Leitfähigkeitsmessungen am überlebenden Herzen.

Von

Dr. **Georg Pietrkowski.**

(Aus dem pharmakologischen Institut und dem technologischen Institut
der Universität Freiburg i. Br.)

(Mit 5 Textabbildungen.)

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
Einleitung	497
Die Methode	499
1. Das Leitgefäß	499
2. Die Platinierung der Elektroden	501
3. Die Temperaturkonstanz	501
4. Anlage der Messordnung	502
Hauptteil	504
1. Leitfähigkeit nach tonisierenden Eingriffen (Vorhofsdehnung und Strophanthinvergiftung)	504
2. Bemerkungen zur Tonusfrage	507
3. Leitfähigkeit der Ringer-Lösung nach atonisierenden Eingriffen . .	512
a) Versuche mit Ca-freiem Ringer	512
b) Leitfähigkeit nach CO ₂ -Vergiftung	513
4. Änderungen osmotischen Drucks	514
a) Verdoppelung des osmotischen Druckes durch Zusatz von 10% Rohrzucker zur Ringer-Lösung	514
b) Erniedrigung des osmotischen Drucks (Speisung mit Halb-Ringer)	515
c) Speisung mit Halb-Ringer bei normalem osmotischem Druck (Zusatz von 5% Rohrzucker)	517
Versuchsprotokolle	519

Einleitung.

Vorliegende Arbeit, die Fortsetzung einer im Band 81 des Arch. f. experim. Pathologie und Pharmakologie erschienenen: „Der Einfluss experimenteller Vorhofsdehnung auf den Tonus der Ventrikelmuskulatur“¹⁾, wurde ausgeführt im Chem.-Technologischen Institut der Universität Freiburg, dessen Leiter, Herrn Prof. Riesenfeld, ich für Ratschläge und sein freundliches Interesse für die Arbeit zu Dank verpflichtet bin.

1) Pietrkowski, Arch. f. experim. Pathol. u. Pharmakol. Bd. 81. 1917.
Pflüger's Archiv für Physiologie. Bd. 172:

In der oben erwähnten Arbeit konnte ich eine weitgehende Übereinstimmung zwischen der Digitaliswirkung und dem Einfluss der Vorhofsdehnung auf die Ventrikelmuskulatur feststellen. Beide verändern das Elektrokardiogramm des Froschherzens in eigentümlicher Weise — Verkleinerung und endliche Umkehr der *T*-Zacke —, beide bewirken vor allem eine Tonussteigerung, die bei entsprechender Digitaliskonzentration bis zum systolischen Stillstand führt. Auch die Vorhofsdehnung vermag bei passender Anordnung dieses maximale Endstadium der Tonisierung zu erreichen. Macht man nämlich die Vorhofsdehnung an einem leerschlagenden Herzen nach vorheriger Unterbindung der zuführenden Venen oder legt man ein solches Herz mit gedehntem Vorhof in eine Schale mit Ringer-Lösung, so nimmt nach Stunden der Ventrikel allmählich einen Zustand der Starre an, der einem Druck von mehr als 20 cm Wasser standhält, und stirbt in diesem Stadium ab, wie nach einer tödlichen Digitalisvergiftung. Beide Zustände aber sind bis zu einem gewissen Zeitpunkt noch reversibel, d. h. bringt man noch vor dem Absterben ein solches Herz an die Straub'sche Kanüle, so macht der Zustand der Starre langsam wieder einer normalen rhythmischen Aktion Platz. Macht man hingegen die Vorhofsdehnung an einem Herzen, das von vornherein an der Straub'schen Kanüle arbeitet, so ist die Tonussteigerung wesentlich geringer, und die Reversibilität des Prozesses ist so gross, dass schon wenige Minuten nach dem Eingriff — soweit man aus der Kurve urteilen kann — der Tonus wieder scheinbar zur Norm zurückgekehrt ist. Aber nur scheinbar; denn das Herz hinterbleibt nach dem Eingriff in einem Zustand, den ich als „latente Tonisierung“ bezeichnet habe, weil das Herz in ihm für weit geringere Konzentrationen tonisierender Stoffe (Digitalis, BaCl_2 , CaCl_2 , Methylviolett) empfindlich ist als vorher.

Da es sich bei diesen Stoffen, wie ihre Auswaschbarkeit beweist, um einen Vorgang der Adsorption handeln musste, so schien mir diese Tatsache erhöhter Empfindlichkeit des Herzens nach Vorhofsdehnung eine irgendwie geartete Veränderung der Membran oder äussersten Grenzschrift der Ventrikelmuskelzelle zur Voraussetzung zu haben. War das richtig, so durfte man erwarten, dass die Wirkung osmotischer Vorgänge an solchem Herzen vor und nach der Vorhofsdehnung verschieden sein würde. Und es bestätigte sich in der Tat, dass Verdoppelung des osmotischen Druckes durch Zusatz von 9% Rohrzucker

zur Ringer-Lösung nach Vorhofsdehnung eine viel stärkere Tonsierung des Herzens zuwege brachte (das Herz stand bald in Systole still) als vorher.

So schien die Hypothese berechtigt, dass die Vorhofsdehnung eine Verschiebung des Verhältnisses zwischen Zellmembran und Aussenlösung bewirkte, derart, dass die vorher isotonische Ringer-Lösung hypertonisch wirkte, und dass die am Organ beobachtete Tonussteigerung seine Ursache in einem Austritt von Wasser aus der Zelle hatte. Der Beweis hierfür liess sich nur durch Untersuchung der das Herz speisenden Ringer-Lösung bringen. Das liess sich auf zweierlei Art versuchen, entweder durch Bestimmung ihres osmotischen Druckes oder ihrer Leitfähigkeit. Ich wählte den letzteren Weg wegen der grösseren Empfindlichkeit der Methode, und es mag hier schon Erwähnung finden, dass die Ergebnisse der Untersuchungen ganz andere waren als die erwarteten.

Die Methode.

Leitfähigkeitsmessungen am überlebenden Organ mittels der Kohlrausch'schen Wechselstrommethode sind meines Wissens bisher in der Physiologie noch nicht angewandt worden. Soweit ich aus der Literatur ersah, ist nur in der Pflanzenphysiologie von Osterhout¹⁾ diese Methode zur Prüfung der inneren Leitfähigkeit von Pflanzenzellen und der Frage ihrer Durchlässigkeit für Salze benutzt worden. Voraussetzung für die Anwendbarkeit der Methode in unserem Falle war neben der Tauglichkeit des Präparates (das überlebende Froschherz) die Einrichtung der Straub'schen Kanüle, die ich hier als bekannt voraussetze. Sie wurde die natürliche Grundlage unseres Leitgefässes. Jedoch mussten aus folgenden Gesichtspunkten einige Abänderungen getroffen werden.

1. Das Leitgefäss.

(Vgl. Abb. 1.)

Da es sich bei dem erwarteten Austausch zwischen Herz und Ringer-Lösung nur um kleine Mengen handeln mochte, so konnten diese in der Leitfähigkeitsmessung nur dann als deutliche Grössen auftreten,

1) Osterhout, Science vol. 35. 1912. Zitiert nach Höber, Physikal. Chemie d. Zelle u. Gewebe. 1914.

wenn man die Menge der Speiseflüssigkeit möglichst klein, die des Widerstandes zwischen den Elektroden recht gross wählte. Dazu kam, dass man Kapazitätsschwankungen vermeiden musste, die durch das rhythmische Heben und Senken des Flüssigkeitsspiegels während der Herzaktion auftreten und die so deutlich sind, dass man das Herz am Telephon gewissermaassen pulsieren hören kann. Diesem Zweck diente eine Stromschleifen verhin- dernde Einschnürung kurz oberhalb der Elektroden, wodurch, wie die abgebildete Skizze zeigt, ein kleines Bassin, das eigentliche Messgefäss, abgetrennt wurde. Der anschliessende Kanülenkörper wurde nun so eng gemacht, dass 0,3—0,4 ccm Lösung genügende Steighöhe hatten, um den Flüssigkeitsspiegel zu verhindern, in der Diastole die Einschnürung zu erreichen und so Kapazitätsschwankungen hervorzurufen. Durch Kürzung und möglichst wagerechte Führung des Kanülenfusses wurde eine zu grosse hydrostatische Belastung des Herzens vermieden.

Abb. 1.

Da die Messungen am genauesten sind, wenn der Widerstand des Messgefässes zwischen 100 und 1000 Ω liegt, mussten die Elektroden recht klein gemacht werden; dabei aber durfte man eine gewisse Grösse nicht unterschreiten, weil sonst das Minimum — infolge Polarisation der Elektroden — unscharf wird. Bei den Messgefässen I und III waren die Maasse 3,5 : 6,5 mm. der Kanüldurchmesser 0,8 mm, bei Messgefäss II noch kleiner. Ausserdem wurden bei den ersten beiden Gefässen die Vorder- und Hinterwand des Bassins noch nachträglich eingedrückt, um die Kapazität zu verringern. Da es uns nur auf die Änderungen des Widerstands ankam, wurde auf die Eichung der Kapazität mittels einer bekannten Gipslösung und die Bestimmung von κ , dem spezifischen Leitvermögen, verzichtet. Die Grössenordnung des Widerstands der Ringer-Lösung lag bei Messgefäss I um 287 Ω , bei Messgefäss II um 248, bei III um 334. Da im Lauf der Zeit die Platinierungen etwas zu leiden pflegen, nahmen diese Zahlen allmählich um ca. 2—3 Ω nach oben zu, was die Notwendigkeit einer öfteren Kontrolle der Normalwerte zur Folge hatte. Bei obiger Versuchsanordnung kann man mit einer Fehlerquelle von 1—2 % für die einzelne

Messung rechnen (Schwankungen in den Zuleitungsdrähten, Thermoströme und das persönliche Moment des Messenden). In den mitgeteilten Versuchen beträgt sie selten 1 %, fast immer nur Bruchteile davon, meist nur Bruchteile von 1 Ω . Ausserdem wurde immer das Mittel von vier Messungen genommen.

2. Die Platinierung der Elektroden.

Die Elektroden wurden, wie die abgebildete Skizze zeigt, der Wand angeschmolzen, so dass alle Erschütterungen durch Flüssigkeitswirbel ausgeschlossen waren, die Platindrähte durch die Wand der Kanüle hinausgeführt. Die Platinierung erfolgte nach der von Kohlrausch angegebenen Vorschrift¹⁾: Als Platinierungsflüssigkeit diente eine Lösung, die auf 30 ccm Wasser 1 g H_2PtCl_6 und 8 mg Bleiacetat enthielt. Nach sorgfältiger Reinigung der Elektroden wurde unter schwacher Gasentwicklung und alle 3 Minuten erfolgreichem Stromwechsel ein Strom von ca. 0,1 Ampere $\frac{1}{2}$ Stunde hindurchgesandt. Danach Abspülen der Elektroden und Ausziehen in 60–80 ° C. warmem Wasser, das mehrmals erneuert wurde.

