

6

Molekuläre Vorgänge
in der
Nervensubstanz.

III. Abhandlung.
Maassbestimmung der Reizbarkeit.

Von
Prof. Dr. Emil Harless.

Aus den Abhandlungen der k. bayer. Akademie der W. II. Cl. VIII. Bd. III. Abth.

München 1860.

Verlag der k. Akademie,

in Commission bei G. Franz.

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

III. Abhandlung.

Maassbestimmung der Reizbarkeit

von

Prof. Dr. Emil Harless.

Hülfsmittel für die Maassbestimmung der Nervenreizbarkeit.

Die grosse Menge von einzelnen Factoren, deren Werthe man kennen muss, wenn man überhaupt nur den Versuch machen will, den galvanischen Grundversuch einer Messung zugänglich zu machen, noch mehr die Nothwendigkeit dies in möglichst kurzer Zeit und jeden Augenblick wieder zu prüfen verlangt eine Anordnung der Leitungsdrähte, welche den Bedürfnissen entsprechend in ihrer Anlage wohl sehr complicirt, in ihrer Handhabung aber auf das Einfachste eingerichtet sein muss. Man wird zwar erfahren, dass man bald von dieser, bald von jener Grösse Umgang nehmen darf, nemlich von da an, wo sie gegen die anderen verschwindend klein oder absolut nicht mehr mit den angewandten Hülfsmitteln messbar ist, wie das z. B. von gewissen Grenzen an bei der Polarisation der Fall ist, welche zuversichtlich bei jedem, auch dem schwächsten Strom noch vorhanden, aber selbst mit unseren feinsten Galvanometern entweder wegen ihrer Schwäche oder Flüchtigkeit nicht mehr nachweisbar ist.

Die Grössen, welche überhaupt zu messen wünschenswerth oder nothwendig werden kann, sind folgende:

- 1) die elektromotorische Kraft der Kette;
- 2) der „wesentliche“ Widerstand in der Kette;
- 3) die elektromotorischen Kräfte ausserhalb der Kette, also im Schliessungsbogen;
- 4) die vom Nerv abgeleiteten Ströme an sich;
- 5) der Leitungswiderstand des Nerv;
- 6) die Polarisation an den Draht-Enden, auf welchen der Nerv aufliegt;
- 7) der Leitungswiderstand im feuchten Rheostat;
- 8) die Polarisation an seinen Uebergangsstellen in die metallische Leitung;
- 9) der Gesamtleitungswiderstand des Schliessungsbogens;
- 10) die Stromdauer;
- 11) die Dimensionen des gereizten Nervenstückes;
- 12) Temperatur und Feuchtigkeitsgrad des Mediums, in welchem sich der Nerv befindet;
- 13) Applicationsstelle des Reizes und Richtung des Strom's durch den Nerv.

Die Tastenricke.

Die Ermittlung der neun ersten Punkte verlangt die Möglichkeit den Strom bald durch den einen, bald durch den anderen Apparat zu leiten, ihn bald von diesem, bald von jenem auszuschliessen, und ihn durch mehrere gleichzeitig oder kurz hinter einander zu schicken.

Man ist bei diesen Untersuchungen nicht bloss von den langsam fortschreitenden Veränderungen in den physikalischen Apparaten abhängig, sondern noch viel mehr durch die unaufhaltsam flüchtig sich ändernden Zustände des Nerv selbst gezwungen die Messungen mög-

lichst schnell ausführbar zu machen. Die Verwicklung der Combinationen, welche den Drahtleitungen von einem Versuch zu dem anderen gegeben werden müssen, ist so gross, dass man ohne Hülfsvorrichtung zu jeder Aenderung in dem Arrangement auch bei grösster Uebung mindestens 15 — 20 Minuten und mehr Zeit verlieren würde, ganz abgesehen davon, dass nur allzu leicht Irrungen vorkommen können, in Folge dessen ein zu starker Strom die Galvanometerwindungen oder den Nerv durchströmt, und die grössten Nachtheile herbeizuführen vermag.

Nach Monate langen vergeblichen Versuchen ist es endlich gelungen, in dem Instrument, welches ich jetzt beschreibe, und dem ich den Namen „Tastenwippe“ geben will, eine Vorrichtung zu construiren, welche so zu sagen momentan jede verlangte Drahtcombination herzustellen erlaubt.

Sie ist Fig. 1 im Durchschnitt, in Fig. 2 schematisch in ihren wesentlichsten Theilen gezeichnet. Die in beiden Darstellungen entsprechenden Stücke haben gleiche Bezeichnung. An der Wand des Zimmers sind möglichst weit auseinander auf Consolen die beiden Messinstrumente: die Tangentenboussole B und der Galvanometer G mit Doppelnadel und 7200 Windungen unbeweglich aufgestellt. Bei der Tangentenboussole befindet sich ein später noch zu beschreibender vertikaler Rheostat Rh. nebst Gyrotrop G'; der Galvanometer ist in einem grossen doppelten Glasgehäuse ausser seinem eigenen Glassturz eingeschlossen. Ein Spiegel in demselben wirft bei unverrückbarer Neigung das Bild der Nadel und Theilung gegen ein ebenfalls unverrückbar aufgestelltes c. 12' entferntes Fernrohr. Dabei ist freilich nicht die Parallaxe vermieden; allein da es in allen Versuchen nur darauf ankommt, in je zwei Versuchen die Nadel immer wieder genau auf die gleiche Stelle zu drängen, so war es nicht nöthig, entweder die Nadel selbst mit einem Spiegel zu versehen und die Skala am Fernrohr anzubringen, oder

aus Spiegel-Neigung, Abstand des Fernrohrs und Höhe der Visirlinie die absoluten Werthe der jedesmaligen Ablenkung zu bestimmen.

Zwischen den beiden Consolen steht ein kleiner Tisch mit dem Element E und der Tastenwippe auf einer grossen Glasplatte isolirt.

Die Tastenwippe hat folgende Einrichtung: Ein polirtes Brett von vollkommen trockenem Nussbaumholz, 63 Cent. lang, 29,5 Cent. breit, ist rings mit Leisten umschlossen. Die hintere Leiste l ist von 16 Löchern durchbohrt; 10 Cent. von der vorderen Leiste l' entfernt zieht sich eine dritte l'' durch die Länge des Apparates, ebenfalls von 16 Löchern durchbohrt. Zwischen ihr und der ihr nächsten stehen an den beiden Eckpunkten des Brettes zwei Glassäulen gl. von 24 Cent. Höhe, welche je eine doppelt durchbohrte Holzkugel tragen. In den Löchern dieser Kugeln ruhen in Glasröhren eingeschlossen zwei Kupferdrähte ZP von 19 □ Mill. Querschnitt; sie überragen das Brett der Wippe gegen die Tangentenboussole hin, biegen dort rechtwinklig nach abwärts, und stehen mit ihren in Glas eingekitteten Enden auf der Glasplatte des Tisches auf. Zwei Arme führen daselbst unten zum Zink und Platin der Kette E, zwei andere Arme werden in den Gyrotrop der Boussole eingeklemmt.

Den sechzehn Löchern in den Leisten des Brettes entsprechen eben so viele 3,5 Cent. hohe Säulchen sl von polirtem Nussbaum. Jedes derselben ist oben gespalten, und trägt einen stumpfwinklig nach abwärts gebogenen auf dem Gipfel der Säule im Charnier beweglichen Kupferdraht r von 2 □ M. Querschnitt und 6,5 Cent. Länge. An dem hinteren Ende jedes solchen Drahtes ist ein Spiralgang eines dünneren übersponnenen Kupferdrahtes s angelöthet, dessen Ende das entsprechende Loch in der hinteren Leiste l durchdringt, und darin leicht, wenn auch wenig verschiebbar ist. Ausserhalb der Leiste ist jeder solche Draht in einer Klemme kl befestigt.

Vor dem umgebogenen Ende der stärkeren Drähte nehmen sechszehn Vertiefungen im Brett eben so viele Porzellan-Schälchen n (Glüh-schälchen der kleinsten Sorte) auf. Diese sind mit Quecksilber gefüllt, in welches je einer der wohl verquickten Drähte durch den Druck des Fingers eingetaucht werden kann. Damit die Drähte auch nach Entfernung des Druckes auf dem Boden der Näpfchen verbleiben, müssen die Spiralgänge 5,5 so wenig als möglich federn.

Ueber den etwas aufgebogenen Enden der horizontalen Drahtstücke und der Spirale der dünnen Drähte steht die mit den numerirten Tasten versehene Walze Wa von Nussbaumholz, deren eiserne Axe auf zwei Ständern zu beiden Seiten des Brettes drehbar ist. Die Walze ist 43 Cent. lang, hat einen Durchmesser von 4,5 Cent. und eine Anzahl von Bohrlöchern genau in einer Flucht und in der halben Entfernung der Näpfchen. In diese Löcher können vorn abgeflachte Zähne oder Tasten 1, 2, 3 etc. von Holz gesteckt werden, von welchen man zwei Sorten besitzt: kurze, welche hinter dem Hypomochlion auf die Drähte drücken, und lange, welche vor demselben angreifen. Durch jene werden die amalgamirten Enden der Drähte aus den Näpfchen gehoben, wenn die Walze gedreht wird; durch diese werden sie niedergedrückt.

Da die Walze in der Richtung der Längsaxe des Brettes verschiebbar ist, hat man es in der Gewalt, immer grössere Mengen von Draht-Enden in die Näpfe zu tauchen oder wieder herauszubewegen, je nachdem man die Tasten auf die Walze setzt und hin und herschiebt, ehe man sie mit dem Handgriff an dem einen Ende der Axe umlegt.

Diese Methode ist aber höchstens bei zwei immer alternirend zur Anwendung kommenden Combinationen zulässig. Werden mehrere hinter einander verlangt, so setzt man bloss die kurzen Tasten ein, drückt mit dem Finger die einzelnen Drähte, welche man braucht, nieder und

hebt darauf mit einem Druck der Walze alle wieder aus dem Quecksilber, um durch das Eintauchen anderer Drähte eine neue Combination zu veranstalten.

Mit den Quecksilbernäpfen einerseits, mit den Klemmen an den Spiralen andererseits sind die von den verschiedenen Apparaten herkommenden Drähte in bleibender Verbindung. Von der Anordnung derselben hängt die bequeme Anwendung der Tastenwippe ab.

Die Drähte, welche mit ihren amalgamirten Enden bleibend in die Quecksilbernäpfchen eintauchen sollen, werden je durch die entsprechenden Löcher in der vorderen Längsleiste des Apparates geschoben und darin festgehalten. Es geschieht diess auch hier durch kleine Klemmen kl' , welche einerseits die kurzen etwas stärkeren amalgamirten Kupferdrähte der Näpfchen, andererseits die Enden der von den verschiedenen Apparaten herkommenden dünneren Drähte aneinanderfügen.

Die Apparate sind:

- 1) der Galvanometer mit 7200 Windungen und Doppelnadel;
- 2) das Uhrwerk und der feuchte Rheostat, welche auf Taf. I der ersten Abhandlung abgebildet sind (im Schema Fig. 2 Rh.). Am Gehäuse des ersteren befindet sich jetzt eine einfache Arretirung für den Pendel g so zwar, dass dieser in geneigter Lage fest gehalten werden kann, wobei dann beide Näpfchen n n' durch den unteren Bügel des Pendels in metallische Verbindung mit einander gebracht sind;
- 3) der Gyrotrop G , dessen Einrichtung erlaubt, den Strom je durch den Nerv in P oder irgend einen anderen Apparat zu führen. Dieses Instrument wird später ausführlicher zu beschreiben sein;
- 4) die kleine Wippe W . An einem viereckigen auf dem Experimentirtisch angeschraubten Klotz Fig. 3 k von polirtem Buchsbaumholz, welcher 6 Cent. Seite hat und $1\frac{1}{2}$ Cent. hoch ist, sind zwei messingene Träger, von welchen der eine bei A

auf Fig. 3 sichtbar ist, festgeschraubt. Zwischen beiden läuft in Spitzen die polirte Buchsbaumwalze B. Die Walze hat 2 Cent. Durchmesser. In ihre Oberfläche sind vier Stege, aus Kupferblech (Fig. 4) geschnitten, so eingelassen, dass sie nirgends den Cylinder-Mantel überragen. In Fig. 3 sind sie durch a b c d angedeutet. Der Stiel eines jeden solchen Steges trägt eine Klemme $\alpha \beta \gamma \delta$. Die Abstände ihrer horizontalen Theile betragen in jedem Paar nur 2 Millimeter. Innerhalb dieses Abstandes befindet sich ein sehr schmaler aber tiefer Einschnitt im Holz parallel mit der Richtung der Stege. Auf je zwei solche Stege drücken zwei starke Metallfedern von 9 Millim. Breite c c', und zwar je nach der Stellung der Walze auf a b oder c d. Diese Metallfedern endigen in den Klemmschrauben e f. Die Drehung der Walze geschieht immer mit der gleichen Geschwindigkeit und innerhalb der gleichen Grenzen. Diess wird durch eine Auslösung und eine Arretirung bewerkstelligt, von welchen erstere man bei D, letztere bei F sieht. Bei E ist eine starke Spiralfeder an der Walze befestigt, welche diese nach ihrer Seite zu ziehen strebt; hat sie freien Spielraum, so ist diess so weit möglich, als die Arretirung F zulässt. In diesem Fall drücken die beiden Pressfedern c c' auf c und d. Wird die Walze durch den Druck der Hand auf eine der vier senkrecht gerichteten Zapfen der Stege nach der entgegengesetzten Seite gedreht, so schnappt der dreikantige Stachel in die Feder h an der Auslösung D ein, und die Pressfedern drücken auf a und b. Sowie an der Schnur Sch vom Fernrohr aus gezogen wird, kommt momentan die Walze wieder in die erste Stellung.

Die Gesamtanordnung der Drähte ist folgende: (Fig. 2)

1) von den starken Poldrähnen des Elementes aus: und zwar

auf der Zinkseite des Elementes zu Nro. 3 und Nro. 9; von der Platinseite aus zu Nro. 5, 8 und 10;

- 2) von den Klemmschrauben des Galvanometers aus: und zwar von der Schraube a zu den Quecksilbernäpfen Nro. 1 und 6 und zu der Spiraldrahtklemme Nro. 9; ferner von der Schraube e zu dem Quecksilbernapf Nro. 2 und zur Spiraldrahtklemme Nro. 7;
- 3) von dem Uhrwerk aus zum Napf Nro. 4 und zur Klemme Nro. 1;
- 4) von dem unteren Rheostatendraht aus zu der Klemme Nr. 2 und 5;
- 5) von der Wippe W aus: und zwar von dem Steg a aus zur Klemme Nro. 3; von dem Steg b aus zur Klemme Nro. 4; von dem Steg γ zur Klemme Nro. 9; von dem Steg δ zur Klemme Nro. 7; von den Drähten α β der Wippe W zu den Einführungsklemmen E und E' des Gyrotrop G;
- 6) von dem Gyrotrop G aus: und zwar von dessen Einführungsklemme E zur Spiraldrahtklemme Nro. 10; von den Ausführungsklemmen a und a' zu dem Präparat P, d. h. zu dessen Nerv, und von den Ausführungsklemmen a'' und a''' zur Klemme der Krücke k am Rheostat einerseits, zur Spiraldrahtklemme Nro. 1 andererseits;
- 7) von dem Napf Nro. 7 zu Nro. 8;
- 8) von der Spiraldrahtklemme Nro. 4 zu der Nro. 6 u. Nro. 8.

