungen und Compressionen der Arterien, in welcher Weise auch entstanden oder ausgeführt, bereits im Grossen gedacht war, so wende ich mich zu der der Venen.

Die Compression jeder kleinen, oberflächlichen Venenwurzel bringt in dem entsprechenden Capillarbezirke venöse Hyperämie und Stauung hervor; das übervolle venöse Capillarnetz wird bald ausgeschaltet und die Circulation gestaltet sich nun so, dass an der Uebergangsstelle von Arterien- und Venencapillaren die ersteren den Inhalt der Letzteren theilweise in sich aufnehmen und anderen Capillarbezirken zuführen, der arterielle Zufluss aber den zunächst liegenden nicht comprimirten Venen zuströmt.

Die Compression des ganzen Stammes der Vena pulmonalis

wird, je näher die Ligatur der Insertion derselben am Herzatrium gelegt wird, um so vollständiger die ganze Circulation aufheben. Die Unterbindung der Vene an der Stelle, wo sie als starkes Gefäss aus dem Innern der Lunge an die Oberfläche derselben heraustritt, lässt die Circulation, wenn auch verändert, so doch vor sich gehen: zur Compensation genügt, Dank der vielen sich entwickelnden collateralen Capillarbahnen und der plexiformen Anordnung der grossen Venen in den Scheiteln der Septa, dass zwischen der Ligatur und dem Herzatrium ein nur kurzes Stück der Ven. pulmon. übrig bleibt. Die Aufeinanderfolge der Erscheinungen nach einer solchen Ligatur wäre etwa folgende: bei jedesmaligem Anziehen derselben hebt sich sofort der arterielle Puls in der der Vena pulmon. entfernter liegenden Art. pulmon. externa, er bleibt aber in der ihr näheren Art. pulmon. poster. nach wie vor derselbe. Im Moment der Zuschnürung der Ligatur tritt eine Verengerung aller Arterien auf, um dann nachzulassen und einer stärkeren Füllung und Pulsation der Gefässe Platz zu machen. Die Septa werden in der Tiefe als dunkle Scheidewände sichtbar und allmählich treten blutstrotzende Venen mehr und mehr an die Lungenoberfläche. Die kurzen Venenwurzeln und Capillaren werden stark gefüllt, in den erweiterten Venenverzweigungen beginnt die Blutsäule zuerst zu oscilliren, schliesslich rückläufig zu werden, um ihr Blut direct in die Capillaren und Arterienästchen hineinzuwurfen, in denen es alsdann auch rückläufig strömt. Wegen der durch starke Gefässfüllung bedingten Undurchsichtigkeit der Lungen lässt sich der Prozess an den Septis nicht weiter verfolgen — doch lässt sich die Circulation in angegebener Weise 24 bis 48 Stunden beobachten: bei zweitägiger Circulationsstörung dieser Art kommt es nicht zu Hämorrhagien, selten zu Oedemen und dieses Nichtzustandekommen deutet jedenfalls auf eine Compensation; löst man die Ligatur, so tritt der Kreislauf bald in annähernd normaler Weise ein, auch an Arterien, in denen er 48 Stunden rückläufig ging.

Resumire ich das bisher Auseinandergesetzte und beginne ich mit dem normalen Kreislauf, so scheint die grosse Geschwindigkeit, mit der das Blut in den Arterien, Venen und Capillaren kreist, durch die Gefässanordnung sowohl vor, als in der Lunge bedingt zu sein: der Ursprung der Art. pulmon. aus dem Bulbus Aortae treibt das Blut mit derselben Kraft in den kleinen wie grossen

Kreislauf; die Gefässanordnung aber in der Lunge vermindert die Widerstände. Ich beziehe mich hier auf den Abgang engster Röhren aus relativ starken Arterien, auf das weite Capillarnetz, in dem das Blut in einfachen Curven strömt, auf die relativ starken Venen und den plexiformen Bau der grossen Sammel-Venen, die das Blut ins Atrium führen. Diese Gefässanordnung erleichtert den Durchgang grosser Blutmengen durch die Lungen in relativ kurzer Zeit und hat Bezug zur Function des Organs.