3. Die Temperaturkonstanz.

Da der Temperaturkoeffizient der Ringer-Lösung ca. 2,5 % beträgt, war die Genauigkeit der Temperaturbestimmung von grösster Wichtigkeit. Hier waren einige Schwierigkeiten zu überwinden. In einen Thermostaten konnte man die Apparatur nicht einbauen, weil man während der Versuche Eingriffe am Herzen vornehmen und ihre Wirkung beobachten musste. So wurde das in einem verschlossenen Becherglas sitzende Messgefäss durch eine Korkbohrung in ein Wasserbad eingelassen, dessen Temperatur mittels Zuflusses von warmem und kaltem Wasser durch ein doppelläufiges Rohr reguliert werden konnte. Das Ganze stand auf einem Glasfuss und war von einem weiten Glasstutzen umgeben, der seinerseits auf einer hölzernen Unterlage ruhte. Da es sich nun bald erwies, dass zwischen Wasserbad und Messraum oft ziemlich erhebliche, von der Zimmertemperatur abhängige Temperatursprünge vorhanden waren, so blieb, um diesen unberechenbaren Schwankungen zu entgehen, nichts anderes übrig, als durch eine Korkbohrung des Becherglases ein Thermometer in die Kanüle selbst einzuführen. An diesem waren $\frac{1}{10}$ -Grade bequem und Bruchteile davon

1) Kohlrausch-Hollborn, Leitvermögen d. Elektrolyte S. 9. Leipzig 1898.

mit ziemlicher Sicherheit abzulesen. Das Messgefäß selbst sass in einem hölzernen Halbring, der durch einen Eisenstab mit dem Verschlusskork fest verbunden war, und zwar tauchten die Platindrähte des Messgefäßes in zwei Quecksilbernäpfchen, die den Kontakt mit den zur Brücke resp. zu dem Vergleichswiderstand führenden Drähten vermittelten (vgl. untenstehende Abb. 2).

4. Anlage der Messordnung.

Die Anlage der Messordnung zeigt nebenstehende Skizze, die keiner weiteren Erklärung bedarf (Abb. 3). Durch das Telephon geht nur dann kein Strom,

wenn die Punkte seiner Zuteilung gleiches Potential haben, d. h. wenn der Vergleichswiderstand W sich zu dem ihm zugehörigen, mit b bezeichneten Teil der Brücke verhält wie x , der gesuchte Widerstand im Leitgefäß, zu a , also:

$$\frac{W}{b} = \frac{x}{a} \quad \text{oder} \quad x = \frac{a}{b} W.$$

Alle Messungen wurden möglichst bei 18°C. ausgeführt oder zum Vergleich auf diesen Wert reduziert, nachdem der Temperaturkoeffizient der Ringer-Lösung auf 2,5 % festgestellt worden war (die Zimmertemperatur wurde auch möglichst in der Nähe von 18°C. gehalten). Nachdem die Methode sich als brauchbar erwiesen hatte, wurden mit ihr auch andere

Abb. 2.

Versuche ausgeführt als diejenigen, für welche sie in erster Linie erdacht war, und zwar wurden untersucht:

- I. tonisierende Einflüsse:
 - a) Vorhofsdehnung,
 - b) Digitaliswirkung;
- II. atonisierende Einflüsse:
 - a) Wirkung Ca freien Ringers,
 - b) Wirkung der CO_2 -Vergiftung;
- III. Änderungen osmotischen Druckes:
 - a) Verdoppelung des osmotischen Druckes durch Zusatz von 10 % Rohrzucker zur Ringer-Lösung,
 - b) Herabsetzung des osmotischen Druckes (Speisung mit Halb-Ringer),
 - c) Einwirkung von Halb-Ringer bei gleichbleibendem osmotischem Druck (durch Zusatz von 5 % Rohrzucker).

Abb. 3. *A* Ausschalter, *S* Schiebberrheostat, *J* Inductorium, *W* Widerstand, *L* Leitgefäß, *B* Brücke.

Um die Darstellung nicht unübersichtlich zu machen, will ich zunächst die Versuchsergebnisse mitteilen und die sich anschliessenden Fragen erörtern. Zum Schluss sollen dann die Messprotokolle angefügt werden.

Von der Lüftung des Herzens musste, ebenfalls in Rücksicht auf die Temperaturkonstanz, Abstand genommen werden. Doch wurde niemals, auch während länger ausgedehnter Beobachtungen, irgendein messbarer Einfluss des Lüftungsmangels wahrgenommen, etwa durch Anhäufung von Kohlensäure. Das ist auch an sich schon unwahrscheinlich. Die Kohlensäure dissoziiert als schwache Säure nur in sehr geringem Grade. Ausserdem kann sie leicht an die umgebende

Luft abdunsten, welcher Vorgang durch die Herztätigkeit, die wie ein natürliches Rührwerk arbeitet, noch begünstigt wird ¹⁾).

Noch eine kurze Bemerkung ist über den Leitwert der Ringer-Lösung im normalen Froschherzen voranzuschicken. Im allgemeinen sind zwischen dem theoretischen Wert der Ringer-Lösung und dem im Froschherzen gemessenen nur Unterschiede um Bruchteile eines Ω . Doch kommen hin und wieder Fälle vor, in denen das Herz mit der Lösung offenbar nicht isotonisch ist und wahrscheinlich durch Wasserabgabe die Leitfähigkeit ganz beträchtlich verschlechtert ($6-10\Omega$). Ich habe das besonders an einer Serie maroder Frösche beobachtet, die einige Tage in einem Topf aufgehoben waren, dessen Wasser nicht erneuert worden war. Nur ganz selten findet man Verbesserung der Leitfähigkeit um $1-1,5\Omega$. Fast alle mitgeteilten Versuche wurden an Präparaten vorgenommen, die mit der Ringer-Lösung isotonisch waren. Wo geringe Abweichungen vom Normalwert vorkamen, habe ich mich erst durch wiederholte, in längeren Abständen vorgenommenen Messungen von der Konstanz des Wertes überzeugt, bevor mit dem Versuch begonnen wurde.

Hauptteil.

1. Leitfähigkeit nach tonisierenden Eingriffen (Vorhofsdehnung und Strophanthinvergiftung).

Diese beiden Einwirkungen mögen eine gemeinsame Besprechung finden, da ihr Einfluss auf die Leitfähigkeit vollkommen identisch ist. Ich erwähnte schon in der Einleitung, dass ich auf Grund vergleichender Untersuchungen über die Wirkungen erhöhten osmotischen Druckes am selben Herzen vor und nach Vorhofsdehnung die Vermutung aus-

1) Nur bei einem Herzen, das 7 Stunden lang ohne Lüftung sich selbst überlassen war, beobachtete ich eine Leitfähigkeitsverbesserung von mehreren Ω , wahrscheinlich durch Wasseraufnahme infolge von Anhäufung von Milchsäure im Muskel bei ungenügender O_2 -Zufuhr. Hier bewirkte eine einzige Lüftung (eine Pravay-Spritze Luft) eine fast völlige Rückkehr des Normalwertes. Es erinnert dies an die von Ludwig und Schmidt, Arb. a. d. physiol. Laborat. Leipzig Bd. 3 H. 1 1868; zitiert n. d. Ergebn. d. Physiol. 1916 S. 94, gefundene Tatsache, dass bereits minimale O_2 -Mengen genügen, um die Reizbarkeit eines durch Erstickung völlig unerregbar gewordenen Muskels wiederherzustellen.

gesprochen hatte, dass durch den Reiz der Vorhofsdehnung eine irgendwie geartete Veränderung zwischen den Grenzsichten der Ventrikelzellen und der Aussenlösung eintreten müsste, derart, dass die vorher isotonische Ringer-Lösung nun hypertonisch wirkt und durch Wasseraustritt aus der Zelle die Tonussteigerung verursacht. Das Umgekehrte ist der Fall: Vorhofsdehnung wie Digitalisvergiftung verbessern die Leitfähigkeit der Ringer-Lösung um ca. 2,5—6 Ω (vgl. Versuche 1—11).

Diese Leitfähigkeitsverbesserung kann nur auf zweierlei Art zustande kommen: entweder es sind Elektrolyte aus dem Herzen in die Ringer-Lösung übergetreten, oder die Lösung hat sich infolge Wasseraufnahme durch das Herz konzentriert. Für den ersten Fall kommen die *H*-Ionen der Kohlensäure in Betracht und Salze. Die Gründe, die gegen den Einfluss der Kohlensäure sprechen, sind oben schon erörtert worden. Aber ausserdem mögen schon hier die Resultate späterer Versuche Erwähnung finden, die diese Meinung noch verstärken. Sättigt man die Ringer-Lösung mit CO_2 , indem man den Messraum durch ein Rohr mit einem Kipp'schen Apparat verbindet, oder besser noch, indem man 1—2 Pravaz-Spritzen CO_2 langsam durch die Lösung schickt, so bessert sich die Leitfähigkeit um ca. 3—4 Ω . Wiederholt man aber diesen Versuch am Herzen, so bleibt das Herz fast augenblicklich stehen. Also um die Ringer-Lösung mit CO_2 so zu beladen, dass ihre Leitfähigkeit sich um die genannte Grösse verbessert, muss das Herz eine Kohlensäurespannung erreichen, die mit seiner Funktion nicht vereinbar ist. So bleibt zunächst die Möglichkeit eines Austritts von Salzen aus dem Herzen zu erörtern. Für diese Annahme spricht eigentlich nichts, eher alles dagegen. Denn die Kraft bliebe ganz unerklärlich, die entgegen dem osmotischen Druck bei normalem Partiardruck der Salze einen solchen Austritt von Salzen veranlassen sollte. Somit bleibt als einzige Erklärung, dass das Herz Wasser aus der Lösung aufgenommen hat, was allerdings eine Steigerung des osmotischen Drucks im Innern der Ventrikelzelle voraussetzt. Und dafür sprechen einige Tatsachen.