Die noch übrigen disponiblen fünf Tasten bleiben vorläufig unbenutzt. Es wird sich zeigen, dass man sich in einzelnen Fällen statt die bleibende Nadelablenkung abzuwarten, begnügen darf in anderen begnügen muss, den ersten Ausschlag allein zu beobachten.

Zu dem Ende steht vor dem Fernrohr ein Rechen, über welchem Wollschnüre hängen, um mit ihnen durch Zug die Wippe W umzulegen oder die Krücke K des Rheostaten in das Quecksilber zu drücken, oder

das Gleiche in K' für die Krücke des Präparates von dem Standort des Fernrohres aus zu bewerkstelligen. Sprungfedern an den Krücken heben sofort ihre amalgamirten Enden wieder aus dem Quecksilber, sobald der Zug an der entsprechenden Schnur nachlässt.

Nachdem ich damit die wesentlichen Theile der ganzen Zusammenstellung geschildert habe, erübrigt noch für Diejenigen, welche die Versuche zu wiederholen wünschen, auf mancherlei Nebenumstände und Anordnungen aufmerksam zu machen, welche die Handhabung der complicirten Vorrichtung erleichtern, Fehlerquellen und Störungen leichter auffinden lassen, und deren Berücksichtigung Zeit ersparen lässt. Sie scheinen mir jetzt freilich theilweise überflüssig; wenn ich aber bedenke, dass ich in den dritthalb Jahren, welche ich mich fast ausschliesslich mit diesen Versuchen beschäftigt habe, viele Stunden und Tage nur damit zugebracht habe, bald diese bald jene Störung oder Fehlerquelle aufzufinden und zu beseitigen, so halte ich es für Pflicht Anderen diese Zeitverluste zu ersparen und auch die Nebendinge zu beschreiben, ohne deren Hülfe man zum Mindesten mit viel weniger Bequemlichkeit wird arbeiten können.

Der Tisch, auf welchem sich die Tastenwippe, das Element und Uhrwerk befindet, muss wo möglich frei stehen. Im rechten Winkel mit ihm ist der zweite Tisch angestossen, auf welchem die Präparate hergestellt und aufgestellt werden, auf welchem also überhaupt experimentirt wird.

Die mancherlei Instrumente und Apparate, deren man dazu bedarf, verlangen, dass man einen nicht allzu kleinen Tisch wählt. Unter seiner Platte lässt man auf Rollen die Wollschnüre zum Fernrohr laufen, damit sie den Experimentator nicht beirren. Dieser ist gezwungen, bei den Versuchen zu stehen, weil er den Draht des Rheostaten fortwährend zu dirigiren hat. Aus diesem Grund steht auf dem Experimentirtisch

ein zweiter kleiner, dessen Platte 0,3 Meter breit und 0,8 Meter lang ist. An zwei seiner Ecken sind mit Schellack eingelassen zwei Klemmschrauben befestigt, deren jede zwei Löcher und Schrauben hat. In dem einen Paar sind die vom Gyrotrop G heraufkommenden Drähte befestigt, in dem anderen Paar werden diejenigen eingeklemmt, welche man zu der besonderen Vorrichtung führt, in welcher sich je nach Bedarf das Präparat befindet.

Solche Weise hat man für jede neue Versuchsreihe immer nur die zwei zum Präparat führenden Ausgangsdrähte der ganzen Vorrichtung 1,2 zu berücksichtigen und kann jeden Augenblick die Richtung des Stromes durch den Nerv mit dem Gyrotrop wechseln, oder sofort vor dem Präparat vorbei führen. Alle übrigen Drahtverbindungen bleiben unberührt.

Wo ein Wechsel der Verbindung nothwendig ist, wo also Drähte bald mit einander gekuppelt, dann wieder von einander getrennt werden sollen, habe ich der Vermittlung des Quecksilbers immer den Vorzug einräumen müssen. Man kann es nicht vermeiden, dass sich wenn auch nur im geringen Maass saure Dämpfe im Experimentirraum verbreiten. Dabei ist es ganz unmöglich, die Stellen, an welchen sich Drähte zeitweise berühren sollen, immer gleich blank zu erhalten; geschieht die Berührung aber durch Oxydschichten von wechselnder Mächtigkeit und zugleich mit wechselnder Innigkeit, so ist eine Vergleichbarkeit der Versuche unmöglich, wenn man nicht für jeden einzelnen Fall wieder den Widerstand an der Berührungsstelle direkt bestimmt. Dem entgeht man, wenn man die Uebergänge des Stromes in Quecksilber geschehen lässt, in welches die beiden amalgirten Drahtenden möglichst tief eintauchen und stets wieder die gleichen Abstände gewinnen müssen.

Häufiger Wechsel des Quecksilbers versteht sich von selbst und die in die Tiefe der Drähte allmählich fortschreitende Amalgamirung verbietet die Anwendung dünner Kupferdrähte, und verlangt zugleich, dass man dieselben von Zeit zu Zeit durch neue ersetzt.

Die Oxydhäute auf dem Quecksilber in der Tastenwippe sind auf's Sorgfältigste zu vermeiden; denn bleibt ein Fädchen dieser Haut auch nur von mikroskopischer Feinheit bei dem Zurückschlagen der Wippe an einem Draht der Taste hängen, so kann daraus die grösste Störung und momentane Unterbrechung des ganzen Versuches entstehen. Es ist mir begegnet, dass ich einen halben Tag suchen musste, bis ich die Stelle fand, an welcher sich dieser Uebelstand gebildet hatte.

Die Entleerung der Näpfchen geschieht mittelst einer kleinen Phiole, in deren Hals ein doppelt durchbohrter Kork befindlich ist; in dem einen Loch steckt eine heberförmig gebogene Glasröhre, in dem andern eine Pipette von vulkanisirtem Kautschuk. Nachdem die letztere zusammengepresst ist, taucht man die Spitze der Glasröhre unter das Quecksilber bis auf den Boden des Näpfchens und saugt sofort das Quecksilber in die Phiole. Dann filtrirt man es durch Papier und bringt es in eine Glasröhre mit Quetschhahn, um auf's Neue die Füllung der Näpfchen vorzunehmen.

Weitere Bemerkungen verspare ich auf die Besprechung der einzelnen Versuchsakte und gehe jetzt zur Bezeichnung der wichtigsten Combinationen über.

Combination I.

Niedergedrückt ist die Taste 1 und 2; umgelegt ist der Pendel des Uhrwerkes.

In diesem Fall bildet Multiplicator und Rheostat einen in sich geschlossenen Kreis.

Weicht dabei die Nadel von der Nulllinie, so ist ein Strom in der Vorrichtung, welcher nicht hineingehört; im entgegengesetzten Fall hat man die Garantie, dass keine anderweitigen elektromotorischen Kräfte thätig sind als diejenigen, welche man später einführen will.

Der nicht beabsichtigte Strom kann nur an einem Punkt entstehen, nemlich an der Rückwand des Rheostaten in einem der Näpfchen

Q^{IV} Q^V oder Q^{VI} in Rh^2 auf Taf. I der ersten Abhandlung, und zwar dadurch, dass bei der Füllung des Rheostaten aus Versehen ein Tropfen Flüssigkeit an die Berührungsstelle von Quecksilber und Kupferdraht gekommen ist.

Eine zweite Möglichkeit für die Nadelablenkung bei dieser Combination liegt in dem Rest eines Polarisationsstromes, wenn kurz vorher durch den Rheostat ein stärkerer Strom geleitet worden. In solchem Fall kehrt die Nadel aber bald zur Nulllinie zurück.

Eine dritte Möglichkeit liegt bei Null Rheostatenstand in der Ungleichartigkeit der Drahtenden q und p in Rh . (I Tafel der I. Abhandlung), wenn sie sich in der Flüssigkeit des Rheostaten berühren. Dieser Fall ereignet sich am seltensten, wenn man für vollkommene Reinigung der Röhre durch Ausspülen nach jedem Versuch sorgt und ausserhalb der Versuchszeit die Drahtenden stets miteinander in Berührung lässt.

Combination II.

Alle Tasten zurückgeschlagen, die Wippe W umgelegt, so dass die Stege γ δ unter den Pressfedern stehen.

Von s der Taste 7 und s der Taste 9 aus ist dann der Multiplikator und der Nerv in einem Kreis geschlossen.

Weicht hiebei die Nadel von der Nulllinie, so zeigt sie einen dem Nerv angehörigen Strom an, dessen Grösse in der Regel Null oder wenigstens kaum der Berücksichtigung werth ist.

Grössere Ablenkungen treten auf, wenn die Platinschaufeln nicht ganz rein sind, wenn sich irgend welche ungleichartige Flüssigkeiten auf ihrer Oberfläche befinden, was leicht zu vermeiden ist.

Diese beiden Combinationen wurden vor jeder Versuchsreihe und dazwischen zur Controle hergestellt.

Die Kette

besteht aus einem Grove'schen Becher mit best amalgamirtem Zinkcylinder, vollkommen reinem Platin, und vollkommen gutem Deckel des Diaphragma.

Ohne den letzteren ist das Andere nicht zu erhalten und damit auch nicht die Erhaltung der elektrischen Spannung so weit sie von den beiden Metallen abhängt. Denn diese ändert sich mit dem geringsten Anflug eines Kupferniederschlags auf dem Platin. So sehr sich dies von selbst versteht, so wichtig ist es Acht darauf zu haben; denn die Beschaffenheit der Deckel unsrer Grove'schen Becher legt die Gefahr sehr nahe, dass sich in der Säure des Diaphragma Kupfer auflöst und auf dem Platin niederschlägt.

Bekanntlich ist das Platin dieser Elemente am oberen Ende in einen Kupferblech-Streifen geklemmt oder geniethet. Der Innenraum des Deckels ist um diese Verbindungsstelle herum mit Gips oder Schwefel oder Harzmassen ausgefüllt.

Sehr leicht bekommen diese Ausfüllungsmassen Risse oder zerbröckeln um so mehr, wenn der Deckel von Holz ist, und dieses quillt oder schwindet. Die feuchten sauren Dämpfe dringen durch die Ritzen zu dem Kupfer, condensiren sich und gerathen mit aufgelöstem Kupfer wieder auf die Platinfläche, woselbst sich sofort eine anfänglich kaum sichtbare Kupferhaut niederschlägt. Nach längerer Zeit zeigt sich dann erst oft der schillernde schwarzblaue Niederschlag. Inzwischen ändert sich die elektromotorische Kraft der Kette fortwährend.

Die Füllung meiner Becher besteht aus 1 Thl. englische Schwefelsäure auf 20 Thl. Wasser aussen, innen dagegen aus einer Mischung von 2 Thl. englische Schwefelsäure, 1 Thl. concentrirte Salpetersäure und 1 Thl. concentrirter Lösung von Salpeter und Wasser. Bei dieser Mischung sind die sonst so lästigen Dämpfe der Untersalpetersäure vollkommen vermieden, und die Erhitzung der Kette auch bei sehr kurzem

metallischen Schliessungsbogen äusserst gering, die Stromstärke ist dabei für die Dauer auch grösserer Versuchsreihen vollkommen constant.

Die Ermittlung der elektromotorischen Kraft bei Beginn und nach Beendigung jeder Versuchsreihe geschieht nach der gewöhnlichen Weise mit Hülfe der in der I. Abhandlung pag. 333 beschriebenen Tangentenboussole und unter Anwendung eines metallischen Rheostaten, welcher grosse Bequemlichkeiten in der Anwendung und grosse Sicherheit in der Bestimmung der Drahtlängen erlaubt. Ich will ihn unter dem Namen „vertikaler Metallrheostat“ beschreiben. (Fig. auf Taf. I. der II. Abhandlung.)

An einer der Länge nach halbirten Säule A A von 1 Decimeter Durchmesser, welche auf einem dicken Brett B mittelst Stützen senkrecht festgestellt ist, befindet sich ein allseitig ahornfornirtes Brett a, dessen Querschnitt ein Paralleltrapez mit 6 Cent. langer Seite und von 2 Cent. Dicke ist. Seine Höhe beträgt 12,5 Decimeter. Auf ihm sind nach Art der Claviersaiten vier dünne Drähte von verschiedenem Querschnitt und von verschiedenem Material ausgespannt, unter welchen längs des Brettes ein Schlitten s verschoben werden kann. Der Schlitten ist von schwarz polirtem Holz, und trägt einen 1 Cent. breiten Streifen starken Messingbleches b, und im Zwischenraum zwischen je zwei Drähten einen drehbaren Riegel von einer Messingfeder gebildet, durch welchen je nach Bedarf bald dieser, bald jener Draht auf den Messingstreif in eine der darauf befindlichen vier Kerben fest angedrückt werden kann. Der Messingstreif selbst geht an der Seite des Schlittens in einen starken Ring über, welcher mit einer Klemmschraube k versehen ist. Der Ring bewegt sich bei Verschiebung des Schlittens auf einer Stange von Kupferdraht w dessen Durchmesser 9 Mill. beträgt. Die Kupferstange ist zur Seite des Brettes befestigt, hat unten in ihrer Längsaxe ein Bohrloch und rechtwinklig darauf den Gang für eine Klemmschraube. Das Brett ist der Länge nach in Centimeter getheilt, der Schlitten trägt zur Ablesung der Millimeter einen Nonius. Unten ist jeder Draht in

einer kleinen Messingsäule mit Klemmschraube befestigt; ausserdem hat die Säule noch ein Bohrloch mit Klemmschraube e zur Aufnahme des einen Drahtes, welcher vom Gyrotrop G herkommt, während der in den dicken Kupferdraht einzuklemmende zur Boussole B führt.

Auf diese Weise geht der Strom vom Gyrotrop zum unteren Ende des einen oder anderen der dünnen Drähte; durch diesen zum Messingstreif auf dem Schlitten, von da durch den Messingring zum dicken Kupferdraht, und von dessen unterem Ende zu Boussole, Gyrotrop und Kette.

Mit grosser Leichtigkeit lassen sich die Drähte erneuern, wenn ihre Oberfläche nicht mehr durchaus rein sein sollte, durch Verschiebung des Schlittens ihre Länge genau messbar bis auf Bruchtheile eines Millimeters verändern und endlich durch die Klemmen jedesmal eine gleich innige Verbindung der Metalltheile herstellen. Die Widerstände in dem dicken Messingstück der Brücke auf dem Schlitten und in dem dicken Kupferdraht sind verschwindend klein gegen die in den dünnen Drähten; können ausserdem aber auch leicht bei absolut genauen Versuchen in Rechnung gezogen werden.

