(Aus dem physiologischen Institut der Universität Graz.)

Elektrische und thermische Einwirkungen auf das Blut und die Structur der rothen Blut- körperchen.

Von

Prof. **Alexander Rollett.**

(Mit 8 Textfiguren.)

I. Elektrische Einwirkungen.

Einleitung.

Die vor geraumer Zeit von mir aufgefundene Erscheinung, dass das Blut durch Entladungsschläge von Leydener Flaschen lackfarbig wird, hat mich in letzter Zeit wieder beschäftigt und ist zum Ausgangspunkte einer Reihe von weiteren Studien am Blute und seinen Bestandtheilen geworden.

Ich konnte mich bei meinen neuen Versuchen anderer Behelfe bedienen als bei den älteren und dabei einige Kenntnisse berücksichtigen, welche wir seither über die molekulärphysikalischen Eigenschaften des Blutes gewonnen haben. Ich überzeugte mich dabei, dass meine Erscheinung von den Wärmewirkungen des Entladungsstromes nicht merklich abhängig ist, dass dagegen die Erscheinung, welche L. Hermann¹⁾ neuerlich mit Inductionsströmen am Blute erhielt, wie L. Hermann richtig annimmt, eine Wärmewirkung dieser Ströme ist. Wenigstens ist das der Hauptsache nach der Fall.

Aus der Abhandlung L. Hermann's bringe ich vorerst das Folgende in Erinnerung. L. Hermann sagt: „Die von Rollett entdeckte Erscheinung, dass Blut durch die Entladungsströme von Leydener Flaschen oder Inductorien lackfarbig wird, ist bisher nicht erklärt.“ In methodischer Beziehung habe ich gegen diesen Ausspruch zu bemerken, dass ich immer nur mit Entladungsschlägen von Leydener Flaschen, niemals aber mit Inductorien gearbeitet habe.

Mit einem Inductorium hat meines Wissens nur E. Neumann einmal an mikroskopisch dünner Blutschicht einen Versuch gemacht, was

1) Pflüger's Archiv Bd. 74 S. 164.

L. Hermann auch anführt, und in neuester Zeit eben L. Hermann selbst. Ein mit einem Inductorium angestellter Versuch ist also nicht mein Versuch, sondern E. Neumann's und L. Hermann's Versuch.

Schon vor mehr als 25 Jahren hat mir einmal ein hochverehrter Kollege geschrieben, dass er meine Versuche in Röhren und Trögen (nicht an mikroskopisch dünnen Blutschichten) bis dahin mit Flaschenentladungen immer anstandslos gezeigt habe, dass er sich aber nun ein grosses Inductorium angeschafft habe, und dass sie damit nicht gelingen.

Von dieser Thatsache hatte ich mich damals schon selbst sicher überzeugt, obwohl ich anfangs eine Zeit lang von vornherein auch anderer Meinung war. Und so gab ich schon damals den Rath, das Inductorium zum Laden von Flaschen zu verwenden, dann würden die Versuche gehen wie früher.

L. Hermann ist nun mit grösseren Blutmengen auf dieselbe Schwierigkeit gestossen. Er hat aber an mikroskopisch dünnen Blutschichten eine Aufhellung des Blutes mit Inductionsströmen erhalten, diese ist jedoch anderer Art als die Aufhellung mit Entladungsströmen. Wir werden sehen, dass man mit Condensator-Entladungen 20 ccm Blut und mehr in Röhren lackfarbig machen kann, was mit Inductionsströmen, auch der grössten Inductorien, niemals gelingt. Inductionsströme wirken eben anders als Condensator-Entladungen und man darf nicht die Wirkungsweise der einen der Wirkungsweise der anderen gleichsetzen, weil beide hochgespannte Ströme sind.

Der Gang, welchen meine Untersuchungen über die Wirkung der Entladungsschläge von Leydener Flaschen auf das Blut nahmen, war ein ganz anderer als der, welchen E. Neumann und L. Hermann nahmen. Ich ging von mittelst Röhren oder Trögen in den ungetheilten oder getheilten Schliessungsbogen der Leydener Flasche eingeschalteten grösseren Blutmengen aus und stellte die Gesetze der elektrischen Aufhellung des Blutes fest¹⁾. Diese lauteten: Die Wirkungen der aufeinanderfolgenden Ent-

1) Versuche und Beobachtungen am Blute. Sitzungsber. d. kais. Akademie in Wien Bd. 46 Abth. 2 S. 92. 1862. Ueber die Wirkung des Entladungsstromes auf das Blut. Bd. 47 Abth. 2 S. 356. 1863. Vergleiche damit auch Versuche über thatsächliche und vermeintliche Beziehungen des Blutsauerstoffes. Bd. 52 Abth. 2 S. 246 und die viel später erschienene Arbeit: Ueber die Wirkung, welche Salze und Zucker auf die rothen Blutkörperchen ausüben. Bd. 84 Abth. 3 S. 157. 1881.

ladungen addiren sich. In jedem Element des vom Blute gebildeten Leiters ist die Aufhellung abhängig von der auf die Einheit des Querschnittes bezogenen Intensität, d. i. von der Dichte des Entladungsstromes, mit welcher sie proportional wächst. Sie ist ferner abhängig von einer Grösse, welche man als spezifische Resistenz der Blutkörperchen bezeichnen kann, die in verschiedenen Blutarten verschieden ist, die man durch Salz- oder Zuckerzusätze zum Blute unabhängig von dem specifischen Widerstande des Blutes verändern kann, und mit deren Zunahme die aufhellende Wirkung des Stromes abnimmt.

Unter Intensität des Entladungsstromes kann, wie die Untersuchungen von Riess¹⁾ gelehrt haben,

$$J = \frac{E}{R}$$

verstanden werden. Das ist die nach dem Ohm'schen Gesetze ausgedrückte Anfangsintensität des bekanntlich durch eine äusserst steil-abfallende Intensitätscurve darzustellenden, nur eine nach Milliontel Secunden zählende Dauer besitzenden Stromstosses. Das ist aber nur eine für die Beurtheilung der Wirkung der Entladungsschläge bequeme Annahme.

In der That wissen wir, dass, wenn die Ladungsquantität der Flasche oder des Condensators $C = V \times F$ beträgt, worin C Coulombs beziehungsweise Mikrocoulombs, V Volt und F Farad (beziehungsweise Mikrofarad) bedeuten, die Quantität der Entladung (Integralstrom)

$$C = \int J dt \text{ ist}$$

und von einer gleichbleibenden Intensität wie beim galvanischen Strom ausdrückbar durch

$$J = \frac{C}{t}$$

nicht gesprochen werden kann.

Erst nach den angeführten Untersuchungen in Röhren und Trögen richtete ich mir Versuche ein²⁾, bei welchen ich die Veränderungen der Blutkörperchen unter dem Mikroskope verfolgen konnte.

Auch für diese diente mir nur der Entladungsstrom einer Flasche, die auf 1 mm Schlagweite geladen wurde. Die Breite der dünnen zwischen überall gleich weit abstehenden Staniolelektroden (später

1) Die Lehre von der Reibungs-Elektricität. Berlin 1853.

2) Ueber die successiven Veränderungen, welche elektrische Schläge an den rothen Blutkörperchen hervorbringen. Sitzungsber. d. Wiener Akademie Bd. 50 Abth. 2 S. 178. 1864.

benützte ich dünnstes Platinblech) aufpräparierten, mit einem Deckgläschen bedeckten Blutschicht, durch welche die Entladung stattfand, betrug 6 mm.

Einen ganz anderen Versuch stellt sich nun L. Hermann zusammen, wie er meint zur Ausführung des Rollett'schen Versuches, welcher die bequemste mikroskopische Beobachtung gestatten soll und die ungemein störende Gasentwicklung unter dem Deckglas vollkommen vermeidet.

Auf eine Glasplatte von 180 mm Länge und 60 mm Breite klebt er 80 mm lange, 15 mm breite Staniolstreifen, die einen Raum von 20 mm Länge zwischen sich frei lassen. Der Blutstropfen kommt in die Mitte dieses Raumes, wird mit einem quadratischen Deckglas von 15 mm Seite bedeckt und hierauf werden mit physiologischer Kochsalzlösung getränkte Papierstreifen über die Staniolstreifen gelegt und mit ihren Enden bis an den Rand des Deckgläschens herangeführt, so dass eine leitende Verbindung zwischen Präparat und Elektroden hergestellt ist.

Die Ströme entnimmt L. Hermann einem kleinen Ruhmkorff'schen Inductor von 3 cm Funkenlänge, der von 6 Accumulatoren mit einem Vorschaltewiderstand von 2—4 Ohm betrieben wird.

Das ist doch etwas ganz Anderes als mein Verfahren. Es führt auch zu ganz anderen Resultaten.

Der grossen, störenden Gasentwicklung, die L. Hermann angibt, haben wir schon gedacht. Ferner: Objectträger und Deckgläschen erhitzen sich, so dass die Erhitzung mit dem aufgelegten Finger wahrgenommen wird. Die Frontlinse beschlägt. Nach einiger Zeit der Einwirkung von Inductionsströmen werden die Blutkörperchen rasch aufgelöst, das Blut wird durchsichtig.

Aber ich muss jetzt, nachdem ich L. Hermann's Versuch oft wiederholt habe, hinzufügen, dabei bleibt es nicht; lässt man die Ströme des Inductoriums länger wirken, so tritt Eiweissgerinnung, Verdampfung von Wasser, Eintrocknung, Verkohlung und Glühen auf. Trocknet das auf die Elektroden aufgelegte Papier, oder trocknen die Thonlager, die L. Hermann statt dessen anfangs auch verwendete, so treten die auch von L. Hermann schon hervorgehobenen Glüh- und Funkenerscheinungen auf.

Nichts von alledem, mit Ausnahme des Lackfarbigwerdens des Blutes, ist bei meinem Versuche zu bemerken, und die Veränderung der Blutkörperchen erfolgt unter ganz anderen Erscheinungen und

langsamer. L. Hermann hätte das sofort erkannt, wenn er nur auch meine Versuche mit Entladungen von Leydener Flaschen wiederholt hätte.

Bei meinen Versuchen ist die Gasentwicklung minimal und nicht störend, nur unter dem Mikroskope sind einige Gasbläschen an den Rändern der Stanirolektroden zu sehen. Von einer sinnlich wahrnehmbaren Wärmewirkung keine Rede. Lässt man noch lange, nachdem die Blutkörperchen ihre Endveränderung erlitten haben, Flaschenentladungen durch die dünne Blutschicht gehen, so treten auch dann keine sinnlich wahrnehmbaren Wärmewirkungen, keine Eiweissgerinnungen, keine Verdampfung, keine Verkohlungen, keine Glüherscheinungen auf, kurz, wir haben etwas ganz Anderes vor uns als in dem Versuche L. Hermann's. In beiden Fällen haben wir es zwar mit hochgespannten Strömen zu thun, aber der zeitliche Verlauf und die abgeglichene Elektrizitätsmenge sind anders bei Inductionsströmen und anders bei Condensator-Entladungen, und die ersteren üben eine andere Wirkung aus als die letzteren.

1. Untersuchungs-Methoden.

Ich muss nun anführen, dass alle meine angeführten älteren Versuche mittelst Elektrisirmaschine und Flasche oder Flaschenbatterie angestellt waren.

Bei den Versuchen, welche ich hier mittheilen will, traf ich eine andere Anordnung, bei deren Darlegung ich nun etwas verweilen muss. Es kamen dabei Inductorien und Flaschenbatterien und statt der letzteren später Condensatoren anderer Art in Anwendung. Es lässt sich mittelst dieser Behelfe der Unterschied der Wirkungsweise der Entladungen des Inductoriums und jener von Condensatoren auf das Blut am augenfälligsten demonstrieren.

Bei einer ganzen Reihe von Versuchen spielt aber dann das Inductorium nur die Rolle der Elektrisirmaschine. Es wird statt dieser zum Laden der Condensatoren benützt.

Der Fall der Ladung einer Leydener Flasche oder einer Flaschenbatterie mittelst eines Inductoriums ist von verschiedenen Autoren behandelt worden. Ich verweise besonders auf Mascart¹⁾, welcher am lehrreichsten darüber handelt.

1) Handbuch der statischen Electricität. Deutsch bearb. Dr. J. G. Wallentin. Bd. 2 S. 366. Wien 1886.

Mascart verbindet die Belegungen der Batterie mit den Armen eines Entladeters. Gleichzeitig ist der äussere Beleg der Batterie mit dem einen Pole (Kathode) der Inductionsrolle verbunden. Zwischen dem inneren Belege der Batterie und dem anderen Pole (Anode) der Inductionsrolle ist eine Funkenstrecke eingeschaltet, welche viel grösser sein muss als die zwischen den Kugeln des Entladeters vorhandene Schlagweite.

Ich habe in meinem Laboratorium eine Batterie von 12 Leydener Flaschen, die alle zusammen und jede für sich und in beliebiger Anzahl combinirt verwendet werden können. Die ganze Batterie hat 12432 qcm einseitigen Beleg. Sie gibt mit einem grossen Funkeninductor von Keiser und Schmidt geladen unter günstigen Bedingungen 28—30 Entladungen in der Minute auf 20 mm Schlagweite zwischen Entladerkugeln von 2,5 mm Radius, wenn die Funkenstrecke des Inductoriums 60 mm zwischen Spitze und Platte beträgt; der Funkeninductor ist Nr. 9 von Keiser und Schmidt (prim. Spir. 330 Wind. secund. Spir. 52800 Wind., angegebene Funkenlänge 25 cm). Ich benützte aber zur Stromunterbrechung keinen der dem Inductorium beigegebenen Unterbrecher, sondern es wurde in die primäre Spirale ein rotirender Unterbrecher von Max Kohl in Chemnitz geschaltet, der durch einen eigenen Strom betrieben werden muss¹⁾. In die primäre Spirale wurde ein Strom geschickt, der, wenn der Contact des Unterbrechers geschlossen war, $7\frac{1}{2}$ —8 Ampère hatte, beim Arbeiten des Unterbrechers auf 3—5 Ampère sank. Man darf sich nicht vorstellen, dass die Leistung des Inductoriums für das Laden der Flaschenbatterie eine besonders grosse ist. Mit Töpler's 60plattiger Maschine gibt eine Batterie von 17000 qcm einseitigem Beleg in der Minute reichlich 90—100 Entladungen bei einer Schlagweite von 20 mm zwischen Entladerkugeln von 2,5 mm Radius, wie ich einer dankenswerthen Mittheilung meines hochgeehrten Freundes Töpler entnehme.

1) Ich machte auch einige Versuche mit einem Wehnelt'schen Unterbrecher, allein ich überzeugte mich bald, dass sich die Frequenz desselben nicht wie die des rotirenden Unterbrechers reguliren lässt. Auf sehr frequente Unterbrechungen gestellt, machte er aber, dass das Inductorium nicht zu der später zu beschreibenden Ladung eines Condensators benutzt werden konnte, weil die Ströme zwischen Inductorium und Condensator oscillirend wurden und die Ladung des letzteren sehr gering blieb.

Eine solche Maschine stand mir nicht zur Verfügung; allein wir werden sehen, dass ich eine grosse Frequenz der Condensator-Entladungen nur zu einer bestimmten Reihe von Versuchen brauchte, und dafür reicht die Anordnung mit dem Inductorium aus, die bei meinen Versuchen sich auch noch durch die schon angeführten Gründe empfahl.

Ich glaube nicht, dass die vorausgehende ausführliche Auseinandersetzung überflüssig war, sie wird für Diejenigen, welche meine Versuche nachmachen wollen, eine gute Anleitung sein, und

Fig. 1.

ich musste sie auch für das richtige Verständniss des Nachfolgenden geben. Ich wendete nämlich für die später mitzutheilenden Versuche nicht mehr wie anfänglich die Leydener Flaschenbatterie, sondern an Stelle derselben einen viel bequemeren Apparat an, einen Condensator, welcher sich zu hohem Potential laden lässt und welcher im physikalisch-mechanischen Institute des Prof. Dr. M. Th. Edelmann in München für mich hergestellt wurde.

Der Condensator soll zunächst beschrieben werden. Seine äussere Form gibt die Figur 1 wieder. In der Figur erscheint auch der obere Theil des Tisches, auf welchen der Condensator steht. Der Condensator gleicht den von Edelmann angefertigten Präcisionscondensatoren, ist aber viel grösser als diese.

Der niedere Kasten aus Mahagoniholz, welcher den Condensator einschliesst, ist 64 cm lang, 52 cm breit und 12 cm hoch. Er hat seitlich zwei Handhaben zum Tragen.

Auf seiner oberen Fläche ist auf der einen Seite eine 39 cm lange und 19 cm breite Ebonitplatte aufgeschraubt, welche die vernickelten Polleisten *A* und *B* trägt. An dem Ende, welches in der Abbildung dem mit den Buchstaben bezeichneten Ende gegenüberliegt, trägt jede dieser Polleisten eine Verbindungsdoppelklemme. Neben der mit *A* bezeichneten Polleiste befindet sich eine mit den Ziffern 1—6 versehene dünne Lamelle aus Celluloid als Scala. In der Mitte zwischen den Polleisten ragen aus der Ebonitplatte aufsteigend sechs Hülsen hervor, welche die Zapfen von sechs mit isolirenden Griffen versehenen Steckklemmen aufnehmen, deren federnde Fortsätze auf der Polleiste *A* fest aufliegen, und deren letzte in der Abbildung mit *S* bezeichnet ist. An die Polleiste *B* sind alle demselben Vorzeichen entsprechenden Belege (äussere) des Condensators angeschlossen, während die entgegengesetzten Belege (innere) einzeln in passender Entfernung an die Hülsen für die Stecker angeschlossen sind, und mittelst der letzteren können sie erst an die Polleiste *A* angeschlossen werden. Die die Belege bildenden Staniolplatten im Innern des Kastens sind quadratisch von 35 cm Seite. Zwischen den abwechselnd liegenden ungleichartigen Belegen befinden sich 12 quadratische Hartgummiplatten als Dielectricum von 45 cm Seite und einer Dicke von 4,25 mm. Alles, was im Innern des Kastens nicht von den Condensatorplatten ausgefüllt ist, ist mit chemisch reinem Paraffin ausgegossen.

In dem nebenstehenden Schema bedeuten die dicken Striche die Hartgummiplatten, die nach oben an die Polleiste *B* angeschlossen dünnen Striche bedeuten die äusseren Belege, die nach oben im Falle des Aufruhens aller Stecker an die Polleiste *A* angeschlossen dünnen Striche bedeuten die inneren Belege des Condensators.

Fig. 2.

Durch Handhabung der Stecker kann der Condensator gleichsam in 6 Elemente zerlegt werden, so dass man mit 1 bis 6 Elementen arbeiten kann.

Die Capacität von

1 entspricht 0,00180 Mikrofarad

2 " 0,00185 "

3 " 0,00179 "

4 " 0,00185 "

5 " 0,00179 "

6 " 0,00179 "

Zusammen 0,01087 Mikrofarad.

Die Gesamttisolation beträgt 1 000 000 Millionen Ohm. Diesen Condensator habe ich mittelst des oben angeführten Inductorium zu hohen Potentialen geladen und die Entladungsschläge desselben durch verschieden gestaltete aus Blut gebildete Leiter geschickt. Die Schaltung werde ich gleich später angeben.

Vorher möchte ich aber noch bemerken, dass Entladungen verschieden gebauter Condensatoren, sowohl solcher, welche mit constanten Ketten, als auch solcher, welche mit Inductorien geladen worden waren, für physiologische Zwecke schon von verschiedenen Seiten in Anwendung gezogen wurden. Für die erstere Art der Ladung verweise ich auf Dubois¹⁾ in Bern, ferner auf N. Cybulski und J. Zanietowski²⁾.

Fig. 3.

J Inductorium, *A* dessen Anode, *Sp* Spitze, *P* Platte, *F* Funkenstrecke des Inductorium, *C* Condensator, *E* Entlader, *S* Schlagweite des Condensator, *B* Blut, *K* Kathode des Inductorium, Drähte führen von der Platte zum Condensator, von diesem zu dem einen Arm des Entladers vom anderen Arm des Entladers zum Blute, von diesem zum Condensator und von diesem zur Kathode des Inductorium. *kk'* Klemmen zur Aufnahme der Apparate in den Schliessungsbogen.

1) Untersuchungen über die physiologische Wirkung von Condensatoren-Entladungen. Separat-Abdruck aus den Mittheilungen der naturf. Gesellsch. in Bern 1888.

2) Ueber die Anwendung des Condensators zur Reizung der Nerven und Muskeln statt des Schlittenapparates von du Bois-Reymond. Pflüger's Arch. Bd. 56 S. 45. 1894.

Der letzteren Art der Ladung von grossen Condensatorplatten bedienten sich J. S. Prevost und F. Battelli¹⁾, deren Schaltung von Inductorium und Condensatorplatten ähnlich der unseren ist.

Das Schema ist in Figur 3 enthalten und aus der Erklärung sofort verständlich. F betrug 60 mm, während S 10—20 mm gross genommen wurde.

Aus den vorliegenden Bestimmungen²⁾ des elektrostatischen Potentials in c. g. s. Einheiten für Entladerkugeln von 2,5—5 mm Radius und Schlagweiten von 1—2 cm berechnet sich in bekannter Weise für dasselbe in Volt:

Entladerkugeln Rad. in mm	Schlagweite in cm	Potential in Volt
2,5	1	20 199
2,5	2	23 052
5,0	1	26 199
5,0	2	33 052

Ich habe meine Versuche am Blute nur mit Entladerkugeln von 2,5 oder 5 mm Radius bei Schlagweiten von 1 oder 2 cm gemacht, gewöhnlich habe ich mit Entladerkugeln von 5 mm Radius bei 1 cm Schlagweite gearbeitet.

