

Ueber das Blut und die Suspensionsflüssigkeiten.

Von

Alexis Schklarewsky aus Moskau.

Mit Tafel X.

Fangen wir etwas Amphibien- oder Säugethierblut in ein capillares Glasröhrchen auf und bringen dasselbe unter das Mikroskop, so sind die im Innern des Röhrchens sich entwickelnden Erscheinungen mit Deutlichkeit zu beobachten. Indem wir die Lage und die Gestalt des Röhrchens passend verändern und dabei dem Mikroskoptubus bald horizontale, bald verticale Stellung geben, indem wir ferner das Röhrchen mit einer Vorrichtung zur Erzeugung von Strömungen verbinden und das Blut in demselben bald allein, bald mit anderen Flüssigkeiten gemischt strömen lassen, oder endlich unter denselben Bedingungen analog zusammengesetzte Flüssigkeiten oder künstliche Gemische fester und flüssiger Substanzen beobachten, haben wir ein weites Untersuchungsfeld vor uns, dessen Erforschung desto mehr an Interesse gewinnt, da wir uns bald von der merkwürdigen Analogie dieser Erscheinungen mit dem im lebenden Körper Beobachteten überzeugen. Es treten dabei manche Eigenthümlichkeiten des Blutes deutlicher hervor, die sonst unter der Fülle der Bedingungen verborgen bleiben. Dem Studium dieser Eigenthümlichkeiten des Blutes als Suspensionsflüssigkeit ist die nachfolgende Mittheilung gewidmet. Dass die Aufgabe sich mit der Zeit ungemein complicirter erwiesen hat, als man erwarten konnte, ist ein Gemeinloos jeder Untersuchung, welche sich nicht auf rein beschreibende Darstellung beschränken will. Durch die scheinbar einfachen Erscheinungen werden wir zu den schwierigsten, zur Zeit kaum lösbaren Problemen der Hydrodynamik geführt. Nicht eine Lösung derselben wird der Leser dieser Arbeit erwarten müssen, sondern einen experimentellen Beitrag dazu und

zugleich eine Andeutung mehr naturgemässer Betrachtungsweise für die Erscheinungen, welche zu den verschiedensten Meinungsäusserungen Veranlassung gegeben haben und deren Bedeutung für den Lebensprocess nicht abgesprochen werden kann.

Aus einer grösseren Reihe der mit Hülfe der erwähnten Methode gemachten Untersuchungen will ich jetzt in drei Capiteln die Bewegung der Blutkörperchen, in ruhender Flüssigkeit (Senkungsercheinungen) und die Bewegung der Blutkörperchen sowie der andern Suspensionskörperchen in einer im Capillarrohre von Glas strömenden Flüssigkeit beschreiben, so wie die physikalischen Bedingungen der beobachteten Erscheinungen besprechen. Es waren ein Paar hoffentlich nicht störende Hinweisungen auch auf das vierte Kapitel unvermeidlich, welches erst später erscheinen kann und die Anwendung der gewonnenen Erfahrungen zur Erklärung einiger Erscheinungen des physiologischen und des pathologischen Kreislaufs enthalten wird.

Die Untersuchungen selbst waren theils im Laboratorium von Prof. Recklinghausen, theils im Laboratorium von Prof. Helmholtz ausgeführt. Den beiden genannten Herren Professoren für die freundliche Leitung im Labyrinth der verwickelten Erscheinungen sage ich hiermit meinen innigsten Dank.

I. Capitel.

Flüssiges und lebendes Blut nach Recklinghausen.

Die Entdeckungen v. Recklinghausen's haben nicht nur für die morphologische, sondern auch für die physikalische Untersuchung des Blutes eine neue Bahn eröffnet, indem sie uns möglich gemacht haben, mit einem wirklich lebenden und dennoch flüssigen Blute ausserhalb des Organismus zu experimentiren. Bei den Untersuchungen über die feineren mechanischen Verhältnisse des Blutes war es offenbar vom grössten Belang das Blut anzuwenden, welches sämtliche Bestandtheile, welche es im lebenden Körper besitzt, beibehalten hat. Nachdem v. Recklinghausen gezeigt hat, unter welchen Bedingungen die spontane Auflösung des geronnenen Froschblutes eintritt, ist es leicht, ein solches Blut zu erhalten. Das einfachste ist, das Blut vom lebenden Frosch in ein Capillarrohr aufzufangen und dasselbe einige Stunden in senkrechter Stellung

aufzubewahren. Das Blut gerinnt dabei unter eigenthümlichen Erscheinungen¹⁾, bald darauf aber löst es sich wieder auf und scheidet sich in eine Cruorschicht und eine körperchenlose Flüssigkeit. Um die normalen Senkungserscheinungen der Blutkörperchen zu beobachten, wäre es am einfachsten ein solches im Capillarrohre verflüssigtes Blut anzuwenden. Kehrt man nach der geschehenen Sedimentirung das Röhrchen um, so haben die fallenden Blutkörperchen einen langen, mit klarer Blutflüssigkeit gefüllten Raum zu durchlaufen, wobei ihre Bewegungen bequem zu beobachten sind. Diese Art der Untersuchung hat aber einen Nachtheil, den wir später werden besser schätzen können: die Blutkörperchen sind dabei nicht regelmässig miteinander vermischt. Ausserdem ist ein solches Blut nur im Laufe einiger wenigen Stunden für die Untersuchung anwendbar. Später treten in demselben theils progressive, meistens aber regressive Veränderungen ein, welche den Versuch wenigstens unrein machen. Besser wendet man darum ein nach der Methode von v. Recklinghausen²⁾ dargestelltes flüssiges Froschblut an. Von dem Säugethierblute muss man volens nolens das geschlagene Blut anwenden, nicht aber, selbstverständlich, nach einer anderen Methode flüssig erhaltenes Blut. Die Recklinghausen'sche Methode besteht darin, dass man das Blut von einem lebenden Thier möglichst sauber in ein geglühtes und bedeckt abgekühltes Porzellanschälchen auffängt, dann das Schälchen in einem feuchten, vor dem Eindringen äusserer Schädlichkeiten geschützten Raume (hermetisch verschlossenen weiteren Glasgefässe) aufbewahrt, dessen Luft täglich aus dem Freien erneuert werden muss. Das Blut erstarrt im Schälchen, wie gewöhnlich, nach Verlauf von wenigen Minuten; ist aber die Quantität desselben nicht zu gross (etliche 10 Tropfen), so genügen die obigen günstigen Respirationsverhältnisse, um die Gleichgewichterschütterung der Blutflüssigkeitsmoleküle, die durch das Entfernen aus dem Organismus hervorgebracht war, nahezu vollkommen auszugleichen.

Bald nach der Gerinnung beginnt die fibrinogene Substanz eines solchen Blutes sich allmählich aufzulösen. Nach Verlauf von 4, 5 bis 8 Stunden wird das Blut im Schälchen abermals vollkommen flüssig. Ein

1) S. darüber meinen in demselben Archiv zu veröffentlichenden Aufsatz: „Zur Extravasation der weissen Blutkörperchen.“

2) M. Schultze's Archiv. Bd. II, S. 137.

solches Blut hat für die weiter zu beschreibenden Experimente vor dem geschlagenen zwei grosse Vortheile. Erstens ist in demselben ein wichtiger integrierender Bestandtheil des Blutes, die fibrinogene Substanz, in flüssiger Form vorhanden, daher die Cohäsion der Blutflüssigkeit unverändert geblieben, zweitens haben die morphotischen Elemente desselben, wie die mikroskopische Untersuchung lehrt und wie die Züchtungserscheinungen zeigen, in ihrer Form und Lebensfähigkeit keine Einbusse erlitten. Das sind die beiden Vortheile, die das durch Schlagen misshandelte Blut in einem sehr beschränkten Grade besitzt. In einem Capillarröhrchen unter das Mikroskop gebracht gewährt das Froschblut schon durch die Grösse seiner festen Bestandtheile einen Vortheil unter schwächeren Vergrösserungen, also mit einem grösseren Gesichtsfeld deutlich beobachtet werden zu können, was besonders für gewisse Strömungserscheinungen von Bedeutung ist. Die eigenthümliche Form der dreiaxigen rothen Amphibien-Blutkörperchen gewährt auch eine grössere Uebersichtlichkeit der Vorgänge. Die scheibenförmigen Säugethierblutkörperchen verhalten sich übrigens beim Fallen und Strömen im Ganzen analog den Amphibienblutkörperchen. Einen nicht zu unterschätzenden Vortheil bietet dagegen das kleinere absolute Gewicht und die verhältnissmässig grössere Oberfläche der scheibenförmigen Blutkörperchen dar, in Folge derer schon die verhältnissmässig schwachen Ströme dieselben mitreissen können. Es kommen dabei manche Bewegungen derselben zum Vorschein, die nicht so leicht in dem Amphibienblute zu beobachten sind. Die beiden Blutarten können daher für die zu beschreibenden Untersuchungen als eine willkommene Ergänzung zu einander betrachtet werden und es bewährte sich sehr für jede näher zu studirende Erscheinung die parallele Beobachtung an den beiden Blutarten anzustellen.

Sedimentirung des Blutes im senkrechten Capillarrohre.

Bevor wir zur Beschreibung der Senkungserscheinungen, wie sie in einem mit Blut gefüllten, senkrecht gestellten Capillarrohr vorkommen, übergehen, fragen wir uns: Was haben wir dabei zu erwarten? Das Blut von dem mechanischen Standpunkte haben wir als ein Gemisch von mikroskopischen festen Körperchen, welche in einer nach dem specifischen Gewichte von denselben wenig verschiedenen Flüssigkeit suspendirt sind. Es ist längst von den rothen

Blutkörperchen bekannt, dass sie specifisch schwerer sind, als die Blutflüssigkeit. Es lässt sich leicht voraussehen, dass in einem senkrechten, mit flüssigem Blut gefüllten Rohr, nach beendeter Abklärung desselben, am Boden ein Satz der gefällten rothen Blutkörperchen, eine Cruorschicht, und eine Flüssigkeitsschicht oben sich ausbilden wird.

Weniger bekannt sind die Verhältnisse der Eigenschwere der weissen Blutkörperchen zu den rothen und zu der umgebenden Flüssigkeit. Die Vertheilung derselben nach der vollendeten Senkung ist daher nicht leicht vorauszusagen. Da aber die Senkung dieser Körperchen eine Funktion der Eigenschwere derselben und der umgebenden Flüssigkeit ist¹⁾, so können dabei nur diese 3 Möglichkeiten zur Geltung kommen.

Erstens kann die Eigenschwere der farblosen Blutzellen kleiner als die der Blutflüssigkeit sein. In diesem Falle müssen diese Körperchen, während die rothen Körperchen fallen, nach oben steigen, und nach der Abklärung des Blutes, wie etwa die Kügelchen der Milch, oben eine Schicht bilden, welche durch eine Zwischenschicht der körperchenlosen Flüssigkeit von dem Bodensatz getrennt sein würde.

Es können zweitens die beiden Factoren der Senkung (die Eigenschwere der Blutflüssigkeit und die der weissen Blutkörperchen) einander gleich sein. Dann würden die farblosen Blutkörperchen nach der Abklärung überall in einem indifferenten Gleichgewicht schweben, höchstens wegen den beschleunigenden Stössen der sich senkenden rothen Blutkörperchen relativ mehr im Bodensatz und den untersten Flüssigkeitsschichten angehäuft sein.

Ist drittens das specifische Gewicht der weissen, eben so wie der rothen Blutkörperchen grösser, als die Eigenschwere des Menstruums, so müssen die beiden Blutkörperchenarten einen gemeinschaftlichen Bodensatz bilden, mit der Flüssigkeitsschicht oben. Von der relativen Differenz der Eigenschwere beider Körperchenarten, also auch von der relativen Senkungsgeschwindigkeit derselben, könnte es weiter abhängen, ob die obern oder die untern Cruorschichten relativ reicher an den farblosen Blutzellen sein müssen. Wichtig ist

1) Was unter der Eigenschwere der suspendirten Körperchen zu verstehen ist, wird im dritten Kapitel näher erörtert. Einfachheitshalber bleiben wir hier bei der gewöhnlichen Betrachtungsweise.

es aber, dass unter der Voraussetzung dass die endliche Vertheilung der Blutelemente eine einfache Function der Geschwindigkeit derselben beim Fallen ist, die farblosen Blutzellen nothwendig in allen Schichten des Bodensatzes angetroffen werden müssen.

Dass weder die erste noch die zweite von diesen drei Möglichkeiten sich in der Wirklichkeit realisirt, konnte man voraussehen, weil man schon aus manchen anderweitigen Erscheinungen den Schluss ziehen konnte, dass die Eigenschwere sämtlicher Blutzellen weder kleiner, noch gleich der des Blutplasmas ist. Desto auffallender aber erscheint, dass auch das letztmögliche Anordnungsschema in der Wirklichkeit nicht vorkommt, und noch mehr, nicht vorkommt trotzdem dass die obenangeführten Bedingungen desselben unverkennbar vorhanden sind. Bei der Beobachtung des Senkungsprozesses im Röhrchen sehen wir sämtliche Blutzellen in den ersten Momenten fallen. Die farblosen erweisen sich also unzweifelhaft, wie die rothen, specifisch schwerer im Vergleich mit der Blutflüssigkeit. Untersuchen wir aber den Bodensatz nach vollendeter Senkung der Körperchen so finden wir denselben in den untersten Schichten einzig und allein von den rothen, in den oberen von den farblosen allein gebildet. Zwischen diesen befindet sich eine bald grössere bald sehr schmale Zone wo die beiden Blutzellenarten vertreten sind. Die Blutflüssigkeit oben enthält keine feste Gebilde.

Die Thatsache ist nach dem Obenangeführten so wenig erwartet, dass es vor Allem zu zeigen ist, wie wir zu derselben gelangt sind, um jeden Verdacht von einem Beobachtungsfehler auszuschliessen.