Zunächst fand Rhode¹⁾, dass die Digitalisvergiftung des Herzens mit einem erhöhten O_2 -Verbrauch und einer stärkeren Säuerung des Muskels einhergeht. Ferner fand man den Kreatiningehalt von Frosch-

1) Rhode, Arch. f. experim. Pathol. u. Pharmakol. Bd. 68. 1912.

muskeln, die in Lösungen tonisierender Substanzen aufbewahrt waren (Veratrin, CaCl_2 , Coffein, Digitalis) wesentlich höher als den von Vergleichspräparaten in reiner Ringer-Lösung¹⁾. Das gleiche konnte man an Katzen und Kaninchen nachweisen, deren eine Seite man durch Entfernung des Grosshirns in den Zustand der „Enthirnungsstarre“ gebracht hatte, während man die andere Hälfte — nach dem Vorgang de Boer's — mittels Durchschneidung der hinteren Wurzeln atonisch gemacht hatte¹⁾. Auch ein Befund von Belák (Bioch. Zeitschr. 1917, Bd. 83), der den Einfluss des Coffeins auf die Muskelquellung untersucht hat, scheint hierher zu gehören. Er konnte bei nicht toxischen Dosen von 0,1% ein rascheres Eindringen des Wassers und ein grösseres Wasserbindungsvermögen des Muskels feststellen. Schliesslich konnte ich in der oben erwähnten Arbeit „Einfluss experimenteller Vorhofsdehnung auf den Tonus der Ventrikelmuskulatur“ nachweisen, dass ein Herz nach Vorhofsdehnung in einem bestimmten Zeitraum mehr Methylviolett speichert als ein normales; der Unterschied kann bis zu 11% betragen. Die zuerst erwähnten Tatsachen würden die osmotische Drucksteigerung erklären, die letzte den osmotischen Zustrom zum Herzen beweisen. Wir müssen uns also vorstellen, dass Vorhofsdehnung ebenso wie Digitalisvergiftung zunächst — vielleicht von einer gemeinsamen Stelle aus — einen Reiz auf die Muskelzellen des Ventrikels ausüben, durch den ein mit ihrer Funktion verbundener Stoffwechselvorgang gesteigert wird; der vermehrte Stoffzerfall bewirkt eine Steigerung der molekularen Konzentration, dadurch tritt eine Drucksteigerung im Innern und ein osmotischer Zustrom von Wasser nach der Zelle ein. Wie die Messungen zeigen, setzt dieser Vorgang wahrscheinlich unmittelbar (Versuch 1), sicher aber wenige Minuten nach dem Eingriff ein und dauert so lange, bis zwischen dem Herzen und der Ringer-Lösung ein Gleichgewicht geschaffen ist. Wechselt man nun die Ringer-Lösung, so bekommt man in vielen Fällen nicht sofort den Ausgangswert, sondern meist einen um 1–2 Ω besseren, d. h. der Prozess der Wasseraufnahme durch die Zelle setzt sich noch in abgeschwächtem Grade fort, und es bedarf oft eines zwei- bis dreimaligen Wechsels der Lösung, bis der normale Wert der Ringer-Lösung wieder erreicht ist.

1) *Ergebn. d. Physiol.* 1916 S. 91.

2. Bemerkungen zur Tonusfrage.

Wir haben also neben den schon erwähnten Ähnlichkeiten zwischen Vorhofsdehnung und Digitaliswirkung — die Tonussteigerung, die Reversibilität des Prozesses, die eigentümliche Abänderung des Elektrokardiogramms, allmähliches kleiner werden und endliche Umkehr der *T*-Zacke — noch eine neue gefunden: Verbesserung der Leitfähigkeit infolge Wasseraufnahme durch die Zelle. Da nach unseren Versuchen mit Sicherheit auszuschliessen ist, dass die Tonussteigerung nach Digitalis oder Vorhofsdehnung eine Volumverminderung des Organs infolge Wasseraustritts ist, so kann der veränderte Zustand des Muskels seinen Grund nur in einer Veränderung seiner kolloidalen Substanz haben, und es liegt die Frage nahe, ob jene Konzentrierung der Ringer-Lösung etwas damit zu tun haben könnte.

Die in der Physiologie heute herrschende Vorstellung über das Wesen der Muskelkontraktion geht auf die Entdeckung Engelmann's zurück, „dass alle quellbaren und einachsig doppeltbrechenden Fasern, wie Muskelfasern, Bindegewebsfasern, gespannte Gelatinestreifen, Fibrinfäden oder Darmsaiten, sich durch Quellung verkürzen, und dass die Quellung neben der Erwärmung am wirksamsten hervorgerufen wird durch Ansäuerung“¹⁾. Im Falle des tätigen Muskels würde es die Milchsäure sein, der diese Aufgabe bei der Kontraktion zukommt. Auch die Totenstarre, nach Hermann die letzte der Funktion im Leben vergleichbare Aspannung des Muskels, geht mit Ansammlung von Milchsäure einher, die nach Versuchen von v. Fürth und Lenk²⁾ von einem hohen Imbibitionsvermögen begleitet ist. Bringt man hingegen den toten Muskel in eine Atmosphäre von Sauerstoff, dann wird die Milchsäure abgebaut, und die Starre bleibt aus. In unserem Fall, der Digitalisvergiftung, ist die vermehrte Säuerung durch Rhode nachgewiesen, und es scheint ein natürlicher Schluss, die Verbesserung der Leitfähigkeit ebenso wie die Tonuszunahme des Organs auf Quellung des Zellinnern infolge Säuerung zurückzuführen. Doch begegnet diese Erklärung einer Anzahl Schwierigkeiten:

1. Man müsste einen Parallelismus zwischen dem Quellungsgrad und der Tonuszunahme erwarten. Nun ist aber die bei tödlicher Digitalisvergiftung aufgenommene Wassermenge trotz höchster Starre

1) Zitiert nach Höber, Physik. Chemie d. Zelle u. d. Gewebe, 4. Aufl. 1914.

2) v. Fürth u. Lenk, Biochem. Zeitschr. Bd. 33 S. 341. 1911.

nur gering (ca. 5 mg), dagegen werden wir bei später mitzuteilenden Versuchen sehen, dass bei Speisung mit Halb-Ringer das Herz ganz erstaunlich grosse Mengen Wassers aufzunehmen vermag — zwischen 30—80 % seines Gewichts —, aber die in der Kurve sich abzeichnende Tonussteigerung ist nur unbedeutend¹⁾.

2. Unerklärlich wäre auch das rasche Verschwinden der Tonuszunahme nach Vorhofsdehnung. Wäre das aufgenommene Quellungswasser der Grund der Tonussteigerung, so müsste man mit dem Abklingen des Tonus auch wieder einen Wasseraustritt und damit die Wiederherstellung des normalen Leitwerts der Ringer-Lösung erwarten. Die Versuche zeigen aber umgekehrt, dass die Verbesserung des Leitwerts ständig wächst und schliesslich stationär bleibt, während in der Herzkurve schon nach wenigen Minuten jede Wirkung verschwunden ist.

3. Wir sehen die gleiche Wasseraufnahme selbst bei ganz kleinen, in bezug auf den Tonus sicher unwirksamen Digitalisdosen auftreten ($\frac{1}{10}$ Millionen, vgl. Versuch 11).

Alle diese Gründe machen es unwahrscheinlich, dass die Quellung der Muskelzelle durch das aufgenommene Wasser der Grund oder der alleinige Grund der Tonussteigerung ist. Dahingegen glaube ich, dass wir in der Konzentrierung der Lösung ein Moment sehen können, dass durch Änderung der Oberflächenspannung der Muskelfibrillen gegenüber der Aussenlösung eine solche Tonussteigerung verursachen könnte. An sich spräche die Geringfügigkeit der Konzentration dagegen. Denn gerade zur Ausflockung der hydrophilen Kolloide sind nach den Versuchen von Hoffmeister²⁾ relativ grosse Mengen von Neutralsalzen der Alkalien nötig. Indessen darf man nicht vergessen, dass wir nur die endliche Veränderung der Gesamtlösung messen. Die Konzentrierung an den Grenzflächen zwischen Muskelzelle und Ringer-Lösung muss, solange das osmotische Gefälle nach dem Innern andauert, sehr viel grösser sein, und um so grösser, je stärker das Gefälle ist, also im Beginn des Reizes, wie aus den Versuchen mit Vorhofsdehnung ersichtlich ist. Dort ist die Wasseraufnahme im wesentlichen schon nach 2—5 Minuten beendet.

1) Hier könnte man allerdings einwenden, dass das aufgenommene Wasser nicht notwendig als Quellungswasser in der Zelle gespeichert sein muss.

2) Hoffmeister, Arch. f. experim. Pathol. u. Therap. Bd. 24. 1888.

Auch die grosse Reversibilität des Prozesses erklärt sich dann: in jeder Diastole wird die an den Grenzflächen konzentrierte Lösung durch Diffusion mit normaler verdünnt, und schliesslich ist bei abnehmendem osmotischem Gefälle die Zelle wieder von einer Lösung umspült, die sich nur wenig von der normalen unterscheidet. Bei der grossen Reversibilität der hydrophilen Kolloide wäre das rasche Verschwinden der „Salzschrumpfung“ nichts Ungewöhnliches. Nimmt man diese Erklärung an, so wird auch manches an dem Phänomen der Vorhofsdehnung verständlich, was sonst zusammenhanglos blieb. Ich habe schon in der Einleitung erwähnt: wenn man die Vorhofsdehnung bei leerschlagendem Herzen macht, zum Beispiel bei einem Herzen in situ, dessen zuführende Venen unterbunden, die Aorta angeschnitten ist, oder bei einem ausgeschnittenen Präparat, das man nach dem Eingriff von der Kanüle abgenommen und in Ringer-Lösung gelegt hat, so verschwindet der Tonus nicht, sondern erreicht zunehmend eine Starre, die einem Druck von über 20 cm Wasser standhält, in der das Herz dann abstirbt wie bei tödlicher Digitalisvergiftung. Hier ist der Prozess irreversibel, weil die Muskelzelle ständig von konzentrierter Salzlösung umgeben ist; die Waschung mit normalem Ringer fehlt. Denn ehe auf dem Wege langsamer Diffusion durch die ganze Dicke des Herzmuskels ein Ausgleich geschaffen ist, ist der Ventrikel abgestorben und sein Kolloid irreversibel verändert. Bringt man aber das Herz noch vor diesem Endstadium wieder an die Straub'sche Kanüle, so ist durch Ringer-Waschung noch eine Umkehr des Prozesses und Erholung zu erreichen.

Die Tonisierung des Herzmuskels nach Digitalisvergiftung unterscheidet sich von der nach Vorhofsdehnung durch ihre Beständigkeit bei schwächeren und ihr maximales Anwachsen bis zum systolischen Stillstand bei starken Dosen. Ich erkläre mir das so, dass an der durch Osmose bewirkten Salzschrumpfung der Grenzflächen das Digitalisglykosid adsorbiert wird und bei längerer Einwirkung eine „sekundäre Verfestigung“ (Hysteresis) an dieser Oberfläche eintritt. An sich haben nach Traube¹⁾ auch die Nichtleiter gegenüber hydrophilen Kolloiden ein erhebliches Fällungsvermögen, das proportional ist ihrer Oberflächenaktivität. Es würden also

1) J. Traube, Pflüger's Arch. Bd. 132 S. 511. 1910 u. Bd. 153 S. 199.

bei der Digitaliswirkung nach unserer Auffassung zweierlei Momente für die Fällung in Betracht kommen; erstens die Fällung durch Elektrolytkonzentration an den Grenzflächen, die Folge des osmotischen Vorgangs, und zweitens die Fällung durch Adsorption des Digitalis. Diese Zustandsänderung des Kolloids muss — im Gegensatz zu der nach Vorhofsdehnung — so lange irreversibel sein, solange die Adsorptionsisotherme der Lösung, d. h. ihre Konzentration, nicht geändert wird. Erst Verdünnung der Digitaliskonzentration im System kann die Reversibilität ermöglichen (Auswaschung).

