

Thierische Säfte und Gewebe in physikalisch-chemischer Beziehung.

Von

Max. Oker-Blom,

Dr. med. in Willmanstrand (Finnland).

(Mit 6 Textfiguren.)

I. Die elektrische Leitfähigkeit des Blutes.

Ueber die Leitung der thierischen Gewebe für Elektrizität finden sich in der Literatur nur sehr spärliche Angaben. Todtes Gewebe soll meistens schlechter leiten als lebendes (Jolly). Ein quer durch die Nerven geleiteter Strom soll einen grösseren Widerstand erleiden, als wenn er das Gewebe der Länge nach durchströmt (Hermann), wobei der Leitungswiderstand schon etwa $2\frac{1}{2}$ millionenmal grösser ist, als der des Hg. Eine Tabelle von Alt und Schmidt zeigt folgende relativen Verhältnisse des Leitungswiderstandes thierischer Gewebe: Nerv 0,17; Muskel 1; Blut 1; Haut 1,25; Hirn 1,57; Sehne 3,25; Fett 3,92; Muskelscheide 4,41; Knochen 14,1. Mit Wechselströmen geprüft zeigt der elektrische Leitungswiderstand nach v. Frey und Windscheid viel niedrigere Werthe als bei Anwendung des constanten Stromes, welcher in den thierischen Geweben eine innere Polarisierung hervorruft, die den grösseren Leitungswiderstand bedingen soll.

Einer eingehenden Untersuchung wurde die elektrische Leitfähigkeit des Blutes und des Blutserums, resp. Plasmas von F. Tancgl und St. Bugarsky (1897—1898) unterzogen. Dieselben führten Leitfähigkeitsbestimmungen bei den genannten Flüssigkeiten nach der Kohlrausch'schen Methode aus, nachdem das Blut meistens durch einen Zusatz von Ammoniumoxalat (0,1 g pro 100 ccm Blut) ungerinnbar gemacht war; in einigen Fällen (bei Hunden) wurde die Gerinnung des auch durch Peptoninjectionen, etwa 20 Minuten vor der Entnahme desselben, erzielt. Die Untersuchungen betrafen Blut und Serum, resp. Plasma vom Pferd, Rind, Schaf, Schwein, Hund

und der Katze; und es stellte sich alsbald heraus, dass die Leitfähigkeit¹⁾ des Blutes eine viel geringere ist, als diejenige des Plasmas und dass die Leitfähigkeit des Blutes sich während der Bestimmung derselben fortwährend, und besonders beim Pferdeblute, sehr rasch ändert. Eine durch Sedimentiren erhaltene Blutkörperchenschicht erwies sich als sehr bedeutend weniger leitend als das entsprechende Blut. Es wurde somit ersichtlich, dass die geringere Leitfähigkeit des Blutes gegenüber derjenigen des Plasmas durch die Gegenwart der Blutkörperchen bedingt ist. Um den Einfluss der Blutkörperchen auf die elektrische Leitfähigkeit bestimmen zu können, wurde Blut durch 12 bis 48 Stunden langes Centrifugiren sedimentirt und der erhaltene Blutkörperbrei der Leitfähigkeitsmessung unterzogen.

Die Leitfähigkeit der auf diese Weise von anhaftendem Plasma möglichst befreiten Blutkörperschicht zeigen folgende Beispiele bei 18° C auf Quecksilber bei 0° bezogen:

Blutkörperchen vom	Elektrische Leitfähigkeit
Pferd	$1,53 \times 10^{-8}$
„	$1,57 \times 10^{-8}$
„	$2,3 \times 10^{-8}$
Hund	$1,6 \times 10^{-8}$
„	$2,04 \times 10^{-8}$
Katze	$2,07 \times 10^{-8}$, während
Plasma vom	die Leitfähigkeit
Pferd	$99,1 \times 10^{-8}$
„	$97,6 \times 10^{-8}$
„	$96,7 \times 10^{-8}$
Hund	$106,2 \times 10^{-8}$
„	$101,3 \times 10^{-8}$
„	$100,1 \times 10^{-8}$
Katze	$118,0 \times 10^{-8}$
„	$122,0 \times 10^{-8}$ zeigt.

Die für die Blutkörperchen gefundenen Werthe können nach den Verfassern höchstens als die obersten Grenzen ihrer Leitfähigkeit

1) St. Bugarsky und F. Tangl, Eine Methode zur Bestimmung des relativen Volumens der Blutkörperchen und des Plasmas. Vorläufige Mittheilung in der Sitzung der physiolog. Gesellschaft in Berlin am 9. Juli 1897.

gelten, da der grössere Theil ihres Leitvermögens aller Wahrscheinlichkeit nach von jener geringen Plasmaschicht stammt, die in den capillaren Poren zwischen den Blutkörperchen zurückgehalten wird.

Durch Vermischen von in der oben besprochenen Weise isolirten Blutkörperchen, resp. von Blut, dessen Blutkörperchenvolumen durch Sedimentiren oder Centrifugiren bestimmt war, mit Plasma in verschiedenen Volumenverhältnissen, trachteten die Verfasser die Gesetzmässigkeit festzustellen, welche zwischen relativen Blutkörperchenvolumen und der elektrischen Leitfähigkeit des Blutes bezw. Plasmas besteht. Es ergab sich dabei, dass die Leitfähigkeit des Blutes dem relativen Plasmavolumen nicht einfach proportional ist, dass aber das Verhältniss zwischen Plasmavolumen und der relativen Leitfähigkeit des Blutes (auf diejenige des Plasmas als Einheit bezogen) durch eine lineare Gleichung

$$\mu = a \frac{\lambda b}{\lambda p} + b$$

ausgedrückt werden kann, wo μ das relative Plasmavolumen, λb die Leitfähigkeit des Blutes und λp die Leitfähigkeit des Plasmas bedeutet, während a und b Constante sind, denen nach den Messungen folgende Werthe zukommen:

$$a = 0,92 \text{ und } b = 0,13.$$

Die Autoren heben jedoch ausdrücklich hervor, dass diese Constanten nach mehreren Bestimmungen wahrscheinlich etwas verändert werden müssen, bezw. dass das Verhältniss zwischen relativem Plasmavolumen und relativer Leitfähigkeit des Blutes durch eine complicirtere Interpolationsformel vielleicht genauer wird ausgedrückt werden können.

Die Leitfähigkeit der Blutkörperchen erwies sich neben derjenigen des Plasmas unter allen Umständen so ausserordentlich klein, dass sie bei der Beurtheilung der Leitfähigkeit des Blutes vernachlässigt, resp. höchstens als Correction in Betracht gezogen werden könnte.

In ihren weiteren Untersuchungen¹⁾ stellten sich Bugarsky und Tangl die Aufgabe: die Ermittlung der moleculären Concentrationsverhältnisse des Blutes, resp. seines Plasmas „mit jenen

1) St. Bugarsky und F. Tangl, Physikalisch-chemische Untersuchungen über die molecularen Concentrationsverhältnisse des Blutserums. Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. 72. 1898.

physikalisch-chemischen Methoden, die auf Grund der van't-Hoff-Arrhenius'schen Lösungstheorie und der Nerust-Planck'schen Theorie der Diffusion und elektrischen Leitfähigkeit der gelösten Substanzen eine tiefere Erkenntniss dieser Verhältnisse ermöglichen“.

Von den Ergebnissen, die uns im Folgenden interessiren können, ist u. A. dasjenige hervorzuheben, dass „die elektrische Leitfähigkeit annähernd als Maass für die Concentration der anorganischen Molekeln der fraglichen thierischen Flüssigkeiten dienen kann, und zwar als ein viel genaueres und zuverlässigeres als der Aschengehalt, freilich jedoch als kein so präcises Maass, wie es die Gefrierpunktniedrigung für die Concentration sämmtlicher (anorganischer und organischer) Molekeln herstellt“. Die Leitfähigkeit des Blutserums soll hauptsächlich durch dessen NaCl und Na_2CO_3 -Gehalt bedingt sein. Um den Einfluss der Serum-Eiweisssubstanzen auf die elektrische Leitfähigkeit zu ermitteln, wurde Serum in Dialysationsschläuchen zur Diffusion gegen destillirtes Wasser aufgestellt. Das Wasser wurde täglich erneuert und die Dialyse 2 Monate fortgesetzt, wonach das Dialysat zur Trockne eingedampft und der Trockenrückstand zur Bereitung verschieden concentrirter Lösungen verwendet wurde. Ebenso wurde die restirende Eiweisslösung in einem Vacuumapparat bei $30^\circ\text{—}37^\circ\text{C.}$ bis zur Syrupconsistenz eingeengt und zur Bereitung verdünnterer Eiweisslösungen benutzt.

Aus der Leitfähigkeit der eiweissfreien Elektrolytlösung vor und nach der Vermischung mit Eiweisslösungen, deren Leitvermögen bekannt war, konnte der Einfluss der Eiweisskörper auf die Leitfähigkeit der Elektrolyten berechnet werden, und zwar zeigte sich, dass die Eiweisskörper die Leitfähigkeit der Elektrolytlösung herabsetzen, eine Eigenschaft, die nach Arrhenius allen Nicht-Elektrolyten zukommt, deren Gegenwart im Verhältniss ihrer Concentration die Leitfähigkeit der Elektrolyte beeinträchtigt.

Bugarsky und Tangl fanden, dass je 1 Gramm Eiweiss in 100 ccm des Blut-Serums die elektrische Leitfähigkeit desselben im Mittel um etwa 2,5 % vermindert. Mit Berücksichtigung dieser Correctur konnten sie denn aus der beobachteten elektrischen Leitfähigkeit des Serums die dem Elektrolytgehalt thatsächlich entsprechende Leitfähigkeit berechnen.

Auch stellten sie fest, dass 1°C. Temperaturzuwachs die Leitfähigkeit des Blutserums durchschnittlich um 2,21 % erhöht.

Die Untersuchungen, die ich unten folgen lasse, beschäftigen sich mit der elektrolytischen Leitfähigkeit des Blutes, welche uns ein tieferes Eindringen in die physikalisch chemischen Verhältnisse der thierischen Gewebe gestattet. Diese genaue Kenntniss der Leitfähigkeitsverhältnisse des Blutes kann uns in mancher Beziehung einen interessanten Einblick in mehrere physiologische Vorgänge liefern und wird uns hoffentlich eine Anregung zu weiteren physiologischen Forschungen auf dem Gebiete der physikalischen Chemie geben können.

Die Untersuchungen sind theils in Willmanstrand, theils auf dem chemischen Laboratorium zu Helsingfors ausgeführt worden, und ist es mit eine angenehme Pflicht, an dieser Stelle dem lebenswürdigen Vorsteher des Laboratoriums, Herrn Professor Edw. Hjelt, der alle nöthigen Apparate gütigst zu meiner Verfügung stellte, meinen tiefgefühlten Dank abzustatten.

Zur Orientirung über die nachfolgenden Untersuchungen möge ein kurzer Rückblick ¹⁾ auf einige Errungenschaften der physikalischen Chemie in den letzten Decennien dienen.

Die Elektricitätsbewegung, eine Erscheinung, die wir gewöhnlich elektrischen Strom nennen, erfolgt in den Leitern zweiter Classe nur unter gleichzeitiger Bewegung materieller Theilchen. Zu dieser Classe der Leiter gehören in gelöstem und in geschmolzenem Zustande befindliche Salze, Säuren und Basen, die sog. Elektrolyte, deren Theilmolekeln, die Ionen, die Transportvermittler der Elektricität sind. Infolge einer an zwei Elektroden herrschenden Potentialdifferenz bewegen sich die Ionen der Elektrolyte, und zwar wandern von der positiven Elektrode nach der negativen die Metalle und metallähnlichen Radicale der Salze und Basen sowie der Wasserstoff der Säuren; in entgegengesetzter Richtung dagegen die Säureradiale, die Halogene und das Hydroxyl der basischen Körper.