Was mich veranlasst hat, einen neuen Rheostaten zu construiren, trotz dem, dass schon so viele Apparate zu dem gleichen Zweck existiren, sind Erfahrungen, welche ich an dem bequemsten Instrument der Art gemacht habe, nemlich an dem von Wheatstone angegebenen cylindrischen Rheostaten, wie er auch in Müller Pouillet's Physik Bd. II. pag. 181 abgebildet ist.

Ich habe mehrere Instrumente der Art unter der Hand gehabt, und überall Missstände gefunden, welche theils beseitigt, theils nicht beseitigt werden können. Was die ersteren betrifft, so zählt dahin die hyproskopische Eigenschaft des Holzcyinders und die beträchtlichen Volumänderungen, welche derselbe je nach den Umständen der umgebenden Luft erfährt. Dieser Missstand ist durch Vertauschung mit einem Serpencylinder bereits schon beseitigt. Ein anderer Uebelstand ist

das Missverhältniss der Drahtdicke zur Tiefe der Kerbe in dem Strom zuführenden Rädchen. Es muss der Draht etwas dick genommen und dem Cylinder lieber eine etwas grössere Länge gegeben werden, damit die Kerbe ohne zu seicht zu werden, den Rändern des Rädchens verbiete, jemals den Serpencylinder zu berühren. Geschieht dieses, so ist eine Ansammlung von Serpentinaub zwischen den metallischen Berührungsstellen unvermeidlich, wodurch Hemmungen des Stromes entstehen, welche nicht *allein* von der eingeschalteten Drahtlänge herühren. Dass Draht und Rädchen vollkommen blank erhalten werden, lässt sich wohl immer erreichen, aber doch nicht leicht, ohne dass man das Instrument wenigstens theilweise auseinander nimmt.

Die unvermeidlichen Fehler des Instrumentes beruhen auf der Ungleichmässigkeit des Druckes, mit welchem die Metalltheile aneinander gepresst werden. An empfindlichen Instrumenten, an Galvanometern oder dem Froschpräparat sieht man die Wirkungen der grossen Stromschwankungen während des Umdrehens des Cylinders in hohem Grad. Fortwährende Zuckungen des Präparates begleiten auch das langsamste Abwickeln des Drahtes ebenso wie die Oscillationen der Nadel, deren Drahtwindung im Schiessungsbogen mit dem Rheostat eingeschaltet ist. Die Formveränderung, welche stellenweise der Draht durch den Druck erfährt, gehört ebenfalls zu den unvermeidlichen Fehlern, welche grossentheils schon von Jacobi bezeichnet wurden, und ihn veranlassten, sein „Quecksilber-Voltameter“¹⁾ zu construiren, und für die Fälle anzuwenden, in welchen der Rheostat als Messinstrument und nicht bloss als Stromhemmung überhaupt benützt werden soll.

Vor dem von Jacobi construirten Instrument hat der oben beschriebene vertikale Metallrheostat wesentlich den Vorzug der leichteren Handhabung und der Möglichkeit, Drähte von sehr verschiedenem Leitungs-

1) Poggendorf's Annalen LXXVIII pag. 173.

widerstand hintereinander oder je nach Bedarf einzuschalten, und für jeden genauen Versuch mit neuen leicht zu vertauschen.

Durch Beobachtung mehrerer Ablenkungswinkel an der Tangentenboussole bei verschiedenen Längen eingeschalteter dünner Drähte wurde sowohl der Widerstand im Element als auch die elektromotorische Kraft der Kette nach den bekannten Formeln bestimmt.

Unter Berücksichtigung des lokalen Werthes der richtenden Erdkraft wird die Ablenkung der Nadel durch den Strom auf chemisches Maass der Jacobi'schen Einheit reducirt.

Werden verschiedene Ketten angewendet und die Füllungen in beträchtlichem Grad geändert, so muss vor Beginn und am Ende jeder Versuchsreihe die elektromotorische Kraft und der Widerstand im Element gemessen sein, um die verschiedenen Versuchsreihen in der später anzugebenden Weise aufeinander reduciren zu können.

Combination III..

hat demgemäss alle Tasten zurückgeschlagen. Der Strom nimmt seinen Weg ausschliessend durch den Gyrotrop G' , den Rh' und die Tangentenboussole B.

Combination IV.

Niedergedrückt ist die Taste 3, 4, 5.

Der Strom geht vom Poldraht des Platins zum Rheostat Rh auf dem Weg k ; von da zu dem in Gang gesetzten Uhrwerk, zu n r der Taste 4; von der Klemme des Spiraldrahtes 4 zu β der Wippe W ; von da nach E' des Gyrotrop G , durch α' zum Nerv des Präparat P , zurück durch k' zum Gyrotrop G bei a ; aus dem Gyrotrop bei E zur Wippe W bei α ; von dort zum Spiraldraht der Taste 3 und durch r n derselben Taste zum Poldraht des Zinkes.

Diese Combination hat den Zweck, den Nerv bei dem möglichst grossen Widerstand so weit zu reizen, dass eben noch mit dem Uhrwerk isochrone Zuckungen entstehen.

Wie schon in der I. Abhandlung erwähnt worden, wird für alle Versuche die Geschwindigkeit der Stromschwankung constant erhalten. Es geschieht diess durch Regulirung des Pendels bei gleich bleibendem Stand des stets rein erhaltenen Quecksilbers in den Näpfchen n w des Uhrwerkes (P Tab. I. der I. Abhandlung). Da die Enden des Kupferbügels eben abgefeilt sind, das Quecksilber frei von jeder Oxydschicht gehalten wird, was verhindert, dass bei dem Unterbrechen des Stromes ein Quecksilberfaden am Bügel hängen bleiben und damit in wechselnder Weise ein verschieden schnelles und nicht plötzliches Aufheben der Leitung eintreten kann, so ist der Stromwechsel von Null zu dem durch die Summe der im Schliessungsbogen vorhandenen Widerstände bedingten Maximum der Stromstärke und umgekehrt bei jedem Pendelschlag ein momentaner.

Es ist aber noch die jedesmalige Stromdauer zu berücksichtigen.

Sie berechnet sich am Einfachsten mit zu Hülfnahme der geometrischen Construction. Nachdem der Abstand des einen Endes des Winkelhebels vom Drehpunkte der Pendelstange ermittelt, die Länge der Hebelarme genau gemessen und die Lage der Pendelstange in den entscheidenden Momenten ihrer Schwingung bestimmt war, wurde die in Fig. 5 dargestellte Construction entworfen.

AA' bedeutet die Pendelstange in vertikaler Lage, von wo aus die Schwingung nach EE', und von dort aus zurück nach BB' erfolgt: D ist der Drehpunkt des Pendels, γ der Endpunkt des Winkelhebels $\alpha\beta\gamma$, welcher in das Quecksilber periodisch eintaucht.

Bei der Stellung des Pendels CC' berührt γ'' eben die Quecksilberkuppe; bei der Stellung EE' kehrt der Pendel um; γ''' hat dabei

den tiefsten Stand unter der Quecksilberoberfläche erreicht. BB' ist die Stellung des Pendels, von welcher aus er den Rückschwung wieder beginnt; bezeichnet also das zweite Ende der ganzen Schwingung. Der Winkel γ''' D γ beträgt dabei 65° . Dieser Bogen wird vom Punkt γ 116mal in der Minute durchlaufen; dem entspricht eine Anzahl von 7540 Grad. Der Winkel (γ'' D γ''') beträgt 21° . Während der Punkt γ den zugehörigen Bogen beschreibt, bleibt er in Quecksilber und immer in gleicher Entfernung von dem in das Quecksilber versenkten Zu-leitungsdraht. Wenn nun 7540 Grad die Zeit von einer Minute in Anspruch nehmen, so ist die Zeit für $21^\circ = \frac{1}{339}$ Minuten oder 0,167 Sekunden.

Der Bogen von 21° wird 58 mal in der Minute doppelt, nemlich vor und nach der Umkehr des Pendels beschrieben. Die Zeitdauer, während welcher der Strom geschlossen ist, beträgt demnach jedesmal $2 \times 0,167 = 0,334$ Sekunden.

Innerhalb einer Minute ist demnach mit Unterbrechungen die Kette 19,372 Sekunden geschlossen, somit 40,628 Sekunden im Ganzen offen, also nach jeder Schliesung 0,700 Sekunden. Bei dieser Langsamkeit des Stromwechsels ist bereits schon eine gewisse Grenze überschritten, an welcher kleine Differenzen entscheidenden Einfluss haben. Ich habe mich überzeugt, dass es auf den Erfolg der Reizung keinen mehr ausübt, wenn man den Pendel statt 58mal 72 oder 22mal in der Minute hin und her schwingen lässt.

Hiemit ist schon experimentell hinlänglich der Einwurf beseitigt, welchen man anscheinend mit vielem Recht machen könnte, als wenn nemlich die Vergleichbarkeit der Versuche unter einander dadurch litte, dass bei unserer Methode der Stromunterbrechung die erforderliche Gleichmässigkeit in der Geschwindigkeit, mit welcher sie geschehen soll, unmöglich wäre.

Wenn man aber sieht, dass bei den einzelnen Versuchsreihen, in welchen dieses oder jenes Agens längere Zeit auf den Nerv einwirkt, immer und immer wieder dieselbe Curve für die geforderten Rheostatenstände sich geltend macht, und daraus eine gesetzmässige Aenderung derselbe immer wieder in demselben Sinn zum Vorschein kommt, so müsste man an ein Spiel übernatürlicher Kräfte glauben, wollte man annehmen, dass zufällig in vielen hundert Versuchen die Ungleichmässigkeit der Schliessung gerade immer zu Gunsten einer bestimmten Reihenfolge und zwar je nach dem Agens, welchem der Nerv ausgesetzt war, in dieser oder der entgegengesetzten Richtung sich geltend gemacht hätte.

Doch habe ich mich dabei keineswegs beruhigt; ich habe wie eben erwähnt, den Pendel bald schnell, bald drei ein halbmal langsamer schwingen lassen, und aufs genaueste den hiefür erforderlichen Rheostatenstand aufgesucht. Geschah der Wechsel der Geschwindigkeit schnell genug, so traf ich genau immer wieder auf denselben Punkt des Rheostaten. In allen vergleichenden Versuchen geschah die Stromunterbrechung immer durch Pendelschwingungen, welche sich 58mal in der Minute wiederholten. Unmöglich konnte je dabei die Differenz der Geschwindigkeit so gross werden, wie in den Versuchen, in welchen man den Pendel bald 77 bald 22mal in der Minute schwingen liess.

Für den *einmaligen* Schluss oder die *einmalige* Oeffnung der Kette ist unter den Verhältnissen, unter welchen wir experimentirten, und innerhalb gewisser Grenzen, welche dabei nicht überschritten wurden, die Geschwindigkeit in der That gleichgültig.

Wenn die Quecksilbertheilchen (im Napf und am amalgamirten Bügel des Pendels) sich berühren, ist die Kette geschlossen, wenn nicht ist sie offen. Berühren und nicht berühren duldet keinen successiven Uebergang, sondern es erfolgt das Eine wie das Andere momentan. Nichts ist dabei einer wachsenden und möglicher Weise mit verschie-

dener Geschwindigkeit wachsenden Vergrösserung fähig als die Innigkeit der Berührung der Metalltheile.

Ausserdem kann nur noch die Veränderung im Querschnitt der metallischen Berührungsstelle eine successive Ab- oder Zunahme der Stromstärke bedingen.

Diese Einflüsse sind von entschiedener Wichtigkeit bei geringeren Widerständen im Schliessungsbogen, irrelevant bei sehr grossen. Denn wenn die Berührung zweier Metalle auch noch so leise ist, so ist an dieser Stelle der Uebergang des Stromes von einem Punkt zum andern doch unendlich mal viel leichter als von einem Flüssigkeitstheilchen zum andern.

Ich habe mich experimentell auch hievon überzeugt. Ich benützte die Combination VII. und stellte den Rheostat so ein, dass der Widerstand im Schliessungsbogen = 55000000 Meter Kupferdraht gleich war. Die Ablenkung der Nadel am Galvanometer betrug 17° , wenn der Bügel am Uhrwerk ganz im Quecksilber untertauchte. Der Bügel wurde jetzt möglichst langsam gehoben, bis zuletzt zwischen seinem Ende und dem Niveau des Quecksilbers im Napf ein sehr spitzer Kegel von Quecksilber durch Adhäsion gebildet, die Verbindungsbrücke darstellte. Die Nadel wich nicht im Geringsten von ihrem Stand.

Nun wurde ein Kupferdraht von 0,007 □ Millim. Querschnitt nicht sehr fest um den Bügel gewickelt und sein anderes Ende auf das Quecksilber einfach aufgelegt, auch dabei blieb die Nadelablenkung genau so gross, wie bei völligem Untertauchen des starken Kupferbügels unter das Quecksilber-Niveau.

Ganz anders ist diess freilich, wenn man den Strom einer Kette durch den Ring einer Tangentenboussole schickt, wobei Unterschiede von mehreren Graden der Ablenkung zum Vorschein kommen, je nachdem man die Klemmschrauben der Drähte stärker oder weniger stark anzieht.

Ebenso würden in unseren Versuchen die auffallendsten Unregelmässigkeiten auftreten, wenn man Oeffnen und Schliessen der Kette durch Schichten sehr schlecht leitender Flüssigkeiten besorgen liesse. In der That lässt sich zeigen, dass sich, wie schon sonst bekannt ist, durch verschieden schnelles Auf- oder Abbewegen des Rheostatendrahtes die manchfachsten Erfolge auf gleicher Höhe der Flüssigkeitssäule erzielen lassen. Eben daher auch die von mir gegebene Vorschrift bei den Versuchen den Rheostatendraht ruckweise stets nur bei dem Rückschwung des Pendels, nie während die Kette geschlossen ist, zu bewegen.

Die Unterschiede; welche durch die Geschwindigkeit des Stromwechsels erzeugt werden, sollen später Gegenstand ausführlicher Darlegung werden; hier musste ich nur angeben, in welchen Zeiten bei allen bisher mitgetheilten und späteren Versuchen dieser Wechsel stattgefunden hatte, und dass kleinere Abweichungen davon *ceteris paribus* nichts an dem Erfolg der Reizung ändern.

Ich schalte an dieser Stelle eine interessante Wahrnehmung ein, welche man in Beziehung auf die Geschwindigkeit machen kann, mit welcher unter Umständen durch galvanische Ströme die Muskelzuckung erzeugt wird.