Nach Freundlich's¹⁾ Untersuchungen ist die Fällung der Suspensionskolloide durch Elektrolyte und nach Höber und

Abb. 4.

Gordon's²⁾ Feststellungen auch die der hydrophilen Kolloide in hohem Maasse abhängig von der Schnelligkeit ihres Zusatzes. Da ist es nun interessant, zu sehen, wie bei jenen Eingriffen, die alsbald von Tonussteigerung gefolgt sind, wie bei Vorhofsdehnung und grossen Digitalisdosen, die Wasserresorption und damit die Elektrolytkonzentrierung an den Grenzflächen sehr rasch eintritt, dahingegen langsam wirkende, schwache oder ganz unwirksame Dosen von einer allmählichen Wasserresorption gefolgt sind. Nach 5 oder gar 10 Minuten ist hier erst ein Bruchteil der Leitfähigkeitsverbesserung erreicht.

1) Freundlich, Zeitschr. f. physik. Chemie Bd. 44 S. 143. 1903.

2) Höber u. Gordon, Hofmeister's Beiträge Bd. 5 S. 432. 1904.

Trägt man sich einige Versuche in Form einer Kurve auf, in der die Abszisse die Zeiten, die Ordinate die Verbesserung des Leitwertes in Prozenten ausdrückt, so erhält man folgendes Bild: vgl. Abb. 4. In Abb. 5 sind auf der Ordinate die Ohmzahl der Leitfähigkeitsverbesserung aufgetragen.

In dieser Tatsache scheint mir eine Erklärung für die Unwirksamkeit unterschwelliger Digitalisdosen und ihre Wirksamkeit nach Sensibilisierung des Herzens durch Vorhofsdehnung zu liegen. Bei unterschwelligen Digitalisdosen bleibt infolge der Langsamkeit der Wasserresorption die Elektrolytkonzentration an der Oberfläche und damit die Salzschrumpfung aus. Nach Sensibilisierung des Herzens durch Vorhofsdehnung tritt sie ein und wird durch das adsorbierte Digitalis stabil. Es ist jetzt auch verständlich, warum diese Wirkung am deutlichsten ist, wenn man die Vorhofsdehnung bei laufender Vergiftung macht, und weniger ausgesprochen, wenn man das Gift erst einige Zeit nach der Vorhofsdehnung in das System einbringt. Hierzu kommt noch, dass durch die Steigerung des osmotischen Gefälles nach Vorhofsdehnung auch die Adsorption des Digitalis begünstigt wird. Liegt dieser Adsorptionskoeffizient aber unter einem gewissen Minimum, so bleibt selbst die Sensibilisierung durch Vorhofsdehnung wirkungslos.

Abb. 5.

So kommen wir zu dem Schluss, dass die Tonus-

steigerung, welche wir an unserem Präparat beobachten, neben einer gewissen Quellung des Zellinnern durch vermehrte Säuerung eine „Salzschrumpfung“ der Zelloberfläche ist infolge Konzentrierung der Lösung durch Wasseraufnahme. Diese Schrumpfung ist bei Vorhofdehnung reversibel, weil sie nach Ablauf des osmotischen Stromes zum Zellinnern durch normale Ringer-Lösung ausgewaschen wird. Nach Digitalisvergiftung aber verfestigt sie sich durch fortschreitende Adsorption des Drogue und wird bei genügender Giftkonzentration und Dauer durch sekundäre Prozesse irreversibel.

3. Leitfähigkeit der Ringer-Lösung nach atonisierenden Eingriffen.

Es war nun von Interesse, auch die Wirkung atonisierender Einflüsse auf die Leitfähigkeit der Ringer-Lösung kennen zu lernen. Dazu dienten Versuche mit Ca-freiem Ringer und Vergiftung des Herzens mit Kohlensäure.

a) Versuche mit Ca-freiem Ringer.

Ca-freier Ringer bewirkt bekanntlich sehr bald Lähmung des Herzens und Stillstand in Diastole. Da der Leitwert des Ca-freien Ringers um ca. 10—15 Ω (Messgefäß I u. II) schlechter war als der des Normal-Ringer, musste bei der Auswechslung der Lösungen grosse Sorgfalt auf die Entfernung der Reste verwandt werden. Es wurde wie in allen späteren ähnlichen Versuchen die erste Lösung durch die Pravay-Spritze bis auf ca. $\frac{1}{10}$ ccm entfernt, der Rest mit einem Docht Filterpapier abgesogen und schliesslich mehrmals mit der zweiten Lösung nachgespült. Kontrollversuche lehrten, dass diese Maassregeln zur Vermeidung von Fehlerquellen genügten.

Die beiden mitgeteilten Versuche (Nr. 12 u. 13) ergeben, dass eine Änderung in der Ringer-Lösung nicht eintritt. Man kann aber strenggenommen nur sagen, dass der lähmenden Wirkung des Ca-freien Ringers nicht Änderungen der Leitfähigkeit parallel gehen, die man in einen ursächlichen Zusammenhang mit der Lähmung des Organs bringen könnte. Ob nicht während des Stillstandes ein Austausch zwischen Herz und Ringer-Lösung statt hat, lässt sich bei unserer Versuchsanordnung nicht feststellen; denn es fehlt das natürliche Rührwerk der Herz Tätigkeit, das die in der Herzkammer befindliche

Lösung in den Messbereich bringt, und auf den Ausgleich durch Diffusion zu warten, erlaubt der Zustand des Herzens nicht, das im Stadium der Lähmung meist zu lecken beginnt. Immerhin will ich nicht unterlassen mitzuteilen, dass ich in einem solchen Fall die Lösung des leckenden Herzens aufgefangen und eine Leitfähigkeitsverbesserung von 10Ω gemessen habe. Man könnte dagegen einwenden, dass diese Lösung den Vorhof von Resten der Voll-Ringer-Lösung gewissermaassen reingewaschen habe, die trotz Spülung dort noch verblieben sein konnten. Aber es könnte sich auch um Austritt von Salzen aus dem Herzen handeln. So hat Böhm¹⁾ nachweisen können, dass ein bei reiner NaCl-Diät allmählich stillstehendes Herz nach Stunden unter Ausscheidung von Ca wieder zu arbeiten beginnt. Dass Salze aus dem Herzen austreten können, werde ich auch noch in eigenen, später zu erwähnenden Versuchen nachweisen. Immerhin kommt es uns hier in erster Linie auf den Nachweis an, dass keine Änderung der Lösung zu messen ist, die in einem ursächlichen Zusammenhang zur Lähmung steht. Man muss demnach annehmen, dass es Änderungen im Potential und die mit ihr verknüpften Vorgänge sind, die zur Lähmung des Organes führen.

b) Leitfähigkeit nach CO₂-Vergiftung.

Das gleiche gilt von der CO₂-Wirkung. Zunächst war hier der unmittelbare Einfluss der CO₂ auf die Leitfähigkeit der Ringer-Lösung festzustellen. Zu diesem Zwecke wurde der ganze Messraum durch ein Zuleitungsrohr aus einem Kipp'schen Apparat mit CO₂ gefüllt und in Zwischenräumen gemessen (Versuche 14 und 15). Oder die Kohlensäure wurde mittels einer Pravaz-Spritze direkt durch die Ringer-Lösung langsam hindurchgeleitet. Die Verbesserung der Leitfähigkeit betrug ca. 3—4 Ω . Dieselbe Grösse findet sich wieder, wenn wir das Herz mit CO₂ vergiften. Nach langsamer Durchleitung einer Pravaz-Spritze CO₂ durch die Ringer-Lösung steht das Herz bereits still. Auch hier wäre wie bei den Versuchen mit Ca-freiem Ringer möglich, dass bei stillstehendem Herzen nachträglich sich Veränderungen in der Kammerlösung vollziehen; jedenfalls sind sie bei unserer Versuchsanordnung nicht zu messen und ständen zur Lähmung in keinem ursächlichen Zusammenhang.

1) Böhm, Arch. f. experim. Pathol. u. Pharmakol. Bd. 75. 1914.
Pflüger's Archiv für Physiologie, Bd. 172.

Es mag hier noch einmal darauf hingewiesen sein, dass die Tatsache des diastolischen Herzstillstands bei einer CO_2 -Spannung der Ringer-Lösung die der Grössenordnung von 3—4 Ω entspricht, ein klarer Beweis ist gegen die Annahme, dass die Leitfähigkeitsverbesserung nach Vorhofsdehnung und Digitalisvergiftung auf vermehrte CO_2 -Produktion oder Austreibung zurückzuführen sei. Es kann nicht dieselbe Ursache, in dem einen Fall eine Verstärkung der Herzaktion mit Tonussteigerung, im anderen Fall die diastolische Lähmung, zur Folge haben.

4. Änderungen osmotischen Drucks.

Zum Schluss sollen noch einige Versuche mitgeteilt werden über das Verhalten des Herzens gegenüber Änderungen des osmotischen Drucks.

a) Verdoppelung des osmotischen Drucks durch Zusatz von 10 % Rohrzucker zur Ringer-Lösung.

Erhöhung des osmotischen Drucks auf das Doppelte presst den Zellen eine gewisse Menge Wasser ab, wie aus der Verschlechterung des Leitwertes der Rohrzucker-Ringer-Lösung hervorgeht (vgl. Versuche 17, 18). Wechselt man die Lösung wieder gegen Normal-Ringer aus, so holt die Zelle dasselbe Quantum Wasser wieder herein, wobei sich der Leitwert fast genau um die gleiche Anzahl Ω verbessert, um die er sich vorher verschlechtert hatte. Diese Wassermenge, die man dem Herzen abpressen kann, ist aber, wie sich aus der Ohmzahl berechnen lässt, nur klein. Und das stimmt auch mit der Wägung des Herzmuskels nach dem Versuch gut überein. Die Ventrikelgewichte gleich schwerer und unter gleichen Verhältnissen lebender Frösche gleichen sich erfahrungsgemäss bis auf wenige Milligramme. So hat man zum Entscheid der Frage, ob das Herz Wasser aufgenommen oder abgegeben hat, einen zuverlässigen Anhalt. Der Ventrikel wird mit sauberer Schere abgetrennt und zwischen Fliesspapier energisch abgepresst. Die Verluste durch Verdunstung selbst bei sehr langsamer Wägung sind so gering, dass sie kaum mehr als 2—3 mg ausmachen. Das Herzgewicht einer normalen Temporarie von 47 g betrug 0,870 g, der einer Temporarie von 58 g 0,933 g. In Versuch Nr. 18 vom 13. Dezember betrug die durch Wasseraustritt bedingte Verschlechterung

des Leitwertes der 10 % Rohrzucker-Ringer-Lösung $13 \Omega =$ rund 3 %. Das entspräche bei einer Füllung der Kanüle mit 0,4 ccm Lösung einer ausgeschiedenen Wassermenge von 0,012 g. Das Ventrikeltgewicht nach dem Versuch betrug 0,0735 g. Das wirkliche Herzgewicht hätte also vor dem Versuch 0,0855 g betragen (Froschgewicht 54 g). Bedenkt man aber, dass in Anbetracht des toten Raumes der Kanüle eine exakte Bestimmung ihrer Füllung nicht möglich ist und ferner, dass schon während der zeitraubenden Manipulation der Ausspülung der Kanüle mit der 10 % Rohrzucker-Ringer-Lösung etwas Wasser verlorengegangen sein kann, so sehen wir, dass wir durch Leitfähigkeitsmessung und Wägung den Vorgang hinlänglich genau verfolgen können. Man könnte den Einwand machen, dass die dem Herzen abgepresste Wassermenge nur darum so klein ist, weil das Organ schon nach ca. 10 Minuten zum Stillstand kommt. Das ist aber nicht der Fall, wie folgender Versuch beweist: Der Ventrikel einer Temporarie von 63 g mit einem Gewicht von 0,110 g wurde für 24 Stunden in eine 10 % Rohrzucker-Ringer-Lösung gelegt. Das Gewicht sank auf 0,0998 g, was einer ausgepressten Wassermenge von 0,0102 g entspricht, ein Wert, der mit dem oben gefundenen fast identisch ist. Wir sehen also: Nur eine kleine Menge losen Wassers lässt sich durch Änderungen des osmotischen Drucks in der Zelle hin und her bewegen; der grösste Teil ist als Quellungs- wasser gespeichert.

b) Erniedrigung des osmotischen Drucks (Speisung mit Halb-Ringer).