Seit Faraday (1833) wissen wir, dass die Ionen beliebiger Elektrolyte direct proportional der durchgeleiteten Elektricitätsmenge und noch mehr, in ganz bestimmten den chemischen Aequivalentengewichten genau entsprechenden elektrochemischen Aequivalenten an den resp. Metall-Elektroden ausgeschieden werden.

1) Näheres ist in Ostwald's Lehrb. d. allg. Chemie Bd. 2 S. 1 nachzusehen.

Die Ionen haben somit alle gleichgrosse Capacität für die Elektrizität, die positive, resp. negative, welche von ihnen unter Einwirkung der herrschenden Potentialdifferenz von Elektrode zu Elektrode befördert wird. Sobald die Ionen die resp. Elektrode erreichen, geben sie ihre elektrische Ladung dieser ab und werden selber in unelektrischen Zustand versetzt, d. h. sie werden an den Elektroden ausgeschieden, falls nicht secundäre Vorgänge das Auftreten der elektrolytischen Zersetzungsprodukte irgendwie verhindern.

Nach Messungen von F. Kohlrausch (1886) wandern mit 1 g Wasserstoff oder überhaupt 1 Gramm-Aequivalent eines beliebigen Ions 96537 Coulomb, woraus sich ergibt, dass ein Coulomb (= 1 Ampère in der Secunde) der 0,000 010 359-fachen Menge von einem Gramm-Aequivalent irgend eines Ions zu seinem Transport bedarf.

Da die Elektrizitätsleitung in einer elektrolytischen Flüssigkeit nur unter gleichzeitiger Bewegung der vorhandenen Ionen stattfindet, so wird die Leitfähigkeit einer solchen Flüssigkeit mit der grösseren oder geringeren Beweglichkeit oder Wanderungsgeschwindigkeit der resp. Ionen sowie mit deren Anzahl Hand in Hand gehen.

Erst seitdem Kohlrausch eine exacte Methode zur Messung der Leitfähigkeit von Elektrolyten ersonnen und den Begriff der molecularen Leitfähigkeit in die Wissenschaft eingeführt hat, ist ein tieferes Eindringen in die Gesetzmässigkeiten der elektrolytischen Leitfähigkeit ermöglicht worden. Kohlrausch bezog die Leitfähigkeit auf äquimoleculare Lösungen, die also auf ein gegebenes Volumen Lösung das Moleculargewicht einer elektrolytischen Substanz enthielten. Die so definirte moleculare Leitfähigkeit (λ) eines Elektrolyten wächst mit steigender Verdünnung der Lösung, bis sie einen Grenzwert von maximaler Leitfähigkeit erreicht, der bei gut leitenden Stoffen noch praktisch zu erzielen ist und der bei weiter fortgesetzter Verdünnung nicht mehr zunimmt. Ferner wurde von Kohlrausch für grosse Verdünnungen gefunden, dass die Leitfähigkeit eine additive Eigenschaft der resp. Ionen ist, d. h. dass die Leitfähigkeit eines Elektrolyten gleich der Summe der Leitfähigkeiten (= Beweglichkeiten oder Wanderungsgeschwindigkeiten) seiner Ionen ist, welche von einander unabhängig zu der gesammten Stromleitung beitragen. Dieses Kohlrausch'sche Gesetz von der unabhängigen Wanderung der Ionen wird durch die Gleichung

$$\lambda_{\infty} = u + v$$

ausgedrückt, wo λ_{∞} die moleculare Leitfähigkeit bei sehr grosser Verdünnung, u die Wanderungsgeschwindigkeit des positiven und v die des negativen Ions bedeuten. Ausser von der Verdünnung hängt die moleculare Leitfähigkeit von der vorhandenen Temperatur ab und steigt im Allgemeinen um etwa zwei Procent ihres Werthes für je 1 Grad Temperaturerhöhung. Es zeigte sich aber bald, dass nicht alle elektrolytischen Stoffe dem Kohlrausch'schen Gesetze gehorchen. Die Verbindungen mit einwerthigen Ionen verhalten sich zwar ziemlich regelmässig in der genannten Beziehung, während dagegen andere Verbindungen grössere Abweichungen aufweisen, die von der Natur der Stoffe abzuhängen schienen.

Der Schlüssel zur Erklärung des abweichenden Verhaltens einer grossen Menge von Elektrolyten lag schon in der von R. Clausius (1857) aufgestellten Behauptung, dass die Erscheinungen der elektrolytischen Leitung mit der Vorstellung eines festen Zusammenhanges der Ionen, der Theilmolekeln der Elektrolyte nicht vereinbar ist.

Endgültig verstanden wurden die hervorgehobenen Abweichungen bezüglich der molecularen Leitfähigkeit aber erst durch Svante Arrhenius (1884—1887), Lehre von der Constitution der Lösungen. Arrhenius nahm an, dass die Leitfähigkeit einer sehr verdünnten wässerigen Lösung zunächst der Anzahl der elektrolytischen Molekeln proportional sein muss, und konnte auch constatiren, dass dies für Neutralsalze bei grossen Verdünnungen zutrifft. Da bei concentrirteren Lösungen die moleculare Leitfähigkeit mehr und mehr beeinträchtigt wurde, stellte sich Arrhenius vor, dass nicht alle Molecule des gelösten Stoffes sich an der Stromleitung betheiligen, sondern nur ein von der Concentration und der Temperatur der Lösung abhängiger Theil derselben, der in seine Bestandtheile, die Ionen, zerfallen oder dissociirt ist. Bei unbegrenzter Verdünnung trifft diese Dissociation sämmtliche Molecule der gelösten Elektrolyte, deren Ionen dann alle an der Stromleitung theilnehmen.

Es erhellt daraus, dass die moleculare Leitfähigkeit mit steigender Verdünnung der Lösung zunimmt und bei jener Verdünnung, bei welcher alle Molecule des fraglichen Stoffes dissociirt sind, einen Grenzwert erreicht, der bei weiterer Verdünnung nicht mehr wächst. Zum Constantbleiben der molecularen Leitfähigkeit beim genannten Verdünnungsgrad trägt sowohl das Ausbleiben der Reibungswiderstände der activen Ionen gegen noch nicht dissociirte Molecule als auch die auf ein Minimum gebrachte gegenseitige Reibung der resp.

activen Ionen bei, während die Reibung der Ionen gegen die Lösungsflüssigkeit constant ist. Der Grad der Verdünnung, bei welchem dies stattfindet, wo also die vollständige Dissociation eines gelösten Stoffes eintritt, ist für verschiedene Stoffe sehr verschieden.

Das Gesetz von Kohlrausch gilt somit, streng genommen, nur für unendlich grosse Verdünnungen. Nach Arrhenius' Lehre ist der Dissociationsgrad des Elektrolyten von Belang und folglich die Summe der Ionen-Wanderungsgeschwindigkeiten mit dem Bruchtheil der dissociirten Molecüle oder den sog. Activitätscoefficienten (α) des betreffenden Stoffes bei gegebener Verdünnung zu multipliciren, um einen exacten Ausdruck für das specifisch-moleculare Leitvermögen (m) zu bekommen. Wir schreiben das Gesetz folglich

$$m = \alpha (u + v).$$

Uebersichtlicher und mit einander leichter zu vergleichen werden aber die Leitfähigkeiten, wenn sie anstatt auf moleculare auf äquivalente Mengen¹⁾ bezogen werden; denn die Aequivalentleitfähigkeiten verschiedener Elektrolyte zeigen sich als von gleicher Grössenordnung.

Bezüglich der Leitfähigkeit gemengter Elektrolyte ist nur wenig bekannt. Paalzow und Klein hatten gefunden, dass die Leitfähigkeit der Gemenge zweier Elektrolyte dem arithmetischen Mittel der beiden Werthe der Componenten nahe kommt, aber stets etwas grösser gefunden wird als das Mittel. Nach Kohlrausch²⁾ „liegt das Leitvermögen der Mischung zweier Lösungen — von Säuren und Basen gegenseitig abgesehen — im Allgemeinen zwischen den Leitvermögen der einzelnen Lösungen, braucht aber keineswegs das arithmetische Mittel aus beiden zu sein. Das Resultat hängt unter Anderem von den Concentrationen ab“. Dieselben können doch meistens so ausgewählt werden, dass das arithmetische Mittel eintritt, was von Arrhenius besonders für Säuren nachgewiesen wurde. Solche, von ihm isohydrisch genannte Lösungen, die also beim Zusammenmischen das arithmetisch berechnete Mittel der Leitfähigkeit aufweisen, haben auch eine Leitfähigkeit von gleicher Grössenordnung. Isohydriche Lösungen lassen sich aber nur unter

1) Siehe Kohlrausch und Holborn, Leitvermögen der Elektrolyte. Leipzig 1898.

2) l. c. S. 109.

Stoffen auffinden, die aufeinander keine chemischen Einwirkungen ausüben.

Dagegen bewirkt der Zusatz einer Säure zu einer starken Base oder umgekehrt eine Verminderung der Leitfähigkeit, indem die leichtbeweglichen Ionen OH und H durch weniger bewegliche Ionen, Säureradicale, resp. Metalle ersetzt werden. Andererseits kann die Mischung von schwachen Säuren und schwachen Basen eine gutleitende Lösung liefern, indem sie ein in hohem Grade dissociationsfähiges und dabei gut leitendes Salz entstehen lassen. Z. B. geben Essigsäure und Ammoniak, deren Lösungen einzeln schlecht leiten, bei Mischung eine gut leitende Lösung von Ammoniumacetat.

Wenn wir nun das Blut vom Standpunkte der elektrolytischen Leitung betrachten, finden wir sogleich, dass es keine einheitliche elektrolytische Lösung darstellt. Erstens besteht ja das Blut theils aus festeren organisirten Bestandtheilen, den Blutkörperchen, theils aus einer diese suspendirenden Flüssigkeit, dem Blutplasma.

Durch chemische Analysen ist festgestellt worden, dass die Blutkörperchen wie auch das Blutplasma sowohl organische Stoffe als auch anorganische Salze, d. h. Elektrolyte, enthalten, welche letzteren bei der Elektrizitätsleitung ihre eigenartige Aufgabe haben.

Wie in jeder elektrolytischen Lösung machen sich die Einflüsse der Dissociation der vorhandenen Elektrolyte und die Beweglichkeit der freien Ionen auch beim Leitvermögen des Blutes geltend.

Der Dissociationsgrad hängt von der Temperatur und der Concentration, d. h. der mehr oder weniger reichlichen Gegenwart des Lösungsmittels, des Wassers, ab, und in dieser Beziehung sind die Verhältnisse beim Plasma entschieden vortheilhafter als bei den Blutkörperchen. Auf 100 Theile Plasma resp. Serum¹⁾ kommen etwa 92 Theile Wasser, während 100 Theile Blutkörperchen nur etwa 63 und 68 % Wasser enthalten. Die Beweglichkeit der freien Ionen hängt wiederum in erster Linie von den resp. Reibungswiderständen ab, welche im Blutkörperstroma jenen im Plasma oder Serum weit überlegen sein müssen.