Die Zahl der farblosen Körperchen ist, wie bekannt, sehr klein im Vergleich mit der Zahl der rothen Blutkörperchen, und setzt man noch voraus, dass die Geschwindigkeit derselben beim Senken bedeutend kleiner ist relativ zu der der rothen, so erscheint es sehr plausibel, dass wir in den untersten Cruorschichten nicht mit einem absoluten, sondern nur mit einem relativen Mangel an weissen Blutkörperchen zu thun haben. Schon bei der Untersuchung des gewöhnlichen Blutes kostet es zuweilen Nachsuchen, um zwischen einer Menge rother ein farbloses Blutkörperchen zu finden. Eine kleine Ueberlegung lehrt, dass bei der obenerwähnten Voraussetzung der grösseren Differenz in der Senkungsgeschwindigkeit der beiden Blutkörperchenarten die Zahl der rothen Blutkörperchen in den untersten Schichten die der weissen ungeheuer überwiegen muss. Zwischen den Millionen von ro-

then Körperchen ein Paar farblose zu finden, wenn sie auch da wären, wäre gewiss eine nicht zu unterschätzende Schwierigkeit. Es darf auch nicht vergessen werden, dass um ein sicheres Resultat über das absolute Nichtvorhandensein der farblosen Blutkörperchen zu erreichen, der sämtliche Inhalt der untersten Schichten durchgemustert werden muss. Scheuen wir auch diese Mühe nicht, so ist die Frage, wie man diesen Inhalt in seiner Gesamtheit zur Untersuchung erhalten soll, keine leicht zu beantwortende. Bläst man einfach einen Theil des Röhrchengehaltes aus dem unteren Ende aus, so bekommt man nicht die untersten, sondern die innersten Schichten zur Untersuchung. Im Röhrchen selbst die unteren Schichten zu untersuchen bietet zu wenig Sicherheit dar, weil in der dicht gedrängten Menge der rothen Elemente eine ziemliche Zahl der farblosen verborgen sein können. Brechen wir das untere Ende des Röhrchens ab, um seinen Inhalt a parte zu untersuchen, so gewinnt man ebenfalls wenig, weil ein Bruchstück des Capillarröhrchens vollkommen auszuleeren eine kaum überwindliche Schwierigkeit darbietet. So werden wir nur auf die theilweise Untersuchung angewiesen, um aus dieser auf den ganzen Inhalt einen kaum sehr überzeugenden Wahrscheinlichkeitsbeschluss zu ziehen.

Nicht destoweniger ist es möglich zur vollkommenen Gewissheit zu gelangen, dass die Vertheilung der morphologischen Elemente des Blutes wirklich sich so verhält, wie es oben angegeben war. Man braucht nur das Blut mit dem potenzierten Gehalt an fraglichen Elementen, z. B. ein sogenanntes Regenerationsblut, oder ein anderes stark leukocythotisches Blut der Untersuchung zu unterziehen. Man lässt dazu den Frosch aus dem angeschnittenen Herzen stark ausbluten. Hat man bei Blosslegung des Herzens eine Vorsicht gehabt das Peritoneum-Blatt nicht zu verletzen, um den Vorfall der Baueingeweide zu vermeiden, so erholen sich die Thiere ungemein rasch, besonders wenn man aus der angeschnittenen Thoraxwand eine Art schützender Klappe über das Herz zu bilden nicht versäumt. Die Thiere überleben mehrere Tage die Operation, die Herzwunde heilt per primam und das Gefässsystem füllt sich schnell mit restaurirtem Blute an. Untersuchen wir dieses mikroskopisch 3—4 Tage nach der Operation, so bietet es, ausser den anderen Eigenschaften des sich regenerirenden Blutes, eine enorme Vermehrung der weissen Blutkörperchen, deren Zahl sogar die der rothen Blutkörperchen übersteigen kann. Es ist leicht einzusehen, in wie fern

ein solches Blut geeignet ist, um zu den Controlversuchen für die obige Behauptung angewandt zu werden. Nehmen wir z. B. an, das Capillarröhrchen sei mit einem Blute gefüllt, welches eine gleiche Menge der weissen und der rothen Blutkörperchen enthält. Die Geschwindigkeit des normalen Senkens der rothen Blutkörperchen, mit einem Mikrometer gemessen, ist in der Durchschnittszahl nahezu 4mal so gross, wie die der farblosen. Denken wir das Röhrchen der Höhe nach in 4 Abschnitte getheilt, so lehrt eine kurze Ueberlegung, dass bei der senkrechten Stellung des Röhrchens die sämtlichen rothen Elemente in demselben zum Boden gelangen werden, wenn nur die farblosen Elemente des unteren Abschnittes dasselbe thun würden. Ist die Gesamtzahl der Blutkörperchen n , die Gesamtzahl einzelner Blutkörperchenarten also $\frac{1}{2} n$, so wird der Bodensatz im Augenblick, wo die sämtlichen rothen Blutkörperchen gefallen sind aus $\frac{1}{2} n$ rothen und $\frac{1}{8} n$ weissen Blutkörperchen gebildet werden. Die nachträglich fallenden weissen Körperchen der drei oberen Abschnitte mögen dann über den rothen eine farblose Schicht für sich bilden. Die Sache ist nur, dass in dem rothen Theile des Bodensatzes die weissen Blutkörperchen wenigstens $\frac{1}{5}$ der Gesamtzahl der sich da befindlichen Blutkörperchen ausmachen müssen. Wir können daher erwarten, dass wir unter diesen Umständen die fraglichen farblosen Elemente in dem Bodensatze massenhaft antreffen werden. Ein Fünftel Elemente auch bei der oberflächlichen und theilweisen Untersuchung ist unmöglich zu übersehen, geschweige von der absichtlich darauf gelenkten Aufmerksamkeit. Führen wir aber den Versuch mit dem Regenerationsblute wirklich aus, so finden wir, dass die Trennung der Blutkörperchenarten in solchem Blute nur noch schärfer ist, wie im gewöhnlichen. Die intermediäre Zwischenschicht in gelungenen Fällen ist sehr wenig ausgebildet und über dem bloss aus den rothen Blutkörperchen gebildeten Satze schichtet sich der Satz der bloss weissen fast ohne Uebergang auf.

Ferner finden wir hier, da ein solches Blut ein relativ blutkörperchenarmes ist, eine Gelegenheit, uns einen unmittelbaren Beweis über den vollständigen Mangel der weissen Blutkörperchen in den unteren Schichten zu gewinnen. Zu diesem Zweck kehren wir, nachdem der Bodensatz gebildet ist, das blutenthaltende Röhrchen um. Die Blutkörperchen in demselben werden dann in entgegengesetzter Richtung fallen müssen, und es geschieht dabei Folgendes. Die untere

ren (früher oberen) weissen Blutkörperchen beginnen sogleich sich von den übrigen zu trennen und theils einzeln, theils in Haufen zusammengeballt, die nur später sich in einzelne Körperchen auflösen, herunterzufallen. Je weiter aber, desto schwieriger wird das Ablösen der Körperchen. In den unteren (jetzt obersten) Schichten des Bodensatzes wo die Körperchen durch das Gewicht der obenliegenden dicht aneinander gefügt waren, lösen sich die Körperchen nur sehr allmählich und vereinzelt ab. Wir können bequem diese Körperchen hintereinander bis zum letzten verfolgen, und dabei uns überzeugen, dass auch in solchem Blute, wo die Gesamtzahl der Körperchen über die Hälfte aus den weissen besteht, sich die Blutkörperchen im Bodensatz derart schichten, dass die unteren Theile desselben nur die rothen Blutkörperchen enthalten. Es muss also offenbar hier eine, von uns nicht in Rechnung gebrachte Bedingung im Spiel sein, und um diese zu ermitteln, wenden wir uns zu der unmittelbaren Beobachtung, wie die angegebene Anordnung der Blutkörperchen sich im Röhrchen vollzieht.

Strom der fallenden Blutkörperchen.

In dem oben erwähnten Porzellanschälchen scheidet sich das Froschblut nach dem Auflösen auch in eine Cruorschicht und obenstehende klare Blutflüssigkeit. Taucht man zuerst das Röhrchen in den Bodensatz, so tritt durch die Capillarität etwas mit den Blutkörperchen dicht geschwängerte Flüssigkeit hinein. Hebt man dann das Röhrchen so weit in die Höhe, dass die Mündung desselben in den oberen Schichten des klaren Blutplasmas sich befindet, so wird durch die weitere Capillaritätswirkung, der auch durch Ansaugung nachgeholfen werden kann, in das Röhrchen auch eine farblose Blutflüssigkeitssäule eintreten, die die Blutkörperchen weiter nach oben verschiebt. Klebt man jetzt schnell mit Wachs das untere Ende des Röhrchens zu und stellt man dasselbe senkrecht hinter den horizontalen Mikroskoptubus, so kann man die Blutkörperchen beobachten, wie sie durch die klare, blutkörperchenfreie Flüssigkeit fallen. Eine Vereinfachung des Vorganges, die für das Verständniss des Weiteren sich als sehr nützlich erweist.

Stellen wir in das Mikroskopfeld gerade die Gränzschicht der blutkörperchenhaltigen und blutkörperchenfreien Flüssigkeit ein, so bemerken wir im ersten Augenblick eine senkrecht nach unten gerichtete und in den verschiedensten Stellungen vor sich gehende

Bewegung der sämtlichen beobachteten Blutkörperchen. Bald verändert sich die Bewegungsrichtung der peripherischen Elemente, sie erfahren eine Ablenkung nach der Axe des Röhrchens zu. Die unregelmässig zerstreuten Körperchen sammeln sich trichterförmig um die Axe des Röhrchens herum, und aus denselben wird ein dichter herablaufender Strom gebildet. Die Eigenschaften dieses Stromes verdienen unsere volle Aufmerksamkeit.

Vor Allem ist es auffallend, dass die Geschwindigkeit desselben die der einzelnen Blutkörperchen bei Weitem übertrifft. Während die mikrometrisch gemessene Geschwindigkeit der einzelnen Blutkörperchen des Froschblutes die Durchschnittszahl 0,0074 Mm. für die rothen und 0,0019 Mm. für die weissen in der Sekunde giebt, läuft der aus denselben Blutkörperchen gebildete Strom schon gleich nach seinem Entstehen mit der Geschwindigkeit von 0,082 Mm. in der Sekunde. Die Geschwindigkeit des Stromes ist aber ebenso der Quere nach, wie der Länge nach verschieden. Während die äusseren Stromelemente mit der Geschwindigkeit sich fortbewegen, die nur wenig von der der vereinzelt fallenden Körperchen verschieden ist, während die äussersten derselben sogar im vollkommenen Gleichgewicht still stehen, laufen die mittleren Elemente mit der Geschwindigkeit die selbst die oben angeführte übertrifft. Die obenangeführte Zahl hat also auf die Durchschnittsgeschwindigkeit des Stromes Bezug.

Die Geschwindigkeit des Stromes erreicht bald ein gewisses Maximum. Diese maximale Geschwindigkeit behält er aber nicht lange, im weiteren Fortschreiten nimmt sie fortwährend und regelmässig ab. Da wir es hier mit dem Fallen in einem widerstehenden Medium zu thun haben, so habe ich mich zu constatiren bemüht, ob diese Abnahme vielleicht doch ihre Grenze hat und ob die Strombewegung am Ende in eine gleichförmige übergeht. Aber auch in den längsten von mir erzeugten Strömen konnte ich überall eine immer kleiner werdende negative Differenz der Geschwindigkeit eines vorschreitenden Stromes constatiren.

Es muss hier angeführt werden, dass es keine leichte Aufgabe ist, einen sehr langen Strom dieser Art zu erzeugen. Der zu erreichende Zweck ist dabei, eine möglichst hohe Säule der klaren Blutflüssigkeit unter dem Blute zu bekommen. Mit Hülfe der oben angegebenen Methode erlangt man eine höchstens 2" hohe Flüssigkeitssäule von untadelhafter Reinheit, was hoch genug ist, um alle Einzelheiten des Stromes übersehen zu können, nicht aber um die oben gestellte

Frage zu lösen. Will man das Blut durch das Ansaugen weiter in die Höhe treiben, so mischt sich dasselbe mit dem Blutplasma nach den weiter unten zu erörternden Gesetzen. Kleinere Beimischungen der Blutkörperchen zu der unteren Flüssigkeit schaden nicht wesentlich, grössere Quantitäten dagegen erschweren nicht nur die Beobachtung, sondern wirken auch auf den sonst ungemein regelmässigen Gang der Erscheinungen störend. Durch Zufall habe ich eine Methode kennen gelernt, die mir in dieser Beziehung recht gute Dienste geleistet hat. Nachdem ich eine Quantität Blut aus dem Bodensatze des Porzellanschälchens ins Capillarrohr eingeführt habe, ziehe ich dieses rasch in die Luft heraus und dann tauche wiederum in die oberen Flüssigkeitsschichten. Es geräth meistens dabei eine kleine Luftblase unter das aufgefangene Blut, welche die weitere Capillaritätswirkung nicht beeinträchtigt, aber eine Scheidewand zwischen dem Blute und der nachfolgenden Flüssigkeit bildet. Man kann dann auch über die Grenze der Capillaritätswirkung ansaugen, ohne Gefahr zu laufen, die Mischung der beiden Flüssigkeiten herbeizuführen. Hat man im Voraus ein Röhrchen gewählt, welches an seinem unteren Ende etwas spitz ausläuft, so steigt die Luftblase nach dem beendigten Ansaugen, da oben der Röhrchendurchmesser grösser ist, meistens unbehindert, in die Höhe, um der Senkungserscheinung Platz zu machen. Aber auch dieser Vortheil hat seine Grenze. Ist die Luftblase klein, so dringen doch eine Anzahl Blutkörperchen zwischen derselben und der Wand in die Blutflüssigkeit. Ist sie gross genug, um einen vollständigen Abschluss zu bewirken, so bleibt sie zuweilen nach der vollendeten Hebung an einer Stelle anhaften, und nicht immer gelingt es, durch schwache Erwärmung dieselbe in die Höhe fortzuschaffen. Jedenfalls habe ich in günstigen Fällen mit Hülfe dieser Methode unter dem Blute Flüssigkeitssäule bekommen, die mehr als doppelt so hoch, wie die gelungensten gewöhnlichen waren, und dabei von untadelhafter Reinheit. Wie die Stromgeschwindigkeit sich in diesen Fällen verhält mögen folgende Beispiele erläutern.