Aus der bekannten Capacität des Condensators und seiner Elemente in Mikrofaraad und der betreffenden Voltzahl lässt sich die Entladungsmenge in Mikroculomb finden, und man wird, wenn man noch den Rückstand berücksichtigt, finden, dass jedes Mal eine verhältnissmässig kleine Menge entladen wird.

Die Anwendung eines Condensators wie des beschriebenen bietet im Vergleiche mit einer Flaschenbatterie von derselben Capacität nicht nur den Vorthail, dass er einen viel kleineren Raum einnimmt und leichter zu handhaben ist, sondern auch den, dass er von dem Feuchtigkeitszustand der Luft ganz unabhängig functionirt, was bei einer Flaschenbatterie bekanntlich nur durch ganz besondere und schwerfällige Schutzapparate zu erreichen ist.

2. Sinn und Bedeutung der älteren Versuche.

Ehe ich nun einige Versuche mittheile, muss ich in Erinnerung bringen, wie die Abhängigkeit des Lackfarbigwerdens des Blutes

1) La mort par les decharges électriques. Journ. de Physiol. et de Pathol. génér. t. 1 p. 1086 et 1087 u. Fig. 1; vgl. auch A. u. F. Battelli, Trattato pratico per le ricerche d'elettricità in medicina p. 300—311 u. p. 664 u. 665. Roma 1898.

2) Heydweiller, Wiedemann's Annalen Bd. 48 S. 213. Vgl. auch Kohlrausch prakt. Physik S. 483. 8. Aufl. Leipzig 1896.

von der Anzahl der Entladungen und von der Stromdichte früher in ganz unzweifelhafter Weise von mir festgestellt worden ist.

Es geschah das durch den Nachweis, dass die Aufhellung des Blutes, wenn es in ein in der Mitte verengtes Röhrchen aufgenommen wird, am engsten Theile zuerst erfolgt und von da nach beiden Seiten hin gleichmässig fortschreitet. Wird ein Röhrchen angewendet, welches eine Reihe verschieden verengter Stellen besitzt, so tritt die Aufhellung im engsten Theile zuerst auf, dann im nächst weiteren, dann wieder im nächst weiteren u. s. f.

In einem durchaus gleich weiten Röhrchen zwischen gleichbreiten Metallelektroden wird dagegen das Blut in allen seinen Theilen gleichmässig und gleichzeitig aufgehellt. Im verzweigten Schliessungsbogen, auf welchen wir auch zurückkommen werden, wurde das Blut, wenn es in den beiden Zweigen in gleichlange, aber verschieden dicke Röhrchen aufgenommen war, von denen jedes in allen seinen Theilen gleichweit war, immer vollständig gleichmässig und gleichzeitig lackfarben, weil, wenn q die Querschnitte, J die Intensitäten und R die Widerstände in den Zweigen bedeuten, unter den angeführten Bedingungen

$$\frac{q}{q'} = \frac{J}{J'} = \frac{R'}{R} = n$$

ist, d. h. die Stromdichte in beiden Schenkeln dieselbe ist.

Im getheilten Schliessungsbogen mit zwei gleich langen und gleich weiten Röhrchen in jedem Zweige über einander, also mit 4 Röhrchen, ist auch die spec. Resistenz der Blutkörperchen und ihre Abhängigkeit von Salz- oder Zuckerzusätzen leicht festzustellen.

Endlich sind wie als eine Probe auf alle früheren Deductionen die Stromvertheilungsfiguren im Blute anzusehen, d. i. das Auftreten der Curven gleicher Dichtigkeit in nicht prismatischen aus Blut gebildeten Leitern, in welchen sich im Laufe des Elektrisirens schon aufgehelltes und noch nicht aufgehelltes Blut von einander absetzen, wobei besonders belehrend ist der von Kirchhoff behandelte Fall des Durchganges des Stromes durch eine kreisförmige Scheibe, bei der die Elektroden in einem Durchmesser einander gerade gegenüber liegen. In diesem Falle gilt für die auf den Stromcurven senkrecht stehenden isoelektrischen Curven die Gleichung $\frac{h^2}{h^1} = \text{const.}$, wonach dieselben Kreise sind, beschrieben um die Entfernung zweier Punkte als Durchmesser, welche harmonisch liegen

zu den Einstromungspunkten, da h^1 und h^2 die Entfernungen von den Einstromungspunkten bedeuten. Wichtig ist, dass bei diesen Versuchen die directe Vergleichung in jedem einzelnen Versuche für sich zu den genannten Schlüssen führte, und dafür waren sie in besonderer Weise ausgesonnen. Es werden nämlich so am leichtesten eine Reihe von Schwierigkeiten eliminirt, welche sich aus dreierlei Gründen bei den Versuchen über die Wirkung von Entladungsschlägen auf das Blut ergeben, und welche man nicht übersehen darf, wenn man nicht zu unrichtigen Anschauungen gelangen soll.

Der erste Grund dieser Schwierigkeiten ist, dass wir die Wirkung jedes einzelnen Schläges in eine unmittelbare und in eine durch bestimmte Zeit andauernde Folgewirkung zerlegen müssen.

Diese wichtige Thatsache ist den Erscheinungen unmittelbar zu entnehmen. Sie wird uns später noch in neuen Versuchen beschäftigen. Gleich hier muss ich aber daran erinnern, dass sich die Pausen, welche bei meinen früheren Versuchen zwischen die einzelnen Entladungsschläge eingeschaltet waren, nicht etwa nur zufällig ergaben, etwa weil die Entladungen beim Drehen der Elektrisirmaschine nicht in rascherer Folge erhalten werden konnten. Nein, es wurde absichtlich von einem Schlage zum anderen eine bestimmte Zeit gewartet.

So habe ich bei den Versuchen mit dem in der Mitte verengten Röhrchen angegeben¹⁾, dass unter bestimmten Bedingungen die Aufhellung des Blutes, als deren nächste Ursache der Austritt des Hämoglobins aus den Blutkörperchen und die Quellung der Schatten betrachtet werden muss, nach einem einzigen Entladungsschlage im engsten Theile des Röhrchens beobachtet werden kann, und dass, wenn auch keine Entladung weiter erfolgt, die Aufhellung in einer kurzen, aber messbaren Zeit nach beiden Seiten hin fortschreitet. Erst nach dieser Zeit tritt ein Stillstand ein. Ich habe ferner angeführt, wie ein neuer Schlag die Erscheinung weiterbringt, und dass man 2—4—6 Stunden und mehr zwischen beiden Schlägen verrinnen lassen kann und dass der neue Schlag die Erscheinung in ähnlicher Weise nach beiden Seiten hin fortschreiten macht.

Bei den Versuchen im getheilten Schliessungsbogen habe ich zu bestimmten Zwecken 15 Minuten Pausen zwischen die einzelnen Entladungen eingeschaltet²⁾.

1) l. c. Bd. 47 S. 361.

2) l. c. S. 365.

Ganz regelmässig habe ich aber für grössere Versuchsreihen Pausen von 3—2 Minuten zwischen den einzelnen Schlägen verstreichen lassen¹⁾).

Als den zweiten der Gründe, auf welche oben hingewiesen wurde, muss ich die Abhängigkeit der Entladungsdauer von den Widerständen des Schliessungsbogens anführen. Bei kleinem Widerstande ist die Dauer kurz, bei grossem Widerstande ist die Dauer länger. In Versuchen mit immer gleicher Entladungsmenge wird also wegen der Abhängigkeit unserer Erscheinung erstens von der Anzahl und zweitens von der auf den Querschnitt bezogenen Anfangsintensität der Entladungen²⁾ bei kleinerem Widerstande die Anzahl der für die Aufhellung nothwendigen Entladungen relativ kleiner sein als bei grösserem Widerstande.

Eine Messung der Entladungsdauer in jedem einzelnen Falle würde zu grosse Schwierigkeiten mit sich bringen. Es ist aber zu bemerken, dass bei derselben Schlagweite und Capacität des Condensators der Entladungsfunke um so breiter, heller leuchtend und knallender wird, je mehr der vom specifischen Widerstande und den Dimensionen der in den Schliessungsbogen eingeschalteten Leiter abhängige Widerstand abnimmt.

Als der dritte der Gründe, auf welche oben hingewiesen wurde, muss angeführt werden, dass sich der specifische Widerstand des Blutes ändert, während dasselbe lackfarbig wird.

3. Neue Versuche in Röhrchen.

Wir wollen nun einige Versuche kennen lernen, zu welchen ich, wenn nicht ausdrücklich etwas Anderes bemerkt wird, defibrinirtes Schweineblut anwendete. An erste Stelle setze ich einen Versuch in einem geraden gleichweiten Röhrchen, welches wir mit *I* bezeichnen wollen und welches in die Klemmen *kk'* des Schliessungsbogen (siehe Fig. 3) aufgenommen wird. Seiner Form nach stimmt es mit einem von mir schon früher³⁾ beschriebenen Röhrchen überein und ist es in Fig. 4 *I* zusammen mit einem anderen später zu beschreibenden Röhrchen abgebildet.

Die untere Elektrode ist pfropfenförmig, die obere deckelförmig. Durch das leicht verständliche Kautschukband wird die deckelförmige Elektrode auf der oberen Mündung festgehalten. Zwischen gleich-

1) l. c. Bd. 50 S. 189 und 190 und Bd. 84 S. 162.

2) Siehe das Frühere S. 201.

3) l. c. Bd. 50 S. 198.

breiten Elektroden ist dann eine in allen Theilen gleichbreite Blutsäule vorhanden, wenn das Röhrchen mit Blut bis zur Bildung einer Kuppe gefüllt, und das Eindringen von Luft beim Aufsetzen der Elektrode sorgfältig vermieden wurde. Das übergeflossene Blut muss mit Filtrirpapier sorgfältig abgesaugt und das Röhrchen von Aussen wieder gereinigt werden.

Die Dimensionen des Röhrchens waren so gewählt, dass der lichte Querschnitt $\pi R^2 = 0,24$ qcm, die Länge der Blutsäule zwischen den Elektroden 4,4 cm, also das Volumen theoretisch 1,06 ccm betrug, empirisch gemessen ergab sich der Rauminhalt des Röhrchens zu 0,95 ccm.

Bei der früher beschriebenen Einrichtung liess sich entweder bei der maximalen Frequenz der Entladungen des Condensators 38—40 Schläge in der Minute eine Reihe von Entladungen durch das in den Schliessungsbogen geschaltete Blut schicken, oder aber es konnten einzelne Entladungen in 5 oder 2 oder 1 Minutenpausen durch das Blut geschickt werden. Es bedarf dazu nur der nach der Uhr regulirten Handhabung des am Inductorium angebrachten Ausschalters und kann bei den längeren Intervallen auch der rotirende Schlüssel immer ein- und ausgeschaltet werden.

Wir leiten nun zuerst bei 1 cm Schlagweite zwischen Entladerkugeln von 5 mm Radius Entladungsschläge des ganzen Condensators durch das Blut in dem genannten Röhrchen bei der maximalen angeführten Frequenz. Die erste Einwirkung verräth sich dann bei diesen wie bei allen nachfolgenden Versuchen dadurch, dass das Blut im auffallenden Lichte dunkler wird. Wir finden, dass das Blut nach 20—25 Schlägen lackfarbig wird, d. h. sich so aufgehellt hat, als es überhaupt geschehen kann, solange die Spur Trübung, welche durch die Anwesenheit der Schatten der Blutkörperchen bedingt ist, nicht beseitigt ist. Im auffallenden Lichte ist es jetzt tief dunkel geworden. Nachdem wir uns von dieser Thatsache in wiederholten Versuchen überzeugt haben, stellen wir mit demselben Röhrchen wieder mit neuen Portionen desselben Blutes einen Versuch an, dessen Bedingungen den früheren bis auf einen Punkt vollkommen gleichen. Dieser eine Punkt ist, dass wir jetzt zwischen die einzelnen Entladungen Pausen von 5 Minuten einschalten. Wir sehen, dass sich das Blut dann schon nach 4—5 Entladungen ganz ebenso aufhellt und im auffallenden Lichte tief dunkel wird, wie bei der grossen Frequenz der Entladungen erst nach 20—25 Schlägen. Wir

überzeugen uns so von der Richtigkeit der früher auseinander-gesetzten Thatsache.

Wenn wir nun in demselben Röhrchen in entsprechender Weise Versuche mit Intervallen von 2 Minuten zwischen den einzelnen Entladungen machen, so sehen wir, dass auch dabei nur 4—5 Schläge für die Aufhellung des Blutes nothwendig sind, und ein ganz ähnliches Resultat ergeben Versuche mit 1 Minute Pause. Es reicht also schon eine Pause von der letzteren Grösse hin, um die Nachwirkung jeder Entladung zur Geltung kommen zu lassen, und man kann sagen, dass 5 Minuten-Pausen dafür nicht nothwendig sind, dass aber 2 Minuten-Pausen besser als 1 Minuten-Pausen verbürgen, dass die Nachwirkung jeder Entladung ausgenutzt wurde. Handelt es sich um Versuche, bei welchen nur wenige Entladungen in Betracht kommen, dann kann man immerhin auch 5 Minuten-Pausen wählen.

Eine Reihe dicht gedrängter Entladungen ist für die elektrische Aufhellung des Blutes nicht nothwendig, aber der zeitliche Verlauf der Aufhellung wird beschleunigt, denn die Aufhellung erfolgt bei der grossen Frequenz schon in einer halben Minute oder etwas mehr, während z. B. bei Minutenpausen die Aufhellung erst in vier oder etwas mehr Minuten sich vollzieht und bei längeren Pausen noch später. Bedenken wir, dass die nächste Ursache der Aufhellung des Blutes die Abgabe des Hämoglobins an das Serum und das Quellen der Schatten ist, so hat es nichts Unverständliches an sich, dass diese Processe durch eine dicht gedrängte Reihe von Entladungen beschleunigt werden. Doch darauf soll noch später zurückgekommen werden.

Einem Einwande ist noch zu begegnen. Es könnte scheinen, dass die Blutkörperchen, wenn sie einmal von einer Entladung getroffen wurden, sich von selbst auch weiter verändern würden, wenn man nur lange genug warten würde. Dem ist aber nicht so. Wenn man das mit einem Schläge behandelte Blut durch 24 Stunden stehen lässt, verändert es sich nicht weiter, als es sich in den ersten Minuten nach dem ersten Schläge verändert hat, und dasselbe beobachtet man nach den weiteren Schlägen, bis zu jenem, der das Blut in wenig Minuten, nachdem er erfolgte, vollständig aufgehellt erscheinen lässt.

Aehnliche Versuche wie die mitgetheilten kann man in dem bis jetzt benützten Röhrchen anstatt mit allen Elementen des Condensators auch mit wenigen oder einem Elemente desselben anstellen.

Nur muss man dann den rotirenden Unterbrecher durch passende Vorschaltewiderstände auf eine geringe Frequenz einstellen, wenn die Condensator-Entladungen zählbar bleiben sollen.

Die Aufhellung des Blutes erfolgt dann im Röhrchen I erst nach einer grösseren Anzahl von Entladungen. Als Beispiele solcher Versuche führe ich an:

Bei 3 Elementen des Condensators entsprechend der Capacität 0,00544 Mikrofaraad und 1 cm Schlagweite zwischen Entladerkugeln von 5 mm Radius tritt die Aufhellung des Blutes in Röhrchen I ein bei einer Frequenz der Entladungen von 45 in der Minute nach 38—42 Schlägen, in 1 Minutenpausen nach den einzelnen Entladungen nach 7 Schlägen.

Bei einem Elemente entsprechend 0,00180 Mikrofaraad wieder bei 1 cm Schlagweite zwischen Entladerkugeln von 5 mm Radius tritt die Aufhellung des Blutes im Röhrchen I ein bei einer Frequenz der Entladungen von 45 in der Minute nach 64—70 Schlägen, in Pausen von 1 Minute zwischen den einzelnen Entladungen nach 16 Schlägen.

Wir wollen nun zur Aufhellung grösserer Blutmengen übergehen.

Ich werde dazu drei Röhrchen benützen, die ich mit II, III und IV bezeichnen will. Sie haben alle drei genau dieselbe Länge, wie das Röhrchen I, nämlich 44 mm.

Röhrchen II hat im Lichten einen Radius von 5 mm und enthält 3,6 ccm.

Röhrchen III hat einen Radius von 8,5 mm und enthält 9,85 ccm.

Röhrchen IV hat einen Radius von 12,5 mm und enthält 21,9 ccm.

Die Aufhellung des Blutes lässt sich wegen der Dicke der Schicht in diesen dicken Röhrchen nicht richtig beurtheilen. Und würde man sich an das sehr in die Augen springende Dunkeln im auffallenden Lichte halten, so würde man mit dem Elektrisiren des Blutes immer schon früher aufhören, als noch die Aufhellung des Blutes vollkommen aufgetreten ist. Desswegen müssen die dicken Röhrchen immer mit dem Röhrchen I parallel geschaltet in einen verzweigten Schliessungsbogen aufgenommen werden. Das letztere Röhrchen mit der dünnen Blutsäule dient als Proberöhrchen. In dem jeweilig parallel geschalteten dicken Röhrchen macht wegen

$$\frac{q}{q'} = \frac{J}{J'} = \frac{R'}{R} = n,$$

wie schon oben angeführt, das Blut alle Veränderungen, ganz gleichen Schritt haltend mit den Veränderungen im dünnen Röhrchen, durch.

Fig. 4 zeigt die Aufnahme der parallel geschalteten Röhrchen I und IV in den getheilten Schliessungsbogen.

In die gewöhnlichen Doppelklemmen kk' (entsprechend k und k' Fig. 3), mit welcher die Enden des Schliessungsbogens verbunden sind, werden zwei grosse T-förmige Doppelklemmen ee' aufgenommen, und zwar mit ihren verticalen dünneren Schenkeln, der dickere horizontale Schenkel der unteren Klemme e' trägt an beiden Enden Bohrungen, in welche die von den unteren Elektroden der Röhrchen ausgehenden Drähte aufgenommen werden, wo sie mittelst Schrauben festgehalten werden.

Der dickere horizontale Schenkel der oberen Klemme e trägt ähnliche Bohrungen an seinen Enden. Diese Bohrungen sind aber von der Seite her aufgeschnitten, sodass die von den oberen Elektroden ausgehenden Drähte nur von der Seite in die Schlitzte hineingelegt werden können, wonach sie ebenfalls mittelst Schrauben darin festgehalten werden. Für die leichte Einschaltbarkeit der gefüllten Röhrchen empfiehlt sich diese Einrichtung.

Fig. 4.

Ich finde für verschiedene Versuchsreihen in diesen Röhrchen, die bei Zimmertemperatur zwischen $16-20^{\circ}$ C. an verschiedenen Thieren entstammendem Blute angestellt wurden, die Anzahl der zur Aufhellung des Blutes nothwendigen Entladungsschläge im Mittel verzeichnet bei der Frequenz der Entladungen von 38—40 in der Minute

	für Röhrchen I + II	80—90
"	" I + III	140—150
"	" I + IV	270—300,

bei Minuten-Pausen für Röhrechen I + II	20—25
„ „ I + III	100—110
„ „ I + IV	140—150.

4. Versuche mit Temperaturbestimmungen.

An diese Versuche schlossen sich einige andere an, bei welchen die Temperaturerhöhung bestimmt wurde, welche in grösseren Blut-mengen auftritt, wenn dieselben durch frequente Entladungen lackfarbig gemacht wurden. Ich benutzte dazu ein Röhrechen ähnlich den früheren Figur 5. Durch die Mitte der deckelförmigen Elektrode desselben war ein Thermometer mit cylindrischem Quecksilberbehälter eingefügt (Fig. 5). Der Quecksilberbehälter war 22 mm lang und hatte einen Inhalt von nahe 0,276 ccm. Von der deckelförmigen Elektrode ging der Draht, welcher zur Aufnahme in die Klemme bestimmt war, seitlich ab. Das Thermometer erlaubte Fünftel-Grade abzulesen.

Das Röhrechen hielt, wenn das nahe an die untere Elektrode reichende cylindrische Rohr des Thermometers in seine Mitte (siehe Figur) eingesenkt war, 10,45 ccm, also ein im Verhältnisse zum Quecksilberbehälter des Thermometers 37,8 Mal grösseres Volumen. Es wurde mit dem Röhrechen I, dessen obere Elektrode ein passendes Zwischenstück bekam, parallel in den getheilten Schliessungsbogen geschaltet.

Beim Durchleiten von 130—140 Entladungen, welche das Blut im Röhrechen vollkommen aufhellen, sah ich in einer Reihe von Versuchen, die von Temperaturen zwischen 16—20° C. ausgingen, nur eine Temperatursteigerung um 3—5° C. auftreten. Es wurde also immer nur eine Temperatur erreicht, welche weit unter derjenigen (60—65° C.) lag, bei welcher das Blut bei Zufuhr von Wärme lackfarbig wird.

Wenn ich die Temperatur vor dem Elektrisiren und während desselben herabsetzte oder erhöhte, so übte das keinen merklichen Einfluss auf den Gang der Erscheinungen aus, wie das auch schon bei früheren Versuchen¹⁾ hervorgetreten ist.