Das Blut ist also als eine elektrolytische Flüssigkeit anzusehen, in der nicht nur mehrere verschiedene Elektrolyte aufgelöst sind, sondern wo dieselben überdies verschiedenen Dissociationsbedingungen

1) Hammarsten, Läröbok i fysiologisk kemi. Upsala 1883. S. 137.

in den Blutkörperchen und im Plasma bezw. Serum unterworfen sind, resp. ihre freien Ionen auch noch verschiedenen grossen Reibungswiderständen bei der Stromleitung unterliegen.

In den folgenden Untersuchungen sind die Leitfähigkeitsmessungen nach der Kohlrausch'schen Wechselstrom-Telephon-Methode angestellt worden. Die Wechselströme lieferte der Neef'sche Hammer eines kleinen Inductoriums, das mit einem Chromsäure-Tauchelement getrieben wurde. Als Vergleichswiderstand wurde ein Stöpsel-Rheostat, der über 1—1000 Ohm verfügte, angewandt; als Messbrücke diente eine Wheatstone-Kirchhoff'sche, wobei der 1 Meter lange gestreckte Brückendraht mit dem Rheostaten genau kalibriert war.

Zur Messung der Leitfähigkeit wurde ferner ein Widerstandsgefäss nach der von Arrhenius angegebenen Form mit horizontal gestellten Elektroden von etwa 2 cm Durchmesser angewandt, welche mit der von Kohlrausch empfohlenen bleihaltigen Platinchloridlösung platinirt waren.

Die Widerstandscapacität des Gefässes wurde mit Hilfe einer $\frac{1}{10}$ normalen KCl-Lösung festgestellt, deren Leitfähigkeit von Kohlrausch in seinem oben citirten „Leitvermögen der Elektrolyte“ zu 0,01288 bei 25° C. bestimmt worden ist. Hierbei ist zu bemerken, dass von Kohlrausch als Einheit das Leitvermögen eines Körpers angenommen wird, von dem eine Säule von 1 cm Länge und 1 ccm Querschnitt den Widerstand von 1 Ohm besitzt.

Aus praktischen Gründen werden im Folgenden die erzielten Resultate doch 10,000-mal grösser angegeben, so dass die Tabellen und besonders die graphischen Darstellungen leichter zu überblicken sind.

Sowohl das Messgefäss als auch die bei jeder Versuchsreihe angewendeten Flüssigkeiten nebst den nöthigen Pipetten tauchten in einen geeigneten Thermostaten ein, dessen Temperatur meistens bei 25° C. constant erhalten wurde.

Die Concentration der angewandten Lösungen wird unten nach Gramm-Aequivalenten angegeben. Um den von eventuellen Zuleitungswiderständen sonst erheischten Correctionen zu entgehen, wurden die Brücke, der Rheostat und das Messgefäss mit sehr dicken Kupferdrähten vereinigt, deren resp. Längen so gewählt waren, dass die Summe derselben beiderseits gleich war.

Bei den folgenden Untersuchungen wurde defibrinirtes Rinder- und Schweineblut verwendet. Nach dem Gerinnen des frischentleerten Blutes wurde das entsprechende Serum durch dessen Aussickern aus dem Blutkuchen erhalten. Bei einigen wenigen Versuchen wurde ein durch Stehenlassen des defibrinirten Blutes gewonnenes Serum angewandt.

In einer früheren Arbeit habe ich¹⁾, nach einer von C. Schmidt²⁾ mitgetheilten Analyse über die anorganischen Salze der Pferdelymphe, theoretisch ausgerechnet, dass die genannte Lymphe, vollständige Dissociation der Salze vorausgesetzt (eine Voraussetzung, die, wie wir später finden werden, gar nicht berechtigt ist), als eine elektrolytische Lösung von etwa 0,1367 Normalität angesehen werden kann, wo die Kationen eine Wanderungsgeschwindigkeit von etwa 41, die Anionen eine solche von etwa 81 bei $+18^{\circ}\text{C}$ besässen. Bei dieser Berechnung kam es hauptsächlich darauf an, zu beurtheilen, mit welcher Wanderungsgeschwindigkeit die Kationen resp. Anionen der thierischen Säfte sich bewegen gegen das unter dem Einfluss des constanten Stromes stattfindende Eindringen in den Thierkörper irgend eines therapeutischen Ions.

Der Calcül beansprucht jedoch keine grössere Genauigkeit schon deshalb, weil, wie oben bemerkt, das Leitvermögen einer Mischung zweier oder mehrerer Lösungen im Allgemeinen nicht dem arithmetischen Mittel der Leitfähigkeiten der Componenten entspricht, sondern, was die Neutralsalze anbelangt, meistens etwas grösser ausfällt.

In der uns hier interessirenden Beziehung durften die Bestandtheile der Pferdelymphe nicht denjenigen des Blutserums oder Plasmas weder des Pferdes noch anderer Thiere gleichgesetzt werden; vielmehr wechselt die Menge der Bestandtheile des Plasmas nicht nur bei verschiedenen Thiergattungen, sondern auch im Blute verschiedener Individuen derselben Thierart nicht ganz unerheblich.

Bei der Untersuchung des Serums mehrerer Proben von Rinderblut wurde von mir ein Schwanken der Leitfähigkeit desselben zwischen 114,40 und 131,08 bei 25°C festgestellt. Hierzu ist zu bemerken, dass bei längerem Stehen des Serums die Leitfähigkeit

1) Oker-Blom, Experimentelle Untersuchungen über das unter Einwirkung des constanten elektrischen Stromes stattfindende Eindringen von medikamentösen Stoffen in den Thierkörper. 1898. S. 35—36. Comm. Verl. Köhler, Leipzig.

2) Nach O. Hammarsten, Läröbok i fysiologisk kemi. Upsala 1883. S. 159.

eine Neigung zum Steigen hat. Die Ursache hiervon kann theilweise wohl darin gesucht werden, dass das Serum meistens eine kleinere Menge Blutkörperchen suspendirt enthält, deren allmäliger Zerfall dem Serum weitere elektrolytische Producte zuführt, welche sich in einer Erhöhung der Leitfähigkeit des Serums kundgeben. Öfters beträgt jedoch die Leitfähigkeit des ein bis zwei Tage alten Rinderblutserums bei 25° C etwa 125,0.

Gelegentlich mag hier erwähnt werden, dass die Messung der Leitfähigkeit einiger pathologischen Producte bei 25° C folgende Werthe ergab: Pleuraexsudat einer etwa 30-jährigen an seröser Pleuritis erkrankten Frau 121,53; Ascitesflüssigkeit einer etwa 40 Jahre alten Frau, die an Carcinoma Hepatis litt, 135,35; und die Hydrocoeleflüssigkeit eines paar Monate alten Knaben 116,76.

Ehe ich an die nähere Untersuchung des Serums, resp. Blutes herantrete, möge des Vergleichs halber die sogenannte physiologische Kochsalzlösung in den Rahmen der Untersuchung hineingezogen werden.

Bekanntlich wird in der Physiologie wie in der praktischen Medicin von einer physiologischen Kochsalzlösung gesprochen. Zu therapeutischen Zwecken wie intravenösen Transfusionen u. dgl. findet eine 0,6 bis 0,7 % NaCl-Lösung (= 0,1028 bis 0,1199 normal) Verwendung.

In der Physiologie wird gewöhnlich eine etwas concentrirte NaCl-Lösung als physiologisch angesehen. So hat Hamburger¹⁾ gefunden, dass eine 0,9 % Kochsalzlösung für Menschen-, Rinder- und Pferdeblut conservirend wirkt, während jedoch für Froschblut eine 0,6 % Lösung zu demselben Zwecke hinreicht.

Loeb²⁾ machte die Beobachtung, dass die Concentration der NaCl-Lösung, in welcher ein Muskel (Musc. sartorius des Frosches) in einer Stunde an Gewicht weder zu- noch abnimmt, zwischen 0,62 bis 0,72 % schwankt.

Andererseits bestimmte Höber³⁾ die Gefrierpunktserniedrigung für das Kaninchenserum zu etwa 0,61 bis 0,63° C. und für Hunde-

1) H. F. Hamburger, Die osmot. Spannkraft d. Blutserums in verschiedenen Stadien d. Verblutung. Centralbl. f. Physiol. Bd. 9.

2) Jaques Loeb, Physiol. Untersuchungen üb. Ionenwirkungen. Pflüger's Archiv Bd. 69 S. 15.

3) Rudolf Höber, Ueber Resorption im Dünndarm. Pflüger's Archiv Bd. 70 S. 629—631.

serum zu 0,57 bis 0,63° C., was einer 1,0 bis 1,1 % NaCl-Lösung entspricht. In Bezug auf die Isotonie, resp. den osmotischen Druck lässt sich somit eine physiologische Kochsalzlösung kaum fixiren, weil, wie es schon Loeb hervorhebt, die osmotischen Eigenschaften thierischer Säfte und Gewebe Schwankungen unterliegen.

Suchen wir eine NaCl-Lösung auf, welche annähernd dieselbe spezifische Leitfähigkeit besitzt wie das Rinderserum, so finden wir, dass dies bei einer 0,7 % Lösung ziemlich gut stattfindet, wie es die untenstehende Tabelle zeigt.

Tabelle I.

g NaCl pro Liter	Normalität	$\frac{a}{1000 - a}$	Specifische Leitfähigkeit
11,67	0,2000	7,929	204,41
9,00	0,1542	6,246	161,02
8,00	0,1371	5,536	141,72
7,33	0,1255	5,061	130,47
7,00	0,1199	4,814	124,10
6,00	0,1023	4,208	108,48
0,70	0,0120	0,546	14,076
0,35	0,0060	0,276	7,193

Die 0,7 %, d. h. die 0,1199 normale NaCl-Lösung, hat bei 25° C. die spezifische Leitfähigkeit 124,10, eine Zahl, die nicht nur dem Mittel der Leitfähigkeit der Rindersera, sondern sogar ziemlich genau dem von den meisten 1—2 Tage alten Rinderseren gezeigten Werth entspricht.

Im selben Sinne, in welchem Loeb von der isotonischen, physiologischen NaCl-Lösung spricht, konnte also eine etwa 0,7 % Kochsalzlösung in Bezug auf die elektrolytische Leitfähigkeit als physiologisch betrachtet werden.

In wie weit man bezüglich der osmotischen Erscheinungen überhaupt berechtigt ist, in einem bestimmten Fall von einer physiologischen Kochsalzlösung zu sprechen, ist eine Frage, auf welche ich gelegentlich zurückkommen werde. Ein Vergleich der Leitfähigkeiten des Serums und der 0,7 % Kochsalzlösung bei steigender Verdünnung gewährt uns einen interessanten Einblick in die Dissociationsverhältnisse der beiden Flüssigkeiten.

Aus praktischen Gründen wird das Blutserum als 1 normal betrachtet, d. h. es wird angenommen, dass in einem Liter Serum die Einheit der in demselben befindlichen gemischten Salzmenge ent-

halten ist. Um Verwechselungen zu vermeiden, wird die auf diese Einheit bezogene Leitfähigkeit als die physiologische Leitfähigkeit des Serums bezeichnet. Es wird somit eine Grösse eingeführt, die der molecularen, bzw. der äquivalenten Leitfähigkeit analog ist und in vielen Beziehungen sich wie diese behandeln lässt.