1.

Froschblut. Der Durchmesser des Röhrchens $D = 0,72$ Mm. Die Geschwindigkeit der vereinzelt fallenden Körperchen giebt die gewöhnlichen Zahlen. Die Höhe der klaren Blutflüssigkeitssäule beträgt nahezu $2\frac{1}{2}''$. Während der Blutkörperchenstrom fortschreitet, war seine Geschwindigkeit an 4 verschiedenen Stellen gemessen. Mit

Hülfe der genau halben Sekunden anschlagenden Taschenuhr bestimmte ich die Zeit, welche der Strom nöthig hat, um das Gesichtsfeld meines Mikroskops durchzulaufen. Sie betrug:

	Für d. Spitze d. Stromes.	Für d. Strom in d. Nähe v. d. Spitze.
Gleich unter d. Grenze d. beiden Flüssigkeiten	8 Sec.	7 Sec.
Nahezu $\frac{1}{2}$ " weiter nach unten	7 "	$6\frac{1}{2}$ "
" " " " " "	$8\frac{1}{2}$ "	7 "
Nahezu am Boden	12 "	10 "

2.

D = 0,36 Mm. Froschblut. Die Höhe der Plasmasäule wie im vorigen Falle und die Fallgeschwindigkeit der vereinzelt Blutkörperchen wie gewöhnlich. Der Strom derselben durchläuft das Gesichtsfeld:

	Für d. Spitze d. Stromes.	Für d. Strom in d. Nähe v. d. Spitze.
Gleich nach dem Entstehen . . .	$14\frac{1}{2}$ Sec.	14 Sec.
$\frac{1}{2}$ Zoll nach unten fortgeschritten . .	12 "	11 "
" " " " " " . . .	13 "	10 "
" " " " " " . . .	15 "	13 "
" " " " " " . . .	$18\frac{1}{2}$ "	$16\frac{1}{2}$ "
Fast am Boden	$21\frac{1}{2}$ "	18 "

3.

Froschblut. D = 0,216. Die Blutplasmasäule, mit Hülfe der Luftblase erzeugt, mehr als doppelt so hoch, wie früher und ganz rein. Die vereinzelt Blutkörperchen fallen wie gewöhnlich. Die Geschwindigkeit des Stromes giebt die Zahlen:

	Für d. Spitze d. Stromes.	Für d. Strom in d. Nähe v. d. Spitze.
Gleich nach dem Entstehen . . .	33 Sec.	25 Sec.
$\frac{1}{2}$ Zoll weiter fortgeschritten . . .	30 "	27 "
" " " " " " . . .	33 "	28 "
" " " " " " . . .	36 "	33 "
" " " " " " . . .	$38\frac{1}{2}$ "	$34\frac{1}{2}$ "
" " " " " " . . .	43 "	$36\frac{1}{2}$ "
" " " " " " . . .	47 "	$39\frac{1}{2}$ "
" " " " " " . . .	51 "	42 "
" " " " " " . . .	64 "	$45\frac{1}{2}$ "

4.

Kaninchenblut. D = 0,44. Vereinzelt fallen die rothen Blut-

körperchen des Kaninchens mit der Geschwindigkeit von 0,00495 Mm. in der Sekunde, die weissen mit der Geschwindigkeit von 0,00132 Mm. Der Blutkörperchenstrom verläuft das Gesichtsfeld:

	Für d. Spitze d. Stromes.	Für d. Strom in d. Nähe v. d. Spitze.
In der Nähe der Entstehungsstelle	29 Sec.	27 Sec.
$\frac{1}{2}$ Zoll nach unten	32 »	$27\frac{1}{2}$ »
» » »	$34\frac{1}{2}$ »	28 »
» » »	37 »	32 »
» » »	41 »	$34\frac{1}{2}$ »
» » »	$50\frac{1}{2}$ »	$42\frac{1}{2}$ »

Die Grösse des Gesichtsfeldes meines Mikroskops bei diesen Versuchen (Syst. 4 Ocul. 2 Hartnack) betrug nahezu 1,12 Mm.¹⁾

Aus diesen Beispielen ergibt sich, dass im Froschblut die Geschwindigkeit des Blutkörperchenstromes in den Röhren von mittlerer Grösse, an der Stelle der schnellsten Bewegung desselben, mehr als 10mal die Geschwindigkeit der vereinzelt fallenden rothen Blutkörperchen übertrifft; in dem weiteren Capillarrohre sogar mehr als 20mal. Im Kaninchenblute und im Rohre mittleren Durchmessers übertrifft sie die Geschwindigkeit der einzelnen rothen Blutkörperchen um 8mal.

Man sieht auch, dass mit dem Fortschreiten des Stromes seine Geschwindigkeit beständig und regelmässig abnimmt. Man sieht aber zugleich, dass auch bei den längsten Blutflüssigkeitssäulen nicht diejenige Geschwindigkeit des Stromes beobachtet wird, welche der der einzelnen Blutkörperchen gleich wäre. Die trügste von mir gemessene Geschwindigkeit der Stromesspitze war 0,0179 Mm. in der Sekunde, also um $2\frac{1}{2}$ mal grösser als die Senkungsgeschwindigkeit der rothen Blutkörperchen derselben Thierspecies. Es bleibt also in suspensio, ob der Blutkörperchenstrom, wenn er zu der Geschwindigkeit der einzelnen Blutkörperchen angelangt ist, sich weiter verzögere, oder sich mit der gleichförmigen Geschwindigkeit fortbewege; mir scheint das letztere

1) Man kann nach derselben Methode in das Capillarröhrchen unter das Blut, anstatt Blutflüssigkeit, crystalloide oder colloide Lösungen von verschiedener Concentration einbringen. Leicht kann man die Blutkörperchen durch dieselben vereinzelt oder im Strom fallen lassen und dabei ihre Geschwindigkeit messen. Eine grosse Zahl solcher Bestimmungen, welche im Ganzen ziemlich complicirte Resultate geliefert haben, werde ich in einer besonderen Arbeit mittheilen.

unwahrscheinlich zu sein, da die Geschwindigkeit des Stromes entschieden mehr durch die äusseren, als durch die inneren Bedingungen des Stromes selbst beeinflusst wird. Als Beweis braucht man nur den grossartigen Einfluss des Röhrendurchmessers in Anschlag zu nehmen.

Ausser diesem langsamen Abfall der Geschwindigkeit bei dem Fortschreiten des Stromes bemerkt man noch einen plötzlichen und beträchtlichen Abfall derselben an der Spitze d. h. an dem vordersten Ende des fortschreitenden Stromes. Von seinem Anfang bis zum Boden ist dieselbe Beziehung zu constatiren: die Spitze des Stromes bewegt sich um 10—15% langsamer, als die in der nächsten Nähe von derselben sich befindlichen Elemente des Stromes.

Um die Bedeutung der angegebenen Zahlen klar zu machen, müssen wir zugleich anführen, dass der Strom, wenn er einmal ausgebildet ist, in seiner ganzen Ausdehnung dieselbe Breite hat und in jedem Querschnitt annähernd dieselbe Zahl der Blutkörperchen enthält. Er ist also der Form nach stationär. Ist es aber nicht auffallend, dass ein Strom stationär bleiben kann, während er ebenso der Quere, wie der Länge nach so verschiedene Schnelligkeit besitzt? Wie kann die Anhäufung der Blutkörperchen an den Stellen der kleineren Geschwindigkeit, die Verminderung derselben an den Stellen der grösseren Geschwindigkeit vermieden werden? Müsste man nicht eine massenhafte Anhäufung der Blutkörperchen in den unteren, trägeren Partien des Stromes erwarten? Müsste nicht mit der Zeit die Verarmung an Blutkörperchen der schnell vorbeilaufenden mittleren Schichten eintreten? Müssten endlich die schnelleren inneren Schichten nicht viel weiter als ihre langsamen peripherischen Gefährten in die ruhende Flüssigkeit eindringen und so eine Verjüngung des Stromes an dem vorderen Ende desselben hervorrufen? Wenn das alles nicht geschieht, so müssen Compensationsvorrichtungen im Strome selbst existiren, damit die stationäre Form desselben beibehalten bleibe.

Process an der Spitze des Stromes — Aehrenförmige Anordnung — Peripherischer Strom.

Die erste Compensation finden wir an der Spitze des Stromes. Die Mechanik derselben besteht darin, dass die mittleren Blutkörperchen, welche mit ihrer längsten Axe ziemlich parallel der Richtung des Stromes fortschreiten, am Ende desselben sich ziemlich

schröff nach Aussen wenden. Das untere Segment des Körperchens beschreibt dabei einen Bogen von 90° dessen Axe am oberen Ende des Körperchens liegt. Das Körperchen selbst ist eine kurze Zeit senkrecht zu seiner früheren Stellung zu sehen. Im folgenden Moment beschreibt das innere (früher obere) Ende des Körperchens ebenfalls einen Bogen von 90° um das äussere Ende als um eine Axe, und das Körperchen erscheint jetzt abermals parallel der Axe liegend, nur an der Peripherie des Stromes anstatt in der Mitte desselben, etwas weiter nach unten und um 180° gedreht¹⁾. Denken wir diesen Process auf jedem Punkte und auf allen Seiten mit Regelmässigkeit vor sich gehen, so ist es begreiflich, warum trotz der plötzlichen Aenderung in der Geschwindigkeit weder die Spitze des Stromes anschwillt, noch die mittleren Körperchen über die Andern voraneilen. Aber bei dem beständigen raschen Ausfluss der mittleren Blutkörperchen und bei der Anwendung derselben zur Bildung der peripherischen Schichten muss endlich nothwendigerweise eine Rarefaction der mittleren Stromesschichten eintreten. Dieses wird durch eine zweite Compensationsvorrichtung vermieden, die dazu führt, den mittleren Stromesschichten das nöthige Material an Blutkörperchen zuzuführen. Bevor wir aber zu der Beschreibung derselben übergehen, ist es rathsam noch auf die gegenseitige Anordnung der einzelnen Blutkörperchen im Strom unser Augenmerk zu richten.

Die innersten dreiaxigen Blutkörperchen schreiten immer mit ihrer längsten Axe nicht ganz parallel der Axe des Röhrchens, sondern diese unter einem sehr spitzen Winkel vor sich schneidend. Das ist jene dachziegelförmige, oder besser gesagt, ährenförmige Anordnung, deren Bedeutung wir noch später zu besprechen haben. Im Vergleich mit dieser Stabilität bietet das Verhalten der äusseren Blutkörperchen einen auffallenden Gegensatz. Wir haben zwar bemerkt, dass nach der geschehenen Drehung an der Spitze des Stromes die ausgestossenen Körperchen nochmals eine parallele Stellung einnehmen. Diese Stellung behaupten sie aber nur sehr kurze Zeit, und nach einiger Weile sehen wir dieselben in einer von innen und unten, nach aussen und oben gerichteten Rollung begriffen, deren Lebhaftigkeit stromaufwärts zunimmt.

1) Fig. 2. Taf. X.

Achten wir auf die Beschaffenheit dieser rollenden Elemente so ist gleich zu erkennen dass die Mehrzahl von ihnen die weissen Blutkörperchen sind. Das Bild erinnert daher in hohem Grade an die bekannte *itio in partes* bei dem Capillarkreislauf, mit dem Unterschiede, dass mit den weissen Blutkörperchen hier auch einige rothe Elemente die Rollung mitmachen. Das Bild ändert sich aber mit dem Fortschreiten des Stroms insofern, als die Zahl der weissen Blutkörperchen in den rollenden Schichten allmählich abnimmt, und da auch die inneren Schichten keine von diesen Elementen enthalten, so ist zu schliessen, dass die weissen Blutkörperchen zur Bildung der peripherischen Schichten von Anfang an mit grosser Bevorzugung verwendet werden und darum zuletzt die rollenden Schichten ausschliesslich von den rothen Blutkörperchen gebildet werden müssen.

Wollen wir jetzt von der Spitze des Stromes zum Ausgangspunkte desselben zurückkehren, so senken wir das Röhrchen hinter dem Mikroskop langsam herab, und treffen dabei eine Reihe folgender Erscheinungen ein. Die straffe, aus den parallel gestellten Blutkörperchen gebildete Contour des Stromes wird lockerer nicht nur in Folge der allmählig eintretenden Rollung derselben, sondern auch weil die einzelnen Elemente der peripherischen Schichten mehr und mehr in die klare Flüssigkeitsschicht zwischen dem Strom und der Wand des Gefässes eindringen. Dabei verlieren sie die ihnen eigene rollende und schwach fortschreitende Bewegung und bleiben still stehen. Etwas weiter nach oben nimmt man an diesen zuerst eine schwache zurückschreitende Bewegung und noch weiter einen förmlichen immer mehr an Geschwindigkeit zunehmenden Fluss der peripherischen Elemente nach oben wahr. Von diesem Flusse umhüllt setzt der absteigende Strom mit derselben Lebhaftigkeit und mit allen oben beschriebenen Eigenschaften seine Bewegung fort, und die zwei ineinander geschobenen Ströme bewegen sich mit strenger Regelmässigkeit einander entgegen, ohne sich gegenseitig zu stören.

