

Molekuläre Vorgänge
in der
N e r v e n s u b s t a n z.

IV. Abhandlung.

Maassbestimmung der Reizbarkeit im Allgemeinen (Fortsetzung)
und bei der Quellung insbesondere.

Von

Prof. Dr. Emil Harless.

Abh. d. II. Cl. d. k. Ak. d. Wiss. IX. Bd. I. Abth.

Molekuläre Vorgänge
in der
Nervensubstanz.

IV. Abhandlung.

Maassbestimmung der Reizbarkeit im Allgemeinen (Fortsetzung), und bei
der Quellung insbesondere.

Von

Prof. Dr. Emil Harless.

Die Methode, nach welcher diese Widerstände ermittelt wurden, bestand darin, dass ich immer eine Gruppe von Ablenkungswinkeln bei der Füllung des Rheostaten mit der einen Mischung hervorrief, dann den Rheostaten mit der neuen Mischung vollkommen und mehrmal ausspülte, damit füllte, dieselbe Gruppe von Ablenkungen wieder hervorrief, für jeden Grad das Verhältniss der Widerstände ermittelte, und schliesslich den mittleren Werth berechnete. Wie wenig derselbe von dem Minimum und Maximum der einzelnen Beobachtungen abweicht, kann beispielsweise aus der kleinen nachstehenden Tabelle ersehen werden:

Zur Bestimmung des Verhältnisses von b : a	Zur Bestimmung des Verhältnisses von c : b	Zur Bestimmung des Verhältnisses von d : c
1,2137	1,3870	1,74730
1,195	1,3727	1,74572
1,197	1,3672	1,759
1,193		1,754
		1,746
		1 *

4

Auf diese Weise würden bei $E = 1236,85$ die Widerstände für jeden Grad der Nadeldrehung bestimmt, was ich aber hier weiter mitzutheilen unterlasse, weil diese ganze Beobachtungsreihe nur speciell für mein Instrument gilt. Es ist oben bereits auseinander gesetzt, nach welcher Formel man die dabei gefundenen Werthe der Widerstände für Beobachtungen benützen kann, in welchen der Werth von E ein anderer geworden ist. Ich will nur ein Beispiel anführen, an welchem man sehen kann, wie sich dadurch die Rheostatenablesungen corrigiren lassen.

Bei der Graduirung des Multiplicators wurde für den Ablenkungswinkel $\alpha = 54^{\circ}$ gefunden der Widerstand R

$$= 11676159,87.$$

Die elektromotorische Kraft der Batterie E

$$= 1236,85$$

Zu einer andern Zeit würde derselbe Ablenkungswinkel $\alpha' = 54^{\circ}$ bei einem Widerstand von R'

$$= 8912643,24$$

beobachtet worden sein. An diesem Unterschied kann kein anderer Factor der Ohmschen Formel Schuld haben, als die Veränderung im Werth von E , wenn wie in den Versuchen die Temperatur der Flüssigkeit im Rheostat gleich geblieben ist; die Widerstände im Element und in den Drahtleitungen dürften sich auch geändert haben; dieses würde keinen Unterschied in der Nadelbewegung zur Folge haben, wie jetzt schon mehrmal gezeigt worden ist. Den Werth von E' findet man nach der oben entwickelten Formel und es ist in diesem Beispiel

$$E' = \frac{ER'}{R} = 944,12.$$

Gesetzt nun, man hätte den Rheostatenstand 111 bei der Füllung von 1 Kupferservitriollösung auf 25 Volumtheil Wasser gefunden. Nach den Tabellen unserer Graduirung entspricht dem (für E) der Widerstand von 22501440,47 Meter Kupferdraht $= R$. Nun weiss man durch

Controlversuche nach der eben entwickelten Methode, dass die elektromotorische Kraft dabei $944,12 = E'$ ist. Jener Widerstand, welchen die Tabelle angibt, muss demnach auch im Verhältniss von $E':E$ kleiner sein, wenn derselbe Effect mit E' wie mit E erzeugt werden soll; die Formel für die Reduction des Widerstandes ist also

$$W = R \frac{E'}{E}$$

Diesem entspricht in unserem Fall die Zahl 17175900.

Bei ihr steht in den Tabellen unserer Graduirung als erforderlicher Rheostatenstand

83,8 Centimeter.

Das ist die zur Vergleichung brauchbare corrigirte Ablesung des Rheostaten; und auf solche Weise lassen sich dann schliesslich alle Versuche trotz des Wechsels in dem Werth der elektromotorischen Kraft untereinander comparabel machen.

Die Tabellen für die Graduirung des Multiplicators lassen sich selbstverständlich nur so lange benützen, als sich dessen Empfindlichkeit nicht geändert hat. Ist dies geschehen, so kann man leichter eine neue Tabelle entwerfen als versuchen, durch Streichen der Nadeln den früheren Grad der Empfindlichkeit wieder herzustellen.

Ist man vorsichtig und lässt keine starken Ströme in den Multiplikatorkreis hereinbrechen, so kann man sehr grosse Versuchsreihen anstellen, ohne dass sich die in längerer Zeit allmählich hergestellte Empfindlichkeit in einem irgend zu berücksichtigenden Grad änderte.

Wichtiger ist die Füllung des Rheostaten. Es verlangt die Vergleichbarkeit der Versuche, dass dieselbe constant erhalten werde. Besteht sie bloss aus destillirtem Wasser, so hat man weniger Cautelen anzuwenden und die Füllung seltener zu erneuern, nur ihre Temperatur gleich zu erhalten; anders bei Kupferlösungen. Wie das Wasser erfahren auch sie durch den Strom eine Zersetzung, und es ändert sich dadurch der Concentrationsgrad, mit ihm aber auch der specifische Le-

6

tungswiderstand. Diess geschieht trotzdem, dass die Ströme, deren wir uns zu bedienen haben, äusserst schwach sind; aber desswegen bedarf es immer längerer Zeit, bis eine merkliche Veränderung in dem spezifischen Leitungswiderstand eintritt; und zwar gilt diess um so mehr, je verdünnter die Lösung des Salzes ist.

Ich experimentire desswegen mit den Kupferlösungen nie länger als einige Stunden, während welcher Frist noch dazu nie constante, sondern immer nur ganz kurz dauernde, schwache Ströme durch die Lösung gehen. Die Flüssigkeit wird nie zur alten Mischung zurückgegossen, sondern aufgefangen, um sie neu auskristallisiren und zu neuen Mischungen benützen zu lassen.

Es ist schon in der I. Abhandlung erwähnt worden, dass der Nullpunkt des feuchten Rheostaten nicht einer vollkommenen Aufhebung des feuchten Widerstandes entspricht, dass es also nicht gleich ist, ob man den Rheostat auf 0 einstellt, oder die Kette direkt mit dem Nerv schliesst; geschieht das Letztere, so zuckt das Präparat meist noch, wenn es im anderen Fall nicht mehr zuckt.

Es findet sich also an der Berührungsstelle des oberen und unteren Rhcostaten-Drahtes noch ein Widerstand, welcher gemessen sein will. Dass ein solcher überhaupt hier vorkommt, hat nichts Befremdliches, wenn man daran denkt, wie verschieden die Stromstärken auch bei ganz metallischer Leitung ausfallen, je nachdem man die den Schließungsbogen bildenden Drahtpunkte fester oder weniger fest durch die Klemmschrauben verbindet.

Eine so innige Berührung derselben wie mit Klemmen kann natürlich im Rheostat nicht hergestellt werden; die Adhäsion der Flüssigkeit an den Drahtenden kann nicht aufgehoben werden. Ihre Einschaltung erzeugt aber an sich einen beträchtlichen Widerstand und die Polarisation kommt zur Verminderung der Stromstärke dabei auch noch ins Spiel.

Um den Unterschied in der Stromstärke zu messen, je nachdem der auf Null eingestellte Rheostat in den Schliessungsbogen aufgenommen war oder nicht, habe ich folgendes Verfahren eingeschlagen.

Um den grossen Multiplikator als Messinstrument benützen zu können, musste ein beträchtlicher Widerstand eingeschaltet werden, um den Strom gehörig abzuschwächen. Zu dem Ende habe ich an die Stelle des Präparates P einen einfachen Baumwollensaden eingeschaltet, welcher in concentrirter Kupfervitriollösung getanzt und in einer U förmig gebogenen Glasmöhre eingeschlossen war. Die Mündungen der Röhre mit den Enden des Fadens standen in zwei kleinen Kelchgläsern, welche ebenfalls mit Kupfervitriollösung gefüllt waren. In diese Lösungen tauchten die bei a und a' aus dem Gyrotrop G austretenden Drähte, deren Enden in Siegellack eingefüllt, nur mit ihren äussersten blank erhaltenen Spitzen von der Flüssigkeit berührt waren. Es war die Combination IX hergestellt (cf. unten), der Rheostat auf Null gestellt, von k am Uhrwerk P (Tafel I der I. Abhandlung) ein Kupferdraht nach dem Quecksilbernapf Q III (Rh. 2 derselben Tafel) geführt, bei dessen Eintauchen in das Quecksilber der Strom den Rheostaten umging, wenn zugleich der Draht w aus dem Napf Q IV auf der Rückseite des Rheostaten herausgehoben wurde, während er ausserdem den gewöhnlichen Weg durch denselben nehmen musste.

Bei Ausschluss des Rheostaten war die Nadelablenkung $68,4^{\circ}$; bei Einschluss des Rheostaten war sie $67,3^{\circ}$ und zwar war es gleichgültig, ob der Rheostat gefüllt war mit einer Mischung von 1 Volumtheil Kupfervitriollösung auf 3, oder auf 7 oder auf 40 oder auf 400 Theil Wasser oder mit destillirtem Wasser allein. Nur sind in den zwei letzten Fällen starke, lang andauernde Schwankungen der Nadel beobachtet worden, bis dieselbe das Maximum der Ablenkung erfuhr.

Nachdem sich die Nadel bei Ausschluss des Rheostat auf $68,4^{\circ}$ eingestellt hatte, wurden die Drähte so gewechselt, dass der Strom keinen Moment unterbrochen war, indem der eine nicht früher aus dem

Quecksilber herausgehoben wurde, bis der andere eingetaucht war. Jedesmal ging die Nadel bei dem Einschluss des Rheostaten etwas zurück, kam ins Schwanken, stand aber nach höchstens $1\frac{1}{2}$ Minuten unbeweglich auf $67,3^{\circ}$ ein. Bei der Mischung von 1 auf 400, noch mehr aber bei der Füllung mit destillirtem Wasser dauerten die Schwankungen viel länger, begannen wieder, wenn man schon glaubte, die Nadel sei ganz zur Ruhe, und dauerten auf solche Weise 14 — 15 Minuten fort, bis endlich der $67,3^{\text{te}}$ Grad erreicht war.

Der Widerstand an dem Nullpunkt des Rheostaten berechnet sich hieraus zu

236837,7 Meter Kupferdraht.

Combination VIII.

Niedergedrückt ist die Taste 3 und 8, zugleich aber der Kopf des Gyrotrop G so gedreht, dass seine Drucksfedern mit den Klemmen a'' und a''' statt a und a' in leitende Verbindung kommen. Im Ganzen haben wir hier eine Wiederholung der Combination VI, nur mit dem Unterschied, dass der Weg des Stromes vom Gyrotrop G an eine andere Wendung bekommt. Er geht nämlich in ihm von ε' nach a'', von dort über die Klemme an dem Spiraldraht der Taste 1 weg zum Uhrwerk u, dessen Pendelstange umgelegt ist; weiter in den Rheostaten Rh, aus dessen unterm Ende heraus nach k, von dort zur Klemmschraube a'' des Gyrotrop G und aus diesem bei E heraus, um von da an den Rest seiner Bahn wie bei Combination VI zu durchlaufen.

Präparat und Multipliator ist in diesem Fall von der Strombahn ausgeschlossen; so wie nun die Wippe umgelegt wird, geht der im Rheostaten erzeugte Polarisationsstrom über a'' E des Gyrotrop G auf denselben Weg durch den Multipliator, wie diess bei Combination VI der Fall war.

Diese Combination VIII hat also den Zweck, die Polarisation im Rheostaten kennen zu lernen und da, wo sie unvermeidlich vorkommt, in ähnlicher Weise zu bestimmen, wie bei der Untersuchung des Leitungswiderstandes der Nerven.

Wie dort wird die Einführung des primären Stromes in den Rheostaten mittelst des Hebels k und die Einführung des Polarisationsstromes in den Multipliator durch die Wippe vom Standort des Fernrohres aus bewerkstelligt.

Wie schon in der I. Abhandlung nachgewiesen wurde, lässt sich ein Polarisationsstrom nur bis zu sehr geringen Höhen der Flüssigkeits säule im Rheostaten verfolgen. Ich hatte damals noch eine etwas weitere Röhre; in der engeren des jetzigen Instrumentes verhalten sich bei verschiedenen Füllungen die Polarisationsströme wie nachstehende Tabelle ausweist.

Die Dauer des primären Stromes betrug stets 2 Sekunden, 24 Tertien.

Einstellung des Rheostaten in Centimeter.	Verhältniss der concentrirten Kupfervitriollösung zum Wasser in der Füllung des Rheostaten.					
	1 : 4	1 : 7	1 : 10	1 : 62,5	1 : 500	Aqua destillata.
120	2°	2	1	0,4		erster Aus- schlag der Nadel.
100	3,8°	3,5	2	0,5	0	
80	4,8°	4,2	3	0,8		
60	6°	6	3,5	1		
40	8°	7,5	6	1,3	0,4	
20	13°	11,6	8	2,2		
10	18°	18	13,5	3,5	0,9	
5	24°	24	20	5,2	1,1	0

10

Man sieht daraus, dass man nur in wenigen Fällen die Polarisation im Rheostaten zu berücksichtigen braucht. Man kann sie ganz umgehen, wenn man die Concentrationsgrade der Flüssigkeit so wählt, dass man immer oberhalb der Grenze des nachweisbaren Polarisationsstromes die gesuchten Widerstände auffinden kann.

Dabei hat man auch Gelegenheit, die elektromotorische Kraft des Polarisationsstromes für den Zeitmoment zu berechnen, in welchem seine Wirkung auf die Nadel beobachtet wird, was indessen für uns kein specielleres Interesse hat.

Combination IX.

Niedergedrückt ist die Taste 2, 4, 9, 10.

Dabei geht der Strom vom Poldraht des Platinus zum Quecksilbernapf der Taste 10, durch deren Spiraldraht S über E in den Gyrotrop G, bei a aus diesem heraus zum Nerv des Präparates P, weiter über a' in den Gyrotrop bei E', aus ihm heraus zur Klemme β der Wippe W. Von hier aus geht der Strom zur Klemme des Spiraldrahtes der Taste 4, über r zum Napf derselben Taste, zum Uhrwerk u, dessen Pendelstange umgelegt ist und den Weg nach dem oberen Draht des Rh. frei lässt. Nachdem der Strom den Rheostaten passirt hat, geht er über die Verbindungsstelle k zur Klemme der Taste 2, durch deren Spiraldraht S über r nach dem Napf derselben Taste n, um von da bei e in die Multiplicatorwindung einzutreten; bei a verlässt er dieselbe, und gelangt zur Klemme am Spiraldraht S der Taste 9; von dort aus gelangt er schliesslich über r und n derselben Taste zum Poldraht des Zink's.