Die Berechnung der Messungen geschieht ganz einfach nach der Formel der molecularen Leitfähigkeit, und haben wir somit die physiologische Leitfähigkeit (L)

$$L = C \cdot \frac{v}{w} \cdot \frac{a}{1000 - a},$$

wo v das Volumen in Litern bedeutet, auf welches ein Liter des Serums verdünnt ist, während v bei der molecularen Leitfähigkeit (μ) das Volumen in Litern angibt, welches ein Gramm-Moleculargewicht des entsprechenden Elektrolyts enthält. Die anderen Bezeichnungen haben dagegen ihre gewöhnliche Bedeutung: C = die Widerstandscapacität des Messgefässes; a = die linke, d. h. die dem Rheostatenwiderstande entsprechende Drahtlänge der Messbrücke bis zur Contactschneide, und w der eingeschaltete Rheostatenwiderstand. Das zu den Verdünnungen in den Tabellen II und III angewandte Aqua destillata war nicht ganz einwandfrei, sondern besass ein Leitvermögen, das bei einem eingeschalteten Vergleichswiderstand von 500

Ohm zu 0,0449 $\left(\frac{a}{1000 - a} = 0,0168\right)$ festgestellt werden konnte.

Die hierdurch erheischten Correctionen der resp. Leitfähigkeiten, wie der Werthe für $\frac{a}{1000 - a}$ sind in den Tabellen II und III schon gemacht. Im Uebrigen dürften die Tabellen ohne Weiteres verständlich sein.

Tabelle II.

Flüssigkeit	Verdünnung in Litern	Corrig. $\frac{a}{1000 - a}$	Specifische Leitfähigkeit	Physiologische Leitfähigkeit
Rinderserum	1	49,000	131,08	131,08
"	2	26,76	71,59	143,18
"	4	14,36	38,42	153,68
"	8	7,833	20,95	167,60
"	16	4,008	10,72	171,32
"	32	2,148	5,746	183,87
"	64	1,102	2,947	188,61
"	128	0,5630	1,506	192,77
"	256	0,2904	0,7768	198,86
"	512	0,1460	0,3906	199,99

Betrachten wir die obige Tabelle, so finden wir, dass die physiologische Leitfähigkeit, die für das unverdünnte Serum 131,08 beträgt, mit steigender Verdünnung des Serums immer mehr zunimmt, bis sie bei der 256 Liter-Verdünnung auf 198,86 steigt, einen Werth, welcher bei weiterer, bis zu 512 Liter betragender Verdünnung kaum mehr überschritten wird. Wir sehen also, dass die Elektrolyte des unverdünnten Serums bei weitem nicht vollständig dissociirt sind, wie es in der Literatur öfters angenommen wird. Im Gegentheil wird die vollkommene Dissociation der Serumsalze erst bei etwa 256maliger Verdünnung erreicht, wo die physiologische Leitfähigkeit ihren Grenzwerth etwa angenommen hat, in diesem Falle auf 198,86 bis auf 199,99 gestiegen ist.

Wenden wir uns jetzt zu gleichartigen Untersuchungen bezüglich des defibrinirten Blutes, so finden wir, wie es auch beim Serum der Fall war, dass die Leitfähigkeit verschiedener Individuen derselben Thiergattung nicht constant ist.

Für defibrinirtes Rinderblut habe ich ein Schwanken der Leitfähigkeit zwischen 52,50 und 70,89, für Schweineblut von 44,49 bis 51,51 beobachtet. Mit der Zeit nimmt die Leitfähigkeit des Blutes etwas zu, wie dies auch beim Serum erfolgte. Die Ursache dürfte wohl auch hier ein Zerfallen der festeren Bestandtheile des Blutes sein, deren Salze dann in das Serum einwandern und die Concentration der Serumelektrolyte vergrößern. (Ueber anderweitige Schwankungen der Leitfähigkeit des Blutes bei den angestellten Messungen siehe weiter unten).

Tabelle III zeigt das Verhalten der physiologischen Leitfähigkeit einer Probe von Rinderblut bei steigenden Verdünnungen.

Tabelle III.

Flüssigkeit	Verdünnung in Litern	Corrig. $\frac{a}{1000 - a}$	Specifische Leitfähigkeit	Physiologische Leitfähigkeit
Rinderblut	1	23,39	62,57	62,57
"	2	15,12	40,45	80,90
"	4	10,10	27,02	108,08
"	8	5,930	15,86	126,88
"	16	3,257	8,712	139,39
"	32	1,726	4,617	147,74
"	64	0,9174	2,454	158,06
"	128	0,4819	1,289	164,33
"	256	0,2474	0,6618	169,42
"	512	0,1261	0,3373	172,70

Wir finden, dass die physiologische Leitfähigkeit des Blutes, die in unserem Falle für das unverdünnte Blut 62,57 ist, mit steigender Verdünnung rasch wächst und bei 512 Liter-Verdünnung 172,70 beträgt. Ob aber eine vollkommene Dissociation der Blutsalze bei eben dieser Verdünnung erreicht ist, bleibt in Anbetracht des stetigen Steigens der physiologischen Leitfähigkeit selbst bei den grössten Verdünnungen unentschieden.

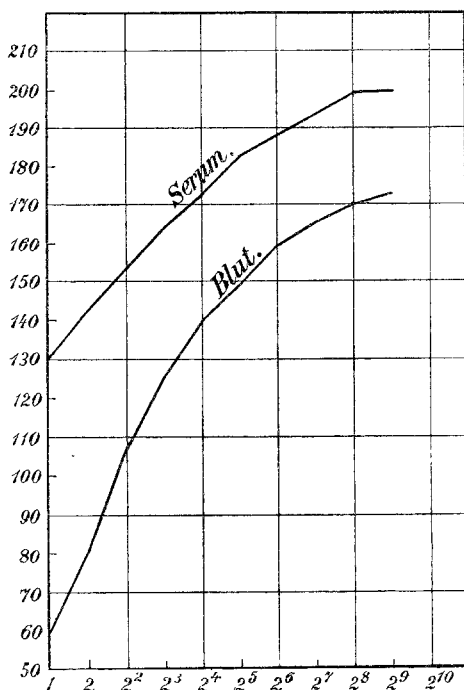


Fig. 1.

Fig. 1 verdeutlicht das Steigen der resp. physiologischen Leitfähigkeit des Serums der Tab. II und des Blutes der Tab. III, welche beide von dem Blute desselben Thieres stammen. Die physiologischen Leitfähigkeiten sind als Ordinaten eingetragen; die Abscissen geben die resp. in geometrischer Progression ansteigenden Verdünnungen an.

Die Serumcurve fängt bei 131, die des Blutes bei 62,5 an; diese steigt sehr steil, besonders im Anfange, und scheint selbst bei der stärksten Verdünnung 2⁹ immer noch im Steigen begriffen; jene erhebt sich weniger steil bis zur Verdünnung 2⁸, von wo an sie

sogar horizontal verläuft. Die Differenz der physiologischen Leitfähigkeiten, welche für die resp. unverdünnten Flüssigkeiten 69 ist, wird auf der Strecke 2^4 — 2^6 (der Verdünnung) 32—30, um von da ab noch abzunehmen.

Bei allen folgenden Versuchen wurde ein Wasser angewandt, dessen Leitvermögen so klein war, dass es bei Anwendung eines Vergleichswiderstandes von 50 Ohm nicht entdeckt werden und folglich bei den Untersuchungen, die alle mit dem Vergleichswiderstand von gerade 50 Ohm angestellt wurden, keine Rolle spielen konnte.

Ich lasse in Tabelle IV zwei parallele Serien der physiologischen Leitfähigkeit des Serums und Blutes vom selben Thiere folgen. Die stufenweise in arithmetischer Progression vorgenommenen Verdünnungen erstrecken sich nur bis auf eine 20fache Verdünnung.

Tabelle IV.

Verdünnung	$\frac{a}{1000 - a}$		Specifische Leitfähigkeit		Physiologische Leitfähigkeit	
	Serum	Blut	Serum	Blut	Serum	Blut
1	4,882	2,425	125,86	62,52	125,86	62,52
2	2,731	1,532	70,41	39,49	140,82	78,98
3	1,985	1,247	51,17	32,18	153,51	96,54
4	1,551	1,024	39,98	26,40	159,92	105,60
5	1,262	0,869	32,63	22,40	163,15	112,00
6	1,049	0,754	27,04	19,44	162,24	116,64
7	0,896	0,689	23,10	17,74	161,70	124,18
8	0,786	0,619	20,26	15,96	162,08	127,68
9	0,701	0,558	18,07	14,39	162,63	129,51
10	0,634	0,511	16,34	13,17	163,40	131,70
15	0,421	0,355	10,85	9,142	162,78	137,13
20	0,320	0,272	8,249	7,012	165,99	140,24

Die Tabelle V zeigt das Verhalten der physiologischen Leitfähigkeit der 0,7 % Kochsalzlösung unter analogen Bedingungen. Eine besondere Columnne gibt überdies die wirkliche Verdünnung des NaCl und eine andere die Aequivalent-Leitfähigkeit an.

Die Ergebnisse der Tabelle IV und V lassen sich am besten aus den in Fig. 2 gezeichneten Curven ansehen, welche die Veränderungen der physiologischen Leitfähigkeit des Blutes und seines entsprechenden Serums sowie jene der 0,7 % Kochsalzlösung darstellen.

Tabelle V.

Verdünnung der 0,7%igen NaCl-Lösung	1 g Mol. auf x-Liter	α	Leitfähigkeit		
		$\frac{1000 - \alpha}{1000}$	specifische	physio- logische	aequivalente
1	8,33	4,814	124,10	124,10	103,38
2	16,66	2,472	63,75	127,50	106,31
3	24,99	1,688	43,42	130,26	108,51
4	33,32	1,283	33,08	132,32	110,22
5	41,65	1,056	27,22	136,10	113,37
6	49,98	0,887	22,87	137,22	114,30
7	58,31	0,764	19,70	137,90	114,87
8	66,64	0,672	17,32	138,56	115,82
9	74,97	0,600	15,47	139,23	115,98
10	83,33	0,539	13,90	139,00	115,79
15	124,98	0,362	9,338	140,07	116,69
20	166,66	0,274	7,064	141,28	117,69

Die Curven des Serums und der NaCl-Lösung fangen annähernd bei derselben Höhe, und zwar bei 125,86 resp. 124,10 an. Die Serumcurve steigt ziemlich steil bis zu 159,92 bei der Verdünnung 4, um sich von da ab nur sehr allmählig weiter zu erheben; bei 20facher Verdünnung zeigt sie den Werth 165,99.

Die NaCl-Curve erhebt sich von ihrem Anfangswerth 124,10 nur sehr langsam, bis sie bei 8facher Verdünnung 138,56 erreicht. Von hier an verläuft sie in einer Entfernung von etwa 23 bis 25 unterhalb und ziemlich parallel mit der Serumcurve, um bei 20facher Verdünnung den Werth 141,28 aufzuweisen.

Die Blutcurve beginnt bei 62,52 und erreicht besonders bei den ersten Verdünnungen sehr grosse Sprünge, nämlich auf 78,98, 96,54 und 105,60 bei der resp. 2-, 3- und 4fachen Verdünnung; sie steigt bis zur Verdünnung 9 fortwährend sehr steil, um sich von da an etwas langsamer zu erheben; die Curve ist indessen selbst bei der 20fachen Verdünnung, wo sie mit dem Werthe 140,24 dem der 0,7 % NaCl-Curve sehr nahe kommt, immer noch im stetigen Steigen begriffen.

Wir entnehmen den Fig. 1 und 2 sogleich, dass die Salze des Serums wie die des Blutes in viel geringerem Grade dissociirt sind als die der 0,7 % NaCl-Lösung, besonders in den unbedeutenderen Verdünnungen. Wie bei der molecularen bzw. äquivalenten Leit-

fähigkeit¹⁾ können wir durch Dividiren des Werthes der physiologischen Leitfähigkeit des unverdünnten Serums durch den Grenzwert den Dissoziationsgrad der vorhandenen Elektrolyte des unverdünnten Serums berechnen.