In dem aufsteigenden Strome, wenn er blutkörperreich genug ist, sieht man im Ganzen dasselbe Bewegungsschema wie in dem absteigenden. Die Mitte des hohlcyylinderförmigen Raumes zwischen der Wand und dem absteigenden Strome ist mit den dicht gedrängten in der Richtung des Stromes ausgestreckten rothen Blutkörperchen eingenommen. Die peripherischen Parteen sind spärlicher mit rollenden, vorzugsweise weissen Blutkörperchen besetzt. An der

Wand des Rohres sieht man die letzten zuweilen haften und nachher ablösen ganz auf dieselbe Weise, wie sie es in den Capillargefässen thun. Vergleichen wir die Geschwindigkeit der beiden Ströme, so finden wir, dass in der Nähe der früheren Grenze zwischen Blut und Blutflüssigkeit die Geschwindigkeit des aufsteigenden Stromes sogar die des absteigenden um 2—5% übersteigt⁶⁾. Von dieser Stelle an fällt aber die Geschwindigkeit des aufsteigenden Stromes rasch ab und beim weiteren Niedersenken des Rohres kommen wir bald in eine Region, wo ein Theil der peripherischen Körperchen wiederum still steht, während die anderen die schlingenförmigen Bahnen beschreiben, indem sie vom äusseren in den inneren Strom herübergezogen werden. Diese Stillstand- und Umkehrungszone ist von der Oberfläche der Flüssigkeit noch ziemlich weit entfernt. Senkt man das Röhrchen noch weiter nieder, so findet man oberhalb derselben die unregelmässig zerstreuten, langsam herabfallenden Blutkörperchen, aber keine Spur von Strömung mehr. Die weissen Blutkörperchen sind hier bei weitem vorherrschend. Jedes Blutkörperchen fällt für sich und nur von Zeit zu Zeit sieht man einen kleineren Haufen von 3—5, selten mehr, rothen Blutkörperchen mit grösserer Geschwindigkeit herabeilen. Hat man Säugethierblut zur Untersuchung benützt, so kommen nur hier, und nirgends anderswo, die geldrollenförmig angeordneten Blutkörperchen zum Vorschein. Diese Rollen steigen ebenfalls mit etwas grösserer Geschwindigkeit herab und die Axe derselben bleibt dabei immer in der Richtung einer Normalen. Vereinzelte Blutkörperchen sinken dagegen in verschiedensten Stellungen zum Horizonte, ohne dass man wahrnehmen könnte, dass ihre Geschwindigkeit dadurch messbar beeinflusst würde. Ziemlich oft sieht man die rothen Amphibienblutkörperchen mit ihren beiden grösseren Axen und die rothen Scheibchen des Säugethierblutes mit ihrer Aequatorialebene parallel dem Horizont herabfallen. Einmal angenommene Stellung behalten die meisten Blutkörperchen beim Fallen fest, relativ wenige machen schwache unvollkommene Rollungen beim Fortschreiten. Misst

6) Es muss dabei bemerkt werden, dass wir in dem aufsteigenden Strome mit grösserer Bequemlichkeit die Geschwindigkeit der schnellsten Blutkörperchen messen können. Das macht den Unterschied grösser, als er in der Wirklichkeit ist. Jedenfalls muss die mittlere Geschwindigkeit des aufsteigenden Stromes an der angeführten Stelle nicht derselben Geschwindigkeit des absteigenden nachstehen, da die Ausdehnung des ersteren viel grösser ist.

man von zehn zu zehn Mikrometertheilungen die Geschwindigkeit eines solchen Körperchens, welches beim Fallen in Rollung begriffen ist und daher in verschiedenen Zeiten in sehr verschiedenen Stellungen fällt, so bekommt man die immer gleichen Zahlen, wenn nicht durch den Zusammenstoß mit den anderen Körperchen eine Hemmung oder Beschleunigung der Bewegung eingetreten ist. Es scheint nur die Richtung der Bewegung durch die Stellung des Blutkörperchens etwas beeinflusst zu sein. Schneidet nämlich das Blutkörperchen mit seiner längsten Axe unter einem spitzen Winkel die Normale, so gesellt sich zur senkrechten Componente des Fallens noch eine allerdings sehr kleine Componente in der Richtung dieser Axe.

Der herabsteigende Strom gelangt zuletzt zum Boden, verbreitet sich auf demselben, dann auf der Wand, und füllt das untere Segment des Röhrchens mit einem Brei von Blutkörperchen. In diesem Brei kann man noch lange den mittleren Strom mit ziemlicher Geschwindigkeit sich herabsenken sehen. Es erfahren daher die zwischen dem Strom und Wand angehäuften Körperchen einen fortwährenden Impuls nach oben und bald geräth die ganze Schaar derselben in eine lebhafte Bewegung in dieser Richtung. Diese, schon auf dem Boden gewesenen Blutkörperchen liefern ein starkes Contingent dem aufsteigenden peripherischen Strome, und mustern wir das ganze Röhrchen in diesem Augenblick durch, so scheint die aufsteigende Bewegung in demselben vorzuherrschen. Es dauert aber nur kurze Zeit. Bald verzögert sich bedeutend der untere Theil des absteigenden Stromes und obwohl man noch sehr lange in dem sich bildenden Cruorbodensatz das Herabsteigen der mittleren und die entgegengesetzte Bewegung der peripherischen Blutkörperchen unterscheiden kann, so ist doch die Bildung eines etwas namhaften Bodensatzes immer ein Signal zur allgemeinen Verzögerung der Bewegung. Der aufsteigende Strom wird am ehesten träger, die Umkehrungszone rückt allmählig herab und wird zugleich breiter, so dass das Hinziehen der Körperchen aus der peripherischen in die mittlere Schicht immer ausgedehnter wird. Die die rollenden Elemente einschliessende Scheidewand der beiden Ströme wird von oben an allmählich durchbrochen und nach zwei, drei Circulationen erlischt die Erscheinung und verwandelt sich in die oben erwähnte stille Bewegung im Bodensatze.

Auf der Fig. 1 ist der beschriebene Circulationsvorgang in dem Momente dargestellt, wo der peripherische Strom schon gebildet,

der axiale aber noch nicht zum Boden gelangt ist. Der durch a bezeichnete Abschnitt des Röhrchens entspricht der Zone der vereinzelt fallenden Blutkörperchen. Durch b ist die Stillstands- und Umkehrungszone bezeichnet, durch c die Zone der zwei entgegengesetzten Strömungen, durch d die Zone des absteigenden Stromes.

Die Fig. 2 veranschaulicht den Process an der Spitze des Stromes. Die ursprünglich demselben Querschnitte angehörigen Blutkörperchen sind durch die punktirtten Linien aa, bb, cc, . . . verbunden. Durch die Pfeile ist die grösste Axe des elliptischen Amphibienblutkörperchens oder ein in der Aequatorialebene liegender Diameter des rothen Säugethierblutkörperchens angedeutet. Vollkommen analog, wie es weiter gezeigt werden wird, bewegen sich die Blutkörperchen, wenn das Blut durch die Capillaritätswirkung im Röhrchen erhoben wird, oder aus einer engeren Stelle des Röhrchens in eine Erweiterung überfließt. — Die untersten Blutkörperchen stellen sich später peripherisch und der Richtung des Stromes parallel, wie a.

Fig. 3 stellt das Schema der ährenförmigen Anordnung der Froschblutkörperchen in einem durch die Stromesaxe gedachten Längsschnitte vor. Man sieht leicht ein, dass wenn die Blutkörperchen aus irgend welchem Grunde bei ihrer der Axe parallelen Bewegung gleichzeitig zur Axe getrieben werden, so müssen sie diese Stellung annehmen, weil nur dabei die zwischen den zugespitzten Enden derselben bleibenden Lücken ad minimum reducirt werden. Näheres darüber werden wir im vierten Capitel dieser Arbeit anführen.

Strom der weissen Blutkörperchen. Endliche Vertheilung der Blutkörperchen im Bodensatz.

Aber nicht alle Blutkörperchen im Rohre betheiligen sich, wie wir gesehen haben, an dem Circulationsvorgang. Erstens fallen die obersten Blutkörperchen vereinzelt und von den übrigen unabhängig herab, zweitens werden von den bis zur Umkehrungszone mit dem peripherischen Strome gelangten Blutkörperchen nicht alle in den mittleren Strom herübergezogen. Diese beiden bilden eine zweite Gruppe der fallenden Blutkörperchen, welche im Ganzen mit denselben Erscheinungen wie die erste in Bewegung geräth, nachdem der rothe Bodensatz schon gebildet ist. Ist das Rohr ziemlich lang und die Zahl dieser nachträglich fallenden Blutkörperchen gross genug, so bilden sie auch eine Art weniger vollkommen entwickelten axialen Stromes, der

die überwiegend grosse Mehrzahl der weissen Blutkörperchen mit sich führt. Daher können wir denselben als einen weissen Blutkörperchenstrom im Gegensatz zu dem oben beschriebenen rothen bezeichnen.

Die Geschwindigkeit dieses Stromes ist viel geringer im Vergleich mit der des rothen. Die peripherisch aufsteigende Strömung bildet sich nun in dem stark leukocythotischen Blute, die beigemengten rothen Blutkörperchen (von den zwei obersten Zonen stammend) nehmen im Strome nur dann die mittlere Stellung auf, wenn die Zahl derselben verhältnissmässig bedeutend ist, vorzugsweise also in den untersten Parteen des Stromes. Ist die Zahl der rothen Blutkörperchen sehr gering, so sind sie zwischen den weissen überall zerstreut und bewegen sich in gleicher Weise wie die letzten. Eine wichtige Erscheinung, welche wir noch öfters antreffen werden.

Sehen wir vorläufig von den physikalischen Bedingungen des beschriebenen Senkungsvorganges ab, so ist aus den Erscheinungen selbst die endliche Vertheilung der sedimentirten Blutkörperchen unmittelbar klar. Im Anfang fallen die rothen wie die weissen Blutkörperchen in einem gemeinschaftlichen Strome herunter. Allmählig werden die weissen in die langsamen peripherischen Schichten weggedrängt. Ehe sie mit denselben weit fortgeschritten sind, bildet sich der periphere Strom und nimmt die weissen Blutkörperchen mit sich nach oben mit. Aber auch in diesem Strome erscheinen sie bald in den peripherischen, trügsten Schichten desselben. Sind sie mit diesen langsam zur Umkehrungszone gekommen und in den Krater des centralen Stromes gerathen, so schreiten sie auch jetzt nicht direkt zum Boden fort, sondern werden wiederum in die peripherischen Schichten abgelenkt, um zum zweiten Mal durch den aufsteigenden Strom hingezogen zu werden. Ueberall sind sie auf die für die Bewegung ungünstigsten Bahnen gestellt, überall kommen sie die letzten, und wenn, nach einigen vergeblichen Cirkulationen in den oberen Schichten, sie endlich zum Boden gelangen, so liegen die rothen Blutkörperchen schon lange da, und für die weissen bleibt nichts übrig als oberhalb derselben ihren Ruheplatz zu finden.

Sedimentiren des gewöhnlichen Blutes. Ungenügen der rein mechanischen Erklärung.

Etwas anders gestaltet sich die Sache, wenn wir das senkrecht stehende Röhrchen mit reinem Blute und nicht, wie bis jetzt, oben mit Blut, unten mit Blutflüssigkeit füllen. Es entstehen dann sogleich

zwei starke Strömungen in dem mittleren Querstück des Röhrchens, deren peripherische nach oben, axiale nach unten gerichtet ist. In den obersten und den untersten Blutschichten fallen die Blutkörperchen vereinzelt. Benutzen wir das oben angeführte Schema, so rückt die Stillstands- und Umkehrungszone in diesem Falle weiter nach unten vor, die Zone des absteigenden Stromes fällt gänzlich weg und tritt eine der Zone a ähnliche Zone am Boden des Röhrchens hinzu. In der untersten Zone fallen also im Anfang die weissen Blutkörperchen wie die rothen herunter. Dieses geschieht aber nur so lange, bis ein namhafter Theil der rothen Blutkörperchen aus der obenliegenden Zone in die untere herübergegangen ist. Dann hört das Fallen auf und verwandelt sich in ein ziemlich unregelmässiges Emporsteigen und Eintauchen der Blutkörperchen und man kann sich überzeugen, dass die emporsteigenden Elemente vorzugsweise die weissen Blutkörperchen sind.

Auch in diesem Fall finden wir, dass nach geschehener Sedimentirung die untersten Cruorschichten frei von weissen Blutkörperchen sind. Die Ursache davon liegt aber hier nicht so klar auf der Hand, wie im zuerst geschilderten Falle, wo in den untersten Schichten ursprünglich gar keine körperlichen Elemente vorhanden waren. In der untersten Zone des mit Blut gefüllten Röhrchens sehen wir auch keinen regelmässigen Cirkulationsvorgang, welcher uns das Ausweichen der weissen Blutkörperchen aus derselben erklären könnte. Wohl könnte man sich auf den Umstand berufen, dass auch die vereinzelt fallenden rothen Blutkörperchen eine Unzahl nach oben gerichteter minimaler Strömungen der verdrängt werdenden Flüssigkeit erzeugen, welche die weissen Blutkörperchen mit sich nehmen können. Dieses wäre aber gewiss nicht gerechtfertigt. Eine kleine Ueberlegung lehrt, dass die lebendige Kraft dieser Ströme höchstens der lebendigen Kraft der fallenden rothen Blutkörperchen gleich sein kann, denn sie entsteht aus der Uebertragung dieser letzten auf die Flüssigkeitstheilchen. Da die zufälligen Unregelmässigkeiten in der Wirkung der hier arbeitenden Kräfte sich nach dem Gesetz der grossen Zahlen ausgleichen werden, so kann man allgemein sagen, dass die weissen Blutkörperchen der unteren Zone unter der Wirkung zweier mechanischen Kräfte sich befinden. Von oben wirkt auf dieselben der Druck der fallenden rothen Blutkörperchen, von unten in entgegengesetzter Richtung der gleiche, oder eigentlich wegen der Reibungsverluste der kleinere

Druck der aufsteigenden Flüssigkeitsströmchen. Besäßen die weissen Blutkörperchen keinen eigenen Antrieb zur Bewegung, so müssten sie unter dem Einfluss dieser zwei Kräfte entweder langsam fallen, oder im günstigsten Fall im indifferenten Gleichgewichte bewegungslos bleiben. Sie sind aber selbst specifisch schwerer als die Blutflüssigkeit, und ihr eigener Trieb nach unten ist, wie man sieht, durch nichts äquilibrirt. Sie müssten demnach, ungeachtet der Flüssigkeitsströmchen, nach unten fallen, und wenn sie hingegen emporsteigen, so muss offenbar, ausser den mechanischen Wirkungen, noch eine andere hier wirksame Bedingung vorhanden sein und diese zu entdecken muss unsere Aufgabe sein.