Der Strom geht also in diesem Fall durch den Nerv, den Rheostat und den Multiplicator, und der Zweck der Combination ist, den Gesamtwiderstand im Schliessungsbogen oder die Stromstärke zu messen, welche bei einer durch die Reizbarkeit des Nerv gebotenen Einstellung des Rheostaten geherrscht hatte.

Es bleibt hiebei nichts weiter zu bemerken, als was schon bei den übrigen Combinationen erörtert worden, von welchen nur einige in diesem Fall gleichsam miteinander verbunden sind.

Es erübrigt jetzt nur noch die Angabe einer Methode, was fast überflüssig scheinen möchte, weil man glauben könnte, es liesse sich die Aufgabe, welche dabei gestellt ist, auch ohne Weiteres auf schon bekannte Weise leicht lösen. Diese Aufgabe besteht darin, den Querschnitt der Nerven an der gereizten Stelle vor und nach jedem Versuch zu messen.

Eine allgemeine Erörterung der Aufgabe, die Maassbestimmung der Reizbarkeit zu versuchen, wird es rechtfertigen, dass auf die Bestimmung des Nervenquerschnittes ein so grosses Gewicht gelegt werden muss, und die Beschreibung der Versuche selbst wird zeigen, dass gerade dabei sehr grosse Schwierigkeiten zu überwinden wären.

Grenzen und Grössen für die Maassbestimmung der Reizbarkeit.

Wenn man die grosse Menge von Umständen kennen gelernt hat, welche den jeweiligen Reizbarkeitsgrad der Nerven für den Beginn einer Versuchsreihe bestimmen, was uns vorzüglich in der II. Abhandlung beschäftigte, so möchte man daran zweifeln, dass es überhaupt möglich sei, eine Maassbestimmung der Reizbarkeit aufzufinden.

In der That lehrt die Summe aller hierüber gewonnenen Erfahrungen, dass es überhaupt keinen bestimmten Reizbarkeitsgrad gibt, welcher in ein und demselben Nerv auch innerhalb der Breiten vollkommen normaler Thätigkeit festgehalten würde. Die Ursachen hievon liegen theils in dem in der II. Abhandlung pag. 11 dargelegten Abhängigkeitsverhältniss der Nerventhätigkeit von dem Einfluss der Centralorgane, theils in dem unmöglich stets gleichwerthigen Einfluss der Nervenhüllen, deren

12

functionelle Bedentsamkeit an einem anderen Ort ¹⁾ von mir entwickelt wurde, ganz abgesehen von den individuellen Eigenthümlichkeiten des Stoffwandels, in Folge deren das Resultat der Mischung integrirender Nervenbestandtheile unmöglich bei zwei Nerven genau das gleiche sein kann. Macht sich diess ja schon an dem Wassergehalt der gleichnamigen Nerven und Nervenstücke beider Seiten ein und desselben Individuumis bemerkbar.

Es muss also darauf verzichtet werden, ein allgemein gültiges absolutes Maass der Reizbarkeit für normale Nerven aufzustellen.

Was allein gemessen werden kann, ist die Grösse des Wechsels, welche der Nerv erfährt, wenn er von dem einen Zustand in einen anderen übergeföhrt wird.

Die Aenderung des anfänglichen Zustandes erfolgt bei den isolirten Nerven des galvanischen Präparates theils durch Einflüsse, welche wir zu reguliren im Stande sind, theils durch innere Veränderungen im Nerv, deren Beherrschung uns unmöglich ist.

Ausnahmslos nimmt die Reizbarkeit des sich selbst überlassenen, vom Körper getrennten, sonst aber vor jeder anderen äusseren Einwirkung geschützten Nerven ab; und zwar erfolgt dieses Sinken der Reizbarkeit aus bisher noch völlig unergründeten Ursachen bei den motorischen Nerven rascher an den dem Centralorgan näher gelegenen Punkten als an den davon weiter entfernten, was man gewöhnlich so ausdrückt: es schreitet der Tod der motorischen Nerven vom Centrum gegen die Peripherie fort.

Dieses Fortschreiten in dem Absterben der Nerven führt eine ausserdem unerklärliche Erscheinung herbei, deren ich jetzt schon im Allgemeinen gedenken will, ohne mit den Details dieser Untersuchung einer späteren ausführlichen Mittheilung ²⁾ vorzugreifen.

1) Henle u. Pfeuffer's Zeitschrift für rationelle Medizin. Jahrg. 1858. p. 168 ff.

2) Diese ist inzwischen gemacht worden in den Münchener Gelehrten Anzeigen am 3. September 1859.

Wenn man von dem Eintritt der Nerven in die Muskulatur an gerechnet immer längere und längere Nervenstücke in den Kreis der Kette einschliesst, so wächst in gewissem Verhältniss die Wirkung des Stromes mit der Länge des eingeschalteten Nervenstückes; sehr bald aber, oft schon gleich bei Beginn des Versuches, wird die Wirkung immer kleiner, je grössere Längen des Nerv in den Kreis der Kette aufgenommen werden.

Damit ist die Gültigkeit des Gesetzes für normale lebendige Nerven nicht aufgehoben, nach welchem die vergrösserte Länge des eingeschalteten Stückes die Wirkung vergrössert; die Ursache des entgegengesetzten Erfolges ergibt sich leicht aus folgender Betrachtung.

Nennen wir die nach einander eingeschalteten Längen des Nerv $a b c$, wobei a zunächst dem Eintritt des Nerv in die Muskulatur gelegen sei. Jedes dieser Stücke bietet dem Strom einen Leitungswiderstand von sehr beträchtlicher Grösse; jedes dieser Stücke hat, so lange es lebendig ist, ein gewisses Maass von Erregbarkeit, welches trotz des physikalischen Leitungswiderstandes durch den Strom zur Wirksamkeit gebracht werden kann. Dadurch wird der Leitungswiderstand bis zu einer gewissen Grenze paralysirt. Nennen wir ihn in den einzelnen Stücken $l l' l''$, so ist die Summe der Widerstände im ganzen Nervenstück $\frac{1}{n} + \frac{l'}{n'} + \frac{l''}{n''}$. Nun sei der Nerventod bis zu dem Stück b vorgeschritten; dann wird der Widerstand in $a + b$ noch wie vorhin $\frac{1}{n} + \frac{l'}{n'}$ sein; schaltet man aber jetzt das Stück c noch ein, so wird er $\frac{1}{n} + \frac{l'}{n'} + l$ und es wirkt das eingeschaltete Nervenstück mit dem vollen Maass seines elektrischen Leitungswiderstandes, welcher je nach der Länge des Stückes durch 5 oder 10 Millionen Meter Draht ersetzt werden müsste, in hohem Grad schwächend auf die Stromstärke. Dem entsprechend vermindert sich der Effekt

14

bei Reizung von $a + b + c$ nicht bloss so weit, als wenn bloss $a + b$ gereizt würde, sondern als wenn bei Reizung von $a + b$ noch ausser dem Nerv ein Widerstand von der Grösse l'' in den Schliessungsbogen aufgenommen worden wäre.

Daher die Regel bei vergleichenden Reizversuchen so nahe als möglich an der Eintrittsstelle des Nerv in den Muskel die stromzuführenden Drähte zu appliciren und die gereizte Stelle kurz zu machen.

Streng genommen müsste man für jeden einzelnen Nerv, dessen Veränderung in seiner Reizbarkeit durch äussere Einflüsse gemessen werden soll, die Curve des freiwilligen Sinkens seiner Erregbarkeit kennen. Da diess aber nicht möglich ist, muss man sich begnügen, die neu gewonnene Curve mit einer solchen zu vergleichen, welche man aus den mittleren Werthen einer grösseren Anzahl von Beobachtungen an Nerven gemacht hat, von welchen weitere äussere Einflüsse möglichst fern gehalten worden. Sie ist mit dem Namen der natürlichen Absterbungscurve früher von uns belegt worden.

Bei den grossen Unterschieden, welche die Frösche je nach den allgemeinen Lebensverhältnissen, unter welchen sie sich befinden, in Beziehung auf ihre Reizbarkeit zeigen, wobei Begattung und Jahreszeit eine so grosse Rolle spielt, ist es nothwendig, zur Vergleichung stets nur Versuchsreihen aus den gleichen Perioden oder Lebensphasen von Thieren zu wählen, welche unter möglichst gleichen äusseren Umständen gleich lange gelebt hatten.

Von den äusseren Einflüssen, welche man prüfen will, ist zu verlangen, dass sie mächtig genug seien, in auffallender und constanter Weise diese Absterbungscurve zu verändern. Je nach der Richtung, nach welcher hin diess geschieht, erscheint die beobachtete Veränderung der bei Beginn des Versuches gefundenen Reizbarkeitsstufe als Folge einer Verstärkung oder Schwächung der Ursachen, von welchen die entsprechenden Curvenpunkte des natürlichen Absterbens abhängen.

Je näher zeitlich zwei miteinander verglichene Reizbarkeitsstufen beisammen liegen, um so schärfer lässt sich die Maassbestimmung für den Unterschied angeben, welcher durch den geprüften Einfluss herbei geführt worden ist; und um so entschiedener tritt die Folgewirkung desselben rein hervor, je länger bis zu einer gewissen Grenze hin der Nerv sich selbst überlassen war, weil die Curve des natürlichen Absterbens später sich viel mehr dem Parallelismus mit der Abscissenaxe der Zeit nähert als unmittelbar nach der Trennung des Nerv vom Gesamtorganismus. Je später man aber mit den Versuchen beginnt, desto concentrirter muss die zur Füllung des Rheostaten verwendete Kupferservitriol-lösung sein, wie sich von selbst versteht.

Somit beschränkt sich jede Maassbestimmung auf die Feststellung der relativen Unterschiede zwischen zwei Zuständen, in welchen wir hintereinander den Nerv auf seine Reizbarkeit prüfen.

Es ist jetzt zu untersuchen, womit wir am besten den Grad der Reizbarkeit messen, und auf welche Grössen es bei deren Bestimmung wesentlich ankommt.

Reizbarkeit ist der Ausdruck für die Leichtigkeit, mit welcher der Nerv durch irgend eine Kraft aus dem Zustand, in welchem der zugehörige Muskel in Ruhe verharrt, in einen neuen übergeführt wird, wobei dann im Moment dieses Wechsels der Muskel in Zuckung geräth.

Ist der galvanische Strom die Kraft, durch welche wir die Nervenregung erzeugen, so kommt es bei ihm auf die Geschwindigkeit seiner Schwankung und auf die Dichte an, mit welcher er die gereizte Nervenstrecke durchsetzt. Zur Feststellung relativer Unterschiede in der Reizbarkeit genügt es, einen dieser beiden Factoren in allen Versuchen constant zu machen und an dem anderen so viel in jedem einzelnen Fall zu ändern, als nothwendig ist, um immer wieder dieselbe Grösse der Nervenerregung zu erzielen.

Lassen wir wie in unseren bisherigen Versuchen die Geschwindig-

16

keit des Stromwechsels unverändert, so bleibt noch die Grösse der Stromdichte als brauchbar zur Maassbestimmung übrig.

Die Stromdichte d ist aber eine Function von Stromstärke S und Querschnitt Q des gereizten Nervenstückes; denn sie ist der Ausdruck des Verhältnisses von S zu Q , und lässt sich demnach durch $\frac{S}{Q}$ bezeichnen.

Die Stromstärke ändert sich mit den Werthen von elektromotorischer Kraft E und der Summe der Widerstände G , und zwar in dem Verhältniss dieser beiden Grössen zu einander: denn $S = \frac{E}{G}$.

Es ist einleuchtend, dass man an keinem anderen Factor mit gleicher Leichtigkeit und mit gleicher Sicherheit zur Erzielung des erforderlichen Effektes ändern kann als an den Widerständen, welche man in den Schliessungsbogen einschaltet.

Dazu kommt aber noch, dass der Nerv selbst einen Körper darstellt, in welchem der elektrische Leitungswiderstand eine der Erregung des Nerv selbst in hohem Grade entgegenwirkende Grösse darstellt. Die Erregung hängt in dem Nerv von dem Resultat des Confliktes ab, welcher zwischen dem den Strom schwächenden spezifischen Leitungswiderstand und der Fähigkeit der Nervenmoleküle durch den Strom in Bewegung zu gerathen herrscht.

Die Grösse der Beweglichkeit in den Nervenmolekülen findet seinen natürlichsten Ausdruck in der Menge der Widerstände im Schliessungsbogen, trotz welcher eine Zuckung vermittelnde Zustandsveränderung des Nerv herbeigeführt werden kann.

Für jeden einzelnen Nerv könnte man auch das Maass seines natürlichen Widerstandes innerhalb des Schliessungsbogens als Einheit wählen und als Ausdruck seiner Reizbarkeit das Multiplum dieser Einheit, welches für die schwächste Zuckung im Gesamtschliessungsbogen eben noch gestattet ist. Wäre also N der Leitungswiderstand des gereizten

Nervenstückes, G der Widerstand im ganzen Schliessungsbogen, so könnte $\frac{G}{N}$ als Ausdruck für die Reizbarkeit gelten, allein bei der für die Erregbarkeit entscheidenden Stromdichte lassen sich die Summen der Widerstände im Schliessungsbogen zur vergleichenden Maassbestimmung nur dann benützen, wenn die Querschnitte der Nerven in den mit einander verglichenen Fällen dieselben sind.

Wir haben jetzt zu sehen, wie sich die Versuche im entgegengesetzten Fall zu einander in Relation setzen lassen.

Es werde ein und derselbe Nerv in Folge irgend einer äusseren Einwirkung in einen neuen Zustand übergeführt, wobei sich der Querschnitt des Nerv und der erforderliche Rheostatenstand geändert habe.

Der Leitungswiderstand des Nerv im frischen Zustand sei N ; im neuen N' .

Der Querschnitt des Nerv bei Beginn des Versuches sei Q ; im neuen Zustand Q' .

Der Leitungswiderstand im Rheostat sei bei Reizung des frischen Nerv Rh ; bei Reizung des Nerv im neuen Zustand sei er Rh' .

Der Gesamtleitungswiderstand für den Strom, durch welchen der Nerv in seinem anfänglichen Zustand erregt werden kann, sei G .

Dieselbe Grösse für den Fall, in welchem der Nerv in den neuen Zustand übergeführt worden ist, sei G' .

Nun verhalten sich die Stromstärken S und S' , welche zur Erziehung der Zuckung in beiden Fällen ausreichend waren, umgekehrt wie die Widerstände; also:

$$S : S' = 1 : \frac{G}{G'}$$

Die Stromdichte d im Nerv ist abhängig vom Querschnitt des Nerv Q und der Stromstärke S' , denn

$$d = \frac{S}{Q}.$$

Die Stromdichte ist für den frischen Zustand des Nerv $\frac{1}{Q} = d$
 für den Nerv im neuen Zustand $\frac{G Q'}{G'} = d'$.