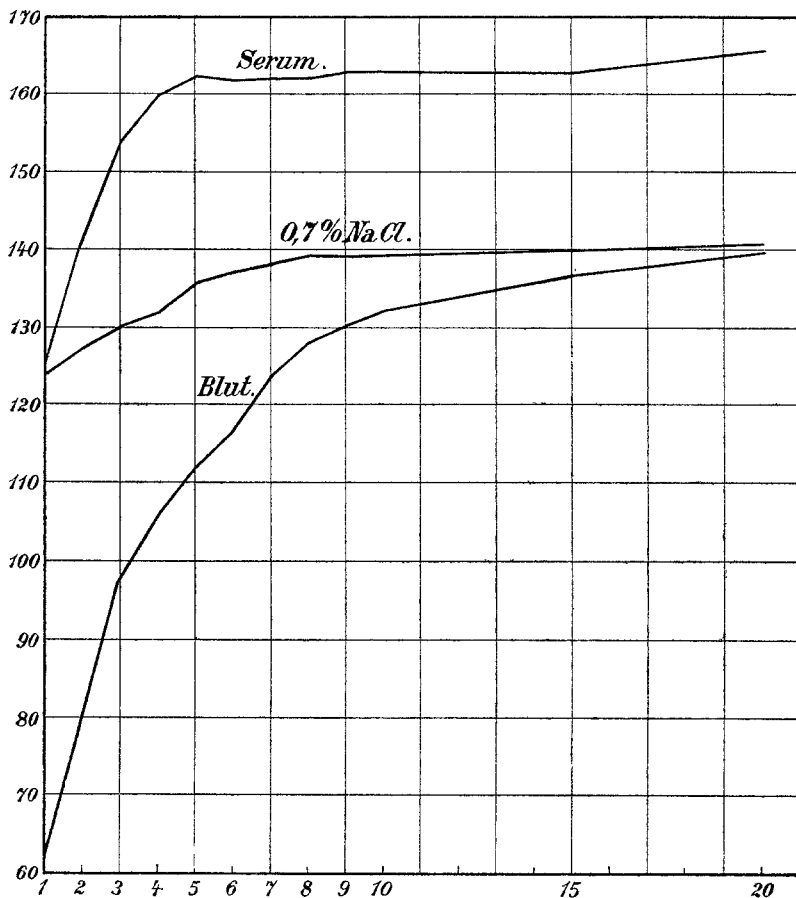


Fig. 2.

Wenn wir annehmen, dass das NaCl der 0,7 % Kochsalzlösung bei der 20fachen Verdünnung, wo also (vgl. Tab. V) 1 g Äquivalent des Salzes auf 166,66 Liter Wasser verdünnt ist, vollständig dissociirt wäre, dann hätten wir den Grenzwert der physiologischen

1) Ostwald, Lehrbuch der allgemeinen Chemie Bd. 2 (1) 1893. S. 656.

Leitfähigkeit gleich 141,28. Der Dissociationsgrad des NaCl der 0,7 % Kochsalzlösung wäre dann bei 25° C.:

$$\alpha = \frac{124,10}{141,28} \text{ (physiol. Leitf.)} = \frac{103,38}{117,69} \text{ (äquival. Leitf.)} = 0,88^1).$$

Wäre ebenso bei der 20fachen Verdünnung der Grenzwert der physiologischen Leitfähigkeit vom Serum, bezw. vom Blute erreicht, dann würde der Dissociationsgrad bei 25° C. für unverdünntes Serum

$$\alpha = \frac{125,86}{165,99} = 0,76 \text{ und für Blut } \frac{62,52}{140,24} = 0,45 \text{ sein.}$$

Es ist oben beim Betrachten der Fig. 1 offenbar, dass weder Serum noch Blut bei dieser Verdünnung den Grenzwert ihrer Leitfähigkeit erreicht haben. Entnehmen wir den Tabellen II und III die entsprechenden Werthe, so ergibt sich α bei 25° C. für unverdünntes Serum zu (Tab. II) $\frac{131,08}{199,99} = 0,65$. Ebenso bekommen

wir für das unverdünnte Blut der Tab. III $\alpha = \frac{62,57}{172,70} = 0,34$.

Ohne zu sehr irre zu gehen, können wir also behaupten, dass der Dissociationsgrad des unverdünnten, defibrinirten Rinderserums bei 25° C. etwa 0,65 bis 0,76 beträgt.

Für die beiden in dieser Hinsicht untersuchten Proben würde ebenso der Dissociationsgrad der Elektrolyte des unverdünnten defibrinirten Blutes bei 25° C. sich auf etwa 0,34 bis 0,45 belaufen.

Fassen wir die Bestandtheile des Serums und des Blutes näher ins Auge, so werden die Leitfähigkeitsverhältnisse derselben verständlich. Die genannten Flüssigkeiten enthalten, ausser anorganischen Salzen, ein zwar unbedeutendes Gemenge von harn-, milch- und fettsauren Salzen, daneben aber viel Eiweisskörper, welche letzteren die Elektrizität nicht leiten, deren Gegenwart aber, wie überhaupt aller anderen Nicht-Elektrolyten (Arrhenius²), die Leitfähigkeit der Elektrolyte beeinträchtigt, wie es von Tangl und Bugarsky³)

1) Berechnen wir α für NaCl nach der von Ostwald (siehe sein Lehrbuch Bd. 2 [1] S. 742) bestimmten Leitfähigkeit bei 25° C., so bekommen wir für die Verdünnung auf 32 Liter den Werth 0,85; und nach den Wallden'schen Bestimmungen 0,91.

2) Arrhenius, Ueber die Aenderung des elektrischen Leitvermögens einer Lösung durch Zusatz von kleinen Mengen eines Nichtleiters. Zeitschr. f. physik. Chemie Bd. 9. 1892.

3) Bugarsky und Tangl, Physikal. chem. Untersuchungen über die molecularen Concentrationsverhältnisse des Blutserums. Arch. f. d. ges. Physiologie Bd. 72 S. 540. 1898.

direct nachgewiesen wurde. In dem Maasse, als das Blut, resp. das Serum, mit destillirtem Wasser verdünnt wird, wird ja der störende Einfluss von Seiten der vorhandenen Nicht-Elektrolyte zu Gunsten eines steileren Steigens der physiologischen Leitfähigkeitscurve verringert.

Ebenso dürften beim Zumischen von Wasser zum Blute hydrolytische Spaltungen organischer Verbindungen stattfinden, welche in derselben Richtung wirken. Besonders ist aber hervorzuheben, dass das Blut, resp. das Serum, nicht ganz unbedeutende Mengen von kohlensaurem Natrium enthält, welches einer hydrolytischen Spaltung fähig ist. Von Schields¹⁾ ist nachgewiesen worden, dass das Na_2CO_3 bei einer dem Gehalte desselben im Serum entsprechenden Concentration von etwa 7 % in NaHO und NaHCO_3 gespalten ist; eine Spaltung, die bei zunehmender Verdünnung zunimmt. Da der Hyroxyl-Ion²⁾ eine etwa drei Mal grössere Wanderungsgeschwindigkeit besitzt als sonst die meisten sowohl positiven (den H -Ion ausgenommen) wie negativen Ionen, versteht sich von selbst, dass ein mit der Verdünnung Hand in Hand gehendes Entstehen von HO die physiologische Leitfähigkeit der fraglichen Flüssigkeiten noch bei ziemlich grossen Verdünnungen zum stetigen Steigen veranlasst.

Das entschieden schnellere Steigen der Aequivalentleitfähigkeit des Na_2CO_3 gegenüber derjenigen des NaCl bei abnehmender Concentration geht auch ohne Weiteres aus den Tabellen Kohlrausch's³⁾ hervor. Bei Abnahme der Aequivalentconcentration (Gramm-Aequivalent auf Kubikcentimeter) der betreffenden Salze von 3,0 bis 0,002 steigt das Aequivalentleitvermögen bei 18° C. für $1/2 \text{ Na}_2\text{CO}_3$ von 27,1 bis auf das Vierfache oder 108,5, während dasjenige des NaCl sich etwa nur verdoppelt, resp. von 56,5 bis auf 106,7 ansteigt.

Aus den quantitativen Berechnungen von Bugarsky und Tangl⁴⁾ ergibt sich auch, dass „das elektrische Leitvermögen des unverdünnten Blutserums hauptsächlich durch dessen NaCl - und Na_2CO_3 -Gehalt bedingt wird“.

1) Schields, Ueber Hydrolyse in wässrigen Salzlösungen. Zeitschr. f. physik. Chemie Bd. 12. 1893.

2) Ostwald, l. c., S. 657—659 und 722—772.

3) Kohlrausch und Holborn, Leitvermögen der Elektrolyte. Leipzig 1898. S. 159.

4) Bugarsky und Tangl, l. c. S. 537.

Auf das verschiedene Verhalten der Serum- und der Blutcurve ist oben schon aufmerksam gemacht worden. Die Serumcurven steigen anfangs, machen dann einen Bogen, um später nur sehr allmählig sich zu erheben, bez. bei den grössten von mir angewandten Verdünnungen horizontal zu verlaufen. Die Blutcurven bilden sogar von Anfang an, so weit sich die Verdünnungen erstrecken, einen ziemlich gleichmässigen Bogen mit relativ grossem Radius. Es scheint also, dass mit immer grösseren Beimengungen von Aqua destillata zum Blute die Bedingungen für die elektrolytische Stromleitung vortheilhafter werden und dass die Grenze der maximalen physiologischen Leitfähigkeit bei den angewandten Verdünnungen vom Blute noch nicht erreicht wird.

Es ist offenbar, dass die elektrolytischen Verhältnisse beim Blute verwickelter liegen als beim Serum. Mit jeder Verdünnung des Blutes machen sich osmotische Druckdifferenzen zwischen den Blutkörperchen und dem diluirten Serum geltend. Der neu entstandene niedrigere osmotische Druck des Serums ruft ein Ausströmen der Elektrolyte der Blutkörperchen aus dem Körperchenstrome in das Serum hervor, welches somit ein Plus an Elektrolyten enthalten wird, während dagegen die Blutkörperchen selber Wasser aufnehmen und an Volumen zunehmen. Diese Strömungen hören erst dann auf, wenn der Gleichgewichtszustand zwischen dem osmotischen Drucke ausserhalb und innerhalb des Blutkörperchens durch dieselben Strömungen hergestellt wird. Jede weitere Verdünnung des Blutes hat bis zu einer gewissen Grenze wieder weitere Strömungen zwischen Blutkörperchen und Serum zur Folge.

Um diese Thatfachen mit den Leitfähigkeitsmessungen in Einklang zu bringen, scheint mir die folgende Betrachtung am Platze zu sein. Die durch verringerten osmotischen Druck des Blutserums bei Zusatz von Aqua destillata zum Blute aus den Körperchen austretenden Salze haben an ihrem früheren Orte vom Stromagewebe viel grössere Reibungswiderstände bei der elektrolytischen Wanderung erlitten, als das im Serum der Fall ist. Sie können sich folglich, einmal in das Serum gelangt, jetzt mit grösserer Activität an der Stromleitung betheiligen. Das Serum wird also verhältnissmässig immer mehr leitende Bestandtheile enthalten, welche wegen des zugefügten Wassers sich einer grösseren Dissociation hingeben können. Andererseits nehmen aber die an leitenden Bestandtheilen immer ärmeren Blutkörperchen an Volumen zu, wodurch zudem die in den-

selben restirenden Elektrolyten durch das aufgenommene Wasser vielleicht einer erhöhten Dissociation fähig werden und zugleich in einem mehr lockeren Strome auch beweglicher werden können. Dagegen wird durch das Anschwellen der Blutkörperchen das Volumen des Serums eingeschränkt, welcher Umstand auf die Leitfähigkeit wieder unvortheilhaft wirken müsste.