Ganz anders sind die Verhältnisse bei herabgesetztem osmotischen Druck. Speist man das Herz zum Beispiel mit Halb-Ringer, so nimmt es relativ grosse Wassermengen auf, ohne seine normale Tätigkeit nennenswert zu verändern. Erst bei extremen Graden der Wasserspeicherung wird die Aktion klein. Die Verbesserung der Leitfähigkeit schwankt in den Versuchen von 50—130 Ω , die gespeicherten Wassermengen belaufen sich auf 30—80 % des Herzgewichtes. Sie lassen sich durch Gewichtsvergleiche gut ermitteln; man braucht die Herzen nur 24 Stundenlang in Normal-Ringer zu legen, um ihnen das gespeicherte Wasser wieder abzapfen, und kann so das ursprüngliche Herzgewicht ermitteln. Eine Zusammen-

stellung der Werte soll zum Schluss gegeben werden. Hier sei nur zweierlei bemerkt:

1. So rasch das Wasser durch die Zelle aufgenommen wird — zur Speicherung der obigen Menge genügen 10—15 Minuten — so langsam scheint es, nach den Wägeversuchen zu urteilen, die Zelle wieder zu verlassen. Legt man ein solches Herz in Voll-Ringer-Lösung, so kann man durch wiederholte Wägungen die Wasserabgabe verfolgen. Die Menge, die den Muskel nach $\frac{1}{2}$ — $\frac{3}{4}$ Stunden verlassen hat, ist noch sehr klein, nach 4—5 Stunden ist erst etwa die Hälfte abgegeben; aber es dauert gegen 24 Stunden, bis das Herz sein Normalgewicht erreicht hat. Dies könnte die Vermutung nahelegen, dass auch dieses Wasser in Form von Quellungswasser im Herzen zurückgehalten wird. Doch scheint mir die Langsamkeit des Wasseraustritts durch den grossen Widerstand verursacht zu sein, den die Dicke des kontrahierten Herzmuskels der Diffusion der Ringer-Lösung entgegensetzt. Denn lässt man wie im Versuch 26 ein durch Halb-Ringer mit Wasser angereichertes Herz an Voll-Ringer arbeiten, in welchem Falle immer neue Teile des hypertonischen Voll-Ringers mit einer sehr grossen Herzoberfläche in Berührung kommen, so vollzieht sich die Entwässerung rasch. In dem erwähnten Versuch besserte sich der Leitwert der Halb-Ringer-Lösung durch Wasseraufnahme um 53 Ω (von 477 auf 424) = 9%, und die Leitfähigkeit der Voll-Ringer-Lösung verschlechterte sich durch Wasserabgabe um 21 Ω (von 269 auf 248) = 8,6%. Die Kontrolle des Herzgewichtes nach dem Versuch ergab auch eine dem Froschgewicht (71 g) entsprechende Grösse: 0,112 g.

2. Die aus der Verbesserung der Leitfähigkeit errechneten Wassermengen stimmen im allgemeinen mit den aus der Differenz der Herzgewichte gefundenen gut überein, aber nicht immer. In den Versuchen 19 und 20 sind die Verbesserungen der Leitwerte so gross, dass sie unmöglich allein durch Wasseraufnahme entstanden sein können (man käme bei der Berechnung auf so niedrige Herzgewichte, wie sie dem Gewicht des Tieres nicht entsprechen). Es muss also von einem Zeitpunkt ab die Zelle auch Salze austreten lassen, und man könnte sich vorstellen, dass die Dehnung ihrer Membran durch die reichliche Wasseraufnahme diesen Austritt erleichtert.

c) Speisung mit Halb-Ringer bei normalem osmotischem Druck (Zusatz von 5% Rohrzucker).

Legt man ein durch Halb-Ringer mit Wasser angereichertes Herz in eine Lösung von 5 % Rohrzucker-Ringer, so entwässert es sich ebenso wie in Voll-Ringer. Zum Beispiel: 10. Januar Herz einer Temporarie von 50 g mit Halb-Ringer gespeist:

Herzgewicht
 11^h 10': 0,171 g
 (Das Herz wird in 5 % Rohrzucker-Ringer gelegt)
 11^h 50': 0,156 g
 4^h 30': 0,112 g
 11. Januar 12^h 30': 0,0905 g

Lässt man aber ein solches Herz an einer Lösung mit 5 % Rohrzucker-Ringer arbeiten, so bemerkt man an den Resultaten der Messungen, dass hier der Vorgang der Entwässerung sich nicht so einfach vollzieht wie bei Voll-Ringer. In den Versuchen 23 und 24 beobachtet man nach den ersten Minuten — entsprechend den Wägeversuchen — einen Wasseraustritt, dementsprechend eine Verschlechterung der Leitfähigkeit um 9—14 Ω ; in den folgenden 10 Minuten aber kehrt sich das Spiel, um und es folgt eine Verbesserung um 6 Ω und mehr. Vollends in den Versuchen 25, 26: hier sehen wir überhaupt keinen Wasseraustritt, sondern von vornherein eine Verbesserung der Leitfähigkeit, die nur auf Austritt von Salzen beruhen kann.

Am klarsten aber beweist dies folgender Versuch:

Speist man ein normales Herz mit 5 % Rohrzucker-Halb-Ringer und hindert so durch den normalen osmotischen Druck den Wassereintritt in die Zelle, so treten Salze aus der Zelle aus. Im Versuch 27 bessert sich die Leitfähigkeit um 40 Ω (von 551 auf 511) = 7,3 %. Dass diese wirklich durch Salzabgabe und nicht durch Wasseraufnahme erfolgt ist, sieht man an dem normalen Herzgewicht nach dem Versuch (0,102 g, Froschgewicht 58 g).

Fassen wir die Ergebnisse unserer Versuche zusammen, so sehen wir, dass die Zelle bei Störungen in den osmotischen Verhältnissen ihrer Umgebung immer ein Gleichgewicht anzustreben sucht. Bei Herabsetzung des osmotischen Drucks tut sie das durch Wasserauf-

nahme und schliesslich auch durch Salzaustritt. Herabsetzung des Partiardrucks der Salze bei normalem osmotischen Gesamtdruck begegnet sie durch Austritt von Salzen¹⁾.

Frosch- gewicht	Normale Herzgewichte
34 g	0,054 g
47 g	0,087 g
56 g	0,0930 g
58 g	0,0933 g
63 g	0,110 g

Nach Versuchen mit Halb- Ringer:

40 g	0,123 g	Nach Aufenthalt in 5% Rohr- zucker-Halbringer:			
50 g	0,171 g	40 Min.	5 Std.	20 Min.	25 Std.
		0,156 g	0,112 g		0,0905 g
52 g	0,140 g	Nach Aufenthalt in Vollringer:			
56 g	0,127 g	30 Min.	5 Std.		21 Std.
		0,112 g	0,102 g		0,091 g

Nach Versuchen mit 10% Rohr- zucker-Ringer:

54 g	0,0735 g
63 g nach 24 Stunden	0,0998 g

1) Dies Verhalten des Herzens stellt keine Besonderheit dar. Denn ahmt man obige Verhältnisse im Experiment nach, so kann man sich leicht davon überzeugen, dass bei halbdurchlässigen Membranen sich die einzelnen Partiardrucke unabhängig vom osmotischen Gesamtdruck ausgleichen. Zum Beispiel füllt man eine 10%ige Rohrzuckerlösung in eine Kollodiummembran und hängt diese in eine isotonische Kochsalzlösung, so wandert das Kochsalz in die Rohrzuckerlösung ein bis zum Gleichgewicht und zieht entsprechend der nun auf seiten der Rohrzuckerlösung eintretenden Hypertonie Wasser nach: der Flüssigkeitsspiegel der Zuckerlösung steigt an.

Versuchsprotokolle.**Bestimmung des Temperaturkoeffizienten der Ringer-Lösung.**

Messgefäß I.

Datum	$K^1)$	W	a	b	x	Mittel
28. Nov. 1917 . .	14,9°	500	383,5	610,5	310,5	310,0
		400	436,0	564,0	310,0	
		300	507,5	492,5	309,4	
	19°	500	302,0	638,0	283,7	282,5
		400	414,0	586,0	282,5	
		300	484,0	515,0	281,9	
		200	585,0	415,0	281,9	

Für $41/10^\circ$ beträgt der Temperaturkoeffizient $310 - 283,5 = 27,5 \Omega$,
für 1° also $6,7 \Omega = 2,2\%$.

1. Tonisierende Eingriffe.**a) Vorhofsdehnung.**

Herz mit 0,5 cem Ringer-Lösung.

Messgefäß I.

Nr.	Datum	Ein- gesetzt	Ge- messen	K	W	a	b	x	Mittel	bei 18° C.	
1	14. Sept. 1917	10 h 25'	10 h 50'	18 °	500	364	636	286,0	285,5	285,5	
					400	417	583	286,0			
					300	487,5	512,5	285,3			
					200	587,5	412,5	284,8			
			11 h 10'	18,1 °	500	363,0	637	284,9	284,7	285,4	
					400	416,0	584	284,9			
					300	487,0	513	284,8			
					200	587,0	413	284,3			
		11 h 20' Vorhofsdehnung.									
		11 h 22'	17,8 °	500	362,5	637,5	284,2	283,9	282,6		
				400	416,0	584	284,9				
				300	486,5	513,5	284,2				
				200	585,5	414,5	282,4				
11 h 25'	17,9 °	500	361,5	638,5	283,2	283,3	282,6				
		400	415,0	585,0	284,0						
		300	486,0	514,0	284,0						
		200	585,0	415,0	282,0						

1) K bedeutet: Temperatur in der Kanüle gemessen.