Nun wird $d = d'$, wenn

$$\begin{aligned}\frac{1}{Q} &= \frac{\left(\frac{1}{G'} : \frac{1}{G}\right) X}{Q'} \text{ oder} \\ &= \frac{\frac{G}{G'}}{Q'} X, \text{ wobei} \\ X &= \frac{Q' G'}{Q G}\end{aligned}$$

Wird der Gesamtwiderstand G' mit dem Werth von X dividirt, welcher angibt, um wie viel sich der Gesamtwiderstand G' hätte ändern müssen, um für beide Zustände des Nerv *nur* die gleiche Stromdichte aufrecht zu erhalten, und wird sodann der Quotient $\frac{G'}{X}$ von dem Gesamtwiderstand G' abgezogen, so gibt der Rest an, durch welche Veränderungen im physikalischen Leitungswiderstand die Zustände des Nerv compensirt werden müssten, welche in Folge der veränderten *physiologischen Leistungsfähigkeit* (Beweglichkeit der Moleküle) die Veränderungen in dem Rheostatenstand nothwendig machen; oder mit anderen Worten: *Dieser Rest drückt in Maassen physikalischer Leitungswiderstände die Grössen der Veränderung aus, welche durch die Aenderung der physiologischen Leistungsfähigkeit im Nerv für den gleichen Effekt im Gesamtschliessungsbogen der Kette nothwendig werden, wenn diejenigen Ursachen solcher Veränderungen bereits abgezogen sind, welche auf Rechnung der physikalischen Veränderungen im Nerv gebracht werden müssen.*

Nennen wir diesen Rest, oder das Maass der wirklichen Veränderung in der Reizbarkeit R, so wird

$$R = G' - \frac{QG'}{Q'}$$

Diese Formel verlangt also nur die Kenntniss von zwei Dingen in den beiden Zuständen der Nerven, oder bei Vergleichung der Reizbarkeit zweier Nerven untereinander: den Gesamtleitungswiderstand im Schliessungsbogen und den Nervenquerschnitt; dabei ist aber vorausgesetzt, dass sich an der elektromotorischen Kraft nichts geändert habe, wovon man sich bei jedem Versuch überzeugen muss, und wobei man im entgegengesetzten Fall nach den oben auseinandergesetzten Methoden und Berechnungen die nöthigen Correcturen anzubringen hat.

Der Gesamtwiderstand muss, wo es auf ganz genaue Resultate ankommt, aus seinen einzelnen Summanden ermittelt werden, wenn man nicht zur Messung einen Multiplikator von viel grösserer Empfindlichkeit als den von uns gebrauchten in Anwendung bringen will.

Die Empfindlichkeit des von uns benützten Instrumentes habe ich auf folgende Weise ermittelt. Der Rheostat wurde mit vierfach verdünnter Kupfervitriollösung gefüllt und dessen Flüssigkeitssäule sammt einem Nervenstück von 5 Millimeter Länge in den Schliessungsbogen aufgenommen.

Wurde nun der Rheostatenstand von 140 bis auf 6 Centimeter verändert, so bewegte sich dabei die Nadel um 3 Grade vorwärts.

Im Durchschnitt bedurfte also eine noch sicher zu beobachtende Drehung der Nadel um 0,5 Grad eine Veränderung des Rheostatenstandes um

27 Centimeter;

1 Centimeter Flüssigkeitssäule entspricht aber bei dieser Füllung des Rheostaten

23237 Meter Silberdraht.

20

Der Rheostatenstand, bei welchem die Beobachtung gemacht wurde, zu 130 Centimeter angenommen, gibt den Widerstand im Rheostat Rh =

$$= 3020810 \text{ Meter.}$$

Der Widerstand im Nerv N = 5618193 gesetzt, gibt für Rh + N
= 8639003 Meter.

27 Centimeter der Flüssigkeit, welche im Mittel auf eine Drehung der Nadel um 0,5 Grade influirten, sind

$$= 627399 \text{ Meter Draht.}$$

Diese geben als Bruchtheil des Gesammtwiderstandes, diesen = 1 gesetzt

$$= 0,07 \text{ oder } \frac{1}{14}.$$

Bei der von uns festgehaltenen Geschwindigkeit des Stromwechsels war nach den früheren Mittheilungen der entsprechende Werth für die Empfindlichkeit des Nervenpräparates $\frac{1}{125}$. Vergleicht man damit die Empfindlichkeit unseres Galvanometers gegenüber dem Unterschied konstanter Ströme, was natürlich keine absolut gültige Methode der Vergleichung sein kann, sondern nur für unsere bestimmten Versuchsreihen einen Werth hat, so sieht man, dass die Empfindlichkeit des Galvanometers von der unseres Präparates unter den genannten Umständen um das Neunfache übertroffen wird. Würde man beide gleich zu machen suchen, so würde man, wollte man die Astasie der Nadeln nicht steigern, was seine anderweitigen Uebelstände hätte, dem Gewinde statt 7000 Windungen 63000 geben müssen.

Bei den Reizversuchen bedarf man stets einer viel weniger concentrierten Kupferservitriollösung im Rheostaten, wobei sich dann zeigt, dass bei Bestimmung des Gesamtleitungswiderstandes mittelst unseres Galvanometers der Widerstand im Nerv eine sehr untergeordnete Rolle spielt.

Wurde bei etwas höheren Rheostatenständen die Combination IV angewendet und dann die Combination VII, so änderte sich dadurch in

den meisten Fällen die schliessliche Ablenkung der Nadel entweder gar nicht oder nur höchst unbedeutend; trotzdem, dass im einen Fall der Nerv im den Schliessungsbogen einmal eingeschaltet, im anderen Fall ausgeschaltet war.

Diese anscheinend auffallende Thatsache erklärt sich aber für höhere Rheostatenstände sehr einfach durch das Grössenverhältniss der Leitungswiderstände in diesen beiden Hauptabschnitten des Schliessungsbogens. Der direkte Versuch bestätigte die Berechnung.

Ein Stückchen des todten Nerven bot z. B. einen Leitungswiderstand von

7480000 Meter Draht.

Als Nerv und Rheostat zur Bestimmung des Gesamtleitungswiderstandes eingeschaltet war, und der Rheostatenstand nach und nach geändert wurde, ergaben sich folgende Ablenkungen:

Rheostatenstand in Centimeter	Grade der Ablenkung
130	3,5°
100	4°
80	5°

Die noch eben sicher zu bestimmende Differenz des ersten halben Grades entspricht aber 46203193 Meter Draht.

Diese Zahl ist aber sechsmal grösser als die des Leitungswiderstandes im Nervenstück. Um also bei der Bestimmung von G' eine merkbare Differenz gegen G zu bekommen, müsste sich für den Fall, dass Rh gleichbliebe, der Leitungswiderstand im Nerv mindestens um das Sechsfache seines ursprünglichen Werthes geändert haben. Alle Veränderungen desselben unter diesem Werth würden ohne bestimmt messbaren Einfluss auf die Nadelablenkung geblieben sein. Es wäre also in Beziehung auf die von G abhängige Nadelablenkung z. B. gleichgültig gewesen, ob in dem obigen Versuch der Nerv noch 4—5mal länger genommen worden wäre; der Leitungswiderstand im Nerv würde

für die Grenze der Empfindlichkeit unseres Instrumentes doch verschwindend klein gegen den im Rheostaten geblieben sein.

Jedenfalls sind also die beiden wichtigsten Grössen für die Maassbestimmung der Reizbarkeit der Leitungswiderstand im Rheostat und der Querschnitt der gereizten Nervenstrecke.

Die letztere Bestimmung verlangt die grösste Genauigkeit, wie die oben aufgestellte Formel schon erkennen lässt.

Messung des Nervenquerschnittes.

Die mikroskopische Messung der Durchmesser kleinerer Gegenstände, wie der verschiedenen Gewebs-Elemente hat keine grossen Schwierigkeiten und wird dieselbe auch ohne weitere besondere experimentelle Vorrichtungen bekanntlich zum Oestesten auf dem Objecttisch der Mikroskopiker vorgenommen.

Das Messinstrument, dessen man sich bedient, ist entweder ein Schraubenmikrometer und Fadenkreuz im Ocular, oder ein Spitzenmikrometer im Ocular, oder ein einfaches Ocularmikrometer. Das erstgenannte Instrument hätte ich nicht in Anwendung bringen können und von den beiden anderen hatte ich nur das Letztere zu meiner Disposition.

Ich musste vor Allem die Genauigkeit seiner Angabe prüfen und sehen, wie weit es mit den Angaben eines zuverlässigen Schraubenmikrometers übereinstimmt.

Auf den Objecttisch wurde ein in Zehntel Millimeter getheiltes Mikrometer gelegt. In das Ocular kam ein zweites Mikrometer; als Linsensystem diente Nr. 4 (Oberhäuser).

Aus der Messung berechnete sich als wahre Grösse einer Dimen-

sion des Objectes, welche von zwei Theilstrichen des Ocularmikrometers begrenzt wurde, auf

0,01265 Millimeter.

Nun wurde ein Stückchen feinen leonischen Drahtes genommen, auf ihm mittelst eines Rasirmessers eine feine Marke angebracht und der Durchmesser des Drahtes in der unmittelbaren Nähe dieser Marke zuerst unter einem grossen Schick'schen Instrument des Instituts gemessen, dessen Mikrometer-Trommel von Welker justirt war.

Aus mehrmaligen Messungen berechnete sich der Durchmesser des Drahtes auf

0,09674 Millim.

Mit dem Ocularmikrometer meines Instrumentes gemessen, ergab sich der Durchmesser:

0,09614 Millimeter.

Man hat dabei also bis auf $\frac{1}{1000}$ Genauigkeit.

Bei dem mittleren Durchmesser der Schenkelnerven unserer Frösche von 0,759 Millimeter darf man mit Bestimmtheit annehmen, auf $\frac{1}{16}$ Prozent der Dimension richtig mit dem Ocularmikrometer messen zu können, was den Anforderungen an die Genauigkeit in unseren Versuchen hinlänglich entsprechen dürfte.

Die Messung grösserer in der Mitte opaker, an den Rändern durchscheinender Körper mit den starken Lichtreflexen, wie sie die meisten Stränge der Nerven zeigen, hat schon wegen der richtigen Einstellung und Beleuchtung seine Schwierigkeiten. Weiter aber abstrahirt die Berechnung der Querschnitte aus der Messung *eines* Durchmessers von der wirklichen Grösse solcher Flächen, welche nicht genau kreisrund sind. Endlich ergeben sich Fehler der Messung aus der starken Adhäsion der feuchten Stränge an der Glasplatte, auf welcher sie liegen, in Folge dessen der Durchmesser immer zu gross ausfallen muss. Für unsere Fälle kommt es aber auch weiter darauf an, den Nerv mit Umgehung dieser Fehlerquellen nicht bloss isolirt zu messen, sondern so lange er

21

noch mit dem Präparat zusammenhängt, und ihn dabei genau immer wieder an derselben Stelle zu messen.

Um Anderen über die technischen Schwierigkeiten bei derartigen Messungen hinüber zu helfen, mit welchen ich selbst lange zu kämpfen hatte, will ich erzählen, wie ich allmählich zu der schliesslich in Anwendung gebrachten Methode gekommen bin. An isolirten Nerven war zunächst jeder Wasserverlust und jeder Druck des Präparates während der Messung zu verhüten.

Es war beides dadurch zu erreichen, dass man ringsum auf das Objectglas schmale Leistchen von Glas kittete, auf welche Rahmen von durchfeuchtetem Filtrirpapier gelegt wurden, ehe das Deckglas den Raum abschloss. Aller Luftwechsel konnte jetzt nur durch die engen Spalträume zwischen dem nassen Fliesspapier und dem Glasdeckel stattfinden und eine Vertrocknung des Nerv war dadurch für die Zeit der Messung und über diese hinaus unmöglich gemacht.

Um den Nerv an verschiedenen Stellen seiner Länge messen und dieselben Stellen sicher wiederholt messen zu können, waren in regelmässigen Abständen von wenigen Millimetern mit dem Diamant feine Striche auf dem Objectglas angebracht.

Nun kam es weiter darauf an, die Nervendurchmesser an dem galvanischen Präparat selbst zu messen. Zu dem Ende liess ich eine Dose anfertigen, an welcher sich eine Verlängerung befand von der Gestalt eines Schlittengestelles, auf welchem das vorhin beschriebene Objectglas mit Leistchen und Deckglas angebracht werden konnte. Die Dose hatte eine solche Höhe, dass der Klotz, an welchem das Präparat behufs der Reizung befestigt war, darin Platz hatte, und zugleich war sie so lang, als es der Froschschenkel verlangte. Feuchtes Fliesspapier im Innenraum verhütete den Wasserverlust der Muskulatur. An der Schmalseite der Dose war eine Kerbe eingeschnitten, eben gross genug, um den Nerv ohne Quetschung hineinzulegen, welcher mit seinem frei präparirten Theile ausserhalb der Dose in dem Glasgehäuse unter der

Mikroskoplinse befindlich war. Indem bei jeder Messung das Knie an der Innenfläche der Dose anlag, die Aussenfläche des Deckels dagegen an die Fassung der Linse angestossen war, musste man, wenn dazwischen der Nerv behufs der Quellung oder Austrocknung und Reizung aus der Vorrichtung genommen worden war, immer wieder zu der früher gemessenen Nervenstelle kommen. In allen diesen Fällen wurde aber der Nervenstrang als ein drehrunder Körper betrachtet, was er jenseits der Theilungsstelle in die beiden Hauptäste des Unterschenkels auch zu sein scheint, wenn man ihn im frischen Zustand betrachtet, und desshalb sein Querschnitt aus *einem* Durchmesser nach der Formel für den Kreis berechnet. Die Messung dieses Durchmessers wurde bei Lampenlicht vorgenommen und dabei die erforderlichen Spiegeldrehungen gemacht, um nicht Täuschungen durch die Zerstreuung des Lichtes an dem beleuchteten Rand ausgesetzt zu sein; zugleich wurde bei jeder Messung sowohl das auffallende, als das durchfallende Licht zu Hülfe genommen; allein trotz Allem blieb man in einzelnen Fällen in der Wahl der zur Messung zu verwendenden Contur zweifelhaft, besonders dann, wenn der Nerv vorher der Quellung ausgesetzt war und etwas Wasser seiner Oberfläche adhärirte.

Der oben schon hervorgehobene Uebelstand der Adhäsion, durch welche die Form des weichen Nerv nothwendig etwas verändert wird, noch mehr aber ein anderer Umstand verlangte, sobald aus der oben entwickelten Formel die grosse Wichtigkeit des Querschnittes erkannt war, eine ganz andere Methode für den geforderten Grad der Genauigkeit bei der Messung.