Da unsere Blutcurve bis zu 20 Liter-Verdünnung immer noch eine steigende Tendenz aufweist, so geht daraus hervor, dass innerhalb dieser Grenzen die zwei ersteren Factoren, nämlich 1. das Austreten von Salzen aus den Blutkörperchen in das Serum, sowie deren weitere Dissociation und 2. die ebenfalls beförderte Dissociation der an den Körperchen noch haftenden Elektrolyte den dritten Factor: das Einschränken des Serumvolumens durch die an Volumen grösser gewordenen Blutkörperchen, an Wirkung weit übertreffen.

Ohne Zweifel kann wohl auch der erste Factor als die hauptsächlichste Ursache des mit jeder Verdünnung parallel gehenden Steigens der physiologischen Leitfähigkeit des Blutes angesehen werden.

Vergleichen wir die physiologischen Leitfähigkeiten der unvermischten defibrinirten Blutproben mit jenen der entsprechenden Sera, so finden wir, dass diese im Allgemeinen ungefähr doppelt so gut leiten wie jene. Es ist also ersichtlich, dass die Blutkörperchen oder richtiger die in ihnen steckenden Elektrolyte am Elektrizitäts-transport relativ wenig theilnehmen. Die Leitfähigkeit der Blutkörperchen lässt sich kaum direct ermitteln, da dieselben auch beim Sedimentiren nicht leicht von anhaftendem Serum zu befreien sind. Annäherungsweise könnten wir jedoch ihre Leitfähigkeit folgender Weise schätzen.

Durch Sedimentiren von drei Theilen Blut mit einem Theile einer 0,04—0,16 normalen NaCl-Lösung erhielt Hedin¹⁾ bei 7 Messungen für das Volumen der rothen Blutkörperchen im Rinderblute Werthe, die zwischen 29,5 % und 53,0 % der ganzen ungemischten Blutmenge lagen und deren Mittel etwa 45 % beträgt.

Da ich keine Gelegenheit hatte, die angewandten Blutproben zu sedimentiren, muss ich mich dieses Mal damit begnügen, zu zeigen, welcher Antheil an der Stromleitung den Blutkörperchen zukommt,

1) Hedin, Ueber die Permeabilität der Blutkörperchen. Arch. f. d. ges. Physiologie Bd. 68.

wenn sie ca. 45 % des Gesamtblutes betragen. Die folgende Tabelle zeigt die Werthe $\frac{a}{1000 - a}$ sowie die physiologischen Leitfähigkeiten für Blut und Serum entsprechender Proben neben einander. Ferner enthält eine besondere Columnne den Antheil an der Leitfähigkeit des Blutes, welcher dem darin enthaltenen Serum zukommen würde, wenn das Blutkörpervolumen 45 % und folglich das Serum 55 % des ungemischten defibrinirten Blutes betragen würde. Die letzte Columnne zeigt den Rest der Leitfähigkeit, womit die Blutkörperchen, unter der genannten Voraussetzung, an der gesammten Stromleitung theilnehmen würden.

Tabelle VI.

Blutart	L e i t f ä h i g k e i t			
	des Serums	d e s B l u t e s		
		des gesammten Blutes	Antheil des Serums	Antheil der Blutkörperchen
Rinderblut	131,08	62,57	72,09	— 9,52
„	125,86	62,52	69,22	— 6,70
„	119,41	52,50	65,67	— 13,17
„	116,31	60,17	63,97	— 3,80
„	114,40	61,96	62,92	— 0,96
Schweinsblut	119,34	44,49	65,64	— 21,15
„	126,77	51,51	69,72	— 18,21

Einzelheiten bei Seite lassend, finden wir im Allgemeinen, dass die Annahme von im Mittel 45 % Blutkörperchen im Blute nicht ausreicht, um die schlechte Leitfähigkeit des Blutes zu erklären; denn die Werthe für das Leitvermögen der Blutkörperchen würden dann, wie es die Columnne zeigt, schon negativ sein müssen.

Bei einigen Blutproben wurde durch Stehenlassen des defibrinirten Blutes so viel Serum erhalten, dass es einer Leitfähigkeitsbestimmung unterzogen werden konnte. Es stellte sich dabei heraus, dass das Serum des defibrinirten Blutes meistens ein etwas schlechteres Leitvermögen besass, als das aus dem coagulirten Blute gewonnene. So ergab eine Probe Rinderblut für das Serum des defibrinirten Blutes die Leitfähigkeit 109,80, für solches des coagulirten Blutes 114,40. Hierzu ist allerdings zu bemerken, dass jenes hellgelb war, dieses dagegen eine deutlich röthlich Farbe hatte, wobei eventuell vorhandene Blutkörperchen zu dem relativ niedrigen Leitvermögen

beigetragen haben können. Vielleicht ist die Ursache der Verschiedenheit der Leitfähigkeit auch darin zu suchen, dass die weissen Blutzellen, welche die Gerinnungssubstanzen liefern, beim Defibriniren des Blutes nebst ihren Elektrolyten weggeschafft werden, dagegen beim Gerinnenlassen des Blutes durch Zerfall ihre leitenden Bestandtheile dem aussickernden Serum abgeben, welches somit an Leitvermögen gewinnt. Obgleich die obigen Berechnungen keine Genauigkeit beanspruchen, ist es jedenfalls ersichtlich, dass die Blutkörperchen ziemlich wenig zu der Stromleitung beitragen.

Wie schon oben bemerkt wurde, haben Bugarsky und Tangl die Leitfähigkeit der durch Centrifugiren isolirten Blutkörperchen bestimmt und gefunden, dass dieselbe im Mittel nur etwa $1,85 \times 10^{-8}$ betrug und daher neben derjenigen des Plasmas, welche zwischen $96,7 \times 10^{-8}$ und $122,0 \times 10^{-8}$ lag, mit grosser Annäherung vernachlässigt werden kann; dabei rührt sie wahrscheinlich von jener geringen Plasmaschicht her, welche trotz anhaltendem Centrifugiren an und zwischen den Blutkörperchen stets haften bleibt.

Das schlechte Leitvermögen der Blutkörperchen gibt sich sonst jedes Mal kund, wenn das Messgefäss etwas länger gestanden hat, so dass die Blutkörperchen auf die Oberfläche der horizontal stehenden unteren Elektrode sich abgelagert haben und wahrscheinlich auch die Concentration des Blutes an Blutkörperchen im unteren Theile des Gefässes, wo sich die Elektroden befinden, grösser geworden ist. Dies Verhalten tritt besonders dann zu Tage, wenn die Flüssigkeitssäule im Messgefäss hoch steht; die Leitfähigkeit des Blutes nimmt dann mit der Zeit ganz besonders ab, erreicht aber nach gelindem Umschütteln bald wieder ihre ursprüngliche Höhe. Das Gegentheil findet dagegen statt, wenn die Blutsäule so niedrig ist, dass sie an die höher stehende Elektrode eben noch heranreicht. Lässt man unter diesen Umständen das Gefäss eine Zeit lang stehen, so nimmt die Leitfähigkeit zu, und zugleich bemerkt man eine hellere, beim längeren Stehen sogar durchsichtige, an Blutkörperchen ärmere Schicht gleich unter der oberen Elektrode. Offenbar ist auch ein Theil der Blutkörperchen, welche vorher zwischen den resp. Elektroden sich befanden, unter die untere Elektrode gesunken, wodurch die Blutkörperchenconcentration der gemessenen Blutsäule abgenommen hat. Ein leises Umschütteln stellt den Status quo ante wieder her.

Diese, wie es scheint, ganz einfach zu erklärenden Verhältnisse

sind bei den Leitfähigkeitsbestimmungen wohl zu berücksichtigen, besonders, wenn die Elektroden des Messgefäßes sich in horizontaler Lage befinden, wie es bei meinen Untersuchungen der Fall war.

Um dem Verhalten auf den Grund zu kommen, habe ich Leitfähigkeitsmessungen ausgeführt für Mischungen von defibrinirtem Blute und Serum in wechselnden Proportionen.

Tabelle VII gibt zwei Versuchsserien wieder, die mit defibrinirtem Blute und aus coagulirtem Blute gewonnenem Serum angestellt sind, deren Verhalten durch die Curven der Fig. 3 und 4 verdeutlicht wird. Bei den Zahlen am unteren Rande der Curvenfiguren zeigt der Zähler die Blut-, der Nenner die Serummenge der Mischung an.

Tabelle VII.

Verhältniss		a 1000 — a	Leitfähigkeit			Anmerkungen
Blut	Serum		beob.	berechn.	Differenz	
1	0	2,322	59,44	—	—	Zwei Tage altes Rinderblut und Serum aus dem coagulirten Blute desselben Rindes.
10	1	2,505	64,13	64,64	— 0,51	
10	2	2,636	67,48	68,98	— 1,50	
10	3	2,774	71,01	72,64	— 1,63	
10	4	2,876	73,63	75,78	— 2,15	
10	5	3,000	76,80	78,51	— 1,71	
10	6	3,082	78,90	80,89	— 1,99	
10	7	3,167	81,08	82,99	— 1,91	
10	8	3,237	82,87	84,86	— 1,99	
10	9	3,310	84,74	86,53	— 1,79	
10	10	3,367	86,20	88,04	— 1,84	(Fig. 3.)
9	10	3,444	88,17	89,53	— 1,36	
8	10	3,525	90,24	91,23	— 0,99	
7	10	3,630	92,93	93,08	— 0,15	
6	10	3,695	94,59	95,19	— 0,60	
5	10	3,785	96,90	97,57	— 0,67	
4	10	3,878	99,28	100,29	— 1,01	
3	10	4,000	102,40	103,43	— 1,03	
2	10	4,128	105,68	107,10	— 1,42	
1	10	4,291	109,85	111,43	— 1,58	
0	1	4,556	116,63	—	—	
1	0	2,472	63,28	—	—	
10	1	2,636	67,48	68,13	— 0,65	
10	2	2,774	71,01	72,09	— 1,08	
10	3	2,891	74,01	75,59	— 1,58	
10	4	3,000	76,80	78,52	— 1,72	
10	5	3,082	78,90	81,07	— 2,17	
10	10	3,425	87,68	89,95	— 2,27	
10	15	3,673	94,03	96,09	— 2,06	
0	1	4,556	116,63	—	—	

Betrachten wir die obige Tabelle und die entsprechenden Curven, so finden wir alsbald, dass die beobachteten Leitfähigkeiten bei den

resp. Mischungen überall etwas niedriger ausfallen als die nach den Proportionen der entsprechenden Mischungen berechneten Werthe derselben. Das zwei Tage alte, mit dem Serum aus geronnenem Blute desselben Rindes vermengte und das eben entleerte Rinderblut, das mit dem einer anderen Blutprobe entnommenen Serum vermischt war, verhielten sich ganz gleich. Die beobachtete Curve folgt ganz regelmässig der berechneten, sie verläuft nur etwas niedriger als diese, und zwar in einer Entfernung, welche für die

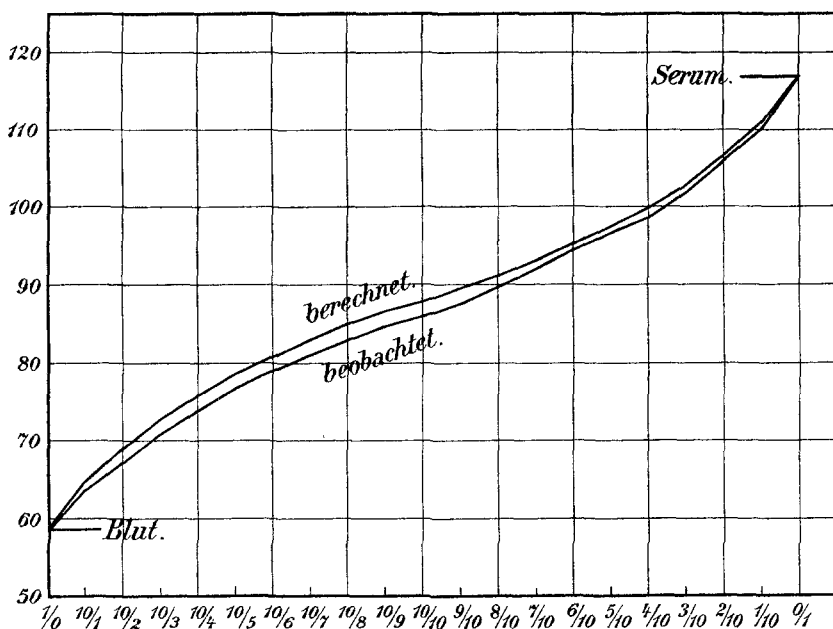


Fig. 3.