1. Tonisierende Eingriffe (Fortsetzung).

Nr.	Datum	Ein- gesetzt	Ge- messen	K	W	a	b	x	Mittel	bei 18° C.	
1	14. Sept. 1917	10 ^h 25'	11 ^h 45'	17,95°	500	362,0	638,0	283,7	282,9	282,6	
					400	414,5	585,5	283,2			
					300	485,0	515,0	282,6			
					200	585,0	415,0	282,0			
			11 ^h 50'	18°	500	361,0	639,0	282,5	282,1	282,1	
					400	414,0	584,0	282,5			
					300	485,0	515,0	282,6			
					200	584,0	416,0	280,7			
		Ringer-Lösung gewechselt.									
		12 ^h 5'	18°	500	364,0	636,0	286,0	285,8	285,8		
				400	417,0	583,0	286,0				
				300	487,0	513,0	285,0				
200	587,5			412,5	284,8						
Kontrollversuch: Reine Ringer-Lösung.											
			18°	500	364,5	635,5	286,8	286,5	286,5		
				400	417,5	582,5	286,5				
				300	488,5	511,5	286,6				
				200	588,5	411,5	286,0				

Herz mit 0,4 ccm Ringer-Lösung.

Messgefäß I.

Nr.	Datum	Ein- gesetzt	Ge- messen	K	W	a	b	x	Mittel	bei 18° C.
2	29. Okt. 1917	10 ^h 25'	11 ^h 40'	18,08°	500	365,0	635,0	287,4	286,8	287,3
					400	417,0	583,0	286,5		
					300	488,5	511,5	286,5		
					200	589,0	411,0	286,6		
11 ^h 45' Vorhofsdehnung. Langer Sinusstillstand, dann peristalt. Wogen, schliessl. normaler Rhythmus.										
			12 ^h 5'	18°	500	360,0	640,0	281,5	281,4	281,4
					400	413,0	587,0	281,5		
					300	483,5	516,5	280,5		
					200	585,0	415,0	282,0		
12 ^h 10': Die Lösung wird durch 0,4 ccm frischen Ringer ersetzt.										
			12 ^h 30'	17,8°	500	365,0	635,0	287,4	286,8	285,5
					400	417,5	582,5	286,7		
					300	488,5	511,5	286,5		
					200	589,0	411,0	286,6		

1. Tonisierende Eingriffe (Fortsetzung).

Nr.	Datum	Ein- gesetzt	Ge- messen	K	W	a	b	x	Mittel	bei 18° C.
2	29. Okt. 1917	10 h 25'	1 h	Nochmals frische Ringer-Lösung.						
				17,825 ⁰	500	366,5	632,5	289,1	288,3	287,2
					400	418,5	581,5	287,9		
					300	489,5	510,5	287,6		
					200	590,5	409,5	288,4		
				Kontrollversuch: Reine Ringer-Lösung.						
				18°	500	365,0	635,0	287,4	287,5	287,5
					400	418,5	581,5	287,9		
					300	489,5	510,5	287,6		
					200	589,5	410,5	287,2		

Esculenta, 47 g, Herz mit 0,4 ccm 0,65% NaCl-Lösung.

Messgefäß II.

Nr.	Datum	Ein- gesetzt	Ge- messen	K	W	a	b	x	Mittel	bei 18° C.			
3	11. Dez. 1917		11 h	18,1 °	500	400,0	600,0	333,3	333,4	334,1			
					400	454,0	546,0	332,6					
					300	526,0	474,0	332,9					
					200	626,0	374,0	334,8					
			11 h 15'	18,2 °	500	398,5	601,5	331,3	332,2	333,7			
					400	453,0	547,0	331,3					
					300	526,0	474,0	332,9					
					200	625,0	375,0	333,3					
			Die NaCl-Lösung wird erneuert.										
			11 h 25'	18,2 °	500	398,5	601,5	331,3	332,4	333,9			
					400	454,0	546,0	332,6					
					300	525,0	475,0	331,6					
					200	625,5	374,5	334,0					
			11 h 28' Vorhofsdehnung. Einige Zeit Still- stand durch Sinusreiz.										
			11 h 33'	18,1 °	500	398,5	601,5	331,3	331,2	331,9			
					400	454,0	546,0	332,6					
					300	524,0	476,0	330,3					
					200	623,0	377,0	330,5					
			11 h 38'	18,2 °	500	397,5	602,5	329,9	330,2	331,7			
					400	452,5	547,5	330,6					
300	524,0	476,0			330,3								
200	622,5	377,5			329,8								
11 h 50'	18,2 °	500	397,5	602,5	329,9	330,0	331,5						
		400	452,0	548,0	329,9								
		300	523,5	476,5	329,6								
		200	623,0	377,0	330,5								

1. Tonisierende Eingriffe (Fortsetzung).

Esculenta, 30 g, Herz mit 0,3 ccm NaCl-Lösung 0,65 %.

Messgefäß II.

Nr.	Datum	Ein- gesetzt	Ge- messen	K	W	a	b	x	Mittel	bei 18° C.
4	12. Dez. 1917		4 h	17,85°	500 400 300 200	401,5 585,0 528,0 626,5	598,5 445,0 472,0 373,5	335,4 333,9 335,6 335,4	335,1	334,3
NaCl-Lösung wird erneuert.										
			4 h 15'	18°	500 400 300 200	400,5 454,0 526,0 625,0	599,5 546,0 476,0 375,0	334,0 334,0 332,7 333,0	333,4	333,4
4 h 25' Vorhofsdehnung.										
			4 h 25'	18°	500 400 300 200	398,5 453,5 524,5 624,0	601,5 546,5 475,5 376,0	331,3 331,8 330,9 331,8	331,5	331,5
			4 h 50'	18°	500 400 300 200	398,5 452,5 524,5 624,0	601,5 547,5 475,5 376,0	331,3 330,6 330,9 331,8	331,2	331,2

Esculenta, 56 g, mit 0,5 ccm Ringer-Lösung.

Messgefäß III.

Nr.	Datum	Ein- gesetzt	Ge- messen	K	W	a	b	x	Mittel	bei 18° C.
5	12. Jan. 1918	10 ^h 5'	10 ^h 15'	17,725°	500	339	661	256,4	255,5	253,9
					400	388	612	253,6		
					300	460	540	255,5		
					200	560	440	256,3		
					Ringer-Lösung gewechselt.					
			10 ^h 25'	17,8°	500	338,5	661,5	255,8	254,5	253,4
					400	388,5	611,5	254,1		
					300	459,5	540,5	255,0		
					200	558,5	441,5	253,0		

1. Tonisierende Eingriffe (Fortsetzung).

Nr.	Datum	Ein- gesetzt	Ge- messen	K	W	a	b	x	Mittel	bei 18° C.
5	12. Jan. 1918	10 h 5'	10 h 27' Vorhofsdehnung. Starke Sinusreizung. Aktion verlangsamt 30 pro Minute, später 48.							
			10 h 32'	17,85°	500 400 300 200	335,5 386,5 456,5 557,5	664,5 613,5 543,5 442,5	252,3 252,0 252,0 251,4	251,9	250,8
			10 h 42'	17,85°	500 400 300 200	335,5 386,0 456,0 556,0	664,5 614,0 544,0 444,0	252,3 251,3 252,0 250,4	251,5	250,4

b) Strophanthinvergiftung.

Herz mit 0,5 ccm Ringer-Lösung.

Messgefäß I.

Nr.	Datum	Ein- gesetzt	Ge- messen	K	W	a	b	x	Mittel	bei 18° C.
6	13. Nov. 1917	12 ^h 10'	12 ^h 30'	17,3°	500	367	633	289,9	289,8	285,3
					400	421	579	290,8		
					300	491	509	289,2		
					200	591	409	288,8		
					12 ^h 35' $\frac{1}{10}$ Strophanthin ($\frac{1}{20000}$). Konzentration im System $\frac{1}{100000}$.					
			12 ^h 40'	17,3°	500	365	635	287,4	287,5	283,0
					400	419	581	288,4		
					300	489	511	287,1		
			200	589,5	410,5	287,2				
			12 ^h 50'	17,3°	500	365	635	287,4	287,2	282,7
400	418,5	581,5			287,6					
300	489	511			287,1					
200	589	411			286,6					
12 ^h 57' Ventrikel + in Systole. Die Lösung wird durch frischen Ringer ersetzt, das Herz damit gewaschen.										
		17,4°	500	365,5	634,5	288,2	288,3	284,5		
			400	419	581	287,8				
			300	490,5	509,5	288,6				
			200	590,0	410	288,5				

1. Tonisierende Eingriffe (Fortsetzung).

Herz mit 0,4 ccm Ringer-Lösung.

Messgefäß I.

Nr.	Datum	Ein- gesetzt	Ge- messen	K	W	a	b	x	Mittel	bei 18° C.		
7	14. Nov. 1917		12 h 5'	18°	500	364	636	286	285,4	285,4		
					400	417	583	286				
					300	487	513	284,8				
					200	587,5	412,5	284,8				
			12 h 10' $\frac{1}{10}$ Strophanthin ($\frac{1}{25000}$). Konzentration im System $\frac{1}{100000}$.									
			12 h 25'	17,95°	500	362,5	637,5	284,2	282,8	282,5		
					400	414,5	585,5	283,2				
					300	485,0	515,0	282,6				
					200	584,5	415,5	281,3				
			12 h 40' Ventrikel +.									
				17,9°	500	361,5	638,5	283,0	282,3	281,7		
					400	414,5	585,5	283,2				
300	484,5	515,5			281,7							
200	584,5	415,5			281,3							
Kontrollversuch: Reine Ringer-Lösung: 286,5.												

Temporarie, 50 g, Herz mit 0,3 ccm Ringer-Lösung.

Messgefäß II.

Nr.	Datum	Ein- gesetzt	Ge- messen	K	W	a	b	x	Mittel	bei 18° C.
8	7. Dez. 1917	11 h 25'	11 h 55'	18,05°	500	400,0	600,0	332,2	333,8	334,2
					400	455,0	555,0	334,0		
					300	526,5	473,5	333,8		
					200	626,0	374,0	334,2		
11 h 58' $\frac{1}{10}$ Strophanthin ($\frac{1}{100000}$). Konzentration im System $\frac{1}{300000}$.										
			12 h 10'	17,8°	500	399,5	600,5	332,5	332,0	330,5
					400	453,5	546,5	331,8		
					300	524,5	475,5	330,9		
					200	624,5	375,5	332,6		

1. Tonisierende Eingriffe (Fortsetzung).

Nr.	Datum	Ein- gesetzt	Ge- messen	K	W	a	b	x	Mittel	bei 18° C.
9	12. Dez. 1917		1 h Herz mit frischer Ringer-Lösung ausgewaschen, erholt sich.							
			1 h 15'	17,9°	500	400,0	600,0	333,3	335,1	334,4
					400	456,0	544,0	335,3		
					300	527,0	473,0	334,2		
					200	628,0	372,0	337,6		
1 h 20' Herz schlägt in Pausen und bleibt schliesslich in Systole stehen.										