Man findet bei den verschiedenen Präparaten, dass die äusserlich sichtbare Theilung des Nervenstammes in seine beiden Hauptäste für den Unterschenkel durchaus nicht immer auf dieselbe Entfernung von der Kniekehle trifft. Meist findet man sie 3 — 4 Millimeter davon entfernt, öfter aber höher, in einzelnen Fällen innerhalb der oberen Hälfte des Nervenverlaufes durch den Oberschenkel.

Es kommt auch vor, dass bei dem frischen Nerv die Theilung ganz nahe der Kniekehle zu Stande zu kommen scheint, und dass der Stamm oberhalb dieser Stelle vollkommen dreh rund aussieht. Lässt man einen solchen Nerven quellen, so findet man nach 5 — 10 Minuten die Theilung viel höher und den Stamm an der Stelle, wo er vorher vollkommen rund erschien, abgeplattet.

Man hat sich diese Erscheinung so zu erklären: Die beiden Aeste für den Unterschenkel laufen auch nach oben von der Stelle, wo sie äusserlich getrennt, als Bifurcation erscheinen, in ihrer eigenen Bindegewebshülle eingeschlossen nebeneinander und gleichsam nur aneinander angelöhet fort. Ihre hier schon zu Stande gekommene Selbstständigkeit ist versteckt. Bei der Quellung erfährt das Bindegewebe rascher eine Querschnittsveränderung als die Nervenfasern. In Folge dessen drängen die Nervenscheiden der beiden Aeste an ihrer Berührungsstelle gleichsam gegeneinander und es vergrössert sich hier wegen der doppelten Lage der Bindegewebmassen der Durchmesser mehr als in der darauf rechtwinklig stehenden Richtung.

Dieser Umstand, welcher nie vorherzusehen ist, verlangt durchaus, dass an der zur Messung bestimmten Nervenstelle der Durchmesser in zwei zu einander rechtwinkligen Richtungen genommen und der Querschnitt nach der Formel der Ellipse berechnet werde.

Diess lässt sich bei der horizontalen Stellung des Objecttisches nicht erreichen. Man kann es nicht dahin bringen, durch irgend welche Befestigungsweise jener Anforderung sicher Genüge zu leisten. Gleichzeitig soll die Adhäsion an dem Objectglas vermieden werden.

Beidem wird durch die vertikale Aufstellung des Nerv und horizontale Lagerung des Mikroskopohres entsprochen.

Ich gehe sofort zur Beschreibung des Apparates über, welcher dazu dient, den Nerv zu messen, wenn er noch im Zusammenhang mit dem Unterschenkel sich befindet. Er ist auf der I. Tafel zur II. Abhandlung in dem vorigen Band der Denkschriften abgebildet. Ein dreieckiger

9 Centimeter hoher Klotz aus Eichenholz von 21 Cent. Seite, welcher auf 3 Zapfen steht, trägt die Säule St, deren Durchmesser 4,5 Cent. ist. Auf ihr ist der treppenartig geformte Träger befestigt, dessen untere 6 Centimeter lange Stufe zur Befestigung des Apparates N, dessen obere der Länge nach mit einer Rinne versehene 12,5 Centimeter lange Stufe zur Aufnahme des Mikroskoprohres M bestimmt ist. Die Rinne hat den Radius der äusseren Peripherie des Rohres und ist mit Sammt gefüttert. Zwei halbrund gebogene Federn ff aus Messingblech halten das Rohr fest, welches auf dem Sammet eine sehr feine Führung hat. Die Einstellung geschieht mit der Hand, was bei der geringen Vergrösserung, deren man bedarf, keine Schwierigkeit hat. An dem Rohr eines Oberhäuser grösster Sorte ist Objectiv 4 und Ocular 3 aufgeschraubt. Der Glasmikrometer im letzteren auf dem Diaphragma unverschiebar befestigt.

Das Gehäuse N, dessen am Boden befestigte Säule in ein entsprechendes Loch der unteren Stufe des Trägers passt und in beliebiger Höhe durch die Schraube S an T festgehalten werden kann, ist aus starkem Messingblech, trägt oben eine Platte L, deren Ausschnitt für die Aufnahme der Platinschaufeln und Zuleitungsdrähte an der Vorrichtung A auf Taf. I. der I. Abhandlung bestimmt ist. Der Körper des sonst überall geschlossenen Gehäuses ist diesem Ausschnitt entsprechend geformt und hat bei F und F' zwei einander gegenüberstehende Fenster, deren Gläser leicht herausgenommen und gereinigt werden können, indem sie sich in einem Falz verschieben lassen.

Der Klotz k des Statives trägt weiter eine kleine Säule A, an welcher der Träger eines kleinen Spiegels Sp durch zwei Kugelgelenke g und g' nach jeder Richtung verstellbar, auf- und abgeschoben werden kann.

Bei der Messung des Nerv wird das Präparat wie es in Fig. A. Taf. I. der I. Abhandlung unter der Glasglocke aufgestellt ist, mit seiner Glasplatte auf die Messingplatte L der eben beschriebenen Vorrich-

tung N gestellt. Die Dimensionen derselben sind folgende: Länge des Gehäuses = 10,2 Cent., Höhe 4,5 Cent. Breite in der Gegend der Fenster 1 Cent., in der Gegend der Ausbauchung 5 Cent. Höhe der Fenster 2,5 Cent., Breite der Fenster 2,2 Cent.

Bei dieser Aufstellung hängt der Nerv frei zwischen den Fenstern herab und kann auch bei der Messung wegen der grossen Focaldistance der angewendeten Linsencombination etwas von dem Fenster ferne bleiben. Das Fenster ist plan parallel geschliffen. Der Wasserverlust des Nerv während der Messung ist durch nasse Fliesspapierbäusche im Innernraum des Gehäuses, so wie durch solche auf der Platte B vollkommen geschützt.

Der Ort, wo gemessen wird, ist die Mitte der Nervenstrecke zwischen den beiden Platinschaufeln. Dass der Nerv immer die gleichen Stellen der letzteren berühre, wird dadurch bewerkstelligt, dass sich an ihnen seichte Rinnen befinden, an deren Wände sich der Nerv durch die Adhäsion immer mit grosser Leichtigkeit anschmiegt. Durch den viereckigen Klotz, an welchem das Präparat befestigt ist, hat man es in der Gewalt, den Nerv genau in zwei zueinander rechtwinkligen Richtungen zu messen, indem man auf der Glasplatte durch Striche Marken an bringt, an welche man nacheinander die zwei zueinander rechtwinklig stehenden Seiten des Klotzes anstösst, nachdem natürlich vorher immer der Nerv frei vor den Platinschaufeln herabgehängt, und seine Oscillationen aufgehört hatten.

In einiger Entfernung vor dem zweiten Fenster steht ein weisses transparentes Papier und die weitere Abblendung geschieht mittelst des Spiegels Sp.

Auf solche Weise kann der kleinere und grössere Durchmesser der Nervenstrecke vor und nach der jedesmaligen Reizung, vor und nach der Quellung, Austrocknung oder anderweitiger Einwirkung irgend eines Agens in jedem Moment gemessen werden, in welchem der Rheostatenstand hat geändert werden müssen. Es geschieht dies einfach

dadurch, dass man den Glasteller mit dem Präparat bald über den Raum N stellt, innerhalb welches die Messung vorgenommen werden soll, bald über den Raum, in welchem man das fragliche Agens zur Wirkung auf den Nerv kommen lassen will. Mitte der Stelle, an welcher gereizt wird, und deren Durchmesser bestimmt werden, bleibt, wie man sieht, dabei genau dieselbe.

Maassbestimmung der Reizbarkeit für quellende Nerven.

Man kann sich entweder dabei begnügen, in irgend einem bestimmten Fall die Veränderung zu bestimmen, welche die Reizbarkeit eines Nerven durch den Aufenthalt in destillirtem Wasser von bekannter Temperatur erfährt, oder man sucht aus einer grösseren Anzahl von Fällen die Mittelwerthe, um ein allgemeineres Gesetz solcher Veränderungen aufzustellen zu können. Im letzteren kann man entweder reihenweise die einzelnen zur Maassbestimmung nothwendigen Werthbestimmungen an verschiedenen Nerven zu gewinnen suchen, oder es geschieht die Maassbestimmung aller erforderlichen Grössen hintereinander je immer an ein und demselben Nerven in den verschiedenen Momenten der Quellung. Für kürzere Quellungszeiten ist das letztere Verfahren misslicher durchzuführen, weil die Beobachtungen zu viele sind, als dass man sie in der verlangten kurzen Zeit mit Sicherheit durchführen könnte. Jedenfalls schien es gerathen, die beiden Methoden in Anwendung zu bringen, um die gewünschten Verhältnisse mit möglichster Schärfe eruriren zu können.

Zu dem Ende wurden die Querschnitts-Veränderungen an 14 Nerven für sich geprüft.

Es geschah diess in dem oben beschriebenen Messapparat; nur erlaubte die Isolirung der Nerven eine vollkommene Befestigung der untersuchten Strecke. Es war die Platte L des Apparates N bis auf

eine über den Fenstern befindliche quadratische Oeffnung von 1,5 Centimeter Seite geschlossen; der Innenraum war vollkommen mit Wasserdunst erfüllt. In die Oeffnung passte ein genau quadratisches Glasstück, auf dessen oberer Fläche ein viereckiges Holzstückchen als Griff befestigt war, während auf der entgegengesetzten Fläche ein derartig gekrümmter Draht angebracht wurde, dass der oben mit einer Ligatur befestigte Nerv genau von dem Mittelpunkt der Glasplatte aus senkrecht herabging. Um den Schwankungen des Nerv während der Messung vorzubeugen, war das untere Drahtende im rechten Winkel so gebogen, dass er sich unterhalb der zu messenden Stelle daran anlegen und durch Adhäsion haften bleiben konnte. Die Seiten des Holzgriffes waren so gezeichnet, dass man mit Vermeidung jedes Irrthums immer genau wieder die gleichen Durchmesser des Nerv dem Objectiv des Mikroskopos gegenüber einstellen konnte.

Sollte der Nerv quellen, so wurde die kleine Glasplatte mit dem Nerv über das Loch eines Glästellers gestellt, welcher sich auf einem grossen, mit Wasser ganz angefüllten Gefäss befand.

Ehe der Nerv in den Messapparat eingesetzt wurde, kam sein unteres Ende einen Augenblick mit Fliesspapier in Berührung, um das adhärirende Wasser schnell wegzuasauen, wurde dann frei gehalten bis seine Oscillationen und seine Torsion vollkommen verschwunden war; dann erst wurde ihm das umgebogene Drahtende genähert und wenn er so ohne irgend eine Zerrung sich an dasselbe angelegt hatte, kam er zwischen die Fenster des Messapparates.

Es ist nöthig, dass der letztere während der Messung auf einer vollkommen fest stehenden Console aufgestellt sei, weil ausserdem die kleinen Erzitterungen des Nerv die Messung ganz unmöglich machen.

Durchmesser der Nerven in Millimetern.

Bei Beginn	Nach Quel-								
des Versuchs.	des Versuchs.	5 Minuten.	10 Min.	15 Min.	25 Min.	35 Min.	55 Min.		
0,6515	0,8096	0,8349	0,82857	0,841225	0,82857	0,866525	1)	Durchmesser I. Nerv.	
0,664125	0,8096	0,82225	0,828575	0,82225	0,85387	0,82857	2)		
0,68942	0,82225	0,813395	—	—	0,841225	0,831105	1)	Durchm. II. Nerv.	
0,6831	0,77165	0,81719	—	—	0,82225	0,8349	2)		
0,600875	0,7084	0,73117	0,7527		0,8096	0,8096	1)	Durchm. III. Nerv.	
0,6072	0,714725	0,740025	0,8033		0,7843	0,8096	2)		
0,689425	0,7843	0,79695	0,82225	0,80960	—	0,82225	1)	Durchm. IV. Nerv.	
0,689425	0,777975	0,82225	0,8096	0,82225	—	0,8349	2)		
0,64515	0,69575	0,740025	0,740025	0,77165	0,777975		1)	Durchm. V. Nerv.	
0,64515	0,69575	0,7084	0,7337	0,7337	0,74635		2)		
0,626175	0,67045	0,689425	0,689425	0,72105	0,72105		1)	Durchm. VI. Nerv.	
0,613525	0,689425	0,689425	0,70334	0,689425	0,73876		2)		
0,67045	0,77165	0,803275	0,82225	0,866525	0,904475	0,9614	1)	Durchm. VII. N.	
0,651475	0,759	0,752675	0,803275	0,815925	0,87285	0,904475	2)		
0,69575	0,917125	0,942425	0,94875	0,97405	—	0,9867	1)	Durchm. VIII. N.	
0,740025	0,879175	0,904475	0,955075	0,942425	—	0,942425	2)		
0,613525	0,72358	0,759	0,75267	0,79695	0,815925	0,8602	1)	Durchm. IX. N.	
0,6072	0,73370	0,74256	0,7666	0,790625	0,841225	0,85387	2)		
0,59455	0,727375		0,73876	0,73117	0,765325	0,765325	1)	Durchm. X. N.	
0,58696	0,714725		0,727375	0,74888	0,76406	0,77165	2)		
0,67045	0,78683	0,8096	0,79695	0,8096	0,82478	0,853875	1)	Durchm. XI. N.	
0,67045	0,775445	0,7843	0,810865	0,838695	0,8387	0,85261	2)		
0,59455	0,7084	0,727375	0,74635	0,74635	0,759	0,759	1)	Durchm. XII. N.	
0,5819	0,72105	0,72737	0,759	0,759	0,77165	0,77165	2)		

Bei Beginn	Nach Quel-						
des	lung durch	5 Minuten.	10 Min.	15 Min.	25 Min.	35 Min.	55 Min.
0,6578	0,740025	0,790625	0,7843	0,815925	0,8096	0,8602	1) { Durchm.
0,651475	0,790625	0,765325	0,790625	0,803275	0,815925	0,815925	2) { XIII. N.
0,626175	0,76912	0,77165	0,7843	0,82225	0,826045		1) { Durchm.
0,626175	0,759	0,759	0,79695	0,7843	0,82225		2) { XIV. N.