Mischungen $\frac{1}{0}$ bis $\frac{10}{8}$ von 0 bis etwa 1,63 zunimmt, um von da an bis zur Mischung $\frac{9}{10}$ zwischen diesem Werthe und etwa 2,0 zu liegen. Je mehr dann das Blut mit Serum weiter verdünnt wird, desto mehr nimmt die Differenz zwischen der berechneten und der beobachteten Leitfähigkeit der Mischungen wieder ab.

Dies von dem berechneten Werthe abweichende Verhalten dürfte seine Ursache nicht in eventuell ungenau bestimmten Werthen der resp. Leitfähigkeiten haben können. Bezüglich des Vermischens von Blut und Serum muss freilich bemerkt werden, dass, während das Serum sich mit einer Pipette genau abmessen lässt, das dickflüssigere

Blut immer etwas an der inneren Oberfläche der Pipette haftet, wodurch das Blutquantum der Mischung ein wenig beeinträchtigt wird. Dieser Umstand müsste indessen der Leitfähigkeit der Mischung zum Vortheil gereichen. Ein Haften von destillirtem Wasser am Messgefäß bezw. den Elektroden, welche vor jeder Versuchsserie damit sorgfältig ausgespült wurden, macht sich, wenn überhaupt, schon bei der ersten Bestimmung der ungemischten Flüssigkeit geltend. Da das Blut mit einem in Bezug auf die Zusammensetzung seinem eigenen Serum sehr nahe kommenden Serum gemischt war, können

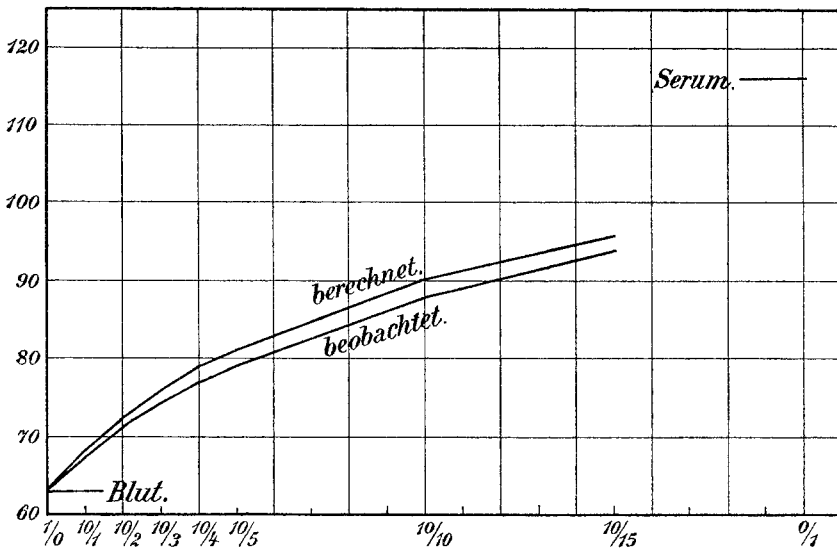


Fig. 4.

wir kaum an irgend welche Veränderungen der Dissociationsverhältnisse der enthaltenen Elektrolyte oder an nachtheilig wirkende osmotische Strömungen zwischen dem zugesetzten Serum und den Blutkörperchen denken.

Um alle Zweifel definitiv zu entfernen, wurden Leitfähigkeitsbestimmungen von Mischungen gemacht, bei denen defibrinirtes Blut mit einem Serum versetzt war, das durch Stehenlassen desselben defibrinirten Blutes gewonnen war. Zwei solche Versuchsserien nebst einer entsprechenden Curve (Fig. 5) folgen hier unten.

Tabelle VIII.

Verhältniss		$\frac{a}{1000 - a}$	Leitfähigkeit			Anmerkungen
Blut	Serum		beob.	berechn.	Differenz	
1	0	2,012	51,51	—	—	Zwei Tage altes Schweineblut und sein eigenes Serum.
2	1	2,876	73,63	76,60	— 2,97	
1	1	3,386	86,68	89,14	— 2,46	
1	2	3,906	99,99	101,68	— 1,69	
0	1	4,952	126,77	—	—	
1	0	2,650	70,89	—	—	Zwei Tage altes Rinderblut und sein eigenes Serum. (Fig. 5.)
10	1	2,759	73,80	75,83	— 2,05	
10	2	2,891	77,33	79,95	— 2,62	
10	3	3,000	80,25	83,44	— 3,19	
10	4	3,098	82,87	86,98	— 4,01	
10	5	3,202	85,65	89,01	— 3,36	
10	10	3,587	95,95	98,16	— 2,11	
5	10	3,878	103,37	105,93	— 2,56	
4	10	3,975	106,33	108,72	— 2,39	
3	10	4,128	109,41	111,90	— 2,49	
2	10	4,263	114,04	115,61	— 1,57	
1	10	4,464	119,40	119,99	— 0,59	
0	1	4,682	125,24	—	—	

Ogleich bei diesen beiden Serien das Blut mit seinem eigenen Serum versetzt wurde, gibt die Leitfähigkeitsmessung der resp.

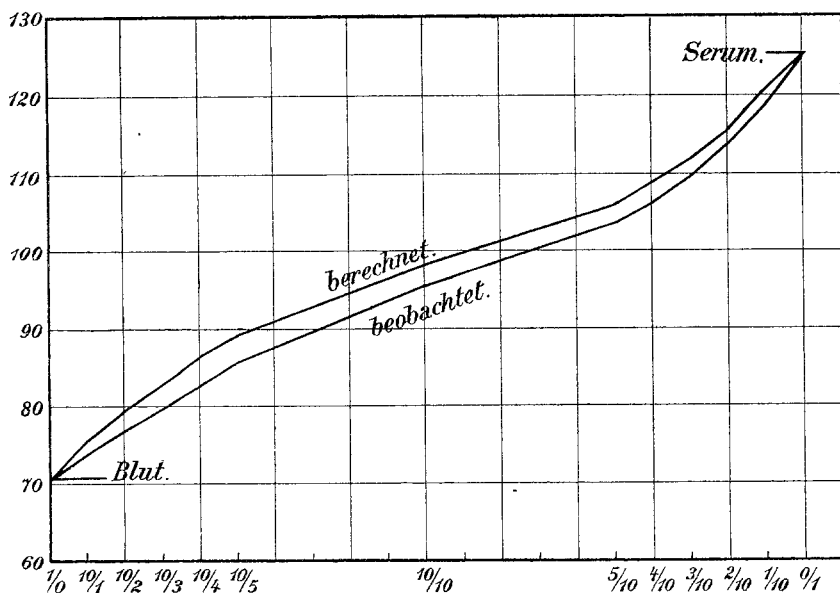


Fig. 5.

Mischungen jedenfalls Werthe, welche den aus der Leitfähigkeit des ungemischten Blutes und derjenigen seines eigenen Serums berech-

neten nachstehen. Die Differenz beträgt bei diesen beiden Serien sogar etwa 2,0—4,0, also etwas mehr als bei denjenigen der Tab. VII.

Bei der folgenden Serie, wo Rinderblut mit 0,7 %iger NaCl-Lösung gemischt ist, zeigen die beobachteten Leitfähigkeiten auch niedrigere Werthe, als die berechneten. Es verhält sich also die 0,7 %ige NaCl-Lösung in dieser Beziehung dem Blutserum analog.

Tabelle IX.

Verhältniss		$\frac{a}{1000 - a}$	L e i t f ä h i g k e i t			Anmerkungen
Blut	0,7 % NaCl		beob.	berechn.	Differenz	
1	0	2,534	64,87	—	—	Frisches Rinderblut u. 0,7 %ige NaCl-Lösung.
10	1	2,717	69,56	70,18	— 0,62	
10	2	2,876	73,62	74,26	— 0,64	
10	3	3,000	76,80	78,32	— 1,52	
10	4	3,115	79,74	81,55	— 1,81	
10	5	3,219	82,41	84,33	— 1,92	
10	6	3,310	84,77	86,76	— 1,99	
10	7	3,386	86,68	88,91	— 2,23	
10	8	3,444	88,17	90,81	— 2,64	
10	9	3,505	89,73	92,52	— 2,79	
10	10	3,566	91,29	94,06	— 2,77	
10	15	3,831	98,07	99,89	— 1,82	
10	20	4,000	102,40	103,78	— 1,32	
0	1	4,814	123,24	—	—	

Während die Mischungen von Blut mit seinem eigenen, bezw. mit anderem Serum, wie auch mit 0,7 % NaCl-Lösung eine Leitfähigkeit aufweisen, welche der aus der Leitfähigkeit der Componenten, sowie deren Proportionen berechneten etwas nachsteht, haben Mischungen von Serum mit 0,7 % NaCl-Lösung, bezw. mit entsprechend concentrirten Lösungen von KCl, NH_4Cl , K_2SO_4 und $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ eine Leitfähigkeit, welche derjenigen aus den resp. Leitfähigkeiten der Addenda ziemlich genau entspricht.

Es ist also ersichtlich, dass das Vorhandensein von Blutkörperchen das Leitvermögen der sie beherbergenden Flüssigkeit irgendwie beeinträchtigt.

Nach dem Ohm'schen Gesetze¹⁾ ist bei jeder Elektrizitätsbewegung, gleichviel ob die Leitung eine metallische oder elektrolytische ist, die Stromstärke der elektromotorischen Kraft direct und

1) In Lehrbüchern der Physik, z. B. Compendium der Physik von A. Wüllner, Leipzig, nachzusehen.

dem Widerstande des Leiters umgekehrt proportional. Ferner ist durch die Kirchhoff'schen Sätze¹⁾ festgestellt, dass, wenn der elektrische Strom sich auf mehrere Leiter verzweigt, die Stromstärken in den verschiedenen Zweigen den resp. Widerständen derselben umgekehrt proportional werden.

Wird ein elektrischer Strom durch Blut geleitet, so sucht sich folglich der grösste Theil der Elektrizität durch das Serum zu bewegen, das ihr die geringeren Widerstände darbietet. Dagegen verzweigt sich ein nur sehr kleiner Theil, wenn dies überhaupt der Fall ist, auf die Blutkörperchen, welche dem Strom sehr grosse Widerstände entgegenzusetzen scheinen, ja nach Tangl und Bugarsky sogar als Isolotoren gelten können.