Capitel II.

Strömendes Blut. Untersuchungsmethode.

Im lebenden Körper ist die Zahl der Erscheinungen, bei welchen die Blutkörperchen als *primum movens* betrachtet werden können, ziemlich beschränkt. Ueberall, wo es sich um die Bewegung des Blutes handelt, spielt die weitaus wichtigere Rolle die Blutflüssigkeit, während die Blutkörperchen sich nur passiv verhalten. Es war daher gerathen, neben dem obenbeschriebenen Falle noch denjenigen zu untersuchen, wo die Blutflüssigkeit in Bewegung versetzt und dadurch die Bewegung der Blutkörperchen hervorgerufen wird.

Diesen Zweck erreichte ich zuerst, indem ich ein längeres Capillarröhrchen hinter dem horinzontalen Mikroskop befestigte und dem unteren Ende desselben ein Uhrglas mit Blut untersetzte. War das Gesichtsfeld des Mikroskop noch im Bereiche der Capillaritätswirkung, so war die Bewegung der aufsteigenden Blutsäule im Capillarröhrchen zu sehen. Wurde das Maximum der Capillaritätserhebung erreicht, so begann sogleich das schon beschriebene Spiel der Senkungserscheinungen, und trieb man das Blut durch Ansaugung noch weiter in die Höhe, so fiel es nachdem mit der Geschwindigkeit, die der Höhe der Hebung proportional war und mit dem Fallen des Blutes regelmässig abnahm. Es gewährt diese einfache Untersuchungsmethode manche wesentliche Vortheile. Das Aufsteigen und das Absteigen des Blutes geschieht mit regelmässig abnehmender Geschwindigkeit, was sehr geeignet ist, den Einfluss der verschiedenen Geschwindigkeiten auf die Erscheinungen zu studiren. Beide Bewegungen sind einander entgegengesetzt, und da das ganze in Bewegung begriffene System aus verschieden schweren Theilen zu-

sammengesetzt ist, so wird es möglich, den Einfluss der Schwere unter entgegengesetzten Bedingungen zu beobachten. Endlich kann man nun mittelst dieser Methode aus den Bewegungen der leicht von der Flüssigkeit mitgefassten Körperchen in die durch die Capillarität hervorgerufene Bewegung der Flüssigkeit eine direkte Einsicht bekommen.

Man ist aber bei dieser Methode fast ausschliesslich auf die Untersuchung im senkrechten Rohr angewiesen. Grössere Neigungen desselben beeinträchtigen die Capillaritätswirkung, und wollen wir zur Untersuchung des horizontalen Stromes das Röhrechen entsprechend knicken, so wächst dadurch der Strömungswiderstand so beträchtlich an, dass man die grösseren Geschwindigkeiten zu erreichen nicht im Stande ist. Will man endlich die Wechselwirkung verschiedener in einem Rohr fliessenden Flüssigkeiten untersuchen, so ist es mit Hilfe dieser Methode nur schwer und unvollkommen möglich.

Ich habe daher später für diese Untersuchungen einen Apparat (Fig. 4) angewendet, welcher mir ermöglicht, die Stärke und die Richtung des Stromes vollkommen zu handhaben und, ohne den im Gang befindlichen Process zu stören, das Substrat desselben nach Belieben zu verändern. Das Capillarröhrechen klebe ich mittelst Siegelack mit einem weiteren Glasrohr a zusammen. Dieses hat eine als Recipient dienende Aufblasung und wird durch einen Kautschukschlauch mit einem 1" weiten und 3' hohen glockenförmig ausgezogenen Glasrohr b verbunden. Als Triebkraft dient eine Wassersäule, welche bei der senkrechten Stellung des letzten Rohres in diesem hervorgehoben wird. Zu diesem Zweck wird die untere Oeffnung des glockenförmigen Rohres in die Flüssigkeit eines grösseren Glasgefässes c eingetaucht. Die obere Region des Rohres wird mit der äusseren Luft mittelst eines passend gekrümmten, durch die untere Oeffnung durchgeführten engeren Rohres d in Verbindung gebracht. Das freie Ende des Verbindungsrohres trägt ein Kautschukschlauch mit einem kleinen als Mundstück dienenden Glasröhrechen. Saugt man an diesem auf, so steigt das Wasser in dem glockenförmigen Rohre, und klemmt man dann die Oeffnung des Verbindungsrohres zu, so kann die durch die fallende Wassersäule entstandene Luftverdünnung im Innern des Apparates nur durch die Hineinsaugung der Luft durch das Capillarröhrechen ausgeglichen werden. Man braucht nur das freie Ende des Capillarrohres in das

in einem Uhrglase befindliche Blut einzutauchen, so treibt die Atmosphäre das Blut in das Röhrchen hinein. Die Wassersäule fällt sehr langsam herab und wir haben auf diese Weise eine beliebig lang dauernde gleichförmige Geschwindigkeit des Strömens im Capillarröhrchen, deren Grösse der Höhe der Wassersäule proportional ist. Oeffnet man dabei theilweise die Klemme, so fällt die Wassersäule mit beliebiger Langsamkeit herab, und demgemäss verzögert sich langsam oder rasch die Strömung im Capillarröhrchen. Bei der bestimmten Geschwindigkeit kann die Strömung durch das Zuklemmen des Verbindungsrohrchens in einen dauernden Zustand übergeführt werden.

Unter diesen Umständen ist die Bewegung des Stromes zum Apparat gerichtet und das im Capillarröhrchen durchströmende Blut sammelt sich im oben erwähnten Recipienten. Um den Strom umzukehren, verdichtet man die Luft im Apparate, indem man in das Verbindungsrohr hineinbläst. Der Wasserspiegel im glockenförmigen Rohr sinkt dann unter das Niveau der Flüssigkeit im umgebenden Gefässe und die auf die letztere drückende Atmosphäre treibt das Wasser in das glockenförmige Rohr und das Blut aus dem Blutrecipienten durch das Capillarröhrchen aus.

Will man beliebige Flüssigkeit durch das mit Blut gefüllte Rohr durchströmen lassen, oder umgekehrt, so treibt man zuerst eine von beiden Flüssigkeiten in das Capillarrohr hinein. Dazu ist die Wassersäule von gewisser Höhe nöthig, und ist die gewünschte Quantität Flüssigkeit im Capillarrohr und Recipienten angesammelt, so macht man die Klemme auf, die Wassersäule fällt und der Strom verlangsamt sich und kommt endlich zum Stillstand. Dann klemmt man wiederum das Verbindungsrohr und unter das Capillarröhrchen kann man das Uhrglas mit einer anderen Flüssigkeit untersetzen, ohne Gefahr zu laufen, Luftblasen in das Capillarrohr bei der Wiederherstellung des Stromes aufzufangen. Durch die nochmalige Hebung der Wassersäule geräth zuerst der Inhalt des Capillarröhrchens in gesetzmässige Bewegung, da aber jetzt das Röhrchen durch heterogene Flüssigkeit gespeist wird, so sehen wir bald, dass bei dem Strömen die beiden Flüssigkeiten betheiligt sind, und zwar strömt die zweite Flüssigkeit in dem mit der ersten gefüllten Rohre durch. Wiederholt man jetzt die Procedur von Neuem und stellt man unter das Capillarröhrchen die erste Flüssigkeit unter, oder kehrt man nach einiger Zeit den Strom um, so strömt die erste Flüssigkeit durch

die zweite durch. — Da man dem Capillarrohr und dem Mikroskop dabei beliebige Stellungen geben kann, ohne dass dieses auf die Triebkraft des Apparates von Einfluss wäre, so hat man in der oben beschriebenen Vorrichtung eine sehr feine Regulirung zur Hand, um die Stromeserscheinungen zweckentsprechend zu modificiren.

Die Grösse und die Gestalt des Capillarröhrchens kann man auch verschiedentlich modificiren. Mit Hülfe der kleinen Wasserstoffflamme kann man an einem Glascapillarrohr Krümmungen unter jedem beliebigen Winkel, Biegungen, Schlingen und die verschiedensten Durchmesseränderungen hervorbringen. Es ist mir mehrmals gelungen, an einem $\frac{1}{4}$ Mm. weiten Capillarrohr Durchmesseränderungen zu erzeugen, deren drei auf einmal im Mikroskopfeld bei der 240maligen Vergrößerung übersehen werden konnten und ohne dass die Deutlichkeit der Beobachtung durch die unregelmässige Brechung der Strahlen dabei gestört wurde. Die gewöhnliche Untersuchung durch die vor dem Diaphragma frei in der Luft hängenden Röhrchen genügt, um nicht nur eine allgemeine Anschauung von der Beschaffenheit des Stromes zu bekommen, sondern auch um die Details desselben genau verfolgen zu können. Nur bei sehr feinen Röhrchen (unter $\frac{1}{4}$ Mm. Weite) tritt die ablenkende Wirkung der in seitlicher Projection betrachteten Röhrenwände ziemlich störend ins Spiel. Um dessen einigermaßen Herr zu werden, kann man unschwer zwischen dem Objekt- und Deckglas eine Art Wasser- oder Glycerinzelle für das Capillarröhrchen anfertigen. In einer solchen Zelle wird die Ablenkung der Strahlen bedeutend vermindert, die Contouren der Wand verschmälern sich und die feinsten Details nicht nur der Bewegung, sondern auch der Körperchen selbst, die feinsten Fortsätze der weissen Blutkörperchen, die punktirtten Kerne oder die Vertiefungen der rothen, kommen deutlich zum Vorschein. — System 4 von Hartnack mit dem Ocular 2 war die schwächste, System 7 und Ocular 3 war die stärkste von mir angewandte Vergrößerung.

Allgemeine Eigenschaften des Blutstromes im Glasrohre.

Der auf angegebene Weise in einem Glasrohr erzeugte Blutstrom erweist sich zwar im Allgemeinen dem Strom in Blutgefässen gleichen Calibers ähnlich, aber unterscheidet sich auch in manchen wesentlichen Punkten.

1. Was die Anordnung der Geschwindigkeit in demselben betrifft, so finden wir diese hier viel regelmässiger vertheilt,

als es in den lebendigen Gefässen der Fall ist. Von dem Umkreise bis zur Axe findet man hier ein ununterbrochenes Anwachsen der Geschwindigkeit, während der Blutstrom im lebendigen Gefäss, wie wir sehen werden, sich durch eine sprungweise Veränderung derselben an der Grenze des rothen Blutkörperchenstromes charakterisirt.

2. Die rollende Bewegung der peripherischen Blutkörperchenschichten ist hier viel ausgedehnter, als in lebenden Gefässen. In dieselbe sind die äussersten rothen ebenso wie die weissen Blutkörperchen gerathen. Mit dem Rollen der rothen Blutkörperchen ist auch eine Ablenkung derselben von der linearen Bewegung verbunden, deren Richtung sich mit der Geschwindigkeit ändert. Nur die Bewegung der mittleren rothen Blutkörperchen ist dem reinen Typus der linearen Bewegung entsprechend.

3. Das Ansammeln der Körperchen in der Mitte des Rohres, während die Flüssigkeit die Peripherie des Röhrchens annimmt, die Axialität des Blutkörperchenstromes, ist weniger ausgeprägt, wie in lebenden Gefässen gleichen Kalibers.

4. Scharfe Trennung der beiden Blutkörperchenarten ist auch hier vorhanden. Ist die Zahl der Blutkörperchen gering, so gehen die rothen dicht um die Axe herum, die weissen in den die rothen umgebenden Flüssigkeitsschichten und weit von der Wand abstehend. Ist das Blut blutkörperchenreich und die Flüssigkeitsschicht an der Peripherie klein, so rollen die weissen Blutkörperchen an der Wand des Rohres.

5. Der Einfluss der Schwere auf den im Glasrohr erzeugten Blutstrom ist viel bedeutender, als im lebenden Gefässe. Es tritt eine Seitlichkeit, »Polarisation« desselben in der Richtung der Schwere im Glasrohr schon bei denjenigen Graden der Geschwindigkeitsverzögerung ein, wo im lebenden Gefässe noch keine Spur von Seitlichkeit zu beobachten ist.

Wir wollen zuerst diese allgemeinen Eigenschaften des Stromes betrachten, wobei wir einige weiteren Details bei der Besprechung der einzelnen Erscheinungen anzuführen vorziehen.

Geschwindigkeitsvertheilung. Differenz in der Bewegung der inneren und der äusseren Blutkörperchen.

Die Vertheilung der Geschwindigkeit in einer durch das cylindrische Rohr strömenden Flüssigkeit ist schon längst theils durch die theoretischen Betrachtungen, besonders aber durch die Kreislaufsbeobachtungen an lebenden Thieren bekannt geworden. Das Wich-

tigste dabei ist das progressive Anwachsen der Geschwindigkeit von dem Umkreise des Röhrchens zu dessen Axe. Da wir die Geschwindigkeit des Strömens in unserm Apparat vollkommen beherrschen, so können wir auch das weitere Gesetz der Strömung im cylindrischen Rohre constatiren. Mit der Zunahme der Geschwindigkeit des Stromes im Ganzen nimmt die Geschwindigkeit der mittleren Schichten in stärkerer Progression zu, als die der äusseren. Ich bin nicht im Stande, durch Zahlen zu beweisen, ob die Veränderung der relativen Geschwindigkeit der verschiedenen Stromesschichten wirklich der durch die Theorie verlangten Gleichung für die ellipsoidische Curve folgt. Die Messung der Geschwindigkeit der einzelnen Schichten ist unmittelbar kaum möglich, und die Art der Bewegung der Körperchen, die die einzigen Objekte der Messungen sein können, an der Peripherie und an der Axe des Röhrchens zu verschieden, um ohne Weiteres auf die Bewegung der Flüssigkeitsschichten übertragen zu werden. Die Disproportionalität im Zuwachs der Geschwindigkeit zwischen den innern und den äussern Schichten ist aber so auffallend und tritt so regelmässig bei allen Arten der suspendirten Körperchen vor, dass es als empirisch nachweisbares Gesetz für den speciellen Fall der Capillarröhren und die suspendirte Körperchen führenden Flüssigkeiten betrachtet werden kann, dass bei dem Zuwachs der Geschwindigkeit des Stromes im Allgemeinen die innersten Schichten desselben in viel höherer Proportion beschleunigt werden, als die äussern.