Man denke sich einen Apparat ähnlich dem Fallbrett bei dem elektrischen Chronoskop nach der Hipp'schen Construction. Durch das Auf-
fallen der Kugel auf dem Brett werde der primäre Strom einer Inductions-
vorrichtung unterbrochen. In demselben Moment geht der Oeffnungs-
schlag der Spirale durch den Nerv und erzeugt in dem zugehörigen
Muskel eine Zuckung. In diesem Fall *sieht* man die Muskelzuckung
genau in demselben Moment, in welchem man das Aufschlagen der
Kugel auf dem Brett *hört*.

Macht man den Versuch aber so, dass ein Inductionsstrom durch
den Nerv geht in dem Moment, in welchem man die Fallzange öffnet,

und ein *zweiter* in dem Moment, in welchem die Kugel auf dem Brett aufschlägt, so sieht man die zweite Zuckung um ein Merkliches früher als man den dumpfen Schlag der Kugel hört. Vier Beobachter haben ziemlich übereinstimmend die Zeitdifferenz zwischen Sehen der Zuckung und Hören des Schlages auf mehr als $\frac{1}{4}$ Sekunde geschätzt.

Man hat sich überzeugt, dass die zweite Zuckung nicht entsteht, wenn die Kugel nicht auffällt. Die Zuckung *kann* nicht früher entstehen, als bis die Kugel durch ihr Auffallen den Kreis der primären Kette geöffnet hat; man sollte erwarten, dass man eher die Zuckung etwas verspätet eintreten sähe.

Die Fortpflanzung des Schalles durch die Luft und die dadurch etwa erzeugte Verzögerung des Hörens wurde beseitigt, indem man das Fallbrett mittelst eines angeschraubten Metallstabes direkt mit den Kopfknochen durch die Zähne bei verstopften Ohren in Verbindung setzte, und dadurch den Schall bloss durch feste Theile zum Gehörnerv sich fortpflanzen liess. Der Erfolg war derselbe.

Beruhete diese grosse Differenz auf einem Unterschied in der nervösen Leitung des opticus und acusticus bis zur Vollendung der entsprechenden Sinneswahrnehmung, so hätte sie schon bei tausend anderen Beobachtungen auffallen müssen, bei welchen wir gleichzeitig hören und sehen. Diess ist aber nicht der Fall und es können in dem speciellen Fall nur ganz bestimmte zusammentreffende Umstände das Phänomen bedingen.

Das erste ist, dass die Trägheit der Muskelmasse bereits überwunden sein muss; denn unbedingtes Erforderniss ist, dass bei Beginn der zweiten Zuckung die Ruhe im Muskel nach der ersten Zuckung noch nicht vollkommen wieder hergestellt sei.

Zweitens: was man bei dem Auffallen der Kugel hört, ist ein zusammengesetztes Geräusch, dessen Gesamtwirkung man mit „Patschen“

bezeichnen kann. Achtet man genau auf Zuckung und Geräusch, so hört man allerdings etwas bei dem Eintritt der zweiten Zuckung, allein das ist nicht das volle, mehr dumpfe Geräusch, sondern ein hoher, leiser klingender Ton.

Der Ort, wo die Kugel auffällt, hat um diess genauer zu bezeichnen, folgende Beschaffenheit. Ein Metallteller wird mittelst einer Spiralfeder gegen einen Holzring von unten angedrückt, in welchem die Klemmschrauben für die Zuleitungsdrähte versenkt sind. Die Feder presst mit mässigem Druck den Metallteller an die unteren Enden der Klemmen, wobei dann der Strom von der einen Klemme durch den Teller zur anderen Klemme geht. Die Kugel wiegt c. 45 Gramm und fällt 6'' herab. Ihr Stoss wird sofort von der Spiralfeder aufgenommen. Die Kugel fällt wie auf ein elastisches Polster. In dem Moment, in welchem sie im Fall den Teller berührt, ist wohl der Strom unterbrochen, allein das Geräusch des Aufschlagens bildet sich eigentlich erst mit dem Maximum der elastischen Rückwirkung der Feder, welches zu seiner Entwicklung eine gewisse Zeit erfordert. Im ersten Moment hört man nichts als ganz leise den Metallklang, aber auch nur bei der grössten Aufmerksamkeit. Der Gesamteindruck des Geräusches, welcher durch seine Stärke den leisen Anfang überhören lässt, wenn man nicht ganz besonders aufmerksam darauf ist, folgt dem Gesichtseindruck, welchen der Anfang der zweiten Zuckung macht, nach.

Wenn man bedenkt, dass die grössere Mehrzahl der Töne unserer musikalischen Instrumente zusammengesetzte Geräusche sind, dass die Massen, welche zu tönenden Schwingungen dabei in Bewegung gesetzt werden müssen, sehr verschiedene Trägheitsmomente haben, so sieht man, dass sich die Muskelzuckungen auch dazu verwenden lassen unter den geeigneten Anordnungen des Experimentes die Entstehungszeit der einzelnen Töne verschiedener Instrumente zu ermitteln, zumal bereits die Mittel gegeben sind, die Entstehungszeit der Zuckungen gleichzeitig zu bestimmen.

Hier genüge nur auf diese Versuche hingedeutet zu haben, welche mehr Zeit in Anspruch nehmen, als ich bis jetzt darauf verwenden konnte.

Nach dieser Abschweifung gehe ich zu weiteren Punkten über, welche bei der Combination IV berücksichtigt sein wollen.

Sie betreffen erstens die Schärfe, welche die Versuche zulassen, zweitens die Controle durch andere Methoden, drittens die Vergleichbarkeit der Versuche unter einander.

1) die Schärfe des Versuches

ist abhängig einerseits von dem Maass der Genauigkeit, mit welcher man den ersten Eintritt der Zuckung bestimmen kann, andererseits von dem Werth der entscheidenden Einstellung des Rheostaten für den Beginn der Zuckung gegenüber deren Ausbleiben oder auffallenden Verstärkung.

Aus der I. Abhandlung weiss man bereits, dass das Maass der Muskelverkürzung durch keinen bestimmten Apparat, etwa durch ein Kymographion aufgesucht wird; es sind die Gründe entwickelt, aus welchen diess bei unseren Versuchen unterlassen wird. Man beobachtet nur, ob überhaupt eine leise aber bei jedem Pendelschlag wiederkehrende Zuckung entsteht.

Es kann nicht nachdrücklich genug hervorgehoben werden, dass man den *regelmässigen* Isochronismus der Zuckungen mit dem Gang des Uhrwerkes bei der Einstellung des Rheostat verlange. Es kommen leider besonders zu gewissen Jahreszeiten häufig Präparate vor, bei welchen es unmöglich ist feine und sichere Auslösungen der Muskelkräfte zu erzielen. Die Zuckungen setzen bald nur einmal nach dem ersten oder zweiten Pendelschlag aus, bald kommen sie regelmässig drei, vier mal, setzen dann eben so oft wieder aus, um darauf eine kurze, wieder regelmässige Periode zu zeigen. Meist sind dann die Zuckungen schleu-

dernd, heftig und man ist in vollkommener Unsicherheit in der Wahl des Rheostatenstandes. Solche Präparate müssen sofort verworfen werden, wobei es freilich oft vorkommt, dass man viele Thiere hintereinander schlachten muss, bis man zu den Versuchen brauchbare Präparate gewinnt. Bei der grossen Unbequemlichkeit, welche dieser Umstand hat, lässt sich denken, dass ich Alles aufbot, seine Ursachen zu ermitteln, allein leider ist mir diess noch nicht gelungen.

In der Mehrzahl der Fälle steigert sich sichtlich die Heftigkeit der Zuckung mit der Verminderung der Widerstände im Rheostaten, wenn auch bis jetzt noch nicht das Gesetz ermittelt ist, nach welchem die Steigerung erfolgt. Bei vergleichenden Versuchen kann sich offenbar dadurch ein Fehler einschleichen, dass man einmal den Widerstand für eine etwas schwächere, das anderemal für eine etwas stärkere Zuckung aufsucht. An sich ist dieser Fehler schon dadurch sehr beschränkt, dass man sich *nur* daran hält, ob die Zuckungen regelmässig isochron mit dem Gang des Uhrwerkes auftreten, zum Zweiten, dass man den Rheostatenstand sucht, welcher eben den Eintritt jeder Zuckung verhindert, und aus beiden Rheostatenständen das Mittel zieht.

Ich habe aber noch besonders für die für das Auge extremsten Fälle nemlich für den leisesten Anfang der Zuckung und das heftigste Schleudern des ganzen Präparates die Rheostatenstände aufgesucht und berechnet, wie weit dann die entscheidenden Zahlen auseinanderweichen.

Ich setze eine kleine Reihe dieser Versuche hieher.

Rheostatenstände in Centimentern

	A	B
	für die schwächsten	für die stärksten
	Zuckungen	
1)	68,5	42,5
2)	46,5	32,3
3)	33,5	23
4)	32	13

Untersucht man für diese Fälle die Werthe des Widerstandes in dem gesammten Schliessungsbogen der Kette, so ergeben sich zwischen A und B nachstehende Verhältnisse

1) 1: 1,3

2) 1: 1,08

3) 1: 1,28

4) 1: 1,53

Im Mittel aus Maximum und Minimum 1: 1,305.

Bedenkt man, dass dieses Verhältniss die extremsten Maasse der Muskelverkürzung in sich schliesst, so wird man überzeugt sein dürfen, dass der Fehler, welchen man bei zwei mit einander verglichenen Beobachtungen begeht, nicht $\frac{1}{100}$ übersteigt.

Eine zweite Fehlerquelle könnte darin liegen, dass man nicht immer den gleichen Muskel zur Beobachtung wählt.

Man sollte von vorne herein erwarten, dass man gerade darauf aufs Strengste sehen müsste.

Längere Beschäftigung mit unserem Gegenstande lehrt aber gerade das Gegentheil. Ja es gibt Hunderte von Fällen, in welchen diess gar nicht möglich ist. Manche Muskeln zucken auch bei den niedrigsten Rheostatenständen gar nicht, wenn andere desselben Präparates bei sehr hohen zucken. Es nützt nichts den Nerv mit anderen Punkten auf die Poldrähte aufzulegen — man erzwingt dadurch keine Zuckung. Dass der Grund hievon wesentlich in den Muskeln liegt, dürfte aus folgenden Erfahrungen hervorgehen.

Unter der grossen Menge von Präparaten, welche den Reizversuchen unterworfen wurden, zeigten sich in der bei Weitem grössten Anzahl von Fällen die ersten Zuckungen in den kleinsten Muskeln des Tarsus, trotzdem dass die Berührungsfläche von Nerv und Poldrähnten dem Zufall allein überlassen, unendlich oft wechselte. Diess setzt voraus, dass bei unserer Applicationsweise die Summe der Nervenfasern

zwischen den Platinschaufeln von dem galvanischen Strom gereizt worden, lehrt aber auch weiter, dass am leichtesten sichtbare Zuckungen in denjenigen Muskeln entstehen, welche die geringste Masse besitzen.

Es ist in der zweiten Abhandlung erwähnt worden, dass es Muskelverkürzungen gibt, welche nicht nothwendiger Weise eine Bewegung der Skelettheile gegen einander bewerkstelligen, und man weiss, dass möglicher Weise ganz vereinzelte Bündel eines Muskels in Zuckung gerathen können, wenn ihre Nervenfasern gereizt werden. Trotz dieser Möglichkeit sieht man aber doch bei weit aus der grösseren Anzahl der Reizversuche, so wie wir sie anstellen, überhaupt Zuckungen früher in den kleinen Zehenmuskeln als in den Bündeln des gastrocnemius oder eines anderen grösseren Unterschenkelmuskels. Ob diess mit einem bestimmten Verhältniss der Mengen von Nervenfasern zu der Muskelmasse zusammenhängt oder in anderen in dem Muskel selbst gelegenen Ursachen begründet ist, kann ich noch nicht entscheiden; ebenso wenig, ob es erlaubt ist, hierbei an den Unterschied in der Beweglichkeit kleinerer und grösserer Thiere zu erinnern und daraus eine Parallele zu ziehen. Auffallend war mir nur in dieser Beziehung, dass die Durchmesser der Nerven in gar keinem Verhältniss zur Masse der von ihnen beherrschten Muskeln wechseln, sicher also in zwei mit einander verglichenen Thieren die Summen von Nervensubstanz zu den Summen der zugehörigen Muskelfibrillen der Masse nach nicht in demselben Verhältniss angetroffen werden.

Wenn aber in ein und demselben Präparat ausser den Tarsusmuskeln noch andere, auch grössere Muskeln zuckungsfähig sind, so erfolgt die Contraction aller bei Rheostatenständen, welche sehr nahe beisammen liegen. Hierüber habe ich mir zum Oeftesten Gewissheit verschafft.

Ausserdem aber kommt man dem zur Vergleichung streng geforderten Rheostatenstand auch hier wieder am nächsten, wenn man das Mittel aus den beiden nimmt, von welchen der eine eben ausreicht, die

Zuckungen eintreten zu lassen,, und der andere gross genug ist, eben ihren Eintritt gänzlich zu verhindern.

Prüft man aber überhaupt die Methode näher, bei welcher man sich nicht ganz bestimmt immer an *einen* Muskel des Präparates hält, dessen Gesamtnerv der Reizung ausgesetzt wird, wenn man auch sucht den Anhaltspunkt an einem bestimmten Muskel wo immer möglich festzuhalten, so liegt darin nichts Verfängliches.

Man will den Widerstand aufsuchen, welcher eben ausreicht Muskelzuckung zu veranlassen. Könnte man bei ein und demselben Präparat Primitivfaser für Primitivfaser mit ihrem zugehörigen Muskelbündel einzeln nacheinander reizen, so würde man die gestellte Frage am sichersten dadurch lösen, dass man die Durchschnittszahl aus den für die einzelnen Fasern gefundenen Rheostatenständen aufsuchte und deren Werth für die gesuchte Grösse setzte. Man würde sich dabei auch nicht an diesen oder jenen Muskelbündel halten, sondern ganz davon abstrahiren auf welchen Bündel oder auf welche Nervenfasern die gefundene Mittelzahl trafe. Dasselbe geschieht aber in unserem Versuch mit dem einzigen Unterschied, dass nicht Faser für Faser gereizt wird, sondern ihre ganze Summe mit einem mal und dass der dabei aufgefundenene Rheostatenstand jene Mittelzahl unmittelbar angibt.

Der andere Punkt betrifft die Genauigkeit, mit welcher man bei zwei hinter einander angestellten Versuchen den zuerst aufgefundenen Rheostatenstand wieder erreicht. Was vorausgesetzt werden muss, dass man zweimal hinter einander genau wieder auf denselben Rheostatenstand komme, ist, dass sich in der Zwischenzeit nichts an der Functionsfähigkeit und physikalischen Beschaffenheit des Nerv geändert habe. Wenn das Letztere, die physikalische Beschaffenheit auch weder durch Maass noch durch Gewicht nachweisbar verändert worden, so gibt es gewiss mancherlei andere Beziehungen, welche nicht auffindbar, aber doch gross genug sind, die Functionsfähigkeit des Nerv zu ändern, was

denn auch erwiesener Massen Schritt für Schritt bei dem Absterben der Nerven auch bei gleich bleibendem Wassergehalt eintritt.