Hieraus berechnen sich die Halbaxen a und b der Nerven wie folgt:

Beginn des Versuchs.	nach 5 Min.	nach 10 Min.	nach 15 Min.	nach 25 Min.	nach 35 Min.	nach 55 Min.	Quellung.
0,32574	0,4048	0,41745	0,414287	0,420612	0,4143	0,43326	{ Nerv I.
0,33206	0,4048	0,411125	0,414287	0,411125	0,42694	0,414287	
0,344712	0,411125	0,407	—	—	0,420112	0,4155525	{ Nerv II.
0,34155	0,385825	0,4086	—	—	0,411125	0,41745	
0,30044	0,3542	0,3656	0,37634	—	0,4048	0,4048	{ Nerv III.
0,3036	0,357362	0,370012	0,40164	—	0,39215	0,4048	
0,344712	0,39215	0,3985	0,411125	0,4048	—	0,411125	{ Nerv IV.
0,344712	0,38899	0,411125	0,4048	0,411125	—	0,41745	
0,322575	0,347875	0,3700125	0,3700125	0,385825	0,38899	—	{ Nerv V.
0,322575	0,347875	0,3542	0,37685	0,36685	0,373175	—	
0,31309	0,3447125	0,3447125	0,3447125	0,360525	0,360525	—	{ Nerv VI.
0,306762	0,335225	0,3447125	0,35167	0,3447125	0,3694	—	
0,33523	0,385825	0,40164	0,411125	0,4332625	0,45224	0,4802	{ Nerv VII.
0,32574	0,3795	0,37634	0,40164	0,407962	0,436425	0,45224	
0,34787	0,458562	0,4712125	0,474375	0,487525	—	0,49335	{ Nerv VIII.
0,3700125	0,43959	0,45224	0,47754	0,4712125	—	0,4712125	

Beginn des Versuchs.	nach 5 Min.	nach 10 Min.	nach 15 Min.	nach 25 Min.	nach 35 Min.	nach 55 Min.	Quellung.
0,3067625	0,36179	0,3795	0,37634	0,3985	0,40796	0,4301	
0,3036	0,36685	0,37128	0,383	0,39531	0,420612	0,42694	{ Nerv IX.
0,297275	0,36369	—	0,36938	0,3656	0,382662	0,382662	
0,29348	0,357362	—	0,36369	0,37444	0,38203	0,38582	{ Nerv X.
0,335225	0,393415	0,4048	0,398475	0,4048	0,41239	0,42694	
0,335225	0,387722	0,39215	0,40543	0,41935	0,41935	0,426305	{ Nerv XI.
0,297275	0,3542	0,3637	0,373175	0,373175	0,3795	0,3795	
0,29095	0,360525	0,3637	0,3795	0,3795	0,38582	0,38582	{ Nerv XII.
0,3289	0,3700125	0,395312	0,39215	0,407962	0,4048	0,4301	
0,32574	0,395312	0,382662	0,395312	0,40164	0,40796	0,40796	{ Nerv XIII.
0,31309	0,38456	0,385825	0,39215	0,411125	0,413022	—	
0,31309	0,3795	0,3795	0,3985	0,39215	0,411125	—	{ Nerv XIV.

Aus den gemessenen Halbaxen berechnen sich die Querschnitte nach der Formel π ab, wie folgt:

Bei Beginn des Versuches.	nach 5 Min.	nach 10 Min.	nach 15 Min.	nach 25 Min.	nach 35 Min.	nach 55 Min.	
I. Nerv.	0,3398	0,51479	0,539175	0,53920	0,543258	0,55567	0,5639
II. Nerv.	0,3699	0,49833	0,52192	—	—	0,5426	0,54497
III. Nerv.	0,28655	0,397653	0,42496	0,47482	—	0,498704	0,51479
IV. Nerv.	0,3733	0,47923	0,514783	0,52283	0,522834	—	0,53913
V. Nerv.	0,3269	0,38019	0,411173	0,426434	0,44468	0,4560315	—
VI. Nerv.	0,30173	0,36303	0,3733	0,38084	0,39046	0,43776	—
VII. Nerv.	0,34305	0,45999	0,47486	0,51875	0,5553	0,62005	0,682246
VIII. Nerv.	0,4044	0,6333	0,6695	0,7117	0,722	—	0,73033
IX. Nerv.	0,2926	0,4169	0,44265	0,453175	0,4949	0,53907	0,5769
X. Nerv.	0,27408	0,408305	—	0,422045	0,430055	0,459266	0,463835
XI. Nerv.	0,35302	0,479204	0,49871	0,50754	0,5321	0,5433	0,5718
XII. Nerv.	0,47173	0,401175	0,41554	0,44491	0,44491	0,459995	0,459995
XIII. Nerv.	0,3366	0,45952	0,47523	0,486845	0,514764	0,518815	0,551236
XIV. Nerv.	0,30797	0,45848	0,46	0,406915	0,5063	0,53345	

Um diese Querschnittsveränderungen untereinander vergleichbar zu machen, ist es nothwendig, sie nach Procenten der anfänglichen Querschnitte zu bestimmen, wie es in der nächsten Tabelle geschehen ist.

Nummer des Nerv.	nach 5 Min.	nach 10 Min.	nach 15 Min.	nach 25 Min.	nach 35 Min.	nach 55 Min.
I.	51,49	58,6	58,67	59,87	63,52	65,94
II.	34,725	41,11	—	—	46,69	47,34
III.	38,76	48,3	65,715	—	74,03	79,64
IV.	28,37	37,9	40,05	40,05	—	44,43
V.	16,3	25,95	30,45	36,02	39,51	—
VI.	20	23,72	26,22	29,39	45,08	—
VII.	34,09	38,42	51,218	61,866	80,74	98,88
VIII.	56,6	65,55	75,99	78,4	—	80,60
IX.	42,6	51,3	54,9	69,1	84,25	97,1
X.	48,97	—	53,98	56,905	67,565	69,225
XI.	35,7	41,2	44,05	50,7	53,8	61,9
XII.	47,6	52,9	63,7	63,7	69,6	—
XIII.	36,5	41,1	44,6	52,9	54,1	63,7
XIV.	48,9	49,3	59,4	64,4	73,2	—

Wenn man aus diesen Zahlen das Mittel zieht, so zeigt sich eine wachsende procentische Vergrösserung der Querschnitte in der Weise, dass die Vergrösserung in den ersten fünf Minuten der Quellung am beträchtlichsten erscheint, später, wenn auch nicht vollkommen, doch mehr stetig fortschreitet. Die Mittel sind nämlich:

für die ersten 5 Minuten	38,61%
für 10 „	44,25
für 15 „	51,457
für 25 „	55,275

für 35 Minuten 62,67
für 55 „ 70,876

Im Durchschnitt wächst hiernach der Querschnitt in je einer der ersten fünf Minuten um 7,7%.

in der 5—10^{ten} Minute je um 1,1%
in der 10—15^{ten} „ je um 1,4%
in der 15—25^{ten} „ je um 0,38
in der 25—35^{ten} „ je um 0,74%
in der 35—55^{ten} „ je um 0,4%

Die Differenzen in den einzelnen Versuchsreihen zeigen sich dabei allerdings sehr gross, wie man aus der Zusammenstellung der Maximal- und Minimalwerthe der Querschnittszunahme in den einzelnen Stadien der Quellung erkennt.

Dauer der Quellung in Minuten.	Minimum der procentischen Querschnitts-Vergrösserung.	Maximum
5	16,3	56,6
10	23,72	65,55
15	26,22	75,99
25	29,39	78,4
35	39,51	84,25
55	44,43	98,88

Wird der Minimalwerth = 1 gesetzt, so ist der Maximalwerth:

in den ersten 5 Minuten = 3,5
von der 5^{ten} — 10^{ten} Minute = 2,3
von der 10^{ten} — 15^{ten} „ = 2,8
von der 15^{ten} — 25^{ten} „ = 2,6
von der 25^{ten} — 35^{ten} „ = 2,1
von der 35^{ten} — 55^{ten} „ = 2,2

Diese Differenzen deuten, weil die Untersuchungen an derselben Species von Thieren gemacht worden sind, welche sich genau unter den gleichen Verhältnissen und während der gleichen Zeiten in Gefangenschaft befunden hatten, auf beträchtliche Unterschiede in dem physikalischen Verhalten der Gewebsmassen in den Nerven hin, wie wir ähnliche Schlüsse schon in der II. Abhandlung aus den Versuchen über die Festigkeitsmaasse der einzelnen Nerven haben ziehen müssen.

Es erschwert dieser Umstand natürlich in hohem Grad die Aufstellung eines allgemeinen Gesetzes, zu dessen Gültigkeit eine viel grössere Anzahl von Einzelversuchen und der daraus gezogenen Mittelwerthe nothwendig wäre, als ich bis jetzt mitgetheilt habe. Würden aber auch die erforderlichen Mengen von solchen Versuchen gemacht worden sein, so würde für den speciellen Fall doch noch nicht viel mehr gewonnen sein, als bis jetzt geschehen ist. Es wird sich später genauer ausweisen, wie weit man sich in dem Schlussresultat des Einzelversuches durch Substitution der bis jetzt gefundenen Mittelwerthe von der Wahrheit entfernen würde.

Ich gehe desshalb jetzt zu dem zweiten Punkt über, zu der Bestimmung der Veränderungen, welche *der elektrische Leitungswiderstand der Nerven* während der Quellung erfährt. Man kann zur Ermittlung dieses Verhältnisses entweder die Combination V und VI benützen, wenn man den Nerv über die Platinschaufeln der Zuleitungsdrähte gebrückt und die Polarisation daselbst nicht vermieden hat.

Ich habe es aber vorgezogen, die Polarisation von vornherein auf das Minimum zu reduciren, so dass sie bei der Berechnung umgangen werden durste. Es kam desshalb auch nur die Combination V in Anwendung.

Als Auflagerungsapparat wurde der in der I. Abhandlung beschriebene, dort auch auf Taf. I abgebildete Apparat benützt, welcher zur Bestimmung des Leitungswiderstandes frischer Nerven angewendet worden

war. Ich habe nur einige untergeordnete Veränderungen angebracht, welche eine grössere Bequemlichkeit in der Handhabung gewähren und einige Kunstgriffe kennen gelernt, welche bei Wiederholung der Versuche zu empfehlen sein dürften. In den Klemmen auf den beiden Säulen CC sind nämlich noch zwei Drähte wie die mit JJ' bezeichneten eingeschraubt. Sie haben genau die gleiche Länge und Beschaffenheit wie die anderen. Sie dienen dazu, die Reinheit der metallischen Berührungsfläche von JJ' mit der concentrirten Lösung des Kupfersalzes in den Näpfchen HH zu controliren.

Will man ohne diese Hilfsdrähte operiren, so ist strengste Regel vor jedem einzelnen Versuch die Enden von JJ' vollkommen blank zu feilen. Thut man das nicht, so ändert sich oft sehr schnell der Leitungswiderstand an dieser Stelle und man erhält ganz unbrauchbare Resultate. Mit den Hilfsdrähten verfahre ich aber in folgender Weise. Ihre in Siegellack eingehüllten Enden werden zuerst so wie die der Drähte J und J' blank gefeilt. Zuerst tauchen die letzteren allein ein, und man erhält eine bestimmte Ablenkung der Nadel. Ist diese zu Ruhe gekommen, so wird der eine Hilfsdraht eingetaucht und J herausgenommen, ebenso auf der Seite von J'. Bei dieser Manipulation darf die Nadel auch nicht im Geringsten aus ihrer vorher gewonnenen Stellung weichen. Ist diess nicht der Fall, so kommen die Hilfsdrähte sofort aus der Kupferlösung und werden abgeputzt und blank gemacht, ebenso J und J'. Nur so ist man sicher, dass sich in der Zeit, welche die Nadel braucht, um in Ruhe zu kommen, was in der Regel nahe an 2 Minuten oder darüber dauert, keine irgendwie störend wirkende Oxydschicht an den Drahtenden angesammelt hat, und das Resultat der Messung trübt.

In Beziehung auf die Tränkung der Hollundermarkkeile und ihre von Zeit zu Zeit geforderte Benetzung habe ich für gut gefunden das Eiweiss, womit die Tränkung geschieht, vorher zu Schnee zu schlagen,

es mehrere Stunden stehen zu lassen und dann die am Boden des Gefässes befindliche leicht- und gleichförmig flüssige Masse zu benützen. Die Durchtränkung damit erfolgt viel gleichmässiger, und die Einführung der Baumwollendochte in die Glasröhren geschieht dabei bequemer und reinlicher als bei Anwendung des viscidem frischen Eiweisses.

Endlich zeigte es sich auch vortheilhaft, die in die Näpfchen eintauchenden Enden der Glasröhren k k' mit einer in Eiweiss getränkten Blase zu verschliessen, um der Anhäufung des Präcipitats in der Kupfersalzlösung mehr vorzubeugen und das Aufsteigen der Salzlösung in den Dochten zu verlangsamen.

Ich habe ferner untersucht, ob die Auflagerungsweise der Nerven auf den Markkeilen von wesentlichem Einfluss sei, indem sich denken liesse, dass der Strom dabei irgend welche Umwege machen könnte, wenn ihm dazu Gelegenheit geboten würde. Zu dem Ende ward ganz nahe dem freien Rand jedes Keiles ein vollkommen trocknes Glimmerplättchen aufgelegt, so zwar, dass höchstens eine halbe Linie der scharfen Kante jederseits bloss lag. Der Nerv eines 24 Stunden früher geschlachteten Thieres wurde sofort aufgelagert, wobei er rechts und links nur in einer Ausdehnung von einer halben Linie seiner Länge mit den Markkeilen in Berührung stand.

Die dabei erfolgte bleibende Ablenkung betrug 57°. Ganz vorsichtig wurden jetzt gleichzeitig auf beiden Seiten die Glimmerplättchen unter dem Nerv weg gezogen, so dass schliesslich nur die freien Schnittenden noch auf ihnen auflagen. Dadurch kam der Nerv mit den Markkeilen allmählich in immer ausgedehntere Berührung, allein die Nadel wich dabei nicht im Geringsten aus ihrer anfänglich gewonnenen Stellung.

Es ist diess wichtig, weil dadurch allein die Berechnung des spezifischen Leitungswiderstandes der Nerven — in so weit sie auf der Messung der Länge des Nervenstückes, d. h. auf der Messung der Entfer-

nung, in welcher sich die Kanten der Markkeile befinden, fusst — eine Berechtigung findet.

Eine zweite Ueberzeugung musste gewonnen werden, nämlich die, dass die Kette hinlängliche Zeit constant bleibt, um aus der Vertauschung des Nerv mit einer Flüssigkeitssäule von bekannter Dimension und Leitungsgüte für die gleiche Nadelablenkung den Leitungswiderstand des untersuchten Nervenstückes ableiten zu können. Obwohl diess für andere Zwecke schon hinlänglich oft untersucht war, so geschah es für diese Versuchsreihen speciell zum Oestesten. Es fand sich dabei, dass wenn die Nadel in Ruhe gekommen war, sich ihre Stellung in $1 - 1\frac{1}{2}$ Stunden nicht im Geringsten weiter änderte.

Dass eine solche Aenderung, so gering sie auch war, nach 6—12 Stunden eintrat, lag in der wenn auch sehr langsam Veränderung in der Concentration der Eiweisslösung, vielleicht auch ihrer chemischen Zersetzung; daher auch die Erscheinung, dass in der Zeit vom 7—20. Juni 1858, innerhalb welcher die Versuchsreihe angestellt wurde, nach und nach, jedoch sehr allmählich, immer höhere Rheostatenstände zur Erzielung der gleichen Ablenkung erforderlich wurden, wenn die Kanten der Markkeile aneinander gestossen waren.