Nicht weniger, als durch die Geschwindigkeit, unterscheiden sich die peripherischen Stromesschichten durch die Art ihrer Bewegung. Bei jeder Geschwindigkeit von der kleinsten, welche nur den Gesamttinhalt des Röhrchens in Bewegung zu setzen vermag, bis zu der grössten, die ich in meinem Apparat hervorbringen konnte, zeigte sich immer, dass die peripherischen Schichten des Blutes sich nach andern Gesetzen bewegen, wie die innersten. Während die inneren Blutkörperchenschichten sich einander und der Axe des Röhrchens streng parallel bewegen, sind die peripherischen mehr in eine wirbelnde Bewegung gerathen, welche sich 1. durch die Rollung und 2. durch die Richtungsablenkung der peripherischen Körperchen kund giebt.

Eine klare Darstellung der Bewegungsart der peripherischen Blutkörperchen zu geben, ist äusserst schwierig. Man hat es hier scheinbar nicht mit einem regelmässigen Process zu thun, son-

dern eher mit einem Wirrwarr nebeneinander gleitender, einander überholender, miteinander zusammenstossender Elemente. Beobachtet man aber minuten- und stundenlang, so hat man immer dieselbe, scheinbar unregelmässige und zufällige Bewegung vor sich, und doch häufen sich nicht die Blutkörperchen auf einer Stelle an, verarmen nicht auf der anderen; so lange die Geschwindigkeit des Stromes unverändert bleibt, zeigt er denselben peripherischen Abstand von den Wandungen und in jedem Querschnitt annähernd dieselbe Zahl der Blutkörperchen. Der Strom bleibt also auch hier der Form nach vollkommen stationär. Die Bewegung der weissen Blutkörperchen bietet dabei keine bemerkenswerthen Unterschiede von der ähnlichen Bewegung im Gefässsystem. Sie rollen langsam auf der Wand, stocken vielfach und sammeln sich in kleinen Häufchen, welche gelegentlich durch den Strom zerstört werden. Die Aequatorialebene der rollenden rothen Säugethierblutkörperchen, nach allen Seiten verlängert gedacht, nimmt gewöhnlich die Axé des Stromes in sich ein, ebenso die durch die beiden grösseren Axen des rollenden elliptischen Blutkörperchens gedachte Ebene. Die Drehung geschieht also in der Regel um die kleinste Axé des Körperchens. Viel seltener geht die Drehung des elliptischen Blutkörperchens um die mittlere Axé desselben vor sich, nie aber um die grösste. Es gewinnt dadurch der ganze Strom einen eigenthümlichen Charakter, der von dem Capillarstrom in Blutgefässen durchaus verschieden ist. Die peripherischen rothen Blutkörperchen wirbeln beständig bei ihrem Fortschreiten, offenbar, weil ihnen in diesem Gedränge keine Möglichkeit dargeboten ist, das stabile Gleichgewicht zu behalten. Dieses allgemeine Purzeln ist die verbreitetste unter den unzähligen anderen, mehr zufälligen Bewegungen, daher kann man *cum grano salis* den Namen Rollen dem Ganzen anwenden. Wird aber nach den augenblicklichen Bedingungen des Stromes noch eine andere Art der Bewegung begünstigt, so wird diese von der Anzahl der Blutkörperchen vorzugsweise ausgeführt und es wird möglich, diese bevorzugte Bewegung, wenn auch mit Mühe, in dem allgemeinen Wimmeln der übrigen Blutkörperchen zu unterscheiden.

Zweifache Ablenkung von dem Parallelismus der Schichten.

Stellen wir nämlich das Mikroskop derart ein, dass wir die Axé des Stromes ins Gesichtsfeld bekommen, und achten dann auf die rollenden, in derselben Ebene mit der Axé sich bewegenden Elemente der Peripherie, so sehen wir Folgendes. Ist die Stromesge-

schwindigkeit möglichst gross gemacht, so erscheint der Inhalt des Röhrchens aus den schwärzlichgrauen in der Mitte sehr dicht, an der Peripherie loser aneinandergefügten Linien zusammengesetzt, die mit der dem Gesetz des Strömens entsprechenden relativen Geschwindigkeit vorbeischiessen (Fig. 5). Die rothe Farbe des Blutes tritt dabei in den Hintergrund. Giebt man genau auf die peripherischen dieser Linien acht, so ist es unschwer zu erkennen, dass sie zur Wand des Röhrchens geneigt sind. Sie erscheinen unter einem sehr stumpfen Winkel gebrochen, dessen Scheitel an der Wand liegt und die Oeffnung zur Axe gerichtet. Bei den weiteren von der Peripherie abstehenden Linien wird dieser Winkel grösser und erreicht sehr bald 180° , so dass die mittleren Linien als ein Bündel vollkommen paralleler Linien erscheinen. Lassen wir nach der oben beschriebenen Weise die Geschwindigkeit des Stromes allmählich abnehmen, so wird der erwähnte Winkel kleiner und die peripherischen Linien stärker gebrochen. Man bemerkt zugleich, dass sie sich an der Wand bogenförmig krümmen. — Bei weiterem Abnehmen der Strömungsgeschwindigkeit, wenn die Contouren der Blutkörperchen an der Peripherie unterscheidbar zu werden beginnen, bietet der ganze Strom folgendes Bild dar (Fig. 6): In der Mitte verläuft ein System der zart schattirten, röthlich gefärbten Linien, die einander parallel sind. Beiderseits an der Peripherie ist dieses System mit einem Kamm zahlreicher kleiner, nach vorn und nach aussen gerichteter Linien besetzt. Jede dieser Linien ist leicht gebogen und sieht ähnlich dem aufsteigenden Ast der Wurflinie in Miniatur aus. Längs des zarten Kammes einerseits und der Röhrenwand anderseits laufen im lebhaftem Rollen die rothen und weissen Blutkörperchen fort. Ist der Strom noch weiter verzögert, so ändert sich die Erscheinung insofern, dass die Zahl der rollenden Körperchen allmählich wächst und der Raum der kleinen Wurflinien mit ihnen verdeckt wird. An die etwas gröbere Zeichnung des mittleren Stromes gränzt dann die breiter gewordene Schicht der rollenden Elemente. Ist die Hemmung noch um etwas vergrössert, so erscheinen auch die mittleren Theile als aus den Blutkörperchen gebildet, deren ährenförmige Anordnung jetzt zu erkennen ist. In den rollenden Schichten ist jetzt abermals ein Liniensystem zu erkennen, welches dem oben beschriebenen ähnlich gebildet ist, aber entgegengesetzt gerichtet. Die Linien sind weniger zart, weniger dicht aneinander gefügt und man erkennt, dass sie von der von aussen nach innen und vorn gerichtete-

ten Bewegung der einzelnen Blutkörperchen entstehen (Fig. 7). Bei der weitem Verlangsamung des Stromes verliert derselbe den Charakter der Regelmässigkeit, die Zahl der rollenden Schichten vermehrt sich, die äussersten gerathen in Stockung.

Am regelmässigsten treten auf und wechseln sich ab die Erscheinungen in einem senkrechten Rohr, wenn dabei die Zahl der Körperchen im Blute nicht überaus gross ist, aber doch gross genug, um an der Wand keine ausgedehnte Flüssigkeitsschicht zu lassen. — Ist das Rohr um einige Grade zum Horizont geneigt, so tritt eine bemerkenswerthe Veränderung in den beschriebenen Erscheinungen ein. Der Blutkörperchenstrom wird asymmetrisch. Die Schichten der grössten Geschwindigkeit nähern sich der unteren Wand und an der ihr zugekehrten Seite wechseln sich die einzelnen Perioden der beschriebenen Erscheinung rascher ab, so dass bei der bestimmten Geschwindigkeit man an der obern Seite des Stromes noch die Wurflinien beobachten kann, während an der untern die einzelnen peripherischen Blutkörperchen schon von aussen nach innen gezogen werden (Fig. 8). Sieht man einen solchen asymmetrischen Strom, wo auf der einen Seite die Bewegungslinien in aufsteigender oder absteigender Richtung von der Peripherie zur Axe, auf der andern Seite in derselben Richtung von der Axe zur Peripherie verlaufen, so kann man getäuscht werden, dass sich die Blutkörperchen in spiralförmigen Bahnen im Umkreise des Röhrchens bewegen. Man braucht aber nur die Stellung der Röhrchen zu verbessern, um die Asymmetrie fortzuschaffen, oder bei der entgegengesetzten Stellung des Röhrchens dieselbe im entgegengesetzten Sinne zu erzeugen. — Ist die Zahl der Blutkörperchen im Blute nur gering, so führen die peripherischen von ihnen im Grunde dieselben Bewegungen wie die oben angeführten aus, nur sind sie noch weniger ausgiebig und da die Flüssigkeitsschicht in diesen Fällen sehr gross ist, so gehen die von ihren Bahnen abgelenkten Blutkörperchen nicht bis zur Wand, sondern endigen ihre Bewegungen mit dem Rollen in die vom Blutkörperchenstrom wenig entfernten Schichten.

Es unterliegt keinem Zweifel, dass die obenerwähnten parallelen Linien in der Mitte des Stromes einem wirklich parallelgerichteten Laufe der darin befindlichen Elemente entsprechen. Eben solche Linien entstehen in den Gefässen des lebendigen Thieres, wenn die Circulation die Geschwindigkeit besitzt, bei welcher die einzelnen Elemente des Blutes nicht wahrgenommen werden. Hier

geben sie genau die Contouren und Verzweigungen der Gefässe wieder und sind auch als Trajectoria der Blutkörperchen zu betrachten, weil sie bei der Verzögerung der Circulation sich in die angeordneten Blutkörperchen auflösen. Es ist daher auch nicht zu zweifeln, dass die bogenförmigen Linien am Rande der parallelen auch einer bogenförmig gerichteten Bewegung der peripherischen Blutkörperchen entsprechen, desto mehr, da für die bei der Abnahme der Geschwindigkeit entstehenden entgegengesetzten Linien durch die unmittelbare Beobachtung der Beweis geliefert werden kann, dass sie den in dieser Richtung sich bewegenden Blutkörperchen entsprechen. Es ergibt sich daraus, dass die rollenden Blutkörperchen eine Ablenkung von der parallelen Richtung, bei den grösseren Geschwindigkeiten zur Wand, bei den kleineren zur Axe erleiden.

Seitlichkeit des Stromes. — Einfluss der Lumensveränderungen.

Bei der senkrechten Befestigung des Capillarrohres entgeht uns, wie selbstverständlich, der Einfluss der Schwere auf die Stromsbewegung gänzlich, denn eine befördernde Wirkung derselben auf den absteigenden und eine hemmende auf den aufsteigenden Strom sind in den engen Röhrchen nicht gross genug, um mit Genauigkeit beurtheilt zu werden. Sehr wichtig ist aber, dass auch bei der horizontalen Stellung des Röhrchens und der verticalen des Mikroskoptubus dieser Einflusse ebenfalls vollkommen unerkannt bleiben kann. Dieser gewöhnlich gebrauchten Art der Untersuchung à vol d'oiseau, wo wir nur die rechte und die linke, vollkommen in gleichen Bedingungen befindlichen Seiten des Stromes betrachten können, ist es zuzuschreiben, dass nämlich für die pathologischen Verhältnisse so bedeutungsvoller Einfluss der Schwere bei der Beurtheilung der Circulationsstörungen im lebendigen Körper fast vollkommen unberücksichtigt bleibt. Lassen wir hingegen den Strom horizontal fließen und stellen dabei auch den Mikroskoptubus horizontal, so betrachten wir die obere und die untere Seite des Stromes und die vorhandene Seitlichkeit desselben tritt deutlich zu Tage.

Jedenfalls ist der Einfluss der Schwere auf das im Glasrohr sich bewegende Blut bedeutend grösser als derselbe Einfluss auf das im lebendigen Gefässe gleichen Kalibers mit gleicher Geschwindigkeit strömende Blut. In dem fünften Kapitel dieser Arbeit werden wir diese Verhältnisse näher besprechen. Jetzt wollen wir nur anführen, worin die Seitlichkeit des Stromes besteht.

Jedes Blutkörperchen in unserem Rohre bewegt sich einzig und allein durch den Zug der umgebenden Flüssigkeit. Hört die Flüssigkeit plötzlich zu strömen auf, wie man es z.B. in meinem Apparat durch das Zerklemmen des Verbindungsschlauches bewirken kann, so bleiben die Blutkörperchen in demselben Augenblick still stehen. Nicht die geringste Bewegung im Sinne des Stromes verräth, dass ihnen eine selbständige lebendige Kraft inne wohnt, welche von der umgebenden Flüssigkeit unabhängig wäre. In demselben Augenblick beginnen auch die Blutkörperchen zu fallen. Jedes mit dem Strom sich bewegende Körperchen ist also als unter dem beständigen Einflusse zweier Kräfte stehend zu betrachten: des längs des Stromes gerichteten Flüssigkeitszuges (kaum richtig *vis a tergo* genannt) und der Schwerewirkung in der Richtung zum Horizont. »Enthält der Strom Körper, sagen wir mit Valentin, deren Eigenschwere grösser, als die der Flüssigkeit ist, so kann er diese nur dann fortführen, wenn das seinem Stosse entsprechende Gewicht dem um die verdrängte Flüssigkeitsmasse verminderten Gewichte der Körper gleicht«¹⁾. Ist der Zug der Flüssigkeit sehr gross im Verhältniss zur Beschleunigung der Schwere, so können wir keinen Unterschied zwischen der oberen und der unteren Seite des Stromes bemerken. Nimmt die Stromesgeschwindigkeit ab, so tritt die Schwerewirkung deutlicher hervor und ihre constante Componente mischt sich mit den wechselnden Componenten der Stromeswirkung zusammen, so, dass eine Masse Combinationszustände in der Stromesbewegung entstehen, die nicht leicht zu enträthseln sind.