Das ist der Grund, wesshalb man auch bei zwei schnell hinter einander angestellten Versuchen selten ganz genau auf den alten Rheostatenstand wieder kommt; in der Regel findet man eine Differenz von $\frac{1}{2}$ — 1 Centim., wenn der Rheostat mit Wasser gefüllt ist.

Dass daran nicht die Methode Schuld ist, ergibt sich aus verschiedenen Thatsachen. Erstens beobachtet man einzelne Zustände der Nerven, in welchen äussere Einflüsse einen gewissen Beharrungszustand in der Erregbarkeit hervorrufen. Dieser dauert viertel, halbe oft ganze Stunden, wenn auch wie sonst alle 5 Minuten gereizt wird. Solche Zustände treten ein auf gewissen Stufen der Austrocknung, in gewissen Stadien der Erholung aus der Narkose durch Aether und ähnliche Dämpfe, nach Durchschneidung des Nerv an gewissen Stellen seines Verlaufes, auf gewissen Stufen des natürlichen Absterbens.

Zweitens müsste, wenn die Methode die Schuld trüge, bei gleichem Stand des mit der gleichen Flüssigkeit gefüllten Rheostaten die Nadel eines sehr empfindlichen Galvanometers verschiedene Ablenkungswinkel zeigen. Wie wenig dies der Fall ist, wenn man sorgfältig auf die Erhaltung der Gleichartigkeit in der Reinheit und Beschaffenheit der Kette und ihrer Füllung achtet, möge durch einige Versuche aus dem Beobachtungsjournal erhärtet werden.

1) Untersucht wurde Rheostatenstand und Ablenkung in Intervallen von 10 Minuten:

Rheostatenstände:							60	in Cen-
13°							timeter	
Ablenkungen:	24°	29,6°	35,5°	13,5°	10,7°	17,25°	23,5°	
	24°	29,6°	35,5°	13,5°			23,5°	
		29,6°	35,5°		10,7°	17,25°		

2) Untersucht wurden die Rheostatenstände und Ablenkungen in Intervallen von 12 Stunden:

Ablenkungswinkel:	57°	63°	61°	58°	68°	65,5°	
Rheostatenstände	91	83	78,4	92,9	64	73	in Cen- timeter.
	91	83	78,4	92,9	63,9	72,9	
			78,4	92,9			
			78,4				

Solcher Gestalt blieben die Ablenkungswinkel bei den gleichen Rheostatenständen noch innerhalb 2—3mal 24 Stunden constant, wenn selbst die Becher dazwischen umgeleert, gereinigt und mit frischen Flüssigkeiten wieder gefüllt worden waren; ja selbst nach 8 Monaten kam man bei gleichen Rheostatenständen und Füllungen der Röhren wieder auf die alten Ablenkungswinkel und wenn auch bei Wechsel der Becher etwas andere Winkel entstanden, so blieb das Verhältniss zwischen ihnen und den jeweiligen Rheostatenständen genau constant, wovon später noch ausführlich die Rede sein wird.

Wir wollen die Sicherheit der Beobachtung für zwei hinter einander angestellte Reiz-Versuche bei den mittleren Graden der Erregbarkeit nicht höher als zu 1 Centimeter der Rheostatenablösung annehmen; dann lässt sich die Rechnung folgender Weise weiter führen:

Bei dem mittleren Querschnitt der frischen Nerven ist der Leitungswiderstand ihrer Substanz bei 5 Millimeter Länge

$$= 5618193 \text{ Meter Silberdraht} = N$$

Der Widerstand von 1 Centimeter Wassersäule in unserem Rheostaten ist

$$= 7840000 \text{ Meter Silberdraht.}$$

Das Mittel der anfänglichen Reizbarkeit isoliter Nerven gestattet einen Widerstand von 120 Centimeter Wassersäule. Dieser ist

$$= 156800000 \text{ Meter Silberdraht} = Rh.$$

Der Gesamtwiderstand im Schliessungsbogen ohne den verschwindend kleinen in dem metallischen Theil der Leitung wird demnach

$$N + Rh$$

$$= 946418193$$

Diese Summe $= 1$ gesetzt gibt dividirt in die Höhe derjenigen Flüssigkeitssäule, deren Zu- oder Wegnahme Entstehen oder Ausbleiben der Zuckung bedingt, das Maass für den aliquoten Theil des Gesamtwiderstandes, welcher den unzweideutigen Ausschlag der Nervenirregung zur Erzielung einer Zuckung erzeugt.

Die Rheostatenstände dürfen den Beobachtungen zur Folge nicht um $\frac{1}{2}$ Centimeter verändert werden, um das Eine oder Andere erfolgen zu lassen. Setzen wir aber als sichere Beobachtungsgrenze 1 Centimeter, so ist der aliquote Theil des Gesamtwiderstandes, um welchen er geändert werden darf

$$= \frac{7840000}{946418193} = 0,008$$

Diess ist also die Grenze der Genauigkeit, welcher die Bestimmung des aufgesuchten Widerstandes bei den mittleren Graden der Reizbarkeit fähig ist.

Nun wissen wir aber, dass es Reizzustände gibt, in welchen die Widerstände bis auf 3.780.000.000 Mcter gesteigert werden dürfen, und wobei die Grenze des Fehlers noch immer auf 14680000 Meter eingengt bleibt; diess gibt aber für den Gesamtleitungswiderstand den Bruchtheil von 0,004.

2) Die Controle durch andere Methoden.

Die Bestimmung der Stromstärke bei den Versuchen mit dem feuchten Rheostaten hängt wesentlich von der der Widerstände in dem letzteren ab. Natur und Temperatur der Flüssigkeit, Querschnitt derselben, Beschaffenheit der Drähte, welche mit ihr in Berührung kommen, Eigen-

thümlichkeit des Galvanometers mit Doppelnadel als Messinstrument und Polarisation verlangt eine so grosse Umsicht in den Versuchen, eine Menge Correcturen und so viele Controlen, dass es durchaus erforderlich ist, einen derartigen Reizversuch mit einem anderen öfter zu vergleichen, bei welchen der feuchte Rheostat durch einen metallischen ersetzt ist, bei welchem die Messungen der Widerstände mit der Tangentenboussole gemacht sind, kurz nach einer Methode, bei welcher die für den Werth der Stromstärke entscheidenden Factoren durch andere und mit leichter zu umgehenden Fehlerquellen behaftete Hilfsmittel gemessen werden.

Den feuchten Rheostaten direkt mit einem metallischen zu vertauschen, was das Einfachste schiene, ist nicht gut ausführbar, weil man, wie schon früher bemerkt, dazu einer schwer zu bewältigenden Drahtmasse bedürfte.

Die anderen Methoden sind 1) solche, bei welchen die Anwendung eines feuchten Rheostaten ganz ausgeschlossen ist, das Princip aber beibehalten wird; 2) solche, bei welchen die Kettenströme vertauscht werden mit Inductionsstössen, deren physikalischer Werth in jeder Beziehung constant erhalten bleibt, während die Erregbarkeit an der Grösse der Muskelverkürzung gemessen wird. Hier ist also das Princip des Versuches geändert.

Die erste Classe von Versuchen zerfällt in zwei Reihen. Entweder man wendet *eine* Kette an und regulirt eine metallische Nebenschliessung so weit bis der in der Hauptbahn eingeschaltete Nerv den Reiz eben bei der Stromschwankung beantwortet. Oder man benützt zwei Elemente, deren Ströme man in entgegengesetzter Richtung vollkommen gleichzeitig durch den Nerv schickt, und regulirt dabei wieder die Differenz ihrer Stärken so lange bis das Präparat eben zuckt.

Die Anordnung des Versuches ist aus Fig. 6 ersichtlich.

EI und EN sind zwei Elemente, Rh Rh Rh Rh vier Eisenlohr'sche Rheostaten Sp Rh ein Wheatston'scher Rheostat mit Serpencylinder, U das Uhrwerk zur Unterbrechung der Ströme, k k' zwei Klemmen, durch welche entweder ein Galvanometer mit einfacher Nadel, oder statt dessen der Nerv des Präparates P in den Schliessungsbogen eingeschaltet werden kann. Die beiden Ströme gehen in den durch Pfeile angezeigten Richtungen und laufen auf dem beiden gemeinschaftlichen Weg hinter dem Uhrwerk (U k G k') in entgegengesetzter Richtung. Ist der Pendel umgelegt und in Ruhe, so weicht die Magnetnadel nicht von der Nulllinie, so lange beide Ströme genau gleich sind.

Ist das Uhrwerk im Gange, so unterbricht die Pendelschwingung wie man sieht, beide Ströme gleichzeitig und genau in der gleichen Weise, wobei auch keine Zuckung entsteht, so lange beide Ströme innerhalb gewisser Grenzen gleich stark bleiben. Damit Zuckung entstehe, gehört für einen bestimmten Erregbarkeitsgrad ein bestimmter Ueberschuss der Stromstärke auf der Seite des einen oder anderen Elementes und dieser Ueberschuss ist die gesuchte Stromstärke, welche bei der gegebenen Geschwindigkeit der Stromschwankung eben Zuckung zu erzeugen vermag.

In beiden Fällen hat die Berechnung einige Schwierigkeiten, welche ich für die letztere Methode noch nicht ganz habe überwinden können. Ich begnügte mich damit, in einer grossen Anzahl von Fällen die Sicherheit gewonnen zu haben, dass der Bruchtheil der Ströme in Beziehung auf seine Intensität bei gleicher Reizbarkeit des Präparates gleich derjenigen des Stromes war, welcher durch den Rheostat zum Nerv geschickt wurde, weil die galvanometrischen Effecte gleich waren. Da die Geschwindigkeit der Stromschwankung durch den gleichen Mechanismus ausgeführt, ebenfalls in je immer drei zusammengehörigen Versuchen gleich war, so war erwiesen, dass durch die Anwendung des feuchten Rheostaten bei der gewöhnlichen Methode keine Fehlerquelle eingeführt wird.

Wendet man gleich starke Inductionsströme an, und hält man sich dabei an die Differenzen in der Stärke der Muskelzuckung, so findet man, dass diese überall da wächst, wo man nach der anderen Methode die Widerstände des Kettenstromes zu steigern hat. Die feineren Abstufungen der Unterschiede in der Erregbarkeit bleiben dabei aber weniger leicht zu erkennen.

3) *Die Vergleichbarkeit der Versuche untereinander*

ist da, wo es wesentlich auf Differenzbeobachtungen ankommt, wie in fast allen diesen Reizversuchen einer der wichtigsten Punkte.

Es verlangt diess eine strenge Untersuchung der Umstände, an welchen möglicher Weise die Vergleichbarkeit scheitern kann, und der experimentellen und mathematischen Hilfsmittel, durch welche sich trotz dem die Versuche untereinander comparabel machen lassen.

Es ist unmöglich, unter absolut gleichen Umständen an zwei Nerven zu experimentiren; theils schon bekannte, theils später noch mitzutheilende Vorgänge in den Nerven, welche sich unaufhaltsam ändern, tragen hiebei die Schuld. Die Differenzen der elektrischen Leitungsgüte und der Dimensionen werden wir oft als mehr untergeordnet dagegen kennen lernen. Das Entscheidende bildet der in seinen physikalischen Ursachen noch nicht hinlänglich enthüllte Erregbarkeitsgrad des gereizten Nervenstückes. Es wird sich zeigen, wie complicirt die Verhältnisse sind, welche sich dabei geltend machen.

Unter solchen Umständen lag der Gedanke nahe, künstlich bestimmte Reizbarkeitsgrade hervorzurufen, welche für sich etwas längere Zeit bestehen, und innerhalb welcher man weitere Agentien in Anwendung bringt, um deren Einfluss auf die Reizbarkeit immer von dem gleichen Maass ausgehend zu prüfen, um so mehr, als bei den Versuchen mit Aether und Alkohol-Dämpfen derartige Beharrungszustände der Reizbarkeit zufällig aufgefunden worden waren.

So fand sich beispielsweise, nachdem die Aethernarkose vorüber war, und sich die Nerven wieder in feuchter atmosphärischer Luft erholten

- 1) 1 Stunde 5 Minuten lang der Rheostatenstand zwischen 64 und 66 Centimetern.
- 2) 3 Stunden 19 Minuten lang der Rheostatenstand 65 Centim.
- 3) 1 Stunde 7 Minuten lang der Rheostatenstand 100 Centim.
- 4) 50 Minuten lang der Rheostatenstand 145 Centim.
- 5) 45 Minuten lang der Rheostatenstand 80 Centim., nachdem der Nerv aus Alkoholdampf in atmosphärische Luft zurückgebracht worden.

Wäre es immer derselbe Rheostatenstand, welcher zeitweise so lang fort bei jeder Reizung verlangt würde, so hätte man wenigstens ein Mittel, gleiche Ausgangspunkte der Erregbarkeit zu erzielen, von welchen aus der Einfluss neuer Agentien bestimmt werden könnte, wenn man es dabei auch nicht mit den normalen, sondern schon mit anderweitig hervorgerufenen Zuständen der Nerven zu thun hätte.

Da diess aber nicht der Fall ist, so habe ich mich nach anderen Mitteln umgesehen, constante Reizbarkeitsgrade zeitweise künstlich zu erzeugen. Eine derartige Versuchsreihe theile ich hier mit, welche, wenn auch nicht den angedeuteten Zwecken entsprechend, anderweitiges Interesse darbietet.

Da die Nerven, wenn sie eine Zeit lang der Quellung ausgesetzt waren, bei nachherigem Austrocknen, wenn auch nicht so schnell wie frische die verschiedensten Stufen der bereits schon sehr verminderten Erregbarkeit gewinnen können, so schien es zweckmässig zu prüfen, ob man irgend eine dieser Stufen dadurch festhalten könnte, dass man das Präparat, wenn dieselbe erreicht war, sofort in einen mit Wasserdunst gesättigten Raum brachte, in welchem jede weitere Austrocknung unmöglich gemacht war.

Dies war jedoch nicht zu erwirken, wesentlich aber wird dadurch die in der I. Abhandlung ermittelte Curve der Reizbarkeit, welche für austrocknende Nerven gilt, modificirt.

Ich werde zunächst die Versuche mittheilen, in welchen intermittierend ein aufsteigender Strom durch den Nerv ging, und der Rheostat mit Wasser gefüllt war. Die dazu verwendeten Apparate waren die Fig. A Taf. I. der I. Abhandlung abgebildeten, wobei der Teller t auf den Klötzen stand, wenn der Nerv austrocknen sollte, dagegen auf ein mit Wasserdunst gefülltes Gefäss gesetzt wurde, sobald die weitere Vertrocknung verhindert werden sollte.

V e r s u c h I.