Fig. 5.

1) l. c. Bd. 50 S. 192.

Für die neuen Versuche liess ich mir von Herrn Glasbläser Gustav Eger ein gleich weites gerades Röhrchen, umgeben von einem Durchflusskühler herstellen (Fig. 6). Beide Elektroden waren pfropfenförmig, die obere hatte in ihrer Mitte einen sehr feinen Canal, durch welchen beim Aufsetzen das überschüssige Blut entweichen konnte. Zwischen den Elektroden war eine 38 mm lange, überall gleich dicke Blutsäule, 1,1 cm entsprechend, eingeschaltet. Das kleine Loch in der oberen Elektrode bringt keine Störung hervor und kann vernachlässigt werden. Die von den Elektroden abgehenden Drähte wurden wieder in die Klemme *k* und *k'* des Schliessungsbogens aufgenommen. Ich verglich den Verlauf der Erscheinungen beim Elektrisiren des Blutes im Röhrchen, wenn vorher und während des Versuches Eiswasser von 0° durch den Kühler geleitet wurde, mit den Erscheinungen bei der Temperatur von 18° C. und jenen beim Durchleiten von Wasser von 50° C. durch den Kühler. Es ergab sich kein merklicher Einfluss dieser verschiedenen Temperaturen auf den Verlauf der Erscheinungen, wie die nachfolgenden Beispiele zeigen.

Fig. 6.

1. Ganzer Condensator, 1 cm Schlagweite bei Radius 5 mm der Entladerkugeln. Temperatur 0° C. Eiswasserkühlung; bei Frequenz 38—40 Entladungen in der Minute, das Blut nach 22 Schlägen aufgehellt.

2. Versuch unter sonst gleichen Bedingungen bei 18° C., das Blut nach 22 Schlägen aufgehellt.

3. Versuch unter sonst gleichen Bedingungen bei 50° C. und Durchleiten von Wasser von 50° C. im raschen Strome. Es scheint, dass schon 20 Schläge das Blut aufhellen, aber es lässt sich nicht sicher entscheiden, ob nicht 2 weitere Schläge die Aufhellung noch deutlicher machten, also höchstens 2 Schläge Differenz.

Ein anderes Beispiel theile ich von 5 Minuten-Pausen-Versuchen mit.

4. Unter sonst gleichen Bedingungen wie bei den früheren Versuchen bei 0° C. und Eiswasserdurchleitung 4 Schläge in 5 Minuten-Pausen für die Aufhellung nothwendig.

5. Versuch unter Bedingungen wie in 4 aber bei 18° C. Es hellen 4 Schläge das Blut auf.

6. Versuch unter denselben Bedingungen aber bei Durchleitung von Wasser von 50° C., gleichfalls 4 Schläge für die Aufhellung nothwendig.

Weitere Folgerungen aus den Versuchen mit Temperaturbestimmung und Abkühlung und Erwärmung werden sich später ergeben.

5. Versuche in Trögen.

Schon in einer früheren Arbeit¹⁾ habe ich vorgeschlagen, sich eines parallelepipedischen Trogcs zu bedienen, um die Wirkung des constanten Stromes und die Wirkung von Entladungsschlägen der Leydener Flasche auf das Blut miteinander zu vergleichen und die grosse Verschiedenheit beider Einflüsse sich klar vor Augen zu führen.

Solche Tröge können aber noch zu mannigfachen anderen Versuchen dienen, die uns hier interessiren. Besonders kann man sie benutzen, um die Verschiedenheit der Wirkung von Condensator-Entladungen und der Wirkung von Inductionsströmen auf das Blut zu demonstriren. Ich habe mir eine Reihe solcher Tröge von bestimmten Dimensionen herstellen lassen. Sie bestehen jeder aus einem oblongen Stück Hartgummi von bestimmter Dicke, welches einen parallelepipedischen Einschnitt besitzt. Dieser bildet, vorne und hinten mit einer auf den Hartgummi gekitteten planen Glasplatte geschlossen, den Trog für das Blut. An den gegenüberliegenden schmalen Seiten des Einschnittes sind Platinbleche von der Breite des Hartgummi befestigt, die, über die obere Seite des letzteren nach Aussen geführt, zu Klemmen hinleiten, welche zur Aufnahme in den Schliessungsbogen dienen. In Fig. 7 sind zwei solche Tröge, I und III parallel geschaltet, in dem Gestelle dargestellt, mittelst welches ich die Tröge in den Schliessungsbogen bringe. Das letztere besteht aus einem runden Grundbrette, in dessen Mitte die Säule feststeht, auf welcher der leiterartige Träger für die Tröge ruht. Seitlich sind wohl isolirt auf dem Grundbrette zwei dreifache Klemmen e und e' angebracht. Von den je drei Drähten, welche in diesen Klemmen liegen, führen die zwei untersten zu den Klemmen k und k' (Fig. 3)

1) l. c. Bd. 52 S. 256.

des Schliessungsbogens, die zwei mittleren dienen zur Verbindung mit dem oberen, die zwei oberen zur Verbindung mit dem unteren Trog.

Ich führe zunächst die Dimensionen der drei Tröge im Lichten an, welche zu den nachfolgenden Versuchen benützt werden sollen, und bezeichne die Tröge mit I, II und III.

Trog I ist 44 mm lang, 4 mm breit, 6 mm tief, er hat theoretisch einen Inhalt von 1,056 ccm, empirisch von 1,12 ccm.

Fig. 7.

Trog II ist 44 mm lang, 4 mm breit, 22,5 mm tief, er hat theoretisch einen Inhalt von 3,96 ccm, empirisch von 4,35 ccm.

Trog III ist 44 mm lang, 10 mm breit und 23 mm tief, er hat theoretisch einen Inhalt von 10,12 ccm, empirisch von 10,40 ccm.

1. Bei ganzem Condensator, 1 cm Schlagweite zwischen Entladerkugeln von 5 mm Radius, braucht das Blut in Trog I bei grosser Entladungsfrequenz (siehe das Frühere) 25—30 Schläge zur Aufhellung, in Minuten-Pausen 5—6 Schläge.

2. Unter denselben Bedingungen hellt sich das Blut in Trog I

und II, wenn dieselben parallel in den getheilten Schliessungsbogen geschaltet werden, bei grosser Entladungsfrequenz nach 100 Schlägen auf. In Minutenpausen nach 45 Schlägen.

Diese beiden Tröge können auch, weil sie beide gleich breit sind, aber an Höhe verschieden und in beiden wegen der gleichen Dicke der Blutschicht sich die Aufhellung gleich gut beurtheilen lässt, dazu dienen, ad oculos zu demonstrieren, dass bei gleicher Länge der in den getheilten Schliessungsbogen aufgenommenen Blutsäulen das Blut im Zweige von grösserem und im Zweige von kleinerem Querschnitte, ganz gleichen Schritt haltend, sich aufhellt.

3. Unter denselben Bedingungen wie in den Versuchen 1 und 2 hellt sich das Blut in Trog I und Trog III parallel geschaltet bei grosser Frequenz nach 160—170 Entladungen auf, in Minuten-Pausen nach 70 Schlägen. In dem letzteren Versuch dient Trog I wieder als Probetrog für das Blut im Trog III, dessen Aufhellung man der Dicke der Schicht wegen nicht direct beurtheilen kann. In den Versuchen mit den Trögen kann man vor den Trögen auf dem Grundbrette des Apparates einen Draht vertical aufstellen und dessen Sichtbarwerden als Probe für die stattgehabte Aufhellung des Blutes benützen, zur muss man bei Benutzung des Troges I wegen der geringen Höhe desselben sehr nahe mit dem Auge herangehen, auch andere vor dem Troge befindliche Objecte können für die Beurtheilung der Aufhellung des Blutes benutzt werden. Auch das Dunkeln des Blutes im auffallenden Lichte ist in den Trögen sehr schön zu beobachten.

6. Die Elektrolyse des Blutes.

Ich habe schon früher angegeben, warum sich ausser den Versuchen in den Röhrchen auch noch solche in Trögen empfehlen, obwohl sie in Bezug auf das Verhalten zu Condensator-Entladungen ganz übereinstimmende Resultate geben.

Die Tröge kann man eben zu vergleichenden Versuchen verwenden, welche in den durch die Elektroden völlig abgeschlossenen Blutsäulen in den Röhrchen nicht angestellt werden können. Und zu diesen Versuchen wollen wir nun übergehen. Es soll uns dazu der Trog III dienen, welchen wir allein in dem beschriebenen Gestelle anbringen. Vorerst leiten wir einen constanten Strom durch das im Trog enthaltene defibrinirte Schweineblut. Ich benutze den Strom von 15 Accumulatoren, welcher durch die Schwachstromleitung des Institutes zugeleitet wird und zu 40—50 Milliampère bestimmt

wurde. Es tritt sofort, wenn der Strom geschlossen wird, starke Elektrolyse im Blute auf. Ueber die dabei zu beobachtenden Erscheinungen liegen schon aus der Zeit¹⁾ Beobachtungen vor, wo man den galvanischen Strom noch in neugieriger Weise auf alle thierischen Gewebe und Säfte applicirte.

Später musste ich²⁾ etwas näher darauf eingehen, besonders als A. Schmidt³⁾ bei seinen Studien sich des constanten Stromes bediente, um seine Anschauung zu stützen, dass die von mir gefundene Aufhellung des Blutes durch den Entladungsstrom der Leydener Flasche auf einer elektrischen Erregung des Blutsauerstoffes und Auflösung der Blutkörperchen durch das gebildete Ozon beruhe.

Ich habe aber diese Anschauung bald widerlegt⁴⁾.

Die Erscheinungen in unserem Troge, zu welchem wir nach diesen geschichtlichen Bemerkungen zurückkehren, sind die folgenden: Es tritt an der Kathode ein Schäumen auf, die kleinen Gasblasen breiten sich bald auf der Oberfläche des Blutes in der Nähe der Kathode aus, das dünne Häutchen der Gasblasen erscheint grünlich, entsprechend dem Dichroismus alkalischer Hämatinlösungen, nach Innen vor der die Gasblasen enthaltenden Schicht tritt der Breite und Höhe der Platin-Elektrode entsprechend ein im auffallenden Lichte dunkler, rother Streifen auf, und die nachträgliche mikroskopische Untersuchung zeigt, dass in dieser Schicht die Blutkörperchen aufgelöst sind.

An der Anode zeigen sich zunächst an der Platin-Elektrode einzelne grössere Gasblasen, welche in einem weissen Streifen festsetzen, darauf folgen nach Innen braune Lagen, die ihre Farbe saurem Hämatin verdanken, darauf folgt eine dunkle schwarze Masse und dann ein hellerer Streifen⁵⁾. Alle diese Schichten bilden der Platin-Elektrode parallele Streifen. Nur soweit die beschriebenen Erscheinungen an beiden Polen fortschreiten, ist das Blut verändert, alles dazwischenliegende Blut erscheint völlig unverändert.

1) Schübler, Gilbert's Ann. Bd. 39 S. 300. 1811. — Dutrochet, Frierieps Notizen Bd. 33 S. 161. 1832. — Joh. Müller, Handbuch d. Physiol. Bd. 1 S. 128. 1835.

2) l. c. Bd. 47 S. 359 und Bd. 52 S. 253.

3) Virchow's Archiv Bd. 29 S. 29, 1864 und Hämatologische Studien S. 116. Dorpat 1865.

4) l. c.

5) Beim Hundeblut ist zwischen vorletztem und letztem Bande eine Lage von krystallisirtem Hämoglobin vorhanden, was bei dem schwer krystallisirenden Schweineblut fehlt.

Wie man sieht, erklären sich alle diese Erscheinungen durch die Abscheidung von aus der Elektrolyse von Salzen herrührenden Ionen an den Platin-Elektroden, und wir werden später sehen, dass hierbei wesentlich nur die Elektrolyte des Blutserums in Betracht kommen.

7. Wirkung von Inductionsströmen.

Nachdem wir uns so von der Wirkung der Condensator-Entladungen und von der Wirkung des constanten Stromes auf das Blut im Troge III überzeugt haben, wollen wir nun auch Inductionsschläge auf das Blut wirken lassen.

Wenn ich Blut im Troge III benutzte, um das Inductorium, so wie dasselbe früher zum Laden des Condensators diente, also bei derselben Frequenz des rotirenden Unterbrechers und beschickt mit einem Strom von 3—4 Ampères, zwischen den Enden der Inductionsrolle kurz zu schliessen, so trat keine sichtbare Veränderung des Blutes ein, auch wenn die Inductionswechselströme durch 5—10 Minuten und länger hindurch geleitet wurden.

Wenn ich dagegen, um die Schliessungsströme unwirksam zu machen, eine Funkenstrecke von 20—30 mm vorschaltete, indem ich mit der Anode des Inductoriums eine Spitze, die gegenüberstehende Platte aber mit der einen Klemme des Troges, die andere Klemme des Troges aber mit der Kathode des Inductoriums verband, so trat Elektrolyse ganz unter denselben Erscheinungen wie bei Anwendung des constanten Stromes auf, wo die Oeffnungsinductionsströme in das Blut eintreten: die Säure und ihre Wirkungen; wo sie aus demselben austreten: das Alkali und seine Wirkungen.

Wir sind also zu folgenden Resultaten über die Elektrolyse des Blutes gelangt. Bei Condensator-Entladungen, welche das Blut lackfarbig machen, ist die Elektrolyse auf ein Minimum reducirt, bei Entladungen des kurz geschlossenen Inductoriums heben die Wechselströme ihre elektrolytische Wirkung immer wieder auf. Bei Entladungen des Inductoriums mit vorgeschalteter Funkenstrecke und bei der Einwirkung constanter Ströme ist die Elektrolyse beträchtlich und sind an der positiven und negativen Elektrode die oben beschriebenen, für diese Pole charakteristischen Erscheinungen zu beobachten.

Das Blut wird in keinem der drei letzten Fälle in seiner ganzen Masse lackfarbig.

So wie mit der Durchleitung von Condensator-Entladungen

durch das Blut, sind selbstverständlich auch mit der Durchleitung des constanten Stromes und der Inductionsströme Wärmewirkungen verbunden.

Aber die Erwärmung des Blutes im Troge ist bei den angeführten Versuchen immer nur eine geringe, bei den Versuchen mit dem Inductorium ohne Funkenstrecke, welche uns in dieser Beziehung am meisten interessiren, zeigte ein empfindliches, in den Trog eingesenktes Thermometer nach 5—10 Minuten dauerndem Durchleiten eine Erhöhung der Temperatur um 1—3° C. an.

8. Elektrizitätsleitung im Blute.

Wir müssen nun an die Behandlung einer wichtigen Frage herantreten, und diese ist: wie die elektrischen Ströme der verschiedenen Art, die wir nun auf das Blut haben einwirken lassen, durch das Blut geleitet werden?

Durch Untersuchungen von Roth¹⁾, Bugarszky und Tangl²⁾, Stewart³⁾ und Oker-Blom⁴⁾ über die elektrische Leitfähigkeit des Blutes wissen wir, dass die Leitfähigkeit der Blutkörperchen im Vergleiche mit der Leitfähigkeit des Serums eine so geringe ist, dass sie völlig vernachlässigt werden kann und die Blutkörperchen fast als Isolatoren betrachtet werden können. Wir haben das in später mitzutheilenden Versuchen bestätigt gefunden.

Die Leitfähigkeit des Serums entspricht den in demselben enthaltenen Elektrolyten und dem Dissociationsgrad der letzteren.

Die Elektrizitätsleitung im Blute ist also eine elektrolytische, und wir können nach dem Gesetze von Faraday aus der Menge der auftretenden Ionen einen Schluss auf die durchgeleitete Elektrizitätsmenge machen.

Für unsere Versuche am Blute ist es nun von Interesse, in dem Troge III, in welchem wir die Wirkung des constanten Stromes, der Inductionsströme und der Condensator-Entladungen auf das Blut mit einander verglichen haben, auch Versuche mit einer einfachen elektrolytischen Lösung anzustellen, um zu einem Urtheile über die

1) Centralblatt für Physiologie Bd. 11 S. 271.

2) l. c. p. 301 und Pflüger's Archiv Bd. 72 S. 531.

3) Centralblatt für Physiologie Bd. 11 S. 332 und Journal of Physiology vol. 24 S. 211.

4) Thier. Säfte und Gewebe in physik.-chem. Beziehung (I. Mittheilung). Pflüger's Archiv Bd. 79 S. 111.

Vorgänge zu gelangen, welche beim Durchgange von Condensator-Entladungen durch das Blut stattfinden.

Die Leitfähigkeit des Blutserums verschiedener Thiere stimmt mit der Leitfähigkeit von ClNa -Lösungen zwischen 0,66—0,76 % überein. Oker-Blom¹⁾ bezeichnet auf Grund von vergleichenden Untersuchungen mit Rinderblutserum die 0,7 % ClNa -Lösung in Bezug auf die elektrolytische Leitfähigkeit als physiologische Kochsalzlösung.

Eine 0,76 %ige ClNa -Lösung, die auf 10 ccm mit 5—6 Tropfen einer Lösung von Phenolphthalein (1 auf 100) versetzt worden war, diente mir zu den nachfolgenden Versuchen, bei welchen die leichtverständlichen Erscheinungen, welche mittelst dieses empfindlichen Reagens bei Einwirkung des constanten Stromes oder von Inductionsströmen bei vorgeschalteter Funkenstrecke auftreten, mit den Erscheinungen verglichen werden sollten, welche auftreten, wenn der die ClNa -Lösung enthaltende Trog zum Kurzschluss der secundären Rolle des Inductionsapparates verwendet wurde oder aber in den Schliessungsbogen des Condensators eingeschaltet wurde.

In den beiden ersteren Fällen sieht man die Kathode im Trog sich mit einer intensiven Purpurfarbe überziehen, welche von dem darunterliegenden Platinspiegel durchleuchtet wird, während die Anode den blanken Platinspiegel ganz ungefärbt zeigt, und bei einiger Dauer der angewendeten Ströme schreitet die Elektrolyse rasch weiter. Bei Kurzschluss der Inductionsrolle mit dem die ClNa -Lösung enthaltenden Troge zeigt sich dagegen an keiner der beiden Platinelektroden eine Färbung, weil die sich rasch folgenden Wechselströme eine Ausscheidung von Ionen nicht zu Stande kommen lassen.

Wie verhält es sich aber mit den Condensator-Entladungen?

In Bezug auf diese kann die Frage aufgeworfen werden, ob sie oscillirend sind oder nicht, und gerade darum handelt es sich bei den vorliegenden Untersuchungen.

Die Versuche zeigen, dass das Letztere der Fall ist. Die Phenolphthalein-Reaction tritt, wenn die Condensator-Entladungen (6 Elemente 1 cm Schlagweite zwischen Entladerkugeln von 5 mm Radius) so wie bei den Blutversuchen durch die Kochsalzlösung im Troge geleitet werden, immer nur einseitig auf. Sie ist schwach, aber vollkommen deutlich und nimmt mit der Anzahl der Entladungen zu.

1) l. c. S. 123.

Die Reaction tritt an jener Platinelektrode auf, welche mit den mit der Kathode des Inductoriums verbundenen Belegen des Condensators zusammenhängt (siehe Fig. 3 S. 207). Diese Erfahrung über die gleichbleibende Richtung der in unseren Versuchen durch die in den Schliessungsbogen eingeschalteten Flüssigkeiten hindurchgeschickten Entladungen wird auch bestätigt, wenn man, was sich sehr gut ausführen lässt, hinter den die Flüssigkeit enthaltenden Trog eine passende Geissler'sche Röhre schaltet. Bei den durchgehenden Entladungen tritt das Glimmlicht nur an dem Pole auf, der mit den mit der Kathode des Inductoriums zusammenhängenden Belegen des Condensators verbunden ist. An dem anderen Pole der Geissler'schen Röhre ist der leuchtende Punkt an der Spitze der Elektrode. Die Geissler'sche Röhre, welche ich zu diesen Versuchen benutzte, war 15 cm lang. Ich habe sie hinter den mit ClNa-Lösung gefüllten Trog III oder hinter den parallel geschalteten Trögen III und I benützt und sie beobachtet, während das Blut in diesen Trögen durch Entladungsschläge lackfarbig gemacht wurde.

Die ganz unbedeutende Elektrolyse, welche bei unseren Versuchen an dem Blut in den Röhrchen und Trögen auftritt, während das Blut durch Entladungen des Condensators in denselben lackfarbig wird, ist also nicht etwa darauf zurückzuführen, dass Entladungen oscillirend durch das Blut hindurchgehen, sondern sie ist der Ausdruck dafür, dass die chemischen Wirkungen des Entladungsstromes wegen der geringen Elektrizitätsmenge, welche selbst in unserem grossen Condensator enthalten ist, nur sehr geringe sind. Wie ich in Ostwald's Elektrochemie¹⁾ angeführt finde, haben schon Pearson, Ritter und van Marum sich mit den geringen chemischen Wirkungen der Entladungsströme von Leydener Flaschen beschäftigt und hat der erstere 14600 Schläge verwenden müssen, wenn er bei der Wasserzerlegung nur eine kleine Menge Gas erhalten wollte. Andererseits zeigen aber unsere Versuche am Blute und an der ClNa-Lösung, dass wir uns den Durchgang der Entladungen durch das Blut ihrem Wesen nach als eine elektrolytische Durchleitung vorstellen müssen, und daraus werden wir später einige Folgerungen ableiten.