Temporarie, 62 g, mit 0,4 ccm Ringer. Herz schlägt in Pausen.

Messgefäss III.

Nr.	Datum	Ein- gesetzt	Ge- messen	K	W	a	b	x	Mittel	bei 18° 0.
10	20. Dez. 1917	12 h	12 h 25'	17,1°	400	386,0	614,0	251,4	251,6	246,5
					300	455,5	544,5	251,0		
					200	558,0	442,0	252,4		
			12 h 35'	17,7°	500	330,5	669,5	246,8	247,0	245,4
					400	382,0	618,0	246,9		
					300	451,5	548,5	247,2		
			12 h 45'	17,95°	500	329,5	670,5	245,8	245,8	245,4
					400	380,0	620,0	245,2		
					300	450,5	549,5	246,0		
			200		555,0	445,0	245,4			
			12 h 55' $\frac{1}{10}$ ccm Strophanthin ($\frac{1}{375000}$), also Kon- zentration im System: $\frac{1}{1,5}$ Millionen.							
			1 h 5'	17,3°	500	334,5	665,5	251,0	248,8	244,9
		400			384,0	614,0	249,0			
		300			453,0	547,0	248,0			
		200			553,0	447,0	247,2			
		1 h 20'	17,7°	500	329,5	660,5	245,8	245,5	243,9	
				400	380,0	620,0	245,2			
				300	450,0	550,0	245,8			
				200	550,5	449,5	245,4			
		1 h 25'	17,825°	500	328,5	661,5	244,6	243,8	242,8	
400	378,0			622,0	243,1					
300	449,0			551,0	244,5					
200	548,5			451,5	242,5					
Ringer-Waschung.										
16,85°		500	337,0	663,0	254,2	251,9	245,5			
		400	386,5	613,5	252,0					
		300	456,0	544,0	251,5					
		200	556,5	443,5	251,0					

1. Tonisierende Eingriffe (Fortsetzung).

Temporarie, 63 g, Herz mit 0,5 cem Ringer.

Messgefäß III.

Nr.	Datum	Ein- gesetzt	Ge- messen	K	W	a	b	x	Mittel	bei 18° C.
11	15. Jan. 1918	10 h 25'	10 h 30'	17,875°	500 400 300 200	336,0 390,0 460,5 561,5	664,0 610,0 539,5 438,5	254,3 255,7 256,0 256,0	255,5	254,8
			10 h 50'	18°	500 400 300 200	338,5 389,0 459,0 559,5	661,5 611,0 541,0 440,5	255,8 254,6 254,5 253,8	254,8	254,8
			10 h 51' Ringer erneuert.							
			11 h	18,1°	500 400 300 200	337,5 388,0 458,0 558,5	662,5 612,0 542,0 441,5	254,7 253,6 253,5 253,0	253,7	254,3
			11 h 2' Ringer erneuert.							
			11 h 7'	18°	500 400 300	337,5 388,5 458,5	662,5 611,5 541,5	254,7 254,1 254,0	254,3	254,3
			11 h 30'	18,25°	500 400 300 200	336,0 387,0 456,5 557,0	664,0 614,0 543,5 443,0	254,3 252,5 252,0 251,6	252,6	254,0
			11 h 32': $\frac{1}{10}$ Strophanthin $\frac{1}{2}$ Millionen. Konzen- tration im System: $\frac{1}{10}$ Millionen.							
			11 h 42'	18,25°	500 400 300 200	334,0 385,0 455,5 556,0	666,0 615,0 544,5 444,0	250,7 250,4 250,9 250,4	250,6	252,0
			11 h 50'	18,275°	500 400 300 200	334,0 385,0 455,0 555,5	666,0 615,0 545,0 444,5	250,7 250,4 250,4 249,8	250,3	251,8
			12 h	18,2°	500 400 300 200	334,0 385,0 454,0 554,5	666,0 615,0 546,0 445,5	250,7 250,4 249,5 248,5	249,8	250,9
			12 h 10'	18,05°	500 400 300 200	334,0 385,0 455,0 555,0	666,0 615,0 545,0 445,0	250,7 250,4 250,4 249,8	250,3	250,5

1. Tonisierende Eingriffe (Fortsetzung).

Nr.	Datum	Ein- gesetzt	Ge- messen	K	W	a	b	x	Mittel	bei 18° C.
12 ^h 20' Ringer-Waschung.										
11	15. Jan. 1918	10 ^h 25'	12 ^h 25'	17,9°	500	337,0	663,0	254,2	253,4	252,9
					400	388,0	612,0	253,6		
					300	458,0	542,0	253,5		
					200	558,0	442,0	252,4		

2. Atonisierende Eingriffe.

a) Ca-freier Ringer.

Messgefäß I.

Nr.	Datum	Ein- gesetzt	Ge- messen	K	W	a	b	x	Mittel	bei 18° C.
12	20. Nov. 1917			Leitfähigkeit der Ca-freien Ringer-Lösung.						
				18°	500	374,0	626,0	298,7	299,8	299,8
					400	429,0	571,0	300,5		
					300	500,0	500,0	300,0		
					200	600,0	400,0	300,0		
	21. Nov. 1917	9 h 55'	10 h 25'	18,08°	500	363,5	636,5	285,8	285,5	286,0
					400	416,5	583,5	285,8		
					300	487,5	512,5	285,4		
					200	588,0	412,0	285,4		
					Herz eingesetzt mit 0,5 ccm Ringer.					
			10 h 45'	18,35°	500	373,0	627,0	297,5	297,5	299,8
					400	426,0	574,0	296,8		
					300	498,0	502,0	297,6		
					200	598,5	401,5	293,1		
					10 h 40' Ringer-Lösung gegen Ca-freien Ringer ausgetauscht. Nach kurzer Zeit Herzstillstand in Diastole.					

Messgefäß I.

13	29. Nov. 1917	1 ^h .	Herz mit 0,4 ccm Ringer.							
		1 ^h 5'	Die Ringer-Lösung wird ersetzt durch Ca-freien Ringer. Herz in Diastole; macht nur minimale Kontraktionen.							
		1 ^h	1 ^h 15'	17,65°	500	377,5	622,5	303,3	302,0	299,7
					400	430,0	570,0	301,7		
					300	501,0	499,0	301,2		
					200	601,5	398,5	301,8		

2. Atonisierende Eingriffe (Fortsetzung).

b) CO₂-Vergiftung.

Messgefäß I.

Nr.	Datum	Ein- gesetzt	Ge- messen	K	W	a	b	x	Mittel	bei 18° C.
			Einfluss von CO₂ auf die Leitfähigkeit der Ringer-Lösung.							
			Ringer-Lösung.							
14	29. Nov. 1917		9 h 54'	18°	500	365,0	635,0	287,4	287,5	287,5
					400	418,5	581,5	287,9		
					300	489,5	510,5	287,6		
					200	589,5	410,5	287,2		
10 h 25' CO ₂ -Einleitung aus einem Kipp'schen Apparat.										
			10 h 32'	18,15°	500	364,5	635,5	286,8	285,6	286,6
					400	416,5	538,5	285,5		
					300	487,5	512,5	285,4		
					200	587,5	412,5	284,8		
			10 h 41'	18°	500	363,5	636,5	285,8	284,6	284,6
					400	416,5	584,0	284,9		
					300	486,5	513,5	284,2		
					200	586,5	413,5	283,6		
			10 h 50'	17,9°	500	365,0	635,0	287,4	286,5	285,8
					400	417,0	583,0	286,5		
					300	487,5	512,5	285,4		
					200	589,0	411,0	286,6		

Messgefäß II.

Ringer-Lösung.										
15	8. Dez. 1917	10 ^h 50'	18,1°	500	400,5	599,5	334,0	332,7	333,4	
				400	454,0	646,0	332,6			
				300	525,0	475,0	331,6			
				200	624,5	375,5	332,6			
11 ^h 5': Zwei Pravaz-Spritzen CO ₂ langsam durchgeleitet.										
		11 ^h 10'	18,3°	500	396,5	603,5	328,5	329,1	331,4	
				400	452,5	547,5	330,6			
				300	522,0	478,0	327,6			
				200	622,0	378,0	329,1			
		11 ^h 20'							330,1	

2. Atonisierende Eingriffe (Fortsetzung).

Messgefäß II.

Nr.	Datum	Ein- gesetzt	Ge- messen	K	W	a	b	x	Mittel	bei 18° C.
16	18. Dez. 1917		Herz mit 0,4 ccm Ringer.							
			11 h 20'	18,225°	500	402,0	598,0	336,1	337,6	339,3
					400	456,5	543,5	336,1		
					300	530,0	470,0	338,3		
					200	630,0	570,0	340,0		
			11 h 35': Eine Pravaz-Spritze CO ₂ durchgeleitet. Herz steht sofort still.							
			11 h 45'	18,6°	500	398,0	602,0	330,6	331,1	335,5
					400	453,5	546,5	331,9		
					300	524,5	475,5	330,9		
					200	624,5	375,5	331,1		

3. Änderungen des osmotischen Druckes.

a) Verdopplung des osmotischen Druckes (10 % Rohrzucker-Ringer).

Messgefäß I.

Nr.	Datum	Ein- gesetzt	Ge- messen	K	W	a	b	x	Mittel	bei 18° C.
17	17. Nov. 1917		Leitfähigkeit der 10 % Rohrzucker-Ringer- Lösung.							
			17,95°	500	424,5	575,5	368,8	369,4	369,0	
				400	480,0	520,0	369,2			
				300	552,5	447,5	370,2			
				200	648,5	351,5	369,4			
			Herz mit 0,5 ccm Ringer.							
			11 h	17,95°	500	365,0	635,0	287,4	286,2	285,9
					400	417,5	582,5	286,5		
					300	487,5	512,5	285,4		
					200	588,0	412,0	285,4		
11 h 20': Die Ringer-Lösung wird durch 0,4 ccm 10% Rohrzucker-Ringer ersetzt.										
11 h 40'	18°	500	430,0	570,0	377,1	379,4	378,4 *)			
		400	486,0	514,0	378,2					
		300	558,5	441,5	379,5					
		200	654,5	345,5	378,9					

*) Herz steht in Systole still.

*) Herz steht in Systole still.

3. Änderungen des osmotischen Druckes (Fortsetzung).

Nr.	Datum	Ein- gesetzt	Ge- messen	K	W	a	b	x	Mittel	bei 18° C.
17	17. Nov. 1917		Die Lösung wird durch Normal-Ringer ersetzt. Herz erholt sich. 11 h 50'.							
			12 h 10'	18°	500 400 300 200	395,5 410,5 482,0 582,0	604,5 589,5 518,0 418,0	280,6 278,5 279,1 278,4	279,2	279,2
			Die Ringer-Lösung wird erneuert.							
			12 h 20'	18,025°	500 400 300 200	364,0 416,0 486,5 587,0	636,0 514,0 513,5 413,0	286,0 284,9 284,2 284,3	284,9	285,1

Temporarie, 54 g, Herz mit 0,4 ccm Ringer.