Z e i t		Rheostat	Natur der Zuckung		B e m e r k u n g e n.
Stunde	Minute u. Sekunde		Schlies- sungs- Z u c k u n g	Öff- nungs- Z u c k u n g	
11	3' 45"	7,8	+	0	Beginn der Austrocknung.
11	6'	17	+	0	
11	11' 45"	17	+	0	
11	13' 20"	32	+	0	
11	14'	70,5	+	0	
11	15' 45"				Es treten heftige spontane Zuckungen ein. Das Präparat kommt in den mit Wasserdunst erfüllten Raum.
11	19'	72	+	+	
11	21' 30"	59	+	0	Die spontanen Zuckungen dauern fort.
11	24' 50"	121,7	+	+	
11	31' 50"	106	+	+	

Z e i t		Rheostat	Natur der Zuckung		B e m e r k u n g e n.
Stunde	Minute u. Sekunde		Schlies- sungs- Z u c k u n g	Oeff- nungs- Z u c k u n g	
11	38' 55"	106	+	+	Die spontanen Zuckungen hören auf.
11	39' 5"	67	+	+	
11	41' 10"	67	+	+	
11	41' 45"	45	+	+	
11	44'	31	+	0	
11	45' 20"				Der Nerv wird aufs Neue dem Austrocknen ausgesetzt.
11	48' 50"	78	+	0	
11	57' 10"	68	0	+	
12	2' 5"	136	0	+	Spontane Zuckungen treten keine mehr auf.
12	2' 45"	70	0	+	
12	2' 50"	40	0	+	

V e r s u c h II.

10	21' 30"	0	+	0	
10	22'				Beginn der Austrocknung.
10	23' 40"	37	+	0	
10	24' 10"	80	+	0	
10	25' 10"				Der Nerv kommt in den vor weiteren Wasserverlust schützenden Apparat.
10	27' 10"	171	0	0	Es treten spontane Zuckungen auf.
10	30' 10"	333	+	0	

Z e i t		Rheostat	Natur der Zuckung		B e m e r k u n g e n.
Stunde	Minute u. Sekunde		Schlies- sungs- Z u c k u n g	Oeff- nungs- Z u c k u n g	
10	37'	305	+	0	Die spontanen Zuckungen las- sen nach.
10	39' 45"	134	+	0	Die spontanen Zuckungen ganz schwach.
10	41' 55"	140	+	0	Die spontanen Zuckungen kaum merklich.
10	49' 30"	119	+	0	
10	56' 30"	119	+	0	
11	1' 30"	119	+	0	
11	7' 31"	119	+	0	
11	13' 30"	119	+	0	Die spontanen Zuckungen nur ganz schwach in einigen Tar- susmuskeln.
11	18' 30"	119	+	0	
11	23' 30"	119	+	0	
11	25'	73	+	0	Die spontanen Zuckungen ha- ben ganz aufgehört.
11	30'	73	+	0	
11	35'	73	+	0	
11	36' 35"	50	+	0	
11	41' 35"	50	+	0	
11	46' 35"	30	+	0	
11	48' 15"	30	+	0	
11	53' 15"	30	+	+(schwach)	
11	58' 15"	30	+	0	
12	6' 30"	30	+	+	

Z e i t		Rheostat	Natur der Zuckung		B e m e r k u n g e n.
Stunde	Minute u. Sekunde		Schliesungs-Zuckung	Oeffnungs-Zuckung	
12	11' 30"	30	0	+	
12	20'	30	0	+	
12	30'	30	0	+	
1	45'	28	+	0	
1	45'	19	+	+	
1	55'	19	+	+	
2	10'	19	+	+	
2	12	14	+	+	

V e r s u c h III.

3	37' 30"	5	+		
3	38'				Beginn der Austrocknung.
3	42'				Beginn der spontanen Zuckungen. Der Nerv kommt in den das weitere Austrocknen verhindernden Apparat.
3	42' 5"	55	+		Die spontanen Zuckungen sehr heftig und nehmen so zu, dass längere Zeit keine Messung gemacht werden kann.
4	9'	20		+	Die spontanen Zuckungen sehr gering.
4	14'				Die spontanen Zuckungen hören ganz auf.
4	15'	11		+	

Z e i t		Rheostat	Natur der Zuckung		B e m e r k u n g e n.
Stunde	Minute u. Sekunde		Schlies- sungs- Z u c k u n g	Oeff- nungs- Z u c k u n g	
4	15' 3"				Der Nerv wird dem Austrocknen wieder ausgesetzt.
4	18			+	Starke spontane Zuckungen.
4	19				Der Nerv wird vor weiterem Austrocknen geschützt.
3	28			+	Die spontanen Zuckungen hören auf und kehren auch nicht wieder.
4	30'	27,5	+	+	
4	31	20	+		
4	39	13	+		
4	53	11	+		
5	1	9	+		
5	6	5	+		

V e r s u c h IV.

2	36'	16	+		
2	39'				Beginn der Austrocknung.
2	46'	25,5	+		
2	48'				Beginn der spontanen Zuckungen.
2	48' 3"	66	++	+	
2	49				Der Nerv wird vor weiterem Austrocknen geschützt.

Z e i t		Rheostat	Natur der Zuckung		B e m e r k u n g e n.
Stunde	Minute u. Sekunde		Schlies- sungs- Z u c k u n g	Oeff- nungs- Z u c k u n g	
3					Die spontanen Zuckungen sehr heftig.
3	1	62		+	Die spontanen Zuckungen nehmen sehr ab.
3	4	61		+	Die spontanen Zuckungen hören auf.
3	9	15	+	+	
3	18	4	+	+	
3	24	2	+	++	
V e r s u c h V.					
2	38	18	+		
2	39				Beginn der Austrocknung.
2	44				Beginn der spontanen Zuckungen.
2	45	55	+		
2	47	59	++	+	
2	51				Der Nerv vor weiterem Austrocknen geschützt.
2	54	15	+	+	Die spontanen Zuckungen kaum merklich.
2	58	16	+	+	Keine spontanen Zuckungen mehr.
3	4				Der Nerv wieder dem Austrocknen ausgesetzt.
	18	0			Keine Zuckungen mehr.

Versuch VI.

Z e i t		Rheostat	Natur der Zuckung		B e m e r k u n g e n.		
Stunde	Minute u. Sekunde		Schlies- nungs- Z u c k u n g	Oeff- nungs- Z u c k u n g			
10	28	24	+				
10	31	23	+				
10	37	23	+				
10	42	14	+				
10	47	14	+				
10	51				Beginn der Austrocknung.		
10	59	98	+				
10	59' 3"				Der Nerv wird vor weiterem Austrocknen geschützt.		
11	3 30"	100	+				
11	8'	100	+	0			
11	14'	63	+	0			
11	21'	44,2	+	0			
11	27'	30,2	+	0			
11	34'	30	+	0			
11	36'		+	0	Der Nerv wird aufs Neue dem Austrocknen ausgesetzt.		
11	41'	43,5	+	0			
11	46'	55,3	+	0			
11	52'	52	+	0			
11	55'		+	0	Einzelne spontane Zuckungen.		
11	56'	42	+	0			
12	1'	0			Keine Zuckungen mehr.		
12	7	0					

Z e i t		Rheostat	Natur der Zuckung		B e m e r k u n g e n.
Stunde	Minute u. Sekunde		Schlies- sungs- Z u c k u n g	Oeff- nungs- Z u c k u n g	
10	30'	44	+		
10	32'	45	+		
10	38'	45	+		
10	43'	40,5	+		
10	48'	27	+		
10	51'				Beginn der Austrocknung.
10	58				Sehr starke spontane Zuckungen.
11	1				Der Nerv wird vor weiterer Vertrocknung geschützt.
11	7	155	+		Noch spontane Zuckungen.
11	15	56	+		Die spontanen Zuckungen hören auf.
11	22	35	+		
11	28	22,6	+		
11	35	18	+		
11	36		+		Der Nerv wird aufs Neue dem Austrocknen ausgesetzt.
11	43	25	+		
11	48	20	+		
11	50				Spontane Zuckungen, welche aber sehr schnell verschwinden.
11	51	15,5	+		
11	58	0			{ Keine Zuckungen mehr.
12	7	0			

Aus diesen Experimenten ist ersichtlich erstens: dass man durch Verhütung des weiteren Austrocknens die dabei erreichte Reizbarkeitsstufe nicht festzuhalten vermag. Durchgehends schreitet die einmal eingeleitete Steigerung der Erregbarkeit eine Zeit lang fort, kann selbst (Versuch II) die enorme Höhe erreichen, welche 333 Centimeter unserer Wassersäule einzuschalten verlangt. Die Reizbarkeit sinkt aber dabei viel allmählicher als diess bei den einfachen Austrocknungsversuchen der Fall ist.

Zweitens ergibt sich als durchgehende Erscheinung, dass die spontanen convulsivischen Contractionen in den Muskeln des Präparats durch die Uebertragung in den mit Wasserdunst gefüllten Raum nicht verhütet werden können, wenn ihr Eintritt in Folge des Austrocknens schon sehr nahe bevorstand (Versuch II). Auch dauern sie fort, wenn sie bei dem Vertrocknen bereits schon eingetreten waren, allein ihre Dauer wird durch die Uebertragung in den dunsterfüllten Raum sehr abgekürzt; sie überschreitet kaum je 10 Minuten.

Die übrigen Resultate hängen von der Reihenfolge und Zeitdauer der einzelnen Akte je eines Versuches ab, wodurch sie sich begreiflich auf das Manichfachste variiren liessen.

Die eben mitgetheilten Experimente lassen sich in drei Modificationen abtheilen. Bei der einen Modification ist sofort mit der Austrocknung begonnen worden, und man hat dieselbe nur sehr wenig vorschreiten lassen (Versuch III, IV und V), oder man hat sie schon beträchtlicher sich steigern lassen (Versuch I und II). Drittens endlich, man hat den Nerv in dem dunsterfüllten Raum in einem nicht unbedeutenden Maass absterben lassen, und setzt ihn dann erst dem Vertrocknen aus (Versuch VI und VII).

Je nachdem das Eine oder Andere geschieht, je nachdem machen sich Unterschiede in der Natur der Zuckung und der Steigerung gel-

tend, welche die Reizbarkeit der Nerven nach Verhütung der weiteren Austrocknung erfährt.

Der sogenannte Modus der Erregbarkeit ändert sich nicht, wenn das Präparat vor Beginn der Austrocknung vor Wasserverlust längere Zeit geschützt und die Reizbarkeit bereits mehr gesunken war. Er bleibt verändert oder kehrt erst später in der anfänglichen Form in dem dunsterfüllten Raum wieder, wenn er durch die Vertrocknung bereits verändert worden war.

Mancherlei andere Versuche, bestimmte Reizbarkeitsgrade festzuhalten, scheiterten, wie die eben mitgetheilten, so dass nichts übrig bleibt, als den jeweiligen bei Beginn des Versuches sich zeigenden als Ausgangspunkt so zu nehmen, wie er sich darbietet.

Ich habe nur auf Eines aufmerksam zu machen, was das Resultat trüben kann, wenn man von dem Moment der ersten Bestimmung der Erregbarkeit an sofort äussere Agentien auf den Nerv wirken lässt mit der Absicht, deren Einfluss auf die Reizbarkeit zu prüfen.

In der II. Abhandlung ist ausführlich dargethan, dass nach gewissen mechanischen Eingriffen an der einen oder anderen Stelle des Nerv eine anfängliche Steigerung der Reizbarkeit eintritt, nach anderen eine zeitweise schnelle Verminderung. Das Eine oder Andere könnte leicht für die Folge einer anderweitigen der Prüfung unterworfenen Ursache betrachtet werden. Regel ist desshalb bei allen Thieren die gleiche Methode des Schlachtens: Decapitation und unmittelbar darauf Durchschneidung des Rumpfes in der Mitte der Darmbeine: zweitens gleiche Methode der Nervenpräparation und Durchschneidung des Nerv an der gleichen Stelle: am Austritt aus dem Becken. Endlich muss die Reizung des frischen Nerven in Intervallen von halben Minuten mehrmal vorgenommen werden, um zu sehen, ob keine auffallende Aenderung im Rheostatentand nach der einen oder anderen Seite hin zur Erzielung der Zuckung nothwendig wird und erst, wenn diess nicht mehr der Fall ist, darf das Präparat dem zu prüfenden Agens ausgesetzt werden.

Ist der Einfluss eines solchen Agens auf Querschnitt und Leitungsgüte des Nerv ermittelt, so kann die Forderung einer mit der Zeit seiner Einwirkung fortschreitenden Aenderung des Rheostatenstandes nur auf Rechnung der dabei geänderten Erregbarkeit gebracht werden. Die Aehnlichkeit in den dabei aufzufindenden Curven, wenn dieselben Einflüsse auf sehr viele verschiedene Nerven innerhalb einer grössern Periode wirken, bürgt für sich schon dafür, dass die Versuche untereinander vergleichbar und die Aenderungen in den Rheostatenständen wesentlich von den Veränderungen gefordert sind, welche die Nerven durch die äusseren Einflüsse erfahren.

Streng genommen lässt sich bei diesem Verfahren immer nur für den speciellen Fall, d. h. im Vergleich zu dem anfänglichen Zustand des frisch präparirten Nerv die fortschreitende Wirkung des äusseren Einflusses erkennen; allein da das, was den ersten oder ursprünglichen Zustand bedingt, immer von den gleichen bald so, bald so gegeneinander wirkenden Ursachen abhängt, so steht nichts im Wege, dass man aus grösseren Versuchsreihen das Mittel zieht, in welchem dann diese Unterschiede ausgeglichen erscheinen. Würde man bei dem Absterben der Nerven im dunsterfüllten Raum an der Reizbarkeit sehr wechselnde Schwankungen nach auf- und abwärts wahrnehmen, bei der Austrocknung oder Quellung bald Steigerung, bald Verminderung — kurz würde man nicht an jeder einzelnen Curve unfehlbar immer wieder das gleiche Gesetz finden trotz der Verschiedenheit in den absoluten Werthen, welche jeden einzelnen Punkt der Curve bestimmen, so würde man entweder die Methode ganz verwerfen oder eine ungleich grössere Anzahl von Versuchen zur Bestimmung der mittleren Werthe oder des Gesetzes, welchem die Reizbarkeit in diesen verschiedenen Fällen unterworfen ist, anstellen müssen.

Der zweite Punkt für die Entscheidung unserer Frage liegt in der Zuverlässigkeit, welche die Gleichartigkeit in Quantität der Erregungs-

quelle, die Stromstärke, darbietet. Aus später zu entwickelnden Gründen habe ich als Maassbestimmung der Reizbarkeit die in den Schliessungsbogen einzuschaltenden Widerstände gewählt. Ich messe sie an der Flüssigkeitssäule im Rheostaten und habe schon in der ersten Abhandlung entwickelt, warum die Concentration der Flüssigkeiten, mit welchen der Becher gefüllt ist, irrelevant erscheint, so lange die Widerstände im Element verschwindend klein gegen die im Schliessungsbogen sind.