Man könnte denken, dass der Einfluss der Schwere sich darin manifestiren soll, dass die untere Stromesregion reicher mit den Blutkörperchen besetzt werden würde, und dass im Uebrigen der Strom seine Eigenschaften behalten wird. Dem ist aber nicht so, sondern die fallenden Blutkörperchen ziehen auch die Schichten der grössten Geschwindigkeit mit sich nach unten. Die Axe des Stromes congruirt dann nicht mit der Axe des Röhrchens, sondern verläuft unter derselben und derselben parallel. Die Geschwindigkeit der in der obern Hälfte sich befindenden Körperchen ist im Ganzen grösser, wie die Geschwindigkeit der unterhalb derselben sich bewegenden. Merken wir ein Blutkörperchen in der obern Hälfte und das andere

1) Versuch einer Path. Physiologie des Herzens und der Gefässe. 1866. S. 147.

ihm gegenüber sich befindliche in der unteren, so kann man sich bei der Verfolgung der beiden von der Differenz ihrer Geschwindigkeiten überzeugen. Dieses lässt sich aus der Vermehrung des Widerstandes durch die Anhäufung der Blutkörperchen in den unteren Schichten verstehen. Aber, was schwerer zu verstehen ist, in der früheren Schicht der grössten Geschwindigkeit laufen jetzt die Blutkörperchen, mit der Geschwindigkeit, welche um etwas der der gleich nach unten liegenden Körperchen nachsteht. Vermindern wir die Geschwindigkeit des Stromes noch weiter, so kehrt die Zone der grössten Geschwindigkeit wiederum nach oben zurück. Und ist die Geschwindigkeit soweit verzögert, dass eine grössere Zahl der Blutkörperchen ganz ohne Bewegung auf dem Boden bleibt, so kann man öfters constatiren, dass die Zone der grösseren Geschwindigkeit sogar oberhalb der Röhrenaxe sich befindet.

Ändert sich der Durchmesser des Röhrchens, so ist die Wirkung dieser Bedingung auf den Strom sehr verschieden, je nachdem die Durchmesseränderung langsam oder plötzlich zu Stande kommt. Bleibt die Triebkraft des Stromes unverändert und der Strom im Röhrchen stationär, so constatirt man die Verlangsamung des Stromes an den erweiterten, und die Beschleunigung an den verengten Partien des Röhrchens. In den allmählig sich erweiternden Stellen verlangsamt sich der Strom in allen seinen Schichten, und nur verhältnissmässig etwas mehr an der Peripherie. Bei den allmählichen Verengerungen sind es auch die sämtlichen Schichten des Stromes, die an Beschleunigung Theil nehmen, allerdings vorzugsweise die mittleren. Tritt aber die Durchmesseränderung plötzlich ein, so wirkt es ganz disproportional verzögernd auf die inneren und auf die äusseren Stromesschichten. Bei der Verengerung sind es namentlich die vor derselben gelegenen äusseren Schichten, bei der Erweiterung die hinter derselben sich befindlichen, die am Meisten verzögert werden. Haben wir an dem Rohr eine Reihe Verengerungen und Erweiterungen rasch aufeinander folgend, hervorgebracht, so passiren die mittelsten Blutkörperchen fast mit derselben Geschwindigkeit die erweiterten und die verengten Stellen des Röhrchens. Die äussern Blutkörperchen stocken dagegen in den erweiterten Stellen fast oder vollständig. War das Röhrchen im Beginne der Beobachtung noch ganz leer, und haben wir das Mikroskop auf den Uebergang des Röhrchendiameters in die Erweiterung eingestellt, so verbreitet sich der Strom bei dem Eintreten in die-

selbe nach allen Seiten hin. Die ersten eingetretenen, also die mittleren Blutkörperchen werden in den krummlinigen Bahnen nach aussen getrieben, und indem der Strom auf diese Weise seine neu eintretenden Körperchen nach allen Seiten auswirft, schreitet er langsam fort, bis die Erweiterung zu Ende ist. Da beginnt er seinen regelmässigen Lauf und in der erweiterten Stelle werden jetzt die mittleren Blutkörperchen in eine schnellere Bewegung begriffen sein, als es vor dem Eintreten des Stromes in die verengte Stelle war.

Haben wir das Mikroskop auf die Verengerung eingestellt, bevor noch der Strom hingekommen ist, so schlüpfen im ersten Augenblick nur dem Diameter der Verengerung entsprechende Schichten des angekommenen Stromes durch, bald aber erheben sich auch die den äusseren Schichten angehörigen Blutkörperchen über die Schwelle und schlüpfen in die Verengerung hinein. Jedenfalls trägt diese letzte Bewegung ein gewisses Gepräge der Zufälligkeit in sich und regelmässig werden die über der Verengerung gelegenen Partien des Stromes durch die mittleren Stromesschichten gespeist. Die weissen Blutkörperchen häufen sich ebenso vor der Verengerung, wie in den erweiterten Stellen an, und sind an der Wand in grosser Zahl zu sehen. Es ist ein Umstand, der zu einem wichtigen Versuch Veranlassung gegeben hat, den wir am Schlusse dieses Kapitels anführen.

Strom der unlöslichen Farbstoffkörner.

Es liess sich erwarten, dass die Beimischung anderer chemisch indifferenten Suspensionskörperchen zum Blute die in diesem obwaltenden Verhältnisse instructiv verändern wird. Von diesem Gedanken geleitet, habe ich eine grössere Zahl solcher Substanzen, meistens unlöslicher Farbestoffe oder durch das Emulgiren oder Fällung erhaltene kleine Körperchen auf ihre Strömungsverhältnisse untersucht. Diese Versuche will ich jetzt in Kürze mittheilen.

Die käuflichen Farbstoffe dieser Art (Cinnober, Chromgelb, Ultramarinblau, Scheelsches Grün, Ultramaringrün, Karmin u. s. w.) sind gepulverte Substanzen von sehr verschiedener Grösse der Körnchen. Viele dieser Körnchen sind überhaupt so gross, dass sie für die mikroskopische Untersuchung der Strömung sich gar nicht eignen. Im Capillarrohr werden sie als plumpe Massen mühsam und unregelmässig fortgetrieben, stocken vielfach, erzeugen Wirbel und Stromesablenkungen.

Schaffen wir diese grösseren Farbstoffkörner durch mehrmaliges

Levigiren fort, so sind auch die zurückgebliebenen feinen Körnchen noch nicht immer geeignet mit dem Strom regelmässig fortgeführt zu werden. Das sind die kleinen Körperchen von sehr unregelmässiger Gestalt, die sich nur unter sehr grosser Reibung in der Flüssigkeit bewegen und dabei grosse Neigung zeigen, sich in grössere Klumpen zusammenzuballen. Diese Klumpen wirken dann wie die obenerwähnten grossen Körner. Nur bei sehr grossen Geschwindigkeiten gelingt es dann in meinem Apparat diese Ballen zu zerstören, und einen Strom mit einem vollkommen gesetzmässigen Charakter zu erzeugen. Manche andere Farbstoffe zeigen diese unangenehme Eigenschaft in weit geringerem Grade, und am wenigsten Graphyt, Karmin und Cinnober.

Lässt man solche in Wasser aufgeschwemmte Farbstoffe einzeln durch das Capillarrohr sich bewegen, so überzeugt man sich, dass für alle derselben ohne Ausnahme das unten zu erörternde (Cap. III) Helmholtz'sche Gesetz gültig ist. Sie werden alle in der Mitte des Stromes fortbewegt und lassen bei der Wand eine Schicht Flüssigkeit frei. Dabei zeigen sie im Ganzen dieselben Erscheinungen wie Blutkörperchen. Die die mittleren Schichten ausfüllenden Farbstoffkörner werden bei den grösseren Geschwindigkeiten ohne Drehung fortgezogen, während die äusseren die obenbeschriebene Art der unregelmässigen Rollung darbieten. Bei den grössten Geschwindigkeiten ist auch die Ablenkung der peripherischen Körnchen wahrnehmbar, aber in kleinerem Grade wie bei den Blutkörperchen. Man sieht, dass die Unregelmässigkeiten der Gestalt ihr gesetzmässiges Fortschreiten in hohem Grade erschweren. Die gröberen Körner gehen gewöhnlich mehr an der Axe, die kleineren mehr an der Peripherie. Es sind also diese letzteren, die mit wirbelnder Bewegung fortschreiten, und da sie dabei auch eine Neigung verrathen, sich aneinander zu nähern, so sind die Wirbel nicht continuirlich, sondern zerfallen in kleine, nicht ganz unregelmässig vertheilte Gruppen. Denkt man einen solchen in der Mitte geradlinig vorwärtseilenden, an der Peripherie eigenthümlich gekräuselten und in rascher Wirbelbewegung begriffenen Strom von schön gefärbten Körnchen, so begreift man die kaleidoskopische Pracht, welche derselbe darbietet. Ist irgendwo im Verlaufe des Rohres durch das Zusammenballen der Körnchen oder andere Ursache eine Unregelmässigkeit eingetreten, so verbreitet sie sich sogleich auf den ganzen Strom. Die Wirbel verändern ihre

Richtung, sich langsam bewegendende Körner gerathen in einem Nu in eine heftige Bewegung, oder umgekehrt, der ganze Strom steht wie durch den Zauberschlag auf einmal still, um gleich darauf mit einer noch grösserer Geschwindigkeit hervorzuschnellen. Die obenerwähnten Wirbelgruppen werden dabei durch die zu schnelle Bewegung zerstört und bilden sich bald von Neuem. Das Bild eines aus den suspendirten Farbstoffkörnern gebildeten Stromes hat nicht die anhaltende Regelmässigkeit, aber auch nicht die Monotonie des Blutkörperchenstromes.

Die Emulsionen bewegen sich viel regelmässiger. Der Anblick eines Milchstromes ist in Bezug auf das regelmässige Verhalten ganz dem des Blutstromes gleich. Die grösseren Körperchen spielen dabei die Rolle der rothen, die kleineren die Rolle der weissen Blutkörperchen. Die letzten rollen, die ersten werden ohne Rollung fortgetrieben.

Künstliche *itio in partes*. Beimischung der Suspensionskörperchen zum Blute.

Rührt man zwei Substanzen dieser Art in einer Flüssigkeit zusammen, und lässt man das Gemisch in den Röhrchen strömen, so bekommt man verschiedene Bilder, je nach der Quantität der beigemischten Körnchen. Ist sie sehr gering, so bewegen sich die Körnchen beider Art bunt miteinander vermischt und nur die bevorzugte Bewegung der grösseren Körnchen in der Axe ist zu unterscheiden. Bereitet man dagegen ein dichteres Gemisch zu, und sorgt man während des Versuches, dass die Körnchen in gleichmässiger Suspension bleiben, so kann man eine wirkliche *itio in partes* derselben erreichen, die der des Blutes nicht nachsteht. Es eignen sich nicht alle Farbstoffe oder Suspensionsflüssigkeiten zu derartigen Versuchen. Von den Farbstoffen müssen diejenigen gepaart werden, deren Senkungsgeschwindigkeit nicht viel von einander verschieden ist, die keine grosse Neigung zum Zusammenfallen haben, deren Körnchen durch ihre Grösse nicht viel von einander verschieden sind. Am besten haben sich erwiesen: das Zusammenbringen des fein gepulverten und levigirten Graphits mit Karminpulver, Karmin mit der durch die Fällung der alkoholischen Lösung des Colophoniums in Wasser dargestellten Emulsion, Karmin und Milch.

Die Eigenschaft des Menstruums ist auch nicht für das Gelingen des Versuches gleichgültig. Das blosse Wasser ist zu dünn fast für sämtliche dieser Substanzen und eine gleichmässige Suspension der Körperchen in demselben zu erhalten ist fast unmöglich. Die sogenann-

ten Lösungen der Colloidsubstanzen wären am meisten geeignet, um den gewünschten Grad der Dichtigkeit darzustellen, sind aber ganz untauglich, weil sie in hohem Grade das Zusammenballen der Körnchen begünstigen. Wir sind daher auf die Lösung der Crystalloiden angewiesen, deren Dichtigkeit aber die Grenzen hat, welche für die meisten Suspensionskörper zu eng sind. Ich habe meistens die concentrirte Kochsalzlösung als Menstruum gebraucht und es blieb doch eine harte Aufgabe, die Gleichmässigkeit der Mischung während des Versuches zu unterhalten. Wegen der Dünnsflüssigkeit des Menstruums ist es auch vortheilhaft, das Capillarrohr senkrecht zu befestigen, um die durch die bedeutende relative Schwere der Körperchen hervorgerufenen starke Seitlichkeit des horizontalen Stromes zu vermeiden.

Lässt man auf diese Weise Graphit- und Karminkörnchen in einem Capillarrohr zusammenströmen, so bekommt man einen bläulichschwarzen Strom der Graphitkörnchen in der Mitte, umgeben von dem Rosa der Karminkörnchen. Rührt man dagegen Karminkörnchen mit der Colophoniumemulsion zusammen, so sieht man im Capillarrohr einen axialen Karminstrom und ringsum die rollenden Colophoniumkügelchen. Karmin mit Milch gewährt sehr schön dasselbe Schauspiel. Hat man eine magere Milch genommen und viel Karminkörnchen zugesetzt, so ist die Nachahmung des Blutes für die schwächeren Vergrösserungen ganz befriedigend. In gut gelegenen Fällen ist die Trennung der beiden Körnchenarten eben so vollkommen, wie im Blute, meistens beobachtet man aber, dass die feineren Körnchen der centrallaufenden Substanz auch in den peripherischen Schichten vorhanden sind. Je gleichmässiger die Körnchen sind und je grösser die Geschwindigkeit des Stromes, desto vollkommener ist die Trennung. Achtet man auf die Beschaffenheit der sich so vertheilenden Substanzen, so kann man immer ein wichtiges Verhältniss constatiren: es sind immer die schneller fallenden Körnchen, die in der Mitte gehen.