Messgefäß III.

Nr.	Datum	Ein- gesetzt	Ge- messen	K	W	a	b	x	Mittel	bei 18° C.	
18	13. Dez. 1917	10 ^h 50'	11 ^h	18,15°	500	401	599	338,8	334,1	334,9	
					400	456	544	335,3			
					300	527	473	334,3			
					200	625	375	333,0			
			11 ^h 20'	18,1°	500	400,5	599,5	334,0	333,7	334,5	
					400	454,5	545,5	333,0			
					300	525,5	474,5	332,3			
					200	625,0	375,0	333,0			
		11 ^h 25': Die Lösung wird durch 10% Rohrzucker-Ringer ersetzt.									
		11 ^h 45'	18,65°	500	465	535	434,6	435,9	442,2		
				400	523	477	438,6				
				300	591	409	433,5				
200	686			314	436,9						
Leitfähigkeit der reinen 10% Rohrzucker-Ringer-Lösung.											
	18,2°	500	462	538	429,8	427,8	429,1				
		400	517	483	428,5						
		300	587	413	426,5						
		200	681	319	426,5						

Ventrikelgewicht: 0,0735 g. Die Verschlechterung des Leitwertes der 10% Rohrzucker-Ringer-Lösung beträgt 13,1 Ω = 3% = einer ausgetretenen Wassermenge von 0,012 g. Das normale Herzgewicht hätte also betragen: 0,0855 g.

3. Änderungen des osmotischen Druckes (Fortsetzung).

b) Herabsetzung des osmotischen Druckes (Speisung mit Halb-Ringer).

Messgefäß I.

Nr.	Datum	Ein- gesetzt	Ge- messen	K	W	a	b	α	Mittel	bei 18° C.			
19	21. Nov. 1917			Leitfähigkeit der Halb-Ringer-Lösung.									
				17,8°	500	537,5	462,5	581,0	578,6	576,1			
					400	591,0	409,0	577,9					
					300	658,0	342,0	577,2					
					200	743,0	257,0	578,2					
				Herz mit 0,5 ccm Ringer.									
				12h 15'	18°	500	365,0	635	287,4	287,4	287,4		
						400	418,5	581,5	287,9				
						300	489,0	511,0	287,1				
						200	589,5	410,0	287,2				
				12h 20': Die Lösung wird durch Halb-Ringer ersetzt.									
				12h 55'	17,925°	500	469,5	530,5	442,5	442,8	442,2 *)		
						400	526,0	474,0	443,6				
						300	596,0	404,0	442,5				
						200	689,0	311,0	443,0				
*) Zum Schluss des Versuchs sehr langsame Schlag- folge. Verbesserung der Leitfähigkeit um 576,1 — 442,2 = 133,9 Ω , die zum Teil auch durch Austritt von Salzen verursacht sein muss.													

*) Zum Schluss des Versuchs sehr langsame Schlagfolge. Verbesserung der Leitfähigkeit um

$$\begin{array}{r} 576,1 \\ - 442,2 \\ \hline \end{array}$$

133,9 Ω ,

die zum Teil auch durch Austritt von Salzen verursacht sein muss.

Temporarie, 56 g, Herz mit 0,4 ccm Ringer-Lösung. 36 Schläge pro Minute.

Messgefäß I.

Nr.	Datum	Ein- gesetzt	Ge- messen	K	W	a	b	α	Mittel	bei 18° C.		
20	22. Nov. 1917	10 ^h 15'	10 ^h 30'	18°	500	365	635	287,4	287,4	287,4		
					400	418	582	287,4				
					300	489	511	287,1				
					200	590	410	287,8				
			10 ^h 40': Die Lösung wird durch Halb-Ringer ersetzt.									
			10 ^h 55'	18°	500	470,0	530,0	443,4	445,7	445,7 *)		
					400	520,0	480,0	443,6				
					300	598,5	401,5	447,7				
					200	691,5	308,5	448,2				

*) Kleine Herzaktion.

*) Kleine Herzaktion.

Der Normalwert der Halb-Ringer-Lösung (Messgefäß I, vgl. Nr. 19) ist 576,1. Die Verbesserung des Leitwertes beträgt rund 131 Ω . Sie kann nicht allein durch Wasseraufnahme, sondern muss in diesem Falle auch durch Austritt von Salzen verursacht sein.

Ventrikelgewicht: 0,127 g.

Normales Herzgewicht einer Temporarie von 56 g: 0,093 g.

3. Änderungen des osmotischen Druckes (Fortsetzung).

Temporarie, 52 g, Herz mit 0,4 ccm Ringer.**Messgefäß II.**

Nr.	Datum	Ein- gesetzt	Ge- messen	K	W	a	b	x	Mittel	bei 18° C.
21	13. Dez. 1917	12 ^h 10'	12 ^h 30'	17,9°	500	400	600	333,3	335,2	334,5
					400	455	545	334,0		
					300	527	473	334,3		
					200	629	371	339,0		
12 ^h 50': Die Lösung wird gegen Halb-Ringer ausgewechselt.										
			1 ^h	17,9°	500	520,0	480,0	541,5	549,2	547,8
					400	579,5	420,0	551,2		
					300	649,0	351,0	554,7		
					200	733,0	267,0	549,1		

Der Normalwert für Halb-Ringer (Messgefäß II) ist **617,6**.

Die Verbesserung der Leitfähigkeit beträgt rund $70 \Omega = 8,8\% = 0,035 \text{ g}$ durch das Herz aufgenommenen Wassers.

Das Herzgewicht nach dem Versuch betrug **0,140 g**.

Das errechnete Gewicht würde also betragen: **0,0905 g**.

Der Ventrikel wird in Normal-Ringer gelegt.

Sein Gewicht nach $\frac{1}{2}$ Stunde: **0,112 g**,

" " " 4 Stunden 20 Minuten: **0,102 g**,

" " " 20 Stunden: **0,091 g**. (Normales Herzgewicht eines Tieres von 56 g: **0,093 g**.)

Temporarie, 50 g, Herz mit Perikard verwachsen. 0,5 ccm Ringer.**Messgefäß III.**

Nr.	Datum	Ein- gesetzt	Ge- messen	K	W	a	b	x	Mittel	bei 18° C.		
22	10. Januar 1918		10 h 25'	18,1°	500	336,5	663,5	253,6	253,0	253,5		
					400	387,0	613,0	252,5				
					300	457,0	543,0	253,0				
					200	558,5	441,5	253,0				
			10 h 35'		500	336,0	664,0	253,0	252,6	253,1		
					400	386,5	612,5	252,0				
					300	457,0	543,0	253,0				
					200	558,0	442,0	252,4				
			10 h 45': Lösung gegen Halb-Ringer ausgetauscht.									
			10 h 46'		500	478,5	521,5	458,8	457,1	464,1 *)		
					400	532,5	467,5	455,6				
			*) Normalwert der Halb-Ringer-Lösung (Messgefäß III) ist 475,5									
11 h: Herz leckt; Messung wegen Kapazitätsschwankungen nicht möglich.												

Ventrikelgewicht: **0,171 g**, statt normalerweise ca. 0,09 g.

Das Herz wird in 5% Rohrzucker-Halb-Ringer-Lösung gelegt. Es wiegt:

nach 40 Minuten 1,56 g,

" 5 Stunden 20 Minuten 0,112 g,

" 26 " **0,0905 g**.

Das Gewicht des aufgenommenen Wassers beträgt in diesem Falle 88% des Herzgewichts.

[illegible]

3. Änderungen des osmotischen Druckes (Fortsetzung).

Temporarie mit 0,4 ccm Halb-Ringer.

Messgefäß III.

Nr.	Datum	Ein- gesetzt	Ge- messen	K	W	a	b	x	Mittel	bei 18° C.
24	11. Januar 1918	11 h 15'	11 h 16'	17,75°	500 400 300 200	485,0 538,5 606,5 697,5	515 461,5 393,5 302,5	470,9 467,9 461,1 461,1	465,0	462,4 *)
			*) Die Lösung verändert sich während der Messung.							
			11 h 32'	17,6°	500 400 300 200	468,0 524,0 594,5 688,0	532 476 405,5 712	439,9 440,3 439,8 441,0	440,3	436,2
			11 h 45': Die Lösung wird gegen 5% Rohrzucker-Halbringer ausgetauscht.							
			11 h 46'	17,9°	500 400 300 200	527,5 583,5 652,5 739,0	472,5 416,5 347,5 261,0	558,2 560,4 563,1 566,2	562,0	560,8
			11 h 50'	17,9°	500 400 300	530,5 585,0 652,0	469,5 415,0 348,0	565,0 564,0 562,5	563,8	562,6 *)
			*) Steigende Verschlechterung der Leitfähigkeit durch Wasseraustritt (Normalwert: 251,3).							
			12 h 5'	17,6°	500 400 300	528,0 583,5 651,5	472,0 416,5 348,5	559,5 561,0 560,0	560,2	555,4
			12 h 25'	17,4°	500 400 300	529,0 583,5 651,5	471,0 416,5 348,5	561,5 561,0 560,0	560,8	553,6 *)
			*) Steigende Verbesserung des Leitwertes durch Austritt von Salzen.							
			12 h 27': Die Lösung wird erneuert.							
			12 h 40'	17,3°	500 400 300	525,0 580,0 648,5	475,0 420,0 351,5	552,6 552,4 553,4	552,8	544,4

3. Änderungen des osmotischen Druckes (Fortsetzung).

Herabsetzung des Partiardruckes der Salze bei gleichbleibendem osmotischem Gesamtdruck: Temporäre, 58 g, Herz mit 0,4 ccm 5% Rohrucker-Halb-Ringer.

Messgefäß III.

Nr.	Datum	Ein- gesetzt	Ge- messen	K	W	a	b	x	Mittel	bei 18° C.		
27	9. Januar 1918		12 ^h 40'	17 °	500 400 300	526 578 645	474 422 355	554,8 547,8 545,0	550,2	538,2 *)		
			*) Während der Messungen treten in der Lösung Ver- änderungen auf.									
			12 ^h 50'	17,45°	500 400 300	513 567,5 636,0	487 432,5 364,0	525,7 525,6 524,1			525,1	518,5
			12 ^h 55'	17,65°	500 400 300	509 563,5 633	491 436,5 367,0	518,3 516,4 517,2	517,3	513,1		
			Ventrikel macht nur minimale Kontraktionen.									
			1 ^h	17,7°	500 400 300	507,5 563,0 632,0	492,5 437,0 368,0	515,2 515,2 515,1	515,2	511,6 *)		
*) Normalwert der 5% Rohrzucker-Ringer-Lösung: 551,3.												
Verbesserung der Leitfähigkeit durch Austritt von Salzen.												
Ventrikelgewicht nach dem Versuch: 0,102 g.												
Ventrikelgewicht eines normalen Frosches von 58 g: 0,0933 g.												