1) Leipzig 1896 S. 25.

9. Geringe Wärmewirkung der Condensator-Entladungen, Versuche an Blut-Leimgemischen.

Vorerst möchte ich darauf verweisen, dass die auf die geringe Menge der im Condensator angesammelten Elektrizität zurückzuführende geringe chemische Wirkung des Entladungsstromes auch darauf hinweist, dass die Wärmewirkung des Entladungsstromes in unseren Versuchen keine besonders grosse sein kann.

Ich habe früher in Versuchen, bei welchen die Menge der durchströmten Flüssigkeit genügend gross war gegenüber dem Quecksilberbehälter des angewendeten Thermometers, gezeigt, dass sich die Temperatur des Blutes während des Elektrisirens nur wenig erhöht.

Da man aber den Einwurf erheben könnte, dass vom Thermometer nur eine viel niedrigere Temperatur angezeigt werde, als sie das Blut während der durchgehenden Condensator-Entladungen wirklich annimmt, wie das L. Hermann¹⁾ thatsächlich darzuthun suchte, so habe ich, obwohl ich Hermann's Bedenken nicht theilen kann, doch Versuche angestellt, welche zeigen, dass eine Temperatur von 60–65 ° C., bei welcher das Blut, wie wir sehen werden, durch Wärme lackfarbig wird, im Blute nicht vorhanden sein kann, wenn dasselbe durch Condensator-Entladungen, wie wir sie bei unseren früheren Versuchen angewendet haben, lackfarbig wird.

Ich habe früher einmal²⁾ zu anderen Zwecken Blut mit Leimlösungen gemischt, die bei gewöhnlicher Temperatur eine steife Gallerte bilden, aber, in Gefässen mit dünnen Wandungen in der geschlossenen Hand gehalten, durch die Wärme der letzteren, also bei 35–36 ° C., sich verflüssigen, und gezeigt, dass die Blutkörperchen des mit solchen Leimlösungen bei 35–36 ° C. gemischten Blutes, wenn sie nach Abkühlung des Gemisches auf Zimmertemperatur in die sich bildende Gallerte eingeschlossen werden, ganz unverändert bleiben, was auch der Fall ist, wenn man die Gallerte wieder in der Wärme der geschlossenen Hand verflüssigt u. s. f.

Von dieser Erfahrung machte ich Gebrauch, um zu sehen, ob durch Condensator-Entladungen, welche das Blut lackfarbig machen, ein Schmelzen der vom Blut-Leimgemisch gebildeten Gallerte zu Stande kommt, ehe die Veränderung des Blutes auftritt, oder ob

1) l. c. S. 163.

2) l. c. Bd. 46 S. 93.

etwa das in die Gallerte eingeschlossene Blut lackfarbig wird, ehe ein Schmelzen der Gallerte zu Stande kommt.

Die Versuche zeigen, dass das Letztere der Fall ist.

Ich bereitete für diese Versuche aus feinstem käuflichem Leim und physiologischer Kochsalzlösung (0,76 %ige) indem ich auf 100 Theile der Lösung 10 g trockenen Leim nahm und denselben in der Lösung anquellen liess und dann auf 40 ° C. erwärmte, eine Leimlösung, welche bei gewöhnlicher Zimmertemperatur, 18—20 ° C., gelatinirte, aber in einer dünnwandigen Eprouvette in der geschlossenen Hand gehalten, also bei 35—36 ° C., vollkommen flüssig wurde.

Gewöhnlich reagiren solche Lösungen schwach sauer, und man muss sie dann mit einer Spur Natronlauge genau neutralisiren.

Mit zwei Theilen der also bereiteten und verflüssigten Leimlösung mischte ich einen Theil in der Kälte gestandenes Blut, welches etwa 10 ° C. hatte, durch rasches Hin- und Herbewegen in der Eprouvette möglichst gleichmässig.

Die Mischung wird bald dickflüssig und gelatinirt darauf zu einer Gallerte, welche aber in der Temperatur der geschlossenen Hand immer wieder sich verflüssigt. Mit der flüssig gemachten Gallerte wurden die Tröge I, II und III vollgegossen und dann das Blut-Leimgemisch wieder gelatiniren gelassen.

War das Blut ganz frisch, dann gelingen alle diese Operationen sehr gut und erhält man schön arteriell gefärbt ein möglichst gleichmässiges Blut-Leimgemisch in den Eprouvetten und Trögen.

Ist das Blut nicht ganz frisch, dann bewirkt die Vermischung mit der Leimlösung leicht eine Reduction des Oxyhämoglobins, und die Blutkörperchen senken sich dann leicht aus dem Blut-Leimgemisch vor dem Erstarren desselben, und die Gemische werden für die Versuche unbrauchbar. Leitet man durch die aus guten Mischungen von Blut und Leimlösung in den Trögen bei Zimmertemperatur erstarrte Gallerte Condensator-Entladungen, so sieht man, dass das Blut sich nach einer Reihe von Entladungen aufhellt; auch hierbei bedarf es in Minutenpausen weniger Schläge als bei rascher Frequenz der Entladungen. Die letztere Art der Aufhellung wurde aber bei diesen Versuchen ihrem Sinne nach in der Regel angewendet. Die Gallerte, welche das Blut in inniger Mischung einschliesst, wird durch die für die Aufhellung nothwendige Anzahl von Entladungen nicht verflüssigt. Erst wenn man eine sehr grosse Anzahl von Entladungen noch durch das schon aufgehellte Blut-

Leimgemisch gehen lässt, bemerkt man, dass die Gallerte weicher oder zähflüssig wird. Das ist wichtig. Es ist aber nur in dem kleinsten Troge I durch eine nicht allzu grosse Zahl von Entladungen zu erreichen, bei Anwendung der parallel geschalteten Tröge I und III müsste man eine sehr grosse Zahl von Entladungen anwenden, wenn man diesen Zustand erreichen wollte, da man schon bei Anwendung der parallel geschalteten Tröge I und II gegen 350 rasch folgende Entladungen braucht, um eine eben merkliche Erweichung der Gallerte zu erzielen.

Ehe ich diese Versuche an Blut-Leimgemischen verlasse, möchte ich eine Beobachtung hier einfügen, die ich später noch zu verfolgen gedenke. Wenn ich die wie durchsichtig gefärbte Hausenblase sich ausnehmende, durch Entladungsschläge lackfarbig gewordene Blut-Leimgallerte aus den Trögen herauslöfelte und in eine Eprouvette brachte, in welcher ich sie wieder bei der Temperatur der geschlossenen Hand verflüssigte, so konnte ich sie in dünner Schicht auf eine Glasplatte ausgiessen. Wird die so gegossene Platte dann getrocknet, so zeigt die durchsichtige trockene Leimschicht eine feurige Oxyhämoglobinfarbe. Vor dem Spektroskop zeigt sie die Streifen des Oxyhämoglobins, und das letztere ist gleichsam in dem Leime fixirt, der noch nach (vier) Monaten in der Farbe, weder für das blosse Auge, noch bei spektroskopischer Untersuchung eine Veränderung zeigt.

10. Versuche an mit Salz- oder Zuckerlösungen versetztem Blute.

Ich kehre nach dieser Einschaltung zurück zu der Wirkung der Condensator-Entladungen auf das Blut, um Einiges über das Verhalten des Blutes gegen Entladungsströme anzuführen, wenn man dasselbe vorher mit Salzen oder mit Zucker versetzt hat.

Meine Versuche¹⁾ über die verschiedene Wirkung des ClNa , Na_2SO_4 , Na_2CO_3 und Na_2HPO_4 werden mit Rücksicht auf die neuen so genauen Methoden, welche wir heute für die Bestimmung der Leitfähigkeit von Flüssigkeiten besitzen, einer Revision unterzogen werden müssen. Hier beschränke ich mich auf einige Ergänzungen meiner vergleichenden Untersuchungen über die Salz- und Zuckerwirkungen. In Bezug auf diese muss ich zunächst kurz auf die

1) l. c. Bd. 84 S. 157.

Hauptresultate verweisen. Die Wirkungen von Salzlösungen und Zuckerlösungen auf das Blut sind in vielen Beziehungen einander ähnlich. Man sieht bei der Anwendung der einen wie der anderen die Blutkörperchen unter dem Mikroskope geschrumpft, wie angenommen wird, in Folge von Wasserentziehung. Salzlösungen sowohl wie Zuckerlösungen verzögern den Eintritt der Blutgerinnung. Salzlösungen machen ebenso wie Zuckerlösungen möglich, dass die Blutkörperchen durch Filtration vom Plasma oder Serum getrennt werden können.

Zuckerzusatz zum Blute setzt aber das Leitungsvermögen desselben herunter, Salzzusatz erhöht es.

Sowohl Zucker als Salzzusatz zum Blute erhöht die spezifische Resistenz der Blutkörperchen, und ich habe gezeigt, dass man auf die Aenderung des Leitungsvermögens der Zwischenflüssigkeit, aber auch auf die Aenderung der Blutkörperchen Rücksicht nehmen muss, wenn man die Wirkung von Salz- und Zuckerzusätzen zum Blute richtig beurtheilen will.

Wenn man mit Salzlösungen von steigender Concentration und mit Zuckerlösungen von steigender Concentration immer in demselben Volumverhältnisse gemischtes Blut elektrisirt, so erhält man ohne Ausnahme für die Salze das Resultat, dass schon nach Salzzusätzen von verhältnissmässig geringen Concentrationsgraden das Blut entweder nur nach einer grossen Anzahl von Entladungen lackfarbig wird oder auch nach einer sehr grossen Zahl von Entladungen nicht mehr lackfarbig wird, während nach Zuckerzusätzen von verhältnissmässig hohen Concentrationsgraden das Blut noch durch eine bestimmte Anzahl von Entladungsschlägen lackfarbig gemacht werden kann.

Nach den neueren Erfahrungen über die Betheiligung der Zwischenflüssigkeit und der Blutkörperchen an der Durchleitung des elektrischen Stromes durch das Blut scheinen mir diese Versuche noch bedeutsamer als zu der Zeit, wo ich sie zuerst angestellt habe, und sie müssen ebenfalls noch vervielfältigt werden.

Vorläufig führe ich aber zur Ergänzung meiner früheren Versuche an, dass man mit den Concentrationen der Zuckerlösungen, welche man dem Blute zusetzt, noch viel weiter hinaufgehen kann, als das bei meinen früheren Versuchen geschehen ist, ohne dass das Blut die Fähigkeit verliert, durch Condensator-Entladungen lackfarbig zu werden.

Während der Zusatz von 3 g in 100 ccm enthaltender oder 0,5128 normaler ClNa-Lösung, und zwar 2 Volumina zu 1 Volumen Blut bewirkt, dass schon eine sehr grosse Zahl von Entladungen nothwendig ist, um noch eine Wirkung zu erzielen und der Zusatz immer höher concentrirter ClNa-Lösungen in demselben Verhältnisse die Zahl der nothwendigen Entladungen rasch steigert und endlich die Fähigkeit des Blutes, durch Entladungsschläge lackfarbig zu werden, aufhebt, wird das Blut bei Zusatz von 2 Voluminen Dextroselösung, enthaltend 31,58 g in 100 ccm, die einer 10,257 g in 100 ccm enthaltenden oder 1,7533 normalen ClNa-Lösung äquimolekulär ist, nach einer Anzahl von Entladungsschlägen lackfarbig, ebenso dasjenige, welches man auf 1 Volum Blut mit 2 Volumina einer Saccharoselösung versetzt hat, die 60,00 g in 100 ccm enthält und wieder einer 1,7533 normalen Chlornatriumlösung äquimolekulär ist. Ich habe vergleichende Versuche dieser Art bei den obigen Einrichtungen mit Entladungen des ganzen Condensators bei 1 cm Schlagweite zwischen Entladerkugeln von 5 mm Radius bei grosser Frequenz der Entladungen (38—40 in der Minute) in einem Troge IV angestellt, welcher 25 mm im Lichten lang, 10 mm tief und 4 mm breit war, der theoretisch 1 ccm, empirisch 1,1 ccm Inhalt hatte.

Eine solche Versuchsreihe ergab beispielsweise für frisches Schweineblut Aufhellung nach 35—40 Schlägen; für 1 Volumen Blut mit 2 Volumina Dextroselösung von 31,58 g in 100 ccm nach 60—70 Schlägen; für 1 Volumen Blut mit 2 Volumen Saccharoselösung 60,00 g in 100 ccm nach 110—120 Schlägen; Blut 1 Volumen mit 2 Volumina der äquimolekulären ClNa von 10,257 g in 100 ccm versetzt, war nach 400 Schlägen noch völlig unverändert, und dasselbe Blut, 1 Volumen mit 2 Volumina einer ClNa-Lösung von 3 % in 100 ccm versetzt, brauchte, um aufgehellt zu werden, schon 250 Schläge.

11. Wirkung von Condensator-Entladungen und von Inductionsströmen auf sehr dünne Blutschichten.

Für die Versuche an mikroskopischen dünnen Blutschichten bediente ich mich meines schon in der Einleitung erwähnten Objectträgers, auf welchen zwischen 6 mm von einander abstehenden Elektroden eine durchaus gleich breite Blutschicht aufgenommen werden konnte. Durch diese Blutschicht wurden bei einer Schlagweite von 1 mm zwischen Entladerkugeln von 2,5 mm Radius die Entladungen

einer Leydener Flasche von 920 qcm einseitigem Beleg gesendet. Zur Ladung der Flasche diente ein kleiner Funkeninductor Nr. 5 von Keiser u. Schmidt (primäre Spirale 160 Windungen, secundäre Spirale 38 Abtheilungen a circa 500 Windungen) welcher, mit 3 Accumulatoren betrieben einer Funkenlänge von 3,5 cm nach dem Verzeichnisse entspricht, aber auch fast das Doppelte der angeführten Funkenlänge gibt. Zur Unterbrechung des Stromes der primären Spirale verwendete ich anstatt des dem Inductor beigegebenen Platinunterbrechers wieder den rotirenden Kohl'schen Unterbrecher, der sich sehr leicht zwischen dem Stativ des entfernten Hammers und dem Stativ der entfernten Spitze des Platinunterbrechers einschalten lässt. Auf sehr langsamen Gang gestellt, erlaubt dieser Unterbrecher wieder bei Handhabung des am Inductorium angebrachten Ausschalters, Flaschen-Entladungen in bestimmten Intervallen zu erhalten. Die Schaltung aller Theile entspricht genau der in Fig. 3 angegebenen, wenn man an Stelle von B sich den beschriebenen, das Blut enthaltenden Objectträger, an Stelle von C die Flasche, und an Stelle von J und E das kleine Inductorium und einen kleinen Auslader vorstellt. Die Funkenstrecke zwischen Spitze und Platte des Inductoriums betrug 2 cm.

An die Stelle der Leydener Flasche habe ich in einigen Versuchen auch einen Edelmann'schen kleinen Präcisionscondensator von 0,01 Mikrofara Capacität gesetzt, aber ein solcher lässt sich nur bis zu einer Schlagweite von etwas über 0,25 mm laden. Bei Versuchen, welche in dieser Art angestellt werden, ergeben sich durchaus die Bilder, welche ich als successive Veränderungen der Blutkörperchen durch elektrische Schläge beschrieben habe¹⁾.

Ich muss besonders aufrecht erhalten, dass auf den Einfluss langsam (in Intervallen von 2 Minuten) aufeinander folgender Schläge die napfförmigen Blutkörperchen ganz frischen Blutes zuerst am Rande einige Kerben bekommen und rosettenförmig werden, dass dann unter Verkleinerung des Durchmessers das Blutkörperchen maulbeerförmig wird, dass die Maulbeerform durch Verschmächtigung der Zacken von der Spitze her in eine Stechapfelform übergeht und darnach auch die spitzen Zacken eingezogen werden, und jetzt das Blutkörperchen eine gefärbte Kugel darstellt. Auf diesem Stadium der Veränderung beharren die Blutkörperchen am längsten, dann geben die Körperchen

1) l. c. Bd. 50 S. 185.

ihren Farbestoff ab, und bleiben nur die entfärbten, schwach lichtbrechenden Schatten zurück.

Auch für die Veränderungen der Froschblutkörperchen muss ich meine früheren Angaben aufrecht erhalten, ganz besonders, dass ein dem Rosetten- und Maulbeer-Stadium der kreisscheibenförmigen Blutkörperchen entsprechendes Stadium der Veränderung existirt, in welchem der Rand mit Einbuchtungen versehen ist, und meist radiär gestellte Wülste in der Mitte des Blutkörperchens zu einem Knoten zusammenlaufen, in welchem der Kern des Blutkörperchens mit seinen Contouren verschwindet. Erst darauf glätten sich die Blutkörperchen wieder, der Kern wird dann scharf contourirt, und das Blutkörperchen geht in einen eiförmigen oder kugeligen gefärbten Körper über, welcher allmähig verblasst und als Rest den von einem schwachen, kreisförmigen Contour umfassten Kern zurücklässt. Wenn L. Hermann¹⁾ und früher Neumann²⁾ bei ihren Versuchen mit Inductionsströmen diese Bilder nicht in der Weise gesehen haben, sondern etwas Anderes, so ist daran nur der Umstand Schuld, dass ihre Versuche eben ganz anderer Natur sind, als meine Versuche mit Condensator-Entladungen. Für die Begründung dieser Behauptung muss ich nun hier gleich einen Versuch anschliessen, der sich auf das früher schon bei Versuchen im Grossen abgehandelte Blut-Leimgemisch bezieht.

Dieses Gemisch, welches bei gewöhnlicher Zimmertemperatur eine Gallerte darstellt, aber bei 35—36° C. flüssig wird, benutzte ich auch in dünner Schicht in der nachfolgenden Weise. Ein Tropfen des flüssigen Gemisches wurde auf den beschriebenen Objectträger gebracht, rasch mit einem Deckgläschen bedeckt und zwischen den Elektroden in dünner Schicht ausgebreitet, worauf es sehr bald wieder erstarrt. Diese dünne Schicht wird mit Condensator-Entladungen behandelt, wie früher das Blut. Die in die Gallerte eingeschlossenen kleinen Blutherde werden durch Veränderung der Blutkörperchen ebenso lackfarbig, wie eine dünne Blutschicht allein; dadurch wird die Gallerte, ohne dass sie vorher schmilzt, durchsichtig gefärbt. Ist das nach wenigen Entladungen eingetreten, dann versuche man, rasch das Deckgläschen abzuheben; bleibt dabei, was nicht immer, aber öfter gelingt, die Gallerte an dem Deck-

1) l. c.

2) l. c.

gläschen haften, dann sieht man sie in drei Bänder getheilt: ein mittleres durchsichtiges, welches der zwischen den Elektroden gelegenen Gallerte entspricht, und zwei seitliche undurchsichtige, entsprechend den über den Elektroden gelegenen Theilen der Gallerte, in welchem die Blutkörperchen unverändert blieben.

Mit diesen Erfahrungen gehen wir nun an die Versuche über die Wirkung von Inductionsschlägen auf dünne Blutschichten.

Ich halte mich dabei ganz an die von L. Hermann angegebene Versuchsanordnung, die in der Einleitung mitgetheilt wurde, und leite durch die dünne Blutschicht die Wechselströme des angeführten kleinen Inductoriums.

L. Hermann gibt an, dass bei capillaren Blutschichten unter dem Deckglase die Erwärmung durch Inductionsströme so stark ist, dass sie meist dem aufgelegten Finger erkennbar ist.

Ich kann das nur vollkommen bestätigen, ebenso sicher ist es aber auch, dass bei den eben beschriebenen Versuchen mit Condensator-Entladungen von einer solchen Erhitzung nichts wahrzunehmen ist.

Das Blut verändert sich bei dem Versuche von L. Hermann so, wie derselbe es beschrieben hat. Nur muss ich hinzufügen, dass dem Durchsichtigwerden des Blutes sehr bald, wenn man nicht sofort nach dem Auftreten dieser Erscheinung die Inductionsströme unterbricht, auch Gerinnung der Eiweisskörper des Blutes, Verdampfung des Wassers und Verkohlung folgt.

Stellt man den Versuch mit einer dünnen Schicht des angegebenen Blut-Leimgemisches in analoger Weise, wie früher bei den Condensator-Entladungen, an, dann sieht man, dass bei der Einwirkung der Inductionsschläge zuerst die Blutleimgallerte schmilzt und eine Sammlung des in die Leimgallerte eingeschlossen gewesenen Blutes in kleinen Herden stattfindet, worauf erst das Blut durchsichtig wird. Es wird also bei diesem Versuche, anders als wie bei dem früheren, zuerst der Leim flüssig und dann das Blut aufgehellt, während bei dem früheren Versuche mit Condensator-Entladungen das Blut lackfarbig wird, ohne dass sich der Leim noch verflüssigt hätte.

Man kann in Flüssigkeiten Körperchen suspendiren, die sich in Temperaturen verändern, die über der Temperatur, bei welcher die Blutkörperchen ihr Hämoglobin abgeben und sich in Schatten verwandeln, ja noch über der Gerinnungstemperatur des Eiweisses liegen.

Beim Hindurchleiten von Inductionsströmen durch dünne Schichten solcher Flüssigkeiten lassen sich aber Wirkungen erzielen, die man in mehrfacher Beziehung als Analogon der bei den Versuchen am Blute erhaltenen ansehen kann.

Ein sehr schöner Versuch dieser Art ist der der Verkleisterung von feinsten in 0,76 % ClNa -Lösung aufgeschwemmter Reisstärke.