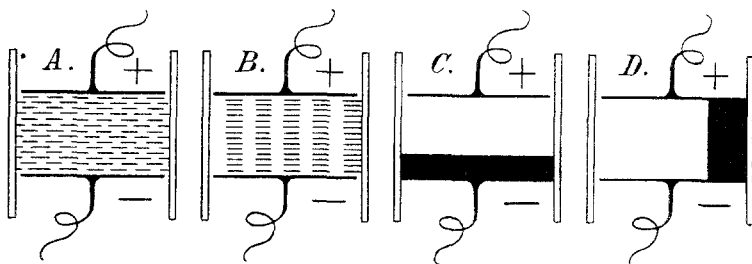


Fig. 6.

Beigelegte vier schematischen Zeichnungen mögen verdeutlichen, dass es für die Elektrizitätsleitung keineswegs gleichgültig ist, wie die Blutkörperchen im Blute angeordnet sind.

Es wird vorausgesetzt, dass die Blutkörperchen den vierten Theil der ganzen Flüssigkeit ausmachen. Bei der Anordnung *A* finden wir die Blutkörperchen gleichmässig in der Flüssigkeit vertheilt. *B* zeigt die Blutkörperchen in Streifen angeordnet, die zwischen sich gegen die Elektrodenoberfläche senkrecht stehende, nur von Serum eingenommene Räume lassen. Bei *C* haben sich alle Blutkörperchen an der unteren Elektrode als eine compacte Auflagerung angesammelt. In *D* endlich sind sämtliche Blutkörperchen zu einer compacten Masse zur Seite geschoben, wo sie ein Viertel des Querschnittes einnehmen, somit also dem Serum drei Vierteltheile freilassend.

Es genügt, dass den Blutkörperchen ein schlechteres Leitvermögen als dem Serum zukommt, damit bei verschiedenen Anord-

1) In Lehrbüchern der Physik, z. B. Compendium der Physik von A. Wüllner, Leipzig, nachzusehen.

nungen von Körperchen und Serum die Vertheilung der Stromdichte zwischen beiden sich verschieden gestalte. Die Anordnung *D* dürfte für die Leitfähigkeit wohl die günstigsten Verhältnisse darbieten; dann käme die Anordnung *B*, darnach *A* und zuletzt *C*.

Auf *D* und *A* wären alle Mischungen von Blut resp. Blutkörperchen mit Serum oder irgendwelche anderen Flüssigkeiten resp. Lösungen am ehesten zu beziehen. Die oben erhaltenen Differenzen zwischen beobachteten und berechneten Werthen der Leitfähigkeit der Mischungen von Blut mit Serum resp. der 0,7 %igen NaCl-Lösung könnten durch diese Darlegung ihre Erklärung finden.

Arrhenius verdanken wir das nähere Verständniss der die Leitfähigkeit beeinträchtigenden Einwirkung der Nicht-Leiter auf elektrolytische Lösungen. Wie schon anfangs bemerkt, beruht ja die Leitfähigkeit eines in Wasser gelösten Elektrolyten auf der Summe der Ionen-Beweglichkeiten sowie auf der Zahl der vorhandenen Ionen, welche wieder von der Menge und dem Dissociationsgrade des gelösten Elektrolyten abhängt. Arrhenius¹⁾ hat gezeigt, dass der Dissociationsgrad des Elektrolyten von einem zugesetzten Nicht-Leiter meistens nur sehr wenig beeinflusst wird, besonders, wenn der Elektrolyt selber ein grosses Dissociationsvermögen besitzt, wie es eben mit den Hauptbestandtheilen der Serum-, resp. Blut-Elektrolyte, dem NaCl und Na₂CO₃ der Fall ist. Dagegen wird die Reibung, welche die Ionen bei ihrer Wanderung erleiden, durch einen zugesetzten Nicht-Leiter stark beeinflusst.

Zur Frage von der Natur der Leitfähigkeit beeinträchtigenden Wirkung seitens der Blutkörperchen will ich bei Gelegenheit zurückkommen.

Wie früher bemerkt, sind alle vorangehenden Leitfähigkeitsmessungen bei 25 ° C. angestellt worden.

Einen Versuch, den Einfluss der Temperatur auf die Leitfähigkeit des defibrinirten Blutes zu ermitteln, zeigt Tabelle X.

Die Temperaturcoefficienten sind für das Mittel der Leitfähigkeit bei der resp. Mitteltemperatur zwischen je zwei Messungen berechnet.

Wie zu erwarten, steigt die Leitfähigkeit des Blutes mit der Temperatur. Eine Probe Rinderblut, die bei 20 ° C. eine Leitfähigkeit von 49,25 besitzt, gibt für je 5 ° C. Temperaturerhöhung bis zu 40 ° C. die resp. Werthe 52,87; 57,38; 62,70 und 69,02.

1) Arrhenius l. c.

Tabelle X.

Temp. Celsius	$\frac{a}{1000 - a}$	Leitfähig- keit	Differenz für		Temp. Coeff. %	An- merkungen
			5° C.	1° C.		
20°	1,841	49,25	3,62 4,41 5,32 6,32	0,72	1,41	Rinderblut
25°	1,976	52,87		0,88	1,59	
30°	2,145	57,38		1,06	1,69	
35°	2,367	62,70		1,22	1,85	
40°	2,571	69,02				

Die Zunahme der Leitfähigkeit nimmt für je 1 Grad in den resp. 5° Perioden mit resp. 0,72, 0,88, 1,06 und 1,22 zu, und ebenso beträgt der Temperaturcoefficient für die genannten Perioden 1,41, 1,59, 1,69 und 1,85 Procent der Mittelleitfähigkeit der resp. Periode.

Die Temperaturcoefficienten der Leitfähigkeit des defibrinirten Rinderblutes zeigen also dieselbe Beziehung wie die Leitfähigkeit selbst, sie steigen deutlich mit der Temperatur. Ob sich der Temperaturcoefficient bei immer steigender Temperatur einem Grenzwert nähert, wie dies bei den reinen Salzlösungen ¹⁾ im Allgemeinen der Fall ist, wurde keiner Untersuchung unterzogen, da etliche Eiweisskörper des Blutes ja schon zwischen 40° und 50° C. zu gerinnen beginnen.

Um zu erforschen, ob arterielles und venöses Blut in Bezug auf ihre Leitfähigkeit sich verschieden verhalten, wurden Messungen mit Blutproben angestellt, welche mehrere Tage alt waren und ganz dunkelroth, in dickeren Schichten sogar schwarz aussahen. Dasselbe Blut wurde dann in einer geräumigen Flasche mit genügender Luft umgeschüttelt, bis die Farbe des Blutes ganz schön scharlachroth war, und hierauf einer erneuten Messung unterzogen. Es stellte sich heraus, dass in der genannten Beziehung kein Unterschied zwischen arteriellem und venösem Blute existirt. Ebenso zeigten die beiden Blutsorten beim Vermischen mit Serum kein abweichendes Verhalten.

Von den oben erhaltenen Ergebnissen ist von besonderem Interesse, dass das Blutserum und in noch höherem Grade das Blut selbst eine elektrolytische Flüssigkeit darstellt, deren Leitfähigkeit gegen

1) Ostwald, Lehrbuch der allgemeinen Chemie Bd. 2 (1) S. 646.

jedes Plus von Wasser sehr empfindlich ist. Es ist hier ein Zeichen dafür, dass die Dissociations-, bezw. osmotischen wie auch hydrolytischen Gleichgewichtszustände des Blutes von Schwankungen in Bezug auf seinen Wassergehalt zu lebhaften Veränderungen angeregt werden, ein Umstand, dessen Bedeutung für das organische Leben kaum überschätzt werden kann.

Ferner stellte sich heraus, dass die in den Blutkörperchen steckenden Elektrolyten an der Stromleitung nur schwer theilnehmen, dass sie aber aus dem Blutkörperchenstrom in das Serum resp. Plasma gerückt, wie es beim Verdünnen des Blutes mit destillirtem Wasser geschieht, ihre Fähigkeit zum Elektrizitätstransport activer entfalten können. Hiermit ist eine Methode gegeben, durch Leitfähigkeitsmessungen zu erforschen, in wie weit Elektrolyte — sowohl solche, die sich auch sonst im Blute befinden, als auch fremde — in die Blutkörperchen eindringen oder im Serum verbleiben, wenn sie dem Blute zugefügt werden. Die Ergebnisse, die ich bei Untersuchungen in der genannten Beziehung erzielt habe, werden den Gegenstand einer künftigen Mittheilung bilden.

Kurz zusammengefasst sind die Ergebnisse der vorangehenden Untersuchungen folgende:

1. Die elektrische Leitfähigkeit¹⁾ auf eine Einheit bezogen, deren 1 cm lange und 1 ccm im Querschnitt messende Säule einen Widerstand von 1 Ohm darbietet, ist bei 25° C. für defibrinirtes Rinderblut 52,50—70,89 und für dessen Serum 114,40—131,08 und für defibrinirtes Schweineblut 44,49—51,51 und für dessen Serum 119,34 bis 126,77.

2. Eine 0,7%ige NaCl-Lösung hat bei 25° C. die Leitfähigkeit 124,10, welche also mit derjenigen des Rinderserums sowie mit jener von einigen pathologischen serösen Ergüssen etwa gleich gross ist. Dagegen zeigt das Serum bei Verdünnungen mit Wasser ein in Bezug auf die Leitfähigkeit von der NaCl-Lösung abweichendes Verhalten, das wahrscheinlich seinem Gehalte an Na_2CO_3 zugeschrieben werden muss.

3. Bei Verdünnungen von Blut, resp. Serum mit Aqua destillata steigt die „physiologische Leitfähigkeit“ (auf die in einem Liter un-

1) Die Leitfähigkeiten sind hier 10,000 mal grösser angegeben.

verdünnter Flüssigkeit befindliche Menge vermengter Elektrolyte bezogen) schon bei unbedeutender Verdünnung viel schneller als die Leitfähigkeit der 0,7 % NaCl-Lösung bei entsprechenden Verdünnungen, wobei das Blut den Grenzwert der physiologischen Leitfähigkeit viel später erreicht als das NaCl, ein Verhalten, welches für eine grosse Empfindlichkeit des Dissociationsgleichgewichtes sowie der Hydrolyse und der Diffusionserscheinungen der vermengten Blutkörper-Elektrolyte spricht.

4. Insofern die Leitfähigkeiten zu beurtheilen gestatten, dürfte der Dissociationsgrad der Serumelektrolyte etwa 0,65—0,76 und derjenige der Elektrolyte des ungemischten Blutes etwa 0,34—0,45 bei 25 ° C. nicht überschreiten.

5. Zwischen 20 ° und 40 ° C. steigt die Leitfähigkeit des defibrinirten Blutes mit der Temperatur, und ebenso thun es auch die Temperaturcoefficienten, welche von etwa 1,41 bis 1,85 steigen.

6. Zwischen arteriellem und venösem Blute wurde bezüglich der Leitfähigkeit kein Unterschied wahrgenommen.

7. Die Leitfähigkeit des Blutes ist nicht dem Serumgehalte desselben einfach proportional, sondern scheint vielmehr von der Gegenwart der Blutkörperchen irgendwie beeinträchtigt zu werden.

8. Die Blutkörper-Elektrolyte tragen zur Stromleitung kaum etwas bei, solange sie in den Blutkörperchen stecken, theilnehmen sich aber activ an der Leitung, sobald sie in das Serum heraus diffundirt haben. Hierdurch ist ein Verfahren gegeben, durch Leitfähigkeitsmessungen zu eruiren, ob und in wie weit dem Blute zugesetzte Elektrolyte in die Blutkörperchen eindringen oder im Serum resp. Plasma verbleiben.