Die Form der Capillarbahnen und ihre Verhältnisse zu den grossen Gefässen erklärt vielleicht auch die als einfache Thatsache von mir angeführte rhythmische Blutbewegung, namentlich in der innerhalb der Pleuroperitonealhöhle untersuchten Lunge. Die Erklärung läge in der Form und Weite der gestreckten capillaren Bahnen; die dadurch bedingte rhythmische Bewegung in den Capillaren gelangt aber, selbst wenn sie so gering ist, dass sie an jeder einzelnen nicht hervortritt, durch eigenartige Verhältnisse der Lunge verhältnissmässig deutlich zur Anschauung. Mit jedem Pulse strömt eine gewisse Blutmenge in die Capillaren ein, läuft mit Vermeidung zwischenliegender Seitenzweige geradlinig oder doch in den kürzesten Bogen und gelangt gleichzeitig bis zu bestimmten Stellen der Capillarbahn. Diese drei Momente zusammengenommen geben den Totaleindruck einer rhythmischen Bewegung, weil die Blutbewegung in den verschiedenen Capillaren einer und derselben Arterie, gleichzeitig übersehen, den Eindruck einer die ganze Breite der Capillarbahn einnehmenden Blutwelle macht.

Die bei den Kreislaufsstörungen jedesmal und bald hervortretende Pulsation deutet ebenfalls auf äusserst geringe Widerstände in den Capillaren bei verhältnissmässig grösseren in den Venen. Diese geringen Widerstände ermöglichen durch Collateralbahnen einen raschen Ausgleich von Druckdifferenzen, eine Compensation der Kreislaufsstörungen, wobei die Capillaren die Functionen von Arterienanastomosen übernehmen. Schärfer treten diese Eigenthümlichkeiten der Capillarbahn und des sich in ihnen bewegenden Blutstromes hervor in den Fällen, in denen die collaterale Fluxion ihren Weg sogar durch zwei Capillarbahnen und die sie vertretenden Venenäste hindurch zu nehmen im Stande ist.

Es sind somit in den Lungen eine Einrichtung der Gefässbahn und Eigenthümlichkeiten des Blutstromes gegeben, welche merklich

abweichen von den in anderen Gefässen beobachteten Verhältnissen: sie erlauben sowohl die Circulation relativ grosser Blutmengen als auch eine rasche Compensation von Circulationsstörungen.

Erklärung der Abbildungen.

Tafel I.

- Fig. 1. Mit Doppelmassen injicirte Froschlunge bei etwa 4facher Vergrösserung; der Verlauf grosser Arterienstämme nur an der Oberfläche (roth), der Verlauf grosser Venen (blau) nur in der Tiefe d. h. an den Scheiteln der Septa.
- Fig. 2. Abzweigung feinsten Arterien und Arterienwurzeln direct aus dem Stamme der Art. pulm. poster. a a a a Die in die Tiefe steigenden Septa mit ihren Gefässen. Beide Abbildungen nach der Natur gezeichnet und stereoskopisch.
- Fig. 3. Halbschematisches Bild einer oberflächlichen Alveolarwand: die zu elliptoiden Feldern sich gestaltenden Arterienauflösungen lassen polygonale Felder zwischen sich, sammeln sich in derselben Weise zu Venenwurzeln a a a.
- Fig. 4. a u. b Die auf S. 37 weitläufig beschriebenen Circulationsstörungen und Compensationen, wie sie bei Schluss der Kammern mittelst Deckglases zu Stande kommen.
- Fig. 5. Seitenast der Art. pulm. post. a b c; bei b comprimirt, die Strecke a b fluxionirt, die Strecke b c ischämisch: es functioniren zwei capilläre Bahnen d d d d, nach Einschiebung von Venen † † † †, als Anastomosen zwischen Arterien. (Nach der Natur gezeichnet.)