Ich bringe in 15 cm der Kochsalzlösung etwa 1 g feinsten Reispuder und schüttle gut durcheinander. Ein Theil der Reisstärke fällt nach dem Schütteln gewöhnlich rasch zu Boden. Der grösste Theil bleibt aber durch längere Zeit in der Flüssigkeit suspendirt. Den die Reisstärke suspendirt enthaltenden Theil giesse ich ab und schüttele ihn vor jedesmaligem Gebrauche auf. Ein Tropfen dieser Suspension, in dünner Schicht möglichst gleichmässig unter dem Deckglase ausgebreitet, was eben so wie beim Blut grosser Mühe bedarf und nicht immer gleich gelingt, erscheint als weisse undurchsichtige Schicht. Leitet man nun die Wechselströme des Inductors in derselben Weise durch, wie früher durch das Blut, so wird die Schicht durch Verkleisterung der Stärke vollständig durchsichtig. Unterbricht man dann den Versuch und sucht das Deckglas abzuheben, so überzeugt man sich, dass dasselbe über einer zusammenhängenden Schicht von Kleister liegt. Auch kann man, ebenso wie beim Blutversuche, durch Zuspitzen der mit Kochsalzlösung getränkten Papierstreifen, welche von den Stanniolektroden zum Präparate leiten, das Fortschreiten der Aufhellung nach Dichtigkeitscurven demonstrieren.

Die Temperatur, bei welcher die Reisstärke in der genannten Suspension verkleistert, beträgt 81°C . Sie wurde bestimmt in einem gewöhnlichen Apparat zur Bestimmung des Schmelzpunktes, in welchen eine mit der weissen Stärke-Suspension beschickte Capillare gebracht und beobachtet wurde, bei welcher Temperatur die Suspension durchsichtig wird. Bei Versuchen mit Condensator-Entladungen gelingt es weder in den Röhrchen und Trögen im Grossen, noch auch bei den angeführten mikroskopischen Versuchen, die Stärke in der angegebenen Suspension zu verkleistern.

Da man, wie das L. Hermann angeführt hat, die Erhitzung capillarer Blutschichten unter dem Deckglase mit dem aufgelegten Finger wahrnehmen kann, so schien es mir nicht ausgeschlossen, über diese Erhitzung auch einen Aufschluss mittelst des Thermometers zu bekommen. Und wenn ich mir auch sagen musste, dass dabei ganz genaue

Messungen der im Blutpräparate selbst herrschenden Temperaturen wahrscheinlich nicht zu erzielen sein werden, so versuchte ich, der Sache doch nachzugehen, weil ich voraussetzen musste, dass die Temperaturmessungen bei den Versuchen der letzteren Art, verglichen mit den früher mitgetheilten Versuchen der Bestimmung der Temperatur beim Behandeln des Blutes mit Entladungsschlägen in Röhrchen und Trögen doch einen Aufschluss über die verschiedene Intensität der Erwärmung in dem einen und in dem anderen Falle ergeben müssen, und so die grosse Unabhängigkeit der Erscheinungen von der Erwärmung in dem einen Falle, und die Abhängigkeit der Erscheinungen von der Wärmewirkung in dem anderen Falle sich auch in dieser Art erweisen lassen müsse.

Ich suchte, ausgehend von L. Hermann's Versuch, wie gross die capillare Blutschicht unter dem Deckglase gemacht werden kann, so dass man an derselben mit den mir zu Gebote stehenden Mitteln noch die an der 30 qmm grossen dünnen Blutschicht von L. Hermann erzielten Erscheinungen erhalten kann.

Dabei fand ich, dass sich das noch an einer 25 qcm grossen dünnen Blutschicht erreichen lässt.

Ein Objectträger aus Spiegelglas, 13 cm lang und 9 cm breit, wurde an beiden Seiten mit 3 cm breiten Stanniolstreifen belegt und mit zwei Klemmen (Fig. 8 *e* u. *el*) versehen, die in einer Bohrung des Glases am Rande der Stanniolstreifen festgehalten wurden. Auf diesem Objectträger wurde das Blut unter einem grossen, dünnen quadratischen Deckgläschen von 5 cm Seite möglichst gleichmässig in dünner Schicht ausgebreitet, was dadurch am besten gelang, dass unter die den Stanniolelektroden zugekehrten Seiten des Deckgläschens Streifen von feinstem Seidenpapier eingelegt wurden, die sich mit dem Blute ansogen. Von den Stanniolelektroden wurden mit Blut getränkte Filtrirpapierstreifen zu den Rändern des Deckgläschens gelegt. Sie hatten, wie in L. Hermann's Versuch die mit physiologischer Kochsalzlösung getränkten Streifen, die Zuleitung des Stromes zu der dünnen Blutschicht zu besorgen.

Die Aufpräparirung des Blutes ist mühevoll, gelingt aber, wenn man dabei sehr vorsichtig verfährt und sich Uebung verschafft hat.

Der Objectträger wird über einen mit Beleuchtungsspiegel versehenen Objecttisch gelegt (Fig. 8). Die Klemmen dienen zur Aufnahme der mit Anode und Kathode des grossen Inductoriums in Verbindung stehenden Drähte. Es gelingt nun durch Hindurchleiten

von Inductionswechselströmen durch das Blut, dasselbe aufzuhellen, so wie es in dem Versuche von L. Hermann mit der dünnen Blutschicht geschieht. Dabei wird auch das Deckgläschen sehr heiss, wie der aufgelegte Finger wahrnimmt.

Ich liess mir aber, um die Temperatur zu messen, von dem Glasbläser Herrn Gustav Eger ein Thermometer mit tellerförmigen Quecksilberbehälter machen (Fig. 8). Dasselbe ist 14 cm lang und

Fig. 8.

bis 100° C. in Grade getheilt. Der Durchmesser des tellerförmigen Behälters beträgt 15 mm. Der Behälter ist unten möglichst eben, nach oben geht er leicht konisch in das Thermometerrohr über. Für den Versuch wurde das Thermometer mit seinem Rohre durch das Korkfutter einer aus zwei übereinander liegenden Abschnitten bestehenden cylindrischen Beinhülse gesteckt (Fig. 8). Der untere Theil der Beinhülse ist 25 mm weit, der obere, engere Theil, welcher das Korkfutter trägt, ist 12 mm weit.

Das Thermometer war so in die Hülse eingeschoben, dass der untere, flache Theil des Tellers und der untere Rand der Beinhülse in einer Ebene lagen.

In der Fig. 8 ist der tellerförmige Quecksilberbehälter und der Rand der Beinhülse, im Spiegelbilde unter dem Objecttische, entworfen von dem Beleuchtungsspiegel zu sehen.

Wird dieses Thermometer mit seiner Hülse, mit der zusammen es 22 g wiegt, auf die Haut des Daumenballens gesetzt, so zeigt es alsbald die Temperatur von 35—36° C. an.

Dieses Thermometer setzte ich nun nach dem Aufpräpariren der dünnen Blutschichte über das auf derselben liegende Deckgläschen,

saugte etwa an den Rändern ausgetretenes Blut noch sorgfältig ab und leitete dann die Inductionswechselströme in der angegebenen Weise durch. Das Thermometer, welches beim Aufsetzen auf das Präparat 20° C. angab, fing sofort nach dem Durchleiten der Ströme an zu steigen. Es erhob sich nach 10 Minuten, der Zeit, welche nöthig ist, um das Blut unter diesen Umständen lackfarbig zu machen, auf 60—65°, und bald darauf stieg es auf 70—71°, und dabei sah man im Präparate schon eine von der Ausscheidung von coagulirtem Eiweiss herrührende weissliche Trübung auftreten. Es lässt sich also die grosse Erhitzung des Blutes in L. Hermann's Versuch mittelst des Thermometers ganz gut demonstrieren; einen anderen Zweck haben wir mit dem zuletzt angeführten Versuche aber nicht verfolgt.

Ich machte aber nun auch einen directen Vergleich mit einer mikroskopisch dünnen Blutschicht, welche ich nach meiner Art mittelst Condensator-Entladungen lackfarben durchsichtig machte. Auf einem mit Stanniolstreifen belegten Objectträger, auf welchem zwischen den Stanniol-Elektroden ein Streifen von 30 mm frei blieb, wurde eine dünne Blutschicht unter einem 50 mm Seite besitzenden Deckglase aufpräparirt und durch diese, wie bei den früher angeführten mikroskopischen Versuchen, Condensator-Entladungen geleitet (vgl. S. 230). Das Blut wird nach wenigen Entladungen lackfarbig. Das über das Deckgläschen gestellte Thermometer zeigt dabei kaum eine Veränderung an; nur wenn ich, nachdem das Blut schon aufgehellt war, noch einige Zeit Entladungen in grösserer Zahl durchgehen liess, beobachtete ich eine Temperatursteigerung um 2 $\frac{1}{2}$ ° C.

II. Wirkung von Wärme auf das Blut.

Max Schultze¹⁾ hat zuerst die ganz eigenthümlichen Veränderungen beschrieben, welche die frischen rothen Blutkörperchen des Menschen erleiden, wenn man bestimmte Temperaturen auf mikroskopische Blutpräparate einwirken lässt.

Ich habe diese Bilder an meinem eigenen Blute oft beobachtet und finde, dass das Wesentliche derselben in folgender Weise zusammengefasst werden kann:

Die Blutkörperchen bekommen zuerst seichte, dann tiefere Ein-

1) Archiv für mikroskopische Anatomie Bd. 1 S. 1.

kerbungen, weiterhin kommt es zum Abschnüren der zwischen den Kerben gelegenen Theile in Form kleiner kugeligter Stücke, oder es werden perlenschnurartige Fäden ausgetrieben, die dann auch, ihren Gliedern entsprechend, zerfallen, so dass schliesslich ein den mittleren Partien der früheren Blutkörperchen entsprechendes grösseres kugeliges Theilstück, umgeben von den abgeschnürten kleineren kugeligen Theilstücken, sich ergibt; alle diese Theilstücke entlassen aber nach einiger Zeit ihren Farbstoff an die umgebende Flüssigkeit und bleiben als schwach lichtbrechende, ungefärbte Reste zurück.

Ebenso wie die Blutkörperchen des Menschen verhalten sich aber im frischen Zustande auch die kreisscheibenförmigen Blutkörperchen aller untersuchten Säugethiere. Max Schultze bestimmte die Temperatur, welche diese Wirkungen hervorbringt, zu $52-53^{\circ}\text{C}$. mit seinem warmen Objecttische zu niedrig. Wenn man die Fehler, auf welche Engelm ann¹⁾ zuerst aufmerksam gemacht hat, bei der Anwendung warmer Objecttische ausschliesst, so findet man die Temperaturen, bei welchen jene Veränderungen rasch an den Blutkörperchen auftreten, zwischen $56-60^{\circ}\text{C}$. gelegen.

Bei der Einwirkung von Entladungsschlägen von Condensatoren treten also ganz andere Veränderungen an den Blutkörperchen auf, als nach Einwirkung von solchen Temperaturen, wie ein Vergleich der eben beschriebenen Veränderungen durch Wärme mit der früher gegebenen Beschreibung der Veränderungen durch Entladungsschläge (S. 231) ergibt.

Wenn man Blut in grösseren Mengen durch Erwärmen lackfarbig machen will, muss man es, wie auch Max Schultze²⁾ zuerst richtig anführte, auf 60°C . erwärmen.

Stewart³⁾, welcher sich in neuerer Zeit mit Bestimmungen der elektrischen Leitfähigkeit von auf verschiedene Weise lackfarbig gemachten Blute beschäftigt hat, gibt für die Erzielung von lackfarbigem Blute durch Hitze eine Temperatur von $60-65^{\circ}\text{an}$.

Ich finde diese Grenzen richtig, man gelangt aber damit schon nahe den Temperaturen, wo die ersten Ausscheidungen von Hitze-coagulaten oder die Bildung von festen Albuminaten⁴⁾ erfolgt, wenn

1) Archiv für mikroskopische Anatomie Bd. 4 S. 334.

2) l. c. S. 31.

3) Journal of physiology vol. 24 p. 210.

4) Vgl. O. Zoth, Ueber das durchsichtig erstarrte Blutserum etc. Sitzungsberichte der Wiener Akademie Bd. 100 Abth. 3 S. 140.

diese Temperaturen durch längere Zeit einwirken. So gibt denn auch Stewart von bei 60° lackfarbig gemachtem Schweineblut, in dem er die Leitfähigkeit bestimmte, an, dass es „dick und theerig“ war.

Das darf nicht auftreten und ist leicht zu vermeiden, wenn man vorsichtig und nicht länger, als nothwendig, Temperaturen zwischen 60—65° C. auf das Blut wirken lässt.

Ich führe das besonders an, weil ich jetzt Versuche beschreiben will, die mir sehr bedeutsam für die Erklärung der Wirkung der Condensator-Entladungen auf das Blut zu sein scheinen.

Es sind Versuche, in welchen die Fähigkeit, durch Erwärmung lackfarbig zu werden, an defibrinirtem Schweineblut und an mit Salz- und Zuckerzusätzen versehenem Schweineblut mit einander verglichen werden sollen. Dieselben wurden in einem grossen Wasserbade angestellt, dessen Temperatur auf 60—65° erhalten wurde, und in welches das Blut mittelst Eprouvetten gebracht wurde, die an Fadenschlingen von einem Halter herabhingen.

Das Wasser des Wasserbades konnte mittelst eines Glasstabes öfter gemischt, und die Eprouvetten, um den Verlauf der Erscheinungen zu beobachten und das Blut in denselben zu schütteln, leicht für einen Moment aus dem Bade entfernt und wieder in dasselbe gebracht werden.

Wenn man defibrinirtes Schweineblut auf diese Weise lackfarbig machen will, hat man darauf zu sehen, dass eine Temperatur über 60°, die am besten 64° nicht überschreiten soll, durch 15 bis 20 Minuten auf das Blut, welches eine gewöhnliche, bis 3 cm vom Rande entfernt, etwa 16—17 ccm enthaltende Eprouvette bis zu dieser Grenze anfüllt, einwirke. Das Blut muss dabei im auffallenden Lichte, abgerechnet einem kaum merklichen grauen Schimmer, dunkelroth, fast schwarz werden, ähnlich wie das durch Elektrisiren lackfarbig gemachte Blut. Ganz vollkommen gleicht es aber diesem wegen des eben genannten graulichen Schimmers niemals. Es darf keine braune Farbe annehmen und darf nicht dickflüssig werden, was, wenn man die oben angegebenen Vorschriften nicht einhält, leicht geschehen kann.

Ich habe auf die erwähnte Weise durch Erwärmung lackfarbig gemachtes Blut oft in vollkommen tadelloser Weise erhalten und mich von dessen schöner Transparenz in dünnen Schichten, namentlich nach dem Centrifugiren, überzeugt.

Ganz unter denselben Bedingungen machte ich nun auch Blut lackfarbig, welches auf 1 Theil mit 2 Theilen einer concentrirten Rohrzuckerlösung von 60,00 % Gehalt versetzt war.

Auch solches Blut wird nach 15–20 Minuten bei Temperaturen von 60–65° schön dunkelroth im auffallenden Lichte. Nach einem anderthalbstündigen Centrifugiren setzen sich aus dem so lackfarbig gemachten Zuckerblut die Schatten als eine roth gefärbte Schicht zu Boden, das darüber stehende Blut erscheint dann in entsprechend dicker Schicht schön und rein durchsichtig roth.

Ebenso wie das erwähnte Rohrzuckerblut wird auch das mit 2 Vol. einer 31,58 % enthaltenden Dextroselösung auf 1 Vol. versetzte Blut durch Erwärmen auf 60–65° C. lackfarbig.

Von besonderem Interesse ist das Verhalten des Salzblutes beim Erwärmen.

Salzblut verwendete ich in dreifacher Mischung zu solchen Versuchen. Die Mischung I enthielt auf 1 Theil defibrinirten Blutes 2 Theile CNa-Lösung von 3 g in 100 ccm; Mischung II enthielt auf 1 Theil defibrinirten Blutes 2 Theile CNa-Lösung von 10,257 g in 100 ccm, äquimolekular mit der angewendeten Saccharose- und Dextroselösung; Mischung III enthielt auf 1 Theil defibrinirten Blutes 2 Theile CNa-Lösung von 30 g in 100 ccm. Auch solches Salzblut wird durch Erwärmen lackfarbig, und zwar geht das stärker gesalzene Blut dem weniger stark gesalzenen Blut immer voraus, so dass letzteres um einige Minuten länger braucht, um ebenso verändert zu sein, wie das erstere. Beim Salzblute ist im Vergleiche mit ungesalzenem Blute und mit Zuckerblut eine noch weniger reine dunkelrothe Farbe im auffallenden Lichte zu bemerken. Es stellt sich vielmehr, was beim nicht gesalzenen Blute nur leise angedeutet erscheint, hier deutlicher ein, nämlich ein graulicher Schimmer, oder es macht sich fast ein Stich in's Braune bemerkbar, der den Verdacht erweckt, als käme es zu einer Bildung von Methämoglobin bei der Erwärmung des Salzblutes.

Wenn man aber durch nachträgliches Centrifugiren die Schatten der Blutkörperchen aus dem Blute absondert, so findet man in der über den Schatten stehenden, völlig transparenten rothen Flüssigkeit, wenn man dieselbe unverdünnt in dünnen Glasröhrchen vor den Spalt des Spektroskopes bringt, nur das Oxyhämoglobinspektrum, und dasselbe, wenn man die über den Schatten stehende Flüssigkeit mit Wasser verdünnt vor dem Spektroskope untersucht.

Die aus der Mischung I erhaltenen Schatten bilden einen stark reflectirenden, schmutzig grau-rothen Bodensatz, die aus der stärker gesalzenen Mischung erhaltenen Schatten bilden einen mehr roth gefärbten und weniger stark reflectirenden Bodensatz. Unter dem Mikroskope überzeugt man sich, dass der Niederschlag aus Mischung I aus stark geschrumpften, stark lichtbrechenden Schatten besteht, dass dagegen die Schatten aus den stärker gesalzenen Mischungen weniger stark geschrumpft erscheinen.

Hat man die Schatten aus frischem Blute oder aus Zuckerblut in ähnlicher Weise mikroskopisch untersucht, so zeigt sich, dass auch die Schatten aus dem frischen Blute oder aus dem Zuckerblute nicht so gequollen erscheinen, wie etwa die aus gewässertem Blute oder, was wir gleich hinzufügen, aus dem mit Condensator-Entladungen lackfarbig gemachten Blute, sie sind vielmehr ähnlich denen aus den stärker salzhaltigen Mischungen; nur erscheinen die Contouren der Schatten aus dem Salzblute noch etwas härter, als jener aus dem Zuckerblute.

Wenn man die durch Centrifugiren abgeschiedenen Schatten, die beim Zuckerblute und den stärkeren Salzblutgemischen zu zusammenhängenden Massen verkleben, anfangs mit den entsprechenden Zucker- und Salzlösungen auswäscht und dann mit Wasser extrahirt, so findet man bei der spektroskopischen Untersuchung gleichfalls in allen diesen Lösungen nur das Oxyhämoglobinspectrum.

Aus den mitgetheilten Versuchen geht hervor, dass solches Salzblut, welches sich bei der Einwirkung von Condensator-Entladungen nicht mehr lackfarbig machen lässt, bei Temperaturen von 60—65° C. im Wasserbade schön lackfarbig wird.

Wäre also das Lackfarbigwerden des Blutes durch Condensator-Entladungen nur eine Wärmewirkung, so könnte es durch Salzzusätze zum Blute nicht behindert werden.

III. Leitfähigkeitsbestimmungen am Blute.

Nach den im Abschnitte I 8 gegebenen Auseinandersetzungen und allen Erfahrungen, welche wir am Blute gemacht haben, ist es von hohem Interesse für uns, die Leitfähigkeit des Blutes nicht nur im unveränderten Zustande desselben zu kennen; sondern auch zu erfahren, welche Veränderung die Leitfähigkeit desselben erleidet, wenn die verändernden Einflüsse auf dasselbe wirken, die wir in den vorausgehenden Abschnitten besprochen haben.

Die Leitfähigkeitsmessungen wurden nach der Methode von Kohlrausch ausgeführt.

Ein Thermostat mit Rührer, mit Aluminium- und Glimmerflügeln und Toluolregulator und das dazu gehörige Thermometer, das kleine Inductorium und das Widerstandsgefäß nach Arrhenius waren in vortrefflicher Ausführung von der Leipziger Glasinstrumentenfabrik von F. O. R. Goetze bezogen (beschrieben Zeitschrift für physikalische Chemie Bd. 2 S. 561).

Die Messbrücke bestand aus einem 100 cm langen, über einen in Millimeter getheilten Maassstab ausgespannten Platindraht, über welchen mittelst Schlittens der Contact geführt wurde. Der Draht war nach dem Verfahren von Strouhal und Barus¹⁾ sorgfältig calibriert.

Als Vergleichswiderstand diente ein Stöpsel-Rheostat in Siemens-Einheiten, reichend von 0,1 bis 5000.

Das Telephon war ein sehr empfindliches Siemens'sches. Als Elemente wurden zwei constante Zink-Kupfer-Elemente in der Anordnung, wie ich²⁾ sie denselben gegeben habe, benutzt. Die Elektroden des Widerstandsgefäßes waren sorgfältig mit Platinschwarz überzogen. Die Widerstandscapacität des Gefäßes wurde mittelst $\frac{1}{50}$ normaler CLK-Lösung bei 25° C., bei welcher Temperatur auch die Messungen gemacht wurden, zu 0,1060 bestimmt und wurde während der Messungen wiederholt controlirt.