Von viel grösserer Wichtigkeit ist der Werth der elektromotorischen Kraft der Kette, welche den Zähler in der Ohmschen Formel bildet. Sollen die Versuche unter einander vergleichbar sein, so muss entweder die elektromotorische Kraft immer die gleiche sein, oder sie muss ermittelt und eine Reduction der zur Maassbestimmung verwendeten Widerstände auf einander vorgenommen werden. Man hat zwei Wege, entweder man ermittelt jedesmal die elektromotorische Kraft für jede einzelne Versuchsreihe, oder man berechnet sie für den einzelnen Fall aus ein für allemal angestellten Experimenten. Beide Methoden können zur Controle mit einander verbunden werden. Die Gleichheit der elektromotorischen Kraft in zwei Versuchen darf angenommen werden, wenn bei Füllung des Bechers mit der gleichen Flüssigkeit, welche ohnedem immer mindestens alle 4 — 5 Stunden gewechselt wurde, bei gleichen Dimensionen, gleichen Metallen und gleichen Flüssigkeitshöhen im Becher so wie bei gleich grossen Widerständen im Schliessungsbogen die Nadel der Tangentenboussole die gleiche Ablenkung zeigt.

Wir wollen jetzt den Fall betrachten, wo diess nicht eintrifft, und sehen, auf welche Weise die zur Maassbestimmung verwendeten Widerstände auf einander reducirt werden können. Es gelingt diess leicht mit zu Grundlegen der Ohmschen Formel. Ihr gemäss

sei $S = \frac{E}{R}$ (R hier Summe der Widerstände), $S' = \frac{E'}{R'}$

$$\text{folglich } \frac{S}{S'} = \frac{R E'}{R' E}$$

Die Nadel eines empfindlichen Galvanometers werde sowohl durch S als durch S' auf denselben Grad der Ablenkung getrieben, dann ist

$$\frac{S}{S'} = 1 \text{ und daraus wird}$$

$$R' = E' \frac{R}{E} \quad 1)$$

Da sich leichter noch die Widerstände als die elektromotorische Kraft messen und berechnen lässt, so kann man aus obiger Formel den Werth von E' ableiten, wenn man zuerst setzt:

$$E' = E \frac{R'}{R} \quad 2)$$

Dann erhält man den Werth der Widerstände, welcher zur Erzielung der gleichen Stromstärke nothwendig gewesen wäre, wenn sich E nicht verändert hätte, indem man die beobachteten Widerstände R' mit $\frac{E'}{E}$ multiplicirt.

Hätte man z. B. gefunden, dass bei 62000000 Meter Draht Widerstand im Schliessungsbogen die Nadel des Galvanometers eben so weit abgelenkt wird, als in einem anderen Fall bei 48000000 Meter, und

wäre $\frac{E'}{E} = 0,77277$ verhielte sich also z. B. $E' : E = 680 : 880$, so

wären die bei den Reizversuchen gefundenen Gesamtwiderstände mit diesem Bruch zu multipliciren, um die Versuche, welche mit E' gemacht sind, mit denen vergleichbar zu machen, welche mit E zu einer anderen

Zeit angestellt worden waren. Wie es möglich wird, die Rheostatenablesungen darnach zu corrigiren und auf einander zu reduciren, wird sich bei der Darlegung der VII. Combination erörtern lassen.

Wir sehen also, dass die Messung der Erregbarkeitsgrade nach unserer Methode direkt zulässig ist, so lange die elektromotorische Kraft der Kette constant bleibt. Bei ein und derselben Kette ist dieses für die Dauer einer Versuchsreihe, welche selten über 2 — 3 Stunden in Anspruch nimmt, bei Benützung des Grove'schen Bechers als sicher anzunehmen, weil die Stromstärken wegen der grossen Widerstände im Schliessungsbogen sehr gering sind und während ihrer verhältnissmässig nicht sehr grossen Schwankungen auch die chemische Action der Salpetersäure, von welcher ein veränderlicher Einfluss auf den Werth jener Kraft zu erwarten steht, sehr gering ist. Nicht bloss die Annahme, sondern die häufige experimentelle Prüfung, welche hierüber angestellt worden, bürgt für die obige Voraussetzung.

Die verschiedenen Versuchsreihen werden dann mit einander unmittelbar vergleichbar, wenn die Einflüsse, welche man auf den Nerv wirken lässt, gross genug sind, um einmal wie das anderemal eine Aenderung der Widerstände in dem nemlichen Sinn, Vergrösserung oder Verkleinerung herbeizuführen und dadurch alle die Ursachen, welche der Messung bis jetzt noch unzugänglich sind, und welche gleichzeitig auf die Erregbarkeit influiren, in entschiedener Weise mehr als zu compensiren. Je bestimmter eine solche Wirkung des äusseren Einflusses mit der Dauer seines Bestehens in den einzelnen Versuchen hervortritt, desto kleiner darf ihre Anzahl sein, um aus den Mittelwerthen das Gesetz jener Einwirkung abzuleiten.

Combination V.

Niedergedrückt sind die Tasten 3, 6, 7.

Der Strom geht vom Poldraht des Platin's zum Quecksilbernafp der Taste 8. Von dem Nafp unmittelbar durch die kurze Drahtbrücke zu dem Quecksilber im Nafp der Taste 7. Von da durch den Spiraldraht r 7 s nach e des Galvanometers, in dessen Windungen, um von a zum Quecksilbernafp der Taste 6 zu kommen. Der Strom geht dann weiter durch r 6 s und von der Klemme dieses Spiraldrahtes direkt zur Klemme des Spiraldrahtes von Taste 4. Von da an geht er sofort weiter zu der Klemme β der Wippe W (cf. F. 3), bei E' zum Gyrotrop; durch diesen bei a' zum Draht des Präparates P, durch dessen Nerv, auf dem Weg von k' a zurück zum Gyrotrop G, aus diesen bei E um die Klemme α der Wippe W und die Klemme des Spiraldrahtes der Taste 3 zu erreichen. Durch diese nimmt er schliesslich auf der Bahn s 3 r n seinen Weg zu dem Poldraht des Zinkes.

Diese Combination hat den Zweck, den Leitungswiderstand des Nerv zu prüfen. Rheostat und Uhrwerk ist aus der Leitung ausgeschaltet.

Der Leitungswiderstand hängt ab von den Dimensionen des Nervestückes und von seinem spezifischen Leistungsvermögen. Das letztere ist in der I. Abhandlung an frischen Nerven geprüft worden, und für diese bedurfte es nur die Kenntniss von Länge und Querschnitt, um bei Ausschluss der Polarisation den jedesmaligen Leitungswiderstand zu finden. Der spezifische Leitungswiderstand der Nervensubstanz ändert sich aber mit dessen Wassergehalt, was die jedesmalige Prüfung in den einzelnen Fällen, in welchen dieses oder jenes Agens auf den Nerv wirkt, verlangt. Ausserdem ist bei den Reizversuchen, bei welchen der Nerv über die Platinschaufeln der Zuleitungsdrähte gebrückt ist, die Polarisation nicht ausgeschlossen und will gleichzeitig mit in Rechnung gezogen sein.

Diess wird durch

Combination VI

erreicht, welche jetzt sogleich zu bezeichnen ist, ehe ich in der Betrachtung beider Combinationen weiter gehe.

Niedergedrückt ist die Taste 3 und 8.

Der Strom geht vom Poldraht des Platin zum Quecksilbernäpf der Taste 8, durch deren Spiraldraht s zur Klemme des Spiraldrahtes an der Taste 4; von da zur Klemme β der Wippe W , zu E' des Gyrotrop G ; aus diesem bei a' zum Nerv des Präparates P und wenn die Verbindung in k' hergestellt ist, nach a ; von da durch den Gyrotrop G über E nach der Klemme α der Wippe W ; endlich zur Klemme des Spiraldrahtes an der Taste 3; über s 3 r n zu dem Poldraht des Zinkes.

Der Strom geht also, so wie die Verbindung bei k' hergestellt ist, durch den Nerv und es entsteht in demselben Moment ein Polarisationsstrom in P an der Berührungsstelle von Nerv und Platinschaufeln. So wie nun die Wippe W vom Standort des Fernrohres aus mittelst des Zuges an der betreffenden Schnur umgelegt wird, geht dieser Strom von 2 in P über k' a durch den Gyrotrop G , aus diesen bei E nach der Klemme γ der Wippe, (cf. F. 3) zur Klemme der Taste 9; von dieser Klemme aus nach a am Galvanometer G , durch dessen Windungen über e zur Klemme an dem Spiraldraht der Taste 7; von da zur Klemme δ der Wippe W , durch E' in den Gyrotrop G und aus ihm über a' nach der Platinschaufel 1 zum Nerv in P .

Die Intensität des Polarisationsstromes ändert sich bei gleichbleibender Grösse der Berührungsflächen von Platin und Nerv mit der Intensität des primären Stromes und dessen Dauer. Sie nimmt nach dem Aufhören des primären Stromes mit grosser Geschwindigkeit ab, ist also keine constante Grösse, sondern ändert ihren Werth mit den Umständen und der Zeit. Ihre Entstehung verdankt die Polarisation der Gasaus-

scheidung an den Elektroden und der von ihr erzeugte Strom geht in einer der Richtung des primären entgegengesetzten. Ihre Messung ist, selbst wenn sie eine beträchtliche Höhe erreicht hat, mit Schwierigkeiten verbunden, in Folge deren so lange unter den Physikern die Streitfrage bestehen konnte, ob sie mit der Intensität des Stromes wachse und ob sie mit der Dauer des Stromes an Intensität gewinne.

Die Methoden, welche für die Messung starker Polarisationsströme in Anwendung gebracht worden sind, lassen sich kaum auf diejenigen anwenden, wie sie in unseren Versuchen, bei welchen die primären Ströme so ausserordentlich schwach und von so kurzer Dauer sind, auftreten.

Da es sich in den meisten Versuchen nur um die Unterschiede in den fraglichen Werthen von einem Moment zu dem anderen handelt, so schien es hinreichend, wenn man den primären Strom nur immer gleich lange einwirken liess und Sorge trug, dass die Wippe *W* immer nach Verfluss derselben Zeit d. h. mit gleicher Geschwindigkeit umgelegt wurde. Ehe ich einige Versuche mittheile, welche angestellt worden sind, um zu sehen, in welcher Weise sich die Stärke des Polarisationsstromes je nach dem Zeitpunkt seiner Messung ändere, habe ich noch Einiges in Beziehung auf das Messinstrument, den Galvanometer selbst anzumerken.

Wie schon erwähnt, hat dasselbe 7200 Windungen und eine Doppelnadel, deren Astasie aber absichtlich nicht sehr vollkommen ist. Bekanntlich lässt sich dieselbe nur äusserst schwer und nie auf sehr lange Zeit auf einem bestimmten Grad erhalten, um so weniger, je näher der Vollkommenheit. Dadurch büsst das Instrument für grössere Versuchsreihen seine Zuverlässigkeit als Messinstrument ein, wenn es in ähnlicher Weise wie eine Tangenten- oder Sinusbussole gebraucht werden soll, d. h. wenn man aus dem Ablenkungswinkel direkt auf die Stromstärke schliessen will.

Ohne dem ist diess ja auch nicht möglich, wenn man das Instrument nicht von Grad zu Grad graduirt hat, eine Arbeit, welche nach den bisher üblichen Methoden äusserst zeitraubend und wie ich glaube, doch noch nicht hinlänglich genau ist, abgesehen davon, dass sie nichts mehr nützt, sobald sich der Grad der Astasie geändert hat.

Ich habe die Nadeln über dreiviertel Jahre an dem Coconfaden hängen lassen, ohne sie dazwischen niedergelassen, oder den Standort des Instrumentes geändert zu haben, ehe die Versuche angestellt wurden. Von da an veränderte sich das Maass der Astasie in $1\frac{1}{2}$ Jahren um eine kaum bemerkbare Grösse weiter.

Nun wurde die Graduierung des Instrumentes zur Ermittlung der Verhältnisse, in welchen die Stromstärken bei verschiedenen Ablenkungswinkeln zu einander stehen, vorgenommen. Es ist diess dadurch geschehen, dass die elektromotorische Kraft der Kette und für jeden Grad der Ablenkung die erforderlichen Widerstände bestimmt wurden. Bei der Empfindlichkeit des Instrumentes mussten die Füllungen des feuchten Rheostaten zur Herstellung der erforderlichen Widerstände bestimmt werden, wobei aber die Grenze der vom Galvanometer selbst noch anzeigbaren Polarisation sorgfältig vermieden wurde. Bei 1236,85 elektromotorischer Kraft waren zur Drehung der Nadel um den ersten Grad 606871831 Meter Kupferdraht nöthig, zur Drehung um 80 Grade 1943912,1 Meter. Diese Widerstände verhalten sich wie 1 : 312; die Stromstärke dagegen, wenn bloss die Widerstände im Rheostat berücksichtigt worden sind, 0,00000203 und 0,00063.

Ausser diesen Widerständen befinden sich noch weitere, von denen es sich fragt, ob sie berücksichtigt sein wollen. Auf keinen Fall gilt diess von den Widerständen in der Kette; denn sie betrugen nur 26 Meter; dagegen leistet das Multiplicatorgewinde an sich einen nicht unerheblichen Widerstand.

Ich habe ihn aus den Messungen des Gewindes schätzungsweise berechnet. Aus der Messung der Halbaxen, welche der mittleren elliptischen Windung zukommt, ergibt sich als deren Länge 21 Centimeter; 7200 Windungen hat das Instrument. Die ganze Drahtlänge beträgt demnach 1512 Meter. Bei dem Querschnitt des Drahtes von 0,0075 erhält man als Widerstand des ganzen Gewindes in runder Summe 200000 Meter Normal Kupferdraht.

So gross auch dieser Widerstand an sich ist, so kommt er doch in der geringeren Anzahl von Fällen so weit in Betracht, dass er den Werth der Stromstärke neben den anderen im Schliessungsbogen vorfindlichen Widerständen wesentlich ändern könnte.

Ist die Combination V hergestellt, so umgeht der Strom den Rheostaten und wird durch den Nerv mit einer viel grösseren Stärke geschickt, als zur Erzeugung der Zuckung in der Regel nothwendig ist. Hat dieses schon seine grossen Nachtheile für die späteren Reizversuche, so würde der Einfluss des allzu starken Stromes noch nachtheiliger, wenn man diesen so lange durch den Nerv leiten wollte bis die Nadel eine constante Ablenkung gewonnen hätte, zumal man unmittelbar darauf denselben Strom eben so lang nochmal mit Combination VI zur Ermittlung der Polarisation hindurchleiten müsste.

Es wird sich später zeigen, dass man diess bei den eigentlichen Reizversuchen ganz umgehen kann. Will man den Leitungswiderstand der Nerven aber doch für sich prüfen, so fragt es sich zuerst, mit welcher Zuverlässigkeit man den ersten Ausschlag benützen kann, wobei derselbe natürlich nicht die Hemmung berühren darf.