Nach denselben Gesetzen geschieht die Trennung der Suspensionskörperchen, wenn diese zum Blute zugemischt werden. Das Gemisch des Blutes mit der Milch giebt einen rothen Blutkörperchenstrom mit einer bläulich-grauen Hülle der Milchkörperchen umgeben. Umgekehrt die Beimischung des Zinnobers, gepulverten Carmins oder Graphits giebt einen Strom dieser Substanzen in der Mitte, während ringsum die rothen Blutkörperchen rollen, die jetzt mit den weissen zusammen die ganze Peripherie bis zur Wand anfüllen.

Um einen diesem Versuche entgegengesetzten anzustellen, d. h. die weissen Blutkörperchen in der Mitte des Stromes sich bewegen zu lassen, muss man diejenige Bedingung, die ihnen dieses verhindert fortzuschaffen suchen. Ohne dem Späteren vorzugreifen, sagen wir einfach, dass diese Bedingung in der Gegenwart der rothen Blutkörperchen liegt. Es handelt sich also vor Allem, die weissen Blutkörperchen von den rothen zu trennen. Dann könnten wir die ersten für sich im Capillarrohr circuliren lassen, und falls sie überhaupt zur axialen Strombildung fähig sind, eine Combination derselben mit irgend welchen anderen Suspensionskörperchen finden, wo die weissen Blutkörperchen die Rolle der rothen spielen.

Schon der erste Theil der Aufgabe bietet bedeutende Schwierigkeiten dar. Die Trennung der im senkrechten Capillarrohr fallenden Blutkörperchen geht, wie wir gesehen haben, sehr scharf vor sich, und brechen wir nach der vollendeten Senkung das Capillarröhrchen an der der Zwischenzone entsprechenden Stelle entzwei, so haben wir im obern Röhrchenstück fast nur weisse Blutkörperchen zur Disposition. Die Zahl derselben ist aber zu gering, um auf diese Weise auch aus mehreren Röhrchen das Material für einen grössern Versuch zu bekommen. In einem Porzellanschälchen steigen ebenfalls die weissen Blutkörperchen aus der übrigen Cruormasse empor und bilden diejenigen weisslichen Flecke auf der Oberfläche derselben, welche die berühmten Recklinghausen'schen Entdeckungen veranlasst haben. Aber auch bei dem vorsichtigsten Aufsaugen mit einer kleinen Pipette treten hier mit den weissen Blutkörperchen auch massenhaft die rothen hinein. — Man kann endlich die durch das Strömen selbst hervorgebrachte Trennung benutzen, um die beiden Blutkörperchenspecies zu scheiden. Gelingt es, so haben wir auch eine unmittelbare Möglichkeit zur Hand, den zweiten Theil des Versuches auszuführen: die Circulation der weissen Blutkörperchen, von den rothen befreit, in Gang zu setzen.

Methode des Durchwaschens. Strom der weissen Blutkörperchen und der Eiterkörperchen.

Die rothen Blutkörperchen bewegen sich im Glasrohr bei der mittleren Geschwindigkeit meines Apparates durchschnittlich wenigstens 20 Mal so schnell, wie die weissen. Sehen wir also die bestimmten rothen Blutkörperchen in unserem Gesichtsfeld vorbeigehen, so wird es noch lange dauern, ehe wir die mit diesen zu gleicher Zeit in das Capillarrohr eingetretenen weissen Blutkörperchen zur An-

sicht bekommen. Gesetzt, wir haben in einem gewissen Momente die Zufuhr der Blutkörperchen ins Rohr sistirt, was wir z. B. dadurch bewirken, dass wir dem Capillarrohr in diesem Moment die reine Blutflüssigkeit oder eine adäquate Salzlösung anstatt Blutes untersetzen. Die zweite Flüssigkeit bewegt sich, was die Vertheilung der Geschwindigkeit in einzelnen Schichten derselben betrifft, nach denselben Gesetzen wie das Blut. Bekommen wir also im Gesichtsfelde die blutkörperchenfreie Flüssigkeit in den mittleren Schichten, so wird es ebenfalls noch lange dauern, ehe wir dieselbe auch in den äusseren Schichten erblicken. Während dieser ganzen Zeit haben wir von den Blutkörperchen nur die weissen im Rohr. Auf diese Weise ist es möglich, die rothen Blutkörperchen aus dem Rohr auszuwaschen und die weissen allein in der Gestalt eines Hohlcyinders auf der Peripherie des Röhrchens zu bekommen.

War das Rohr bei dem Versuch in senkrechter Stellung angebracht, so hält die hohlcyylinderförmige Anordnung ziemlich lange an. Die weissen, früher knapp an der Wand vorbeigehenden Blutkörperchen treten jetzt wirklich etwas von der Wand zur Axe ab. Diese Bewegung geht aber langsam vor sich, und andererseits gewinnt ihre Geschwindigkeit mit dieser Entfernung von der Wand so viel, dass sie eher ganz aus dem Gesichtsfelde verschwinden, als man dieselben um die Axe angesammelt sieht. Um die Beobachtungszeit zu verlängern und die weissen Blutkörperchen wirklich um die Axe angesammelt sehen zu können, muss man in dem Augenblicke, wo die letzten Blutkörperchen aus dem Gesichtsfelde zu verschwinden beginnen, den Strom umkehren. Dann aber gebe man Acht. Die bei der früheren Richtung schon der Axe angenäherten weissen Blutkörperchen sieht man bald um dieselbe herum angesammelt, aber ihnen auf den Fersen folgen die rothen Blutkörperchen, und hat man nur einen Augenblick versäumt, so sieht man nur das alte bekannte Bild vor sich: die rothen Blutkörperchen in der Mitte, die weissen um dieselben herumrollend.

Ist dagegen das Rohr bei dem Versuche in der horizontalen Richtung auf gestellt, so behält der aus den weissen Blutkörperchen gebildete Hohlcyylinder nur eine sehr kurze Zeit seine Gestalt. Bald fallen die oberen Blutkörperchen auf die untere Wand und erst von dieser beginnen sie ihre nach der Axe gerichtete, jetzt meist unvollständig zum Ziele führende Bewegung: ein augenscheinlicher Beweis, dass die oberen weissen Blutkörperchen nicht durch die

Wand, sondern durch den rothen Blutkörperchenstrom in ihrer peripherischen Stellung unterstützt waren.

Bei einiger Uebung in der Handhabung des Apparates und richtigem Zeittreffen kann man diesen Versuch in einer noch complicirteren Form ausführen. Man kann zwei ineinander geschaltete Blutkörperchenhohlcylinder erzeugen. Man treibt dazu zuerst das Blut durch das Capillarröhrchen, man setzt dem Rohr auf eine kurze Zeit die blutkörperchenfreie Flüssigkeit unter, dann nur auf ein Moment wiederum das Blut, und zuletzt nochmals die körperchenlose Flüssigkeit. Was geschieht dabei? Die erste blutkörperchenlose Flüssigkeit erzeugt den ersten Hohlcylinder an der Wand, wie es eben beschrieben war. Das darauf ankommende Blut erzeugt einen Vollecylinder in der Mitte, der aber wegen der kleinen Quantität Blutes nicht bis zur Wand reicht. Die zuletzt folgende Flüssigkeit bohrt diesen Vollecylinder aus. Freilich dauert die Erscheinung nur einige Momente, aber lang genug, um uns überzeugen zu können, dass auch der zweite Hohlcylinder meistens aus weissen Blutkörperchen gebildet ist.

Um die weissen Blutkörperchen in Gegenwart anderer Suspensionskörperchen die Rolle der centralgehenden übernehmen zu lassen, ist die beschriebene Art des Experimentirens wenig geeignet. Man kann, anstatt durch eine körperchenlose Flüssigkeit, durch eine körperchenführende, wie z.B. Milch, die rothen Blutkörperchen austreiben und den Hohlcylinder aus den weissen Blutkörperchen erzeugen, und dann auf die oben beschriebene Art die letzten der Axe zuführen. Die Milchkügelchen werden dabei in die peripherischen Schichten verdrängt werden. Die Zeit zur Ausführung der zur Trennung führenden Bewegungen ist aber dabei so kurz, und die Farbe der weissen Blutkörperchen von den Milchkügelchen so wenig abstechend, dass man kaum einen sicheren Aufschluss über den Vorgang auf diese Weise erlangen kann. Den neuen Errungenschaften der Wissenschaft verdanken wir die Möglichkeit, unser Ziel viel vollständiger zu erreichen. Da wir jetzt wissen, dass die Eiterkörperchen wenigstens zum überaus grössten Theil die weissen Blutkörperchen sind, so brauchen wir nur zu ihnen zu greifen, um das nöthige Versuchsmaterial in gewünschter Quantität zu haben. Ein Löffel voll puris boni et laudabilis aus dem Abscesse eines skrofulösen Kindes mit einem Tropfen Kali caustici diluti versetzt und in etwas Salzlösung verdünnt, dann mit gleichen Theilen Milch zusam-

mengebracht, ist vollkommen geeignet, um für die Demonstration der gedachten Verhältnisse angewendet zu werden. Treibt man ein solches Gemisch durch das Capillarröhrchen, so sammeln sich die weissen Blutkörperchen um die Axe, während die Peripherie des Röhrchens durch den Schwarm der alleinrollenden Milchkörperchen eingenommen ist. Der einzige zu bemerkende Unterschied dieses weissen axialen Blutkörperchenstromes — dass er weniger dicht und weniger exclusiv, als der der rothen Blutkörperchen ist, denn inmitten der weissen Blutzellen sieht man oft eine Anzahl Milchkörperchen mitlaufen.

Zur Theorie der Entzündung.

Jetzt wird uns auch folgender Versuch klar. Bereiten wir ein Capillarröhrchen, an welchem 3—4 in sehr kurzer Distanz aufeinander folgende Verengerungen angebracht sind (was nur mit Hülfe der kleinen Wasserstoffflamme sich ausführen lässt), und befestigen dasselbe hinter dem horizontalen Mikroskop derart, dass der Bereich der Durchmesseränderungen im Gesichtsfelde liegt. Nun lassen wir durch das Röhrchen das Blut strömen. Wir sahen schon, dass an den Stellen der relativen Erweiterungen (zwischen den Verengerungen) die peripherischen Stromesschichten unverhältnissmässig stark verzögert werden, und mit ihnen besonders die weissen Blutkörperchen. Je länger die Strömung dauert, desto evidenter wird die Vermehrung der weissen Blutkörperchen an den erwähnten Stellen. Schon vor der ersten Verengerung häufen sich die weissen Blutkörperchen an. Hier besitzt aber der ankommende Strom noch Kraft genug, um viele dieser Elemente über die Schwelle hinwegzuführen. Auf der anderen Seite der letzten sind die peripherischen Schichten derart verzögert, dass viel wenigere von den weissen Blutkörperchen über die zweite Verengerung herüberspringen, und nur die wenigsten durch die Reihe der Erweiterungen in den regelmässig cylindrischen Abschnitt des Rohres gelangen. Man begreift, dass daher mit der Fortdauer des Stromes die Zahl der weissen Blutkörperchen in den Erweiterungen unaufhörlich wachsen muss. Will man diesen Process beschleunigen, so braucht man nur die Richtung des Stromes abwechselnd zu verändern, denselben den bekannten Mouvement de va et vient ausführen zu lassen. Mit jeder neuen Amplitude führt der Strom eine Anzahl weisser Blutkörperchen in den Bereich der Lumenunregelmässigkeiten ein, und jedesmal kommt er mit einem Deficit an diesen Elementen heraus. Die Zahl der weissen Blutkörper-

chen wächst augenscheinlich in diesem Bereiche, aber auch die Zahl der rothen Blutkörperchen wird für die Beobachtung unangenehm gross. Lassen wir daher nach einigen Oscillationen Salzlösung oder reine Blutflüssigkeit in das Rohr einströmen. Dieses wird das schon bekannte Resultat haben: die rothen Blutkörperchen werden durch diese neue Flüssigkeit ausgetrieben. Die Wandungen in den erweiterten Stellen, vor, zum Theil auch hinter denselben sehen wir dann mit zweifacher und dreifacher Schicht dichtgedrängter weisser Blutkörperchen ausgestattet. — Der Versuch gelingt ausnahmslos und die Erscheinung kommt bei denselben Bedingungen jedesmal zurück mit derjenigen Genauigkeit, die die mechanischen Processe auszeichnet.

Untersuchungen über die Wirkung starker Vagus-Reizung auf den Herzschlag.

Von

Prof. **J. N. Czermak.**

(Mit 2 Holzschnitten.)

Zu den Versuchen, deren vorläufige Ergebnisse ich hier mittheilen will, wurde ich, vor mehr als Jahresfrist, durch die sehr merkwürdigen Angaben Pflüger's veranlasst, dass dem Beginn der Vagusreizung, welche stark genug ist, um das Herz »auf der Stelle« zum Stillstand zu bringen, »zwei Wellengipfel« nachfolgen; »erst dann stehe das Herz vollkommen still«; — und dass die Curven »dieser beiden vor dem Herzstillstand noch erfolgenden Contractionen« sich von denjenigen vor der Reizung in »absolut Nichts« unterscheiden¹⁾.

Pflüger verfuhr bei seinen Versuchen bekanntlich folgendermassen. Er liess das blossgelegte Herz selbst seine Pulsationen auf die rotirende Kymographiumtrommel aufzeichnen, indem er in die Spitze des Herzens einen Fleischhaken befestigte, welcher vermittelt eines über eine Rolle gespannten Fadens den Hebel eines Myo-

1) S. Pflügers Unters. aus dem physiol. Labor. zu Bonn, Berlin 1865, pag. 28, 29.