Die Leitfähigkeitsmessungen wurden abwechselnd bei 5, 10, 20 und 50 Siemens-Einheiten des Vergleichswiderstandes bei jeder einzelnen Bestimmung gemacht.

Um das für unsere dermaligen Zwecke in Betracht kommende Hauptresultat der Versuche gleich hervortreten zu lassen, stelle ich die Bestimmungen in der nachfolgenden Uebersicht zusammen. Zur Orientirung der Leser glaube ich aber bei der in den einzelnen Abhandlungen herrschenden Abweichung in der Verzeichnung der Werthe für die Leitfähigkeit vorerst noch das Folgende bemerken zu sollen. Die angeführten Werthe bedeuten $K_{(25)} \times 10^8$, wenn sie auf Quecksilber von 1 m Länge und 1 qmm Querschnitt als Einheit bezogen werden, und ist (25) der Temperaturindex, oder sie bedeuten $K_{(25)} \times 10^4$, wenn sie auf einen Quecksilberwürfel von 1 ccm als

1) Wiedemann's Annalen N. F. Bd. 10 S. 326. 1880.

2) Untersuchungen aus dem Institut für Physiologie und Histologie in Graz. Leipzig 1870—1873 Abh. XV S. 295. Auch Wiedemann, Die Lehre von der Elektrizität Bd. 1 S. 764. Leipzig 1882.

Einheit bezogen werden. Häufig findet man aber auch $K_{(25)}$ verzeichnet, dann erscheinen die angeführten Werthe nach.

$$K_{(25)} = n \times \frac{1}{10^8} = n \times 10^{-8} \text{ mit dem Factor } 10^{-8}. \text{ In}$$

letzterer Weise haben z. B. Tangl und Bugarzki ihre Werthe aufgeführt, während Oker-Blom, da er angibt, dass seine Werthe 10000mal vergrößert sind, $K_{(25)} \times 10^4$ anführt¹⁾.

Tabelle I.

Nummer	Untersuchte Flüssigkeit	Leitfähigkeit
1	Serum	108,10—111,77
2	Defibrinirtes Blut	43,56—57,14
3	Lackfarbiges Blut, erhalten durch Zusatz des gleichen Volum Wassers	33,90—39,14
4	Lackfarbiges Blut, erhalten mit Condensator-Entladungen	33,38—41,65
5	Lackfarbiges Blut, erhalten durch Wärme bei Temperatur zwischen 60—65°.	54,90—65,66
6	1 Theil defibrinirtes Blut, 2 Theile concentrirte Saccharoselösung	16,45
7	1 Theil Blut, 2 Theile ClNa-Lösung 3%	290,10

Bei Vergleichung der Querstäbe 1 und 2 der Tabelle ergibt sich die sehr viel bessere Leitfähigkeit des Blutserums im Vergleiche mit der Leitfähigkeit des defibrinirten Blutes, wie das in Uebereinstimmung ist mit den im Abschnitte I 8 S. 223 citirten Untersuchungen.

In Bezug auf Stab 3 ist Folgendes zu bemerken. Stewart²⁾ hat durch sehr sorgfältige Untersuchungen nachgewiesen, dass die Leitfähigkeit des Blutserums durch Auflösung von 1 g Hämoglobin in 99 ccm Serum um 0,8 % herabgesetzt wird.

Für das Hundeblut nimmt er an, dass von den 13 % Hämoglobin des Gesamtblutes sich in vollkommen lackfarbig gemachten Blut (wie, ist dabei leider nicht angeführt) 10 % im Serum lösen und das Uebrige herauskrystallisirt.

Für das Schweineblut, welches durch einen der bekannten Einflüsse, welche das Blut ohne Verdünnung lackfarbig machen, und

1) Vgl. darüber Kohlrausch, Praktische Physik S. 280 ff. Leipzig 1896 und Handbuch der Physik. Herausgeg. von Winkelmann Bd. 3 Abth. 1 S. 267. Breslau 1893.

2) l. c. S. 217.

von welchen wir gleich später einige besprechen werden, verändert wurde, muss angenommen werden, dass alles Hämoglobin des Gesamtblutes im Serum sich lösen konnte, weil das Schweineblut zu jenen Blutarten gehört, die nach dem Lackfarbigmachen allein noch keine Krystalle ausscheiden.

In dem Falle der Verdünnung des Blutes mit dem gleichen Volumen Wasser und der so bewirkten Lackfarbe des Blutes handelt es sich aber um die Lösung des Hämoglobins des gesamten Blutes, beim Schwein im Mittel 14 %, im verdünnten Serum, also um die Herstellung einer 7 % enthaltenden Hämoglobinslösung. Wegen der Verdünnung und dem Hämoglobinaustritt müsste also die Leitfähigkeit beträchtlich abnehmen. Wir sehen aber keine Herabsetzung der Leitfähigkeit unter die Hälfte der dem defibrinirten Blute zukommenden, sondern eine viel geringere, und darum müssen wir schliessen, dass beim Wässern des Blutes der Hämoglobinaustritt aus den Blutkörperchen begleitet ist von dem Austritte von Elektrolyten aus den Blutkörperchen, welche, solange sie in den Blutkörperchen enthalten waren, nicht an der Stromleitung theilhaftig waren, und dass durch diese die Herabsetzung der Leitfähigkeit beträchtlich compensirt wird. Zu denselben Ergebnissen wurden auch Stewart¹⁾ und Oker-Blom²⁾ geführt.

Eine sehr merkwürdige Thatsache ergibt sich aus der Vergleichung von Stab 4 und Stab 5. Lackfarbigmachen des Blutes durch Condensator-Entladungen setzt die Leitfähigkeit des Blutes herab. Lackfarbigmachen durch Wärme erhöht die Leitfähigkeit des Blutes. Es ist das gewiss ein sehr zwingender Beweis für unsere in allen früheren Abschnitten verfochtene Anschauung, dass die Wirkung der Condensator-Entladungen auf das Blut nicht zurückgeführt werden kann auf die Wärmewirkung der Entladungsschläge.

Betrachten wir uns zuerst Stab 4.

Die Abnahme der Leitfähigkeit des durch Condensator-Entladungen lackfarbig gemachten Blutes wird zunächst durch den Austritt des Hämoglobins aus den Blutkörperchen bedingt sein. Dabei kommt aber auch in Betracht, dass die Schatten quellen und somit die Flüssigkeit zwischen denselben reducirt wird.

Ich habe schon vor vielen Jahren darauf aufmerksam gemacht, dass man die entfärbten und gequollenen Stromata der durch

1) l. c.

2) l. c.

Condensator-Entladungen veränderten Blutkörperchen in Form einer durchsichtigen zusammenhängenden Gallerte erhalten kann¹⁾, wenn man aus dem in ein Röhrchen mit gleich breiten Elektroden (siehe Abschn. I 3 S. 215) eingeschlossenen Blute die Blutkörperchen in der Kälte auf die untere Elektrode sich senken lässt und dann die Entladungsschläge von Leydener Flaschen hindurchsendet. Das Hämoglobin diffundirt dann allmählig in das oben stehende Serum, während eine die Form des Röhrchens nachahmende, stark gequollene, wurstförmige, aus den verklebten Schatten bestehende Masse unten sich befindet. Wegen der Raschheit, mit welcher sich die Blutkörperchen aus Pferdeblut oder aus Kaninchenblut senken, eignen sich diese Blutarten am besten für diesen Versuch. Er gelingt aber auch an allen anderen Blutarten, wenn man eben so lange wartet, bis sich die Senkung in der Kälte vollzogen hat.

Es ist gut, sich so von der Quellung der Schatten zu überzeugen, denn in diesen gequollenen Schatten bleiben trotz des Austrittes des Hämoglobins die Elektrolyte der Körperchen zurück, und das ist ein weiterer Grund für die Herabsetzung der Leitfähigkeit des durch Condensator-Entladungen lackfarbig gemachten Blutes.

Dass die Sache sich wirklich so verhält, beweisen am besten Versuche, bei welchen man die Leitfähigkeit von defibrinirtem Blute mit der Leitfähigkeit von durch Condensator-Entladungen lackfarbig gemachtem Blute vergleicht, und ebenso die Leitfähigkeit des einen und des anderen Blutes nach Zusatz des gleichen Volumen Wassers

Tabelle II.

Nummer	Untersuchte Flüssigkeit	A Leitfähig- keit	B Leitfähig- keit	C Leitfähig- keit
1	Defibrinirtes Blut	49,49	—	50,86
2	Lackfarbiges Blut, erhalten mit Condensator-Entladungen	33,88	33,38	—
3	Lackfarbiges Blut, erhalten durch Zusatz des gleichen Volumen Wassers	36,02	—	37,25
4	Das durch Condensator-Entladungen lackfarbige Blut, vermischt mit dem gleichen Volumen Wasser . . .	36,21	36,52	37,22

1) Handbuch der Physiologie, herausg. von L. Hermann Bd. 4. 1. Theil. Blut und Blutbewegung S. 114. 1880.

unter einander sowohl, als auch mit der Leitfähigkeit der beiden ersteren vergleicht. (Siehe Tabelle II.)

Die nach dem Elektrisiren in den Schatten zurückbleibenden Elektrolyte werden also erst durch Einwirkung von Wasser auf die Schatten aus denselben frei. Bemerkenswerth ist dieser Fall auch desswegen, weil er ein neues Beispiel des für andere Fälle schon von Stewart gezeigten unabhängigen Austrittes des Hämoglobins einerseits und der Elektrolyte andererseits aus den Blutkörperchen und der Zurückhaltung der Elektrolyte in den Schatten ist.

Was den Stab 5 der Tabelle I betrifft, so kann die Zunahme der Leitfähigkeit des durch Erwärmung lackfarbig gemachten Blutes, welche in Uebereinstimmung sich befindet mit den Angaben von Stewart¹⁾ über diesen Fall, nur dadurch erklärt werden, dass ausser dem Hämoglobin auch Elektrolyte aus den Blutkörperchen austreten. Dazu kommt noch, dass die Schatten von solchem Blute zertheilt und weit weniger gequollen erscheinen.

Wenn aber bei dem durch Wärme lackfarbig gemachten Blute schon alles Hämoglobin aus den Blutkörperchen ausgetreten ist, und gleichzeitig auch Elektrolyte aus den Blutkörperchen entfernt wurden, sind, wie Stewart richtig angibt, noch nicht alle Elektrolyte aus den Schatten entfernt, sondern lassen sich die noch zurückgebliebenen Elektrolyte durch Wasserzusatz entfernen, wie das nachfolgende Beispiel zeigt, welches zur Bestätigung der Angaben Stewart's dienen mag.

Tabelle III.

Nummer	Untersuchte Flüssigkeit	A Leitfähig- keit	B Leitfähig- keit
1	Lackfarbiges Blut, erhalten durch Erwärmen auf 60—65° C.	56,59	54,90
2	Mit dem gleichen Volumen Wasser verdünnt dasselbe Blut	44,57	44,74

Solange also die Elektrolyte in den Blutkörperchen oder in den Schatten sich befinden, sind sie an der Elektrizitätsleitung im Blute nicht betheiligt, wie für die Blutkörperchen auch von Oker-Blom²⁾ besonders nachdrücklich dargethan wurde.

Der Stab 6 der Tabelle I und der Stab 7 zeigen, dass durch

1) l. c. S. 220.

2) l. c.

Zuckerzusatz zum Blute die Leitfähigkeit bedeutend herabgesetzt, durch Salzzusatz die Leitfähigkeit beträchtlich gesteigert wird, wie schon von vornherein angenommen werden musste (siehe Abschn. I 10 S. 228).

IV. Versuch einer Erklärung der Wirkung von Condensator-Entladungen auf das Blut.

Man darf sich von einem solchen Versuche von vornherein nicht zu viel versprechen. Es handelt sich dabei vor Allem um die Erklärung von Veränderungen der rothen Blutkörperchen.

Im nächsten Abschnitte glaube ich aber darthun zu können, dass in den rothen Blutkörperchen molekulare Kräfte als wirksam angenommen werden müssen, von welchen wir uns auf Grund unserer heutigen physikalischen und chemischen Kenntnisse nur sehr ungenügende Vorstellungen machen können.

Dadurch sind aber allen unseren Erklärungsversuchen sehr bald unerwünschte Schranken gesetzt.

Nicht nur bei den rothen Blutkörperchen, sondern auch bei anderen Elementartheilen der lebenden Organismen stossen wir auf solche Kräfte, mögen die Elementartheile nun auf der Stufe von Zellen stehengeblieben sein oder sich zu specifischen Gewebe-Elementen anderer Natur weiter entwickelt haben.

Und man hört darum häufig die Ansicht aussprechen: Ja! da reicht man mit der Annahme rein physikalischer und chemischer Kräfte für die Erklärung nicht aus, da muss man noch etwas Anderes als wirksam annehmen.

Und im dunklen Drange vollzieht sich die Gefangennahme durch den Vitalismus oder Neovitalismus, die in ihrem Wesen von einander eigentlich gar nicht verschieden sind.

Mir erscheint nun als die wichtigste Schutzwehr gegen diese Gefangennahme, dass man die Frage aufwirft, ob wir denn mit unseren heutigen physikalischen und chemischen Kenntnissen an einem Ziele angelangt sind, über welches hinaus kein Vordringen mehr möglich ist?

Kein vernünftiger Mensch wird diese Frage bejahen.

Wie ist es aber dann möglich, heute die Behauptung aufzustellen, dass wir für die Erklärung von Vorgängen an den lebenden Organismen mit der Annahme rein physikalischer und chemischer Kräfte nicht ausreichen.

Ist es nicht vielmehr möglich und viel klarere Blicke in die Zukunft eröffnend, dass unser heutiges Unvermögen darauf zurückzuführen ist, dass wir in der Physik und Chemie noch zu wenig wissen. Gerade die rothen Blutkörperchen sind ein gutes Beispiel für den Nachweis, dass ein solcher Standpunkt seine volle Berechtigung hat.

Wir wollen darauf später zurückkommen.

Vor der Mittheilung unseres Erklärungsversuches hielt ich es aber schon für angezeigt, die im Vorausgehenden entwickelten principiellen Fragen zu berühren.

Setzen wir den Fall, dass die Wirkung der Condensator-Entladungen auf eine Wärmewirkung des Entladungsstromes zurückgeführt werden könnte, was wäre damit erklärt? Müssten wir uns nicht weiter fragen: Ja, wie ist denn die Wirkung der Wärme auf die Blutkörperchen zu erklären?

L. Hermann hat darauf freilich eine Antwort angedeutet, indem er von einer Schmelzbarkeit der rothen Blutkörperchen durch Wärme spricht, die in Verbindung mit ihrer bekannten Löslichkeit in Aether, Chloroform, Alkohol, Schwefelkohlenstoff von Neuem dafür spreche, dass in der Constitution der Stromata Fettkörper (Lecithin, Cholestearin) eine, wie er meint, erhebliche Rolle spielen.

Ich kann diese einfache Vorstellung mit Rücksicht auf die im nächsten Abschnitte anzuführende quantitative Zusammensetzung der rothen Blutkörperchen, welche für die von L. Hermann angeführten Substanzen einen verschwindenden Procentgehalt ausweist, nicht gutheissen. Die überwiegenden Bestandtheile der rothen Blutkörperchen sind Hämoglobin und Wasser und ausserdem noch Eiweiss im Stroma. Auch muss man L. Hermann's Vorstellung von der Schmelzbarkeit der rothen Blutkörperchen entgegenhalten, dass das Blut auch durch Wasserwirkung lackfarbig wird und ebenso durch Frieren und Wiederaufthauen.

Ganz sicher habe ich ferner durch die vorausgehenden Untersuchungen gezeigt, dass zwar die Inductionsströme, wie sie L. Hermann angewendet, durch die Erhitzung, die sie hervorbringen, die Blutkörperchen verändern und das Blut lackfarbig machen, wie das L. Hermann richtig erkannt hat; dass dagegen die Wirkung von Condensator-Entladungen nicht auf die Erwärmung, die sie hervorbringen, zurückgeführt werden kann.

Der Entladungsstrom muss seine Wirkung in anderer Weise entfalten.

Und wenn wir darüber nachdenken, tritt uns vor Allem die merkwürdige und erst durch die neueren Untersuchungen über die Leitfähigkeit von Blut, Serum und Körperchen zu Tage geförderte Thatsache entgegen, dass die rothen Blutkörperchen im Vergleiche mit dem Serum so schlecht leiten, dass man sie wie Isolatoren betrachten kann, trotzdem, dass sie selbst Elektrolyte enthalten.

Oker-Blom¹⁾ hat in einer jüngst veröffentlichten Arbeit darge-
gethan, dass die Leitfähigkeit von elektrolytischen Flüssigkeiten durch darin suspendirte Nichtelektrolyte in besonderer Weise beeinträchtigt wird.

Es ist nämlich die Beeinträchtigung der Leitfähigkeit nicht unter allen Umständen der vorhandenen Menge derselben proportional.

Die nicht leitenden suspendirten Körper beeinträchtigen durch ihre Vertheilung die Leitfähigkeit mechanisch, und zwar durch Vergrößerung des Widerstandes, den der Strom zu überwinden hat. In Folge der Anwesenheit der suspendirten Körperchen bleiben nur enge Räume für die leitende Flüssigkeit übrig, und durch diese gegebenen Falles gebrochenen oder gewundenen Wege muss der Strom durchtreten.

Wenn wir nun von diesen Erfahrungen Gebrauch machen und mit Oker-Blom das Blut als eine elektrolytische Lösung ansehen, in welcher die Blutkörperchen die Rolle der suspendirten, nicht leitenden Körper übernehmen, so können wir uns vorstellen, dass die Blutkörperchen durch bestimmte elektrische Einwirkungen auf das Blut unberührt bleiben können, so wie das nach unseren Untersuchungen mit der Einwirkung des constanten Stromes und der Einwirkung von Inductionsströmen der Fall ist, insofern beide keine secundären Wirkungen hervorbringen.

Als solche secundäre Wirkungen haben wir thermische in Folge der Wärmewirkungen der Ströme und chemische in Folge der Ausscheidung von Ionen an den Elektroden kennen gelernt.

Die Entladungsströme von Condensatoren machen aber davon eine Ausnahme. Ihre Spannung, ihre Quantität und ihr zeitlicher Verlauf macht, dass die Blutkörperchen durch sie direct berührt werden, und

1) Thier. Säfte und Gewebe in physik.-chem. Beziehung (II. Mittheilung). Pflüger's Archiv Bd. 79 S. 510. 1900.

zwar mechanisch, weil Strömen dieser Art gegenüber die Isolatoren ihre Festigkeit nicht bewahren und der Strom sich seinen Weg an einzelnen Orten durch dieselben bahnt.

Die dadurch veränderten Blutkörperchen verfallen aber dann secundären Veränderungen durch die Einwirkung der umgebenden Flüssigkeit, welcher sie früher nicht in solcher Weise zugänglich waren.

Für diese Auffassung sprechen eine ganze Reihe von That- sachen. Vor Allem, dass, wie wir in den Abschnitten I. 2 und I. 3 gezeigt haben, die Wirkung jedes einzelnen Entladungsschlages in eine unmittelbare und in eine durch bestimmte Zeit andauernde Folgewirkung zerlegt werden muss.

Ferner die directe Beobachtung der merkwürdigen successiven Ver- änderungen ¹⁾, welche an dem einzelnen Blutkörperchen auftreten, und welche an einer Anzahl von Blutkörperchen gleichzeitig, wieder an einer Anzahl anderer später und überhaupt an verschiedenen Gruppen von Körperchen ungleichzeitig ablaufen. Ferner die Abhängigkeit der auf- hellenden Wirkung des Entladungsstromes von der Anzahl und Dichte der Schläge.

Die directe mikroskopische Beobachtung der von dem Entladungs- schlage getroffenen Blutkörperchen weist eine Volumveränderung, eine Schrumpfung des Blutkörperchens auf, welche, wie wir annehmen müssen, mit einem Austritt von Wasser aus den Blutkörperchen ver- knüpft ist. Die Folge davon ist eine Störung des osmotischen Gleich- gewichtes zwischen Aussenflüssigkeit und Körperchen und eine Trennung und Veränderung der Bestandtheile des Blutkörperchens, welche erst in den folgenden Abschnitten genauer besprochen werden kann.

Endlich spricht für die oben hervorgehobene unmittelbare Wirkung der Entladungsschläge die Unveränderlichkeit, welche die Blutkörperchen beim Elektrisiren zeigen, wenn die Leitfähigkeit der Zwischenflüssigkeit durch Salzzusätze beträchtlich erhöht wird, während, wenn die Leitfähigkeit der Zwischenflüssigkeit durch Zuckerzusätze herabgesetzt wird, trotz der gleichzeitig erfolgenden Zunahme der specifischen Resistenz der Blutkörperchen der Entladungsstrom noch verändernd auf die Blutkörperchen wirkt und das Blut lackfarbig macht. Auch müssen wir in diesem Falle annehmen, dass die von den Entladungsschlägen getroffenen Blutkörperchen, welche zu Anfang in einer hyperisotonischen Zuckerlösung sich befinden, welche die Blut-

1) A. Rollett, l. c. Bd. 50 S. 180.

körperchen schrumpfen macht, permeabel werden, nicht nur für das Lösungsmittel, sondern auch für die gelöste Substanz, denn sie quellen dann und geben ihren Farbestoff ab.