Weiter kam es darauf an, nochmal genau den spezifischen Leitungs-widerstand der Rheostatenfüllung zu ermitteln. Zu dem Ende wurde der Rheostat mit einer Mischung von 1 Volumtheil concentrirter Kupfer-vitriollösung auf 3 Theile Wasser gefüllt, durch Veränderung der Flüssigkeitssäule eine Anzahl von Ablenkungen der Nadel erzielt und dieselben wieder hervorgerufen durch die Regulirung des Rheostaten bei Füllung mit einer Mischung aus 1 Volumtheil concentrirter Kupfervitriol-lösung auf 7 Theile Wasser. Diese Mischung heisse A, die andere B.

40

Es ergab sich:

Ablenkung der Multiplikator- Nadel	Rheostatenstand in Centimeter bei Mischung A	Rheostatenstand in Centimeter bei Mischung B	Verhältniss der Widerstände zu einander
60°	90,2	152	1 : 1,68
67°	63,6	105,1	1 : 1,65
76°	35,7	58	1 : 1,62

Daraus ergibt sich als Mittel für das Verhältniss der Widerstände beider Lösungen zu einander:

$$1 : 1,65$$

Drei Vierteljahre vorher war dieses Verhältniss mit denselben Instrumenten behufs der Graduirung des Multiplicators ermittelt worden und wurde damals ebenfalls wie 1 : 1,65 befunden.

Hieraus berechnete sich für 1 Centimeter Flüssigkeitshöhe in unserem Rheostaten bei Füllung mit der Mischung A der reducirte Widerstand auf

$$83536,79 \text{ Meter Normalkupferdraht.}$$

Ich will jetzt in der Kürze das ganze Verfahren, die Veränderung des Leitungswiderstandes während der Quellung zu messen, beschreiben, wobei das in der I. Abhandlung bereits Erörterte, sowie die dort gegebene Abbildung wieder in Erinnerung zu bringen ist.

Der Nerv wird mittelst eines gabelförmig gebogenen feinen Glasstäbchens so über den Raum zwischen den beiden Markkeilen gebrückt, dass sein eines Ende gerade mit dem Ende des Glimmerblattes zusammenfällt. Sofort wird die luftdicht schliessende, innen geschliffene Schutzröhre E darüber her geschoben und der Draht J und J' eingetaucht. Ist die Nadel auf einem bestimmten Grad der Ablenkung, welche durch das feststehende Fernrohr abgelesen wird, zu Ruhe gekommen, so wird

die Schutrzöhre so weit gelüftet, dass man zwischen ihren Rändern und denen der Röhre D eben das Licht frei durchfallen sieht, und die jetzt eintretende Ablenkung beobachtet. Hier und da fällt sie um $\frac{1}{2}$ bis 1 Grad geringer aus; wenn sich nämlich die Innenfläche der Schutrzöhre mit Wasserdunst beschlagen hatte, oder die Röhre D' irgendwie durch den Hanch oder andere Zufälligkeiten etwas feucht geworden. Meist ändert sich bei dem Lüften der Schutrzöhre der Stand der Nadel gar nicht.

Jetzt werden die Drähte J J' zur Controle mit den anderen Drähten vertauscht und die dabei schliesslich erzielte Ablenkung notirt. Sofort kommen diese Drähte ebenfalls aus der concentrirten Kupfervitriollösung ihrer Näpfchen HH' heraus, die Nadel geht zurück, die Schutrzöhre wird weggeschoben, der Nerv mit der gläsernen Gabel abgehoben, und mit Berücksichtigung des Zeitmomentes, in welchem diess geschieht, in destillirtes Wasser von bekannter Temperatur und grosser Menge gebracht. Während der Quellungszeit werden die Enden der Zuleitungsdrähte blank gefeilt, die Markkeile frisch mit Eiweiss bepinselt und die Schutrzöhre vorgeschoben.

Nach Verfluss der geforderten Quellungszeit wird der Nerv mit der Gabel aus dem Wasser herausgehoben, seine frei herabhängenden Enden durch Fliesspapier von dem adhärenrenden und abfliessenden Wasser befreit und sofort auf den Markkeilen genau wie vorher aufgelagert, wobei er jedoch nie irgend eine Strecke weit, welche in den Raum zwischen die Markkeile kommen soll, auf den mit Eiweiss getränkten Keilen hingezogen worden sein darf.

Darauf wird wie vorhin die jetzt zu erzielende Ablenkung ermittelt und notirt.

Der Nerv kommt aufs Neue in das Wasser, bleibt darin eine gemessene Zeit und alle einzelnen Akte des Versuches wiederholen sich für jede einzelne Periode der Quellung. Es darf davon nie abgewichen

42

werden, so ermüdend und einsförmig auch diese immer sich wiederholenden Manipulationen sind.

Ist die ganze Quellungszeit verstrichen und die Versuchsreihe für einen Nerv geschlossen, so werden die Säulen CC einander so weit genähert, bis sich die Kanten der Hollundermarkkeile eben berühren. Die Fuge zwischen ihnen wird mit Eiweiss bepinselt und die Schutzröhre über sie hergeschoben. Die Combination V wird mit Combination IX vertauscht.

Sofort werden durch Regulirung des Rheostatendrahtes der Reihe nach alle die vorher notirten Nadelablenkungen wieder hervorgerufen und die dazu erforderlichen Rheostatenstände aufgezeichnet.

Bei jeder Ablenkung, welche erzielt werden muss, wird der Controlversuch mit den für JJ' vikarisirenden Drähten gemacht.

Da die Widerstände im Multiplicatorgewinde, den übrigen Drahtleitungen und für die Dauer von wenigstens 6 Stunden auch in dem Auflagerungsapparat für beide Versuchsreihen gleich sind, so vertreten die Widerstände im Rheostaten die vorher vorhandenen im Nerv unmittelbar, und können direct aus den Dimensionen der Flüssigkeitssäule und deren spezifischem Leitungswiderstand berechnet werden.

Sind die dazu erforderlichen Beobachtungen für einen Nerv gewonnen, so wird wieder die Combination V hergestellt, die Markkeile genau so weit wie vorher von einander entfernt, ein neuer Nerv aufgelegt, der Quellung ausgesetzt u. s. w.; dann die Combination V mit IX vertauscht, bei frischer Füllung des Rheostaten die gleichen Ablenkungswinkel erzielt und falls sich Differenzen in den Rheostatenständen zur Erzielung der gleichen Nadelablenkungen ergeben, die Mittel aus beiden genommen.

Je nach Ablauf von 6 Stunden oder nach einer Pause von $1-1\frac{1}{2}$ Stunden werden alle Bestimmungen ganz neu gemacht, die Kette frisch gefüllt und gewartet, bis sie constant geworden.

Die direkten Beobachtungen, Nadelablenkung und Rheostatenstand, ergaben bei der stets gleich grossen Entfernung der Kanten der Markkeile von einander (4,3 Millimeter) in den einzelnen Versuchen folgende Resultate:

Ganze Dauer der Quellung in Minuten	Ablenkungs- Winkel	Entsprechender Rheostaten- stand in Centim.	Ganze Dauer der Quellung in Minuten	Ablenkungs- Winkel	Entsprechender Rheostaten- stand in Centim.
Nerv I.			Nerv II.		
0	69°	51,9	0	65°	62,1
5	69,3°	50,9	5	69°	51,9
10	72,7°	42,3	11	69,5°	49,85
20	65,5°	60,7	21	67,5°	54,8
30	62°	74,5	31	65°	62,1
50	57,5°	94,2	51	65°	62,1
Nerv III.			Nerv IV.		
0	61,4°	70,5	0	59°	81,1
5	64,2°	58,3	6	63,5°	62,3
10	63°	62,5			
21	61,3°	70,4	21	61°	73
31	59,5°	81	31	58,5°	84,2
51	57°	91	51	57°	91
Nerv V.			Nerv VI.		
0	61°	72,2	0	68°	63,9
5	62,4°	63,8	5	68,5°	62,2
10	60°	77,9	10	68,5°	62,2
20	61,4°	69,8	20	68°	63,9
31	58°	85,6	30	65,5°	72,9
51	56°	92,8	50	66°	71,15

Ganze Dauer der Quellung in Minuten	Ablenkungs- Winkel	Entsprechender Rheostaten- stand in Centim.	Ganze Dauer der Quellung in Minuten	Ablenkungs- Winkel	Entsprechender Rheostaten- stand in Centim.
---	-----------------------	---	---	-----------------------	---

Nerv VII.

0	67,5°	65,6	0	66°	57,8
5	70°	65,6	5	64,5°	57,1
10	70°	56,6	10	63,5°	65,1
20	69°	60,15	20	64°	64,4
30	67,5°	65,6	30	60°	83,1
50	65°	75	50	58,5°	88,2

Nerv IX.

0	66°	57,8	0	60,6°	80
5	61°	78	5	63°	69,8
10	62,5°	71,2	10	63,5°	67,8
20	61,5°	75,1	20	62,8°	71,7
30	60,3°	81,5	30	60°	84,1
50	59,6°	84,5	50	59,5°	87

Nerv XI.

0	61°	78,4	0	66°	58
5	61°	78,4	6	64°	66,9
11	62,8°	71,7	10	66,5°	54,2
21	62°	73,8	20	61,9°	75
31	59°	87,9	30	60°	84,1
51	58°	92,9	50	58°	92,9

Nerv XIII.

0	62,5°	72	0	66°	60
5	64°	66,9	5	66°	60
10	63°	69,8	10	62,5°	73,5

Nerv XII.

Nerv XIV.

Ganze Dauer der Quellung in Minuten	Ablenkungs- winkel	Entsprechender Rheostaten- stand in Centim.	Ganze Dauer der Quellung in Minuten	Ablenkungs- winkel	Entsprechender Rheostaten- stand in Centim.
20	62°	73,8	20	64,5°	65,1
30	61°	78,4	30	63,5°	69,2
50	56°	106	50	62°	75,2

Nerv XV.

0	72°	36,8	0	65,5°	73
5	67°	56,8	5	67,5°	65,2
10	66,5°	58	10	68°	64,1
20	62,5°	73,5	20	66°	70,3
30	62°	75,2	30	63,5°	81,5
50	59°	89,2	129	56,5°	116,7

Nerv XVI.

Die Differenzen in den Rheostatenständen bei den gleichen Ablenkungswinkeln röhren, was früher schon hervorgehoben worden ist, von den Veränderungen her, welche, wenn auch sehr allmählich, in der Eiweisslösung des Auflagerungsapparates eintreten, oder welche durch die Länge der Zeit, die von den Versuchen erfordert wurde, bei dem Wechsel dieser Flüssigkeit unvermeidlich eintreten müsste.

Es sei, weil es nicht von Belang ist, hier nur beiläufig erwähnt, dass die Widerstände im Auflagerungsapparat im Mittel am Schluss der ganzen Beobachtungsreihe 630702 Meter Normal Kupferdraht gleich geworden sind, was 7,5 Centimeter Rheostatenablesung der zu den Versuchen benützten Kupfervitriollösung entspricht.

Ich reihe hieran noch die Beobachtung an Nerven zweier kranker Thiere, welche für uns einiges Interesse haben. Es wurde bei mehreren Fröschen, welche mit anderen die gleiche Zeit gefangen gehalten waren, und zwar unter den sonst gleichen Umständen gelebt hatten, eine Krankheit beobachtet, welche ich für meinen Theil wenigstens frü-

her noch nicht geschen hatte. Ausser den an der Schnauze sonst auch häufig zu beobachtenden Geschwüren fühlten sich alle Muskeln auffallend hart an. Die Thiere bewegten sich träge, und während die Schenkel von Präparaten solcher Thiere, welche mit diesen aber ohne Zeichen der Krankheit gleich lange gelebt hatten, zuckten, wenn bei der Reizung nach unserer Methode der Rheostat, gefüllt mit 1 Theil Kupfersalzlösung auf 260 Theile Wasser, auf 45 Centimeter gestellt war, so zuckten die Präparate der kranken Thiere nicht einmal, wenn auch sehr schnell durch ihren Nerv die Kette nach Ausschaltung des Rheostat unmittelbar geschlossen wurde.

Die der Todtenstarre dem Gefühl nach ähnliche Rigidität der Muskeln war durch eine Erhöhung ihres Wassergehaltes bedingt, wie sich durch die Analysen des Herrn Feuchtinger auf der chemischen Abtheilung unseres physiologischen Institutes herausstellte. Er fand nämlich bei Vergleichung der Gasterocnemii gesunder Thiere mit denen der kranken:

Wassergehalt der normalen Muskeln	78,93%
„ der kranken „	84,17%
Aschengehalt der normalen „	0,906% } des frischen Mus-
„ der kranken „	0,579% } kels

Die Leitungswiderstände der Nerven dieser Thiere änderten sich während der Quellung wesentlich anders, als die von Nerven gesunder Thiere.

Bei dem einen:

Im Anfang	57° Ablenkung bei 113 Cent.	entsprechendem Rheostatenst.
nach 5 M. Quell.	63,5	„ 81,2 „ „ „
„ 10 „	64,2	„ 77,5 „ „ „
„ 20 „	64	„ 79 „ „ „
„ 30 „	63	„ 83 „ „ „
„ 50 „	61,5	„ 90 „ „ „

Bei dem anderen:

Im Anfang 55° Ablenkung bei 127 Cent. entsprechendem Rheostatenst.

nach 5 M. Quell.	62,5	„	„	85,2	„	„	„
„ 10 „ „	64	„	„	79	„	„	„
„ 20 „ „	64	„	„	79	„	„	„
„ 30 „ „	63	„	„	83	„	„	„
„ 50 „ „	62	„	„	88,3	„	„	„

Berechnet man aus den gefundenen Rheostatenständen für die Nerven der gesunden Thiere die entsprechenden Widerstände, so ergibt sich nachstehende Reihe:

Bei Beginn des Versuches.	Nach 5 Minuten Quellung	nach 10 Minuten Quellung	Versuchs-Nummer.
4335589	4253755,9	3535869,03	Nerv I.
5187635,28	433558,9	4196331,75	II.
5889344,4	4870195,44	5221050,0	III.
6943900	5563882,3		IV.
6037807	5329680	6514235	V.
5338000,881	5195988,338	5195988,338	VI.
5490013,424	4728182,314	4728182,314	VII.
4828426,462	6273612,929	5438245,029	VIII.
4828426,462	6515869,62	5947819,448	IX.
6682943,2	5830867,942	5663794,362	X.
6549284,336	6549284,336	6082870,6	XI.
4845133,82	5588611,251	4527694,02	XII.
6014648,88	5588611,251	5830867,942	XIII.
5012207,4	5012207,4	6139954,065	XIV.
3074153,872	4744889,672	4845133,82	XV.
6098185,67	5446598,708	5354708,24	XVI.