Dem Schwingungsgesetz des mathematischen Pendels zu Folge würde die bleibende Ablenkung halb so gross als der erste Ausschlag sein, allein die Torsion des Coconfaden beschränkt das Maass des letzteren und lässt voraussichtlich die bleibende Ablenkung die Grenze der

Hälfte einer solchen Anfangsschwingung überschreiten. Die Versuche bestätigen diess. Ich habe den Strom durch Rheostat und Multiplicator geschickt und durch Regulirung des ersteren verschiedene Ausschläge erzeugt. Es geschah diess mittelst der Auslösung vom Standort des Fernrohres aus und gibt die nachfolgende Tabelle zugleich einen Beweis für die Gleichartigkeit, mit welcher die ersten Ausschläge in Folge der mechanischen Vorrichtungen auftreten, indem durch sie die Kette jedesmal mit derselben und zwar der grössten Geschwindigkeit geschlossen wird.

I. Ausschlag	bleibende Ablenkung	Rheostatenstand	Verhältniss von bleibender Ablenkung und erstem Ausschlag
19,6°	10,7°	152 Centim.	1 : 1,8.
19,6°	10,7°	152 Centim.	
19,6°	10,7°	152 Centim.	
24°	13,5°	117,6 Centim.	1 : 1,8
24°	13,5°	117,6 Centim.	
31°	17,25°	90 Centim.	1 : 1,797
31°	17,25°	90 Centim.	
42,2°	23,5°	60 Centim.	1 : 1,795
42,2°	23,5°	60 Centim.	
42,2°	25,5°	60 Centim.	
53°	29,6°	100,3 Centim.	1 : 1,79
		andere Füllung	
53°	29,6°	100,3 Centim.	
53°	29,6°	100,3 Centim.	

Hieraus ist einmal ersichtlich, dass die ersten Ausschläge zur Maassbestimmung benützt werden dürfen, was von grossem Vortheil besonders in den Fällen ist, in welchen es sich um Zeitersparniss und möglichst kleine Dauer der durch den Nerv geschickten Ströme handelt; und diese Fälle sind ja eben gerade die häufigsten. Bis eine bleibende Ablenkung von etwas höherem Grad eintritt, verstreichen in der Regel $1\frac{1}{2}$ — 2 — $2\frac{1}{2}$ Minuten, dagegen verstreichen nur 4,8 Sekunden, bis die Nadel bei dem ersten Ausschlag den 21,5. Grad erreicht.

Zweitens erkennt man der Voraussetzung entsprechend, dass die ersten Ausschläge nicht mit 2 zu dividiren sind, um von ihnen aus auf die bleibende Ablenkung zu schliessen, sondern mit einer etwas kleineren Zahl. Diese verliert an Grösse, je mehr sich die Torsion bei dem ersten Ausschlag steigert, d. h. je grösser der Ablenkungswinkel ist. Man hat also innerhalb der ersten 35 Grade den ersten Ausschlag mit 1,8 und von da ab bei weiteren Ablenkungen mit 1,79 zu dividiren, um die bleibende Ablenkung zu berechnen.

Ich habe ohne Berücksichtigung der Polarisation einige Vorversuche aufgezeichnet, welche angestellt wurden, um den Leitungswiderstand der Nerven auf verschiedenen Stufen der Quellung und Austrocknung kennen zu lernen, welche ich indessen hier nicht weiter anführen will. Sie zeigen wohl im Allgemeinen, dass sich der Leitungswiderstand der Nerven sowohl bei der Quellung als bei der Vertrocknung in zunehmendem Maass vergrössert; allein die Zahlen boten noch zu wenig Uebereinstimmung in ihren Verhältnissen und absoluten Grössen, als dass man sich dabei begnügen könnte, auch nur die Mittel aus grösseren Reihen zu ziehen. Offenbar ist, dass die Polarisation wesentlich auf sie influirt, indem sie in der That nicht der Ausdruck für die direkte Wirkung des Leitungswiderstandes sein können, sondern für die Differenz der Wirkung von primärem Strom und Polarisationsstrom.

Um also jene Zahlen zur Bestimmung des Leitungswiderstandes verwerthen zu können, ist es nöthig, das Maass der Polarisation zu bestimmen, welches sich während des Geschlossenseins der Kette geltend gemacht hatte.

Vorher muss aber erst untersucht werden, in welchem Verhältniss mit der Zeitdauer des primären Stromes in unseren Versuchen die Polarisation anwächst, und in welchem sie nach der Unterbrechung jenes Stromes wieder abnimmt.

Aus mehreren Versuchen hat sich als Mittel für das ertere der ebengenannten Verhältnisse folgende Reihe gezeigt:

Zeitdauer des primären Stromes	Erster Ausschlag am Multiplicator durch den Polarisationsstrom
20 Tertien	13°
36	20,5
72	24,5
108	27
144	28,5
324	36
504	39
684	40,5
1800	44,5
18000	51

Man sieht hieraus, dass die Stärke des Polarisationsstromes in sehr rasch abnehmendem Verhältniss mit der Zeitdauer des primären Stromes wächst; noch deutlicher erhellt diess, wenn man die wenn auch ungenaue Annahme macht, als nähme zwischen je zwei der beobachteten Stromzeiten die Polarisation stetig zu. Unter dieser Voraussetzung wächst die Ablenkung mit je einer Tertie

Innerhalb der ersten 20 Tertien um	0,65
zwischen der 20. u. 36. Tertie „	0,46
„ „ 36. u. 72. „ „	0,11
„ „ 72. u. 108. „ „	0,067
„ „ 108. u. 144. „ „	0,041
„ „ 144. u. 324. „ „	0,037
„ „ 324. u. 504. „ „	0,016
„ „ 504. u. 684. „ „	0,0083
„ „ 684. u. 1800. „ „	0,0035
„ „ 1800. u. 18000. „ „	0,0004

Aus der obigen Berechnung ergab sich für die Stromdauer bei den Reizversuchen der Zeitraum von 0,334 Sekunden, also nahezu 1 Tertie. Innerhalb dieser Zeit dürfte sich auch bei 0 Rheostatenstand der Polarisationsstrom kaum weiter entwickeln als bis zu einer Stärke, bei welcher die Nadel um sehr wenig bewegt würde; sie muss natürlich noch viel kleiner ausfallen, wenn der Rheostatenstand, wie bei den meisten Reizversuchen, viel höher ist.

Ich habe auch eine weitere Reihe von Versuchen angestellt, um zu ermitteln, mit welcher Schnelligkeit die Polarisation nach dem Oeffnen der Kette in unseren Versuchen wieder verschwindet. Dabei war die Dauer des primären Stromes immer gleich erhalten, nemlich 3 Sekunden 20 Tertien.

Die Pause zwischen dem Oeffnen
des primären Kreises und dem
Umlegen der Wippe betrug:

- 1) 1,021 Sekunden
- 2) 3,064 „
- 3) 4,6 „
- 4) 6,64 „
- 5) 13,79 „

Die Ablenkung der Nadel durch
den Polarisationsstrom betrug
darnach:

- 18,5°
- 16,7°
- 15°
- 14°
- 11,5°

Man sieht, dass der Polarisationsstrom, wenn auch mit sehr schnell wachsender Abnahme seiner Stärke doch ziemlich lange nach dem Aufhören des primären Stromes noch nachweisbar bleibt, was verlangt, dass man zwischen zwei Versuchen eine gehörige Zeit verstreichen lasse, oder dass man den Polarisationsstrom auf andere Weise vor jedem neuen Versuch zum Verschwinden bringe.

Um direkt zu ermitteln, ob bei unseren Reizversuchen die Polarisation eine irgend nennenswerthe Bedeutung habe, wurde bald nach einem, bald nach mehr, bald nach vielen Pendelschlägen im Moment des Rückschwunges Rheostat Nerv und Multiplicator zu einem Kreis geschlossen und untersucht, ob sich auch bei niederen Rheostatenständen eine Polarisation bemerklich mache.

Die Wippe wurde dabei immer genau in dem Moment umgelegt, in welchem der Pendelschwung den Kupferbügel im Quecksilber untertauchte. Als Drahtleitung benützte ich die Combination IV. Das Umlegen der Wippe bewirkte dann, dass der Polarisationsstrom, welcher an den Berührungsstellen der Platinschaufeln mit dem Nerv entwickelt war, durch den Multiplicator ging. War der Rheostat auf Null eingestellt, so entstanden folgende Ablenkungen:

Anzahl der Pendelschläge	Erster Ausschlag der Nadel
nach 20	7°
„ 10	5°
„ 5	1°
„ 4	0°

Schaltet man im Rheostaten nur einige Centimeter der Wassersäule ein, so werden die Ausschläge der Nadel durch den Polarisationsstrom schon äusserst klein, so zwar, dass bei 20 Centimeter Flüssigkeitshöhe selbst die Summirung von 20 Pendelschwingungen keine irgend nachweisbare Ablenkung durch einen Polarisationsstrom mehr hervorzurufen im Stande ist.

Daraus ergibt sich, dass man in der weitaus grösseren Anzahl der vergleichenden Reizversuche, bei welchen der Rheostatenstand viel weiter von der Nulllinie entfernt ist, von den kleinen Spuren der Polarisation an der gereizten Nervenstelle durchaus Umgang zu nehmen berechtigt ist.

Was die Fälle anbetrifft, in welchen der Strom der Kette direkt durch den Nerv mit Umgehung des Rheostaten geleitet wird, wie bei der Combination V, oder wo es sich überhaupt um eine Verkleinerung der Polarisation handelt, und metallische Elektroden beibehalten werden sollen, hat man solche von Kupfer oder noch besser Zinn denen von Platin vorzuziehen; nur muss man dafür sorgen, dass dieselben stets blank erhalten bleiben. Ich gebe diesen Elektroden die Form kleiner Skalpelle, an deren nichtschneidigen Ränder die Nerven angelegt werden. Ich habe einige Versuche mit Fäden angestellt, welche in Eiweisslösung getränkt waren und dieselben bald über Kupfer- bald über Platin-Elektroden gebrückt. Der Strom circulirte genau immer 6 Secunden durch den Faden. Wenn nach Ablauf dieser Zeit die Wippe umgelegt wurde, so war der Ausschlag durch den Polarisationsstrom im ersten Fall 5° , im zweiten 34° . Es steht diess im Einklang mit den sonst bekannten Erfahrungen über die Entstehungsweise der Polarisation und wurde hier nur erwähnt, um sich eine Vorstellung von den grossen Unterschieden zu machen, welche hiebei auftreten.

Bei den Untersuchungen des Leitungswiderstandes der Nerven nach der oben angegebenen Methode, bei welcher die Polarisation nicht ausgeschlossen ist, hat man zu überlegen, wie man die gesuchte Grösse aus den zwei Beobachtungen, nemlich erstens mit Combination V und dann mit Combination VI zu berechnen habe.

Man findet das Erstmal eine Ablenkung α . Diese ist erzeugt durch die Differenz zweier Ströme, des primären und des schon in den ersten Bruchtheilen einer Secunde sich entwickelnden Polarisationsstromes. Jener heisse S, dieser S'. Es ist also α Folge von $S - S'$.

Die bei der Combination VI erzeugte Ablenkung sei β , Folge von S' im Moment seiner Stärke, in welchem die Wippe sich umlegt.

Abstrahirt man von den wirklichen differenten Werthen, welche die elektromotorische Kraft der beiden Ströme S und S' hat, und nimmt an sie sei gleich, so verhalten sich die Stromstärken umgekehrt wie die Widerstände. Weiss man aus anderen Versuchen, wie gross bei dem Ablenkungswinkel α und β die Stromstärken bei bekannter für beide Ströme geltender elektromotorischer Kraft sind, so kann man auch die des Polarisationsstromes, sobald auf anderem Wege der Leitungswiderstand direkt ermittelt worden, wovon weiter unten, finden.

In Beziehung auf die Grösse des Ablenkungswinkels und somit auch in Beziehung auf die schliessliche Wirkung, welche die Ströme aufeinander ausüben, denn sie wird ja eben aus der Grösse der Ablenkung bestimmt, ist es einerlei, ob die elektromotorische Kraft des primären und Polarisationsstrom gleich oder verschieden ist.

Kennen wir für ein und dieselbe elektromotorische Kraft das Verhältniss der Widerstände zu einander, welche einmal den einen, das anderemal den zweiten Ablenkungswinkel entstehen lassen, so können wir in Beziehung auf α und β sagen: die Differenzwirkung von Haupt- und Gegenstand ist n mal grösser als die des letzteren für sich.

Bei der Differenzwirkung ist $\frac{1}{n}$ Verlust an Wirkung auf Rechnung des Polarisationsstromes zu bringen, also müssen $\frac{1}{n}$ der beobachteten Wirkung α dazu addirt, oder in Beziehung auf die dem α entsprechenden Leitungswiderstände von diesen weggenommen werden, um das Maass der Widerstände zu finden, welche dem Nerv an sich abgesehen von dem bei seiner Messung zur Entwicklung kommenden Polarisationsstrom angehören. Nennt man daher L den Widerstand, welcher der Ablenkung α entspricht, P den Widerstand, welcher der Ablenkung β entspricht, und W den Leitungswiderstand des Nerv, so erhält man

$$W = L - \frac{L^2}{P}$$

Der Widerstand eines Nervenstückes nach der in der I. Abhandlung dargelegten Methode, bei welcher also die Polarisation so gut als vollkommen ausgeschlossen ist, war

$$= 5056373.7 \text{ Meter Kupferdraht.} = W'.$$

Bei der Combination V, bei welcher der Nerv auf den Platinschaukeln liegt, zeigte sich dem α entsprechend an dem grossen Galvanometer ein Ablenkungswinkel

von 63°

Derselbe Winkel wird von der Nadel erreicht, wenn der Nerv durch eine Flüssigkeitssäule ersetzt wird, deren Widerstand

$$= 5756976,86 = L \text{ ist.}$$

Bei der Combination VI entstand im Moment des Umlegens der Wippe ein Nadelausschlag, welcher der bleibenden Ablenkung β

$$= 17^\circ \text{ entspricht.}$$

Diese 17° entstehen, wenn sich im Schliessungsbogen ein Widerstand

$$\text{von } 51518234,07 = P \text{ befindet.}$$

Daraus wird $W = L - \frac{L^2}{P} = 5113646,8$ was dem Werth von W' so nahe kommt, als diess hiebei überhaupt möglich ist.

Man sieht also, dass sich wenigstens da, wo es nicht auf ganz genaue Maassbestimmungen ankommt, die Combinationen V und VI zur Ermittlung der Leitungswiderstände im Nerv benützen lassen; wir werden aber später das Verfahren kennen lernen, durch welches man die Polarisation so gut wie ganz umgehen und alle Bestimmungen direct machen kann. Es gibt auch eine Methode durch das physiologische Rheoscop selbst eine Maassbestimmung auszuführen, wie in einer eigenen Abhandlung gezeigt werden soll.

(Fortsetzung folgt.)