Wir werden im nächsten Abschnitte Substanzen kennen lernen, deren Lösungen, auch wenn sie sehr concentrirt sind, in die Blutkörperchen eindringen und sie so verändern, dass sie den Farbestoff abgeben.

Fassen wir die besondere unmittelbare Wirkung der Condensator-Entladungen auf die Blutkörperchen so auf, wie wir das in diesem Abschnitte gethan haben, so kann dieselbe als eine Bestätigung der auf Grund der Leitfähigkeitsmessungen am Blute gewonnenen Anschauung, dass die Blutkörperchen Isolatoren sind, betrachtet werden, eine Anschauung, die unser höchstes Interesse verdient, weil von Stewart und Oker-Blom auch die Aufnahme von dem Blute zugesetzter Elektrolyte in die Blutkörperchen angegeben und festgestellt wird, dass diese Elektrolyte nach ihrer Aufnahme keinen Antheil mehr an der elektrolytischen Leitung durch das Blut haben.

V. Bemerkungen über die Structur der rothen Blutkörperchen.

Wenn ich nun daran gehe, einige Bemerkungen über die Structur der rothen Blutkörperchen zusammenzustellen, so geschieht das ganz vorzugsweise, um den im vorausgehenden Abschnitte ausgesprochenen Satz von der grossen Unzulänglichkeit unserer Kenntnisse näher zu beleuchten. Ich muss damit beginnen, dass ich anführe, welche Anschauungen über den Bau der rothen Blutkörperchen wir zu Folge unserer morphologischen und genetischen Studien an denselben festhalten müssen.

Begreiflicher Weise werde ich in eine solche Darstellung eine ganze Reihe wohlbekannter Thatsachen einflechten müssen. Das wird aber mit so viel kritischen Beigaben geschehen, dass ich den Leser nicht zu ermüden hoffe, und wird zur Klärung des Standpunktes, welchen ich gegenüber einer Reihe später zu erörternder Erscheinungen an den Blutkörperchen einnehme, wesentlich beitragen.

In erster Linie müssen wir die rothen Blutkörperchen als eigenartig differencirte Elementartheile betrachten, welche, obwohl sie in ihrer Entwicklung auf Zellen zurückzuführen sind, doch im entwickelten und reifen Zustande sich von Zellen, welche alle Attribute selbstständig beweglicher und fortpflanzungsfähiger Zellen an sich tragen,

wesentlich unterscheiden. Die Beweglichkeit und Fortpflanzungsfähigkeit, welche neben der Fähigkeit, Nahrung aufzunehmen, zu assimiliren und zu umsetzen, zu den elementaren Lebenseigenschaften der Bildungszellen gehörten, aus welchen sie sich entwickelten, haben sie eben, wie das auch bei der Entwicklung anderer specifischer Gewebeelemente geschieht, bei ihrer Entwicklung zu specifischen Bestandtheilen des Blutes verloren.

Die entwickelten rothen Blutkörperchen unterscheiden sich aber auch durch eine Reihe ganz besonderer und eigenthümlicher Eigenschaften von anderen specifisch entwickelten morphologischen Bestandtheilen der Organismen, in welchen sie vorkommen.

Eine ihrer hervorragendsten Leistungen ist die Bindung grosser Mengen des rothen Blutfarbestoffes.

Obwohl es uns nicht möglich ist, über eine Reihe von mechanischen Eigenschaften der rothen Blutkörperchen, so über ihre Elasticität, Dehnbarkeit und Cohäsion, messende Versuche anzustellen, so haben wir doch durch Beobachtungen und Versuche die Kräfte schätzen gelernt, welche ihre kleinsten Theile in ihrer gegenseitigen Lagerung zu erhalten suchen, und mit welchen sie, aus ihrer Gleichgewichtslage gebracht, in dieselbe zurückkehren. Auf diese Weise haben wir erfahren, dass die Substanz der Blutkörperchen in hohem Grade dehnbar und dabei vollkommen elastisch ist ¹⁾.

Diese Eigenschaften und ihr Verhalten bei mechanischen Einwirkungen, welche darauf abzielten, sie zu zertheilen oder zu zerreißen, wobei sie in Bezug auf die erwähnten Eigenschaften unter einander und mit den intacten Blutkörperchen übereinstimmende Theile ergaben, widerlegen die Anschauung, welche man auf Grund unberechtigter Dogmen einstens von denselben hatte, dass sie nämlich mit Membran und flüssigem Inhalt versehene Blasen darstellen.

Eine Anschauung, die bei unbefangener Beobachtung niemals hätte aufkommen können, weil einer solchen schon die Gestalt der rothen Blutkörperchen entgegensteht. Wie soll man sich vorstellen, dass eine Blase mit dehnbarer Membran und flüssigem Inhalte, die wieder in einer Flüssigkeit schwimmt, eine biconcave Scheibenform besitzt?

1) Lindwurm, Zeitschr. f. rat. Med. Bd. 6 S. 266. — Hassal, Mikrosk. Anat. Aus d. Engl. S. 49. Leipzig 1852. — Henle, Cannstatt's Jahresber. Bd. 1 S. 32. 1850. — Rollett, l. c. Bd. 46 S. 65.

Wir wissen ferner, dass den entwickelten rothen Blutkörperchen, wie wir schon berührt haben, keine active Beweglichkeit, keine Contractilität zukommt. Max Schultze¹⁾ und ich selbst²⁾ haben auf Gründe, die niemals widerlegt wurden, gestützt die gegentheiligen Ansichten bekämpft.

Durch eine Reihe von Einflüssen, welche das Blut lackfarbig machen dadurch, dass die Blutkörperchen ihren Farbestoff an die umgebende Flüssigkeit abgeben, gelang es, zu zeigen, dass die früher besprochenen mechanischen Eigenschaften der rothen Blutkörperchen einer die Form des intacten Körperchens zunächst bedingenden farblosen Substanz zukommen müssen, welche von mir als Stroma bezeichnet wurde.

Wenn wir ein solches Stroma annehmen, stützen wir uns also in gleicher Weise auf Befunde an den intacten rothen Blutkörperchen, als auch auf Befunde an mittelst histologischer Methoden veränderter rother Blutkörperchen, die aber mit einander in Einklang gebracht werden können.

Und ich muss besonders betonen, dass ich, wie bei allen histologischen Untersuchungen, es auch bei der Untersuchung der rothen Blutkörperchen, ja ich möchte sagen, bei diesen in sehr dringender Weise für nothwendig halte, dass wir unsere Wahrnehmungen an lebenden frischen Blutkörperchen einerseits und unsere Beobachtungen an nach bestimmten Methoden präparirten Blutkörperchen andererseits niemals einseitig, sondern stets sorgfältig vergleichend beurtheilen, ehe wir daraus Schlüsse ziehen.

Man wird dann für die Erkenntniss des Baues der lebenden Blutkörperchen auch werthvolle Grundlagen gewinnen durch die Erfahrungen, welche man an nach verschiedenen Methoden präparirten Blutkörperchen machen kann; andererseits gewährt aber eine stete solche Controlle den besten Schutz gegen unzulässige Anwendungen, von Befunden, die wir nur an durch bestimmte Eingriffe veränderten Blutkörperchen gemacht haben, auf die lebenden.

In der That haben uns ja unsere histologischen Methoden wichtige Aufschlüsse über die Herkunft der rothen Blutkörperchen, über die Entwicklungsreihe, der sie angehören, und auch über ihren Bau gebracht, und wir können diese Methoden ebensowenig entbehren, wie die Präparation und Conservirung von Leichen und

1) Archiv f. mikroskop. Anatomie Bd. 1 S. 1.

2) l. c. Bd. 50 S. 190.

Leichentheilen in der Anatomie. Aber nie dürfen wir das vergessen, was wir am lebenden Blutkörperchen sehen können, und die Rücksicht darauf muss immer bestimmend bleiben, wenn wir nicht zu unberechtigten Annahmen gelangen wollen.

Es dürfte nicht überflüssig gewesen sein, dass wir uns das eben Vorgebrachte in die Erinnerung gerufen haben, denn es sollen nun einige Bilder von veränderten Blutkörperchen besprochen werden, die nicht ohne Einfluss auf die Vorstellungen geblieben sind, welche man sich von dem Bau der rothen Blutkörperchen machen muss.

Man findet nach gewissen Einwirkungen auf die Blutkörperchen, ohne dass diese ihre äussere Gestalt, ihre elliptische oder kreisförmige Scheibenform wesentlich geändert hätten und auch ihr Volumen nur wenig vergrössert haben, von der Umschlingungslinie des auf der Fläche liegenden Blutkörperchens begrenzt, eine hyaline Masse, aus welcher sich, vollständig gegen die Mitte des Blutkörperchens, eine in der Farbe des Blutkörperchens gefärbte Figur zurückgezogen hat, oder die letztere sendet noch radiär verlaufende Strahlen nach der Peripherie hin.

Solche Bilder haben zuerst in Folge von Einwirkung von Ammoniumcarbonat und Ammoniumchlorid auf die Blutkörperchen Hühnefeld¹⁾ und Hensen²⁾ gesehen. Wegen der erst viel später bekannt gewordenen besonderen Stellung dieser Salze zu den Blutkörperchen³⁾, welche wir im Folgenden noch anführen müssen, sind diese Hühnefeld-Hensen'schen Bilder besonders bemerkenswerthe, und ich muss, gleich daran anschliessend, auch anführen, dass dieselben Bilder auch bei Zusatz gewisser Wassermengen zum Blute erhalten werden⁴⁾. Sie zeigen, dass von der hyalinen Substanz noch eine zweite geformte Substanz abgetrennt werden kann, welche den Farbstoff des Blutkörperchens in sich schliesst.

Brücke⁵⁾, welcher solche Bilder auch nach Borsäurewirkung erhielt, hat die Beziehung der zwei geformten Substanzen zu einander und des Blutfarbstoffes zu der einen derselben zuerst genauer auseinander gesetzt und bekanntlich die hyaline Substanz, das ist unser

1) Der Chemismus in der thierischen Organisation S. 60. Leipzig 1840.

2) Zeitschr. f. wissenschaftl. Zoologie Bd. 9 S. 264.

3) Gryns, Pflüger's Archiv Bd. 63 S. 100. — Koeppe, Bd. 67 S. 193 und 194. — Hedin, Bd. 68 S. 265.

4) Vgl. Rollett, Untersuchungen aus dem Institute für Physiologie und Histologie in Graz. Abh. I S. 1. Leipzig 1870—1873.

5) Sitzungsber. der Wiener Akademie Bd. 56 Abth. 2 S. 79.

Stroma, als Oikoid, die gefärbte Substanz dagegen als Zooid bezeichnet. Wegen der leicht zu unrichtigen Vorstellungen verleitenden, weil auf eine active Beweglichkeit hinweisenden Benennung der zweiten Substanz will ich diesen Namen nicht gebrauchen und lieber die hyaline Substanz als Stroma und die zweite hämoglobinhaltige als Endosoma des Blutkörperchens bezeichnen.

In dem intacten Blutkörperchen ist das Endosoma in den Räumen des Stroma so vollständig vertheilt, dass beide sich wie eine einheitliche Substanz (Blutkörperchensubstanz) ausnehmen. Die letztere kann mannigfache Veränderungen eingehen, ohne dass es zu einer Trennung kommt. Es kann aber das Endosoma auch aus den Räumen des Stroma herausgedrängt werden, ganz oder theilweise, und dann entstehen die angeführten Bilder.

Mit der Zusammensetzung der Blutkörperchensubstanz aus diesen zwei Substanzen stimmt der Ablauf einer ganzen Reihe von Reactionen überein, welche sowohl die kernlosen als die kernhaltigen Blutkörperchen geben, und welche in ihrem Zusammenhange schon vor geraumer Zeit von Laptschinsky¹⁾ erörtert wurden.

Ich gehe nun zu einer anderen sehr wichtigen Frage über, auf welche sich aber, wie sich herausstellen wird, keine genügende Antwort finden lässt.

Es ist dies die Frage, wie das Hämoglobin in den Blutkörperchen enthalten ist.

Eine krystallinische Ablagerung desselben im Blutkörperchen ist nicht vorhanden, denn diese müsste sich bei dem hohen Hämoglobingehalt des einzelnen Körperchens mittelst des Polarisationsmikroskopes nachweisen lassen. Die Blutkörperchen sind aber einfachbrechend. Das Hämoglobin ist in dem Blutkörperchen nur so wahrzunehmen, wie in dünnen Schichten einer wässrigen Lösung. Dass das ganze Hämoglobin in Form einer solchen Lösung in den Blutkörperchen enthalten ist, wie Einige zu glauben scheinen, kann aber unmöglich angenommen werden, dagegen spricht das Verhältniss, in welchem der Hämoglobingehalt und der Wassergehalt der rothen Blutkörperchen zu einander stehen. Nehmen wir für das Schweineblut nach speciellen quantitativen Bestimmungen einen Gehalt an Hämoglobin von 14 % an.

1) Sitzungsber. der Wiener Akademie Bd. 68 Abth. 3 S. 148.

In 100 Theilen defibrinirten Schweineblutes sind nach Bunge¹⁾ 43,68 Körperchen und 56,32 Serum enthalten. Da alles Hämoglobin des Blutes in den Körperchen enthalten ist, so werden 100 Theile Körperchen 32,05 Hämoglobin enthalten. In 100 Theilen Körperchen sind aber nach Bunge's Bestimmungen 63,21 Wasser enthalten.

Es entfallen also auf 100 Theile Körperchen:

32,05 Hämoglobin

63,21 Wasser

4,74 andere Substanzen der Blutkörperchen unter den letzteren
etwa 1% Elektrolyte.

100,00.

Würde man nun annehmen, dass alles Hämoglobin in dem vorhandenen Wasser gelöst ist, so würde man auf eine 33,65% enthaltende Hämoglobininlösung geführt. Eine solche Lösung kann nicht bestehen, das wissen wir auf Grund vieler Erfahrungen. Obwohl über die Löslichkeit des Hämoglobins zur Zeit nur sehr mangelhafte Bestimmungen vorliegen, zu so hohen Werthen wurde man niemals geführt. Wir haben aber Grund, anzunehmen, dass das Hämoglobin für gewöhnlich in dem Blutkörperchen auch nicht theilweise gelöst ist, weil es in diesem Falle auch in das Plasma, in welchem es vollständig löslich ist, übergehen würde.

Es sprechen vielmehr Gründe dafür, anzunehmen, dass es in dem intacten Blutkörperchen durch besondere Kräfte in amorphem Zustande fixirt ist. Bedenken wir noch, dass es in diesem Zustande der Fixirung den respiratorischen Gasaustausch besorgt, dann wird man zugeben, dass wir uns von den hier thätigen Kräften bis heute keine rechte Vorstellung machen können.

Das Hämoglobin hat ein sehr hohes Molekulargewicht, welches zwischen 13,513—16,669 bestimmt²⁾ wurde. Seine Lösungen zeigen also eine verhältnissmässig sehr geringe Gefrierpunktserniedrigung. Gryns³⁾ hat beobachtet, dass die Gefrierpunktserniedrigung für Serum von Hühnerblut 0,61°C. betrug, dasselbe Blut zeigte, durch wiederholtes Frieren und Wiederaufthauen lackfarbig gemacht

1) Zeitschr. f. Biolog. Bd. 12 S. 191.

2) Hüfner, Arch. f. (Anat. u.) Physiologie 1894 S. 176. — R. Külz, Zeitschr. f. physiol. Chemie Bd. 7 S. 384. — J. Marshall, daselbst S. 81.

3) Pflüger's Archiv Bd. 63 S. 112.

eine Gefrierpunktserniedrigung von derselben Grösse $0,61^{\circ}\text{C}$. Freilich zieht Gryn's aus seiner Beobachtung andere Schlüsse, als wir.

Substanzen mit sehr hohem Molekulargewicht, die eine sehr geringe Gefrierpunktserniedrigung geben, üben eine weit geringere osmotische Spannung aus, als das gleiche Gewicht einer Substanz mit niedrigem Molekulargewicht. Ebenso wie die Eiweisskörper in der Concentration, in welcher sie im Serum vorhanden sind, ohne Belang für die osmotische Spannung des Serums sind, werden auch sie und das Hämoglobin zusammen ohne besonderen Belang für die osmotische Spannung des lackfarbigen Blutes sein.

Wir wollen nun auch sehen, in welcher Weise die zahlreichen und wichtigen Beobachtungen über das Verhalten der Blutkörperchen in isotonischen oder hypotonischen oder hyperisotonischen umgebenden Flüssigkeiten und über die Permeabilität der Blutkörperchen mit unseren Vorstellungen über den Bau der rothen Blutkörperchen und mit der Annahme, dass das Hämoglobin in den Blutkörperchen im amorphen Zustande fixirt ist, sich in Beziehung bringen lassen.

Bekanntlich wurde das Verhalten der Blutkörperchen den genannten Einflüssen gegenüber zuerst von Hamburger¹⁾ genauer gewürdigt und dann in einer Reihe von Arbeiten weiter verfolgt. Seinen Arbeiten gesellten sich bald zahlreiche andere zu. Wir führen nur die hervorragendsten an, die von Hedin²⁾, Gryn's³⁾, Eymann⁴⁾ und Köppe⁵⁾.

Auf eine Darstellung der in diesen Arbeiten enthaltenen Beobachtungen und eine Sichtung der in denselben niedergelegten Controversen im Einzelnen einzugehen, würde uns zu weit führen. Ich muss auf die Arbeiten selbst und überhaupt auf die ganze einschlägige Literatur verweisen.

Anführen muss ich aber, dass theils der Hämoglobinaustritt aus den Blutkörperchen, den Hamburger in einer mir niemals voll-

1) Arch. f. (Anat. u.) Physiolog. 1886 S. 476; 1887 S. 31. — Zeitschr. f. Biolog. N. F. Bd. 10 S. 405. — Arch. f. (Anat. u.) Physiologie 1892 S. 513; 1893 S. 157 (Suppl.); 1897 S. 486; 1898 S. 317; 1899 S. 431.

2) Skandin. Arch. f. Physiol. Bd. 5 S. 207 u. 377. — Pflüger's Archiv Bd. 68 S. 229.

3) Pflüger's Arch. Bd. 63 S. 86.

4) Pflüger's Arch. Bd. 68 S. 58.

5) Pflüger's Arch. Bd. 62 S. 567; Bd. 65 S. 492; Bd. 67 S. 189. — Arch. f. (Anat. u.) Physiol. 1899 S. 504.

kommen verständlich gewordenen Weise mit der Plasmolyse von de Vries parallel stellte, als Index für die osmotischen Verhältnisse und die Permeabilität der Blutkörperchen benutzt wurde; theils die Hämokrit-Methode von Hedin: Centrifugiren des mit den mannigfachen Zusätzen in dünne Röhrchen eingeführten Blutes und Messen des Körpercheuvolumens. Eine ziemlich gute Uebereinstimmung herrscht, von Hamburger abgesehen, in Bezug auf die Wirkung in Wasser löslicher Substanzen, und diese allein interessiren uns in den folgenden Betrachtungen.

Wenn die Blutkörperchen nur permeabel sind für das Lösungsmittel, nicht aber für die gelöste Substanz, oder aber wenn sie für das Lösungsmittel viel mehr durchgängig sind als für die gelöste Substanz, dann gibt es für den ersten Fall ganz streng isotonische Lösungen, die dann auch isotonisch mit dem Blutserum sind, in welchen die Blutkörperchen weder quellen noch schrumpfen, sondern ihr Volumen behalten. In Lösungen von niederer Concentration, hypisotonischen quellen sie. In Lösungen von höherer Concentration, hyperisotonischen schrumpfen sie. Aehnlich verhält es sich im zweiten Falle. Wenn eine Quellung der Blutkörperchen von bestimmter Grösse auftritt, dann erfolgt auch der Austritt von Hämoglobin aus denselben.

Ganz andere Erscheinungen treten auf, wenn die Blutkörperchen sowohl für das Lösungsmittel, als für die gelöste Substanz in gleicher Weise permeabel sind. Für solche Substanzen gibt es keine dem Serum isotonischen Lösungen. Auch concentrirte Lösungen solcher Substanzen machen die Blutkörperchen quellen und bewirken im weiteren Verlaufe der Quellung den Austritt von Hämoglobin aus denselben.

So wirken, was wir allein hier anführen wollen, unter Anderen auch Lösungen von Ammoniumchlorid und Ammoniumcarbonat, deren der Wasserwirkung vergleichbare Wirkung auf die Blutkörperchen, wie wir schon früher hervorgehoben haben auf Grund besonderer mikroskopischer Bilder von Hühnefeld und Hensen, lange früher beobachtet wurde, ehe die Studien über die Permeabilität der Blutkörperchen aufgenommen wurden.

Gegen die zerstörende Wirkung solcher Lösungen kann man die Blutkörperchen in derselben Weise schützen, wie gegen die zerstörende Wirkung des Wassers, nämlich dadurch, dass man in denselben eine Substanz, für welche die Blutkörperchen nicht permeabel sind, in einer solchen Menge auflöst, dass das Lösungsgemenge isotonisch dem

Serum wird, so wie eine einfache Lösung der letzteren Substanz in Wasser.