Nach 20 Minuten Quellung	nach 30 Minuten Quellung	nach 50 Minuten Quellung	Versuchs- Nummer.
5071198,39	6228470	7870760	Nerv I.
4536883,61	5126653,41	5126653,41	II.
5827368	6678632,8	7465080,4	III.
6004623,81	6940236,46	7478446,25	IV.
5831034	7031331,1	7723583,1	V.
5338000,881	6089831,991	5943632,608	VI.
5024737,919	5480013,424	6265259,25	VII.
5379869,276	6941907,249	7367944,878	VIII.
6273612,93	6808248,385	7058858,755	IX.
5989587,843	7025444,04	7267700,73	X.
6258297,85	6047228,23	7739683,6	XI.
6265259,25	7025444,04	7760567,791	XII.
6165015,102	6549284,331	8854899,74	XIII.
5438245,03	5780745,868	6281966,608	XIV.
6139954,065	6281966,608	7451481,668	XV.
5872636,337	6808248,385		XVI.

Setzt man für diese 16 Nerven die anfänglichen Widerstände = 100, so erhält man zur Vergleichung aller Versuche untereinander folgende Uebersicht:

Bei Beginn des Versuches.	nach 5 Min. Quell.	nach 10 Min. Quell.	nach 20 Min. Quell.	nach 30 Min. Quell.	nach 50 Min. Quell.	Versuchs- nummer.
100	{ 98,12	81,55	116,96	143,65	181,54	Nerv I.
	83,57	80,89	87,45	98,82	98,82	II.
	82,69	88,65	98,94	113,4	126,7	III.
	80,12		86,47	99,94	107,6	IV.

Bei Beginn des Versuches.	nach 5 Min.	nach 10 Min.	nach 20 Min.	nach 30 Min.	nach 50 Min.	Versuchs- nummer.
100	Quell.	Quell.	Quell.	Quell.	Quell.	Nerv V.
	88,27	107,8	96,57	116,4	127,9	VI.
	97,34	97,34	100	114	111,3	VII.
	86,12	86,12	91,52	99,81	114,1	VIII.
	129,9	142,6	111,4	143,7	152,6	IX.
	134,9	123,1	129,9	141	146,2	X.
	87,25	84,74	89,62	105,12	108,75	XI.
	100	92,66	95,55	92,33	118,1	XII.
	113,3	93,44	129,3	145	160,1	XIII.
	92,91	96,94	102,5	108,8	147,2	XIV.
	100	122,5	108,5	115,3	125,3	XV.
	154,3	157,6	199,7	204,3	242,3	XVI.
	89,31	87,80	96,3	111,6	—	

Zieht man die Mittel aus allen Versuchen, so sieht man den Leitungswiderstand in folgendem Prozentverhältniss wachsen:

nach 5 Minuten um	1,1 %
nach 10 Minuten um	0,91 %
nach 20 Minuten um	8,8 %
nach 30 Minuten um	22,07 %
nach 50 Minuten um	37,9 %

Diese Veränderungen des Leitungswiderstandes sind die Folgen complicirterer Vorgänge, nämlich der Aenderungen des Querschnittes, welcher während der Quellung wächst, und der Auslaugung, welche ebenfalls zunimmt, wobei zugleich je mehr und mehr Wasser von dem bekannten hohen specifischen Leitungswiderstand eindringt.

Will man erfahren, wie sich der specifische Leitungswiderstand S der Nerven während der Quellung ändert, so muss man ausser den oben angeführten reducierten Widerständen R, welche das Nervenstück vertreten

können, auch die Dimensionen desselben für jedes Stadium der Quellung kenneln.

Die Länge l war in allen Fällen genau gleich, nämlich 4,3 Millimeter.

Die Querschnitte p erhielten während der Quellung im Mittel folgende Werthe:

Bei Beginn des Versuches	0,3415	Millimeter
nach 5 Minuten Quellung	0,4733	"
" 10 "	0,4926	"
" 20 "	0,5245	"
" 30 "	0,5428	"
" 50 "	0,5830	"

Die oben beobachteten reducirten Widerstände sind eine Function von specifischem Leitungswiderstand und Dimension des Nervenstückes, denn

$$R = \frac{1}{q} S;$$

daraus wird

$$S = R \frac{q}{I}$$

Hiernach berechnet sich der specifische Leitungswiderstand der Nerven

1) im frischen Zustande	446970000	Normaldraht Kupfer.
2) nach Quellung durch 5 Minuten	599267000	
3) " " " 10 "	622490000	
4) " " " 20 "	713460000	
5) " " " 30 "	829780000	
6) " " " 50 "	1006740000	

In 50 Minuten zeigt sich sonach der specifische Leitungswiderstand 2,2 mal grösser als bei den frischen Nerven, in welch letzterem Zustand derselbe bei dieser Versuchsreihe genau wieder so gefunden wurde, wie bei der in der I. Abhandlung mitgetheilten, obwohl dazwischen ein

Zeitraum von $1\frac{1}{2}$ Jahren gelegen war und ausser dem Galvanometer durchaus andere Instrumente in Gebrauch genommen worden sind.

Um auf die Nerven der oben erwähnten kranken Thiere zurückzukommen, so boten die Leitungswiderstände R im Verlauf der Quellung nachstehende Zahlen:

	nach 5 Min.	nach 10 Min.	nach 20 Min.	nach 30 Min.	nach 50 Min.
Bei Beginn	Quell.	Quell.	Quell.	Quell.	Quell.
I) 9439657,27	6783187,348	6474101,225	6599406,41	6933553,57	7518311,1
II) 10609172,33	7117334,508	6599406,41	6599406,41	6933553,57	7376298,557
im Mittel: 10024414,8	6950260,93	6536753,8	6599406,41	6933553,57	7447304,828

Die specifischen Leitungswiderstände in den einzelnen Momenten der Quellung verhielten sich wie folgt:

Bei Beginn	786941500
nach 5 Minuten Quellung	756310000
„ 10 „ „ „	740210000
„ 20 „ „ „	795605000
„ 30 „ „ „	865260000
„ 50 „ „ „	998096000

Bei den normalen Nerven nimmt der specifische Leitungswiderstand wenigstens von der 10ten Minute der Quellung an im Durchschnitt sehr stetig zu; da der direkte Leitungswiderstand R ebenfalls mit der Dauer der Quellung zunimmt, so folgt daraus, dass die Vergrösserung des specifischen Leitungswiderstandes nicht durch die gleichzeitige Vergrösserung des Nervenquerschnittes compensirt wird.

Alle hier vorkommenden Unterschiede sind aber zu klein, als dass sie auf das Maass des gesamten Leitungswiderstandes im Schliessungsbogen für die gewöhnlichen Grade der Reizbarkeit von erheblichem Einfluss seyn könnten.

Der Gesamtleitungswiderstand,
des G der oben entwickelten Formel setzt sich zusammen aus dem Wi-
derstand im Rheostat (Rh) und im übrigen Nerv (N); die anderen Wi-
derstände können als verschwindend klein dagegen vernachlässigt werden.

Mit zu Grundlegung der in der I. Abhandlung mitgetheilten durch-
schnittlichen Rheostatenstände, welche in den einzelnen Momenten der
Quellung gefordert wurden, ergeben sich folgende Summanden:

Bei Beginn

	des	nach	nach	nach	nach	nach
Versuches	5 Min.	10 Min.	20 Min.	30 Min.	50 Min.	
5447231	5507120	5496770	5926010	6649390	7511690	N
767763360	481233312	384269760	293882400	210268800	236837	Rh.
773210591 G	486740432 G'	389766530 G''	299808410 G'''	216918190 G''''	7748517 G'''''	

Berechnet man mittelst der jetzt gewonnenen Daten nach der oben
entwickelten Formel

$$G' = \frac{qG}{q'}$$

die Veränderungen, welche während der Quellung die Reizbarkeit der
Nerven erfährt, so ergibt sich folgende Reihe:

$$\text{für die ersten 5 Min. } G' = 486740432 \quad \text{Meter Normalkupferdraht}$$

$$\frac{qG}{q'} = 557831500 \quad R = - 71091068$$

$$\text{für 10 Min. Quell. } G'' = 389766530 \quad R' = - 146253470$$

$$\frac{qG}{q'} = 536020000 \quad R'' = - 203698590$$

$$\text{für 20 Min. Quell. } G''' = 299808410 \quad R''' = - 269498810$$

$$\frac{qG}{q'} = 503507000 \quad R'''' = - 336918190$$

$$\text{für 30 Min. Quell. } G'''' = 216918190 \quad R''''' = - 404417000$$

$$\frac{qG}{q'} = 486417000 \quad R'''''' = - 471918190$$

$$\text{für } 50 \text{ Min. Quell. } G''' = -7748527 \quad \text{Meter Normalkupferdraht} \\ \frac{qG}{q'} = 452980000 \quad \left\{ R''' = -445231473 \right.$$

Damit sind wir zu der geforderten Maassbestimmung der Reizbarkeit gekommen.

Es lässt sich dieselbe jetzt in Werthen des elektrischen Leitungswiderstandes ausdrücken, welcher innerhalb des Schliessungsbogens einer Kette zur Auslösung der Muskelkräfte erforderlich ist, wenn der Strom dieser Kette mit der oben bezeichneten Geschwindigkeit unterbrochen wird.

Die negativen Werthe R , R' etc. geben an, wie viel Meter Draht aus dem Schliessungsbogen auf den einzelnen Stufen der Reizbarkeit während der Quellung ausgeschlossen werden müssen, um die dabei eingetretene Verminderung in der Beweglichkeit der Moleküle so weit zu compensiren, dass trotzdem stets wieder derselbe Effekt erzielt wird. Alle Ursachen, welche sonst die Verminderung der Widerstände verlangen, sind eliminiert, und der Rest R' R'' etc. steht allein in Beziehung zu dieser Beweglichkeit, welche man eben Reizbarkeit zu nennen pflegt.

Man kann nun diese Grössen in Beziehung zu dem ursprünglichen Leitungswiderstand des frischen Nerven, oder zu dem ursprünglichen Gesamtleitungswiderstand in der Kette setzen, welchen die Reizbarkeit des frischen Nerven gestattet.

In ersterer Beziehung lässt sich sagen: Bei Beginn der Reizung dürfen im Mittel die Widerstände im gesammten Schliessungsbogen 151,9 mal grösser sein als die im Nerven. Nachdem der Nerv 50 Minuten der Quellung ausgesetzt worden ist, dürfen sie nur 60,2 mal grösser sein. Die Zahl ist abgeleitet aus $\frac{G - R'''}{N}$ der letzten Tabelle. Diese Zahlen verhalten sich wie 1 : 2,35. Diess ist das Maass der Vermin-

54

derung, welche die Nervenreizbarkeit nach 50 Minuten langer Quellung in Wasser von 15° und der bestimmten Geschwindigkeit des Stromwechsels innerhalb jener Periode, in welcher die Versuchsreihe angestellt wurde, im Durchschnitt erfährt.

Diese allmählich eintretende Verminderung der Reizbarkeit kann angeschenen werden als eine wachsende Vergrößerung des Leitungswiderstandes in der Nervensubstanz, welche zur Erzielung je immer des gleichen Effektes verlangt, dass ein entsprechender Bruchtheil des Gesamtleitungswiderstandes entfernt werde.

Dem entsprechend gestalten sich die aus dem Gesamtschliessungsbogen im Verlauf der Quellung zu entfernenden Bruchtheile seines Widerstandes wie folgt:

nach 5 Minuten	0,092
nach 10 Minuten	0,19
nach 20 Minuten	0,26
nach 30 Minuten	0,38
nach 50 Minuten	0,57.

Die Werthe R , R' etc. können statt in Meterdraht in Centimetern der Flüssigkeit ausgedrückt werden, mit welcher der Rheostat gefüllt wird. Ist diese Wasser, so wird

$$\begin{aligned} R &\equiv 10 \text{ Centimeter} \\ R' &\equiv 20,7 \text{ Centimeter} \\ R'' &\equiv 28,8 \text{ Centimeter} \\ R''' &\equiv 38,2 \text{ Centimeter} \\ R'''' &\equiv 63 \text{ Centimeter.} \end{aligned}$$

Nun war der mittlere Rheostatenstand, welcher für die Reizbarkeit der frischen Nerven gefordert war = 107,6.

Während der Quellung musste derselbe bei den Experimenten im Winter wegen der complicirten Wirkung von Aenderung der Querschnitte,

des Leitungswiderstandes und der Reizbarkeit so geändert werden, wie es in der Schrift von Birkner mitgetheilt ist.

Die Äenderung, welche durch die Reizbarkeitsverminderung allein bedingt ist, ergiebt sich aus der eben geführten Rechnung. Ich setze schliesslich beide Reihen nebeneinander und zwar folgen in der ersten Rubrik die bei dem Experiment unmittelbar gebotenen Rheostatenstände, in der zweiten diejenigen, welche allein auf Rechnung der Reizbarkeits-Verminderung kommen, und welche allein als Ausdruck der für die Berechnung brauchbaren Werthe der Reizbarkeit benutzt werden dürfen, worauf am Schluss der I. Abhandlung bereits hingewiesen worden ist.

In der dritten Rubrik ist der anfängliche Rheostatenstand = 100 gesetzt.

	I.	II.	III.
Beginn des Versuches	107,5	107,5	100
nach 5 Minuten Quellung	65	97,5	90,7
nach 10 Minuten Quellung	50,7	86,8	80,7
nach 20 Minuten Quellung	40,3	78,7	73,2
nach 30 Minuten Quellung	29	69,3	64,4
nach 50 Minuten Quellung	0	44,5	41,4.

Nur wo Leitungswiderstand und Querschnitt an dem gereizten Nervenstück constant bleibt, bilden die Rheostatenstände einen direkten Index für die Reizbarkeit und ihres Wechsels; wo jene Grössen sich ändern, verlangen die beobachteten Rheostatenstände stets die hier auseinandergesetzte Reduction.

Schliesslich werde ich jetzt das Verfahren angeben, nach welchem man an ein und demselben Präparat die ganze Versuchsreihe durchführen kann und zwar mit fast gänzlicher Umgehung der Polarisation.

Man bedarf dazu nur eines bis jetzt noch nicht beschriebenen Apparates, in welchem die Platinschaufeln durch Eiweissmassen ersetzt sind.

Ein sogenanntes Stützenglas A Fig. 7, Tab. I der *dritten Abhandlung* von 10 Cent. Höhe und 7,5 Cent. Durchmesser, dessen oberer Rand eben geschliffen ist, hat nahe demselben zwei einander gegenüberstehende Bohrlöcher von 2 Cent. Öffnung; das eine Loch steht 5 Millim. höher als das andere. In diese sind zwei 3 Cent. lange Röhrenstücke von Glas BB' eingekittet, deren Innenfläche genau cylindrisch und matt geschliffen ist. In ihnen verschieben sich zwei andere im Knie gebogene, aussen ebenfalls matt geschliffene Glasröhren von 8 Cent. Länge und 0,8 Cent. Durchmesser CC'. Bei d und d' haben diese Kniestücke einen umgebogenen Rand, damit diese Öffnung mit einem Stück Schweinsblase verschlossen werden kann. Die Röhren werden mit geschlagenem Eiweiss gefüllt und schliesslich die beiden Hollundermarkkeile DD' eingefügt, welche vorher so präparirt worden sind, wie diess oben pag. 38 beschrieben wurde. Ihre Befestigung im Innern der Röhre geschieht mit Stückchen Fliesspapier, welches bei gg fest rings um sie herum hineingestopft wird.

Auf dem Boden des Gefäßes A befindet sich Wasser und nasses Fliesspapier; auf seinem abgeschliffenen Rand liegt der matte Glasteller TT, welcher in der Mitte durchbohrt ist. Auf dem Teller steht der Klotz, an dessen doppelt gekrümmten Stachel das Präparat Pr in der gewöhnlichen Weise angespiesst ist. Der Nerv N hängt zwischen den Kanten der Markkeile herab. Ueber das Präparat ist die Glasmutter gestürzt, in welcher sich angefeuchtetes Fliesspapier befindet.

Die mit Blase verschlossenen Öffnungen der Eiweissgefüllten Röhren tanzen innerhalb der Kelchgläser kk' unter einer ganz konzentrierten Kupfervitriollösung γγ', in welche gleichzeitig die Zuleitungsdrähte MM' mit ihren blanken, sonst ganz in Siegellack eingehüllten Enden eintauchen. Sie sind auch hier wie bei dem oben 37 beschriebenen Apparate zur Controlirung doppelt vorhanden. Von den Klemmen LL' aus führen die Drähte hh' zu dem Gyrotrog G der Fig. 2.

Für die gleiche Zeitdauer des primären Stromes verhalten sich die

Werthe der Polarisation bei dieser Einrichtung im Vergleich zu der, bei welcher die Nerven auf Platin liegen, wie 1 : 24.

Liegen die Nerven auf Kupferelektroden, so ist das Verhältniss unter den gleichen Umständen wie 1 : 5.

Wendet man Zinkplatten in Zinksalzlösung an, so ist die Polarisation auf das Minimum reducirt.

Die Methode des ganzen Versuches ist nun folgende. Zuerst wird die Combination IV an der Tastenwippe hergestellt. Das Präparat wird, nachdem die Glasmöhren CC' Fig. 7 etwas zurückgezogen sind, unter die Glocke gebracht, und dem herabhängenden Nerv sofort die Kanten der Hollundermarkkeile durch Verschiebung der Glasmöhren CC' bis zur Berührung nahe gebracht. Tauchen dann die Zuleitungsdrähte MM' in die Metallsalzlösung ein, so wird das Uhrwerk in Gang gesetzt und der Rheostat bis zum Eintritt der ersten regelmässig isochronen Zuckungen verkürzt.

Ist dieses geschehen, so wird der Rheostatenstand notirt, auf der Tastenwippe die Combination IX hergestellt, vom Fernrohr aus die Krücke k' (Fig. 2) niedergedrückt und der erste Ausschlag am Multiplikator beobachtet. Diess geschieht einigemale, um sich von der Richtigkeit der Ablesung zu überzeugen, ehe man den Ausschlagswinkel notirt.

Dann wird der Strom bei k' wieder unterbrochen, und die Drähte MM' (Fig. 7) kommen aus der Flüssigkeit; die Röhren CC' werden zurückgeschoben, der Teller T mit dem Präparat abgehoben und auf den Apparat zur Messung des Nervenquerschnittes hinübergebracht, in dessen erweiterten Raum sich feuchtes Fliesspapier befindet. Seine Höhe ist so regulirt, dass die Verlängerung der Axe des Mikroskopes die Mitte der gereizten Nervenstelle trifft. Ist der eine Durchmesser aufgezeichnet, so

wird der Teller mit dem Präparat um 90° gedreht und der zweite Durchmesser bestimmt.

Nun kommt das Präparat aus der Glocke auf einen anderen durchbohrten Teller, welcher sich über einem grossen, mit Wasser gefüllten Gefäss befindet, so dass der Nerv in dieses herabhängt und bei bekannter Temperatur eine gemessene Zeit lang der Quellung ausgesetzt werden kann.

Inzwischen ist das Gefäss Fig. 7 A und der Messapparat wieder mit geschliffenen Glastellern zugedeckt, die Drähte M M Fig. 7 an ihren Enden blank gefeilt worden. Die Zeit für die Quellung des Nerv wird benutzt den Widerstand aufzusuchen, welcher dem so eben beobachteten Ablenkungswinkel bei Anwendung der Combination IX entspricht.

Demgemäß wird diese Combination mit Combination VII der Tastenwippe vertauscht, und der Rheostat so weit regulirt bis die bleibende Ablenkung gleich jener ist, welche dem vorher bei Combination IX beobachteten ersten Ausschlag entspricht.

Ist die verlangte Zeit der Quellung abgelaufen, so wird der Nerv aus dem Wasser herausgehoben, und nachdem sein anderes Ende einen Moment mit trocknem Fliesspapier berührt worden, wieder zwischen die Kanten der Hollundermarkkeile im Apparat 7 eingeschaltet. Alle weiteren Akte des Versuches wiederholen sich von da an in derselben Reihenfolge wie vorher.

Ich theile schliesslich eine nach dieser Methode im Herbst angestellte Maassbestimmung mit.

Zeitangabe für die ganze Dauer der Quellung	Für die Messungen.	Rheostaten- stand für die Reizung bei der Füllung des Rheosta- ten mit 1 Con- cent. Kupfer- vitriollösung auf 500 Wasser.	Durchmesser des Nerv in Theilräumen des Mikrometer.	Ablenkung der Nadel bei Combination IX; erster Ausschlag.	Rheostaten- stand für die gleiche Ab- lenkung bei Combination VII
0	9 Min.	139 Cent.	50,5 a 50,5 b	9°	60,5 Cent. Füllung 1 auf 500 Wasser.
5 Min.	9 Min.	61 Cent.	56 a 56 b	14,3°	152 Cent. Füllung 1 auf 62,5 Wasser.
10 Min.	9 Min.	38,5 Cent.	58,5 a 58,5 b	17°	119 Cent.
20 Min.	8,5 Min.	12 Cent.	61 a 61 b	21,4°	92,1 Cent.
30 Min.	8 Min.	4 Cent.	61 a 61,3 b	23,5°	81,2 Cent.
50 Min.	10 Min.	0 Cent.	62 a 62 b	30,6°	20 Cent.

Hieraus berechnen sich die einzelnen Factoren der oben aufgestellten Formel für die Maassbestimmung der Reizbarkeit wie folgt:

Zeit der Quellung	πab nach in Millim. Millim.	$\frac{q}{q'}$	G und G' etc.	$\frac{q}{q'} G$	$R = G' - \frac{q}{q'} G$ in Meter Normalkupferdraht.
0	0,32054		$G' = 133946084$		
5	0,39417	0,8132	$G' = 60335102$	108928000	$- 48592898 = R$
10	0,422025	0,75939	$G'' = 47279455$	101721000	$- 54441545 = R'$
20	0,46747	0,68566	$G''' = 36637124$	91843000	$- 55205876 = R''$
30	0,4701	0,68178	$G'''' = 32324804$	91325100	$- 59000296 = R'''$
50	0,48319	0,66342	$G''''' = 8498351$	88866000	$- 80367649 = R''''$

8*

Die Werthe von R R' entsprechen folgenden Flüssigkeitshöhen der bei der Reizung angewendeten Rheostatenfüllung:

$$\begin{aligned} R &= 21,9 \\ R' &= 24,5 \\ R'' &= 24,9 \\ R''' &= 26,7 \\ R^{'''} &= 36,3. \end{aligned}$$

Darnach werden die reducirten Rheostatenablesungen, welche ausschliesslich durch die Veränderungen der Reizbarkeit in Folge der Quellung gefordert sind:

anfänglich	139	Centimeter
nach 5 Minuten Quellung	117,1	Centimeter
nach 10 Minuten Quellung	114,5	Centimeter
nach 20 Minuten Quellung	114,1	Centimeter
nach 30 Minuten Quellung	112,3	Centimeter
nach 50 Minuten Quellung	102,7	Centimeter.

Setzt man auch hier wieder diese Grössen, um welche der Gesamtleitungswiderstand des Schliessungsbogens in Folge der abnehmenden Reizbarkeit verkleinert werden muss, in Relation zu dem vor der Quellung geforderten Widerstand (G), so sind die aus dem Gesamtschliessungsbogen im Verlauf der Quellung zu entfernenden Bruchtheile eben dieses Widerstandes:

nach 5 Minuten Quellung	0,37
nach 10 Minuten Quellung	0,40
nach 20 Minuten Quellung	0,41
nach 30 Minuten Quellung	0,44
nach 50 Minuten Quellung	0,6.

Obwohl in diesem individuellen Fall besonders in der ersten Zeit der Quellung Abweichungen von den Mittelwerthen vorkommen, wie sie

aus den oben angeführten Beobachtungen an Winterfröschen gewonnen wurden, so stimmen doch auch wichtige Punkte hier damit überein. Wir sehen in diesem einzelnen Fall die anfängliche Reizbarkeit viel geringer; denn der Gesamtleitungswiderstand im Schliessungsbogen darf nur 24 mal grösser sein als der im gereizten Nervenstück, während er bei den Winterfröschen im Mittel 142 mal grösser sein durfte. Nach 50 Minuten Quellung in Wasser durfte er nicht mehr grösser sein als 8 mal. Diese Zahlen verhalten sich aber wie 1 : 3; und für dasselbe Verhältniss fanden wir oben aus den Durschnittswerthen die Zahlen 1 : 2,35.

Ebenso zeigte sich bei den Reihen, aus welchen die Mittel gezogen wurden, als Bruchtheil des anfänglichen Gesamtschliessungsbogens, welcher nach 50 Minuten Quellung entfernt sein musste, der Werth 0,57, in diesem individuellen Fall 0,6.

Es liegt in der Natur der Sache, dass man bei der Aufstellung der meisten physiologischen Gesetze auf die Bezeichnung der grösseren Wahrscheinlichkeit für den individuellen Fall beschränkt ist, und unter diesem Vorbehalt möchte ich auch am Schlusse das Gesetz der Verminderung der Reizbarkeit durch die Quellung mit besonderer Rücksicht auf die oben gefundenen Mittelwerthe also formuliren:

„Die Reizbarkeit der Nerven des galvanischen Froschpräparates, nicht des lebenden Thieres, was eine besondere Untersuchung erheischt, sinkt unter dem Einfluss der fortschreitenden Wasseraufnahme in einer Temperatur von 16 — 17° Celsius innerhalb 50 Minuten um das Zweibis Dreifache, und zwar scheint dieses Sinken in einer nahezu arithmetischen Progression vor sich zu gehen, wie ihr specifischer Leitungswiderstand ebenfalls mit der Zeit der Quellung in arithmetischer Progression anwächst.“

Da laut Sitzungsbericht vom 13. Nov. 1858 (Gelehrte Anzeigen 1858 Nr. 27) die voranstehende III. und IV. Abhandlung schon vor zwei Jahren dem Druck übergeben wurde, welcher sich in Folge äusserer Umstände bis jetzt verzögert hat, so wird man es erklärlich finden, wie darin der so folgeschweren Entdeckung du Bois Reymond's keiner Erwähnung geschehen ist. Die merkwürdige Thatsache nämlich, welche er gefunden hat, besteht darin, dass amalgamirtes Zink mit schwefelsaurer Zinklösung zum Schluss einer galvanischen Kette verwendet, so gut wie jede Polarisation ausschliesst. Dadurch ist ein Mittel gegeben die Reizapplication sehr zu vereinfachen. Ich benütze jetzt Zinkdrähte, deren Enden schaufelartig breit geschlagen und sehr gut amalgamirt sind. Um diese wird ein schmaler Streifen in schwefelsaurer Zinklösung getränkten Fliesspapiers 2mal gewickelt, und darüber kommt eine thierische Membran, welche Eierklar imbibirt hat, das aus dem Schnee desselben sich gesammelt hat. Diese Elektroden ersetzen die Pflüger'schen „nicht polarisirbaren Elektroden“ vollkommen, und bieten nur sehr kleinen Widerstand.

Damit ist für den messenden Reizversuch schon ein sehr grosser Vortheil gewonnen. Weniger lässt sich damit jedoch für das Messinstrument, den Rheostat selbst gewinnen. Construirt man auch Apparate mit Zinkdrähten, so entspringt wegen der grossen Verdünnung der Zinklösung, welche oft mit destillirtem Wasser vertauscht werden muss, daraus kein grosser Vortheil. Die Polarisation im Rheostaten lässt sich also nie ganz beseitigen. Die Durchmesser der Glasröhren sind schon so sehr als möglich reducirt, weshalb die Zinklösung immer nur in sehr grosser Verdünnung angewendet werden kann.

Indem ich die fortlaufende Reihe von Untersuchungen über „molekuläre Vorgänge in den Nerven“ an diesem Orte abbreche, ersuche ich den geneigten Leser meine Untersuchungen über die funktionelle Bedeutsamkeit der Nervenhüllen, über die Muskelkrämpfe bei der Ver-

trocknung der Nerven, über den Einfluss der Temperatur und Temperaturschwankungen auf die motorischen Nerven, in Henle und Pfeufers Archiv, sodann meine Mittheilung über den Einfluss der Länge eines gereizten Nervenstückes in den Gelehrten Anzeigen, und „die neurophysiologischen Forschungen“ in der Monatsschrift des wissenschaftlichen Vereines in Zürich 1860 als anderwärts veröffentlichte Fortsetzungen dieses Cyclus zu betrachten.

Mein von Anfang an gefasster Plan war: die formellen Bedingungen des Reizbarkeitgrades der Nerven unter möglichst vielen Umständen quantitativ zu analysiren. Nach dem, was durch Andere mittlerweile gleichzeitig auf diesem Gebiet gearbeitet worden, dürfte dieser Kreis von Untersuchungen vorläufig als ziemlich erschöpft betrachtet werden. Das Interesse der Forschung richtet sich jetzt auf die *inneren Ursachen* der Reizbarkeit, zu deren Erklärung einfache, mechanische Molekular-Hypothesen nicht mehr ausreichen. Die Bedeutung des chemischen Prozesses in seiner Rückwirkung auf die jeweiligen physikalischen Eigenschaften ist es, welche jetzt besonders in den Vordergrund tritt, und sich bei dem leichter zugänglichen Object, der Muskelsubstanz, zuerst geltend gemacht hat. Kühne's Arbeiten und meine eigenen auf diesem Gebiet, zu welchen ich ganz unwillkürlich von der Untersuchung der Nerven aus getrieben wurde, werden sich zunächst jetzt auf die chemischen Untersuchungen der Nervensubstanz ausdehnen müssen, wozu bereits auch der Anfang gemacht ist, und es steht zu erwarten, dass wir das primum movens bei der Muskel- und Nerventhätigkeit in nicht sehr ferner Zeit von den consecutiven Erscheinungen an ihnen werden trennen und damit eine jetzt nothwendig gewordene, neue Basis für die ferneren Untersuchungen gewinnen können.