Wir müssen nun die Wirkung des Wasserzusatzes zum defibrinirtem Blute etwas näher betrachten. Durch diesen Zusatz wird das Serum hypotonisch, die Blutkörperchen quellen, bis der im Anfange im Innern derselben höhere osmotische Druck durch Wasseraufnahme dem osmotischen Druck des veränderten Serums wieder gleich wird. Während dieses Quellens tritt aber schliesslich auch eine Erscheinung auf, die nicht so leicht zu erklären ist, und das ist, dass das Hämoglobin, welches ein so grosses Molekulargewicht besitzt, aus den Blutkörperchen entweicht. Ich muss Gryns¹⁾ vollkommen zustimmen, wenn er sagt: „Das Ausreten von Hämoglobin ist eine noch nicht genügend erklärte Erscheinung“. Er nennt sie ein Zeichen des Absterbens oder wenigstens einer tiefgehenden Veränderung der Blutkörperchen. Und Hedin nennt das Wasser und alle Flüssigkeiten, welche Hämoglobinaustritt bewirken, Blutgifte²⁾.

Wir wollen dieser Sache an der Hand unserer Anschauungen über den Bau der Blutkörperchen und über die Fixirung des Hämoglobins in den Blutkörperchen nachgehen.

Nach diesen ist das Hämoglobin in dem Endosoma fixirt. Das Stroma enthält kein Hämoglobin. Wenn wir bestimmt kleine Wasserzusätze machen oder Zusätze von Ammoniumchlorid oder Ammoniumcarbonat, treten die schon erwähnten Hühnefeld-Hensen'schen Bilder auf. Diese letzteren können wir uns nur so erklären, dass wir annehmen, dass das Stroma und das Endosoma nicht gleichmässig quellen, oder dass das eine schrumpft, während das andere sich nicht verändert, oder dass nur das eine quillt.

Die wahrscheinlichste Annahme ist nun, dass in diesem Stadium geringer Wasserwirkung oder einer Salzlösung, die als Ganzes wie Wasser in das Blutkörperchen eindringt, nur das Stroma quillt, und dadurch das Endosoma aus den Räumen des Stroma hinaus und zusammengedrängt wird.

Eine solche Annahme würde aber zu der weiteren führen, dass im Anfange der Wasserwirkung nur die im Stroma vorhandenen Elektrolyte, deren osmotischer Druck hauptsächlich die Wasseraufnahme ins Blutkörperchen bewirkt, allein in Action treten.

1) l. c. S. 97.

2) Pflüger's Arch. Bd. 68 S. 333.

Die Annahme einer solchen theilweisen Wirkung der im Blutkörperchen vorhandenen Elektrolyte hat aber ihre grossen Schwierigkeiten, und darum scheint mir eine andere Hypothese viel plausibler, welche lautet: die Elektrolyte des Blutkörperchens sind im Stroma allein enthalten, während das Hämoglobin im Endosoma fixirt ist.

Es fragt sich, ob eine solche Hypothese noch durch anderweitige Thatsachen unterstützt wird. Die Antwort hierauf ist, dass wir solche Thatsachen im III. Abschnitte kennen gelernt haben, und dass die dort mitgetheilten Thatsachen sich ähnlichen und gleichen anschliessen, die von Stewart und Oker-Blom ermittelt wurden. Diese Thatsachen zeigen aber, dass das Hämoglobin und die Elektrolyte der Blutkörperchen zu anderweitigen Bestandtheilen der Blutkörperchen sich so verhalten müssen, dass sie sich in einer gewissen Unabhängigkeit von einander befinden, denn einmal können wir die Blutkörperchen unter Bedingungen bringen, unter welchen sie das Hämoglobin austreten lassen, während die Elektrolyte zurückgehalten werden, das andere Mal treten die Elektrolyte aus, während das Hämoglobin zurückgehalten wird. Ist unsere Annahme von dem Sitz der Elektrolyte der Körperchen im Stroma richtig, dann müssen im Stroma auch die Einrichtungen gesucht werden, welche machen, dass die Elektrolyte des Blutkörperchens an der Durchleitung des Stromes durch das Blut einen so geringen Antheil haben, dass, wie zuerst T an gl und Bugarszki hervorgehoben haben, die Blutkörperchen als Isolatoren betrachtet werden können.

Wir haben früher jene Wasserwirkung auf die rothen Blutkörperchen, welche das Auftreten der Hühnefeld-Hensen'schen Bilder zur Folge hat, als Ausgangspunkt unserer Betrachtungen genommen.

Bei grösseren Wasserzusätzen quellen die Blutkörperchen stärker auf; sie werden zu gefärbten Kugeln, dann erfolgt der Austritt des Hämoglobin, und bleibt das Stroma in Form einer entfärbten Kugel allein zurück.

Wir müssen uns diesen Vorgang als die Folge der bei grösserem Wasserzusatz auftretenden grösseren Hypisotonie der Aussenflüssigkeit vorstellen. Wenn aber nun ein solcher Quellungszustand im Blutkörperchen auftritt, hört die früher besprochene Fixirung des Hämoglobins im amorphen Zustande auf. Es zieht dann als lösliche Substanz seinerseits Wasser an. Die entstandene Lösung ist mit einer Volumenvergrösserung verbunden. Die Lösung muss die Räume

des Stroma erfüllen, wird aber durch den elastischen Gegendruck des gequollenen, aber in seinem Zusammenhange erhaltenen Stroma aus dem Körperchen herausgepresst.

Man muss sich vorstellen, dass die Lösung des dem Wasser zugänglich gewordenen Hämoglobins nicht auf einmal, sondern allmählig erfolgt; in dem Maasse, als sie erfolgt, findet auch die Auspressung statt, und in dem Maasse, als das Hämoglobin für seine Lösung Wasser verbraucht, rückt von Aussen her Quellungswasser in's Stroma nach, und dieser Process dauert so lange fort, bis alles Hämoglobin aus den Körperchen entfernt ist, und das Stroma als farblose gequollene Kugel allein zurückbleibt.

Ich habe früher einen Theil meiner Betrachtungen auf die quantitative Zusammensetzung der rothen Blutkörperchen gegründet.

Darnach sind in den Blutkörperchen des Schweines in 100 Theilen enthalten

32,05	Hämoglobin
63,21	Wasser
4,74	andere Substanzen der Blutkörperchen, darunter etwa 1% Elektrolyte
<hr/>	
100,00	

Aehnlich sind die Blutkörperchen anderer Thiere zusammengesetzt.

Es kommen also auf das Stroma der Blutkörperchen wenige Procente der zum Aufbau der Blutkörperchen verwendeten Stoffe.

Ich muss jetzt darauf aufmerksam machen, dass sich damit einige neuere Angaben nicht im Einklange befinden, und dass in denselben auf den chemischen Bau der rothen Blutkörperchen keine Rücksicht genommen ist.

Sie müssen darum abgewiesen werden, und es lässt sich auch zeigen, dass sie auf unzulässige Voraussetzungen gegründet sind.

Gryns¹⁾ geht von der schon früher erwähnten Beobachtung aus, dass die Bestimmung der Gefrierpunktserniedrigung im Serum und in dem durch Frieren und Wiederaufthauen lackfarbig gemachten Blute zu den gleichen Werthen führt. Dadurch hält sich Gryns zur Annahme berechtigt, dass der in den rothen Blutzellen enthaltene Saft den gleichen osmotischen Druck hat, wie das Serum, während

1) Pflüger's Arch. Bd. 63 S. 112.

der Rest des Blutkörperchens als organisirte, nicht gelöste Substanz betrachtet werden muss.

Dabei macht also Gryns offenbar die Annahme, dass in dem Saft der Blutkörperchen das ganze Hämoglobin gelöst ist.

Wir haben aber gesehen, dass das nicht möglich ist wegen des quantitativen Verhältnisses von Hämoglobin und Wasser im Blutkörperchen. Wenn das Hämoglobin beim Frieren und Wiederaufthauen aus den Blutkörperchen austritt, so geschieht das, weil es sich in Folge dieser Einwirkung erst auflöst.

Die Veränderung, welche das Blut durch Frieren und Wiederaufthauen erleidet, ist nämlich auf eine Wasserwirkung zurückzuführen. Diese Wasserwirkung tritt auf, weil beim Frieren das Lösungsgemenge, welches das Blutserum darstellt, decomponirt wird.

Das Wasser scheidet sich beim Frieren im festen Zustande in Form von Eis aus, und die gelösten Substanzen scheiden sich aus, weil sie ihres Lösungsmittels beraubt werden. Im Momente des Aufthauens zerfließt das Eis zu Wasser, und ehe noch die Lösung der aus dem Serum ausgeschiedenen Substanzen im Wasser wieder erfolgt, unterliegen die Blutkörperchen der Wasserwirkung. Auf seine, wie wir eben darzuthun suchten, unzulässige Annahme hin glaubt nun Gryns, bei bekanntem Verhältniss von Serum- und Blutvolum zu einander, auch das Verhältniss von Saft und organisirter Substanz in den rothen Blutkörperchen berechnen zu können. Er wird durch seine Rechnung beim Pferdeblut für den als Lösung zu betrachtenden Theil der Blutkörperchen auf 33—35 Volumprocente geführt, der organisirte Theil müsste demnach 67—65 Volumprocente betragen. Für Hühnerblut erhielt er für die Lösung 58,5—64 Volumprocente, also für organisirten Theil 41,5—36 Volumprocente. Das ist mit der chemischen Zusammensetzung der rothen Blutkörperchen und mit der Vertheilung der Stoffe auf Stroma und Endosoma, die wir bei unserer Annahme der Fixirung des Hämoglobins im letzteren machen müssen, nicht vereinbar.

Hamburger¹⁾, welcher sich gegen Gryns wendet, sowohl was die Gefrierpunktserniedrigung in dem durch Frieren und Wiederaufthauen lackfarbig gewordenen Blute, als auch das Volumverhältniss von Saft und organisirter Substanz betrifft, kommt²⁾, auf bestimmte Voraus-

1) Arch. f. (Anat. u.) Physiol. 1897 S. 486.

2) Arch. f. (Anat. u.) Physiol. 1898 S. 317.

setzungen hin, zur Aufstellung eines Gerüstes und einer intracellulären Flüssigkeit in den rothen Blutkörperchen, welche ebenfalls mit dem chemischen und histologischen Bau der rothen Blutkörperchen nicht in Einklang gebracht werden kann.

Hamburger¹⁾ sagt: Wir stellen uns vor, dass die Zelle aus einem festen Gerüst (Protoplasma) besteht, zwischen welchem intracelluläre Flüssigkeit vertheilt ist. Das Protoplasma hat am Wasseranziehungsvermögen keinen Antheil. Es ist also nur die intracelluläre Flüssigkeit, welche Quellung der Zelle durch hypotonische und Schrumpfung durch hyperisotonische Lösungen herbeiführt. Ist diese Vorstellung richtig, so muss auch im Betrag der Quellung und Schrumpfung der Zellen im Ganzen ein Maass für das relative Volumen der beiden Zellbestandtheile gelegen sein, und muss auch das Resultat in hohem Maasse unabhängig von der Concentration der gebrauchten Salzlösungen sein.

Dagegen ist zu bemerken. Nach den Vorstellungen, welche sich die Morphologen von dem machen müssen, was man bei thierischen und pflanzlichen Zellen als Protoplasma bezeichnet, und ebenso nach den Vorstellungen über das, was man als Zellsaft bei diesen Zellen bezeichnet, kann man dem Protoplasma das Quellungsvermögen nicht absprechen; was die rothen Blutkörperchen betrifft, so kann aber bei denselben von Protoplasma und Zellsaft, wie bei anderen Zellen nach unseren früheren Darlegungen überhaupt nicht mehr gesprochen werden.

Hamburger kommt durch seine Bestimmungen zu einem Gehalt der Blutkörperchen des Pferdes an Gerüstsubstanz von 53,3—56 Volumprocent; darnach würde also die Intracellularflüssigkeit 46,7—44 Volumprocent betragen, und für die Blutkörperchen des Schweines solle Aehnliches stattfinden²⁾.

Ein Gerüst im Sinne Hamburger's kann aber in solcher Menge, nach den über die chemische Zusammensetzung der rothen Blutkörperchen ermittelten Thatsachen (siehe S. 261), in den rothen Blutkörperchen nicht vorhanden sein.

Wir wollen unsere Bemerkungen über die Structur der rothen Blutkörperchen damit schliessen. Eine Fülle von Fragen tauchen vor uns auf. Greifen wir nur zwei heraus.

Wie und woraus bildet sich das Hämoglobin in den Blutkörper-

1) l. c. S. 323.

2) Hamburger, Arch. f. (Anat. u.) Physiol. 1899 S. 448 f.

chen, und wie kommt es bei dessen Bildung zur Trennung von Stroma und Endosoma?

Und die andere. Wie können wir uns vorstellen, dass die Elektrolyte, welche im Stroma vorhanden sind, in dasselbe hineingelangen, wenn wir das Stroma als impermeabel oder relativ impermeabel für die im Serum und für die im Stroma selbst vorhandenen Elektrolyte ansehen müssen. Für diese Frage der Impermeabilität für die extra- und intracorpuskulären Elektrolyte wird, wie zu vermuthen ist, der von Koeppe¹⁾ in einer schönen Arbeit besprochene Ionentausch von Wichtigkeit werden.

VI. Kurze Uebersicht des Inhaltes der Abhandlung.

Ich beabsichtige in dieser Uebersicht nicht eine Zusammenstellung der Ergebnisse, sondern nur eine Hinweisung auf den Gang der Darstellung und einzelne besondere Punkte.

I. In der Einleitung wird dargelegt, dass die Wirkung von Condensator-Entladungen auf das Blut, nach welchen dasselbe lackfarbig wird, mit neuen Behelfen und mit Rücksicht auf die neu erworbenen Kenntnisse über die molekular-physikalischen Eigenschaften des Blutes einer erneuten Untersuchung unterzogen werden konnte, und dass man sich dabei überzeugen konnte, dass die Wirkung des Entladungsstromes auf das Blut nicht durch seine Wärmewirkung erklärt werden kann, und dass Inductionsströme auf das Blut anders wirken als Condensator-Entladungen. Dann folgt in besonderen Unterabschnitten die Behandlung elektrischer Einwirkungen auf das Blut.

1. Es werden die Untersuchungsmethoden, besonders die Ladung der Condensatoren mit Inductorien besprochen und ein neuer, sehr brauchbarer Condensator beschrieben, der zu den meisten Versuchen diene.

2. Es wird der Sinn und die Bedeutung der älteren Versuche erörtert und betont, dass die Wirkung jeder Condensator-Entladung auf das Blut in eine unmittelbare Wirkung und in eine durch bestimmte Zeit andauernde Folgewirkung zerlegt werden muss.

3. Es werden neue Versuche mit Blut in Röhren von gleicher Länge und verschiedenem Querschnitte angestellt und die Wirkungen rasch folgender Condensator-Entladungen und solcher, die in längeren Intervallen auf einander folgen, mit einander verglichen.

1) Pflüger's Arch. Bd. 67 S. 189.

4. Es wird die geringe Temperaturerhöhung beim Durchleiten von Condensator-Entladungen durch das Blut bestimmt und gezeigt, dass Abkühlen oder Erwärmen des Blutes vor und während des Elektrisirens keinen merklichen Einfluss auf den Verlauf der Erscheinungen nimmt.

5. Es werden Versuche an Blut in parallelepipedischen Trögen angestellt, um die Erscheinung der Aufhellung des Blutes durch Condensator-Entladungen noch genauer festzustellen, ganz besonders aber um damit die Wirkung von constanten Strömen und Inductionsströmen auf das Blut vergleichen zu können.

6. Es werden die Erscheinungen der Elektrolyse am Blute besprochen, wenn es in den erwähnten Trögen mit constanten Strömen behandelt wird.

7. Es wird die Wirkung von Inductionsströmen auf in den Trögen enthaltenes Blut verglichen mit den Wirkungen von Condensator-Entladungen und mit den Wirkungen constanter Ströme.

8. Es wird die Elektrizitätsleitung im Blute besprochen und gezeigt, dass dieselbe der Hauptsache nach eine elektrolytische ist, und wird die geringfügige Elektrolyse beim Durchleiten von Condensator-Entladungen gegenüber der Wirkung von constanten Strömen und gleichgerichteten Inductionsströmen hervorgehoben.

9. Es wird die geringe Wärmewirkung der Condensator-Entladungen bei den Versuchen am Blute, durch Versuche an bei 35 bis 36° C. schmelzenden Blutleimgemischen bestätigt.

10. Es wird gezeigt, dass Blut durch Zusatz von verhältnissmässig niedrig concentrirten Salzlösungen die Fähigkeit verliert, durch Condensator-Entladungen lackfarbig zu werden, dass es dagegen nach Zusatz von verhältnissmässig stark concentrirten Zuckerlösungen diese Fähigkeit behält.

11. Es wird gezeigt, dass die Wirkung von Condensator-Entladungen auf mikroskopisch dünne Blutschichten eine andere ist, als die Wirkung von Inductionsströmen auf solche Blutschichten. Die letzteren bringen in dem Präparate eine starke Erhitzung hervor, welche auf verschiedene Weise und auch mittelst eines geeignet gebauten Thermometers nachgewiesen werden kann. Condensator-Entladungen, welche das Blut lackfarbig machen, bringen eine solche Erhitzung nicht hervor.

II. Es wird die Veränderung des Blutes durch Zufuhr von Wärme besprochen und gezeigt, dass man das defibrinirte Blut und

ebenso Blut nach dem Zusatz von Salz- oder von Zuckerlösungen bei Temperaturen von 60—65 ° C. lackfarbig machen kann, woraus sich ergibt, dass, wenn die Wirkung von Condensator-Entladungen auf das Blut durch die Wärmewirkung dieser Ströme bedingt wäre, sie durch Salzzusätze nicht behindert werden könnte, während das in der That der Fall ist.

III. Es werden Leitfähigkeits-Messungen am Blute nach der Methode von Kohlrausch ausgeführt. Es wird die bei Untersuchungen anderer Experimentatoren gefundene sehr viel bessere Leitfähigkeit des Serums im Vergleiche mit defibrinirtem Blute bestätigt.

Durch Condensator-Entladungen lackfarbig gemachtes Blut zeigt eine herabgesetzte Leitfähigkeit, durch Wärme lackfarbig gemachtes Blut zeigt eine erhöhte Leitfähigkeit. Im ersteren Falle bleiben die Elektrolyte der Körperchen in den Schatten zurück, im letzteren Falle treten sie theilweise aus. Ganz können sie in beiden Fällen erst durch Wasserzusatz zum lackfarbigen Blute aus den Schatten entfernt werden.

So lange die Elektrolyte in den Blutkörperchen oder in den Schatten stecken, sind sie an der Elektrizitätsleitung durch das Blut nicht theilhaft.

IV. Es wird der Versuch gemacht, die Wirkung der Condensator-Entladungen auf das Blut daraus zu erklären, dass die Blutkörperchen als Isolatoren zu betrachten sind.

V. Es wird die Zusammensetzung der rothen Blutkörperchen aus einem hyalinen Stroma und einem hämoglobinhaltigen Endosoma erläutert. Es wird zu zeigen versucht, dass das Hämoglobin nicht in Form einer wässrigen Lösung im Blutkörperchen enthalten sein kann, sondern dass es durch nicht näher zu analysirende Kräfte in amorphem Zustande in dem Endosoma fixirt ist.

Es wird dann untersucht, wie die zahlreichen und wichtigen vorliegenden Erfahrungen über das Verhalten der Blutkörperchen in isotonischer oder hypotonischer oder hyperisotonischer umgebender Flüssigkeit mit dem Bau der rothen Blutkörperchen und der Fixirung des Hämoglobins in denselben in Beziehung gebracht werden können.

Es wird der Austritt des Hämoglobins aus den Blutkörperchen in Folge von Wasserwirkung genauer analysirt und die Hypothese aufgestellt, dass die Elektrolyte der Blutkörperchen im Stroma enthalten sind. Die Fixirung des Hämoglobins im Endosoma und der Elektrolyte im Stroma führe zu einer Erklärung der Unabhängigkeit von Hämoglobin und Elektrolyten bei ihrem Austritte aus den Blutkörperchen.

Es wird gezeigt, dass einige neuere Annahmen über das Volumverhältniss von in den rothen Blutkörperchen enthaltenem Saft und organisirter Substanz oder das Volumverhältniss von Gerüstsubstanz und intracellulärer Flüssigkeit mit unseren Kenntnissen vom histologischen und chemischen Bau der rothen Blutkörperchen nicht übereinstimmen.

Bei den mitgetheilten Versuchen wurde ich von meinen beiden Assistenten, Herrn Prof. Dr. O. Zoth und Herrn Dr. F. Pregl, von dem Letzteren namentlich bei den Leitfähigkeitsbestimmungen in ausgezeichneter Weise unterstützt. Herr Prof. Dr. O. Zoth hat auch die den Abbildungen zu Grunde liegenden Photographien angefertigt, und ich muss beiden Herren meinen besten Dank aussprechen.

Erst während des Druckes dieser Abhandlung ist Oker-Blom's III. Mittheilung: Thierische Säfte und Gewebe in physik.-chem. Beziehung (Pflüger's Arch. Bd. 81 S. 167) erschienen, sie konnte darum nicht mehr berücksichtigt werden. In derselben wird die Unabhängigkeit des Austrittes des Hämoglobin und der Elektrolyte aus den rothen Blutkörperchen neu bestätigt und ist nichts in ihr enthalten, was im Widerspruche mit unseren Darlegungen stünde.